



Professioneel persleidingenbeheer:
Degradatie van asbestcementen
afvalwaterpersleidingen

Professioneel persleidingenbeheer:

Degradatie van asbestcementen afvalwaterpersleidingen

Voorwoord

Deze publicatie beschrijft het uitgevoerde onderzoek naar de belangrijkste oorzaken en kenmerken van het uitlogingsproces van asbestcementen afvalwaterpersleidingen in beeld. De resultaten dragen bij aan het innovatieprogramma Professioneel Persleidingenbeheer. In dit programma ontwikkelen Stichting RIONED en STOWA kennis, praktijkervaring en innovatieve methoden om het persleidingenbeheer verder te professionaliseren.

Met persleidingen bedoelen we de afvalwatertransportleidingen als de verbindende slagaders tussen het eindgemaal van vrijvervalstelsels en de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) of tussen woonkernen. In Nederland ligt circa 13.000 km persleidingen voor het jaarlijks transport van ruim 1,9 miljard m³ afvalwater. Het grootste deel van de afvalwaterpersleidingen is tussen de dertig en vijftig jaar oud. De faalfrequentie blijkt in het tweede decennium van deze eeuw te zijn opgelopen naar zo'n 200 incidenten per jaar.

Circa 1500 km persleidingen zijn gemaakt van asbestcement. Deze persleidingen kunnen na verloop van tijd worden aangetast met verlies aan sterkte door uitloging van cement in de buiswand. De oorzaken voor en de snelheid van aantasting zijn echter nog onvoldoende bekend om hierop adequaat beheersmaatregelen te plannen. Het is van belang om de toestand van AC afvalwaterpersleidingen te kunnen voorspellen, zodat de slechtste leidingdelen het eerste worden vervangen.

In opdracht van Stichting RIONED en STOWA heeft Sweco de belangrijkste oorzaken en kenmerken van degradatie van deze leidingen geanalyseerd. Dit is mede gedaan door big data-analyse van inspectieresultaten uit de drinkwater- en afvalwatersector van de afgelopen twintig jaar. De resultaten geven aan dat het degradatieproces veelal lokaal plaatsvindt en er enige statistische samenhang blijkt tussen oorzaken. In het rapport worden de antwoorden op tien relevante vragen beantwoord.

De onderzoekers bevelen tenslotte aan de beheerdata van persleidingen beter op orde te brengen en inspectie-data uniform vast te leggen zodat betere analyse op termijn de beheerders in staat zal stellen investeringen in inspecties nog gericht te plannen.

Graag wensen we u veel leesplezier en nuttig gebruik van de voorliggende publicatie.

Hilde Niezen, Stichting RIONED
Joost Buntsma, STOWA

Ede, juni 2023

Inhoud

Samenvatting 8

1 Inleiding 10

2 Theoretische verkenning 12

- 2.1 Historie 12
- 2.2 Productieproces 12
- 2.3 Drinkwater- versus afvalwater-persleidingen 14
- 2.4 Aantastingsmechanismen 14
 - 2.4.1 Verzadigingsindex (SI) van drinkwater 16
- 2.5 Buiseigenschappen 17
 - 2.5.1 Verbindingen 17
 - 2.5.2 Coatings 17
- 2.6 Afgifte van asbestvezels 18
- 2.7 Inspecties 18
 - 2.7.1 Inspectietechnieken 18
 - 2.7.2 Vergelijking inspectietechnieken 21
 - 2.7.3 Gemiddelde gemeten uitloging 23
- 2.8 Onderzoeksvragen 23

3 Onderzoeksmethodiek 24

- 3.1 Datasets 24
 - 3.1.1 Dataset I: Inspectiedata M.J. Oomen, inclusief leidingkenmerken 24
 - 3.1.2 Dataset II: Inspectiedata M.J. Oomen uit pdf-rapporten 24
 - 3.1.3 Dataset III: Inspectiedata Acquaint 26
 - 3.1.4 Leidingdata 27
 - 3.1.5 Bodem Fysische Eenheden Kaart 28
- 3.2 Deelvragen 29

4 Onderzoeksresultaten 30

- 4.1 Welke specifieke kenmerken heeft de uitloging van AC Afvalwater-persleidingen? 30
 - 4.1.1 Deelvraag 1a: Is het 'gatenkaas'-patroon te herkennen in de data? 30
 - 4.1.2 Deelvraag 1b: Bestaat er een relatie tussen de aanwezigheid van coating en de mate van uitloging? 30
 - 4.1.3 Deelvraag 1c: Nemen de in- en uitwendige uitloging toe bij toenemende leeftijd? 31
 - 4.1.4 Deelvraag 1d: Neemt de (inwendige) uitloging toe bij een toenemende buisdiameter? 32
 - 4.1.5 Deelvraag 1e: Toont de data aan dat grondradar de aantasting van AC buizen systematisch onderschat? 32
 - 4.1.6 Deelvraag 1f: Treedt de uitloging op aan de binnenkant of de buitenkant van de buiswand? 34
 - 4.1.7 Deelvraag 2a: Bestaat er een relatie tussen de klokstand van de aantasting en de mate van uitloging? 35
 - 4.1.8 Deelvraag 2b: Bestaat er een relatie tussen de locatie van de ontluichters en de mate van uitloging? 35
 - 4.1.9 Deelvraag 2c: Bestaat er een relatie tussen de mate van gastransport en de mate van uitloging? 36
 - 4.1.10 Deelvraag 3a: Bestaat er een relatie tussen de grondsoort en de mate van uitloging? 37

5	Conclusies en aanbevelingen	39
5.1	Conclusies	39
5.2	Aanbevelingen	40
6	Bronvermelding	41
Colofon	43	

Samenvatting

Onderzoeksmethodiek

Het doel van dit onderzoek was om de belangrijkste degradatie-oorzaken van asbestcementen (AC) afvalwatertransportleidingen in beeld te brengen met een big data-analyse. De onderzoekers verzamelden grote hoeveelheden data van twintig jaar AC leidinginspecties en combineerden deze met data van leiding- en omgevingskenmerken.

Dit onderzoek heeft 3 datasets gebruikt:

1. **Dataset I:** Inspectiedata van M.J. Oomen, inclusief leidingkenmerken met 167 inspecties van afzonderlijke buizen van zeven Nederlandse waterschappen en het Vlaamse Aquafin. De inspecties van Dataset I zijn uitgevoerd van 1999 tot 2021.
2. **Dataset II:** Inspectiedata van M.J. Oomen uit pdf-rapporten met de resultaten van 240 inspecties uitgevoerd tussen 2008 en 2020 op verschillende locaties in Nederland.
3. **Dataset III:** Inspectiedata van inline inspecties, uitgevoerd door het inspectiebedrijf Acquaint. Met 27 Acquaint inspecties en 144.083 meetpunten van 7 verschillende waterschappen verricht in de jaren 2017 tot en met 2021. Voor deze dataset zijn bovendien de karakteristieken van de geïnspecteerde leidingen opgevraagd bij de leidingbeheerders, zoals locatie van de ontluuchters, droogweerafvoer in m³/h (DWA) en regenwaterafvoer in m³/h (HWA).

Onderzoeksresultaten

Voor het onderzoek zijn 3 hoofdvragen met 10 deelvragen geformuleerd waarop de big data-analyse van de 3 datasets antwoorden moest geven.

1. Welke specifieke kenmerken heeft de uitloging van AC afvalwaterpersleidingen?

1a: Is het met een CT-scan van een AC-leiding aangetroffen gatenkaas'-aantastingspatroon te herkennen in de data?

De aantasting van AC afvalwaterpersbuizen is niet homogeen. Degradatie-spots kunnen erg lokaal zijn. Dit geldt niet alleen binnen een enkele buis, ook in een afvalwaterpersleiding kan de mate van aantasting per buis sterk verschillen.

1b: Bestaat er een relatie tussen de aanwezigheid van coating en de mate van uitloging?

De gemiddelde maximale uitloging is nagenoeg gelijk voor gecoate en niet-gecoate buizen. Een mogelijke, maar niet geverifieerde, verklaring is dat dit komt doordat gecoate leidingen in gebieden werden toegepast met een agressievere bodem. Als de coating na verloop van tijd gedegradeerd is, kan de uitloging van het AC starten.

1c: Nemen de in- en uitwendige uitloging toe bij toenemende leeftijd?

De inspectiedata toont een verband tussen de leeftijd van de geïnspecteerde buizen en de mate van de gemiddelde en maximale uitloging. In het algemeen neemt de mate van uitloging toe met de jaren. Wat opvalt is dat de spreiding van uitloging toeneemt met de leeftijd van de AC leidingen. Leeftijd lijkt dus een belangrijke trigger in het proces van uitloging. In de beginperiode na aanleg ligt de mate van uitloging van de afvalwaterpersleidingen dicht bij elkaar. Pas na verloop van tijd wordt zichtbaar welke buizen gevoelig zijn voor uitloging.

1d: Neemt de (inwendige) uitloging toe bij een toenemende buisdiameter?

De inspectiedata toont een verband aan tussen de nominale diameter van de buis en de mate van uitloging. Een toename in de buisdiameter geeft dus een grotere kans op een grotere uitloging. Dit komt overeen met de ervaringen in de drinkwatersector.

1e: Toont de data aan dat de grondradar inspectietechniek de aantasting van AC buizen systematisch onderschat?

Over het algemeen toont de dataset aan dat uitloging, gemeten met grondradar, lager is dan die gemeten met ultrasoon. Dit zou de uitkomst van [BTO 2019.010, KWR] kunnen ondersteunen, waarin wordt beschreven dat grondradar de aantasting van AC buizen systematisch onderschat.

1f: Treedt de uitloging op aan de binnenkant of de buitenkant van de buiswand?

Voor drinkwaterbuizen is eerder aangetoond dat de interne uitloging in de meeste gevallen groter was dan de externe uitloging. Dit is een indicatie dat voor dergelijke leidingen het effect van de drinkwaterkwaliteit groter is dan het effect van de bodem. Dit lijkt voor afvalwaterpersleidingen precies omgekeerd te zijn. Afvalwater lijkt over het algemeen, de lokale H₂S-aantastingen uitgezonderd, minder effect te hebben op de uitloging dan drinkwater.

2. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de binnenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?

2a: *Bestaat er een relatie tussen de klokstand van de aantasting en de mate van uitloging?*

Bij klokstanden aan de bovenkant van de buis (11, 12 en 1) vindt, gemiddeld gezien, meer uitloging plaats dan aan de zijkant en onderkant van de buis (6, 9 en 3). De data toont echter aan dat het verschil in uitloging tussen de verschillende klokstanden maar enkele millimeters bedraagt. Bij klokstand 6 is er gemiddeld minder uitloging dan bij klokstand 12.

2b: *Bestaat er een relatie tussen de locatie van de ontluchters en de mate van uitloging?*

De data toont aan dat in het algemeen op kortere afstand van ontluchters meer degradatie plaatsvindt dan verder weg van de ontluchters. Om gas te verwijderen uit een leiding, worden ontluchters vaak aangebracht op het hoogste punt van neergaande benen, de locatie waar gasbellen zich kunnen ophopen. De ontluchters lijken daarmee in het algemeen niet voldoende in staat te zijn om gasophoping en H₂S-vorming tot gevolg te voorkomen.

2c: *Bestaat er een relatie tussen de mate van gastransport en de mate van uitloging?*

De mate van gastransport is gerelateerd aan de gemeten uitloging. Bij zeer beperkt gastransport is de uitloging gemiddeld hoger dan bij locaties met volledig gastransport. Dit lijkt in overeenstemming te zijn met de theorie dat als er gasophoping (H₂S of zuurstof) plaatsvindt, er ook een grote uitloging ten gevolge van deze gassen kan plaatsvinden.

3. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de buitenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?

3a: *Bestaat er een relatie tussen de grondsoort en de mate van uitloging?*

Er is niet genoeg data beschikbaar om een eenduidige conclusie te trekken. We hebben te weinig metingen in kalkarme en kalkrijke bodems om een significante correlatie te zien tussen bodemtypen en de aantasting van het AC. Medeoorzaak is dat niet bekend is of de uitloging van datasets I en II aan de binnen- of buitenzijde heeft plaatsgevonden.

Overige conclusies

Voor afvalwaterpersleidingen bedraagt de gemiddelde aantastings-snelheid door uitloging (de som van de in- en uitwendige uitloging):

- a) 0,14 mm/jaar voor de gemiddelde uitloging;
- b) 0,21 mm/jaar voor de maximale uitloging.

Deze laatste waarde komt overeen met de ervaringen in de drinkwatersector. De gemiddelde aantastings-snelheden voor afvalwaterpersleidingen worden versterkt door de (hoge) gemeten uitloging op locaties waar H₂S-aantasting optreedt, een fenomeen dat niet optreedt bij drinkwaterleidingen.

De over de omtrek gemiddelde gemeten uitloging varieert tussen de 0 en 27,1 mm en de gemeten maximale uitloging varieert van 0 tot en met 30,2 millimeter. Het gemiddelde van de gemiddelde en maximale gemeten uitloging bedraagt respectievelijk 5,8 en 8,6 millimeter.

De keus om een afvalwaterpersleiding te vervangen, hangt af van kennis over de staat van de gehele leiding. Om een statistisch verantwoorde en nauwkeurige conclusie te verkrijgen over de staat van een gehele persleiding, zijn zeer veel lokale metingen of een inline inspectie over de gehele leiding nodig.

Tot 2021 hebben de inspectiebedrijven met non-destructieve technieken (grondradar en ultrasoon) de totale uitloging van de AC buiswand gemeten. Er werd niet gemeten en gerapporteerd of de uitloging zich aan de binnen- of buitenzijde bevond. Opmerkelijk is dat de inspectiebedrijven aangeven dat dit niet een uitdrukkelijke wens was van de leidingbeheerders.

Vanaf 2021 meet Acquaint of de uitloging zich intern of extern van de buiswand bevindt. Op basis van (het beperkte aantal van) vier inspecties concluderen we dat het overgrote deel van de afwijkingen lokale uitloging aan de buitenzijde van de buiswand betreft en geen uitloging aan de binnenzijde.

Aanbevelingen aan het vakgebied

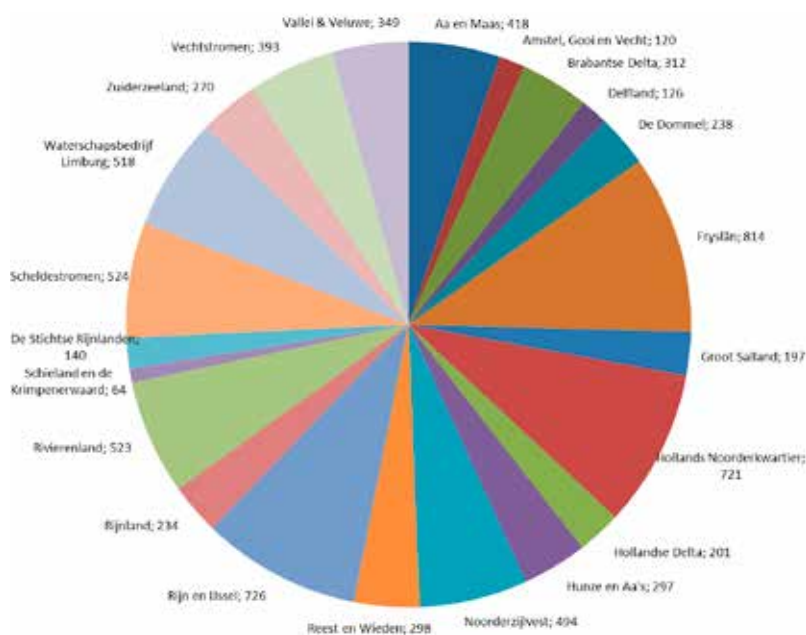
Uit het onderzoek blijkt ook het grote belang van eenduidige vastlegging en uitwisselbaarheid van informatie over de ondergrondse leidingen en over de daarmee verbonden beheeraspecten. Dit maakt big data-analyses, maar ook andere analyses, eenvoudiger en goedkoper. Het leidt tot meer kennis en inzicht in het functioneren van onze afvalwatertransportsystemen, en daarmee tot een beter onderbouwde sturing en besluitvorming over investeringen. Het vakgebied dient duidelijke afspraken te maken met de inspectiebedrijven wie de eigenaar wordt van de inspectiedata en wie er wat mee mag doen.

1 Inleiding

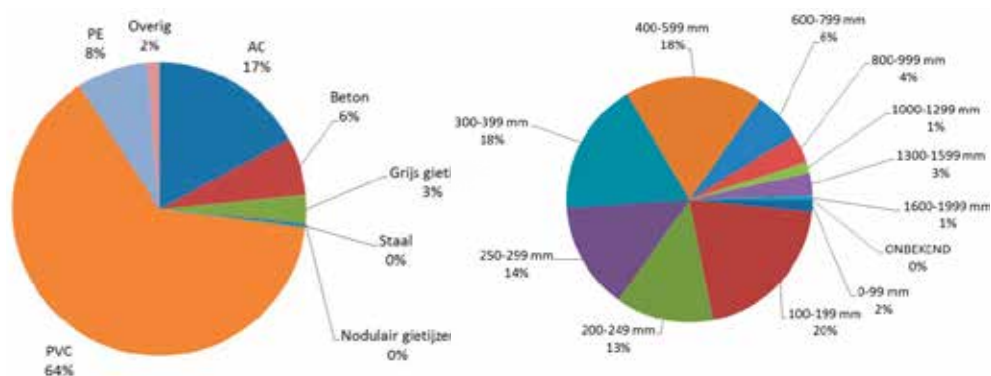
De meeste persleidingen voor het transport van afvalwater zijn in eigendom en beheer van waterschappen en gemeenten. Voor een deel bestaan deze uit het buismateriaal asbestcement, vaak afgekort tot AC. In het verleden stond asbest bekend om zijn kwaliteit en lange levensduur. Om die reden werden AC leidingen vaak gebruikt bij de aanleg van afvalwater-transportsystemen.

Onderzoek [KWR 2018.012] bij acht waterschappen laat zien dat 17% van het leidingenareaal bestaat uit AC. Wanneer dit percentage wordt geëxtrapoleerd naar de 22 waterschappen in Nederland (die 7.977 km aan persleidingen in beheer hebben, cijfers van 2018), dan betreft het 1.350 km AC afvalwatertransportleidingen in Nederland.

Figuur 1.
Overzicht lengten persleidingen (in km) van 22 waterschappen met een totale lengte van 7.977 km [KWR 2018.012].

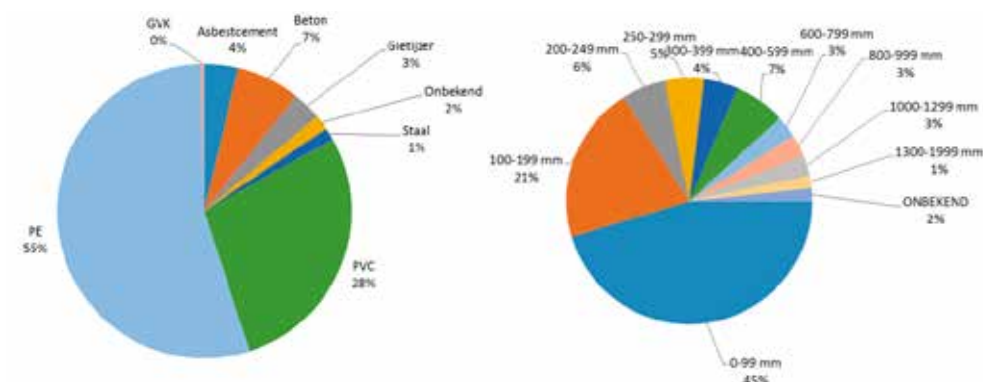


Figuur 2.
Indeling persleidingen van waterschappen naar materiaal (links) en diameterklasse (rechts) ([KWR 2018.012], cijfers gebaseerd op onderzoek bij 8 van de 22 waterschappen)

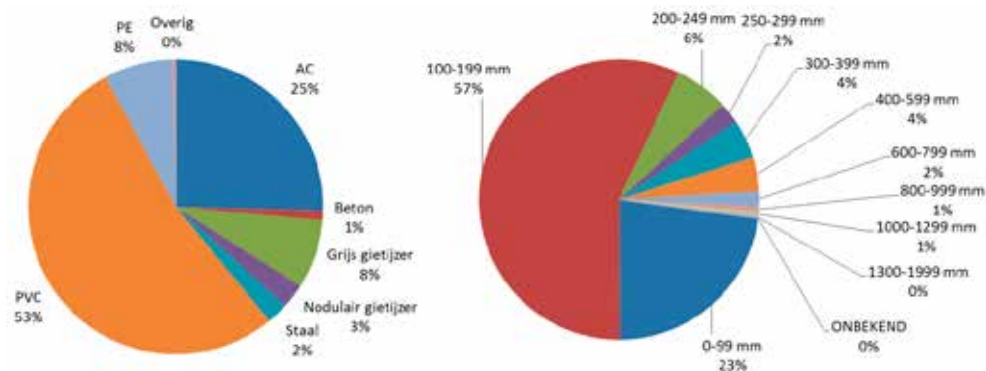


Het aandeel AC persleidingen bij gemeenten is lager dan bij waterschappen, zo'n 4%.

