

KWR 2017.041 | Juli 2017

Slim renoveren van waterleidingen

Slim renoveren van waterleidingen

KWR 2017.041 | Juli 2017

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het Ministerie van Economische Zaken



Opdrachtnummer

401006

Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

Samenwerkingspartners

WML, Vitens, Brabant Water, BAM Infra, Energie & Water, Heijmans

Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker en dr. ir. C.H.M. (Roberta) Hofman-Caris

Auteur(s)

dr. J. (Jozanneke) van Vossen, ing. G.A.M. (George) Mesman, ir. A. (Andreas) Moerman en dr. ir. T. (Tessa) van den Brand

Verzonden aan

WML, Vitens, Brabant Water, BAM Infra, Energie & Water, Heijmans

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie

dr. Jozanneke van Vossen
T 030 60 69 598
E Jozanneke.van.Vossen@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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



KWR 2017.041 | Juli 2017 © KWR

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

Managementsamenvatting

Een methodiek voor gestructureerd en onderbouwd afwegen van saneringstechnieken

Overzicht

In Nederland ligt bijna 120.000 km waterleiding (exclusief huisaansluitingen) in de grond. Naast de traditionele open ontgraving zijn er ook verschillende sleufloze aanleg-, renovatie- en verwijderingstechnieken beschikbaar en in ontwikkeling. De Nederlandse drinkwatersector heeft hier echter nog zeer beperkt ervaring mee opgedaan. Een onderbouwde afweging tussen verschillende saneringstechnieken kan zorgen voor minder hinder voor omwonenden, klanten en verkeer en mogelijk goedkopere oplossingen. In dit project is een methodiek opgesteld voor het eenduidig evalueren en vergelijken van toepassingen van verschillende technieken. De evaluatiemethodiek is toegepast op 3 pilotprojecten met verschillende sleufloze technieken. Het resultaat is een afwegingsmethodiek op basis van een indicatiekaart van het potentieel voor toepassing van sleufloze technieken samen met een afwegingskader voor een lokale analyse. De huidige versie van de indicatiekaart en het afwegingskader vormen een startpunt gebaseerd op een beperkt aantal beschikbare gegevens, dat vervolgens verder ingevuld moet worden door het verder kwantificeren en moneteriseren van met name hinder door het delen van ervaringen bijvoorbeeld binnen een kennisportaal als PIPE-works.



Belang

Traditioneel worden drinkwaterleidingen bijna uitsluitend gesaneerd met behulp van open ontgravingen. Dit is echter niet overal mogelijk of gewenst. Slim toepassen van een geschikte (sleufloze) saneringstechniek betekent dat klanten, omwonenden en verkeer minder hinder ondervinden en dat mogelijk kosten kunnen worden bespaard. De huidige ervaringen met sleufloze saneringstechnieken zijn beperkt, de kennis is versnipperd over de verschillende drinkwaterbedrijven en ervaringen zijn door verschillen in aanpak tussen bedrijven moeilijk te vergelijken. Het is daarom niet mogelijk om een volledig onderbouwde afweging te maken tussen de beschikbare technieken voor een willekeurige leiding.

Aanpak

In het TKI project Slim renoveren van waterleidingen is een methodiek opgesteld voor het transparant en uniform evalueren van projecten uitgevoerd met verschillende saneringstechnieken. Deze methodiek is getoetst en deels ingevuld door het uitvoeren en

evalueren van innovatieve technieken voor sleufloos saneren van waterleidingen. Op basis van de evaluatieresultaten is een afwegingskader opgesteld dat bestaat uit onderscheidende aspecten in een afwegingsbeslissing en een indicatiekaart opgesteld die meer inzicht geeft in de toepassingsmogelijkheden van sleufloze technieken in het Nederlandse leidingnet.

Resultaten

De evaluatiemethodiek is opgesteld rond technische, procesmatige, omgevings- en financiële aspecten. Deze aspecten zijn zoveel mogelijk gekwantificeerd om onderling vergelijken van verschillende technieken mogelijk te maken. De methodiek is goed toepasbaar gebleken, met name op technieken die wat betreft ontwikkeling op het niveau beschikbaar voor toepassing onder marktomstandigheden zijn. Voor technieken in ontwikkeling is de evaluatiemethodiek geschikt om de potentiële meerwaarde en eventuele onvolkomenheden zichtbaar te maken, waarmee innovaties kunnen worden gericht.

De geëvalueerde technieken waren projectmatige toepassingen van een kous die ter plekke uithardt onder invloed van temperatuur (CIPP), een gevouwen liner die onder invloed van temperatuur en druk nauwsluitend aan de bestaande leiding uitvouwt (close-fit) en een techniek voor het sleufloos uittrekken van AC leidingen. Al deze technieken bleken in staat om operationele leidingen op te leveren. Het feit dat leidingen ondergronds worden aangebracht laat geen ruimte voor fouten, het resultaat moet 100% goed zijn. Dit zorgt ervoor dat, t.o.v. saneringen met open ontgravingen, een hoge mate van zorgvuldigheid gevraagd wordt in de voorbereiding en uitvoering en dat de data kwalitatief goed en volledig moeten zijn om een goede afweging en risicoanalyse te kunnen maken. Hinder en kosten blijken zeer locatiespecifiek en kunnen alleen worden beoordeeld en vergeleken tussen de technieken als er voldoende projecten beschikbaar zijn met een diversiteit aan liggings- en omgevingsomstandigheden.

Toepassing

Het afwegingskader van de drinkwaterbedrijven om te besluiten welke techniek het meest geschikt is voor een specifieke leidingsanering is nu veelal kwalitatief ingevuld op basis van expertkennis. De indicatiekaart biedt door de kwantificering van relevante afwegingsaspecten de mogelijkheid om een onderbouwde afweging te maken op een gestructureerde manier en in een vroeger stadium van de saneringsbeslissing. Hierdoor ontstaat meer inzicht in hinder voor de klant en werkelijke kosten. Aanbeveling is om de voorspelling van hinder en kosten verder te verbeteren door het toevoegen en kwantificeren van de invloed van andere gegevens (zoals bijvoorbeeld verkeersdruk, gemeentelijke gegevens en kadastrale informatie). Daarnaast zijn er meer ervaringen nodig met beschikbare technieken en onder een grotere diversiteit aan omstandigheden (bijvoorbeeld in een stedelijke omgeving). Deze ervaringen kunnen worden gedeeld in een kennisportaal, zoals bijvoorbeeld PIPE-works.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Motivatatie	7
1.2	Doel	7
1.3	Werkwijze	8
2	Evaluatiemethodiek	9
2.1	Aanpak	9
2.2	Uitwerking evaluatieonderdelen	12
2.3	Risicoanalyse	16
3	Resultaten toepassing evaluatiemethodiek	17
3.1	Overzicht saneringstechnieken	17
3.2	Resultaten toepassing evaluatiemethodiek	19
4	Aanpak afweging sleufloos saneren	25
4.1	Introductie	25
4.2	Afwegingskader saneringsbeslissingen	25
4.3	Indicatiokaart sleufloze technieken	31
4.4	Aanpak toepassing afwegingskader	34
5	Conclusies en aanbevelingen	37
5.1	Conclusies	37
5.2	Aanbevelingen	38
	Referenties	41
	Bijlage I Ervaringen watersector met afwegingsmodellen	44
	Bijlage II Toelichting MKBA	45
	Bijlage III Methodieken sociale kosten	46
	Bijlage IV Overzicht parameters technische aspecten	48
	Bijlage V Overzicht parameters omgevingsaspecten	50
	Bijlage VI Kostenspreadsheet	52
	Overzicht	52
	Investeringskosten	53
	Exploitatiekosten	53
	Afsluitende kosten	53
	Aannemerskosten	54
	Bijlage VII Afwegingen binnen besluitvorming pilotprojecten	55
	Vitens en BAM	55

Brabant Water en BAM	56
WML en Heijmans	56
Bijlage VIII Resultaten duurzaamheidsanalyse	57
Inleiding	57
Kwantificeren milieueffect	57
Life Cycle Assessment	57
Resultaten	59
Verschil LCA en CO ₂ -equivalenten	63
Conclusies	63
Bijlage IX Boomstructuren	65
Bijlage X CO₂ berekening	66
Bijlage XI Kenmerken leidingnet	67
Overzicht leidingnet	67
Netwerkeigenschappen en ligging	70

1 Inleiding

1.1 Motivatie

In Nederland ligt bijna 120.000 km waterleiding (exclusief huisaansluitingen) in de grond. Als die in zijn geheel zou worden vervangen middels traditionele open sleuven representeert dit een globale vervangingswaarde van zo'n 20 miljard euro (uitgaande van een gemiddeld bedrag per meter leiding van €150-200). Traditioneel worden leidingen bijna uitsluitend gesaneerd met behulp van open ontgravingen. Dit is echter niet overal mogelijk of gewenst vanwege bijvoorbeeld hoge kosten, hinder voor de omgeving of relatief lange leveringsonderbrekingen. Het toepassen van sleufloze technieken, zoals het aanbrengen van constructieve kousen (CIPP lining), spray-lining of close-fit lining, vormt een alternatief voor traditionele ontgravingen. Slim toepassen van de verschillende technieken betekent dat klanten, omwonenden en verkeer minder hinder ondervinden en dat mogelijk kosten kunnen worden bespaard.

Bij Nederlandse drinkwaterbedrijven is nog weinig ervaring met de beschikbare technieken onder verschillende omstandigheden in het leidingnet. De beschikbare kennis is versnipperd over de verschillende waterbedrijven en ervaringen zijn slecht te vergelijken door het ontbreken van een uniforme en transparante evaluatiemethodiek. De waterbedrijven hebben daardoor niet altijd zicht op alle mogelijke technieken voor een specifieke situatie, effecten op de omgeving en kosten van de technieken. Het is daarom op dit moment niet mogelijk om een volledig onderbouwde afweging te maken tussen de technieken (van Vossen et al., 2015). Brabant Water, WML en Vitens willen in samenwerking met BAM en Heijmans de relevante aspecten voor toepassing van de verschillende technieken weten en zoveel mogelijk kwantificeren om die onderbouwde afweging te kunnen maken.

1.2 Doel

Het doel van dit TKI project is het genereren van inzicht in de toepasbaarheid van de verschillende, beschikbare technieken voor sanering van het leidingnet door:

- Het benoemen en toepassen van kansrijke innovatieve sleufloze renovatie- en vervangingstechnieken.
- Het objectief beoordelen van projecten met verschillende technieken.
- Het bieden van concrete handvaten voor een onderbouwde afweging van technieken in de praktijk op basis van de evaluatieresultaten.

Op basis van de resultaten van een desktopstudie zijn de uit te voeren technieken gedefinieerd, namelijk een relining met close-fit PE (Compact Pipe), een relining met ter plaatse uitgeharde kous (Hydrofit) en een techniek voor het sleufloos verwijderen van AC (MUNET). De toepassing van deze technieken in drie pilotprojecten met de daarbij horende beoordeling en doorgevoerde innovaties staan beschreven in drie individuele evaluatierapportages (van Vossen and Mesman, 2017a; van Vossen and Mesman, 2016; van Vossen and Mesman, 2017b). Voorliggende rapportage vormt de eindrapportage van het project met de beschrijving van de evaluatiemethodiek en de handvaten voor een onderbouwde afweging. Gezamenlijk vormen de vier rapportages de opbrengst van het project.

1.3 Werkwijze

De basis voor een onderbouwde afweging van verschillende technieken voor saneringsprojecten ligt in:

- Het meenemen van alle relevante, onderscheidende aspecten in een saneringsbeslissing.
- Het eenduidig beoordelen van al die aspecten per saneringsproject, zodat deze kunnen worden meegenomen in de saneringsbeslissing.

Daarom is dit project een uitgebreide evaluatiemethodiek ontwikkeld, waarin alle relevante aspecten bij het afwegen van verschillende saneringstechnieken zijn benoemd en zoveel mogelijk zijn gekwantificeerd (Hoofdstuk 2).

Dit project is uniek, omdat voor het eerst meerdere innovatieve technieken naast elkaar worden uitgevoerd en geëvalueerd met de ontwikkelde evaluatiemethodiek. Met de ervaringen is de evaluatiemethodiek aangescherpt en zijn conclusies getrokken over wat de meest onderscheidende aspecten zijn en hoe deze zich onderscheiden (Hoofdstuk 3).

Met deze kennis uit de praktijkervaringen gecombineerd met een analyse van het leidingnet is een afwegingskader en een stappenplan voor implementatie ontwikkeld (Hoofdstuk 4).

In Hoofdstuk 5 worden conclusies en aanbevelingen benoemd.

2 Evaluatiemethodiek

2.1 Aanpak

2.1.1 Evaluatiemethodiek

Het doel van de evaluatiemethodiek is het eenduidig vergelijken van resultaten van saneringsprojecten uitgevoerd met verschillende technieken, al dan niet sleufloos. Met deze evaluatiemethodiek worden de pilots uitgevoerd binnen het TKI project beoordeeld, maar de methodiek zelf is expliciet dusdanig algemeen opgesteld dat ook saneringsprojecten buiten dit TKI project met dezelfde methode kunnen worden geëvalueerd. Dit biedt de mogelijkheid om na afloop van dit project de kennis nodig voor de onderbouwing van keuzes tussen technieken verder op te bouwen. Het betekent ook dat niet voor iedere pilot elk aspect in de evaluatie relevant is, dit wordt per element bekeken en toegelicht in de evaluatie.

In Bijlage I staan voorbeelden van afwegingsmodellen die bekend zijn in de (internationale) watersector. Al deze voorbeelden hebben gemeen dat er nog veel kennis over kosten en maatschappelijke effecten ontbreekt om de keuze voor een bepaalde sleufloze techniek te onderbouwen.

De evaluatiemethodiek sluit aan bij gangbare afwegingsmethodieken om keuzes voor bepaalde technieken te onderbouwen. In het BTO rapport 'Overzicht van aanleg-, reparatie- en renovatietechnieken is een overzicht gepresenteerd van afwegingsmethodieken voor de uitvoering van een project (Vossen et al., 2015):

- Een Effecten-overzicht (EO): hierin worden alle relevante aspecten in beeld gebracht zonder deze te wegen.
- Een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA) (zie Bijlage II voor een toelichting): dit is de meest bekende en volledige aanpak die informatie geeft over:
 - Effecten van alternatieve technieken;
 - Risico's;
 - Kosten en baten.

Alle relevante of onderscheidende aspecten worden in beeld gebracht en gemonetariseerd, waarna de weging plaatsvindt op kosten. De omvang van een gemiddelde leidingsanering is dusdanig beperkt wat betreft kosten, beschikbare informatie en doorlooptijd dat een volledige MKBA geen optie is.

- Een Kosten-effectiviteitsanalyse (KEA): hierin wordt alleen de waarde van alternatieven t.o.v. de referentie gewogen.
- Een Multi-criteria analyse (MCA): vergelijkbaar met een MKBA, maar i.p.v. monetariseren wordt een (subjectieve) weegfactor toegekend aan alle effecten.

Het belangrijkste onderscheid tussen deze methodieken is:

- Het wel of niet monetariseren van alle relevante aspecten.
- Het wel of niet t.o.v. elkaar wegen van alle relevante aspecten. Hierin wijkt het EO af van de andere methodieken, omdat in een EO alle relevante aspecten worden belicht, maar niet t.o.v. elkaar worden gewogen.

Wel of niet monetariseren van alle relevante aspecten

Het afwegen van verschillende aspecten, zoals kosten en omgevingshinder is makkelijk als alle aspecten gemonetariseerd worden. Voor een overzicht van methodieken en handreikingen voor monetariseren, zie Bijlage III. Maatschappelijke effecten (ook wel sociale kosten genoemd) zijn echter niet eenvoudig te monetariseren:

- In het monetariseren zit veel onzekerheid en het vraagt om specifieke onderzoeken per project, wat meestal geen optie is voor een project met de schaal van een leidingsanering. Denk aan enquêtes om te bepalen welke techniek als minst hinderlijk worden ervaren. Er is wel de optie om dergelijke onderzoeken grootschaliger uit te voeren en dan toe te passen bij meerdere projecten.
- Bovendien zijn de beschikbare methodieken beperkt toepasbaar voor leidingsaneringen. Een risico is dat de afweging incompleet wordt door alleen de aspecten mee te nemen die eenvoudig te monetariseren zijn.
- Een ander risico is dat er voor de echte afweging al een beleidswaardering in de analyse sluipt (bv. door het toekennen van een monetaire waarde aan een minuut OLM los van werkelijke kosten door monteurs, materiaal etc.).
- In van Vossen et al. (2015) zijn beschikbare kentallen voor directe kosten van sleufloze technieken verzameld en is geconcludeerd dat deze kentallen onvolledig zijn en in veel gevallen verouderd.

In dit project is er voor gekozen om geen monetarisatie van sociale kosten uit te voeren, maar te concentreren op het inzichtelijk maken van relevante aspecten en deze zoveel mogelijk te kwantificeren. Op deze manier kan worden bepaald wat relevante onderscheidende factoren zijn tussen verschillende saneringstechnieken. Dat betekent dat een MKBA en een KEA afvallen.

Wel of niet wegen van relevante aspecten

In dit project is gekozen voor een methodiek die de verschillende relevante aspecten niet weegt, maar naast elkaar presenteert. Op deze manier is de methodiek algemeen toepasbaar en kan ieder waterbedrijf de methodiek toepassen door zelf overeenkomstig eigen beleid een weging aan de verschillende onderdelen toe te kennen. Dit betekent dat naast de al eerder afgevallen MKBA en KEA ook de MCA afvalt.

Resultaat gebruikte evaluatiemethodiek

Op basis van bovenstaande afwegingen is gekozen voor de vorm van een EO waar de elementen uit een MKBA voor zover mogelijk worden meegenomen:

- De probleemanalyse.
- Het evalueren t.o.v. een nulalternatief. Het nulalternatief is ingevuld als een traditionele open ontgraving. De volledige evaluatie wordt relatief t.o.v. dit nulalternatief uitgevoerd.
- De projectalternatieven zijn per pilot beperkt tot de sleufloze techniek die wordt uitgevoerd. In de voorafgaande desktopstudie is een overzicht gemaakt van de beschikbare technieken en op basis daarvan is de keuze voor technieken al gemaakt (van Vossen et al., 2014).
- Het bepalen van de directe kosten.
- Het identificeren en kwantificeren van de effecten.
- Het uitvoeren van een risicoanalyse.
- Het presenteren van de resultaten.

2.1.2 Evaluatieonderdelen

In Vossen et al. (2015) is een overzicht gegeven van relevante evaluatieonderdelen op basis van literatuuronderzoek en interviews (Allouche et al., 2014; Deb et al., 2002; Finnveden, 1999; Hoop, 2010; Matthews et al., 2012a, b; Matthews et al., 2014; Morrison et al., 2013). Deze worden als volgt onderverdeeld:

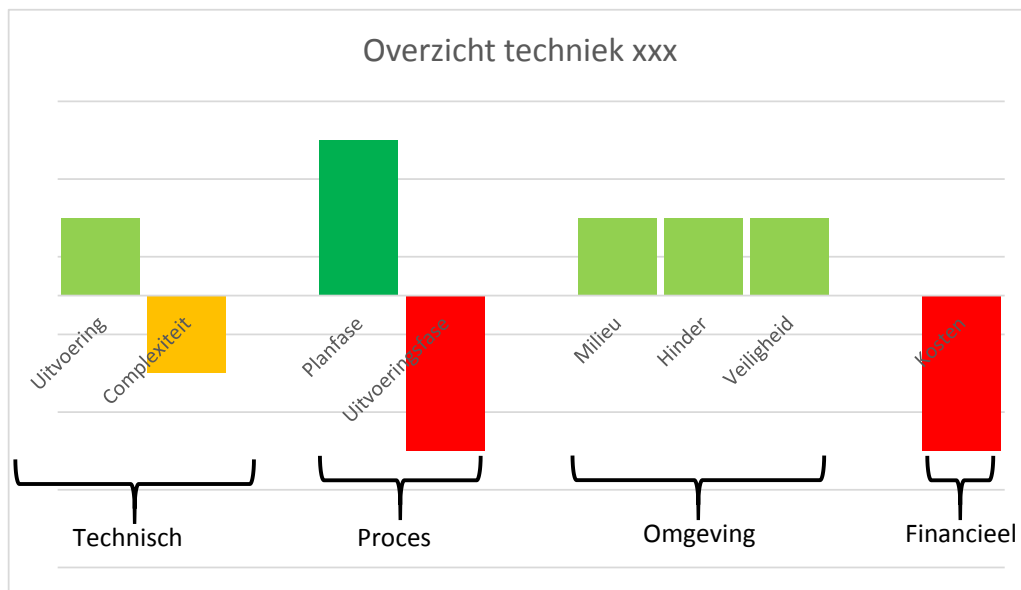
- Technische aspecten die samenhangen met kenmerken van de leiding
- Procesmatige aspecten: de planfase en de uitvoeringsfase worden voor een groot deel bepaald door de eisen vanuit wet- en regelgeving.
- Omgeving; relevante aspecten rond milieu, hinder en veiligheid.
- Financiële aspecten, directe, indirecte en maatschappelijke kosten.