Figuur 3.
Indeling persleidingen gemeenten naar materiaal (links) en diameterklasse (rechts) ([KWR 2018.012], op basis van onderzoek bij 22 gemeenten).



Ter vergelijking: het leidingnet van de drinkwaterbedrijven bestaat voor circa 25% uit AC.



Figuur 4. Indeling leidinglengten van drinkwaterbedrijven naar materiaal (links) en diameter-klasse (rechts) [KWR 2018.012]

De staat van de AC afvalwaterpersleidingen is een zorg voor de beheerders. AC heeft de eigenschap dat calciumhydroxide oplost (uitloogt) uit het cement van de buizen in deze leidingen. Hierdoor gaat de sterkte van de buiswand en daarmee de constructieve sterkte van de buis achteruit. Uitloging is voor AC buizen het dominante degradatiemechanisme [Slaats en Mesman, 2004].

Uitloging kan zowel aan de binnen- als buitenzijde van de buiswand plaatsvinden. De sterkte van het uitgeloopte deel van de buiswand is verwaarloosbaar ten opzichte van het niet-uitgeloopte, intacte deel. De dikte van het niet-uitgeloopte deel wordt de effectieve wanddikte genoemd.

De mate van uitloging kan met diverse technieken worden gemeten in zowel AC drinkwaterleidingen als AC afvalwaterpersleidingen. De vorige eeuw werd uitloging meestal onderzocht door op een boorkern de zuurgraad te testen met de pH-indicator fenolftaleïne (tegenwoordig vanwege gezondheidsrisico's met thymolftaleïne). Een hoge zuurgraad (lage pH) duidt op uitloging.

Met name M.J. Oomen voert in Nederland (voor waterschappen, drinkwater-leidingbedrijven en gemeenten) en België (met name voor Aquafin) sinds zo'n twintig jaar inspecties uit met de grondradartechniek. In de beginperiode alleen vanaf de buitenzijde van de leiding maar daarna ook inline.

De laatste jaren wordt de intelligentpiggingtechniek voor de inspectie van AC leidingen toegepast door met name Acquaint, maar andere partijen, zoals Rosen, bekwamen zich ook in deze techniek. Onlangs heeft KWR AC drinkwaterleidingen op een innovatieve wijze onderzocht met een CT-scan.

De inspecties met de verschillende meettechnieken hebben tot een grote hoeveelheid wanddiktemetingen en rapportages geleid.

Op basis van de hoeveelheid AC persleidingen in Nederland en de vervangingsnelheid ervan, is de verwachting dat AC nog decennia als leidingmateriaal zal voorkomen. Het is daarom van belang om de toestand van AC afvalwaterpersleidingen te kunnen voorspellen, zodat de slechtste leidingen eerst kunnen worden vervangen.

Het doel van dit onderzoek was om de belangrijkste degradatie-oorzaken van AC afvalwatertransportleidingen in beeld te brengen. Dit hebben we gedaan met behulp van een big data-analyse van de in de afgelopen twee decennia uitgevoerde inspecties. Daarvoor hebben we grote hoeveelheden inspectiedata verzameld en gecombineerd met leiding- en omgevingsfactoren. Voor dit onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de inspectieresultaten van M.J. Oomen en Acquaint.

Leeswijzer

Dit rapport start in hoofdstuk 2 met een theoretische verkenning. We beschrijven de voor dit onderzoek relevante zaken uit de literatuur en delen de kennis uit de interviews met leidingbeheerders en experts. In hoofdstuk 3 leest u de onderzoeksmethodiek en in hoofdstuk 4 de onderzoeksresultaten. In hoofdstuk 5 staan de conclusies samengevat.

Een overzicht van de gebruikte bronnen vindt u in hoofdstuk 6. De bronvermelding in de tekst geven we aan met [].

2 Theoretische verkenning

2.1 Historie

Asbestcementbuizen zijn in Nederland tot aan het asbestverbod in 1993 veelvuldig aangebracht in gebouwen en in de bodem. In totaal is er in Nederland ruim 1,5 miljoen ton* asbestcementbuis verwerkt, waarvan de helft van de buizen in Nederland werd geproduceerd en de helft werd geïmporteerd [ReGister Historisch onderzoeksbureau, 2006]. [H2O, 1969] vermeldt dat asbestcementbuizen werden gebruikt voor het transport van drinkwater, voor (aard)gas in lage drukken, rioolpersleidingen, vrijvervalrioleringen, binnenhuisriolering, mantelpersbuizen door spoordijken en door taluds vanwegen, transport van industrieel afvalwater (met epoxy-bescherming), transport van cement, zinkers, mantelbuizen voor afstandsverwarming, kabelbeschermingsbuizen, duikers in ruilverkavelingen en onder wegen, drainagebuizen, pneumatisch transport van brieven (zoals in 1969 in Brussel werd aangelegd) en boorbuizen met trekvlaste koppeling tot 300 meter diep.

2.2 Productieproces

Asbestcementbuizen werden aanvankelijk gemaakt door de nog weke, vlakke asbestcementplaten 'rond te zetten' en de naad met cementspecie te lassen. Dergelijke buizen waren bruikbaar als afvoerpijp en rookleiding, maar door de geringe sterkte van de naad niet als drukleiding. In 1912 ontwikkelde de Italiaan Adolfo Mazza een methode om naadloze buizen te maken [Eternit, productinformatie]. In Nederland zijn alleen door Eternit gemechaniseerde, naadloze buizen gemaakt. Er waren nog verschillende andere methoden om naadloze asbestcementbuizen te vervaardigen, waarvan het Torfit- en het Dalimine-procedé de meest bekende waren. De buizen van Torfit Werke te Hemeldingen (nabij Bremen) zijn onder de naam Toschi-buizen sporadisch op de Nederlandse markt toegepast. Buizen werden in de jaren '50 en begin '60 van de vorige eeuw geleverd door de firma's Eternit en Toshi. Vanaf het tweede deel van de jaren '60 van de vorige eeuw is het vooral Eternit geweest die de markt heeft voorzien van asbestcementbuizen.

Eternitbuizen bestaan uit de grondstoffen asbest, cement en water. Asbest is een vezelig natuurproduct met een hoge treksterkte (500-2000 N/mm²) en grote hittebestendigheid. Als cement werd voor het overgrote deel portlandcement gebruikt [Eternit, productinformatie].

De productie van asbestcementbuizen heeft in Nederland van 1928 tot 1982 geduurd, in de fabriek van Eternit in Goor. Door het verbod in 1978 op het gebruik van crocidoliet (blauw asbest) werd de productie vanuit de Nederlandse Eternit vestiging overgeplaatst naar België, waar nog geen verbod op het gebruik van crocidoliet bestond. Naast de productie van asbestcementbuizen werden in Nederland ook grote hoeveelheden asbestcementbuizen geïmporteerd. In totaal circa 836.000 ton.

Er zijn in het verleden verschillende methoden gebruikt om asbestcementbuizen te fabriceren. De meest gebruikte zijn het Magnani procedé en de Mazza methode. Bij beide methoden wordt er een brij van nat asbestcement over een filterdoek rondom een ronde wals gevoerd waartussen het water kan wegstromen. Bij de Mazza methode wordt elke keer een dun laagje (circa 0,2 mm) van deze brij om een buis gewikkeld totdat een buis van voldoende dikte was ontstaan waarna de buis enkele weken moest uitharden. Bij de Magnani methode blijft de buis zich rondom het filterdoek vormen totdat deze dik genoeg is. Er vindt dus geen opbouw plaats van dunne lagen asbestcement, maar de buis wordt in één geheel gevormd. Vervolgens vindt met een gegroefde wals een nabehandeling plaats en kan de buis uitharden. Ter bescherming van de buis tegen negatieve invloeden van buitenaf werd nadien een laag bitumen, steenkoolteerpek, asfalt of epoxy coating aangebracht. Eternit in Goor was de enige Nederlandse producent van asbestcementbuizen die gebruikmaakte van het Mazza procedé.

De moeilijkheid in het productieproces zat in het vinden van de juiste mengverhouding

* Ter indicatie, wanneer deze hoeveelheid, 1,5 miljoen ton, zou bestaan uit buizen met een nominale diameter van 300 mm (gewicht per meter ongeveer 40 kg), dan zou dat een totale lengte betekenen van zo'n 40.000 km.

van asbestvezels en cement. Hoe meer asbestvezels werden toegevoegd, des te sterker werd de buis. Totdat echter een bepaald omslagpunt werd bereikt van meestal rond de 20-25% asbest. Op dat punt zat er te weinig cement in het mengsel en nam de stevigheid af. Daarnaast werd door het toevoegen van teveel asbest het product te duur. Behalve de juiste mengverhouding was ook de hoeveelheid uit te drijven water van cruciaal belang. Minder water in het eindproduct zorgde voor een stevigere buis, maar er moest wel voldoende water over blijven voor het uithardingsproces.

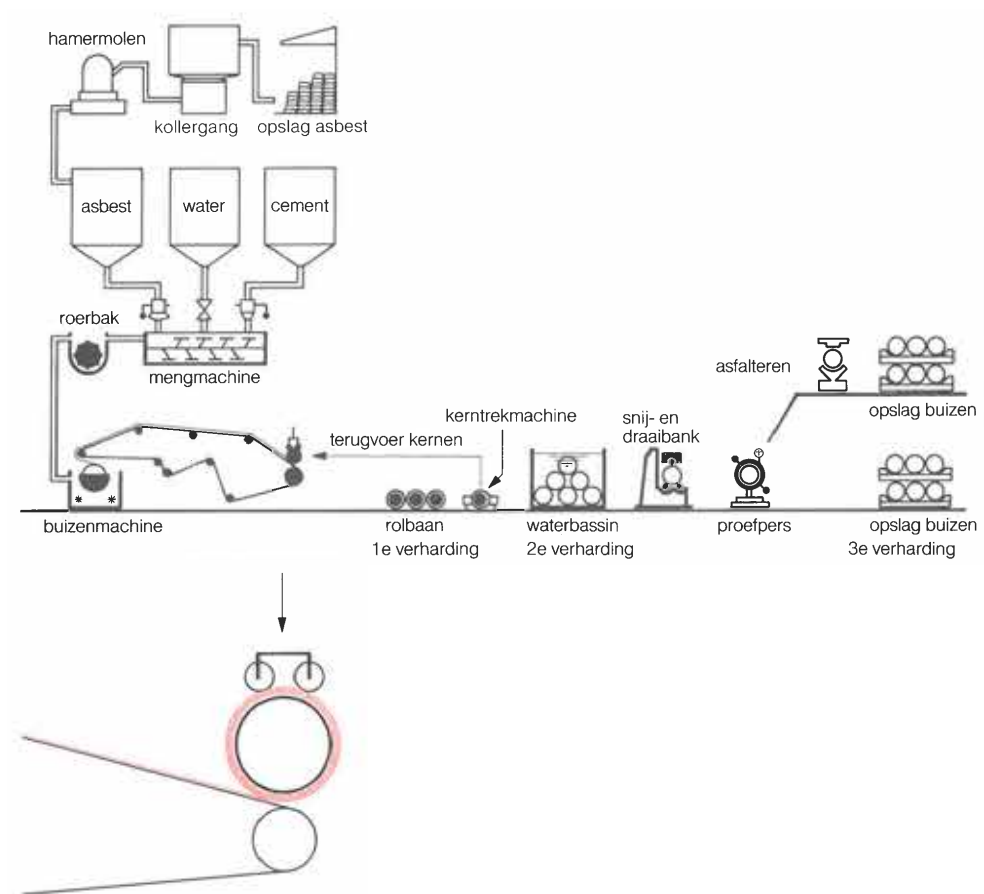
Buizen die waren bedoeld voor afvalwater, werden aan de binnenkant voorzien van een beschermende laag die er bovendien voor zorgde dat de buis gladder werd. Aanvankelijk werden vooral bitumen gebruikt. In een reclameboekje over de geproduceerde rioolbuizen, sprak Eternit in 1968 zelf van het aanbrengen van een epoxybescherming die beter zou werken dan een teer-epoxy. In datzelfde boekje liet Eternit weten dat voor een 'gewoon' rioolstelsel voor huishoudelijk afvalwater, behandeling met bitumen al meer dan voldoende bescherming bood [ReGister Historisch onderzoeksbureau, 2006].

In de buizenmachine werd het mengsel asbest (10-15%), cement en water tot buis gevormd [Eternit, productinformatie]. De machine vormde continu uit het mengsel een dunne (circa 0,2 mm) plastische laag, waarvan de breedte gelijk was aan de lengte van de buis. De plastische laag werd onder druk rond een gladde stalen cilinder tot buis gewikkeld. De wanddikte nam toe met het aantal wikkelingen. De cilinder bepaalde de nominale (Dn) binnendiameter, die dus altijd standaard was. De buitendiameter varieerde binnen de toleranties.

De leidingen zijn in de meeste gevallen met een dikkere wanddikte gefabriceerd [BTO 2019.008, KWR]. Dit blijkt uit onderzoek naar de wanddikte bij 18 grondradarmetingen en door de omtrek te meten en onderzoek op 157 AC buizen. Er is dus een grote variatie in de totale wanddikte van AC buizen [BTO 2016.094, KWR].

De asbestvezels konden zodanig worden gericht dat circa 70% ervan in de langsrichting en 30% in de dwarsrichting kwamen te liggen. Dit bepaalde de sterkte van de buizen.

Na droging werden de buizen bewerkt en de buiseinden op de juiste diameter afgedraaid.



Figuur 5.
Productieproces Eternit
buizen [Eternit,
productinformatie]

2.3 Drinkwater- versus afvalwater-persleidingen

Dit rapport gaat over de aantasting van AC afvalwaterpersleidingen. Voor de theoretische kennis maken we veelvuldig gebruik van de onderzoeken die in de afgelopen twee decennia zijn uitgevoerd door KIWA in de drinkwatersector, in 2008 overgegaan in KWR. In de Nederlandse afvalwaterwereld is dergelijk grootschalig, vaak wetenschappelijk, onderzoek nooit systematisch uitgevoerd.

De door de drinkwatersector gebruikte AC leidingen komen overeen met die van de afvalwaterwereld.

AC drinkwaterleidingen werden van de jaren '50 tot in de jaren '90 aangelegd.

Afvalwaterpersleidingen werden grootschalig door waterschappen (destijds zuiveringschappen) en gemeenten pas vanaf de jaren '70 toegepast na de invoering van de WVO, de Wet verontreiniging oppervlaktewateren, die op

1 december 1970 in werking trad [Expert meeting, 2020]. De verwachting is daarom dat het gehele areaal afvalwaterpersleidingen in Nederland van een betere kwaliteit is vergeleken met alle drinkwaterleidingen in Nederland. De aanleg van afvalwaterpersleidingen is namelijk later gestart en zijn allemaal gefabriceerd onder NEN-normering NEN 3262 uit 1969. NEN 3262 volgde de Keuringseisen nr. 17 van het KIWA voor persleidingen voor gas, water en rioolwater op [H2O, 1969]. De drinkwatersector ziet vooral bij de in de jaren '50 aangelegde buizen de grootste degradatie [Expert meeting, 2020].

Het algehele idee in de drinkwatersector is dat een groot deel van de AC leidingen in slechte staat verkeert. Daarom is men sector-breed bezig om binnen 30 jaar alle AC drinkwaterleidingen te vervangen [Expert meeting, 2020]. Dit kan de slechte staat van de AC leidingen in de drinkwatersector verklaren. Buizen in de afvalwatersector zijn vaak van een grotere diameter met grotere wanddikten.

De nominale diameter van alle drinkwaterleidingen in Nederland (circa 120.000 km) is in 80% van de leidinglengte kleiner dan 200 mm, 88% is kleiner dan 300 mm [BTO 219.010, KWR].

Overigens hebben drinkwatertransportleidingen vaak een grotere drukklasse, en daarmee een grotere wanddikte.

2.4 Aantastingsmechanismen

Eternit heeft een publicatie uitgebracht [Eternit, Weerstand tegen corrosie] waarin het ingaat op de corrosie van AC buizen: "Eternit vezelcement heeft een hoog cementgehalte en een zeer lage water-cementfactor* van 0,28. Daarom is vezelcement zeer ondoorlatend en dus corrosiebestendig, in vergelijking met andere cementproducten, zoals beton."

Aantasting van AC wordt veroorzaakt door:

- uitlogen en uitspoelen van kalk in het bindmiddel of andere in het cement aanwezige bestanddelen die in water oplosbaar zijn;
- sulfaatuitzetting en vernietiging van de buiswandconstructie;
- kristallisatiedruk van een aantal zouten.

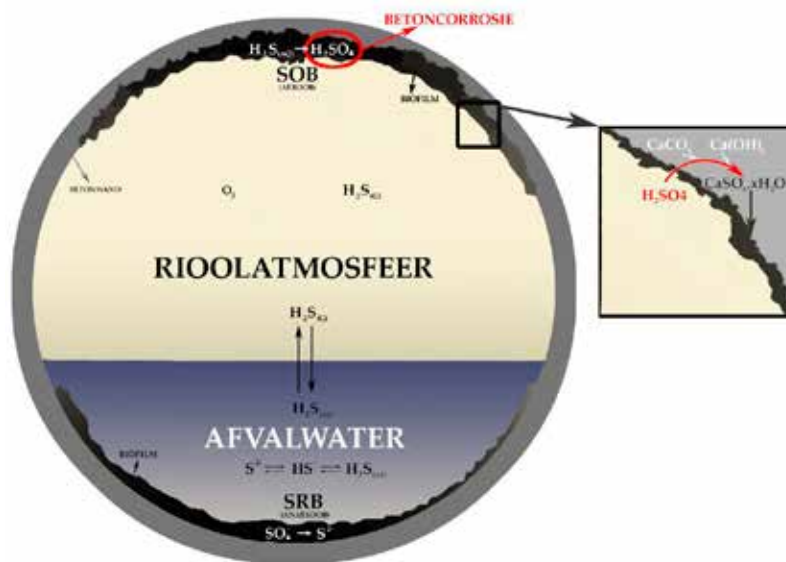
Zure gronden en zuur water die tot uitloging van het AC leiden, kunnen voorkomen door:

- contact met warm bronwater;
- vorming van humuszuren door rotting van plantenresten;
- sulfaatvormende bacteriën;
- contact met vuilnisopslagplaatsen en industrieel effluent.

Eternit geeft aan dat corrosiebescherming niet nodig is bij pH-waarden groter dan 6 en bij een zuurtegraad minder dan 20 ml n/10 NaOH/100 g van de bodem.

Afvalwater bevat zwavelverbindingen die op anaerobe (zuurstofloze) locaties omgezet kunnen worden tot H₂S (waterstofsulfide). In opgeloste vorm is deze H₂S niet schadelijk voor de vezelcementbuis. Zodra dit afvalwater weer in een zuurstofrijke omgeving komt, zullen sulfaat-oxiderende bacteriën (SOB in onderstaande figuur) ervoor zorgen dat H₂S omgezet wordt in H₂SO₄ (zwavelzuur). Het ontstane zwavelzuur reageert met het Ca(OH)₂ (calciumhydroxide) uit het cement, wat zorgt voor het verlies van structuur en stevigheid van de buiswand.

* De mengverhouding water-cement is dus 72% water en 28% cement.



Figuur 6.
Mechanisme van corrosie ten
gevolge van H₂S. [Bron:
Mathias Meersseman, 2012]

Eternit [Eternit, Weerstand tegen corrosie] geeft aan dat de vorming van H₂S sterk wordt bevorderd door verhoogde temperaturen van het afvalwater met een optimum tussen 30° en 37°C. Ook geringe stroomsnelheden en dus langere verblijftijden dragen bij tot een grotere concentratie van H₂S.

In specifieke gevallen kan aantasting van gesloten leidingsystemen plaatsvinden door:

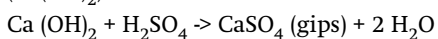
- kalkagressieve CO₂ (onder andere geproduceerd door micro-organismen en aanwezig in afvalwater van de chemische industrie);
- zuren uit de chemische industrie (zoutzuur, salpeterzuur);
- sulfaten (onder andere in afvalwater van de chemische industrie) met als gevolg sulfaatuitzetting door de vorming van ettringiet;
- zacht water (waaronder regenwater);
- chloriden (onder andere door afval van de chemische industrie, fecaliën en mest en strooizouten (pekkel) tegen ijzels);
- ammoniumzouten (in fecaliën en kunstmest);
- magnesiumzouten (onder andere in zeewater);
- plantaardige oliën en vetten, azijnzuur, melkzuur en phenolen (afkomstig van de teer- en kunststofverwerkende industrie).

Sulfaten

Sulfaten zijn op zichzelf al corrosief. Dit betekent dat corrosie al kan optreden als er sulfaat-zouten aanwezig zijn in het afvalwater. De mate van corrosie is echter veel kleiner dan bij zwavelzuuraantasting. Biogene zwavelzuuraantasting vindt dieper in de betonlaag plaats waarmee het veel meer schade toebrengt dan chemische zwavelzuurcorrosie.

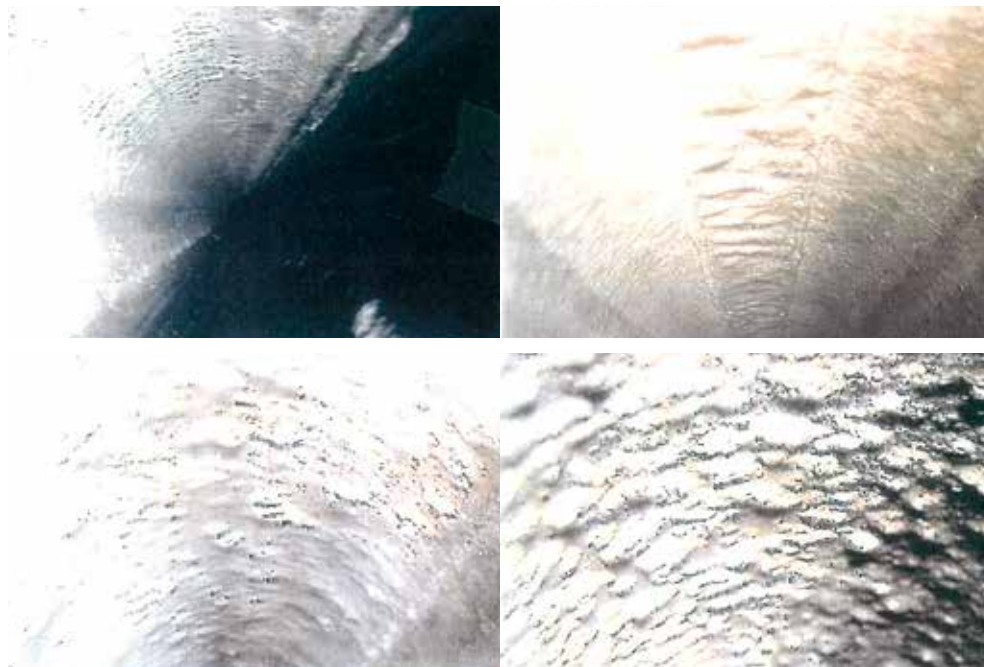
Globaal verloopt het corrosieproces als volgt:

De eerste stap bij de zwavelzuurcorrosie is het zuur dat reageert met de calciumhydroxide (Ca(OH)₂) uit het cement.



Na hydratatie wordt er gips gevormd. Gips is een witte, onafhankelijke papachtige substantie die kan reageren tot het zeer expansieve ettringiet.

Figuur 7.
Stills van inspectievideo's met van linksboven naar rechtsonder een steeds grotere vergipsing van de buiswand van AC buizen (bron: M.J. Oomen).
 M.J. Oomen classificeert de foto's als volgt. NB.: deze classificatie is niet opgenomen in de EN13508-2.
 klasse 1: geen gipsvorming zichtbaar,
 klasse 2: gipsvorming zichtbaar en gedeelten beginnen licht op te zwellen,
 klasse 3: de opgezwollen gedeelten springen plaatselijk open
 klasse 4. de gehele buiswand is bezet met opengesprongen zeepokken,
 klasse 5, er vallen delen uit de buiswand, is niet opgenomen in de fotoreeks [bron: M.J. Oomen].



[BTO 2014.016, KWR] concludeerde dat op basis van een groot aantal uitgenomen AC buizen inwendige uitloging toeneemt bij toenemende buisdiameter.

Uitloging van AC kan optreden in agressieve bodems [BTO 2003.039, KIWA]. Dit zijn bodems met een lage pH en/of een laag kalkgehalte, in de praktijk betekent dat veenbodems en kalkarme zand- en kleigronden, en specifiek katteklei, dat zeer kalkarm is en een lage pH heeft.

Bij kalkarme bodems (< 0,5% calciumcarbonaat (CaCO₃)) is uitwendige uitloging te verwachten. In kalkrijke bodems (> 1% CaCO₃) is geen uitwendige uitloging te verwachten. [BTO 2003.039, KWR] beschrijft op basis van een landelijke storingsdatabase, dat de storingsgevoeligheid van een AC leiding naast de afnemende reststerkte van de buiswand ook wordt beïnvloed door:

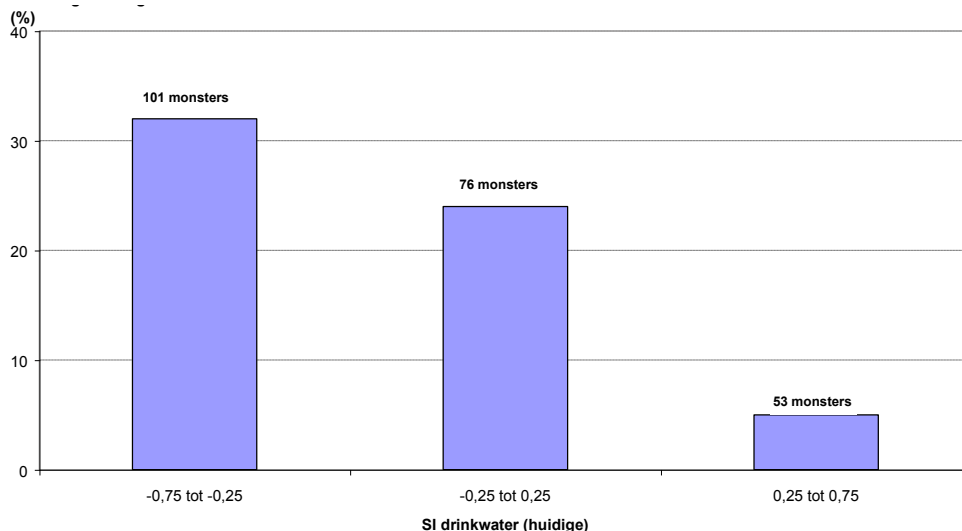
- de werkdruk en drukklasse van de leiding;
- het optreden van plotselinge drukverschillen;
- externe drukverschillen door bijvoorbeeld zwaar verkeer; onregelmatige zettingen;
- de gevoeligheid voor vorst;
- de oorspronkelijke kwaliteit van de AC buis.

2.4.1. Verzadigingsindex (SI) van drinkwater

Bij drinkwaterleidingen speelt de verzadigingsindex (SI) van het drinkwater een belangrijke rol. De SI is een maat voor het oplossen en neerslaan van calciumcarbonaat [BTO 2003.039, KIWA]. Bij waarden lager dan -0,2 kan uitloging plaatsvinden.

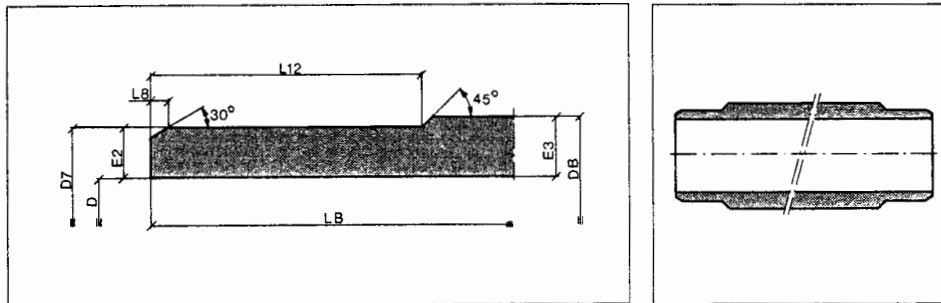
Voor afvalwater is een dergelijk onderzoek naar de relatie tussen de aard van het afvalwater en de aantasting nog nooit uitgevoerd.

Figuur 8.
Mate van uitloging van de inwendige leidingwand in relatie tot de SI van het drinkwater bij 230 meetpunten. De metingen laten voor drinkwaterleidingen duidelijk zien dat bij een lage SI de kans op uitloging groter is dan bij een hogere SI [H2O-Online / 9 januari 2015]



2.5 Buiseigenschappen

Eternit is verreweg de meest voorkomende producent van AC buizen in Nederland. We beschrijven daarom in deze paragraaf de buisfiguraties van deze fabrikant [Eternit, Leveringsschema buizen, 1981]. Eternitbuizen voor rioolpersleidingen werden geleverd met inwendige diameters van 80 mm tot 2500 millimeter. Afvalwaterpersleidingen werden in de drukklassen 4 ato (4 barg), 6 ato en 8 ato geleverd. Voor hogere drukken (tot 12 ato) kon men drinkwaterbuizen gebruiken. De proefdrukken in de fabriek waren tweemaal de toelaatbare werkdruk (bij buizen tot 400 mm tenminste tweemaal).



Figuur 9.
Buispecificaties van een 4 ato
buis voor rioolpersleidingen
[Eternit, Leveringsschema
buizen, 1981]

WERKDRUK 0,4 Mpa (4 ato)								
D	LB	L8	L12	E2	E3	DB	D7	Gewicht per stuk
80	4000	5	130	9	11	102	98	26
100	4000	6	150	10	12	124	120	35
125	4000	6	150	10	12	149	145	44
150	5000	6	150	10	12	174	170	61
200	5000	6	150	11	13	226	222	87
250	5000	6	150	12	14	278	274	116
300	5000	6	150	12	15	330	324	148
350	5000	8	180	12	15	380	374	172
400	5000	8	180	14	18	436	428	236
450	5000	8	180	15	19	488	480	280
500	5000	8	180	18	22	544	536	360
600	5000	11	210	20	25	650	640	490
700	5000	11	210	21	26	752	742	590
800	5000	15	250	24	29	858	848	750
900	5000	15	250	27	33	966	954	970
1000	5000	15	250	30	36	1072	1060	1170
1100	5000	15	250	32	39	1178	1164	1465
1200	5000	25	170	35	42	1284	1270	1720

tabel 44

2.5.1 Verbindingen

De verbindingen in een AC transportleiding bestaan normaliter uit komeetmoffen. Hierbij zijn beide buiseinden uitgevoerd als spie-einden. De moffen zijn gemaakt van AC en dus ook gevoelig voor aantasting. In de mof werden enkele groeven gefreesd, waarin rubberringen met behulp van glijpasta konden worden geplaatst.

In leidingen die zijn aangelegd voor 1965, zijn natuurrubber afdichtingen toegepast die als gevolg van biologische processen kunnen degraderen [BTO2021.032]. Na 1965 zijn synthetische rubberringen toegepast, bekend onder de naam Styreen Butadieën Rubber (SBR) [Eternit, productinformatie]. Deze synthetische rubberringen degraderen praktisch niet.

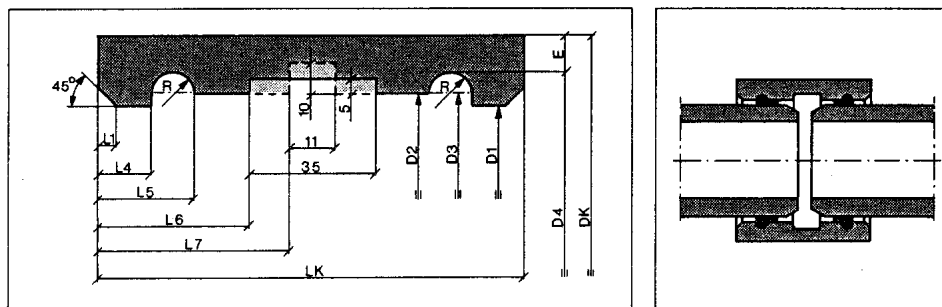
2.5.1 Coatings

Coatings, asfaltbitumen, epoxy en steenkoolteerpek zijn fabrieksmatig zowel in- als uitwendig aangebracht (maar vaker uit- dan inwendig). Ze hebben een beschermende functie tegen agressief grond- en afvalwater. De coating is zwart van kleur. De coating werd niet standaard aangebracht op de buizen. Eternit stelde [Eternit, productinformatie] dat de buis onder de eisen die werden gesteld door de zuiveringsschappen (pH niet beneden de 6), geen coatingbescherming nodig had.

[BTO 2014.016] concludeerde dat uitwendige coating (coating van asfaltbitumen of koolteer als beschermende laag tegen agressieve grond en agressief grondwater) die in goede staat is, tot verminderde uitwendige uitloging leidt.

M.J. Oomen geeft aan dat de ervaring is dat in ongeveer de helft van de inspecties aan de buitenzijde een coating wordt waargenomen [Expert meeting, 2020].

Figuur 10.
Specificaties van een
komeetmof voor
rioolpersleidingen [Eternit,
Leveringsschema buizen,
1981]



WERKDRUK 0,4 Mpa (4 ato)															Gewicht per stuk	Maat rub. ring
D	LK	L1	L4	L5	L6	L7	R	E	DK	D1	D2	D3	D4			
80	110	5	13	25	37,5	—	6	10	138	100	104	106	118	2	121	
100	130	5	13	27	47,5	—	7	11,5	167	124	126	130	144	3	150	
125	130	5	13	27	47,5	—	7	11,5	192	149	151	155	169	3	177	
150	130	5	13	27	47,5	—	7	11	216	174	176	180	194	3	198	
200	130	5	13	27	47,5	—	7	14	274	226	228	232	246	5	253	
250	130	5	13	27	47,5	—	7	13	324	278	280	284	298	5	306	
300	130	5	13	27	47,5	—	7	13,5	375	328	330	334	348	6	357	
350	160	6	19	35	62,5	—	8	15,5	432	378	381	385	401	10	411	
400	160	6	19	35	62,5	—	8	18,5	492	432	435	439	455	12	473	
450	160	6	19	35	62,5	—	8	21	549	484	487	491	507	15	519	
500	160	6	19	35	62,5	—	8	22,5	608	540	543	547	563	20	573	
600	160	6	19	35	—	74,5	8	26,5	720	644	647	651	667	25	690	
700	190	6	22	41	—	89,5	9,5	23,5	821	746	750	755	774	35	791	
800	230	7	26	48	—	109,5	11	26,5	938	854	856	863	885	50	910	
900	230	7	26	48	—	109,5	11	29,5	1050	960	962	969	991	75	1012	
1000	230	7	26	48	—	109,5	11	31,5	1160	1066	1068	1075	1097	85	1120	
1100	230	7	26	48	—	109,5	11	32	1265	1170	1172	1179	1201	95	1230	
1200	270	10,5	30,5	58,5	—	129,5	14	35	1384	1277	1286	1286	1314	125	1355	

tabel 51

2.6 Afgifte van asbestvezels

In het kader van BTO-onderzoek door Kiwa zijn metingen uitgevoerd naar de vezelafgifte in drinkwaterleidingen. Over het algemeen werd vezelafgifte in het onderzoek niet aangetoond [BTO 2003.039, KIWA].

2.7 Inspecties

In deze studie gebruiken we als basis de resultaten van inspecties, uitgevoerd door M.J. Oomen en Acquaint. M.J. Oomen voert lokaal aan de buitenzijde van de leiding, vaak op enkele buizen, grondradarmetingen uit. Acquaint voert inwendig inspecties uit over de gehele lengte van de leiding via *intelligent pigs*. De inspectiemethodieken die beide partijen hanteren, worden in deze paragraaf besproken.

2.7.1 Inspectietechnieken

pH-test en Grondradar van M.J. Oomen

Om de degradatie van AC leidingen te meten, zijn de testen op basis van een pH-indicator (fenolftaleïne in het verleden en tegenwoordig thymolftaleïne) de langst gebruikte. De grondradartechniek wordt sinds 2003 toegepast, na het verschijnen van [BTO_2003.039], waarin de twee technieken met elkaar werden vergeleken. Beide technieken meten de dikte van het niet-gedegreerde en het gedegreerde deel van de wand.

Wanneer AC degradeert via uitloging, daalt de pH in het poriewater. Door de pH-indicator aan te brengen op een vers AC buisbreukvlak, wordt dit zichtbaar. Fenolftaleïne werd in Nederland tot 2013 gebruikt, daarna werd bij voorkeur thymolftaleïne gebruikt uit gezondheidsoverwegingen [BTO 2019.010, KWR].

Fenolftaleïne is kleurloos bij pH<8,2, en verkleurt naar roze wanneer de pH hoger wordt.

Thymolftaleïne verkleurt van kleurloos bij pH<9,4 naar blauw.

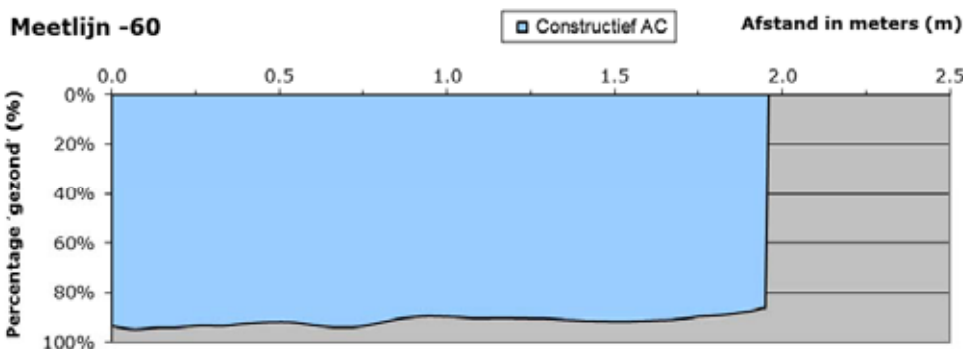


Figuur 11. Voorbeeld van een test met fenolftaleïne, aangebracht op een vers AC leidingbreukvlak. In de test (bron: (geanonimiseerd) Oomen inspectierapport) is een fenolftaleïne test uitgevoerd op een klein breukvlak; de totale wanddikte bedroeg 22,97 mm; hiervan is op basis van de fenolftaleïne 1,88 mm uitgelopen. Oftewel de resterende gezonde wanddikte is 21,09 mm (91,8%).

Het meetprincipe van grondradar berust op reflectie van elektromagnetische golven door materiaalovergangen in de wand van de leiding. M.J. Oomen heeft het overgrote deel van de grondradarinspecties uitgevoerd aan AC leidingen in de afgelopen twintig jaar. Zowel op drinkwater- als afvalwaterleidingen. Bij een meting vanaf de buitenzijde van de buis, wordt deze opgegraven. Voorafgaand aan de inspectie, voert het bedrijf een omtrekmeting (met een stalen meetlint of krompasser) uit om de daadwerkelijke uitwendige diameter vast te stellen. Hierna wordt met krijt een meetplan op de leiding aangebracht. Dit meetplan bestaat uit meerdere meetlijnen, parallel aan de buis. Metingen worden normaliter uitgevoerd aan de hand van een meetlijn op de kruin van de buis. Vanuit deze lijn worden meerdere lijnen met een onderlinge afstand van 10 cm getrokken in de richting van 6 uur (onderste punt van de buis), afhankelijk tot hoever de leiding is ontgraven.



Figuur 12. Met krijt aangegeven meetlijnen uit twee (geanonimiseerd) Oomen inspectierapporten. Links is een meting van een uitgenomen AC buis op het maaiveld. Rechts een nog in werking zijnde AC buis. Duidelijk zichtbaar is rechts dat de meetlijnen lopen van ongeveer 8 tot 4 uur, de onderzijde van de AC buis ligt om de stabiliteit van de buis te borgen, nog ingebed in het zandbed.