De omgevingsaspecten en kosten zijn dusdanig locatie specifiek gebleken bij uitvoering van de evaluatie op de pilots, dat besloten is om voor individuele pilotlocaties omgevingsaspecten en kosten alleen inhoudelijk uit te werken en niet mee te nemen in de beoordeling. Dat wil zeggen dat de volledige evaluatiemethodiek alleen kan worden uitgevoerd op meerdere locaties van eenzelfde techniek tegelijk, zodat kentallen of in elk geval een spreiding kan worden getoond om een genuanceerd oordeel te bepalen. Voor een evaluatie van een individuele pilotlocatie wordt een gereduceerde methodiek gebruikt, waarbij niet het volledige effectenoverzicht wordt getoond en alleen de technische en procesmatige aspecten worden beoordeeld.

Figuur 2.1 laat een voorbeeld zien van het resulterende effectenoverzicht voor een fictieve techniek. De kleuren representeren:

- Rood (-2 t.o.v. x-as): de techniek presteert veel slechter dan het nulalternatief.
- Oranje (-1 t.o.v. x-as): de techniek presteert slechter dan het nulalternatief.
- Geel (0): de techniek en het nulalternatief presteren gelijkwaardig.
- Lichtgroen (+1 t.o.v. x-as): de techniek presteert beter dan het nulalternatief.
- Donkergroen (+2 t.o.v. x-as): de techniek presteert veel beter dan het nulalternatief.

De evaluatieonderdelen worden hieronder verder ingevuld en uitgewerkt voor gebruik in de evaluatiemethodiek.



FIGUUR 2.1 VOORBEELD EVALUATIE VAN EEN TECHNIK. DE FIGUUR IS INGEVULD MET FICTIEVE UITKOMSTEN.

2.2 Uitwerking evaluatieonderdelen

2.2.1 Technische aspecten

De technische aspecten worden beoordeeld op de aspecten technische uitvoering en complexiteit.

Technische uitvoering

Bij de evaluatie wordt gekeken naar de volgende punten:

- Belangrijk is of de uitgevoerde techniek een oplossing biedt voor het probleem van de bestaande leiding. Redenen voor sanering kunnen samenhangen met bijvoorbeeld (zie o.a. (Gemeente Rotterdam et al., 2013; McKim, 1997)):
 - Waterkwaliteit;
 - Lekkage;
 - Kans op constructief bezwijken;
 - Hinder van de omgeving
 - Capaciteit.
- De technische specificaties van de aannemer zoals voorafgaand aan de pilot al bekend, worden na uitvoering van de pilot vergeleken met de gegevens over de technische uitvoering. De evaluatie is voor een belangrijk deel gebaseerd op de werkstappen die tijdens de uitvoering worden uitgevoerd door alle uitvoerende bedrijven. Deze worden benoemd en besproken. Bijzonderheden van de pilot worden nader uitgewerkt en toegelicht.
- Indien er aspecten zijn in het beheer die afwijkend zijn t.o.v. een traditionele opensleufvervanging, worden deze ook meegenomen.

Voor een volledig overzicht van de gebruikte parameters voor het evalueren van technische aspecten, zie Bijlage IV. Deze bevatten o.a. parameters die de conditie van de leiding omschrijven, leiding- en omgevingskenmerken en specificaties van de techniek.

Complexiteit

In dit aspect wordt bekeken hoe complex de techniek is in uitvoering. Dit onderdeel richt zich op benodigde specialistische kennis bij het waterbedrijf en aannemer:

- Heeft waterbedrijf kennis om kwaliteit te kunnen controleren?
- Zijn er gespecialiseerde aannemers nodig voor de uitvoering?

2.2.2 Proces

De procesmatige aspecten zijn opgedeeld in planfase en uitvoeringsfase.

In de evaluatie worden de verschillende processtappen kwalitatief toegelicht en beoordeeld op complexiteit en doorlooptijd. In de planfase gaat dit met name om:

- De probleemanalyse van de aannemer en het waterbedrijf: hoe is bepaald welke techniek het beste is voor die locatie? Dit is niet voor alle pilots relevant, aangezien voor een aantal de locatie bij de techniek is gezocht in het kader van dit project. In dat geval is dit punt buiten beschouwing gelaten.
- Wet en regelgeving worden onderverdeeld in:
 - Certificering: een product moet gecertificeerd zijn voor toepassing in Nederland, d.w.z. over KIWA-ATA beschikken (Drinkwaterwet (2011), Drinkwaterbesluit (2011) en de Regeling materialen en Chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (2011)). Dit wordt als randvoorwaarde beschouwd. Indien de benodigde certificering niet aanwezig is, wordt de techniek in principe als niet toepasbaar beoordeeld. Tegelijk wordt de evaluatie wel volledig uitgevoerd, omdat voor een techniek KIWA-ATA alsnog kan worden aangevraagd.
 - Lokale regelgeving rond uitvoeringsprojecten zoals geregeld in vergunningen.
 - Andere wettelijke aspecten, zoals veiligheid van werknemers (bv. ARBO) worden buiten beschouwing gelaten. Hierbij is de aanneme gemaakt dat procedures rond het veilig werken van werknemers zijn geborgd door de verschillende bedrijven.

2.2.3 Omgevingsaspecten

Omgevingsaspecten kunnen een reden vormen voor het gebruik van sleufloze technieken, zoals minder hinder in een drukke omgeving door minder graafwerkzaamheden. Daarom is in dit project aandacht besteedt aan het zoveel mogelijk kwantificeren van deze elementen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Milieu;
- Hinder;
- Externe veiligheid.

Voor een volledig overzicht van de gebruikte parameters en aannames bij de evaluatie van omgevingsaspecten, zie Bijlage V. Belangrijke parameters zijn de leidingconditie en kenmerken als materiaal, diameter en ouderdom. Daarnaast de configuratie van de leiding en de ligging in de omgeving, alsmede de werkstappen die worden uitgevoerd tijdens uitvoering van de techniek.

Milieu

Om de milieubelasting van een product te bepalen zijn verschillende aanpakken mogelijk (RIVM, Oktober 2016):

- De ecologische voetafdruk;
De ecologische voetafdruk vertaalt alle elementen en CO₂-uitstoot van een product naar een oppervlak. De CO₂-uitstoot wordt hier gekoppeld aan de omvang van het bos benodigd om de uitgestoten CO₂ op te nemen. Niet alle consumptie is opgenomen in de voetafdruk, zaken als zoet water, niet-vernieuwbare grondstoffen (met uitzondering van fossiele brandstoffen) en vervuilende stoffen zijn niet opgenomen in de methodiek.
- De watervoetafdruk;
Deze voetafdruk geeft inzicht in de hoeveelheid water die wordt gebruikt door activiteiten en de druk van deze activiteiten op zoetwaterbronnen. De watervoetafdruk is daarmee aanvullend t.o.v. de ecologische voetafdruk.
- De stikstofvoetafdruk;
Deze voetafdruk geeft inzicht in de hoeveelheid stikstof die wordt verbruikt voor activiteiten en de druk op het milieu, zoals verzuring, vermesting, klimaatverandering of bodemverschraling. Dit instrument is geschikt voor sectoren als voedselconsumptie, huisvesting, transport, goederen en diensten.
- De levenscyclusanalyse (LCA):
De LCA richt op de invloed van productie en processen op het milieu. Hierbij worden zowel emissies als grondstoffengebruik geëvalueerd door toekennen van ecopunten op milieueffecten zoals bijvoorbeeld grondstofuitputting, gezondheid en klimaat. Dit wordt bepaald voor de hele levenscyclus van een product, in dit geval een leiding of liner. D.w.z. de winning van grondstoffen voor bv. PE of PVC, het productieproces, transport van de bron van grondstoffen naar de fabriek en naar de locatie van de sanering, gebruik, mogelijkheden voor hergebruik na de levensduur en afvalverwerking.

Voor een leidingsanering is de LCA aanpak het beste om de impact op het milieu van verschillende saneringstechnieken te vergelijken. De aanpak wordt gebruikt om de onderscheidende factoren tussen technieken te bepalen, waarna deze verder zijn uitgewerkt. Er is dus geen LCA voor iedere pilotlocatie uitgevoerd. De resultaten staan in het memo Resultaten LCA.

Omdat er geen lokale bijzonderheden in de LCA zijn meegenomen, wordt per pilot ook bekeken:

- Of er waardevolle bomen moeten worden gekapt;
- Of er ecologische habitats worden verstoord;
- Of er sprake is van bestaande of nieuwe bodemverontreinigingen en het effect hiervan op de werkzaamheden.

Deze elementen worden kwalitatief beschreven.

Hinder

Bij relevante, onderscheidende aspecten van omgevingshinder wordt aangesloten bij eerdere analyse (van Vossen et al., 2015):

- Bereikbaarheid van percelen¹; in de evaluatie wordt bereikbaarheid van percelen omschreven met
 - Aantal onbereikbare percelen gedurende een tijdsperiode;
 - Type percelen (commercieel of woning).

¹ In een studie naar technieken voor vermindering van OLM (van Vossen, J., and Vogelaar, A. J., 2016, Techniques for reducing planned Customer Minutes Lost, KWR, Nieuwegein, KWR 2016.014, pp. 37.) bleek uit een (beperkt) klanttevredenheidsonderzoek dat de meeste hinder in een niet-commerciële omgeving werd ervaren door bestratingswerkzaamheden en verlies aan parkeerruimte. Daarnaast heeft onbereikbaarheid van percelen bij commerciële panden invloed op omzet(verlies).

- **Geluidshinder:**
Geluidshinder is gedefinieerd als ongewild geluid horen. Daarbij zijn zowel akoestische als niet-akoestische factoren van belang (Dusseldorp et al., 2011; Kjellberg et al., 1996). Belangrijke elementen van geluidshinder zijn geluidbelasting, tijdstip, controleerbaarheid, “onvermijdbaarheid” van geluid, (ongewenste) informatie in geluid². De evaluatie gaat uit van het volgende:
 - Aangenomen wordt dat de meeste geluidsbronnen afkomstig zijn van dieselmotoren en generatoren. Mocht een techniek afwijkende geluiden met zich meebrengt, wordt dit apart benoemd.
 - Omdat er geen directe geluidsmetingen beschikbaar zijn, wordt uitgegaan van vaste geluidsniveaus van materieel gedurende werkdagen, zie Bijlage V. Voor bemaling wordt uitgegaan van een geluidsniveau gedurende de periode dat de bemaling actief is.
- **Visuele hinder:**
Visuele hinder wordt ingeschat op basis van het ruimtegebruik (oppervlak en hoogte) van het materieel tijdens de uitvoering van een techniek.
- **Stank:**
Stankoverlast wordt kwalitatief ingeschat als er sprake is van een geur (anders dan van dieselgeneratoren).

Externe veiligheid

De volgende aspecten zijn het meest relevant voor leidingsanering:

- **Verkeersveiligheid:**
 - Typering van de verkeersweg in combinatie met het type verharding voor een indicatie van de verkeersintensiteit;
 - Typering en duur van de benodigde verkeersmaatregelen;
- **Aanwezigheid van kabels en leidingen:** dit onderdeel heeft te maken met kans op graafschade aan andere kabels en leidingen. Hier wordt rekening gehouden met:
 - Type kabels en leidingen (data, gas, elektriciteit, riolering);
 - De ligging t.o.v. de waterleiding.
- **De aanwezigheid van risicovolle objecten in de omgeving.** Hierbij worden alleen BEEL-objecten beschouwd, d.w.z. primaire en regionale waterkeringen, primaire en regionale wegen, spoorwegen en overige belangrijke locaties (Boomen, 2011, 2014).

2.2.4 Kosten

Vossen et al. (2015) hebben een analyse gedaan van de kosten van technieken voor leidingsanering. Er wordt onderscheid gemaakt in directe, indirecte en externe kosten voor 3 periodes in de levensduur van leidingen (Clark et al., 2002; Morrison et al., 2013; Selvakumar et al., 2002):

- **Initiële kosten:** dit zijn de kosten van voorbereiding en uitvoering van de techniek. Dit zullen voor het grootste deel investeringskosten zijn, maar bestaan voor een deel mogelijk ook uit exploitatiekosten (bv. onderzoek en ontwerp);
- **Operationele en beheerkosten:** dit zijn de gebruikelijke jaarlijkse kosten van beheer en onderhoud gedurende de levensduur van de leiding dan wel liner;

² In de wet Geluidshinder zijn normen vastgelegd voor industrieel en verkeerslawaai. Het RIVM beheert de regels waarmee de geluidsniveaus van industrie en verkeer berekend worden en registreert en bewaakt of spoor- en wegverkeer voldoet aan de wettelijke normen. Dit zijn echter permanente situaties. Voor tijdelijke projecten, zoals een leidingsanering zijn deze regels niet relevant (tenzij er technieken zijn met geluidsniveaus die ver boven het geluid van standaard materieel uitgaan).

- Afsluitende kosten: dit zijn de kosten die worden gemaakt aan het einde van de levensduur van de leiding dan wel liner.

In het kader van dit project is een kostenspreadsheet ontwikkeld om op een transparante manier kosten te registreren, Bijlage VI. Voor de investeringskosten wordt aangesloten bij de CROW standaard systematiek (CROW, 2010) en daarmee bij de werkwijze bij de meeste waterbedrijven en aannemers.

Gezien de aard van de investeringen wordt uitgegaan van 2 veelgebruikte methodieken om de totale kosten van een project te bepalen (Hoff, 2006; Jones and Smith, 1982):

- Netto contante waarde (NCW) of Net Present Value (NPV): alle kosten gedurende de levensduur van een project worden teruggerekend naar een huidige waarde en opgeteld.
- Equivalente jaarlijkse kosten (EAC): vergelijkbaar met NPV, behalve dat de kosten teruggerekend worden naar een bedrag per jaar over de gehele levensduur van het project.

2.3 Risicoanalyse

Voor elk van de 4 onderdelen van de evaluatie wordt een risicoanalyse uitgevoerd op basis van een expertinschatting die zich richt op:

- Wat zijn de risicovolle aspecten?
- Wat zijn genomen maatregelen om deze risico's te reduceren?

Risico's zijn een combinatie van kans en effect. Daarom wordt gekeken naar wat er fout kan gaan en naar het effect van zo'n fout. De risicoanalyse is kwalitatief van opzet, er wordt alleen kwalitatief beoordeeld of maatregelen de kans of het effect reduceren.

3 Resultaten toepassing evaluatiemethodiek

3.1 Overzicht saneringstechnieken

Sanering kan worden onderverdeeld in:

- Verwijderen al dan niet met vervangen
- Renoveren
- Repareren

van Vossen et al. (2015) geven een overzicht van de beschikbare technieken voor het saneren van leidingen. In deze paragraaf staan de belangrijkste kenmerken samengevat.

Repareren blijft in dit project buiten beschouwing.

3.1.1 Overzicht vervangingstechnieken met een open ontgraving

Er zijn verschillende aanpakken om een vervanging uit te voeren met een open ontgraving:

- Verplaatsing naar nieuw tracé. Dit betekent dat de leiding kan worden aangelegd zonder leveringsonderbreking. Alleen tijdens het overzetten van de huisaansluitingen van de oude naar de nieuwe leiding geeft dan een korte leveringsonderbreking (ongeveer 10 minuten per aansluiting).
- Traditioneel vervangen op zelfde tracé, al dan niet met gebruik van noodleiding. Een leiding vervangen in hetzelfde tracé betekent dat er een leveringsonderbreking plaatsvindt vanaf het moment dat het water in een traject wordt afgesloten totdat de huisaansluitingen zijn overgezet naar de nieuwe leiding. Door een noodleiding te gebruiken wordt de leveringsonderbreking sterk beperkt, maar een noodleiding is (zeker als deze wordt ingegraven) duur en levert veel afval op. Voordelen van hergebruik van het oude tracé zijn o.a. dat de ligging van de infrastructuur t.o.v. elkaar niet verandert en dat de huisaansluitingen hetzelfde blijven.
- Iedere dag een deel vervangen in hetzelfde tracé, waarbij het water alleen in de daglengte die vervangen wordt, wordt afgesloten. Consumenten hebben gedurende de werkzaamheden dagelijks twee maal een korte onderbreking als de daglengte wordt geïsoleerd en één dag een lange als "hun" deel wordt vervangen.
- Tegelijk de gasleiding vervangen, waarbij het tracé van gas en water worden gewisseld. Eén leiding wordt in een nieuw tracé aangelegd, waardoor het oude tracé ruimte biedt aan de andere nieuwe leiding. Dat betekent dat er net als bij verplaatsing van het tracé zeer beperkt leveringsonderbrekingen plaatsvinden.

Binnen een project kunnen verschillende aanpakken ook worden gecombineerd, waardoor de uitvoering van een vervanging met open ontgraving redelijk flexibel is. Bijvoorbeeld, er wordt een nieuwe leiding in het oude tracé gelegd, maar bij een lastig te bereiken locatie wordt het tracé verlegd. Hinder kan worden verminderd door het gebruik van noodleidingen en het kiezen van een gunstig tracé.

De meeste waterbedrijven hebben een eigen aanpak, die voor een deel afhangt van eigen keuzes en voor een deel van lokale aspecten.

- Gemeenten hanteren regels over waar een leiding mag worden gelegd, zoals het alleen toestaan om te vervangen met behoud van het oude tracé.
- Drinkwaterbedrijven hanteren verschillend beleid bij het wel of niet openhouden van een sleuf over meerdere dagen. De meeste waterbedrijven openen alleen de sleuf waar die dag in wordt gewerkt. Aan het einde van de dag is de sleuf weer dicht en bestraat. Soms wordt de sleuf voor de volgende dag al gegraven.
- Drinkwaterbedrijven maken verschillende keuzes over het gebruik van noodleidingen om levering naar consumenten niet of beperkt te onderbreken. Dit hangt ook af van de gebruikte techniek, als de leiding in een nieuw tracé wordt gelegd, is een noodleiding over het algemeen niet nodig.
- Drinkwaterbedrijven hebben verschillend beleid over het wel of niet ingraven van een noodleiding, dit verschilt niet alleen per waterbedrijf, maar ook per seizoen (bv. in de winter niet en in de zomer wel vanwege temperatuurinvloeden).

Bovenstaande aspecten beïnvloeden zaken als ondervonden hinder en leveringsonderbrekingen aan consumenten, en de hoeveelheid en locatie van graafwerkzaamheden. De meerwaarde van beperktere graafwerkzaamheden bij sleufloze technieken hangt dus af van welke aanlegmethode er anders zou zijn gebruikt. Dit is per pilot bekeken.

3.1.2 Overzicht sleufloze verwijderings- en vervangingstechnieken

Voor het vervangen van leidingen bestaan de volgende technieken:

- Pipe cracking: de leiding wordt van binnenuit gebroken door het doorduwen of trekken van een breekkop al dan niet voorzien van een snijkop.
- Pipe eating: de leiding wordt van binnenuit weggefreed.
- Pipe removal: door trekken wordt de leiding in segmenten uit de grond getrokken.

3.1.3 Sleufloos renoveren van leidingen

Voor het (sleufloos) renoveren zijn de volgende technieken beschikbaar:

- Sliplining, hierbij wordt een PE leiding door de bestaande leiding getrokken. De PE leiding is volledig constructief. Dit is een gangbare techniek, waar vrijwel alle drinkwaterbedrijven ervaring mee hebben. Een voordeel is dat de techniek redelijk eenvoudig is toe te passen. Een nadeel is dat om een liner door een bestaande leiding te trekken de liner een kleineren omtrek moet hebben dan de binnenomtrek van de bestaande leidingen. Dit levert een blijvend diameterverlies op in de leiding, groter dan alleen de wanddikte van de liner. De overgebleven ruimte tussen liner en bestaande leiding wordt opgevuld.
- Close-fit PE liners, semi-constructief of volledig constructief. Bij deze techniek wordt ook een PE leiding de bestaande leiding ingetrokken, maar deze leiding is fabrieksmatig of ter plekke gevouwen, waardoor de diameter tijdelijk wordt verkleind. De leiding wordt gevouwen ingetrokken en daarna teruggebracht in de oorspronkelijke vorm. Voordeel van deze techniek is dat het diameterverlies t.o.v. sliplining wordt gereduceerd, de liner sluit nauwsluitend aan bij de bestaande leiding, zonder ruimte die opgevuld moet worden. Een nadeel is dat de techniek op locatie complexer is, omdat de leiding goed moet uitvouwen.
- CIPP: bij deze techniek wordt een met hars geïmpregneerde kous ingebracht in de bestaande leiding, waarna deze d.m.v. druk en temperatuur uithardt. Een voordeel van deze techniek is het beperkte verlies in diameter t.o.v. bijvoorbeeld sliplining. Een nadeel is de complexiteit op locatie, omdat de leiding ter plekke wordt getransformeerd van een kous met hars naar een leiding met de vereiste eigenschappen.

- **Coating:** hierbij wordt met spray een laag aan de binnenzijde van de leiding aangebracht. In Nederland is er met name ervaring met cement coatings (meestal in grijs gietijzer). Sinds de jaren '90 wordt er internationaal gewerkt met epoxy en recent PU coatings, hier is in Nederland vrijwel geen ervaring mee. Deze techniek is alleen geschikt voor het beperken van corrosie en het afsluiten van kleine gaatjes. De techniek is nog niet geschikt als semi-constructieve oplossing.