Figuur 13. Typische figuur uit een grondradarinspectierapport van M.J. Oomen. De gezonde wanddikte in blauw varieert over de buis over een lengte van ruim 2 m rond de 90%.

Het inspectieapparaat doet gemiddeld elke cm een meting, een buis van bijvoorbeeld 4 m heeft dus circa 400 meetwaarden per meetlijn [Oomen, 2020]. M.J. Oomen geeft in de rapportages aan of de geteste buis gecoat is. Deze coating is visueel herkenbaar als gecoat als deze zwart is [Oomen, 2020].

[BTO_2003.039] concludeerde in 2003 dat bij een vergelijking van de twee methoden de fenolftaleïne test en de grondradartechniek uitstekende methoden zijn om inzicht te krijgen in de mate van uitloging van AC leidingen.

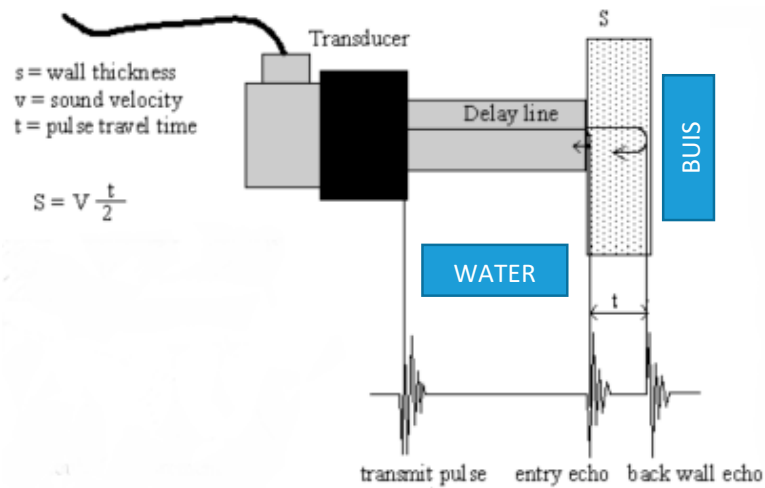
De grondradarinspecties van M.J. Oomen geven als resultaat de totale uitlogging van de buiswand. Dit is een sommatie van uitlogging aan de binnen- en buitenzijde. De meting geeft niet aan of de uitlogging zich aan de binnen- of buitenzijde bevindt. M.J. Oomen geeft aan dat leidingbeheerders nooit kenbaar hebben gemaakt dat zij hier behoefte aan hebben.

Ultrasoonmetingen door Acquaint

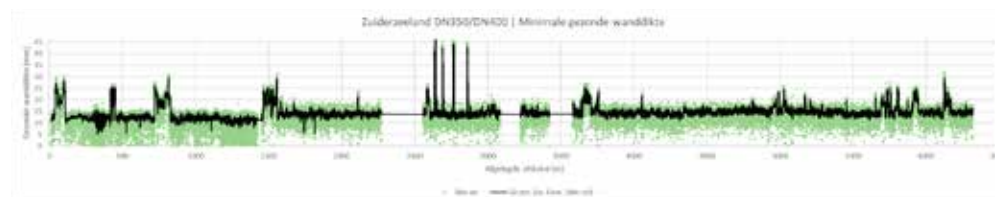
Acquaint brengt aan het begin van de leiding een *intelligent pig* meetinstrument in, dat aan het eind van de leiding weer wordt opgevangen. H₂S-aantasting en uitlogging worden gemeten met de ultrasoonstechniek. Deze techniek is gebaseerd op het detecteren van geluidsreflecties door variaties in het te meten materiaal. Het tijdsverschil tussen het versturen van het signaal en het ontvangen van de reflecties wordt geregistreerd [Acquaint, final report | meetprotocol, geanonimiseerd]. Over het algemeen is de geluidssnelheid (materiaaleigenschap) van de te meten materialen en vloeistoffen bekend, waardoor de wanddikte te bepalen is. Afwijkingen in de geluidssnelheid zijn mogelijk, daarom maken verificatie-inspecties in de vorm van omtrekmetingen en boorkernonderzoek vaak onderdeel uit van het onderzoek.

De pig gebruikt tegenwoordig 16 ultrasoon sensoren om de wanddikte van de leiding te bepalen. Deze sensoren kunnen ook afwijkingen meten, zoals de tangentiële deformatie (ovaliteit). Verder bevat de pig ook traagheidsensoren (IMU). Deze bepalen de locatie van het tracé in Rijksdriehoekskoördinaten. Deze sensoren worden ook gebruikt bij het vaststellen van axiale deformatie en hoekverdraaiing van verbindingen.

Figuur 14.
Principe ultrasoonmeting,
bron [Acquaint, final report |
meetprotocol,
geanonimiseerd]



Figuur 15.
Voorbeeld van de weergave
van de gezonde wanddikte
over de lengte van de leiding.
In de grafiek wordt per
omtrekmeting van de 8
sensoren de hoogste waarde
van uitlogging gerapporteerd.
De zwarte trendlijn is daar
een gemiddelde van. Bron
[Acquaint, final report |
meetprotocol,
geanonimiseerd]

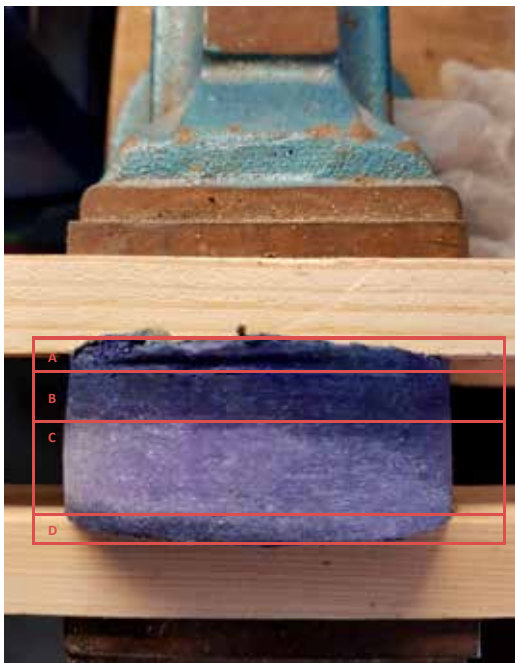


Acquaint mat en rapporteerde tot voor kort, net zoals M.J. Oomen, de totale uitlogging van de buiswand en dus niet of deze zich aan de binnen- of buitenzijde bevindt. Sinds 2021 rapporteert Acquaint tevens of de uitlogging zich aan de binnen- of buitenzijde bevindt.

Acquaint rapporteert de gedetailleerde resultaten van de meting in een zogenaamde *Feature List*. In dit Excel-bestand worden voor het aspect uitlogging de volgende waarden inzichtelijk:

- gemeten afgelegde weg vanaf het nulpunt;
- gemeten lengte van de buis of de appendage;
- gemeten x-, y-, z- coördinaten;
- originele wanddikte uit de leveranciersinformatie;
- gemeten gemiddelde resterende en uitgeloopte wanddikte [mm];
- gemeten minimale resterende en uitgeloopte wanddikte [mm];
- gemeten gasinsluitingen.

De locatie van de meetpunten wordt bepaald met traagheidsensoren (IMU).



Figuur 16.
Boorkernonderzoek door Acquaint, uitgevoerd ter verificatie na een in-line inspectie. Bron [Acquaint, final report | meetprotocol, geanonimiseerd]

Naast de inline inspectietools gebruikt Acquaint de PipeScanner, waarbij met dezelfde meettechniek een AC buis van buitenaf kan worden bemeaten.

[BTO 2021.028] concludeert dat de gebruikte ultrasoonmethode “als geheel niet feilloos in staat is om op een robuuste manier metingen te nemen en te verwerken tot correcte wanddikteprofielen.” De aanbeveling was dat het een veelbelovende niet-destructieve techniek is om AC restwanddikte te meten, maar dat de techniek “nog niet robuust genoeg is om de uitkomsten blind te vertrouwen.”

2.7.2 Vergelijking inspectietechnieken

[BTO 2019.010, KWR] beschrijft de toepassing van röntgentomografie (CT-scans) voor de toestandmeting van AC leidingen. De meetmethode wordt in de studie als zeer compleet (de gehele buiswand omvattend) en nauwkeurig beoordeeld.

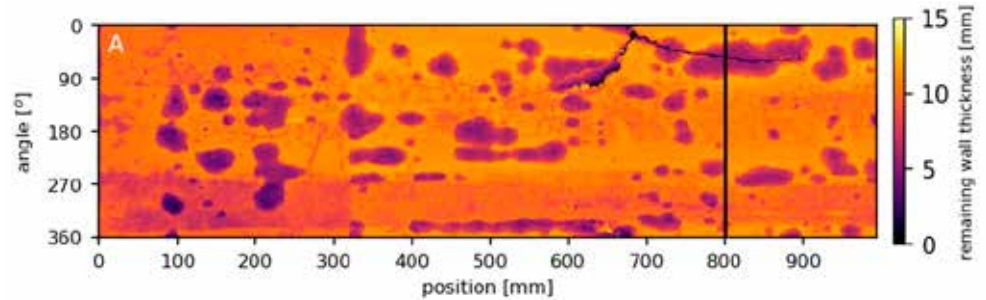
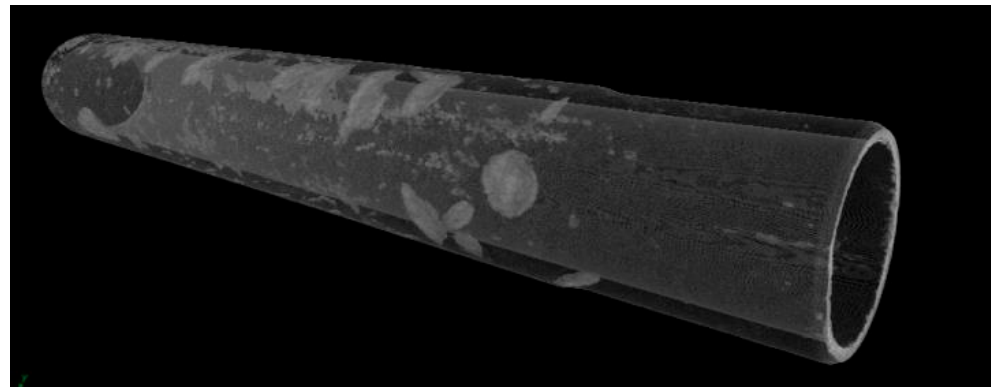
Deze techniek is in de studie vervolgens vergeleken met metingen met de pH-indicator thymolftaleïne en grondradar. De resultaten van de thymolftaleïne-metingen komen goed overeen met de CT-scans. Lengteprofielen van CT-scans zijn vergeleken met dezelfde lengteprofielen, gemeten met grondradar. Hier bleek dat de grondradartechniek de uitloging van buisdelen sterk onderschat, zowel bij homogene uitloging als bij inhomogeniteiten, de plekken waar de grootste uitloging wordt gemeten. Met name deze inhomogeniteiten zijn bepalend voor de sterkte van de leiding als geheel.



Figuur 17.
Een CT-scan maakt honderden doorsneden (om de 1,5 mm) van een buis; de aantasting, met een lagere dichtheid dan het gezonde materiaal, is duidelijk zichtbaar als donkere vlekken. (Afbelding uit [BTO 2019.010, KWR]).

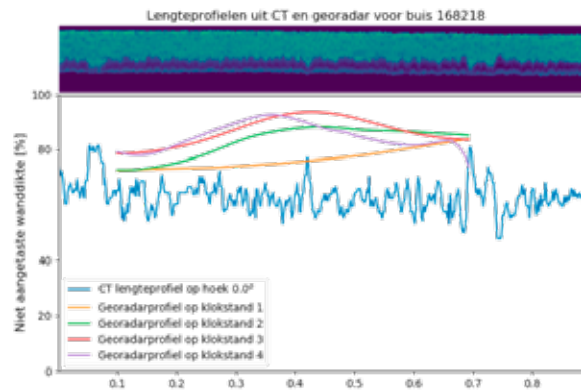
De CT-scans laten zien dat buizen over het algemeen een grillig uitlogings-patroon hebben.

Figuur 18.
Samengesteld lengteprofiel van honderden CT-scans [KWR 2020]. Daarin is aantasting duidelijk zichtbaar als lichte vlekken. De aantasting is niet homogeen en manifesteert zich als een 'gatenkaas'-patroon



Opvallend in het onderzoek was dat de figuren met uitloging in de inspectierapporten van de grondradarmetingen veel vloeiender van aard zijn en veel minder variatie vertonen dan de CT-profielen [BTO 2019.010, KWR]. De scherpe pieken in de CT-profielen die overeenkomen met de vlekken van inhomogene aantasting op de buitenwand, ontbreken in de radarprofielen volledig. [BTO 2019.010, KWR] concludeerde dat de radarmetingen minder gevoelig lijken voor plekken met lokale aantasting en de mate van uitloging systematisch onderschatten. Dit kan leiden tot een overschatting van de restwanddikte.

Figuur 19.
Ter illustratie: vergelijking van lengteprofielen gemeten met grondradar en met CT [BTO 2019.010, KWR]



[BTO 2019.010, KWR] concludeerde na een visuele interpretatie van de CT-scans tevens dat de interne uitloging bij de geteste drinkwaterbuizen in de meeste gevallen groter was dan de externe uitloging. Dit is een indicatie dat voor dergelijke leidingen het effect van de drinkwaterkwaliteit groter is dan het effect van de bodem. Een dergelijk patroon werd ook al vastgesteld in

[BTO 2016.094, KWR].

Op basis van ervaringen tijdens het CT-onderzoek werd geconcludeerd dat de ultrasoonmetingen van Acquaint in vergelijking met de CT-scans soms een 1 op 1 match en soms grote afwijkingen vertoonden ten opzichte van het werkelijke aantastingsprofiel [Expert meeting KWR, 2022]. Dit werd geweten aan, hoewel de natuurkundige aanpak in principe wel nauwkeurig is, de verwerking van het meetsignaal.

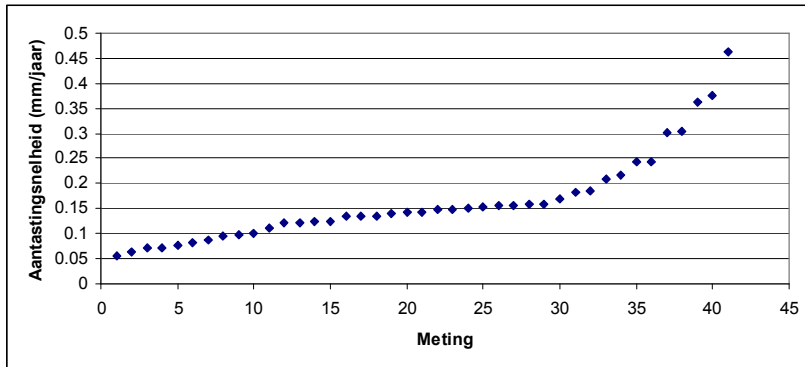
2.7.3 Gemiddelde gemeten uitloging

In 2011 heeft KWR de grondradarinspecties van 41 AC buizen van Waterschap De Dommel vergeleken [KWR2011.102, KWR]. Alle inspecties waren uitgevoerd door M.J. Oomen. De nominale diameters varieerden van 80 tot

600 mm, de aanlegjaren van 1966 tot 1985. De verdeling van de buizenfabrikanten was Toschi (40%) Eternit (40%) en onbekend (20%). Slechts 1 van de 41 onderzochte buizen (2%) kreeg bij de hoogste veiligheidsklasse conform NEN 3650 een restlevensduur toegekend van -1 tot 3 jaar. De restlevensduur van de andere onderzochte buizen bedroeg minimaal 15 jaar, maar over het algemeen meerdere decennia.

De agressiviteit van het afvalwater was niet bekend, in de tijd werd de aantasting als lineair beschouwd. De aantastingsnelheden variëren bij de

41 buizen van 0,06 mm/jaar tot 0,5 mm/jaar met een gemiddelde van 0,2 mm/jaar. Dit zijn waarden die ook in drinkwatersystemen gevonden worden.



Figuur 20.
De aantastingsnelheid (mm/jaar) van 41 met grondradar geteste AC buizen, afkomstig uit afvalwaterpersleidingen van Waterschap De Dommel [KWR2011.102, KWR]

2.8 Onderzoeksvragen

De literatuur en de expertinterviews geven een breed en theoretisch beeld van de mechanismen die leiden tot uitloging van AC afvalwaterpersleidingen. Veel van de literatuur is niet specifiek gericht op afvalwaterpersleidingen, maar op buizen uit drinkwaternetten. De vraag blijft dan ook staan of de beschreven mechanismen herkenbaar zijn bij de afvalwaterpersleidingen. Dit leidt tot de vraag of er op basis van de verzamelde inspectiedata, een uitspraak kan worden gedaan over de volgende drie onderzoeksvragen:

1. Welke specifieke kenmerken heeft de uitloging van AC afvalwaterpersleidingen?
2. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de binnenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?
3. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de buitenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?

In paragraaf 3.2 worden hieraan deelvragen toegevoegd op basis van de onderzoeksmethodieken van de datasets.

3 Onderzoeksmethodiek

Het doel van dit onderzoek was om de belangrijkste degradatie-oorzaken van AC afvalwatertransportleidingen in beeld te brengen. Dit deden we door een big data-analyse van de uitgevoerde inspecties in de afgelopen twintig jaar. Daarvoor hebben we grote hoeveelheden inspectiedata verzameld en gecombineerd met leiding- en omgevingsfactoren. Voor dit onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de inspectieresultaten van M.J. Oomen en Acquaint.

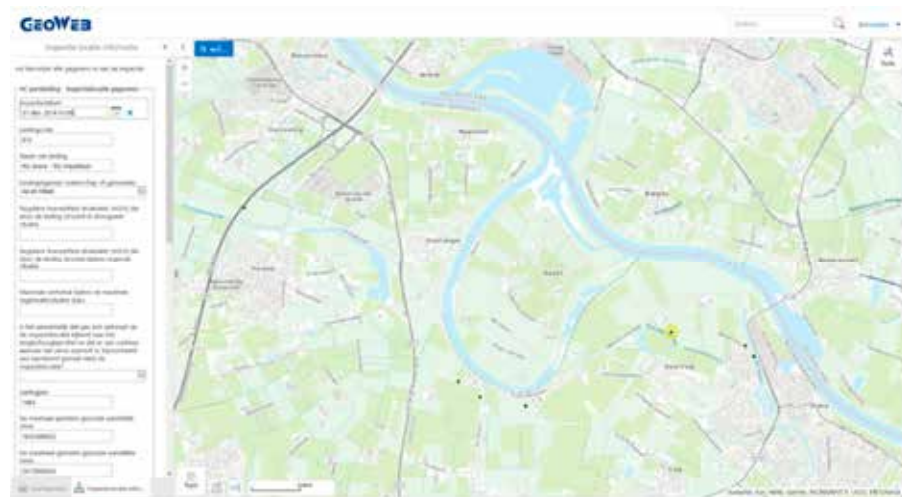
3.1 Datasets

We hebben voor ons onderzoek gebruik gemaakt van 3 verschillende datasets. In de volgende paragrafen beschrijven we de kenmerken hiervan.

3.1.1 Dataset I: Inspectiedata M.J. Oomen, inclusief leidingkenmerken

Deze dataset bevat de informatie van 167 inspecties van afzonderlijke buizen, uitgevoerd door M.J. Oomen. De inspecties van Dataset I zijn uitgevoerd van 1999 tot 2021. Per afvalwatertransportleiding zijn vaak meerdere buizen geïnspecteerd. De informatie van de 167 inspecties is via een webportal in de webviewer GeoWeb ingebracht door de 7 waterschappen: Waterschap Brabantse Delta, Waterschap Rivierenland, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Scheldestromen, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Waterschap Hollands Noorderkwartier, Waterschap Hollandse Delta, en als achtste leidingbeheerder het Vlaamse Aquafin.

Figuur 21.
De informatie van de 167 inspecties uitgevoerd door M.J. Oomen is via een webportal in de webviewer GeoWeb ingebracht door 7 Nederlandse waterschappen en het Vlaamse Aquafin.