3.1.4 Technieken uitgevoerd binnen huidige project

Binnen het huidige project zijn drie sleufloze technieken uitgevoerd en is de uitvoering van één techniek voorbereid.

1. MUNET is de merknaam van een verwijderingstechniek ontwikkeld door BAM. Bij deze techniek wordt een leiding sleufloos uitgetrokken en naar wens vervangen door een nieuwe leiding. De techniek is specifiek gericht op het sleufloos verwijderen van AC. Voor een volledig overzicht van de pilot en evaluatie, zie van Vossen and Mesman (2017b).
2. Hydrofit is de merknaam van een CIPP techniek van een consortium van Heijmans, DSM, Waverail en Insituform. Voor een volledig overzicht van de pilot en evaluatie, zie van Vossen and Mesman (2017a).
3. Compact Pipe en Subline zijn merknamen van close-fit PE liners aangeboden op de Nederlandse markt door BAM. Compact Pipe is een fabrieksmatig gevouwen en geassembleerde PE volledig constructieve liner. Subline is een semi-constructieve op locatie gevouwen en geassembleerde liner, voor deze techniek is een pilot voorbereid, maar niet uitgevoerd binnen het TKI project, zie ook Bijlage VII. Voor een volledig overzicht van de uitgevoerde pilot met Compact Pipe, zie van Vossen and Mesman (2016).

In Tabel 3.1 staat een overzicht van de pilots uitgevoerd met de hierboven beschreven sleufloze technieken:

TABEL 3.1 SAMENVATTING UITGEVOERDE PILOTS.

Pilot	Techniek	Materiaal	Diameter	Lengte	Omschrijving
Zwaagwesteinde	Compact Pipe	GGIJ met bitumen coating	300 mm	250 m	Leiding met waterkwaliteitsproblemen door beperkt gebruik en daardoor langere tijd stilstaand water
Sittard	Hydrofit	AC	400 mm	550 m	Eerste toepassing onder operationele condities, transportleiding
Berkel-Enschot	MUNET	AC	100 mm	100 m	Eerste toepassing onder operationele condities, diep gelegen leiding onder bomen en onder/naast asfalt.

3.2 Resultaten toepassing evaluatiemethodiek

De evaluatiemethodiek, zoals beschreven in Hoofdstuk 2 is goed toe te passen op uitvoeringen van saneringen met verschillende technieken. De resultaten van de verschillende pilots laten zien dat

- De methodiek geschikt is om die afwegingsaspecten te deduceren waarmee onderscheid tussen technieken kan worden gemaakt;
- Bij de verschillende aspecten duidelijk naar voren komt waar de verschillen door veroorzaakt worden, waardoor vergelijkingen tussen technieken mogelijk zijn.

Bij brede toepassing van de evaluatiemethodiek op veel projecten met verschillende technieken onder verschillende omstandigheden is het belangrijk om technieken met verschillende TRL³ niveaus anders te behandelen. Bij TRL niveaus lager dan 8 kunnen de resultaten van de evaluatie gebruikt worden in de doorontwikkeling van de technieken richting TRL 8 en 9. Voor de vergelijking van technieken onderling is het bij lage TRL niveaus belangrijk om in de beoordeling de potentiële meerwaarde t.o.v. andere technieken mee te nemen, bijvoorbeeld lagere kosten of toepassing in andere omstandigheden.

Bij lagere TRL-niveaus is het moeilijker om te oordelen, bijvoorbeeld:

- Bij technische aspecten is het moeilijk om lage TRL niveaus te beoordelen, iets kan niet goed werken omdat een techniek nog niet is uitontwikkeld. Een negatieve beoordeling is dan prematuur.
- Bij procesmatige aspecten kan het zijn dat nog niet alle procedures zijn uitgewerkt.
- Bij omgevingsaspecten kan bijvoorbeeld hinder of verkeersmaatregelen nog niet zijn geminimaliseerd, net zoals de snelheid van werken. Veiligheidsmarges worden bijvoorbeeld wat ruimer gehanteerd (bv. grotere afzettingen, meer verkeersmaatregelen of meer mankracht aanwezig, wat ook meer ruimtegebruik met zich meebrengt). De voordelen van de sleufloze technieken op het gebied van omgevingsaspecten komen dan niet goed uit de evaluatie naar voren.
- Reguliere kosten zijn moeilijk te scheiden van de ontwikkelkosten en de kosten zijn ook nog niet geoptimaliseerd voor toepassing onder marktcondities.

Binnen dit TKI project hebben Compact Pipe en Subline een TRL niveau 8-9, Hydrofit en MUNET bevonden zich ten tijde van de pilot in TRL 7. Deze pilots zijn dan ook vooral gebruikt om de evaluatiemethodiek mee te toetsen en verbeteren en om innovaties door te voeren in de betreffende technieken.

Hieronder volgt een totaalbeeld van de evaluaties van de uitgevoerde pilots. Specifieke conclusies per techniek zijn terug te vinden in de evaluatierapportages (van Vossen and Mesman, 2017a; van Vossen and Mesman, 2016; van Vossen and Mesman, 2017b).

Technische aspecten:

Op technische uitvoering scoren alle technieken goed, op complexiteit scoren alle technieken wat lager dan een uitvoering met een open ontgraving.

1: Uitvoering: alle beschouwde sleufloze technieken zijn in staat om een operationele drinkwaterleiding op te leveren. Wel zijn er voor de technieken met een TRL lager dan 8 een

³ TRL staat voor technology readiness level, waarbij we uitgaan van de classificering, zoals gebruikt binnen de EU in Horizon 2020:

1: Basisprincipes zijn geobserveerd
2: Technologie in concept geformuleerd
3: Experimenteel bewijs voor concept
4: Technologie gevalideerd onder laboratorium condities
5: Technologie gevalideerd in relevante omgeving
6: Technologie gedemonstreerd in relevante omgeving
7: Systeem prototype demonstratie in operationele omgeving
8: Systeem compleet en gekwalificeerd
9: Complete systeem bewezen in operationele omgeving

aantal innovaties doorgevoerd n.a.v. bevindingen tijdens de uitvoering. Wat betreft de potentiële meerwaarde (los van kosten en marktwerking):

- MUNET heeft potentiële meerwaarde, omdat er verder geen sleufloze verwijderingstechnieken voor AC leidingen bestaan.
- Hydrofit biedt net als Compact Pipe een volledig structurele oplossing, maar gebruikt een ander leidingmateriaal met andere eigenschappen, bijvoorbeeld het potentieel voor microbiologische nagroei, kruip van het materiaal en de permeabiliteit, leidinglengte die in 1x kan worden vervangen. De potentiële meerwaarde ligt hier in een verbreding van de toepassingen van nauw aansluitende liners in verschillende omgevingsomstandigheden en leidingmateriaal. Bijvoorbeeld, de toepassing van een PE liner (zoals Compact Pipe) in gebieden met vervuild grondwater is af te raden als er breuken kunnen ontstaan in de oude leiding vanwege de permeabiliteit van het materiaal.

2: Complexiteit: vrijwel alle sleufloze technieken passen de leiding ondergronds aan, er is dan ook geen ruimte voor fouten. De uitvoering moet correct verlopen. Dat is complexer dan het neerleggen van een nieuwe leiding in een open sleuf, als daar een probleem mee is, dan wordt het probleem ter plekke hersteld. Dit betekent dat de volgende zaken nodig zijn:

- Voldoende gekwalificeerd personeel met ervaring met de betreffende techniek.
- Betrouwbare gegevens en goede gegevensoverdracht tussen partijen.
- Transparante procedures en stappenplannen met voldoende controlemogelijkheden.
- Inspectie voor- en na toepassing.
- Benodigde certificatie: certificatie en dan zowel product als proces door een externe partij is een instrument in de kwaliteitsbewaking van bovenstaande aspecten en is daarmee belangrijk.

Onderhoud en reparatie: er wordt over het algemeen geen ander regulier onderhoud voorzien dan voor standaard leidingen aangelegd in open ontgraving. Bij reparatie en verwijderen van de leiding of het anderszins aanpassen van de lokale situatie kan het gebruik van een sleufloze techniek wel voor meer ingewikkelde werkzaamheden zorgen, zoals het eerst moeten wegbreken van de bestaande mantelbuis, het aanbrengen van aansluitingen door een mantelbuis c.q. oude buis met liner (zeker als deze dunwandig is, waardoor de mantelbuis niet kan worden verwijderd) of het moeten graven door een grondlaag met scherven van de oude leiding. Ook het lokaliseren van lekken kan bemoeilijkt worden als locatie lek oude buis en liner niet overeen komen.

Procesmatige aspecten:

Voor een overzicht van de besluitvorming bij de pilotprojecten, zie Bijlage VII.

De voorbereidingsfase is over het algemeen eenvoudiger dan bij open sleuf toepassingen. Doordat sleufloze technieken minder en op minder locaties graafwerkzaamheden kennen, zijn er over het algemeen minder en minder complexe vergunningen nodig. Denk aan verkeersmaatregelen in de gemeentelijke vergunning, bomenkap, bemaling in de watervergunning, omgaan met bodemverontreinigingen, afvoer van verontreinigde grond, aanwezigheid zakelijk recht, liggingvergunning. De doorlooptijd van de voorbereiding is vanwege de kortere doorlooptijd benodigd voor vergunningen vaak korter.

Wel vraagt de technische uitvoering om meer kennis en betrouwbare gegevens over de bestaande situatie. Dit kan betekenen dat het waterbedrijf tijd nodig heeft om deze gegevens en de benodigde betrouwbaarheid te regelen.

Specifiek voor relining van PVC leidingen is de uitdaging om voorafgaand aan de werkzaamheden met voldoende betrouwbaarheid vast te stellen of de leiding de grond- en verkeersbelastingen tijdens de werkzaamheden en de periode direct daarna (als de liner nog niet volledig aansluit) aan kan, zie ook (van Vossen and Mesman, 2016).

De complexiteit van de procesmatige kant van de uitvoering verschilt per techniek. Als de techniek wordt uitgevoerd door één bedrijf zonder extra inhuur van specialistische bedrijven, is de procesmatige kant vergelijkbaar met een open sleuf. Als er wel sprake is van specialistische bedrijven, dan zijn sleufloze technieken complexer dan opensleuftechnieken vanwege de gegevensoverdracht en voldoende controlemogelijkheden in de procedures. Sleufloze technieken hebben gemiddeld meer en betrouwbaardere gegevens nodig dan een open ontgraving voor een goed inschatten van mogelijkheden en risico's. Elke gegevensoverdracht vormt hiermee een potentieel risico op fouten en interpretatieverschillen.

Bij toepassing van specialistische technieken is ook de hygiëne van belang. Sleufloze technieken hebben nog beperkte toepassing gehad in de drinkwaterleidingen en worden tot nu toe vaker toegepast in riolering. Apparatuur die in contact is geweest met rioolwater(leidingen) mag niet in contact komen met drinkwater(leidingen) (Hygiëncode).

Omgevingsaspecten

In de evaluatiemethodiek zijn een aantal omgevingsaspecten uitgewerkt, namelijk

- Milieu:
 - Duurzaamheid: Uit de veralgemeniseerde LCA (zie Bijlage VIII) blijkt dat bij gelijke levensduur van producten de dominante verschillen ontstaan door materiaalgebruik en de omvang van eventuele verkeersomleidingen. PVC is van de onderzochte leidingmaterialen (PVC, PE en glasvilt met hars) de meest duurzame, gevolgd door PE en glasvilt met hars. Emissies door graafwerkzaamheden en transport hebben een beperkte rol (orde 10% in het totaal). Beperkingen in graafwerkzaamheden en transport hebben dan ook geen grote impact op het gebied van duurzaamheid. Verkeersomleidingen hebben in potentie een zeer grote impact, maar dit is geheel afhankelijk van hoeveel voertuigen hoe ver moeten omrijden, zie Hoofdstuk 2.
 - Flora en fauna met uitsplitsing van effect van aanwezigheid van bomen en verstoring van ecologische habitats: Het effect op flora en fauna is over het algemeen beperkter bij sleufloze technieken, omdat ook hier beperktere graafwerkzaamheden positief zijn alsmede het “handig” kunnen kiezen van de locatie van werkgaten.
 - Bodemverontreiniging: Bij verontreinigde grond bieden sleufloze technieken een duidelijk voordeel, vanwege de beperkte grondroering en de mogelijkheid om werkgaten “handig” te positioneren. Dit voorkomt verspreiding van de verontreiniging en het moeten werken volgens strenge voorschriften.
- Hinder uitgewerkt voor bereikbaarheid, geluid, visuele en stank: Hinder blijkt zeer locatie-specifiek: wat gebeurt er nog meer in de omgeving, staan er bomen, hoe groot en oud zijn ze, hoe gezond? Hoeveel mensen wonen er? Hoeveel verkeersmaatregelen heb je nodig? Hoe zijn de consumenten aangesloten op het netwerk, kun je aanpassingen in het tracé doen en daarmee de hinder beperken? Wordt

parkeergelegenheid gehinderd? Is er sprake van een commerciële omgeving? De drie pilots bieden onvoldoende diversiteit om hierop een afweging te kunnen maken, wel is duidelijk geworden dat de methodiek hier voldoende informatie over geeft als de omstandigheden aanwezig zijn.

- Externe veiligheid met uitwerking op kabels en leidingen, risicovolle objecten en verkeersveiligheid: Wat betreft veiligheid geldt dat er minder kans is op graafschade aan kabels en leidingen, er in veel gevallen minder verkeersmaatregelen nodig zijn en er minder kans is op schade aan risicovolle objecten.

Wel is het zo dat een aantal sleufloze technieken (denk aan pipe cracking) aanzienlijke krachten uitoefent op de bestaande leiding en daarmee ook op de omgeving. Hiermee kan schade ontstaan aan omliggende infrastructuur en daarom moet de ligging van de omliggende infrastructuur t.o.v. de drinkwaterleiding vooraf worden onderzocht.

Kosten

De kosten waren niet in alle pilots beschikbaar:

- Bij een TRL niveau van 7 (Hydrofit en MUNET) zijn de kosten nog niet marktconform, waardoor een vergelijking met marktprijzen een vertekend beeld geeft.
- Ook zijn de pilotlocaties meestal niet uitgekozen met kosten als afwegingsaspect, waardoor deze hoger dan gemiddeld kunnen uitvallen (bv. Hydrofit en Compact Pipe).

Een alternatief is om kosten in een prestatie-indicator onder te brengen, die prestatie koppelt aan kosten. Als een techniek meer biedt, dan kunnen de kosten hoger zijn zonder dat de prestatie indicator negatief wordt beïnvloedt. Het viel buiten de scope van dit project om deze prestatie indicator te ontwikkelen. Het aantal pilots is te beperkt voor kostenkennallen die zijn onderbouwd met voldoende diversiteit in de toepassingen.

Naast de uitgevoerde pilots binnen het TKI project is de evaluatiemethodiek ook toegepast op een pilot met Pipe Cracking bij PWN (van Vossen, 2017). In deze pilot waren kosten wel onderdeel van de afweging en het betreft een techniek met TRL 9.

Uit de ervaringen met al deze pilots zijn daarom wel een aantal aspecten gekomen die kosten beïnvloeden. Vaste aspecten met invloed op kosten zijn

- de diepteligging van de leiding: dit beïnvloedt direct de omvang van de sleuf en de graafkosten,
- de aanwezigheid van gesloten verharding: een asfaltweg herstellen is aanzienlijk duurder dan het herstellen van open bestrating of een groenstrook
- bomen op het tracé die moeten worden vervangen: bomen mogen niet altijd worden verwijderd en het tijdelijk verwijderen of vervangen van bomen heeft invloed op de directe kosten en op de periode van de werkzaamheden.

Naast deze vaste aspecten zijn er ook risicokosten. Deze kosten zijn zeer locatie-specifiek en hangen samen met hinder, veel kostenverhogende maatregelen zijn om hinder en gevaarlijke situaties te beperken (denk aan verkeersmaatregelen). Belangrijke aspecten hierbij zijn:

- Verkeersdruk: hoe hoger de verkeersdruk, hoe hoger de kosten van verkeersmaatregelen. Daarnaast zijn ook de mogelijkheden voor afsluiting bij zeer drukke wegen beperkt, waardoor er meer druk is om alternatieven in te zetten.
- Commerciële omgeving: in een commerciële omgeving zijn veel percelen die kosten kunnen ondervinden als de bereikbaarheid wordt gehinderd. Daarnaast is een dergelijke

omgeving drukker met voetgangers, fietsers en/of gemotoriseerd verkeer, waardoor meer veiligheidsmaatregelen nodig zijn.

- Nabijheid risicovolle objecten, zoals spoorwegen, waterkeringen, maar ook monumenten.
- Nabijheid kabels en leidingen: dit kan leiden tot graafschade, het voorkomen van graafschade zorgt voor onderzoek, zoals het graven van proefsleuven.

Er zijn verschillende gegevensbronnen die een indicatie kunnen geven op deze aspecten, waardoor het mogelijk wordt om de evaluatiemethodiek verder te kwantificeren en als onderdeel van de afweging van drinkwaterbedrijven ook hinder en kosten te voorspellen. Het viel buiten de scope van het huidige project om dit verder te detailleren, maar gedacht kan worden aan Google Earth, plaatselijke gemeentelijke verordeningen, verleende vergunningen en dergelijke. Het is aan te bevelen dit verder uit te werken.

Bij een kostenvergelijking met traditioneel ontgraven is het van belang om te vergelijken met een realistische schatting op basis van de werkelijke omstandigheden en niet uit te gaan van een gemiddelde meterprijs. Dit levert onrealistische vergelijkingen op en daarmee een vertekend beeld. Met de kennis van de lokale omstandigheden volgend uit de uitvoering van de sleufloze techniek is het goed mogelijk om een realistische schatting te maken van de kosten die gemaakt zouden zijn als er ontgraven was.

4 Aanpak afweging sleufloos saneren

4.1 Introductie

Het doel van het project is een afwegingskader is voor het bepalen van saneringsbeslissingen: welke techniek op welke locatie toepassen? Iedere locatie en het beleid van de drinkwaterbedrijven is anders. In dit hoofdstuk wordt daarom een overzicht van relevante afwegingsaspecten op basis van de opgedane ervaringen tijdens de uitgevoerde pilots en beschikbare kennis vanuit de literatuur.

In dit hoofdstuk worden eerst de relevante afwegingsaspecten benoemd. Daarna wordt een stappenplan besproken voor toepassing van het afwegingskader in de praktijk.

De aanpak en resultaten, zoals besproken in dit hoofdstuk, zijn gezamenlijk met het project 'Evaluatie Pipe Cracking Middenbeemster' (PWN) (van Vossen, 2017) ontwikkeld, delen van dit hoofdstuk komen in beide rapportages terug.

4.2 Afwegingskader saneringsbeslissingen

4.2.1 Saneringsbeslissingen bij waterbedrijven

Moerman et al. (2016) geven een overzicht van de manier waarop assetmanagement beslissingen worden genomen bij de meeste Nederlandse drinkwaterbedrijven. Dit gaat via een risicobenadering waarbij van alle leidingen de risico's bij falen worden ingeschat, waarna een afweging volgt welke leidingen de hoogste vervangingsprioriteit hebben.

Het uitgangspunt bij deze afweging is een risicomatrix waarin ongewenste gebeurtenissen zijn verbonden aan kosten en/of prestatie-indicatoren. Dit is nog onvoldoende informatie voor een saneringsbeslissing, er kunnen naast de risicoanalyse nog andere argumenten voor wel of niet saneren zijn, zoals meegaan met derden, wettelijke bepalingen, economische of systeemtechnische optimalisatie van groepen leidingen, maximum beschikbare budgetten etc.

Bijvoorbeeld, bij WML wordt eerst met Transparant⁴ het meest waarschijnlijke jaar van het einde van de levensduur berekend van elke leiding op basis van een aantal kennisregels in combinatie met de storingsgeschiedenis. Dit "sterf"-jaar per leiding wordt gecombineerd met vervangings- en reparatiekosten, ligging onder asfalt en hoeveelheid aansluitingen om tot een vervangingsprioritering van leidingen te komen. Dit is een prioritering op leidingniveau, deze wordt met een door WML ontwikkelde tool geaggregeerd en afgestemd met de gasnetbeheerder en de gemeenten. Hieruit volgen de daadwerkelijk saneringsbeslissingen per jaar.

⁴ Transparant is een analysemethode ontwikkeld door PWN en Spatial Insight. De methode bepaalt voor iedere leiding het jaar van vervanging vastgesteld op basis van een set kennisregels en een driehoeksrelatie uitgaande van een minimum (T1), meest waarschijnlijk (T2) en maximale levensduur (T3). Op basis van de kennisregels relevant voor een leiding en T3 wordt het vervangingsjaar in de driehoek tussen T1 en T3 gepositioneerd. Zie ook Beuken, R., van Vossen, J., Trietsch, E., Jacobs, B., Geers, R., Horst, P., Louter, J., and Diemel, R., 2016, Comparing results of four decision support software tools on mains replacement, in: *Computation and Control for the Water Industry*, Amsterdam.