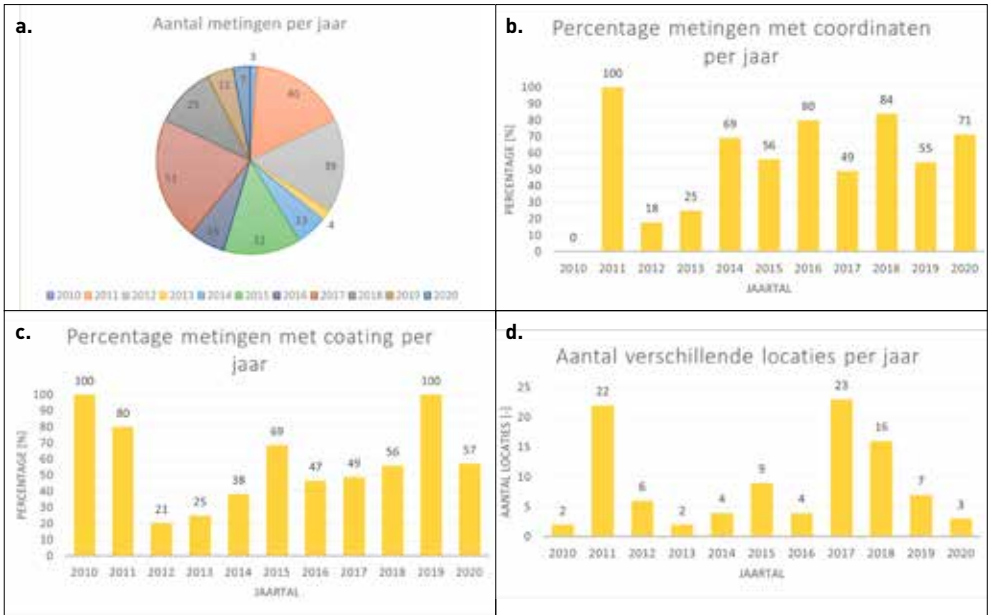


De waterschappen hebben, naast de resultaten van de inspecties (de inspectiedatum, de mate van uitloging, de klokstand van de uitloging), tevens de leidingkenmerken ingevuld. Dit betrof:

- nominale en binnendiameter;
- originele wanddikte;
- aanlegjaar;
- leverancier;
- werkdruk.

3.1.2 Dataset II: Inspectiedata M.J. Oomen uit pdf-rapporten

De tweede dataset bestaat uit de resultaten van 240 inspecties van M.J. Oomen. De dataset is geëxtraheerd uit 99 pdf-rapporten van de inspecties, uitgevoerd tussen 2008 en 2020 op verschillende locaties in Nederland. De pdf-rapporten zijn door M.J. Oomen aan ons geleverd. De 240 inspecties uit dataset II overlappen deels met de inspecties van dataset I. Van de 240 inspecties konden er aan 144 inspecties een locatie in RD-coördinaten worden verbonden. Bij 132 inspecties (55%) is er coating op de buis aangetroffen. De statistieken van de inspecties zijn samengevat in figuur 22.

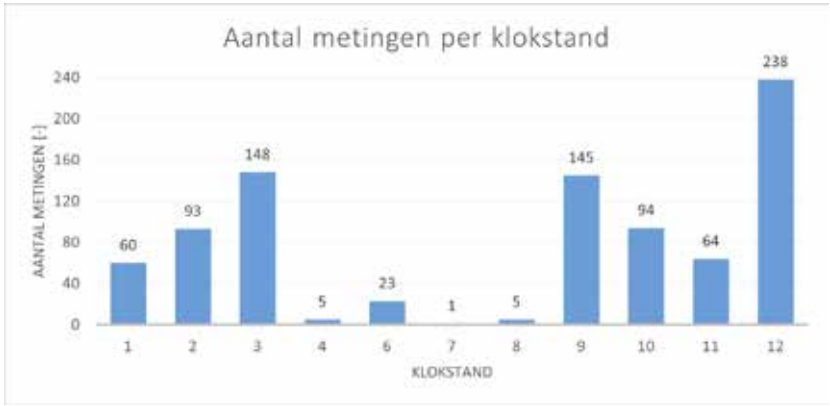


Figuur 22. Het aantal metingen dat per jaar is opgenomen in de dataset is weergegeven in (a). De meeste metingen in de dataset stammen uit 2017. Op basis van de hoeveelheid metingen per jaartal is het percentage aan metingen met RD-coördinaten (b) en het percentage aan metingen waar coating is gevonden (c) berekend en uitgedrukt met een staafdiagram. Tot slot is het aantal inspecties dat per jaar is uitgevoerd, uitgezet in (d).

Uit de pdf-rapporten hebben we de volgende data gebruikt:

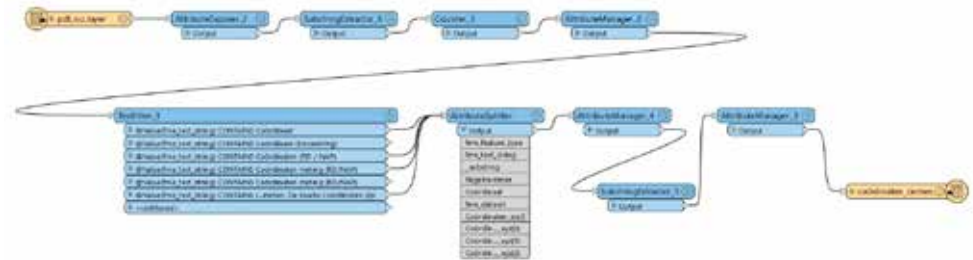
- minimale, maximale en gemiddelde wanddikte per klokstand;
- originele wanddikte per klokstand;
- aanwezigheid van coating op de leiding;
- RD-coördinaten.

Verreweg de meest geïnspecteerde klokstand is 12 uur, deze is bij 238 van de 240 inspecties opgemeten, zie figuur 23. In ruim de helft van de metingen worden de beide zijanten (3 en 9 uur) gemeten. Gemiddeld gezien over alle klokstanden en alle metingen, is er een gemiddelde uitloging gemeten van 3,1 mm en een maximale uitloging van 4,2 millimeter.



Figuur 23. Spreiding van de metingen over de geïnspecteerde klokstanden van 2008-2020.

De dataset is uit de pdf-rapporten geëxtraheerd met behulp van FME, zie Figuur 24.



Figuur 24. Voorbeeld van een FME-tool voor het uitlezen van de RD-coördinaten. Met behulp van verschillende transformers wordt de data vergaard.

3.1.3 Dataset III: Inspectiedata Acquaint

Dataset III bestaat uit de resultaten van de inline inspecties, uitgevoerd door het inspectiebedrijf Acquaint.

In de periode 2021-mei 2022 zijn leidingbeheerders van verschillende waterschappen benaderd om Acquaint meetresultaten te verzamelen. In totaal hebben we van 27 Acquaint inspecties, gegevens ontvangen van

7 verschillende waterschappen. Van enkele inspecties waren de opgestuurde gegevens niet bruikbaar voor verdere onderzoek. Bij 7 inspecties ontbrak er informatie over buiswanddegradatie, coördinaten of de originele wanddikte. Uiteindelijk zijn gegevens van 20 inspecties van 7 verschillende waterschappen meegenomen in de huidige analyse, zie Figuur 25. Deze inspecties zijn verricht in de jaren 2017 tot en met 2021.

Figuur 25.
Geografisch overzicht van de met in-line inspecties onderzochte leidingen uit dataset III. De rode lijnen geven de geïnspecteerde leidingen weer. In totaal zijn 20 leidingen meegenomen in dataset III.



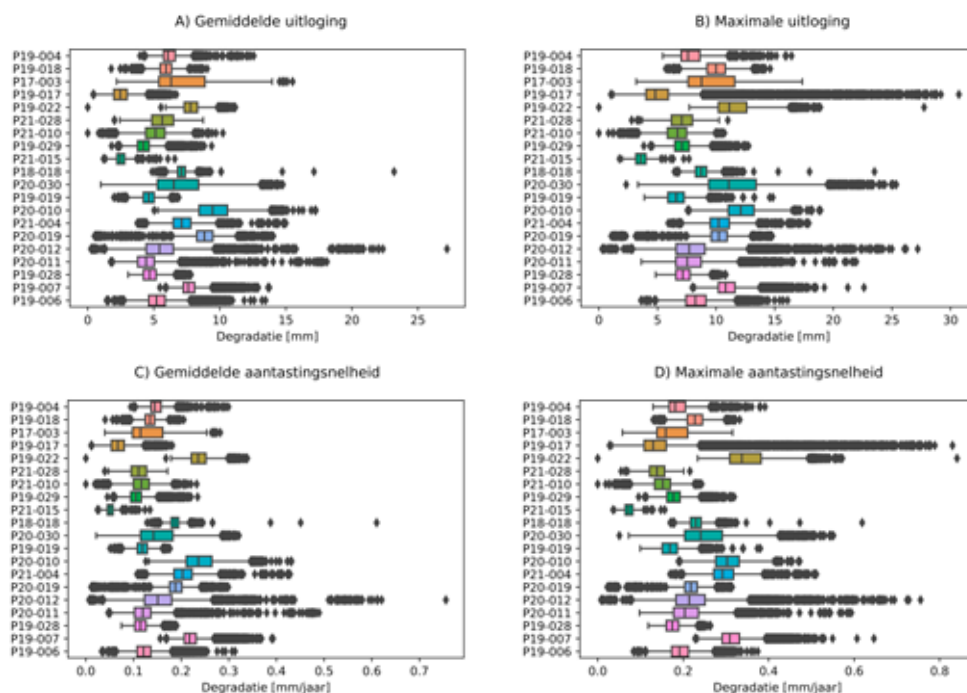
De meetresultaten van de 20 inspecties zijn gerapporteerd en aangeleverd in een feature list in Excel en/of GIS-format, zie Tabel 1. De aangeleverde feature list bevat het gemeten degradatieprofiel van de geïnspecteerde leiding. Informatie van het degradatieprofiel is gedefinieerd in het pijpboek en/of het gedetailleerde pijpboek. Het pijpboek is een samengevatte versie van het gedetailleerde pijpboek. Voor enkele inspecties is alleen informatie ontvangen van het pijpboek of het gedetailleerde pijpboek.

Van alle inspecties, behalve de inspecties met projectnaam P21-015 en P21-028, zijn de meetpunten van het gedetailleerde pijpboek meegenomen in de huidige studie. Bij de overige inspecties is geen gedetailleerd pijpboek aangeleverd. Voor deze inspecties zijn de meetpunten in het pijpboek gebruikt. Dataset III bevat in totaal 144.083 meetpunten. De volgende eigenschappen uit het degradatieprofiel zijn gebruikt voor het huidige onderzoek: buismateriaal, afgelegde afstand, x-coördinaat, y-coördinaat, z-coördinaat, originele wanddikte, gemiddelde uitloging (verschillende sensoren) en maximale uitloging (verschillende sensoren).

Waterschap	Project naam	Tracé	Aangeverde format meetresultaten	Aantal meetpunten pijp boek (-)	Aantal meetpunten gedetailleerd pijp boek (-)	Lengte geïnspeteerde leiding (m)	Nominale diameter (mm)	Aanleg jaar (-)
Aa en Maas	P19-006	Erg-Ulden	GIS bestand	1056	10653	5309	500	1976
Aa en Maas	P19-007	t Sneepke-RWZ	GIS bestand	1199	11502	5772	700	1984
Aa en Maas	P19-028	Nuland-Donkerweg	GIS bestand	499	4772	2382	250	1978
Aa en Maas	P19-029	Geffen-donkerweg	GIS bestand	483	4688	2333	250	1979
Aa en Maas	P20-011	Mill-Achterdijk	GIS bestand	NoData	6775	3416	450	1983
Aa en Maas	P20-012	Cuijk-Land van Cuijk	GIS bestand	1116	13028	5440	600	1984
Aa en Maas	P20-019	Maren Kessel-Lith	GIS bestand	963	8748	4379	200	1973
Aa en Maas	P21-004	Boxmeer-Sneepke	GIS bestand	441	4120	2086	500	1986
Brabantse Delta	P20-010	Oosterhout-Oostpolderweg	Excel en GIS bestand	361	3333	1684	400-600	1980
Brabantse Delta	P21-015	Oud Gastel-Roosendaal	Excel en GIS bestand	1352	NoData	7067	400-600	1972
Dreents Overijsselse Delta	P19-004	Oosterboer-Meppel	GIS bestand	450	4553	2250	600	1977
Dreents Overijsselse Delta	P19-018	Wittelte-Dieverbrug	GIS bestand	846	7677	3815	450	1975
Dreents Overijsselse Delta	P21-010	Havelte-Uffelte	GIS bestand	985	6183	2983	300	1977
Limburg	P17-003	Veldien-Venlo	Excel	NoData	8669	4366	500	1962
Limburg	P19-017	Meerlo-Oostrum	Excel	1339	12578	6465	700	1982
Limburg	P19-022	Munstergeleen-Geleen	Excel	399	4267	2104	500	1986
Rijn en IJssel	P19-019	Bathmen-Holten	Excel en GIS bestand	1957	19613	9569	400	1980
Vallei en Veluwe	P20-030	Vaassen-Apeldoorn	Excel	228	10984	5540	600-700	1974
Vallei en Veluwe	P21-028	Putten-Ermelo	Excel	712	NoData	3414	500-600	1970
Zuidereeland	P18-018	Almere	Excel en GIS bestand	720	6418	3844	600	1980

Tabel 1. Overzicht van alle inspecties uit dataset III. De hoeveelheid meetpunten per inspectie is weergegeven voor het pijpboek en gedetailleerde pijpboek. Ter illustratie zijn enkele leidingkenmerken weergegeven.

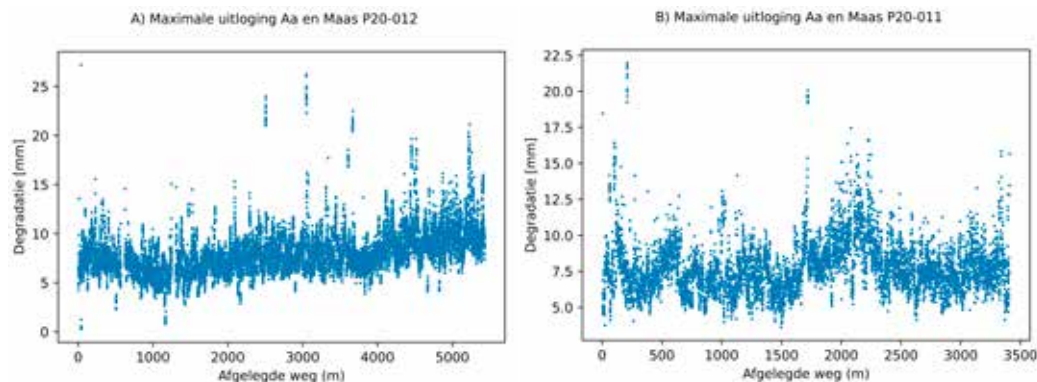
In Figuur 26 A en B zijn box-plots weergegeven die de spreiding van de gemiddelde en maximale uitloging per inspectie illustreren. De uitloging voor zowel de gemiddelde als de maximale degradatie varieert sterk over de verschillende inspecties. Het gemiddelde van de gemiddelde en maximale gemeten uitloging bedraagt 5,8 en 8,6 millimeter. De gemiddelde uitloging varieert tussen de 0 en 27,1 mm en de gemeten maximale uitloging varieert van 0 tot en met 30,2 millimeter. In Figuur 26 C en D zijn box-plots weergegeven van de aantastingsnelheid voor de verschillende inspecties. Hierbij wordt uitgegaan van een lineaire aantasting van het materiaal. Het gemiddelde van de gemiddelde en maximale aantastingsnelheid bedraagt respectievelijk 0,14 en 0,21 mm per jaar.



Figuur 26. Box-plots van alle datapunten van dataset III per inspectie voor de gemiddelde uitloging (A) en maximale uitloging (B). Daarnaast wordt de gemiddelde (C) en maximale (D) degradatiesnelheid per jaar weergegeven.

In bijlage 1 en 2 zijn de degradatieprofielen (gemiddelde en maximale degradatie) weergegeven van alle inspecties in dataset III. Figuur 27 geeft de maximale degradatieprofielen weer van inspectie P20-011 en P20-12. De degradatieprofielen illustreren uitloging over de gehele leiding door verouderingsprocessen. In sommige gevallen is er een duidelijke trend aanwezig wat veroorzaakt kan worden door omgevingsfactoren, zoals verandering in grondsoort. Verder zijn grote lokale uitlogingspieken ten opzichte van de gemiddelde uitloging-trend zichtbaar bij verschillende inspecties. Dit suggereert dat de processen die hier van invloed zijn op degradatie erg lokaal zijn. Bijvoorbeeld als gevolg van H2S-aantasting bij een kruising met wegen of watergangen.

Figuur 27.
 Degradatieplots van de gemeten maximale uitloging van inspectie P20-012 (A) en P20-011 (B) van Waterschap Aa en Maas. De y-as toont de mate van maximale uitloging en de x-as de afgelegde weg vanaf de start van de in-line inspectie.



3.1.4 Leidingdata

Voor de inline inspecties uit dataset III zijn karakteristieken van de geïnspecteerde leidingen opgevraagd bij de leidingbeheerders. De eigenschappen van de leidingen zijn mogelijk van invloed op het degradatieproces van de AC leidingen. De volgende aanvullende gegevens van de inline inspecties zijn opgevraagd bij de waterschappen: locatie van de ontluuchters, droogweerafvoer in m³/h (DWA) en regenwaterafvoer in m³/h (HWA). Met de DWA wordt de daadwerkelijke verpompte droogweerafvoer bedoeld en de HWA is de daadwerkelijke verpompte regenwaterafvoer. Een overzicht van de verkregen data is weergegeven in Tabel 2. De betrouwbaarheid van de deze gegevens is echter discutabel. In sommige gevallen zijn alle appendages opgestuurd van de leiding in GIS-format in plaats van alleen de ontluuchters. De ontluuchters zijn vrijwel geheel uit de dataset gefilterd. Echter kan niet worden uitgesloten of daadwerkelijk alleen de ontluuchters eruit zijn gefilterd. Daarnaast verschilt de interpretatie van de definitie van DWA en HWA per waterschap en zelfs binnen de waterschappen.

Tabel 2.
 Overzicht van verkregen leiding informatie van de geïnspecteerde leidingen uit dataset III

Waterschap	Project naam	Tracé	Aantal ontluuchters (-)	DWA (m3/uur)	HWA (m3/uur)
Aa en Maas	P19-006	Erp-Uden	4	400	1400
Aa en Maas	P19-007	t Snepke-RWZI	5	500	3000
Aa en Maas	P19-028	Nuland-Donkenweg	4	110	240
Aa en Maas	P19-029	Geffen-donkerweg	2	110	210
Aa en Maas	P20-011	Mill-Achterdijk	1	300	800
Aa en Maas	P20-012	Cuijk-Land van Cuijk	6	700	2000
Aa en Maas	P20-019	Maren Kessel-Lith	10	18	58
Aa en Maas	P21-004	Boxmeer-Snepke	3	251	1500
Brabantse Delta	P20-010	Oosterhout-Oostpolderweg	2	1000	3400
Brabantse Delta	P21-015	Oud Gastel-Roosendaal	15	160	475
Drents Overijsselse Delta	P19-004	Oosterboer-Meppel	0	NoData	NoData
Drents Overijsselse Delta	P19-018	Wittelte-Dieverbrug	0	171	582
Drents Overijsselse Delta	P21-010	Havelte-Uffelte	3	65	171
Limburg	P17-003	Velden-Venlo	NoData	391	1024
Limburg	P19-017	Meerlo-Oostrum	NoData	48	315
Limburg	P19-022	Munstergeleen-Geleen	NoData	109	624
Rijn en IJssel	P19-019	Bathmen-Holten	8	60-65	330-341
Vallei en Veluwe	P20-030	Vaassen-Apeldoorn	4	200-225	1100-1125
Vallei en Veluwe	P21-028	Putten-Ermelo	NoData	NoData	NoData
Zuiderzeeland	P18-018	Almere	6	NoData	NoData

3.1.5 Bodem Fysische Eenheden Kaart

De Bodem Fysische Eenheden Kaart (BOFEK, geraadpleegd op 23 mei 2022 via <https://www.wur.nl/>), is gebruikt om de relatie tussen grondsoort en uitloging te analyseren. Deze analyse wordt uitgewerkt in hoofdstuk 4.1.10. Deze kaart is dekkend voor heel Nederland en maakt onderscheid tussen 79 verschillende bodemeenheden. Deze verschillende eenheden zijn op hun beurt weer opgesplitst in totaal 368 verschillende bodemprofielen. Voor dit onderzoek is de BOFEK versie 2020 gebruikt en deze is afgeleid van de algemene Bodemkaart van Nederland versie 2020. De vertaaltabel van de verschillende bodemprofielen is ook beschikbaar via <https://edepot.wur.nl/117853> [Wageningen University. (z.d.). Bodemfysische Eenhedenkaart BOFEK2020].