De saneringsbeslissing hangt bij de meeste drinkwaterbedrijven niet of beperkt af de gebruikte saneringstechniek. Indirect wel via de kosten, maar de vervangingskosten op leidingniveau zijn slecht bekend. Bij de deelnemende drinkwaterbedrijven neemt alleen Brabant Water een sleufloze techniek rechtstreeks mee in de afweging en dan alleen sliplining. Een afweging voor het gebruik van sleufloze technieken wordt meestal ter plekke gemaakt als bijvoorbeeld blijkt dat een open ontgraving op die locatie erg duur is of anderszins ongewenst of onmogelijk. De afweging is op dat moment vaak wat subjectiever van aard, maar zal in de meeste gevallen nog altijd een afweging zijn tussen kosten versus lokale risico's en baten.

In Bijlage VII staat een beschrijving van de saneringsafwegingen bij de pilotprojecten in dit TKI project.

Op basis van de in dit project uitgevoerde pilots zijn er meer onderscheidende factoren aan te wijzen tussen sleufloze versus niet-sleufloze technieken dan de sleufloze technieken onderling. Waar dit mogelijk was, zijn ook de aspecten voor onderscheid tussen de individuele sleufloze technieken benoemd.

4.2.2 Technische aspecten

De belangrijkste technische risico's hangen samen met de kans op bezwijken van de bestaande leiding, onvoldoende kwaliteit van de sleufloze techniek (bv. een liner van onvoldoende sterkte of in het geval van het verwijderen van een leiding, delen die achterblijven in de grond) en schade aan de omgeving, zie ook (van Vossen, 2017; van Vossen and Mesman, 2017a; van Vossen and Mesman, 2016; van Vossen and Mesman, 2017b). Hiervoor wordt een risicoanalyse gemaakt waar een aantal gegevens voor nodig zijn:

- Leidingkenmerken: materiaal, aanlegjaar, diameter, loop van het tracé, diepteligging, aanwezigheid en ligging aansluitingen, brandkranen, aftakkingen, afsluiters (locatie en onderhoud), reparatiesecties en eventuele andere obstakels.
- Omgeving: kabels en leidingen, risicovolle objecten (zoals BEEL, monumenten), wegen met type en ouderdom bestrating, bomen, ligging onder particulier terrein, verkeersbelasting, commerciële omgeving inclusief typering percelen en verkeer, bodemsamenstelling, grondwater, aanwezigheid bodemvervuiling, niet gesprongen explosieven.

Naast de technische risicoanalyse wordt deze informatie ook gebruikt voor de

- Probleemanalyse: welke techniek lost het probleem van de bestaande leiding op (zie 4.2.3)?
- Lokale kostenanalyse: welke techniek brengt welke kosten met zich mee (zie 4.2.5)?

De betrouwbaarheid en volledigheid van deze gegevens bepaalt de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de risicoanalyse. Hieronder wordt een specifieke situatie uitgelicht die tijdens het project naar voren is gekomen.

Belasting op de bestaande leiding tijdens de werkzaamheden

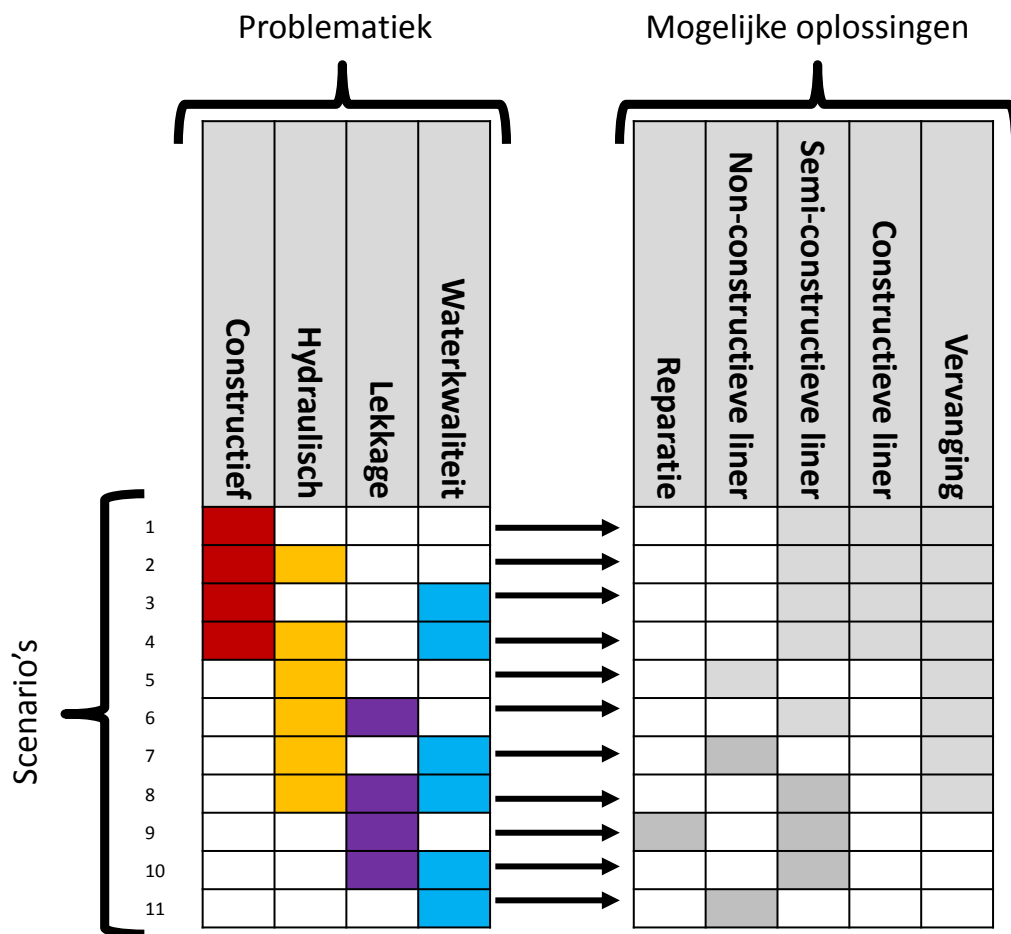
Dit aspect speelt vooral bij PVC. Een PVC-leiding ontleent een significant deel van zijn sterkte aan het zogenoemde "reroundingeffect". Thermoplastische materialen hebben een stijfheid die kleiner is dan die van de omliggende bodem, door de inwendige druk van het water neemt deze stijfheid echter toe. Tijdens werkzaamheden staat de leiding droog, waardoor deze aanvullende stijfheid tijdelijk verdwijnt met als risico deflectie van de leiding (doorbuiging) of zelfs bezwijken. Tijdens de pilot Maarssenbroek met Subline, een semi-

constructieve PE-liner met beoogde toepassing in PVC zijn hiervoor berekeningen uitgevoerd (Vaneveld, 2016). Hieruit bleek dat er voorzichtig moet worden omgesprongen met blootstelling aan verkeersbelasting in de periode van droogstand en de eerste periode na de werkzaamheden als de liner mogelijk nog niet helemaal goed aansluit op de bestaande PVC leiding. De uitkomsten waren echter erg afhankelijk van aannames over de conditie van de PVC leiding. Het is dan ook belangrijk bij sleufloze technieken in het algemeen en toepassingen op PVC in het bijzonder om voldoende kennis over de conditie van de bestaande leiding te vergaren.

4.2.3 Procesmatige aspecten

Afweging of en welke sleufloze techniek

In Figuur 4.1 staat een overzicht van mogelijke (combinaties) van problemen die kunnen optreden bij leidingen (Vossen et al., 2015) en mogelijke oplossingen. De pilots in dit project hadden betrekking tot scenario 1 (Hydrofit), scenario 9 (MUNET, waarbij vanwege het materiaal AC toch gekozen is voor vervanging) en scenario 11 (Compact Pipe, waarbij wordt opgemerkt dat een volledig constructieve liner een zware oplossing is voor het probleem), Sleufloze technieken kunnen de meeste van deze problemen bij leidingen goed oplossen, maar niet alle.



FIGUUR 4.1 OVERZICHT MOGELIJKE PROBLEMATIEK LEIDINGEN EN MOGELIJKE OPLOSSINGEN (FIGUUR OVERGENOMEN UIT VAN VOSSEN ET AL. (2015)). BV. IN SCENARIO 1 IS ER ALLEEN SPRAKE VAN

CONSTRUCTIEF BEZWIJKEN, HIERBIJ HELPT EEN VOLLEDIG CONSTRUCTIEVE OPLOSSING OF EEN SEMI-CONSTRUCTIEVE OPLOSSING DIE DE STERKTE VAN DE BESTAANDE LEIDING AANVULT. IN SCENARIO 9 IS SPRAKE VAN EEN PROBLEEM MET LEKKAGE, HIERBIJ IS REPARATIE OF EEN SEMI-CONSTRUCTIEVE OPLOSSING AFDOENDE.

Problemen die niet of beperkt kunnen worden opgelost door sleufloze technieken zijn:

- Constructieve problemen met betrekking tot zettingsverschillen: zettingen kunnen hoekverdraaiing in de verbindingen geven en/of leidingbreuken.
- Hydraulische problemen door bijvoorbeeld dichtgroei of een te beperkte capaciteit.
- Lekkage bij aansluitleidingen: alle sleufloze technieken zijn gericht op het beperken van graafwerkzaamheden. Aansluitingen moeten stuk voor stuk worden opgegraven.

Naast de bovengenoemde problemen kan een sleufloze techniek niet:

- Het tracé van de leiding aanpassen;
- De diepte van een leiding aanpassen.
- Omgaan met bochten met grote hoekstraal (de meeste sleufloze technieken hanteren een maximum van 11 of 22 graden).

Werk met derden afstemmen

Als er plannen van derden zijn in de omgeving van de te saneren leiding, kan dat betekenen dat er toch al graafwerkzaamheden gepland staan. Dit is relevante informatie om mee te nemen in een lokale afweging.

Lokaal beleid

Welke techniek het beste kan worden toegepast hangt af van de lokale vergunningsverleners. Bijvoorbeeld, gemeenten kunnen regels hebben over tracé, werktijden en werkdata (zie bijvoorbeeld de gemeente Rotterdam die regels heeft over op welke dagen welke wegen mogen worden opgegraven), graafrust, omgang met bomen, achterblijven van materiaal in de bodem en hinder. Ook vergunningsverleners zoals waterschappen en ProRail hebben regels over technieken die zijn toegestaan in de zones rond waterkeringen en spoorwegen).

4.2.4 Omgevingsaspecten

Aanwezigheid bodemvervuiling

Bodemverontreinigingen moeten zo min mogelijk worden geroerd vanwege kans op verspreiding en ter bescherming van medewerkers. Er zijn daarom richtlijnen voor het werken met vervuilde grond, deze zijn afhankelijk van de ernst van de vervuiling. Het kunnen beperken van de hoeveelheid graafwerkzaamheden en het flexibel kunnen inplannen van de locaties van werkgaten is hier dus een voordeel.

Als er bodemvervuiling aanwezig is en een ligging in grondwater wordt het gebruik van een permeabele PE-liner afgeraden. Als er vervuild grondwater tussen een liner en een bestaande leiding kan komen via lekkende verbindingen of leidingdelen, kan de vervuiling potentieel het drinkwater vervuilen. Het risicogebied kan een groter gebied beslaan als het gebied met de daadwerkelijke bodemvervuiling, omdat bij een lek van de bestaande leiding het vervuilde water tussen liner en bestaande leiding kan doorstromen. Dit is anders dan het gebruik van PE_SLA bij een open ontgraving. Deze hoeft alleen te worden toegepast op de locatie van de vervuiling.

Hinderpotentie

De hinder voor de omgeving wordt gekwantificeerd door het aantal omliggende percelen inclusief karakterisering of het om particuliere of commerciële percelen gaat. In geval van omwonenden zijn zaken als duur en niveau van geluidshinder belangrijk, verminderde parkeerruimte en bereikbaarheid en visuele hinder. Voor commerciële percelen gaat het om bereikbaarheid en daaraan gerelateerd derving van inkomsten. Deze derving is afhankelijk van het type commerciële activiteit dat plaatsvindt. Bijvoorbeeld, een restaurant met voornamelijk gasten in de avonduren ondervindt andere hinder dan een advocatenkantoor waar gevoelige gesprekken plaatsvinden of een winkel die gedurende de openingstijden onbereikbaar is en waar niet kan worden geparkeerd. De pilots in dit project lagen niet in een omgeving waarin de kwantificering van hinder voor commerciële activiteiten kon worden getoetst, dit is voor een verbetering van het afwegingskader wel aan te bevelen.

Veiligheidsaspecten

Relevante veiligheidsaspecten betreffen vooral:

- Verkeer: bij werkzaamheden kunnen vaak verkeersmaatregelen worden getroffen om de veiligheid van werknemers en verkeersdeelnemers te regelen. Soms zal de weg dusdanig druk zijn dat de benodigde maatregelen onrealistisch zijn (denk aan het afzetten van een rijksweg), dit beperkt dan de toepassing van mogelijke technieken. Verkeersmaatregelen komen meestal terug als directe kosten in een begroting.
- Kans en geschatte omvang graafschade aan omringende (ondergrondse) infrastructuur en/of objecten: dit zijn risicokosten die kunnen worden ingeschat op basis van de locatie en typering van de betreffende infrastructuur en objecten (denk bv. aan BEEL-locaties).
- Een aantal sleufloze technieken heeft interactie met de omringende bodem, zoals bij het verwijderen van AC en pipe cracking (van Vossen, 2017). Bij het verwijderen van AC kan de tunnel na het verwijderen van de oude leiding invallen, waardoor kabels en leidingen die in de verstoringzone liggen kunnen verschuiven en beschadigen. In het algemeen is deze verstoringzone beperkt, maar het is van belang om de locatie van kabels en leidingen goed te kennen. Deze locatie t.o.v. de oude leiding kan over het tracé verschillen van de locatie in de werkgaten.
- Bij pipe cracking wordt een kracht op de bestaande leiding uitgeoefend, waardoor deze breekt en in de omliggende bodem wordt geduwd. Dat betekent dat ook op de omringende bodem een aanzienlijk kracht wordt uitgeoefend, het is belangrijk om van te voren te bepalen wat de afstand en de conditie van omringende (ondergrondse) infrastructuur is om te kunnen bepalen of er een risico is (van Vossen, 2017).

4.2.5 Kosten

De kosten zijn in de beoordelingen binnen de pilots in dit project niet meegenomen. Uit verschillende kostenoverzichten vanuit de pilots met TRL 9 is een aantal relevante aspecten gekomen (van Vossen, 2017; van Vossen and Mesman, 2016).

Veel van de voorgenoemde wegingsaspecten vertalen zich in financiële aspecten. Immers, als er bijvoorbeeld risico's zijn voor veiligheid, zijn er maatregelen nodig om deze te reduceren. De benodigde maatregelen kosten geld, waardoor ze ook van invloed zijn op de kosten.

Totaaloverzicht afwegingsaspecten voor een keuze tussen wel of geen sleufloze techniek en sleufloze technieken onderling

Technische aspecten

- Van welk materiaal is de leiding gemaakt?
Hierdoor wordt de toepassing van technieken beperkt, bv. AC wordt in principe niet gecracked en bij PVC leidingen is de conditie bepalend of de leiding de belasting tijdens en na de werkzaamheden aan kan.
- Welke diameter heeft de leiding?
Niet elke techniek is toepasbaar voor elke diameter, zie ook van Vossen et al. (2015).
- Kan de bestaande leiding de belasting tijdens en na de werkzaamheden aan zonder te bezwijken?
- Zijn de benodigde gegevens voor een goede risicoanalyse en kostenanalyse volledig en voldoende betrouwbaar? Dat wil zeggen leiding- en omgevingskenmerken.

Procesmatige aspecten

- Wat is het onderliggende probleem van de leiding dat de sanering moet oplossen?
Op basis hiervan kunnen de potentieel geschikte technieken worden bepaald, zie Figuur 4.1.
- Mag de leiding of mogen leidingdelen in de bodem achterblijven op deze locatie?
Dit bepaalt of een verwijderings- of renovatietechniek mogelijk is en bepaalt mede de risicobeoordeling voor welke verwijderingstechniek geschikt is.
- Zijn er plannen van derden?
- Is er lokaal beleid dat invloed heeft op het mogelijke tracé van de gesaneerde leiding?

Omgevingsaspecten

- Is er sprake van bodemvervuiling?
- Staan er waardevolle bomen op het tracé?
- Is de omgeving gevoelig voor hinder?
- Zijn er verkeersmaatregelen nodig?
- Is er risico op schade aan omringende (ondergrondse) infrastructuur of objecten?

Financiële aspecten

- Hoe diep ligt de leiding?
Hoe dieper de leiding ligt, hoe meer graafkosten.
- Hoeveel huisaansluitingen liggen er? Dit heeft invloed op het aantal te graven werkgaten.
- Ligt de leiding onder asfalt en zo ja, hoe oud?
Hier komen kosten uit voor herstel van bestrating.
- Ligt de leiding onder bomen? Zo ja, mogen ze worden verwijderd en moeten ze worden vervangen?
- Hoeveel compensatiemaatregelen zijn nodig om veiligheid te garanderen en hinder te beperken?
- Is er risico op schade, bv. in tuinen van particulieren?

4.3 Indicatiekaart sleufloze technieken

Het is vrijwel onmogelijk om voor iedere leiding in het beheergebied een volledige lokale afweging te doorlopen. Daarom is op basis van een aantal basisgegevens die beschikbaar zijn in GIS een indicatiekaart sleufloze technieken samengesteld. Een voorbeeld van de kaart staat in Figuur 4.2.

De kaart voorspelt op basis van een combinatie van een aantal gegevens of een locatie een verhoogde kans op meerwaarde van toepassing van een sleufloze techniek heeft. De kaart is een startpunt voor een methodiek waarin bij saneringsbeslissingen in een vroeg stadium effecten van het gebruik van verschillende technieken op hinder, kosten en technische mogelijkheden kunnen worden meegenomen. De gecombineerde gegevens zijn voorbeelden van relevante afwegingsaspecten die de drinkwaterbedrijven tot hun beschikking hebben.

Voor een overzicht van de opbouw van de kaart, zie het kader op pagina 33. Het principe van de kaart werkt als volgt; er worden 3 criteria die individueel een afwegingsaspect vormen voor indicatie van potentie op toepassing van sleufloze technieken gecombineerd. Als aan één van de drie criteria wordt voldaan, krijgt de leiding de indicatie "1". Als aan twee criteria wordt voldaan, krijgt de leiding de indicatie "2" enzovoort. Hoe hoger het indicatiegetal, hoe groter de kans dat op deze locatie toepassing van een sleufloze techniek meerwaarde heeft.

De kaart combineert de volgende gegevens relevant voor een afweging van sleufloze technieken versus open ontgravingen:

- de ligging onder gesloten verharding (asfalt),
- de ligging onder bomen,
- de aanwezigheid van aansluitleidingen.

Figuur 4.2 laat twee voorbeelden zien, een uitvergroting van een aantal leidingen met daarop de afweging. Een leiding met weinig bomen, geen ligging onder asfalt en niet onder asfalt krijgt de potentie 0. De kans dat daar sleufloze technieken worden toegepast, wordt op basis van deze gegevens als niet heel potentieel gezien. In hetzelfde kaartje ligt ook een leiding zonder aansluitleidingen, gelegen onder een aantal bomen en met een kruising met een asfaltweg. Deze leiding wordt om die aspecten juist als potentieel voor sleufloze technieken geclassificeerd. Het onderste voorbeeld is een overzichtskaart van een water grotere regio met daarbinnen zowel bebouwde gebieden, als buitengebieden. Een aantal zaken vallen op:

- De buitengebieden hebben gemiddeld een grotere indicatie voor sleufloze technieken dan de bebouwde gebieden (er is vaak sprake van asfaltwegen met bomen en weinig aansluitingen);
- Ontsluitingswegen van en naar wijken komen gemiddeld vaker naar voren met een hogere indicatie;
- Binnen de bebouwde gebieden is de potentie voor sleufloze technieken gemiddeld wat lager, maar er komen nog steeds lokaal locaties voor met een zeer hoge indicatie voor potentie.

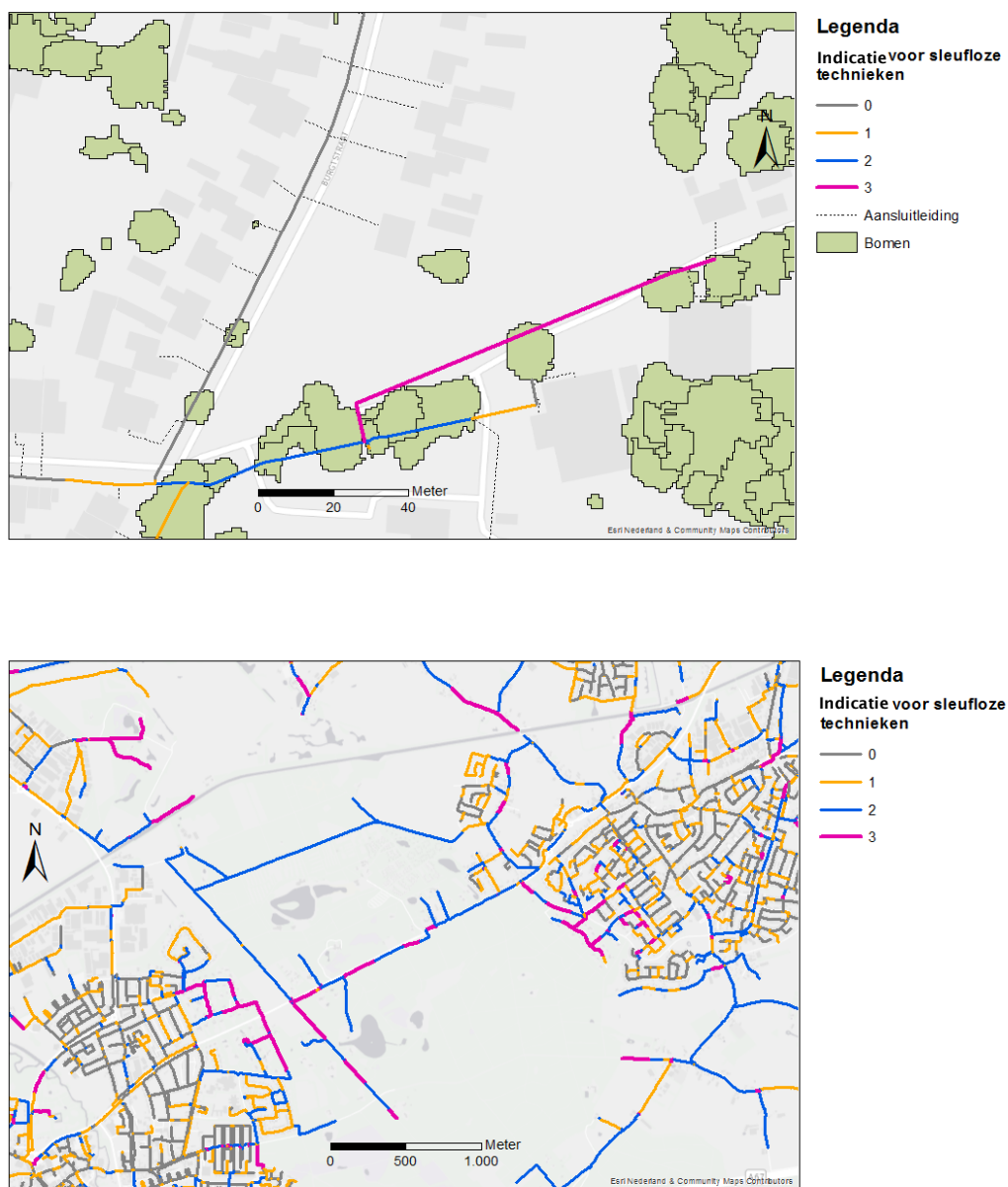
Het kan gebeuren dat locaties die niet als indicatief door de kaart worden benoemd, toch geschikt zijn voor toepassing van sleufloze technieken. Andersom, voor locaties die door de kaart als indicatie worden benoemd, kan na een lokale afweging blijken dat een open ontgraving een prima optie is. Dit heeft een aantal oorzaken:

- Niet alle afwegingsaspecten zijn meegenomen in de kaart, bijvoorbeeld hinder in een drukke stedelijke omgeving met veel verkeer en commerciële activiteiten, spoorweg- of wateronderdoorgangen zijn niet meegenomen of de ligging naast gevoelige objecten.
- De grenzen zijn bepaald op basis van gemiddelden over cohorten en kunnen lokaal anders uitpakken, bijvoorbeeld omdat er werk van derden is gepland.
- De grenzen moeten zijn afgestemd op het beleid in het bedrijf, bijvoorbeeld een goede inschatting bij hoeveel aansluitingen een sleufloze techniek als optie wordt gezien.

De kaart en het afwegingskader zijn daarmee een startpunt voor het maken van gestructureerde afwegingen door de drinkwaterbedrijven. Er zijn veel meer gegevens beschikbaar die kunnen helpen bij de voorspelling of er op een locatie elementen aanwezig zijn die bij een open ontgraving kunnen leiden tot hoge(re) kosten, hinder of technische problemen. Voorbeelden zijn:

- Een overzicht van locaties met bodemvervuiling (Compendium voor de Leefomgeving);
- De Kadastrale Kaart met de perceelgrenzen waarmee ligging onder particulier terrein kan worden bepaald;
- Verkeersdrukte; op internet zijn tegenwoordig naast rijkswegen ook van regionale wegen gegevens beschikbaar over verkeersdrukte. Met deze gegevens zou kunnen worden bepaald niet alleen hoeveel verkeer hinder ondervindt van werkzaamheden, maar ook wat de meest waarschijnlijk om rijroutes zouden zijn. Het is aan te bevelen om te onderzoeken of dit type gegevens gebruikt kan worden om de potentiële hinder beter te voorspellen.
- Gemeentelijke informatie met indicaties voor hinder of risico (voorbeeld Amsterdam: http://maps.amsterdam.nl/open_geodata/):
 - Indicatiekaarten voor commerciële activiteiten, bijvoorbeeld een gemeentelijke functiekaart voor niet-woonfuncties of een kaart met marktlocaties;
 - Monumentenkaarten;

In het volgende hoofdstuk wordt een stappenplan gepresenteerd voor het implementeren en verbeteren van het afwegen van verschillende saneringstechnieken door de drinkwaterbedrijven.



FIGUUR 4.2 VOORBEELD SLEUFLOZE TECHNIEKEN INDICATIEKAART. DE BOVENSTE KAART IS EEN FOCUS OP 2 INDIVIDUELE LEIDINGEN, EENTJE MET HOGE INDICATIE VOOR POTENTIE EN EENTJE ZONDER. DE ONDERSTE KAART IS EEN REGIONALE ANALYSE MET BEBOUWD GEBIED EN BUITENGEBIEDEN.

Achtergrond indicatiekaart voor potentie voor toepassing van sleufloze technieken

De indicatiekaart is opgebouwd uit, zie ook van Vossen (2017):

- Het leidingenbestand, (LIS Brabant Water, maart 2017);
- Aansluitleidingen (maart 2017), dit zijn de actief in gebruik zijnde, fysieke aansluitleidingen;
- Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT), onderdeel gesloten verharding;
- Basisbestand bomen, waarin de kruinomvang is vastgelegd (2016, Geodan, NEO, Wageningen UR).

Aannames:

- De aansluitleidingen zijn gekoppeld aan de dichtstbijzijnde kruising met een leiding met een buffer van 1 meter
- De BGT is nog niet voor alle gemeenten beschikbaar en de betrouwbaarheid verschilt tussen gemeenten. Gemeenten waar nog geen gegevens van bekend zijn, zijn niet meegenomen in de analyse. Alle leidingen binnen een afstand van 1 meter zijn aangenomen als liggend onder gesloten verharding. Als een deel van de leiding onder asfalt ligt, dan is de gehele leiding gemarkeerd als liggend onder asfalt.
- Aangenomen is dat de meeste gesloten verharding bestaat uit asfalt, er is geen onderscheid gemaakt tussen wegen, fietspaden, parkeervakken etc.
- Er is aangenomen dat de kruinomvang van bomen representatief is voor het wortelstelsel van de bomen. Alle leidingen die de kruinomvang kruisen zijn aangenomen als liggende onder een boom.

De resultaten zijn opgenomen in een geodatabase. Hieruit is de indicatiekaart gegenereerd voor iedere leiding_ID met de volgende klassegrenzen:

- Als minder dan 50 aansluitingen per km (gemiddeld iedere 20 meter), dan indicatie voor potentie voor sleufloos saneren.
- Als meer dan 40 bomen per km (gemiddeld iedere 25 meter), dan indicatie voor potentie voor sleufloos saneren.
- Als onder gesloten verharding, dan indicatie voor potentie voor sleufloos saneren.

Deze klassegrenzen zijn gekozen op basis van de gemiddelde aantallen per kilometer, zie bijlage VI en zijn dynamisch aan te passen volgens het beleid van een waterbedrijf. Uit deze klassen zijn de volgende kleurcoderingen opgebouwd:

- Grijs betekent dat geen van de klassegrenzen is overschreden;
- Oranje betekent dat één van de klassegrenzen is overschreden;
- Blauw betekent dat twee van de klassegrenzen zijn overschreden;
- Paars betekent dat alle drie de klassegrenzen zijn overschreden.

Hoe meer klassegrenzen zijn overschreden, hoe groter de indicatie voor potentie voor sleufloos saneren.

4.4 Aanpak toepassing afwegingskader

Het doel van dit project is om een onderbouwde afweging van alle beschikbare (sleufloze) technieken voor leidingssanering een structureel onderdeel van de besluitvorming binnen waterbedrijven te maken. Op basis van de in dit project opgedane kennis is een

afwegingskader opgesteld en een indicatiekaart opgesteld. Het kader en de indicatiekaart vormen hierbij samen met de gepresenteerde evaluatiemethodiek een startpunt om het afwegen van verschillende technieken voor leidingsanering te structureren.

Het anders kiezen van klassegrenzen heeft een aanzienlijk effect op de indicatiekaart. Tabel 4.1 laat de gevoeligheid zien van de indicatiekaart voor aanpassingen in de klassegrenzen. Door de grenswaarde van het aantal bomen niet meer dan 40, maar op meer dan 60 bomen te kiezen, verandert het aantal kilometers leiding in de categorie met de hoogste indicatie met bijna 30%. Het is belangrijk dat de grenzen zodanig gekozen worden dat de locaties na onderzoek inclusief locatiespecifieke aspecten beperkt afwijkt van de eerste "schifting" op basis van de kaart:

- Het aanpassen van klassegrenzen aan het beleid van het drinkwaterbedrijf (waardering verschillende afwegingsaspecten).
- Het aanvullen en verfijnen van de kaart en het afwegingskader met relevante gegevens voor het beheergebied (zie ook Hoofdstuk 4.3).

TABEL 4.1 GEVOELIGHEID VAN INDICATIEKLASSEN VOOR VERANDERINGEN IN GRENSWAARDEN.

Grenzen		Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Bomen	+50%	+14%	+7%	-15%	-29%
	-50%	-21%	-4%	+18%	+33%
Aansluitingen	+50%	-20%	+7%	+9%	+2%
	-50%	+20%	-4%	-12%	-8%

In dit hoofdstuk wordt een aanpak gepresenteerd hoe afwegingen voor welke techniek op welke locatie het beste werkt kan worden geïmplementeerd in de werkprocessen van een drinkwaterbedrijf. Dit stappenplan is geïllustreerd in Figuur 4.3 en komt neer op een Plan-do-check-Act beheercyclus met de volgende stappen, zie ook Agudelo-Vera and Beuken (2015):

Voorafgaand aan de eerste cyclus worden het afwegingskader en de indicatiekaart zo goed mogelijk afgestemd op het beleid en kostenstructuren van het drinkwaterbedrijf. Hierop worden indien nodig aanpassingen doorgevoerd.

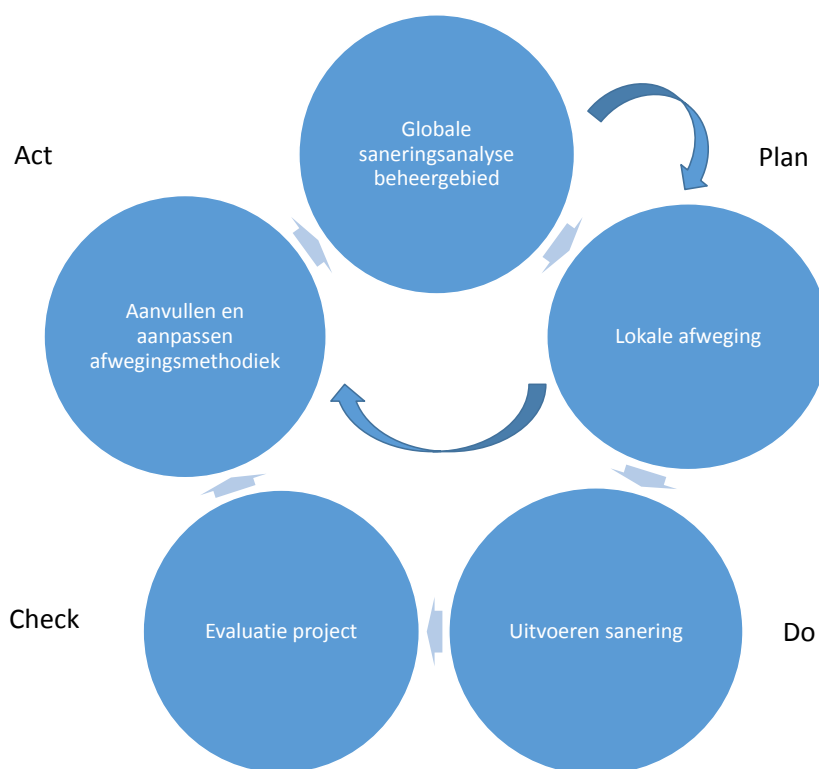
Dan volgen de cycli:

1. Plan: In de planfase zit nog een kleinere PDCA-cyclus.
 - a. Het doen van een globale analyse door de indicatiekaart te combineren met geplande saneringsprojecten.
 - b. Het toetsen van de uitkomsten van de globale analyse met een lokale afweging bij geplande saneringsprojecten op basis van het afwegingskader.
 - c. Het evalueren van de toetsingsresultaten.
 - d. Het verbeteren en indien nodig aanpassen van de aannames voor het maken van de indicatiekaart en het afwegingskader.

Dit betekent dat niet altijd saneringsprojecten nodig zijn om de methodiek te verbeteren, dit kan al in een aantal cycli in de planfase.
2. Do: Uitvoeren van een aantal saneringsprojecten, zowel met sleufloze technieken als met behulp van een open ontgraving.
3. Check: Evaluatie van de uitgevoerde saneringsprojecten:

- a. Kwam de locatie in de planfase naar voren als potentiële locatie voor sleufloze technieken?
 - b. Zo ja, was dit tijdens de globale analyse of bij de lokale afweging?
 - c. Met welke techniek is de sanering uiteindelijk uitgevoerd?
 - d. Wat was achteraf gezien de optimale techniek voor deze locatie en door welke afwegingsaspecten werd dit bepaald?
4. Act: op basis van de uitkomsten van de evaluatie aanpassen van de indicatiekaart en het afwegingskader.
- a. Aanpassen informatie in de indicatiekaart;
 - b. Aanpassen relevante aspecten in het afwegingskader;
 - c. Aanpassen klassegrenzen;
 - d. Aanpassen evaluatiemethodiek indien nodig.

Door het uitvoeren van een aantal cycli zal de methodiek van indicatiekaart, lokaal afwegingskader, evaluatiemethodiek steeds beter gestroomlijnd worden op het beheergebied van het drinkwaterbedrijf en zal de indicatiekaart een steeds grotere voorspellende waarde hebben voor de toepasbaarheid van sleufloze technieken en een meer realistische voorspelling bieden van saneringskosten voor zowel open ontgravingen als sleufloze technieken.



FIGUUR 4.3 PDCA-CYCLUS IMPLEMENTATIE AFWEGINGSKADER SANERINGSTECHNIKEN. OP BASIS VAN DE UITKOMSTEN VAN DE PLANFASE KAN HET AFWEGINGSKADER EN DE INDICATIEKAART (GEZAMENLIJK DE AFWEGINGSMETHODIEK) AL WORDEN Aangepast, WAARDOOR IN PRAKTIJK SPRAKE ZAL ZIJN VAN EEN SNELLE PDCA-LOOP IN DE PLANFASE.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In deze studie zijn de volgende zaken uitgevoerd:

- Ontwikkeling en toetsing op 3 technieken van een evaluatiemethodiek;
- Voor deze toetsing zijn de geselecteerde technieken toegepast in pilotprojecten (één techniek per pilot).
- Uit de opgedane kennis is een afwegingsmethodiek opgesteld die concrete handvaten biedt voor de onderbouwde afweging van technieken in de praktijk. De afwegingsmethodiek is gebaseerd op een combinatie van een globale analyse met een sleufloze technieken indicatiekaart en een afwegingskader die als tool ingezet kunnen worden bij een lokale afweging.

Met de resultaten van dit project kunnen ervaringen met saneringstechnieken onder verschillende omstandigheden worden vergeleken en kunnen ervaringen ook makkelijker worden gedeeld. Ook kunnen drinkwaterbedrijven een methodiek implementeren voor een onderbouwde gestructureerde afweging tussen beschikbare saneringstechnieken.

Met de huidige drie pilots is een basis gelegd voor een beter onderbouwde beslissing welke techniek wanneer moet worden ingezet. Voor een volledige onderbouwing is het van belang om meer vergelijkingen onder verschillende omstandigheden toe te voegen en op basis daarvan de tool uit te breiden en te specificeren.

We kunnen een aantal specifieke conclusies trekken:

Evaluatiemethodiek

- De evaluatiemethodiek biedt de mogelijkheid om heel verschillende technieken onder verschillende omstandigheden op een uniforme manier te beoordelen.
- De evaluatiemethodiek is goed toepasbaar voor technieken met TRL niveaus 8 en hoger. Voor technieken met lagere TRL is de evaluatiemethodiek zeker toepasbaar en nuttig, maar zal de nadruk meer liggen op potentiële meerwaarde van technieken en innovatiemogelijkheden.
- De resultaten van de beoordeling zijn locatie specifiek en geven daarmee een onvolledig beeld van de totale toepasbaarheid van een techniek. Het is niet wenselijk om sterke conclusies te trekken over algemene toepasbaarheid van technieken op basis van een beperkt aantal pilots. Om een sterke bias van de beoordeling naar lokale omstandigheden te voorkomen, is in dit project ervoor gekozen om alleen te beoordelen op technische en procesmatige aspecten. Als er voldoende projecten met de benodigde diversiteit in lokale omstandigheden beschikbaar zijn, dan kan een volledig beeld worden opgebouwd.

Uitvoering

- Alle uitgevoerde technieken zijn in staat om een operationele drinkwaterleiding te realiseren.

- Sleufloze technieken vragen in het algemeen meer en betrouwbaardere kennis van de bestaande leiding om een goede inschatting te kunnen maken van de technische uitvoering en de uitvoeringsrisico's. Dit vraagt om volledige en betrouwbare gegevens van de drinkwaterbedrijven, een goede gegevensuitwisseling tussen partners en heldere communicatie.
- Het op afstand werken aan een leiding (onder de grond) vraagt om vertrouwen van drinkwaterbedrijven en aannemers in een goede technische uitvoering. Dit vraagt om transparantie in werkwijze en het nauwgezet volgen van procedures om kwaliteit te waarborgen. De certificering (zowel de wettelijk verplichte erkende kwaliteitsverklaring als het opstellen van gecertificeerde beoordelingsrichtlijnen (BRL's) zijn hiervoor van belang).
- Los van de noodzaak voor betrouwbare en volledige gegevens is de voorbereidingsfase voor de meeste sleufloze technieken eenvoudiger dan voor open ontgravingen, vanwege het moeten doorlopen van een kleiner aantal en minder complexe vergunningsprocedures en onderzoeken.
- Het feit dat er minder hoeft te worden gegraven biedt sleufloze technieken een voordeel bij gebieden met bodemvervuiling en gebieden met potentiële overlast voor de omgeving.
- Elk van de bekeken technieken heeft specifieke voor- en nadelen die in een lokale afweging moeten bepalen welke techniek het meest geschikt is voor een specifieke locatie (zie ook (van Vossen, 2017; van Vossen and Mesman, 2017a; van Vossen and Mesman, 2016; van Vossen and Mesman, 2017b).

Afwegingskader

- Op basis van de resultaten van de evaluaties en literatuuronderzoek is een afwegingskader opgesteld met relevante afwegingsaspecten. Op basis hiervan kunnen drinkwaterbedrijven een lokale afweging maken tussen de verschillende technieken.
- Om de potentie van leidingen voor toepassing van sleufloze technieken te bepalen is een indicatiekaart voor potentie voor toepassing van sleufloze technieken opgesteld op basis van ligging onder gesloten verharding en bomen en aanwezigheid van aansluitingen.
- Het is belangrijk dat de indicatiekaart een goede representatie biedt van de daadwerkelijke mogelijkheden voor toepassing van sleufloze technieken voor het beheergebied van individuele drinkwaterbedrijven. Daarom is de methode gepresenteerd in de vorm van een PDCA cyclus om iteratief de methodiek te verbeteren:
 - Door resultaten van de lokale afweging terug te koppelen naar de indicatiekaart is deze sterk te verbeteren. Dit kan door het gedetailleerder uitvoeren van de analyses voor de kaart, maar ook door het toevoegen van gegevens die indicatief zijn voor hinder en kosten.
 - Door vervolgens saneringsprojecten uit te voeren en te evalueren met de gepresenteerde evaluatiemethodiek kan de afwegingsmethodiek verder worden verbeterd.

5.2 Aanbevelingen

We maken aanbevelingen op het gebied van afwegen van saneringsbeslissingen en technische aspecten.