3.2 Deelvragen

Om de drie onderzoeksvragen uit paragraaf 2.8 te beantwoorden, hebben wij per hoofdvraag deelvragen geformuleerd en beschreven welke datasets we per deelvraag gebruiken om deze te beantwoorden.

1. Welke specifieke kenmerken heeft de uitloging van AC afvalwaterpersleidingen?

- a. Is het 'gatenkaas'-patroon te herkennen in de data?
 - I. Dataset III.
- b. Bestaat er een relatie tussen de aanwezigheid van coating en de mate van uitloging?
 - I. Dataset II.
- c. Nemen de in- en uitwendige uitloging toe bij toenemende leeftijd?
 - I. Dataset I.
- d. Neemt de (inwendige) uitloging toe bij een toenemende buisdiameter?
 - I. Dataset I.
- e. Toont de data aan dat de grondradar inspectietechniek de aantasting van AC buizen systematisch onderschat?
 - I. Dataset I, II en III.
- f. Treedt de uitloging op aan de binnenkant of de buitenkant van de buiswand?
 - I. Dataset III.

2. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de binnenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?

- a. Bestaat er een relatie tussen de klokstand van de aantasting en de mate van uitloging?
 - I. Dataset II.
- b. Bestaat er een relatie tussen de locatie van de ontluichters en de mate van uitloging?
 - I. Dataset III.
- c. Bestaat er een relatie tussen de mate van gastransport en de mate van uitloging?
 - I. Dataset III.

3. Wat zijn de belangrijkste degradatiemechanismen aan de buitenzijde van AC afvalwaterpersleidingen?

- a. Bestaat er een relatie tussen de grondsoort en de mate van uitloging?
 - I. Dataset I.

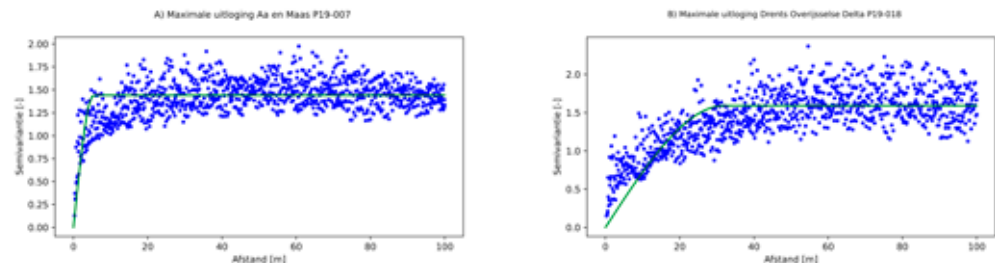
4 Onderzoeksresultaten

Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens de onderzoeksresultaten van de 10 deelvragen uit paragraaf 3.2

4.1 Welke specifieke kenmerken heeft de uitloging van AC afvalwaterpersleidingen?

4.1.1 Deelvraag 1a: Is het 'gatenkaas'-patroon te herkennen in de data?

Voor de beantwoording van deelvraag 1a is gebruikt gemaakt van dataset III. De ruimtelijke structuur van uitloging over een transportleiding is bepaald met behulp van een variogram-analyse. Voor alle in-line inspecties in dataset III is de ruimtelijke correlatie beschreven met een semi-variogram, zie bijlage 3 en 4. Dit is een gangbare techniek in het geo-statistisch vakgebied om het concept autocorrelatie grafisch weer te geven. De semi-variogrammen tonen de ruimtelijke correlatie tussen de metingen van een in-line inspectie als functie van de afstand. Bij een lage semivariantie lijken de observaties met elkaar gecorreleerd te zijn.



Figuur 28.
Variogrammen van maximale uitloging van enkele in-line inspecties. Op de x-as staat de afstand tussen de meetpunten in meters en op de y-as de ruimtelijke afhankelijkheid tussen observaties (semivariantie). Elk blauwe punt in de grafieken toont een op de y-as ruimtelijke afhankelijkheid tussen observaties (semivariantie). Elk blauw punt in de grafiek toont een observatie paar.

Op basis van Figuur 28 blijkt dat de ruimtelijke correlatie van aantasting bij inspectie P19-007 (de linker grafiek) kleiner is dan bij inspectie P19-018. Dit betekent dat dichterbij elkaar gelegen meetpunten van inspectie P19-007 een grotere correlatie hebben dan meetpunten die verder van elkaar liggen.

Bij de meetresultaten van inspectie P19-007 is dit echter niet het geval. De metingen op korte afstand van elkaar verschillen in dezelfde mate als metingen met grotere afstanden van elkaar.

In het algemeen, alle inspecties overziend, blijkt dat de uitloging weinig ruimtelijke correlatie bevat op basis van de semi-variogrammen van dataset III. Dat betekent dat over het algemeen de uitloging binnen een buis sterk verschilt en dat ook de uitloging van buizen die naast elkaar liggen, een ander uitlogingspatroon kunnen laten zien.

Deze resultaten komen goed overeen met de resultaten van het KWR-onderzoek [BTO 2019.010, KWR, 2019], beschreven in sectie 2.7.2. Hier is duidelijk te zien, op basis van CT-scans van 28 buizen met diameter 100mm, dat degradatie niet homogeen is en degradatiespots erg lokaal kunnen zijn.

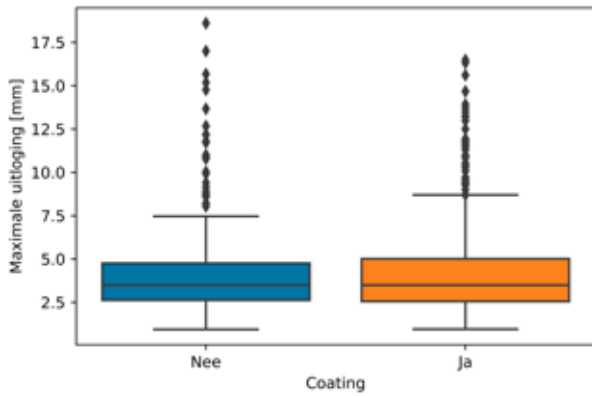
Dit komt ook overeen met de resultaten van [BTO 2003.039, KIWA], waarbij een grote spreiding van de inwendige en uitwendige uitloging werd waargenomen in 20 buisdelen uit een drinkwaterleiding.

4.1.2 Deelvraag 1b: Bestaat er een relatie tussen de aanwezigheid van coating en de mate van uitloging?

Voor de beantwoording van deelvraag 1b is gebruik gemaakt van dataset II.

Dataset II bestaat uit visuele waarnemingen van de inspecteur van M.J. Oomen bij veelal in gebruik zijnde leidingen. Het betreft bij deze dataset dus de uitwendige coating.

Zoals beschreven in paragraaf 2.5.2, leidt uitwendige coating tot een mindere mate van uitloging aan de buitenzijde van de buis [BTO 2014.016]. De coating bestaat veelal uit asfaltbitumen of koolteer en dient ter bescherming tegen agressieve bodems en/of grondwater. Met behulp van dataset II is een analyse uitgevoerd om de correlatie tussen gecoate en niet-gecoate AC leidingen en de mate van uitloging te beschrijven.

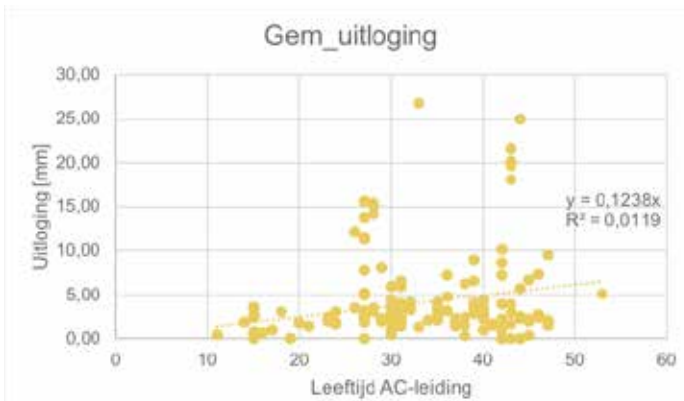


Figuur 29. Box-plots van alle beschikbare datapunten van de maximale uitloging in dataset II voor AC leidingen met en zonder coating. De gemiddelde maximale uitloging is gelijk tussen wel- en niet-gecoate leidingen. De maxima van wel-gecoate leidingen tonen een iets hogere mate van uitloging.

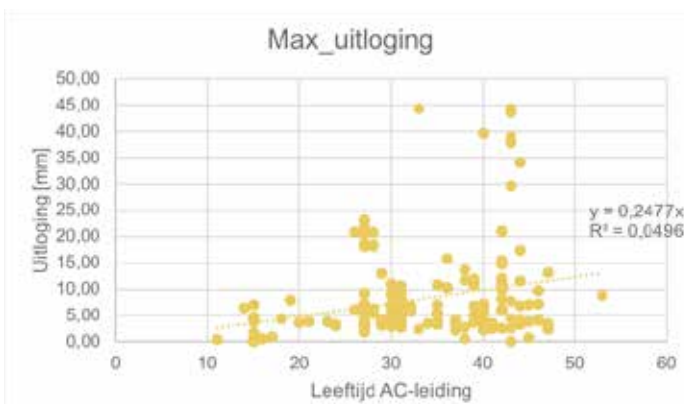
In Figuur 29 is de mate van uitloging vergeleken bij wel en niet gecoate AC leidingen. In totaal gaat het bij 60% van de datapunten om een gecoate AC leiding en in 40% van de gevallen bevat het buisdeel geen coating. De box-plots laten zien dat de gemiddelde maximale uitloging voor wel- of niet-gecoate AC leidingen nagenoeg gelijk is.

Opvallend is dat de uitschieters, de inspecties die een extreme uitloging laten zien, relatief hoger liggen bij buizen die een coating bevatten. Dit lijkt tegen de theorie in te gaan dat coating extra bescherming biedt tegen uitloging. Een mogelijke maar niet geverifieerde verklaring is dat dit een gevolg is van dat gecoate leidingen in gebieden werden toegepast met een agressievere bodem. Als de coating na verloop van tijd gedegradieerd is, kan de uitloging van het AC starten.

4.1.3 Deelvraag 1c: Nemen de in- en uitwendige uitloging toe bij toenemende leeftijd?



Figuur 30. Spreidingsdiagram van de gemiddelde uitloging (in mm), uitgezet tegen de leeftijd van de desbetreffende AC leiding (in jaren). De gestippelde lijn in de grafiek geeft het gefitte regressiemodel weer van de dataset. De formule van het regressiemodel is weergegeven in de grafiek.



Figuur 31. Spreidingsdiagram van de maximale uitloging (in mm), uitgezet tegen de leeftijd van de desbetreffende AC leiding (in jaren). De gestippelde lijn in de grafiek geeft het gefitte regressie-model weer van de dataset. De formule van het regressie-model is weergegeven in de grafiek.

Voor de beantwoording van deelvraag 1c is gebruikt gemaakt van dataset I. Figuur 30 en Figuur 31 tonen het verband tussen de leeftijd van de geïnspecteerde buizen en de mate van de gemiddelde en maximale uitloging. In het algemeen neemt de mate van uitloging toe met de jaren. De regressielijn geeft een positief verband weer tussen de variabele uitloging en leeftijd van de AC leiding.

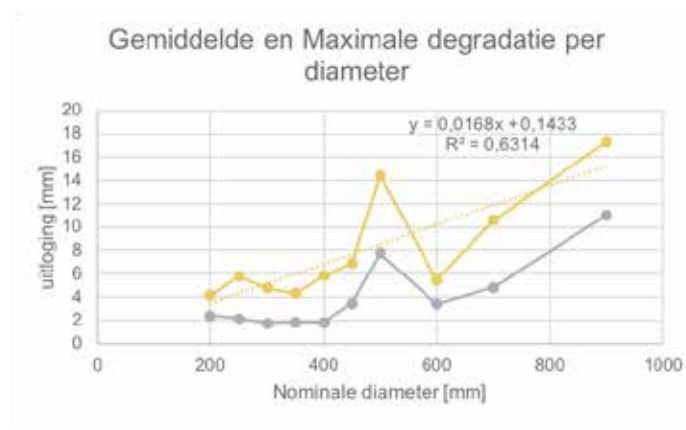
Wat opvalt is dat de spreiding van uitloging toeneemt met de leeftijd van de AC leidingen. Leeftijd lijkt dus een belangrijke trigger in het proces van uitloging. In de beginperiode na aanleg ligt de uitloging van afvalwaterpersleidingen dicht bij elkaar, pas na verloop van tijd wordt zichtbaar welke buizen gevoelig zijn voor uitloging.

4.1.4 Deelvraag 1d: Neemt de (inwendige) uitloging toe bij een toenemende buisdiameter?

Voor het beantwoorden van deze deelvraag, is gebruik gemaakt van dataset I.

Omdat de dataset voor sommige buisdiameters maar enkele metingen bevat, is ervoor gekozen om de diameters met minder dan 10 metingen te elimineren voor deze analyse.

Figuur 32
Relatie tussen de nominale diameter van een buis en de gemiddelde en maximale uitloging van de buiswand. De gestippelde lijn in de grafiek geeft het gefitte regressiemodel weer op de dataset. Duidelijk is te zien dat er een relatie is tussen een toenemende mate van uitloging met een toenemende nominale diameter van de buis.



Figuur 32 toont de relatie tussen de nominale diameter van de buis van een AC leiding en de gemiddelde en maximale mate van uitloging. Duidelijk zichtbaar is een stijgende trend, waarbij een toenemende mate van uitloging gepaard gaat met een toename in de buisdiameter. Deze toenemende trend bevestigt de conclusie van [BTO 2014.016, KWR], zoals beschreven in paragraaf 2.4, waar het onderzoek ook concludeerde dat op basis van een groot aantal uitgenomen AC buizen inwendige uitloging toeneemt bij een toenemende diameter.

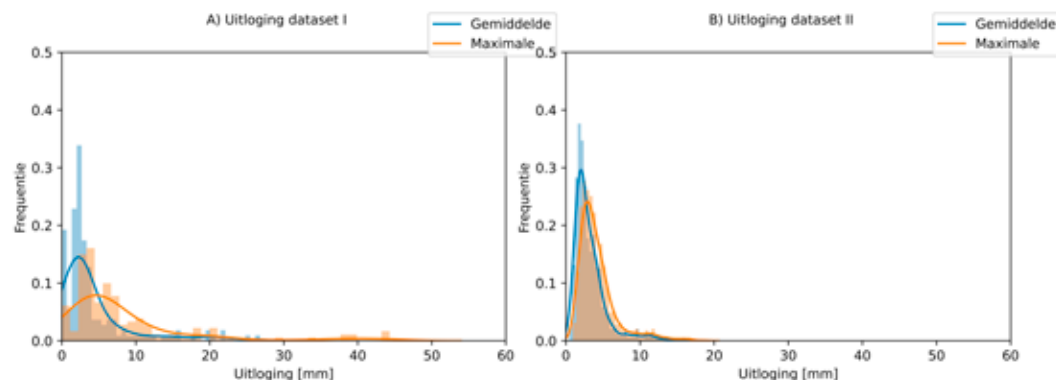
Voor deze analyse is gebruik gemaakt van 158 metingen. Omdat voor dit onderzoek het aantal datapunten per diameter beperkt is, is het van belang dat bij vervolgonderzoek de dataset wordt uitgebreid waardoor significantere inzichten verkregen kunnen worden.

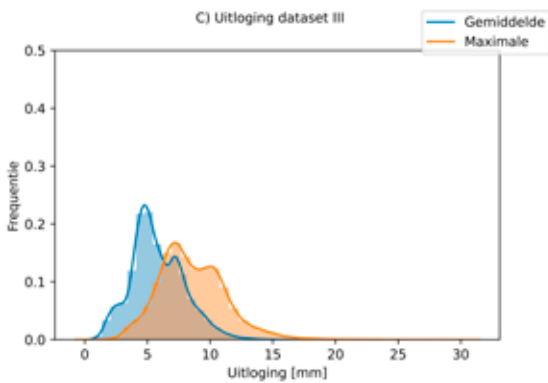
4.1.5 Deelvraag 1e: Toont de data aan dat de grondradar inspectietechniek de aantasting van AC buizen systematisch onderschat?

Voor de beantwoording van deelvraag 1e, is gebruikt gemaakt van de grondradarmetingen in datasets I en II en ultrasoonmetingen in dataset III.

In Figuur 33 is de dataverdeling te zien van de gemeten gemiddelde en maximale uitloging van dataset I (Oomen), dataset II (Oomen pdf-rapportages) en dataset III (Acquaint inspecties). In blauw is de gemiddelde uitloging weergegeven en in oranje de maximale gemeten uitloging.

Figuur 33
Dataverdeling van de gemiddelde (blauw) en maximale (oranje) AC degradatie voor de dataset I (A) en dataset II (B) en dataset III (C) inspectiegegevens.





De statistieken van de verschillende datasets zijn weergegeven in Tabel 3. Dataset I en II bestaan beide uit inspecties van M.J. Oomen. Beide datasets zijn scheef naar links gecentreerd (de mediaan is kleiner dan het gemiddelde). Dataset III heeft daarentegen een normaalverdeling.

De statistieken van dataset I en II komen met elkaar overeen voor de gemiddelde uitloging. Echter verschillen de statistieken van dataset I en II voor de maximale uitloging. In dataset I ligt de maximale uitloging hoger dan bij dataset II. Dit heeft te maken met het verschil in dataverzameling van de twee datasets. In dataset II worden de waarden van de maximale uitloging van alle klokstanden van een geïnspecteerde buis meegenomen. In dataset I wordt alleen de waarde van de maximale uitloging per geïnspecteerde buis meegenomen. Over het algemeen zijn de gemiddelde en maximale uitloging voor de grondradar datasets (dataset I en II) lager dan de ultrasoon dataset (dataset III), wat de uitkomst van [BTO 2019.010, KWR] zou kunnen ondersteunen waarin wordt beschreven dat grondradar de aantasting van AC buizen systematisch onderschat.

Dataset	Variabel	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum
I	Gemiddelde uitloging (mm)	4.24	2.51	0.00	26.80
I	Maximale uitloging (mm)	8.32	5.51	0.00	44.31
II	Gemiddelde uitloging (mm)	3.20	2.54	0.43	16.10
II	Maximale uitloging (mm)	4.22	3.50	0.94	18.61
III	Gemiddelde uitloging (mm)	5.81	5.50	0.00	27.20
III	Maximale uitloging (mm)	8.58	8.27	0.00	30.72

Tabel 3.
Statistische kenmerken van de verschillende datasets voor de gemiddelde en maximale uitloging

Op 18 locaties overlappen dataset I en dataset III elkaar. In Tabel 4 en Tabel 5 zijn de originele wanddikte, gemiddelde en maximale uitloging van deze datasets weergegeven op de overlappende punten.

Over het algemeen toont dataset III een grotere uitloging voor zowel de gemiddelde als maximale degradatie. De 18 locaties zijn eerder met grondradar onderzocht (dataset I) dan met de in-line inspectie van Acquaint (dataset III). Dit zou mogelijk kunnen betekenen dat omdat Acquaint oudere buizen aantroef, er ook meer uitloging heeft kunnen plaatvinden. Daarnaast is het mogelijk dat grondradar de aantasting van AC buizen onderschat [BTO 2019.010, KWR, 2019].

Bij meerdere inspecties houden M.J. Oomen en Acquaint andere originele wanddikten aan als uitgangspunt voor de meting. M.J. Oomen (in dataset I) baseert de originele wanddikte meestal op omtrekmetingen, die tijdens de inspectie worden uitgevoerd. De originele wanddikte van Acquaint in dataset III is gebaseerd op omtrekmetingen, maar altijd op slechts een fractie van de totale lengte van de geïnspecteerde leiding, of informatie van de fabrikant.