Verbeteren van afwegen van saneringsbeslissingen

- Door de PDCA-cyclus te volgen zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 7.4 kunnen de drinkwaterbedrijven de afweging van verschillende technieken gestructureerd opnemen in de methodiek van het nemen van saneringsbeslissingen.
- In Hoofdstuk 4.3 is aangegeven dat de indicatiekaart kan worden verbeterd door het toevoegen van gegevens die inzicht bieden in hinder, zoals kadastrale grenzen, verkeersdrukte, verleende vergunningen, marktlocaties etc. Het is sterk aan te bevelen om na te gaan welke geografische data worden geregistreerd en de toepasbaarheid en toegankelijkheid van deze gegevens te onderzoeken op het kwantificeren van hinder. Dit biedt direct de mogelijkheid tot het verder kwantificeren van hinder in de evaluatiemethodiek.
- Naast het verder kwantificeren van de verschillende afwegingsaspecten is het ook van belang om de deze aspecten te monetariseren. Hierdoor wordt het transparanter hoe zwaar welke aspecten in welke omstandigheden wegen.
- Om een volledig beeld van de algemene toepasbaarheid van sleufloze technieken te krijgen is het van belang om projecten met voldoende diversiteit in liggings- en omgevingsomstandigheden te evalueren. Het is daarom aan te bevelen om de evaluatiemethodiek toe te passen op veel verschillende projecten. Daarvoor is het nodig om:
 - De evaluatiemethodiek te simplificeren tot een tool, zodat deze snel en eenvoudig kan worden uitgevoerd door de drinkwaterbedrijven zelf.
 - Het delen van ervaringen van verschillende bedrijven van relevante sectoren (drinkwater, afvalwater, gas) in een kennisplatform, bijvoorbeeld door uitbreiding met saneringstechnieken van het recent gelanceerde kennisplatform PIPE-works.

Technische aspecten

- Volledigheid en betrouwbaarheid gegevens benodigd voor een risicoanalyse en lokale afweging tussen technieken:
 - Onderzoek of alle benodigde gegevens aanwezig zijn in het LIS en in hoeverre deze gegevens volledig en betrouwbaar zijn. Bijvoorbeeld materiaal, diameter, aanlegjaar, conditie, inspectieresultaten, aansluitingen, afsluiters, reparatiesecties.
 - Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse geeft inzicht in het gewenste betrouwbaarheidsniveau.
- Voeg aan gesaneerde leidingen de volgende gegevens toe in het leidinginformatiesysteem:
 - Liner in bestaande buis met diameter, wanddikte, materiaal, saneringsjaar, type saneringstechniek, aannemer.
 - Pipe cracking: opmerking met scherven oude leiding aanwezig, materiaal oude leiding.
 - Uittrekken AC: registratie eventueel achtergebleven AC resten met omvang resten, typering resten (bv. verbinding), locatie resten, aanlegjaar oude leiding en conditie.
- Vergemakkelijken van het herstellen van aansluitingen (onderwerp van aandacht binnen het Platform Innovatie Drinkwater (PID)). Deze worden over het algemeen opgegraven en vanaf de buitenzijde hersteld. Dit zorgt voor graafwerkzaamheden die twee van de belangrijkste voordelen van sleufloze technieken tegenwerkt, namelijk de beperking van het aantal graafwerkzaamheden en de flexibiliteit van de positionering van werkputten. Er bestaan technieken (op dit moment beschikbaar vanaf diameters vanaf ongeveer 300 mm) om huisaansluitingen robotisch van binnenuit te herstellen. Er zijn echter een paar technische uitdagingen:

- Het van binnenuit lokaliseren van de aansluiting;
 - Het waterdicht maken van de aansluiting;
 - Toepassing in het distributienet waar veruit de meeste aansluitingen zijn en de leidingen gemiddeld kleiner dan 300 mm diameter.
- In het distributiestelsel zijn veel scherpe bochten en obstakels aanwezig, wat toepassing in het distributienet van sleufloze technieken over realistische afstanden bemoeilijkt. Er zijn innovaties gewenst:
 - Om bochten mogelijk te maken.
 - Om verbindingen met aftakkingen te vergemakkelijken (wellicht vergelijkbaar met het herstellen van aansluitingen).

Referenties

- Agudelo-Vera, C. M., and Beuken, R. H. S., 2015, Onderbouwing besluitvorming bij saneren van leidingen, KWR, Nieuwegein, KWR 2015.093, pp. 62.
- Allouche, E., Alam, S., Simicevic, J., Sterling, R., Condit, W., Matthews, J., and Selvakumar, A., 2014, A pilot study for retrospective evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) rehabilitation of municipal gravity sewers, *Tunneling and Underground Space Technology* 39:82-93.
- Beuken, R., van Vossen, J., Trietsch, E., Jacobs, B., Geers, R., Horst, P., Louter, J., and Diemel, R., 2016, Comparing results of four decision support software tools on mains replacement, in: *Computation and Control for the Water Industry*, Amsterdam.
- Boomen, M. v. d., 2011, Richtlijn beoordeling externe effecten leidingen bij primaire- & secundaire locaties: Beoordeling Externe Effecten Leidingen, VEWIN.
- Boomen, M. v. d., 2014, Veiligheidsmanagement drinkwaterleidingen: eindonderzoek en stand van zaken op 1 februari 2014, VEWIN.
- Clark, R. M., Sivaganesan, M., Selvakumar, A., and Sethi, V., 2002, Cost models for Water Supply Distribution systems, *J. Water Resour. Plann. Manage.* 128:312-321.
- CROW, 2010, Standaardsystematiek voor kostenramingen SSK-2010.
- CUR/COB, 1998, Monetarisering van ruimtelijke effecten. Een leidraad voor het monetariseren van ruimtelijke effecten van infrastructuur in stedelijke gebieden, Stichting CUR/COB, Gouda.
- CUR/COB, 1999, Monetiseringsmethoden milieu- en leefbaarheideffecten lijninfrastructuur: een leidraad, Stichting CUR/COB, Gouda.
- Deb, A. K., Hasit, Y. J., and Schoser, H. M., 2002, Decision Support System for Distribution System Piping Renewal, AWWA Research Foundation and AWWA, Denver CO.
- Dusseldorp, A. v., Houthuis, D. J. M., Overveld, A. J. P. v., Kamp, I. v., and Marra, M., 2011, Handreiking geluidhinder wegverkeer: berekenen en meten, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- Eijgenraam, C. J. J., Koopmans, C. C., Tang, P. J. G., and Verster, A. C. P., 2000, Evaluatie van grote infrastructuurprojecten. Leidraad voor kosten-baten analyse. Deel 1: Hoofdrapport, Centraal Planbureau en Nederlands Economisch Instituut in opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken.
- Engelhardt, M. O., Skipworth, P. J., Savic, D. A., Saul, A. J., and Walters, G. A., 2000, Rehabilitation strategies for water distributions networks: a literature review with a UK perspective, *Urban Water* 2:153-170.
- Faber, T., and Mulders, E., 2012, Een kennismaking met de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), handreiking voor beleidsmakers, Rijksoverheid.
- Finnveden, G., 1999, A critical review of operational valuation/weighting methods for life cycle assessment, in: *AFR-REPORT 253*, Swedish environmental protection agency, Stockholm, Sweden.
- Gemeente Rotterdam, Stichting RIONED, and STOWA, 2013, Beoordelingsmodel voor de hoofdpersleidingen van gemeente Rotterdam.
- Geodan, NEO, and Wageningen UR, 2016, Basisbestand bomen.
- Gilchrist, A., and Allouche, E. N., 2005, Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review, *Tunneling and Underground Space Technology* 20:89-104.
- Herz, R. K., 1998, Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks, *J. Water SRT-Aqua* 47(No. 6):275-283.
- Hoff, J., 2006, Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC): A New Approach to Life Cycle Analysis, in: *RCI 21st International Conference*, pp. 115-124.
- Hoop, G. W. v. d., 2010, A new approach to asset management for sewer networks, in: *Faculty of civil engineering*, TU Delft.
- Jones, T. W., and Smith, J. D., 1982, An historical perspective of net present value and equivalent annual cost *Accounting historians journal* Volume 9, number 1.
- Jung, Y. J., and Sinha, S. K., 2007, Evaluation of trenchless technology methods for municipal infrastructure system, *J. Infrastruct. Syst.* 13(2):144-156.
- Kappenburg, N., and Veeneman, K., 2014, Proeftuin maatschappelijke kosten- en batenanalyse, STOWA en Stichting Rioned.

- Kjellberg, A., Landstrom, U., Tesarz, M., Soderberg, L., and Akerlund, E., 1996, The effects of nonphysical noise characteristics, ongoing tasks and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work, *J. Environmental Psychology* **16**:123-136.
- Matthews, J., Condit, W., Wensink, R., and Lewis, G., 2012a, Performance evaluation of innovative water main rehabilitation cured-in-place pipe lining product in Cleveland, Ohio, in: *EPA/600/R-12/012*, USEPA.
- Matthews, J., Condit, W., Wensink, R., and Lewis, G., 2012b, Performance evaluation of innovative water main rehabilitation spray-on lining product in Somerville, New Jersey, in: *EPA/600/R-12/009*, USEPA.
- Matthews, J. C., Selvakumar, A., Sterling, R. L., and Condit, W., 2014, Innovative rehabilitation technology demonstration and evaluation program, *Tunneling and Underground Space Technology* **39**:73-81.
- McKim, R. A., 1997, Selection method for trenchless technologies, *J. Infrastruct. Syst.* **3**(3):119-125.
- Moerman, A., van Vossen, J., and Beuken, R. H. S., 2016, UKNOW, KWR, Nieuwegein, BTO 2016.031, pp. 43.
- Morrison, R., Sangster, T., Downey, D., Matthews, J., Condit, W., Sunil, S., Sauminar, S., and Sterling, R., 2013, State of technology for rehabilitation of water distribution systems, in: *EPA/600/R-13/036*, USEPA.
- RIVM, Oktober 2016, http://www.metenvanduurzaamheid.nl/Overzicht_tools.
- Ruijgrok, E. C. M., Brouwer, R., and Verbruggen, H., 2004, Waardering van natuur, water en bodem in maatschappelijke kosten-batenanalyses, aanvulling op de leidraad OEI, In opdracht van: het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in samenwerking met de ministeries van Verkeer en Waterstaat, Economische Zaken, Financien en VROM.
- Schoondermark, L., 2016, Sustainability of wastewater transport systems; life cycle assessment on pipes transporting domestic wastewater in the WINNET region, in: *Urban Environmental Technology management*, Wageningen University, Wageningen.
- Selvakumar, A., Clark, R. M., and Sivaganesan, M., 2002, Costs for Water Supply Distribution System Rehabilitation, *J. Water Resour. Plann. Manage.* **128**:303-306.
- SWOV, 2010, SWOV-factsheet: functionaliteit en homogeniteit.
- van Vossen, J., 2017, Evaluatie Pipe Cracking: Effectenanalyse en evaluatie van de uitvoering van een Pipe Cracking techniek in 340 meter ø 200 mm GGJ te Middenbeemster, Noord-Holland, KWR, Nieuwegein, KWR 2017.020.
- van Vossen, J., Beuken, R., and Slaats, N., 2014, Kansrijke saneringstechnieken - uitkomsten desktopstudie. Presentatie, Nieuwegein, 16 december 2014, KWR, Nieuwegein, KWR 2014.101(P), pp. 48.
- van Vossen, J., and Mesman, G. A., 2017a, Evaluatie Hydrofit; Effectenanalyse en evaluatie van de uitvoering van een CIPP techniek in 500 meter 400 mm AC te Sittard, Limburg, KWR, Nieuwegein, KWR 2017.002.
- van Vossen, J., and Mesman, G. A. M., 2016, Evaluatie Compact Pipe: Effectenanalyse en evaluatie van de uitvoering van een close-fit techniek in 250 meter 300 mm GGJ te Zwaagwesteinde, Friesland, KWR, Nieuwegein, KWR 2016.098.
- van Vossen, J., and Mesman, G. A. M., 2017b, Evaluatie MUNET: Effectenanalyse en evaluatie van de uitvoering van het uittrekken van 100 meter ø 100 mm AC te Berkel-Enschot, Noord-Brabant, KWR, Nieuwegein, KWR 2017.026.
- van Vossen, J., van Eijk, R., and Beuken, R., 2015, Overzicht van aanleg-, reparatie- en renovatietechnieken voor sanering van leidingen, KWR, Nieuwegein, BTO 2015.028, pp. 45.
- van Vossen, J., and Vogelaar, A. J., 2016, Techniques for reducing planned Customer Minutes Lost, KWR, Nieuwegein, KWR 2016.014, pp. 37.
- Vaneveld, E. W. v., 2016, Relining Vitens Maarssenbroek: sterkteberekeningen, BAM Infra Energie en Water BV, Amsterdam.
- Vossen, J. v., Eijk, R. v., and Beuken, R., 2015, Overzicht van aanleg-, reparatie- en renovatietechnieken voor sanering van leidingen, in: *BTO 2015.028*, KWR Watercycle Research, Nieuwegein.

Zanden, J. v. d., and Oorschot, H., 2013, Afwegingsmodel saneringsmethodes, Avans Hogeschool
Zwerus, R., 2013, Environmental profile in-line sewer systems; indicative LCA comparison with
traditional renovation of sewers. , in: *Project 0156-10-03-56-038*.

Bijlage I Ervaringen watersector met afwegingsmodellen

De afwegingsmodellen in de watersector zijn over het algemeen gebaseerd op een afweging tussen kosten en conditie van een leiding, waarbij beide aspecten moeilijk te kwantificeren zijn (Engelhardt et al., 2000; Herz, 1998). De meeste waterbedrijven gebruiken de directe investeringskosten t.o.v. de ingeschatte conditie en wegen pas technieken die afwijken van een traditionele open ontgraving als blijkt dat een open ontgraving niet mogelijk is, substantieel duurder dan een gemiddelde sanering, of ongewenst vanuit andere perspectieven (bv. relatie met gemeenten, bewoners). Een aantal voorbeelden van afwegingsmodellen waar meerdere technieken en aspecten worden meegewogen zijn:

- In de proeftuin maatschappelijke kosten- en batenanalyse is ervaring opgedaan met het gebruik van MKBA's als afwegingsinstrument. Hieruit is gebleken dat het expliciet meewegen van maatschappelijke kosten argumenten geeft voor beleidskeuzes in het rioleringsbeheer, zoals het wanneer en hoe saneren van leidingen. Het gebruik vergt veel expertise en praktijkkennis vanwege het ontbreken van kentallen over herhalings tijden van gebeurtenissen en kosten, waardoor het inschatten van gevolgen van gebeurtenissen en maatregelen erg moeilijk is (Kappenburg and Veeneman, 2014).
- Hoop (2010) heeft een afwegingsmodel opgesteld voor verschillende technieken bij het saneren van riolering waarbij alle directe, indirecte en maatschappelijke kosten zijn gemonetariseerd. In een aantal casussen uit de praktijk werd geconcludeerd dat nog teveel kennis over gevolgen van effecten en kosten ontbrak voor een realistische toepassing.
- Brabant Water gebruikt een afwegingsmodel (Zanden and Oorschot, 2013) waar een keuze tussen technieken wordt gemaakt op basis van technische toepasbaarheid, veiligheid, milieu, imago en waterkwaliteit (op basis van een risicomatrix), OLM (waarbij een waarde aan minuten OLM is toegekend) en directe kosten (geen levenscyclus, maar alleen aanvangskosten). De technieken waartussen wordt gekozen zijn echter naast sliplining allemaal varianten van traditionele open ontgravingen, andere saneringstechnieken zijn niet opgenomen. Om sleufloze technieken te kunnen wegen is dus uitbreiding nodig, maar voor deze sleufloze technieken is door beperktere ervaring veel minder bekend (van Vossen et al., 2014).

Bijlage II Toelichting MKBA

De meest bekende en meest volledige aanpak om projectalternatieven te wegen is een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Een MKBA geeft informatie over:

- Effecten van projectalternatieven;
- Effectiviteit van maatregelen;
- Risico's;
- Kosten en baten.

Een MKBA is een bekend instrument en er zijn handleidingen voor beschikbaar, maar er is veel informatie vereist en het moet mogelijk zijn om relevante aspecten zinvol te monetariseren. Een alternatief is een MKBA op kentallen, maar ook dan moeten deze wel beschikbaar zijn. Voorbeelden van projecten waar een MKBA voor is uitgevoerd staan in Faber and Mulders (2012), zoals de aanleg van een snelweg of natuurgebied.

Een MKBA bestaat uit de volgende stappen (Eijgenraam et al., 2000):

1. Probleemanalyse
2. Vaststellen van een referentie of nulalternatief
3. Vaststellen van projectalternatieven
4. Bepalen kosten
5. Identificeren en kwantificeren van effecten
6. Monetariseren van effecten
7. Overzicht van kosten en baten
8. Varianten en risicoanalyse
9. Presentatie resultaten

In de probleemanalyse wordt vastgesteld welk probleem de betreffende techniek moet kunnen oplossen. Het is belangrijk om vooraf vast te stellen wat het probleem is, zodat achteraf kan worden geëvalueerd of (i) het probleem voldoende bekend was en (ii) of de techniek het probleem heeft opgelost. Het nulalternatief beschrijft wat er was gedaan als de techniek niet was uitgevoerd.

Een afweging is het gemakkelijkst als alle relevante factoren worden omgerekend naar dezelfde grootte en hier wordt bij een MKBA een monetaire invulling aan gegeven.

Bijlage III Methodieken sociale kosten

Hinder voor de omgeving wordt vaak vertaald als sociale kosten. De meest gebruikte vorm van kwantificeren is een monetaarisatie (Gilchrist and Allouche, 2005; Ruijgrok et al., 2004). Hier zijn verschillende vormen voor mogelijk allemaal gebaseerd op het “Hoeveel wil je betalen” of “Wat wil je ontvangen” principe:

- **Gebleken voorkeur:**
 - **Productiefactormethode**, de waarde van natuur en milieu wordt afgeleid van de bijdrage die natuur en milieu leveren aan de economische waarde van geproduceerde goederen, bv. extra kosten bij leidingsanering door bodemverontreiniging.
 - **Benodigde investeringen**, bv. om hinder te compenseren (zoals het beschikbaar maken van flessenwater bij leveringsonderbrekingen). Een nadeel is dat de benodigde investeringen de werkelijke waarde niet altijd weergeven. Hierbinnen is nog onderscheid mogelijk op bv. **vervangingskosten, kosten om schade te voorkomen en kosten van mitigerende maatregelen**.
 - **Hedonische prijsmethode**: de waarde van natuur en milieu wordt afgeleid aan de hand van waarde van huizen. Dit is een impliciete benadering, waarbij veronderstelt wordt dat zaken als rust, schone lucht en een groene omgeving effect heeft op de huizenprijzen.
 - **Reiskosten**: gebaseerd op geobserveerd gedrag, hoever zijn mensen bereid om te rijden voor bv. bezoek aan een bos? Nadeel is dat deze methode gelimiteerd is tot recreatie en lastig toe te passen bij bv. reizen met meerdere bestemmingen.
- **Gevraagde voorkeur**: in deze benadering wordt middels een enquête naar de voorkeuren van mensen gevraagd.
 - Eén scenario benadering ('Contingent valuation method')
 - Meer scenario's benadering ('Choice experiments')

Al deze methoden hebben voor- en nadelen. Een belangrijk voordeel is dat als omgevingsaspecten kunnen worden gemonetariseerd dit een eenheid is die vergelijken met andere elementen gemakkelijker maakt, bv. de weging met investeringskosten. Belangrijke nadelen zijn:

- De beperkte toepasbaarheid, omgeving wordt bekeken vanuit huizenprijzen of recreatie en de meetmethode sluit daardoor niet goed aan bij tijdelijke overlast door een leidingsanering. Zo is het effect van geluidsoverlast op huizenprijzen wel onderzocht, maar alleen voor de lange termijn (in een omgeving met meer geluidsoverlast liggen de huizenprijzen gemiddeld lager). Deze kosten zijn niet toepasbaar op tijdelijke hinder door een leidingsanering.
- De benodigde hoeveelheid data: om een representatief beeld te krijgen middels bv. een enquête zijn veel gegevens nodig. Vaak ontbreken die of zijn ze alleen achteraf te verkrijgen. Daarnaast zijn enquêtes onderling vaak slecht te vergelijken door andere vraagstellingen of een andere doorsnede van het publiek, waardoor gegevens van andere locaties slecht toe te passen zijn op een specifiek project.

- Het risico bestaat dat elementen die beter te kwantificeren en te monetariseren zijn dan elementen die dat niet zijn zwaarder wegen in een afweging. Bijvoorbeeld, de kosten van verkeersmaatregelen kunnen een indicatie geven van verkeershinder. Er zijn meestal geen maatregelen om geluidsoverlast tegen te gaan, betekent dat dan dat geluidsoverlast minder belangrijk is dan verkeershinder?

In praktijk worden omgevingsaspecten vaak meegenomen middels de benodigde investeringen, waarbij met name het laatste punt, het risico dat niet alle elementen op een eerlijke manier worden meegenomen een reëel probleem is bij de evaluatie van omgevingshinder.

Er zijn handreikingen beschikbaar voor het monetariseren van effecten van infrastructurele projecten op de omgeving (CUR/COB, 1998, 1999; Ruijgrok et al., 2004).

Bijlage IV Overzicht parameters technische aspecten

Overzicht parameters technische aspecten.

Aspect	Kwantificeren	Eenheid
Conditie leiding		
Reden sanering	Multi-criteria analyse	Ja/nee
	Hoge storingsfrequentie	Ja (aantal/km/jaar), nee
	Te lage/hoge capaciteit	Huidige/Gewenste capaciteit
	Waterkwaliteitsprobleem	Ja (omschrijving)/nee
	Voegwijdte	Omschrijving hoekverdraaiing
Restlevensduur	Schatting huidig	Jaar
	Gewenst	Jaar
	Inspectiegegevens	Ja (uitkomst)/nee
Kenmerken	Bouwjaar	Jaartal
	Werkdruk	kPA
	Materiaal	Typering
	Nominale diameter	mm
	Diepteligging	m onder maaiveld
Leidingkenmerken		
Functie	Typering	Primair/secundair/tertiair
Aansluitingen	Aantal	
Brandkranen	Aantal	
Afsluiters	Aantal	
Bochten	Aantal	
zinkers	Aantal	
Mantelbuis	Aantal	
Diameterveranderingen	Typering	Mm, aantal
Kunstwerken	Typering	Welke, aantal
Risicovolle objecten	BEEL	Ja/nee
	BEEL klassering	
	Bijzondere objecten binnen 50 meter	Winkelcentrum, ziekenhuis, revalidatiecentrum, school etc.
Uitvoering		
Installatiemethodiek	Werkstappen met toelichting, verantwoordelijke, uitvoerder	
Type techniek	Typering met korte beschrijving, leverancier, klasse	Klasse: volledig, semi- of nu constructief
Status techniek	Conventioneel, innovatief of nieuw	
Ervaringen (internationaal en NL)	Benoemen uitgevoerde projecten	
Geclaimde voordelen		Ingevuld door leverancier
Toepassingsmogelijkheden	Materiaal, diameter, leidinglengte, werkdruk	
Materiaal product		

Levensduur product Beperkingen Certificering Kwaliteitscontrole Beheeraspecten Referenties	Werkstappen met toelichting, verantwoordelijke, uitvoerder	
---	---	--

Bijlage V Overzicht parameters omgevingsaspecten

Overzicht parameters omgevingsaspecten.

Aspect	Kwantificeren	Eenheid
Milieu		
LCA	Materiaal Verkeersomleiding	Typering Aantal voertuigen Typering voertuigen, zie LCA Km omleiding
Bodemverontreinigingen	Bodemklasse Grondwaterstand	Droog, nat
Waardevolle bomen	Aantal bomen	Aantal
Ecologie	Ecologische habitats Maatregelen	Aanwezig ja/nee Eisen vanuit Gedragscode flora en fauna
Hinder		
Bereikbaarheid	Aantal onbereikbare percelen Typering ligging	Aantal Agrarisch, buitengebied, industriegebied, woongebied, winkelgebied (straat of voetgangers)
Geluid	Periode onbereikbaarheid Periode Nabijheid	Duur Duur Aantal huizen binnen 50 meter
Visueel	Niveau materieel Omvang werkzaamheden Hoogte materieel Periode werkzaamheden Grondverplaatsing	dB m ² ruimtegebruik m Duur m ³
Stank Overige	Vrijkomen vluchtige stoffen Klanttevredenheidsonderzoek Leveringsonderbreking	Geur ja/nee, evt. stofaanduiding OLM
Veiligheid		
Verkeer	Typering verkeersweg Verkeersmaatregelen Periode verkeersmaatregelen Verharding	Zie onder tabel. Omschrijving Duur Nee, ja (open/gesloten)
Kabels en leidingen	Typering Afstand tot drinkwaterleiding Diepte	Typering volgens Klic m m onder maaiveld (inclusief drinkwaterleiding)
Risicovolle objecten	Maatregelen tegen schade BEEL BEEL klassering	Omschrijving maatregelen Ja/nee

	Bijzondere objecten binnen 50 meter	Winkelcentrum, ziekenhuis, revalidatiecentrum, school etc.
--	-------------------------------------	--

*De LCA is veralgemeniseerd uitgevoerd voor alle technieken en heeft daardoor beperkt project-specifieke gegevens nodig.

Aannames bij sleufwerkzaamheden:

- Een sleuf is ongeveer 1,5 meter diep en 1-2 meter breed.
- Gedurende een volledige werkdag wordt materieel ingezet met geluidsniveau van 50-80 dB(A).
- We gaan uit van 30-50 meter leidingvervanging per dag in een stedelijke omgeving en 50-100 meter per dag in landelijke omgeving.
- We gaan uit van sleufbemaling met een geluidsniveau van 50-80 dB(A) (Jung and Sinha (2007) gaat zelfs uit van 90dB(A) voor constructiewerkzaamheden). Sleufbemaling vindt plaats gedurende de volledige periode dat een sleuf open is, dit kan ook buiten werkuren zijn d.w.z. in de avond en nacht.

Aannames bij overige werkzaamheden:

- Standaard materieel heeft een geluidsniveau van 50-80 dB(A) (Jung and Sinha, 2007).
- Vrachtverkeer heeft een geluidsniveau van 50-80 dB(A) (Jung and Sinha, 2007).
- We gaan uit van bronbemaling met een geluidsniveau van 50-80 dB(A) (Jung and Sinha (2007) gaat zelfs uit van 90dB(A) voor constructiewerkzaamheden). Bronbemaling vindt plaats gedurende de volledige periode dat een werkgat open is, dit kan ook buiten werkuren zijn d.w.z. in de avond en nacht.

Type verkeersweg aansluitend bij Duurzaam Veilig (SWOV, 2010):

- Buiten de bebouwde kom:
 - Stroomweg [100-130 km/uur]
 - Gebiedsontsluitingsweg [80 km/uur]
 - Erftoegangsweg [60 km/uur]
- Binnen de bebouwde kom:
 - Gebiedsontsluitingsweg [70 km/uur]
 - Gebiedsontsluitingsweg [50 km/uur]
 - Erftoegangsweg [30 km/uur]

Bijlage VI Kostenspreadsheet

Bij zowel investeringskosten, operationele kosten als afsluitende kosten kan onderscheid worden gemaakt in:

- Directe kosten: kosten die rechtstreeks verbonden zijn aan het projecten betaald worden door de **eigenaar**, zoals materiaal en personeelskosten. Let op; dat betekent dat alle aannemerskosten directe kosten zijn!
- Indirecte kosten: Kosten die worden betaald door de **eigenaar** en indirect worden gemaakt. Voorbeelden zijn organisatiekosten, gebouwhuur e.d.. Deze kosten zijn moeilijker in beeld te brengen en worden vaak met een vast percentage omschreven.
- Externe kosten: Kosten die niet betaald worden door de eigenaar, maar worden opgelegd aan derden.

Omdat niet-monetaire aspecten een andere plek in de evaluatiemethodiek hebben, worden alleen de directe kosten van het project meegenomen. Er wordt geen omzetting wordt gedaan naar monetaire eenheden van zaken als bv. geluidshinder of inkomstenderving van winkels. Mocht er bijvoorbeeld een compensatie aan bewoners worden betaald voor diezelfde geluidshinder of inkomstenderving, dan wordt deze compensatie gerekend onder de directe kosten. Deze worden dan namelijk betaald door de eigenaar en zijn direct verbonden aan het project. Monetaire externe kosten worden wel meegenomen indien aanwezig en direct gerelateerd aan het project, bv. als een deel van de directe kosten wordt doorberekend aan een externe partij.

De indirecte kosten worden niet meegenomen. In de evaluatiemethodiek wordt ingeschat of en hoe indirecte kosten verschillen per techniek (een voorbeeld hiervan kan zijn dat een techniek meer technische expertise vraagt van de kwaliteitscontroleurs van een waterbedrijf. Dit heeft effect op bijvoorbeeld scholing).

De spreadsheet is opgezet om de aansluiting met kostenstructuren van zowel drinkwaterbedrijven als aannemers zo goed mogelijk te maken, zodat de spreadsheet gemakkelijk kan worden ingevuld.

Overzicht

In de tab Overzicht staan de totale kosten van een techniek voor een specifiek project. In geel staan de in te vullen velden, namelijk de naam van de techniek, de gehanteerde rente en de levensduur van het product.

voorbeeld	Techniek
Initiële kosten (€)	100
Jaarlijkse operationele en beheerkosten (€)	5
Afsluitende kosten (€)	0
Rente i (%)	7
Levensduur (jaar)	9
NPV	€ 132,58

EAC

€ 20,35

UitgangspuntenIndien lening, $i > 0$

Geen rekening met inflatie

Geen opbrengsten

Investeringskosten

In de tab Investeringskosten staan per kostenpost de verschillende initiële investeringskosten gedefinieerd. De aannemerskosten worden overgenomen uit het tabblad aannemerskosten.

Onderdeel	Omschrijving	Bedrag (Euro)
Onderzoek	Specificeer onderdelen	0
Materiaal	Specificeer onderdelen	0
Transport	Specificeer onderdelen	0
Aannemerskosten	Zie tabblad aannemerskosten	0
Uren derden	Specificeer onderdelen	0
Uren waterbedrijf	Specificeer onderdelen	0
Advieskosten	Specificeer onderdelen	0
Stortkosten	Specificeer onderdelen	0
Schadevergoeding	Specificeer onderdelen	0
Diversen	Specificeer onderdelen	0
Totaal		0

Exploitatiekosten

In de tab Exploitatiekosten staan alle niet-investeringskosten, d.w.z. initiële kosten en lopende kosten gedurende de levensduur. Voor ieder jaar gedurende de levensduur wordt een bedrag ingevuld.

Omschrijving	Totaalbedrag over levensduur	2016	2017	2018	2019	2020
xxx	45	0	5	5	5	5
yyy						
Initiele exploitatiekosten	100	100				
Totaal	145	100	5	5	5	5

Afsluitende kosten

In de tab Afsluitende kosten staan de investeringskosten die nodig zijn om de leiding aan het eind van de levensduur te verwijderen.

Onderdeel	Omschrijving	Bedrag (Euro)
Onderzoek	Specificeer	
Materiaal	Specificeer	
Transport	Specificeer	
Aannemerskosten	Specificeer	
Uren derden	Specificeer	
Uren waterbedrijf	Specificeer	
Advieskosten	Specificeer	
Stortkosten	Specificeer	
Schadevergoeding	Specificeer	
Diversen	Specificeer	
Totaal		0

Aannemerskosten

In de tab Aannemerskosten staan de aannemerskosten in de vorm van besteksposten.

Bestekpost	Omschrijving	Bedrag
xxx		
yyy		
zzz		
Totaal aannemerskosten		0

Bijlage VII Afwegingen binnen besluitvorming pilotprojecten

In de volgende paragrafen wordt de besluitvorming voor de projecten binnen dit TKI project toegelicht.

Vitens en BAM

Bij Vitens zijn de pilotlocaties uitgezocht op basis van een algemene prioritering van leidingsaneringen in combinatie met een aantal specifieke randvoorwaarden voor de pilots:

- Geschiktheid voor technische toepassing sleufloze techniek;
- Representativiteit leiding voor het leidingnet van Vitens.

Na het begroten van saneringsprojecten is beoordeeld of de kosten opwegen tegen de vervangingsurgentie.

Hieruit zijn een aantal mogelijke locaties naar voren gekomen, waarvan twee verder zijn uitgewerkt.

Zwaagwesteinde

De pilot Zwaagwesteinde betrof het relinen van 250 meter GGJ met een diameter van 300 mm op privéterrein van een agrarisch bedrijf en met een spoorwegonderdoorgang. Er werd op basis van het daar aanwezige waterkwaliteitsprobleem geconcludeerd dat relining met een PE-liner een wenselijke oplossing was en dat de locatie voldoende representatief was om van deze pilot te kunnen leren voor saneringsbeslissingen elders in het net van Vitens.

De pilot was oorspronkelijk gepland in december 2015. De pilot is uiteindelijk uitgevoerd in juli 2016. De reden voor de vertraging was een hogedruk-gasleiding, waarvan tijdens het graven van de werkgaten bleek dat die dicht bij de waterleiding lag dan bleek uit de tekening. Een eerder uitgevoerde proefsleuf had niet tot dit inzicht geleid.

Het gevolg was dat de werkzaamheden werden afgeblazen, de werkgaten werden weer gedicht en de pilot werd uitgesteld tot een moment dat de Gasunie de hogedruk-gasleiding buiten gebruik kon nemen. Naast de vertraging leidde dit ook tot meerkosten door extra huur van materieel en afblazen van de gasleiding.

Maarssenbroek

De pilot Maarssenbroek betrof het relinen van 2000 meter PVC van $\varnothing$ 500 mm. Op basis van eerdere storingen was een onderzoek uitgevoerd naar de conditie van de leiding. Hieruit was geconcludeerd dat de gelering onvoldedig was en de resulterende sterkte mogelijk onvoldoende. Sinds de storende delen van de leiding zijn vervangen hebben zich geen nieuwe storingen voorgedaan. Op basis van de begroting van zowel een open ontgraving als de relining is vervolgens geconcludeerd dat de urgentie om de leiding te saneren onvoldoende was t.o.v. andere te saneren leidingen voor een dergelijk grote investering. Als op een later moment de leiding wel gesaneerd wordt, dan wordt de afweging opnieuw gemaakt met de dan geldende inzichten.

De voorbereiding van het project heeft wel waardevolle inzichten opgeleverd over de toepassing van liners in PVC leidingen.

Brabant Water en BAM

Deze pilot vormde onderdeel van een innovatietraject voor de ontwikkeling van een sleufloze techniek voor het verwijderen van AC leidingen. Dit zorgde voor een aantal randvoorwaarden bij het bepalen van geschikte locaties.

Er werd een locatie gezocht om de techniek in operationele omstandigheden te testen, die:

- Uit een prioritering van leidingsaneringen naar voren kwam.
- Voldeed aan de gewenste omstandigheden voor toepassing van MUNET in deze fase van het ontwikkeltraject, d.w.z. voldoende reststerkte om AC te kunnen trekken en een tracé met voldoende lengte.
- Paste binnen de uitvoeringseisen van het TKI project, d.w.z. representatief voor de techniek (in dit geval een ligging onder bomen en met een aantal aansluitingen) en uit te voeren binnen de looptijd van het TKI project (op de prioriteringslijst voor vervangingen tot 2017 stond).

Dit resulteerde in een beperkt aantal opties, waardoor de pilot pas laat in het project werd uitgevoerd. De uiteindelijk gekozen pilot betrof een 100 meter lange ø100 mm AC leiding onder bomen en onder/zeer dicht bij asfalt.

WML en Heijmans

Gedurende het project zijn 2 locaties onderzocht. De pilot in Sittard (2014) was de eerste toepassing van Hydrofit in een operationeel drinkwaterleidingnet en was dus deel van het innovatietraject. Tijdens deze pilot bleken nog onvolkomenheden voor te komen in de procedures die nadien zijn aangepast. Randvoorwaarden van de pilot was dat er geen grote risico's in de technische uitvoering op de pilotlocatie mochten zijn en dat de kosten voor de uitvoering van de sleufloze techniek binnen een zekere marge niet veel groter mochten zijn dan een uitvoering met een open ontgraving. Deze combinatie van randvoorwaarden heeft ertoe geleid dat er geen pilotlocatie is gevonden tijdens de looptijd van het TKI project.

Er zijn 2 mogelijke pilotlocaties onderzocht:

1. Een leiding in een veld buiten gebruik kon zijn tijdens de uitvoering van de techniek. Van deze locatie werd geconcludeerd dat het risico op meerkosten (stel dat het toch fout gaat) in combinatie met risico op vertraging van de werkzaamheden te groot was om de pilot op deze locatie door te laten gaan.
2. Een leveringszekerheidsleiding die op de saneringsnominatie stond en een poosje buiten gebruik kon zijn. De omgeving was geschikt voor een pilot, maar doordat het niet ging om een leiding die in een moeilijke omgeving lag of anderszins moeilijk toegankelijk was, waren de kosten t.o.v. een traditionele open ontgraving op die locatie te hoog.

Bijlage VIII Resultaten duurzaamheidsanalyse

Inleiding

De volgende technieken worden beschouwd in de LCA:

- Traditioneel vervangen met behulp van een open ontgraving, waarbij aangenomen wordt dat in de meeste gevallen de nieuwe leiding van PVC zal zijn.
- Close-fit technieken, waarbij een gevouwen PE-liner in een bestaande leiding wordt aangebracht en ontvouwen.
- Cured In Place Pipe (CIPP), waarbij een met hars geïmpregneerde glasviltkous wordt aangebracht in een bestaande leiding. Hierna wordt door middel van temperatuur en druk een chemische reactie op gang gebracht, waardoor de liner uithardt.
- Pipe-pulling, waarbij de bestaande leiding wordt uitgetrokken en (eventueel) wordt vervangen door een nieuwe leiding. Aangenomen wordt dat de nieuwe leiding in de meeste gevallen van PVC zal zijn (aangezien de meeste kilometers leidinglengtes in het distributienet zijn in de cohorten met diameters $\varnothing$ 300 mm en kleiner).

Kwantificeren milieueffect

Het milieueffect wordt onder andere bepaald door het materiaal van de nieuwe leiding of liner, en het energie- en waterverbruik tijdens de vervangingen, maar ook hoe ver en hoeveel verkeer hoe ver om moet rijden. Vaak wordt het milieueffect geformuleerd in een CO₂-voetafdruk, een hoeveelheid broeikasgassenuitstoot uitgedrukt in CO₂-equivalenten (CO₂-e). Deze uitstoot van broeikasgassen heeft een effect op de opwarming van de aarde. Andere milieueffecten, zoals verlies aan biodiversiteit, toxiciteit, uitputting van grondstoffen of verzuring worden echter niet in deze CO₂-voetafdruk gekwantificeerd, waardoor de CO₂-voetafdruk geen totaal beeld van het milieueffect geeft. Daarom wordt in dit hoofdstuk de parameter Ecopunten gebruikt om de totale milieu-impact uit te drukken, waarbij één persoon een gedefinieerde milieu-impact heeft van 1.000 Ecopunten per jaar. Hoe hoger het aantal Ecopunten een techniek scoort, hoe groter het negatieve effect op het milieu.

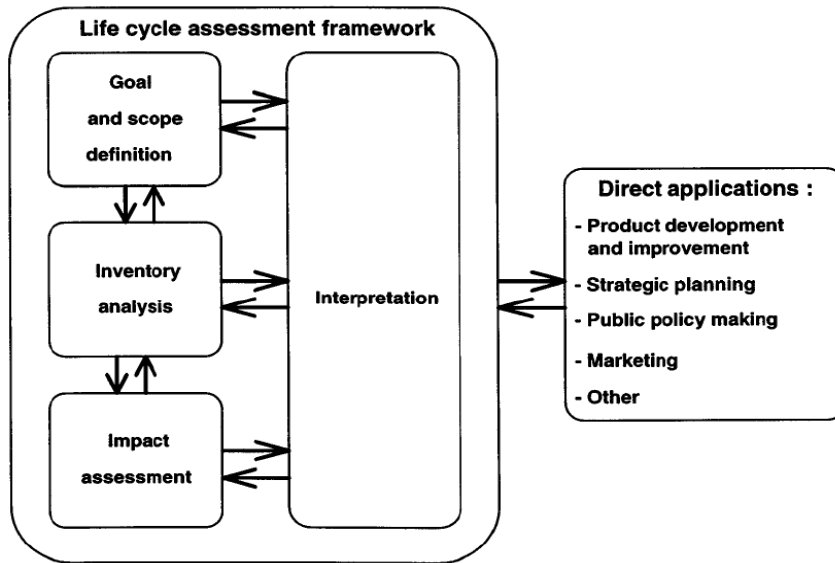
Life Cycle Assessment

Een LCA bekijkt het effect op het milieu van een product of service vanaf het begin (het maken) tot aan het einde (het verwerken). Dit principe wordt ook cradle-to-grave genoemd. Een LCA wordt uitgevoerd door de volgende stappen te volgen (Figuur 1):

1. Identificatie van doel en scope van de LCA.
2. Inventarisatie van gegevens (materialen, energieverbruik en dergelijke). Deze gegevens moeten de gehele levenscyclus van het product of service beslaan waarvan de LCA wordt opgesteld. Deze levenscyclus analyse neemt de volgende facetten in aanmerking:
 - a. Materiaal gebruik (en het transport van dit materiaal);
 - b. Constructie van het product of de service;
 - c. Gebruik van het product of de service;
 - d. Opruimen van het product of de service;
 - e. Afvalverwerking.