Tabel 4.
Meetresultaten van dataset I op overlappende punten van dataset I en dataset III. De rode getallen geven grotere waarden weer dan dataset III en de groene lagere waarden.

ID	Trace	X Coördinaat [RD]	Y Coördinaat [RD]	Orginele wanddikte [mm]	Gemiddelde resterende wanddikte [mm]	Maximale resterende wanddikte [mm]	Inspectie datum [-]
1	Boxmeer-Snepke	193434.77	407516.21	31.0	31.0	29.0	12-3-2013
2	Boxmeer-Snepke	193397.30	407696.24	30.5	25.3	21.3	31-12-2012
3	Cuijk-Land van Cuijk	188026.86	415145.07	31.5	29.0	24.2	31-12-2012
4	Cuijk-Land van Cuijk	188043.97	414909.81	37.5	35.2	34.1	31-12-2012
5	Cuijk-Land van Cuijk	188449.95	414230.40	37.0	34.6	33.0	31-12-2012
6	Cuijk-Land van Cuijk	188759.90	413351.03	38.5	35.9	33.2	31-12-2012
7	Mill-Achterdijk	182614.66	411804.00	33.5	31.6	30.4	31-12-2012
8	Mill-Achterdijk	182939.10	411533.52	26.0	24.0	22.8	31-12-2012
9	Mill-Achterdijk	184769.55	410728.36	30.5	27.9	24.7	31-12-2012
10	t Snepke-RWZI	190056.91	411534.92	43.5	38.5	36.4	31-12-2012
11	t Snepke-RWZI	190058.59	411535.28	32.5	30.4	29.6	31-12-2012
12	Wittelte-Dieverbrug	216111.10	538523.16	26.0	20.3	8.6	24-9-2019
13	Wittelte-Dieverbrug	216088.33	538356.17	26.0	22.1	26.0	10-8-2018
14	Wittelte-Dieverbrug	216044.46	538372.47	30.0	21.0	19.2	13-10-2014
15	Wittelte-Dieverbrug	216430.56	539005.65	28.0	28.0	20.2	22-5-2018
18	Wittelte-Dieverbrug	213647.25	532964.00	19.0	19.0	12.9	13-5-2018

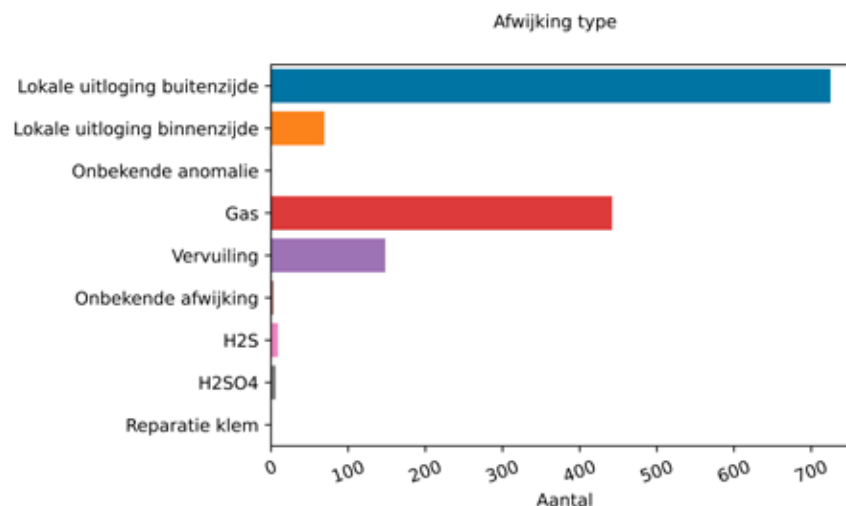
Tabel 5.
Meetresultaten van dataset III op overlappende punten van dataset I en dataset III. De rode getallen geven grotere wanddikten weer dan dataset I en de groene getallen lagere wanddikten

ID	Trace	X Coördinaat [RD]	Y Coördinaat [RD]	Orginele wanddikte [mm]	Gemiddelde resterende wanddikte [mm]	Maximale resterende wanddikte [mm]	Inspectie datum [-]
1	Boxmeer-Snepke	193434.77	407516.21	26.0	18.4	15.6	2021
2	Boxmeer-Snepke	193397.30	407696.24	32.0	26.3	23.9	2021
3	Cuijk-Land van Cuijk	188026.86	415145.07	31.0	26.0	23.6	2020
4	Cuijk-Land van Cuijk	188043.97	414909.81	37.0	33.1	31.2	2020
5	Cuijk-Land van Cuijk	188449.95	414230.40	36.0	28.1	24.3	2020
6	Cuijk-Land van Cuijk	188759.90	413351.03	36.0	27.4	24.6	2020
7	Mill-Achterdijk	182614.66	411804.00	30.0	22.2	18.9	2020
8	Mill-Achterdijk	182939.10	411533.52	30.0	26.1	23.8	2020
9	Mill-Achterdijk	184769.55	410728.36	30.0	25.6	22.5	2020
10	t Snepke-RWZI	190056.91	411534.92	39.0	28.1	23.7	2019
11	t Snepke-RWZI	190058.59	411535.28	39.0	28.6	23.4	2019
12	Wittelte-Dieverbrug	216111.10	538523.16	27.0	20.7	17.1	2019
13	Wittelte-Dieverbrug	216088.33	538356.17	27.0	20.4	17.4	2019
14	Wittelte-Dieverbrug	216044.46	538372.47	30.0	23.7	19.3	2019
15	Wittelte-Dieverbrug	216430.56	539005.65	29.0	23.8	19.4	2019
18	Wittelte-Dieverbrug	213647.25	532964.00	17.0	10.4	8.9	2021

4.1.6 Deelvraag 1f: Treedt de uitlogging op aan de binnenkant of de buitenkant van de buiswand?

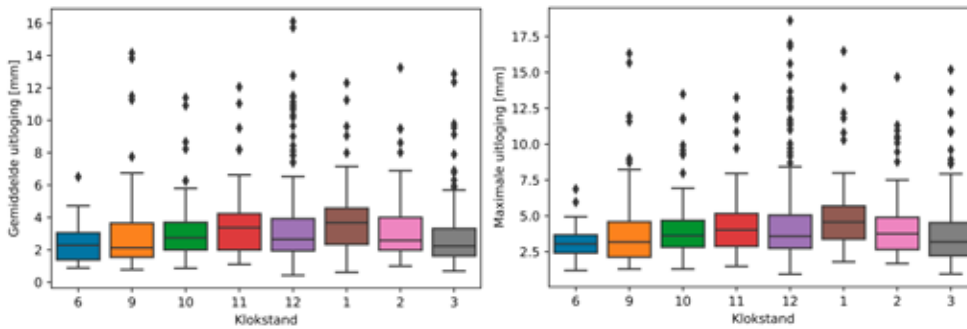
Voor het beantwoorden van deze deelvraag, is gebruik gemaakt van dataset III. De meest recente inspecties van Acquaint in dataset III beschrijven de oorsprong van de afwijkingen. Voor de inspecties met projectnummer P21-004, P21-010, P21-015 en P21-028 zijn de afwijkingen uit de inspectie weergegeven in Figuur 34. Het overgrote deel van de afwijkingen betreft lokale uitlogging aan de buitenzijde. De type afwijkingen per inspectie is weergegeven in bijlage 5.

Figuur 34.
Type afwijking, gemeten in dataset III voor vier inspecties (P21-004, P21-010, P21-015 en P21-028).



[BTO 2019.010, KWR] concludeerde dat de interne uitlogging bij drinkwater-buizen in de meeste gevallen groter was dan de externe uitlogging. Dit is een indicatie dat voor dergelijke leidingen het effect van de drinkwaterkwaliteit groter is dan het effect van de bodem. Dit lijkt, hoewel we dit slechts baseren op vier inspecties, voor afvalwaterpersleidingen precies omgekeerd te zijn. Met uitzondering van de lokale H2S-aantastingen die juist tot zeer grote uitlogging en afname van de wanddikte aan de binnenzijde van de buis kunnen leiden.

4.1.7 Deelvraag 2a: Bestaat er een relatie tussen de klokstand van de aantasting en de mate van uitloging?

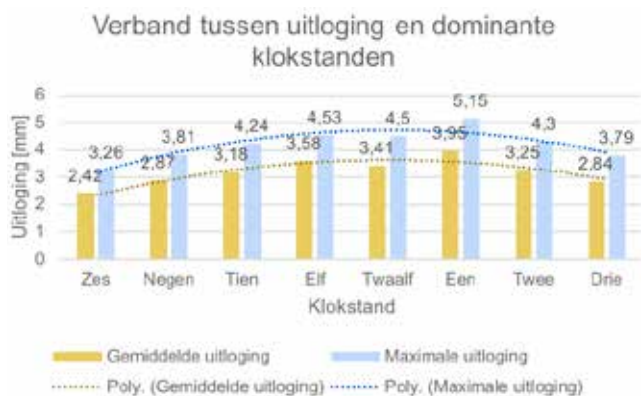


Figuur 35. Box-plots van alle datapunten per klokstand voor de gemiddelde uitloging. De data laat zien dat hoe hoger in de buis, hoe hoger de gemiddelde uitloging.

Figuur 36. Box-plots van alle datapunten per klokstand voor de maximale uitloging. De data laat zien dat hoe hoger in de buis, hoe hoger de maximale uitloging.

Voor het beantwoorden van deze deelvraag, is gebruik gemaakt van dataset II. Figuur 35 en Figuur 36 tonen respectievelijk de gemiddelde en maximale uitloging voor alle beschikbare klokstanden. Ondanks dat klokstand 4, 7 en 8 ook beschikbaar zijn in de data, is ervoor gekozen om deze niet mee te nemen in deze analyse omdat voor deze klokstanden maximaal 5 datapunten aanwezig zijn (zie Figuur 23). De box-plots laten een duidelijk verband zien tussen de afname van de wanddikte en de dominante klokstanden. Bij klokstanden aan de bovenkant van de buis (11, 12 en 1) vindt gemiddeld gezien meer uitloging plaats dan aan de zijkant en onderkant van de buis (6, 9 en 3).

Belangrijk om te melden is dat M.J. Oomen, verantwoordelijk voor de metingen van dataset II, nooit in de inspectierapporten heeft aangegeven of de uitloging zich aan de binnen- of buitenzijde van de buiswand bevindt. We nemen aan dat de hogere gemiddelde uitloging aan de bovenzijde van de buis door H_2S -aantasting wordt veroorzaakt, maar kunnen hierover niet definitief uitsluitsel geven.



Figuur 37. Hier wordt het verband weergegeven tussen de uitloging (gemiddeld en maximaal) en de dominante klokstanden. Het gaat hier om de gemiddelde uitloging per datapunt dat nogmaals is gemiddeld per klokstand en de maximale uitloging per datapunt dat is gemiddeld per klokstand. De parabolische trendlijnen weerspiegelen een duidelijk verband van een hogere mate van uitloging bovenin de buis.

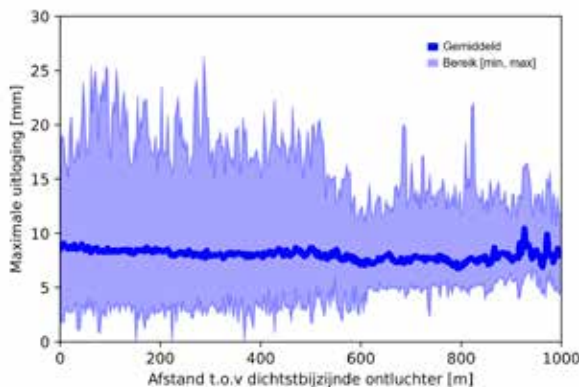
In Figuur 37 zijn de gemiddelde en maximale uitloging geplot voor elke klokstand, gemiddeld over alle datapunten. De trendlijnen die zijn toegevoegd, visualiseren opnieuw de hogere mate van uitloging bij de klokstanden aan de bovenkant van de buis. Ondanks dat het verschil in uitloging tussen de verschillende klokstanden maar enkele millimeters bedraagt, is de marge procentueel wel significant aanwezig. Aan de andere kant; deze data-analyse is uitgevoerd op buiswanden die van tevoren zijn geselecteerd, omdat deze vermoedelijk een hoge mate van uitloging zouden weergeven. Op uitschieters na, is de gemiddelde maximale uitloging relatief laag en dat betekent dat bij een willekeurige buis de uitloging nog lager zal zijn en wellicht ook niet relevant.

4.1.8 Deelvraag 2b: Bestaat er een relatie tussen de locatie van de ontluuchters en de mate van uitloging?

Voor het beantwoorden van deelvraag 2b, is gebruik gemaakt van dataset II.

Om gas te verwijderen uit een leiding, worden vaak ontluuchters aangebracht op het hoogste punt van neergaande leidingdelen, de locatie waar gasbellen zich kunnen ophopen. De ontluuchters hebben als functie om het capaciteitsverlies in de afvalwatertransportsystemen te minimaliseren en interne aantasting te voorkomen.

Figuur 38. Gemeten maximale uitloging (y-as) ten opzichte van de afstand naar de dichtstbijzijnde ontluchter (x-as). Het lichtblauwe gearceerde gebied laat de spreiding zien van alle datapunten binnen enkele meters van elkaar. De donkerblauwe lijn toont de gemiddelde trend.



In Figuur 38 is de mate van uitloging ten opzichte van de afstand naar de dichtstbijzijnde ontluchter weergegeven. Op kortere afstand van de ontluchter vindt meer degradatie plaats dan verder weg van de ontluchter. Ontluchters zijn juist geplaatst om gassen, waaronder zuurstof en H₂S, uit de leiding te laten ontsnappen. De ontluchters lijken daarmee in het algemeen niet voldoende in staat te zijn om gasophoping te voorkomen. Dit kan bij automatische ontluchters veroorzaakt worden, doordat ontluchters niet onderhouden worden waardoor de werking niet geborgd is. Vet en drijfvuil in het afvalwater kunnen voor verstoppingen zorgen, waardoor ontluchters niet meer goed kunnen openen of sluiten. Bij handmatige ontluchters kan een te lage frequentie van ontluchten de reden zijn dat gas zich ophoopt in de leiding.

Daarnaast kunnen ontluchters verkeerd gepositioneerd zijn, bijvoorbeeld als ze zijn geplaatst vóór de datum van publicatie van het CAPWAT-onderzoek [Stowa 2012-48] waar het gedrag en de locatie van gasbellen inzichtelijk werd.

In de praktijk komt het ook voor dat ontluchters als beluchter gaan functioneren door slecht onderhoud. Dit zorgt dat zuurstofrijke lucht kan intreden in de transportleiding, waardoor zwavelzuur gevormd kan worden. Dit kan een reden zijn als in de eerste paar honderd meter na een ontluchter meer aantasting voorkomt.

4.1.9 Deelvraag 2c: Bestaat er een relatie tussen de mate van gastransport en de mate van uitloging?

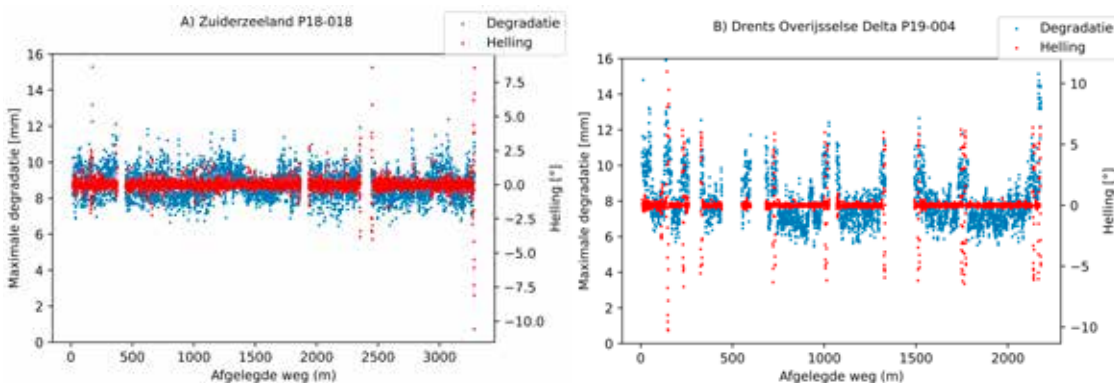
Voor het beantwoorden van deze deelvraag, is gebruik gemaakt van dataset III.

De ophoping van gas kan ook worden voorkomen, doordat gasbellen worden meegenomen door de stroming van het afvalwater. In neergaande hellende leidingdelen wordt gas minder snel afgevoerd dan in horizontale of stijgende leidingdelen.

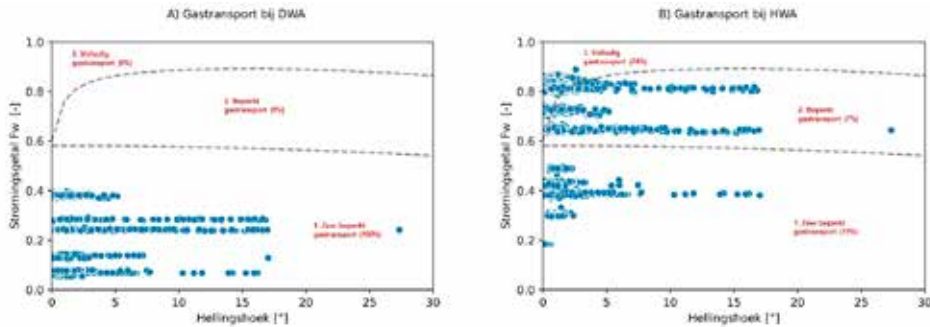
De vereiste stroomsnelheid voor gastransport is groter bij neergaande leidingdelen. In bijlage 6 en 7 wordt de relatie weergegeven tussen de mate van uitloging en de hellingshoek voor alle inspecties uit dataset III.

Figuur 39 toont de relatie tussen maximale degradatie en de helling van de Acquaint-inspecties P18-018 en P19-004. Voor deze geïnspecteerde leidingen is een duidelijk verband te zien tussen de hellingshoek en de mate van degradatie. Hoe groter de hellingshoek, des te meer uitloging wordt waargenomen. Dit suggereert dat de processen die hier van invloed zijn op degradatie, erg lokaal zijn, bijvoorbeeld als gevolg van H₂S-aantasting bij de kruising met wegen of watergangen.

Figuur 39. Relatie tussen de maximale uitloging (blauwe punten) en de helling (rode punten) voor Acquaint-inspecties P18-018 (A) en P19-004 (B). Op de linker y-as wordt de maximale geobserveerde degradatie weergegeven en op de rechter y-as de hellingshoek (°).



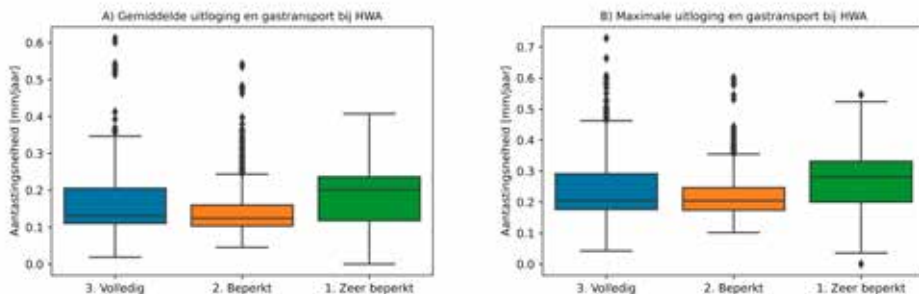
De mate van gastransport hebben we berekend op basis van het rekenmodel, ontworpen in het CAPWAT-onderzoek [Stowa 2012-48]. Gastransport wordt bepaald door het stromingsgetal (de dimensieloze stroomsnelheid) en de hoek van de neergaande leiding. Voor alle meetpunten met voldoende informatie is de mate van gastransport bepaald op de betreffende locatie, zie Figuur 40. Tijdens DWA-situatie is het debiet in alle leidingen uit dataset III onvoldoende om gasbellen te transporteren door de leiding. Alle meetlocaties vallen voor de DWA-situatie onder de categorie ‘zeer beperkt gastransport’. Voor HWA-situaties is het debiet echter wel voldoende om op veel locaties het gas te transporteren. Circa 74% van de meetlocaties vallen onder de categorie ‘volledig gastransport’, 7% onder ‘beperkt gastransport’ en 19% ‘zeer beperkt gastransport’.



Figuur 40. Mate van gastransport bij DWA-situatie (A) en HWA-situatie (B). Op de locaties van de meetpunten (blauwe punten) uit dataset III is bepaald, op basis van het stromingsgetal (y-as) en hellingshoek van de leiding (x-as), welke type gastransport (zeer beperkt, beperkt en volledig gastransport) plaatsvindt. In de grafieken is aangegeven hoeveel meetpunten in een bepaalde categorie vallen.

De mate van gastransport is gerelateerd aan de gemeten uitloging, zie Figuur 41. Bij zeer beperkt gastransport is de uitloging gemiddeld hoger dan bij locaties met volledig gastransport. Dit lijkt in overeenstemming te zijn met de theorie dat als er geen gasophoping (H₂S of zuurstof) plaatsvindt, er ook geen grote uitloging ten gevolge van deze gassen kan plaatsvinden.

Echter, de gemiddelde uitloging bij beperkt gastransport is lager dan bij volledig gastransport. Het aantal meetpunten waar beperkt gastransport plaatsvindt, is gering (7%). Alleen bij 4 van de 20 inspecties vindt beperkt gastransport plaats. Dit kan mogelijk zorgen voor een vertekend beeld.



Figuur 41. Box-plot van de maximale (A) en gemiddelde (B) gemeten uitloging bij verschillende gastransporttypes (zeer beperkt, beperkt en volledig gastransport) voor een HWA-situatie.

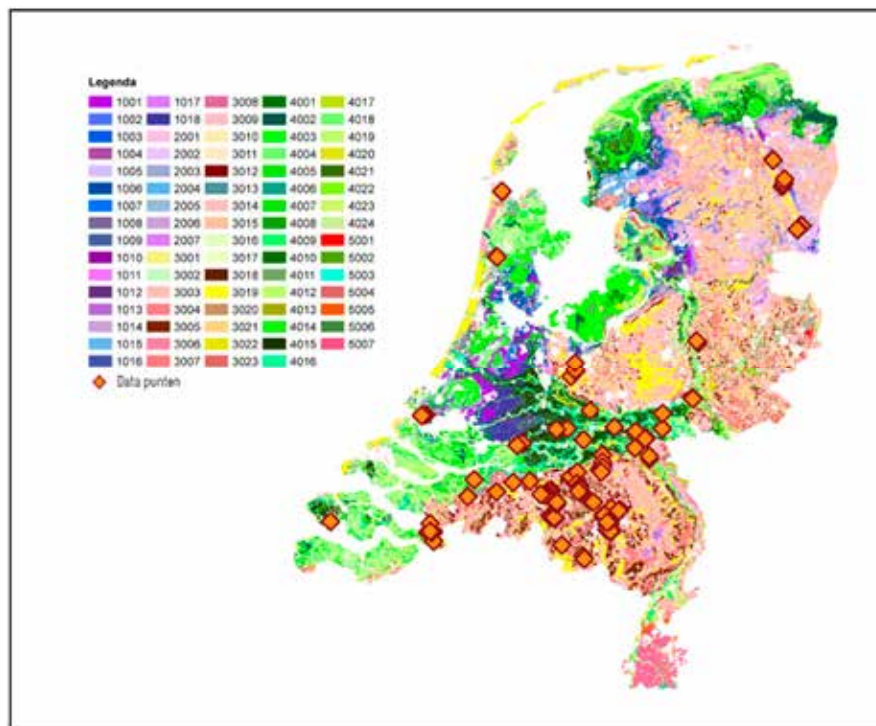
4.1.10 Deelvraag 3a: Bestaat er een relatie tussen de grondsoort en de mate van uitloging?

Voor het beantwoorden van deze deelvraag, is gebruik gemaakt van dataset II.

De literatuur beschrijft dat de grondsoort en daarmee de bodem rondom een AC buis effect heeft op de mate van uitloging aan de buitenzijde van de buiswand. Zoals is beschreven in paragraaf 2.4, staat het kalkhoudende vermogen van een bodem in relatie tot de pH. Hoe minder kalk een bodem bevat, hoe lager de pH van de bodem.

Figuur 42 geeft de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK) van Nederland weer, inclusief waarden uit de bodemkaart van Nederland (Stiboka, 1991) (<https://edepot.wur.nl/117853>) en inclusief alle datapunten van dataset II. Deze bodemkaart bevat 368 standaard bodemprofielen die zijn samengebracht onder 79 verschillende eenheden. Met behulp van een GIS-analyse in FME zijn de bodemprofielen gekoppeld aan de datapunten en op basis hiervan is een relatie gezocht tussen bodem en uitloging. Omdat uit de literatuur naar voren komt dat met name zure gronden voor uitloging zouden zorgen, is hier een relatie gezocht tussen uitloging en het kalkhoudende vermogen van de bodem. Bodemprofielen met kalkarme bodems krijgen de letter C mee in hun bodemcode en kalkrijke bodems de letter A.

Figuur 42.
Alle datapunten van dataset II zijn geplot op de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK), deze kaart bevat codes voor alle verschillende bodemeenheden in de bovengrond van Nederland.



Figuur 43.
Per klokstand is de uitloging weergegeven voor geselecteerde bodems die kalkrijk (links) of kalkarm (rechts) zijn

BODEMCODE (kalkrijk)	Klokstand	Gemiddelde uitloging [mm]	BODEMCODE (kalkarm)	Klokstand	Gemiddelde uitloging [mm]
Alu	3	1,6	Mn86C	3	2,2
Alu	5	1,8	Rn95Cg	9	1,4
eMn25A	12	3,7	Mv41C/gMn88Cv	3	2,4
Alu	12	2,7	Rn95Cg	12	2,5
Rd10A	9	1,3	zRn15C	9	1,1
eMn25A	3	2,3	zRn15C	3	1,2
Mn35A	3	5,2	Mv41C/gMn88Cv	12	3,3
Rd10A	3	1,6	gMn83C	9	11,3
Rd90A	9	1,5	Rn95C	12	4,9
Mn35A	9	6,5	Mn86C	9	3,5
Mn35A	12	6,0	gMn83C	3	9,6
Rd90A	12	2,1	gMn83C	12	10,8
Rd10A	12	2,5	Rn95Cg	3	2,6
kZn50A	3	1,5	zRn15C	12	1,5
kZn50A	12	9,0	Mv41C/gMn88Cv	9	3,2
kZn50A	9	1,5	Mn86C	12	3,2
Gemiddeld totaal:		3,2	Gemiddeld totaal:		4,0

De tabellen in Figuur 43 geven voor de geselecteerde bodems de gemiddelde uitloging per klokstand weer voor alle datapunten die in deze geselecteerde bodemklassen vallen. Opvallend is dat er een aantal uitschieters tussen zitten. Bij de kalkrijke bodems is bij bodemtype kZn50A opvallend dat deze alleen bij klokstand 12 een relatief hoge uitloging weergeeft. Dit zou erop kunnen duiden dat hier de uitloging niet vanaf de buitenzijde door de bodem gebeurt, maar dat deze wordt veroorzaakt door een ander proces vanaf de binnenzijde. En dat geeft ook precies het probleem hier weer. Het is moeilijk oordelen welk proces verantwoordelijk is voor de uitloging, omdat het niet duidelijk is of de uitloging aan de binnenzijde of buitenzijde van de buis heeft plaatsgevonden. Een tweede interessante uitschieter is bodem gMn83C van de kalkarme bodems. De uitloging voor de bodem is wel voor alle drie de klokstanden relatief hoger en daarom neigt dit sneller naar uitloging aan de buitenzijde van de buis die de oorzaak kan zijn van de kalkarme bodem. Echter, omdat deze analyse alleen is uitgevoerd voor geselecteerde bodems en dus niet alle bodemtypen zijn meegenomen, is het aantal gebruikte datapunten relatief laag. Er is niet genoeg data beschikbaar om een eenduidige conclusie te trekken. Voor vervolgonderzoek zou het interessant zijn om enkele bodems uit te lichten en vervolgens binnen deze bodems een groot aantal datapunten te verzamelen om zo een beter dekkende analyse te kunnen uitvoeren.

Tot slot is het ook mogelijk dat er geen relatie is tussen de mate van uitloging en bodemtype. Onderzoek in de drinkwatersector [BTO 2019.010, KWR en BTO 2016.094, KWR] wijst uit dat het grootste aandeel uitloging dat gevonden wordt, aan de binnenzijde van de buis plaatsvindt. Als een bodem dus weinig tot geen invloed heeft, zal er ook geen relatie gevonden worden. Voor vervolgonderzoek is het dan wel belangrijk dat nauwkeurig wordt onderzocht of uitloging aan de binnenzijde of aan de buitenzijde plaats heeft gevonden. Samenvattend, we hebben te weinig metingen in kalkarme en kalkrijke bodems om significante correlatie te zien tussen bodemtypen en de aantasting van het AC. Medeoorzaak is dat niet bekend of de uitloging van datasets I en II aan de binnen- of buitenzijde heeft plaatsgevonden.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Op basis van de resultaten van ons onderzoek, concluderen wij het volgende:

1. Voor afvalwaterpersleidingen bedraagt de gemiddelde aantastings-snelheid door uitloging (de som van de in- en uitwendige uitloging):
 - a. 0,14 mm/jaar voor de gemiddelde uitloging;
 - b. 0,21 mm/jaar voor de maximale uitloging.Deze laatste waarde komt sterk overeen met de ervaringen in de drinkwatersector. De aantastingsnelheden voor afvalwaterpersleidingen worden versterkt door de (hoge) gemeten uitloging op locaties waar H₂S-aantasting optreedt, een fenomeen dat niet optreedt bij drinkwaterleidingen.
2. Het gemiddelde van de gemiddelde en maximale gemeten uitloging bedraagt respectievelijk 5,8 en 8,6 millimeter. De gemiddelde uitloging varieert tussen de 0 en 27,1 mm en de gemeten maximale uitloging varieert van 0 tot en met 30,2 millimeter.
3. De aantasting van AC afvalwaterpersbuizen is niet homogeen. Degradatie-spots kunnen erg lokaal zijn. Dit geldt niet alleen binnen een enkele buis, ook de aantasting van de buizen in een afvalwaterpersleiding kan sterk verschillen.
4. De keus om een afvalwaterpersleiding te vervangen, hangt af van kennis over de staat van de gehele leiding. Om een statistisch verantwoorde nauwkeurige conclusie te verkrijgen over de staat van een gehele persleiding, zijn zeer veel lokale metingen of een in-line inspectie over de gehele leiding nodig.
5. De gemiddelde maximale uitloging is nagenoeg gelijk voor buizen die gecoat en niet gecoat zijn.
6. Tot 2021 hebben de inspectiebedrijven met non-destructieve technieken (grondradar en ultrasoon) de totale uitloging van de AC buiswand gemeten. Er werd niet gemeten en gerapporteerd of de uitloging zich aan de binnen- of buitenzijde bevond. Opmerkelijk is dat de inspectiebedrijven aangeven dat dit niet een uitdrukkelijke wens was van de leidingbeheerders.
7. Vanaf 2021 meet Acquaint of de uitloging zich intern of extern van de buiswand bevindt. Op basis van (het beperkte aantal van) vier inspecties concluderen we dat het overgrote deel van de afwijkingen lokale uitloging aan de buitenzijde van de buiswand betreft en geen uitloging aan de binnenzijde.
8. Voor drinkwaterbuizen is in onderzoek eerder aangetoond dat de interne uitloging in de meeste gevallen groter was dan de externe uitloging. Dit is een indicatie dat voor dergelijke leidingen het effect van de drinkwaterkwaliteit groter is dan het effect van de bodem. Dit lijkt voor afvalwaterpersleidingen precies omgekeerd te zijn. Afvalwater lijkt over het algemeen, de lokale H₂S-aantastingen uitgezonderd, minder effect te hebben op de uitloging dan drinkwater.
9. De inspectiedata toont een verband tussen de leeftijd van de geïnspecteerde buizen en de mate van de gemiddelde en maximale uitloging. In het algemeen neemt de mate van uitloging toe met de jaren.
10. Wat opvalt is dat de spreiding van uitloging toeneemt met de leeftijd van de AC leidingen. Leeftijd lijkt dus een belangrijke trigger in het proces van uitloging. In de beginperiode na aanleg ligt de uitloging van afvalwaterpersleidingen dicht bij elkaar, pas na verloop van tijd wordt zichtbaar welke buizen gevoelig zijn voor uitloging.
11. De inspectiedata tonen een verband aan tussen de nominale diameter van de buis en de mate van uitloging. Een toename in de buisdiameter geeft een grotere kans op een grotere uitloging. Dit komt overeen met de ervaringen in de drinkwatersector.
12. Over het algemeen toont de dataset aan dat uitloging, gemeten met grondradar, lager is dan die gemeten met ultrasoon. Dit zou de uitkomst van [BTO 2019.010, KWR] kunnen ondersteunen, waarin wordt beschreven dat grondradar de aantasting van AC buizen systematisch onderschat.
13. Bij klokstanden aan de bovenkant van de buis (11, 12 en 1) vindt, gemiddeld gezien, meer uitloging plaats dan aan de zijkant en onderkant van de buis (6, 9 en 3). De data-analyse toont echter aan dat het verschil in uitloging tussen de verschillende klokstanden maar enkele millimeters bedraagt. Bij klokstand 6 is er gemiddeld circa 50% minder uitloging dan bij klokstand 12. Bij extreme uitloging door lokale H₂S-aantasting is deze verhouding

natuurlijk veel kleiner.

14. De data toont aan dat in het algemeen op kortere afstand van ontluichters meer degradatie plaatsvindt dan verder weg van de ontluichters. Om gas te verwijderen uit een leiding, worden ontluichters vaak aangebracht op het hoogste punt van neergaande benen, de locatie waar gasbellen zich kunnen ophopen. De ontluichters lijken daarmee in het algemeen niet voldoende in staat te zijn om gasophoping en H₂S-aantasting tot gevolg te voorkomen.
15. De mate van gastransport is gerelateerd aan de gemeten uitloging. Bij zeer beperkt gastransport is de uitloging gemiddeld hoger dan bij locaties met volledig gastransport. Dit lijkt in overeenstemming te zijn met de theorie dat als er gasophoping (H₂S of zuurstof) plaatsvindt, er ook een grote uitloging ten gevolge van deze gassen kan plaatsvinden.
16. De literatuur beschrijft dat de grondsoort en daarmee de bodem rondom een AC buis effect heeft op de mate van uitloging aan de buitenzijde van de buiswand. Datasets I en II bevatten echter te weinig metingen in specifiek kalkarme en kalrijke bodems om een significante correlatie te zien tussen bodemtypen en de aantasting van het AC. Medeoorzaak is dat niet bekend is of de uitloging van de bemeeten buizen in datasets I en II aan de binnen- of buitenzijde heeft plaatsgevonden.

5.2 Aanbevelingen

- a. Een belangrijk deel van de tijd in dit onderzoek is besteed aan het verzamelen van de data en het op orde brengen van de datasets. De benodigde data is verspreid aanwezig, wordt niet volgens eenduidige formats opgeslagen en moest voor een groot deel handmatig verzameld worden.

Dit is een gemiste kans. Een belangrijke uitkomst van het onderzoekstraject is daarom het vakgebied aan te sporen om te komen tot een eenduidige vastlegging en uitwisselbaarheid van informatie over de ondergrondse leidingen en alle beheeraspecten die daarmee te maken hebben.

Dit maakt big data-analyses, maar ook andere analyses, eenvoudiger en goedkoper om uit te voeren. Dit zal leiden tot meer kennis en inzicht in het functioneren van onze afvalwatertransportsystemen, wat vervolgens leidt tot een betere maar met name onderbouwde sturing en besluitvorming.

Het vakgebied dient duidelijke afspraken te maken met de inspectiebedrijven wie de eigenaar wordt van de inspectiedata en wie er wat mee mag doen.

- b. De vele meettechnieken om de uitloging van AC vast te stellen, worden en werden naast elkaar gebruikt. Er is onzekerheid over welke techniek onder welke omstandigheden de juiste informatie geeft. Wij adviseren de verschillende meettechnieken onder geconditioneerde omstandigheden te vergelijken. Eén van de belangrijkste doelen daarbij is dat het vakgebied en de aanbieders van meettechnieken daarvan leren. En zodoende de inspectietechnieken de komende jaren op een hoger kwaliteitsniveau te krijgen en sneller in te zetten bij de vervangingsopgaven.

Bronvermelding

- H₂O, 1969, Asbestcementbuizen voor rioleringen, ir. F. Wagenmaker, Eternit, H2O (2) 1969, nr. 23.
- Eternit, productinformatie, 1980.
- Eternit, Leveringsschema buizen, 1981.
- BTO 2003.039, KiWA, 2004, Conditiebepaling asbestcementleidingen.
- ReGister Historisch onderzoeksbureau, 10 maart 2006, Asbest in Kaart, Historisch onderzoek Asbestgebruik Methode Asbestkansenkaart.
- KWR2011.102, KWR, 2011, Restlevensduur AC persleidingen Waterschap De Dommel.
- Mathias Meersseman, afstudeerscriptie Nitraat- en nitrietdosering voor bestrijding van H₂S-vorming in rioleringen: modelbouw en simulatiestudie, 2012.
- Stowa 2012-48, Hydraulisch ontwerp en beheer afvalwatertransportsystemen, CAPWAT-onderzoek, opgesteld door Deltares.
- BTO 2014.016, KWR, De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGJ-leidingdelen, 2014.
- H2O-Online / 9 januari 2015: Conditionering van drinkwater: de aanbevelingen voor optimale samenstelling in 2014, Nellie Slaats et al.
- BTO 2016.094, KWR, 2016: Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- KWR 2018.012, Februari 2018, Intelligent pigging: Inspectiebehoefte en technische randvoorwaarden.
- BTO 2019.010, KWR, 2019: Röntgentomografie als meetmethode voor toestandsbepaling van asbestcementleidingen.
- BTO 2019.008, KWR, Sterkteonderzoek asbestcementbuizen.
- KWR 2020, CT as reference for AC condition assessments, presentatie Karel van Laarhoven, 4th EwaS – 27 Juni 2020.
- Expert meeting, 2020, Expert meeting over degradatieverwachting van AC afvalwaterpersleidingen, 27 oktober 2020. Met een tiental experts van leidingbeheerders, onderzoeksinstituten, een fabrikant en een inspectiebedrijf.
- Oomen, 2020, Interview via Teams met Marco Griffioen van M.J. Oomen, 6 november 2020.
- BTO 2021.032, KWR, 2021, Analyse meetresultaten AC onderzoek Apeldoorn.
- BTO 2021.028, KWR, Kennisopbouw AC met behulp van CT.
- Expert meeting KWR, 11-4-2022.
- Eternit, Weerstand tegen corrosie, afdeling buizen (publicatiedatum onbekend).
- M.J Oomen, 5 classificaties van asbestcement.
- Verkenning voor mogelijke corrosie project in cementgebonden onderdelen van de afvalwaterketen, bron onbekend.

De bijlagen bij deze publicatie zijn alleen digitaal als pdf beschikbaar op de website van Stichting RIONED: *Degradatie van asbestcementen afvalwaterpersleidingen - bijlagen*

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED komt op voor het belang van goed stedelijk waterbeheer. De basis voor alles wat we doen is kennis. We doen onderzoek, we leggen vast, we leggen uit en we agenderen. Dat alles doen we samen met de mensen die het werk doen. We werken voor en met de vakwereld. Daarnaast informeren we het algemeen publiek over riolering en stedelijk waterbeheer.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2023 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

auteurs

Melati van der Weert, Roel Bak en John Driessen

omslagfoto

Sweco

vormgeving

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

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

rapportnummer

2023-19

isbn/ean

978-90-73645-83-7



Circa 1500 km afvalwater persleidingen zijn gemaakt van asbestcement. Deze persleidingen kunnen na verloop van tijd worden aangetast met verlies aan sterkte door uitloging van cement in de buiswand. De oorzaken voor en de snelheid van aantasting zijn echter nog onvoldoende bekend om hierop adequaat beheersmaatregelen te plannen. Het is van belang om de toestand van AC afvalwaterpersleidingen te kunnen voorspellen, zodat de slechtste leidingdelen het eerste worden vervangen. Het doel van dit onderzoek was om de belangrijkste degradatie-oorzaken van asbestcementen (AC) afvalwatertransportleidingen in beeld te brengen met een big data-analyse. De onderzoekers verzamelden grote hoeveelheden data van twintig jaar AC leidinginspecties en combineerden deze met data van leiding- en omgevingskenmerken.