3. Bepalen van impact (milieueffect) van het product of de service in termen van hoeveelheid Ecopunten.

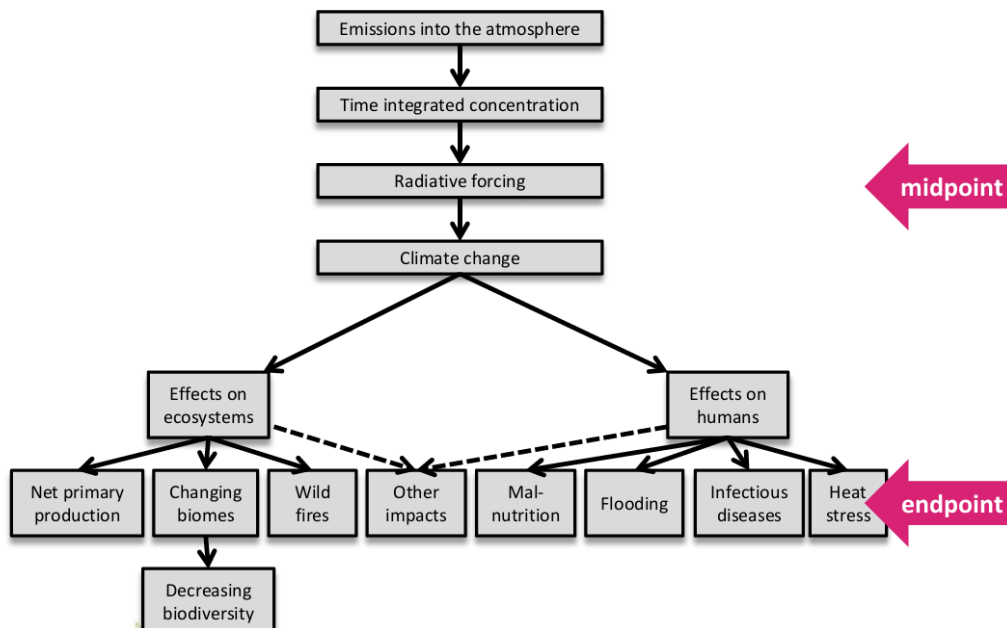
Tijdens de stappen vindt ook interpretatie plaats waardoor eerdere stappen aangepast kunnen worden. Het kan bijvoorbeeld blijken tijdens het inventariseren van gegevens, dat de scope aangepast moet worden. Uiteindelijk wordt het totale milieueffect bepaald aan de hand van het aantal berekende Ecopunten.



Figuur 1. Overzicht van het stappenplan om een Life Cycle Assessment (LCA) uit te voeren.

Het milieueffect kan worden bekeken op verschillende schaalniveaus, op midpoint of endpoint (Figuur 2). Een midpoint is een globaal punt, zoals bijvoorbeeld klimaatverandering. Dit midpoint kan verder uitgesplitst worden in verschillende endpoints, zoals effect op overstromingen of afnemende biodiversiteit.

Met de verschillende midpoints en endpoints worden meerdere milieueffecten meegenomen.



Figuur 2. Voorbeeld van verschillende midpoints en endpoint waar een LCA de milieueffecten voor vaststelt.

Resultaten

De volgende stappen zijn uitgevoerd:

1. Bepalen doel en scope van de LCA

Het doel van de LCA is het berekenen van het totale milieueffect van verschillende technieken voor het saneren van waterleidingen en deze onderling te vergelijken. Alleen de onderscheidende factoren tussen de verschillende technieken worden uitgewerkt.

2. Gegevensinventarisatie

Gedurende de gegevensinventarisatie is gebleken dat gedetailleerde informatie over alle beschouwde technieken voor alle beschreven fasen niet beschikbaar is voor het maken van een volledige LCA, bijvoorbeeld omdat het een zeer nieuwe technologie betreft. Daarnaast zijn sommige parameters zeer specifiek voor een gegeven situatie; bijvoorbeeld het moeten omleiden van verkeer.

Van de verschillende technieken zijn boomstructuren, zie Bijlage 1, gemaakt met daarin de elementen die de milieu-impact bepalen, zoals materiaal, transport en dergelijke. Een aantal van deze elementen is vergelijkbaar voor alle technieken, zoals transport voor de aanvoer van materialen.

Vanuit DSM is informatie beschikbaar gesteld over sanering van leidingen in de riolering. Dit betreft vergelijkbare saneringstechnieken als de hier beschouwde technieken (Zwerus, 2013). In de indicatieve analyse uitgevoerd door DSM (Zwerus, 2013), zijn drie hoofdsenario's geanalyseerd voor de sanering van riolering:

- a. een betonnen leiding compleet vervangen door een nieuwe betonnen leiding,
- b. een renovatie d.m.v. een glasvezel liner,
- c. een renovatie d.m.v. een vilt liner.

Van hoofdsценario a is een variant met en zonder omleiding van het verkeer bepaald. Het verschil in milieueffect van de drie hoofdsценario's blijkt ongeveer 6% (zonder omrijden door het verkeer). Het grootste milieueffect wordt veroorzaakt door de materiaalkeuze, waarbij het wel of niet gebruik maken van hars het grootste effect geeft (gemiddeld 75% over alle end points). Omleiden van het verkeer heeft een groot effect op het milieu. Beide variabelen (materiaalkeuze en omleiden van verkeer) zijn specifiek voor de lokale situatie.

Ook in een studie naar het milieueffect van het gebruik van verschillende diameters bij de aanleg van riolering (Schoondermark, 2016) bleek dat het materiaal veruit dominant is (90% of meer) in het duurzaamheidseffect van de leidingaanleg. Dat betekent dat zaken als transport en graafwerkzaamheden in vergelijking hiermee een beperkte invloed hebben op de totale duurzaamheid van een product. In deze studie worden PVC, PE en glasvezel met hars beschouwd: deze stoffen hebben in principe een vergelijkbare levensduur. Het uitgangspunt is daarom een vergelijking tussen eenmalige uitvoeringen van de sanering.

In certificeringsprocedures voor dit type materialen wordt getest voor een minimale levensduur van 50 jaar, maar leveranciers gaan uit van 50 tot 100 jaar. In praktijk kan de levensduur van een leiding erg variëren, afhankelijk van de kwaliteit van individuele leidingen en lokale omstandigheden. Het is bovendien meestal niet bekend of een leiding van een ander materiaal op dezelfde locatie even lang mee zou zijn gegaan. Omdat het materiaal dominant is in de duurzaamheidsanalyse heeft deze onzekerheid een grote invloed op de resultaten van de analyse. Als twee producten evenveel Ecopunten geven in de LCA, maar het ene gaat 50 jaar mee en het andere 100 jaar, dan is het product dat 100 jaar meegaat veruit het meest duurzaam. Verschillen in Ecopunten door materiaalkeuze en omrijden van verkeer worden daarom in deze studie beoordeeld op significantie gegeven de onzekerheid in levensduur en effecten van verkeersomleidingen moeten worden beschouwd als ordegröte aanduiding van invloed op duurzaamheid.

Op basis van de boomstructuren (Bijlage I) en de resultaten van de hier boven beschreven studie is gekozen voor een aanpak waarbij alleen naar het effect van het materiaal en het omleiden van verkeer gekeken is. De milieueffecten voor materiaalgebruik en verkeer zijn apart van elkaar beoordeeld, zodat deze situatie-specifiek toegepast kunnen worden. Dit is gedaan op basis van de SimaPro 8.0 software met database Ecolnvent 3.0 en rekenmethode ReciPe Endpoint (E).

In SimaPro 8.0./Ecolnvent 3.0 kunnen verschillende soorten processen voor het maken van kunststof leidingmaterialen gekozen worden. De afweging voor keuze voor type materiaal is overgenomen uit een studie van Loes Schoondermark. In deze vergelijkende studie bleken de onderlinge verschillen in milieu-impact tussen de verschillende keuzes heel klein (Schoondermark, 2016).

3. Bepalen van impact

Effect materiaalgebruik

Afhankelijk van de diameter van de buis, zal een hoeveelheid van een bepaald materiaal gebruikt moeten worden, Tabel 1.

TABEL 1 MASSA PER METER BUIS (KG/M) GESPECIFICEERD PER BUISDIAMETER EN MATERIAALKEUZE, BEREKEND UIT HET SOORTELIJK GEWICHT EN DE WANDDIKTE. VOOR DE WANDDIKTE VAN GLASVILT MET HARS IS 7 MM GEBRUIKT (STANDAARD LIGT DEZE TUSSEN 7 EN 9 MM) EN EEN SOORTELIJK GEWICHT VAN 1500 KG/M³. VOOR PE IS UITGEGAAN VAN PE80 EN PN10, DIT HEEFT EEN SOORTELIJK GEWICHT VAN 950 KG/M³. VOOR PVC IS UITGEGAAN VAN PVC 1MPA MET EEN SOORTELIJK GEWICHT VAN 1400 KG/M³.

<i>Diameter (m)</i>	PE (kg/m)	PVC (kg/m)	Glasvilt (met hars) (kg/m)
0.1	2.2	1.8	3.1
0.2	8.1	6.5	6.4
0.3	19.2	15.3	9.7
0.4	32.5	25.9	13.0

Tabel 2 geeft de resulterende Ecopunten per meter leidingsanering. Verschillen in Ecopunten ontstaan door het materiaaltype en de hoeveelheid materiaal. Het milieueffect per kg materiaal ligt voor glasvilt met hars hoger dan voor PE. Maar per meter leiding is meer kg PE nodig dan glasvilt met hars. Het netto effect van een meter sanering van een leiding met een diameter van 0.4 m is voor beide materialen ongeveer even groot (10.7 vs. 10.8). Omdat de wanddikte van glasvilt met hars voor iedere leidingdiameter hetzelfde is, zie je dat voor kleinere diameters het gebruik van PE minder Ecopunten geeft. PVC is voor iedere diameter het gunstigst in termen van Ecopunten. Verschillen per meter tonen variaties van ongeveer 25-440% (verschil van PE en glasvilt t.o.v. PVC). Zelfs als de onzekerheid van de levensduur van de producten in aanmerking wordt genomen is dit een significant verschil. Aangezien het totale aandeel van graafwerkzaamheden in Ecopunten van ongeveer 10% is bij een open ontgraving, hebben de verschillen door materiaalgebruik tussen sleufloze technieken en een open ontgraving (waarin meestal PVC wordt gebruikt) een grotere impact op duurzaamheid dan de beperktere graafwerkzaamheden van sleufloze technieken.

TABEL 2 MILIEUEFFECT VOOR MATERIAAL EN DIAMETER KEUZE PER METER RELINING

	Diameter (m)	PE	PVC	Glasvilt+hars
Ecopunten (Pt)	0.1	0.726	0.584	2.57
	0.2	2.67	2.11	5.31
	0.3	6.34	4.97	8.05
	0.4	10.7	8.41	10.8

Effect omrijden verkeer

Voor verschillende brandstoffen en voertuigen gelden verschillende milieueffecten per km. In Tabel 3 staat een overzicht. Indien een vrachtwagen een kilometer moet omrijden, geeft dit meer Ecopunten (0.187) dan wanneer een scooter moet omrijden (0.0289). Het gebied waar de sanering plaatsvindt, is daarom van belang. In een industriegebied met veel vrachtverkeer zal er een grotere impact zijn dan in een woonwijk.

TABEL 3 MILIEUEFFECT IN ECOPUNTEN VOOR HET VERKEER DAT MOET OMRIJDEN PER KILOMETER

Vervoermiddel	Ecopunten/voertuig/km
<i>Auto diesel</i>	0.065

<i>Auto benzine</i>	0.071
<i>Vrachtwagen</i>	0.187
<i>Scooter</i>	0.029

Totaaleffect materiaal en verkeer

In Tabel 4 is het totaaleffect op het milieu uitgewerkt in Ecopunten van de beschouwde technieken. Bij de open ontgraving met een nieuwe PVC leiding is de situatie met en zonder verkeersomleidingen uitgewerkt. Voor de sleufloze technieken is aangenomen dat hier geen wegomleidingen voor nodig zijn. Het uitgangspunt is 100 meter vervanging. In geel is aangegeven bij welke verkeersomleiding een sleufloze techniek duurzamer is dan een traditionele open ontgraving. Voor de verkeersomleidingen wordt uitgegaan van vrachtwagens (worst case voor Ecopunten). In Tabel 5 staat hetzelfde voor een leidingsanering van 1 km. Hieruit volgt een aantal observaties:

- Leidingsaneringen over grotere afstanden veroorzaken meer milieu-impact dan saneringen over kleinere afstanden (dit is te verwachten).
- Bij kleinere diameters is het effect van verkeersomleidingen relatief groter dan bij grotere diameters. Bv. bij een diameter van 100 mm is voor 100 m renovatie een omleiding waar 250 vrachtwagens 500 meter voor moeten omrijden al voldoende om renovatie met een PE-liner duurzamer te maken dan een traditionele open ontgraving. Voor een diameter van 400 mm is een omleiding voor 1000 vrachtwagens over 1 km nog niet voldoende.
- Het effect van verkeersomleidingen is groter bij grotere verkeersintensiteit en grotere afstanden waarover moet worden omgereden (dit is ook logisch).
- Bij saneringen over grotere afstanden treedt een duurzaamheidsomslag naar sleufloze technieken pas op bij een grotere verkeersomleiding.

Het totaaleffect hangt heel sterk af van verkeersintensiteit en duur van de werkzaamheden, alsmede de lengte van de verkeersomleiding. Mogelijk hoeft in praktijk bij werkzaamheden in de lengterichting van een weg vaak niet de gehele weg worden afgesloten. In die gevallen zal milieu-impact berekend moeten worden met emissies tijdens vertragingen. Bij kruisingen zijn de relevante saneringsafstanden van orde 100 meter (Tabel 4). Een duurzaamheidsafweging moet lokaal worden gemaakt als een inschatting kan worden gemaakt wat de verschillen in lengte en verkeersomleidingen voor impact hebben, rekening houdend met de gegevens in Tabel 2 en Tabel 3.

TABEL 4 OVERZICHT VAN ECOPUNTEN VOOR LEIDINGSANERING VAN 100 M LEIDING MET EEN OPEN ONTGRAVING MET EN ZONDER OMRIJDEN VAN EEN AANTAL KM DOOR VRACHTWAGENS (VWS) NAAST LEIDINGRENOVATIES MET PE EN GLASVEZEL WAAR NIET VOOR HOEFT TE WORDEN OMGEREDEN.

Diameter (m)	PVC open ontgraving, 0 vws/0 km	PE liner	Glasvezel liner	250 vws/ 0,5 km	500 vws/ 0,5 km	500 vws/ 1 km	1000 vws/ 1 km
0.1	58	73	257	82	105	152	245
0.2	211	267	531	234	258	305	398
0.3	497	634	805	520	544	591	684
0.4	841	1070	1080	864	888	935	1028

TABEL 5 OVERZICHT VAN ECOPUNTEN VOOR LEIDINGSANERING VAN 1 KM LEIDING MET EEN OPEN ONTGRAVING MET EN ZONDER OMRIJDEN VAN EEN AANTAL KM DOOR VRACHTWAGENS (VWS) NAAST LEIDINGRENOVATIES MET PE EN GLASVEZEL WAAR NIET VOOR HOEFT TE WORDEN OMGEREDEN.

Diameter (m)	PVC open ontgraving, 0 vws/0 km	PE liner	Glasvezel liner	250 vws/ 0,5 km	500 vws/ 0,5 km	500 vws/ 1 km	1000 vws/ 1 km
0.1	584	726	2570	607	631	678	771
0.2	2110	2670	5310	2133	2157	2204	2297
0.3	4970	6340	8050	4993	5017	5064	5157
0.4	8410	10700	10800	8433	8457	8504	8597

Verskil LCA en CO₂-equivalenten

In de uitleg over een LCA is aangegeven dat door het berekenen van een LCA een completer beeld van het milieueffect verkregen kan worden, dan wanneer alleen naar broeikasgassenuitstoot wordt gekeken. In bijlage 2 is berekend hoeveel CO₂ equivalenten door de leidingsanering met verschillende materialen en vervoermiddelen wordt uitgestoten. Omdat bij CO₂-equivalenten alleen naar emissies wordt gekeken is de bijdrage door het verkeer relatief groter dan bij de LCA. Hierdoor lijken bij kleinere verkeersomleidingen sleufloze technieken onterecht duurzamer dan traditionele ontgravingen

Conclusies

Om het milieueffect van een leidingsanering vast te stellen, is een duurzaamheidsanalyse uitgevoerd. Door een gebrek aan gedetailleerde informatie over de verschillende facetten van een leidingsanering met verschillende materialen, was het niet mogelijk om een volledige LCA uit te voeren. Hiervoor zijn veel gegevens nodig die alleen met kennis van lokale omstandigheden kunnen worden bepaald. In plaats daarvan is een veralgemeniseerde analyse uitgevoerd om te bepalen wat onderscheidende duurzaamheidsfactoren zijn tussen de verschillende saneringstechnieken.

Uit informatie over de sanering van rioleringen bleek dat de materiaalkeuze het grootste effect heeft, naast de eventuele omleiding van het verkeer. Daarbij werd ook vastgesteld dat de effecten zeer afhankelijk zijn van de specifieke situatie. Daarom is in deze studie alleen het milieueffect van de materiaalkeuze en het omleiden van verkeer berekend met de LCA tool SimaPro 8.0 software met database EcolInvent 3.0 en rekenmethode ReciPe Endpoint (E).

Omdat het materiaalgebruik in praktijk samenhangt met de gebruikte techniek, geeft de analyse ook een beeld van de duurzaamheid van de verschillende sleufloze technieken t.o.v. een traditionele open ontgraving. Zo gebruiken open ontgravingen vaak PVC, close-fit technieken vrijwel altijd PE en gebruikt CIPP een glasvilt liner. Graafwerkzaamheden hebben een beperkte invloed op de totale duurzaamheid van een product. De verschillen in duurzaamheid tussen de producten door verschillen in materiaalgebruik zijn groter dan de verschillen door beperktere graafwerkzaamheden bij sleufloze technieken.

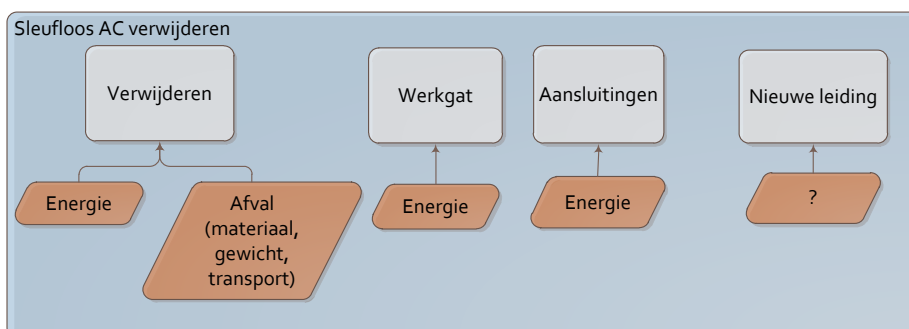
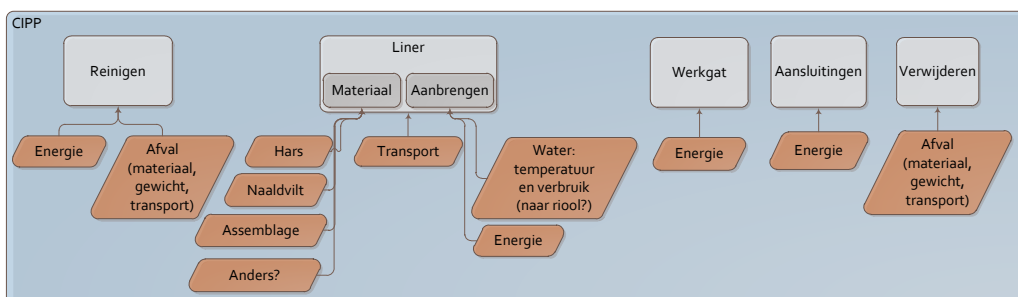
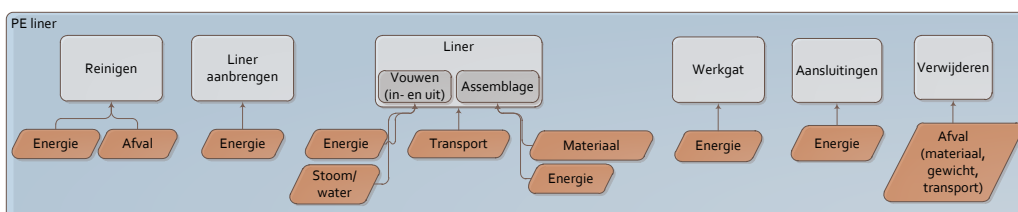
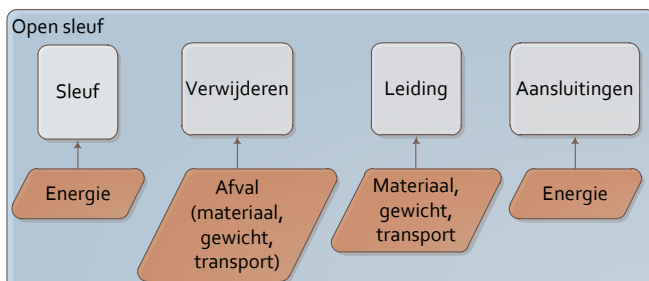
Bij elke bekeken diameter (0.1 t/m 0.4 m) geeft het gebruik van glasvilt met hars het grootste totale milieueffect (zonder het effect van verkeersomleidingen mee te rekenen). Zeker bij de kleinere diameter van 0.1 m leidt het gebruik van glasvilt met hars tot 4.4 keer zoveel milieueffect in vergelijking met het gebruik van PVC. Bij grotere diameters, tot 0,4 m, neemt dit af naar 1.3 keer zoveel.

Daarnaast is ook gekeken naar het effect van het omleiden van het verkeer.

Verkeersomleidingen komen vaker voor en zijn groter van omvang bij traditionele open ontgravingen dan bij sleufloze technieken. Wanneer verkeer omgeleid moet worden, is het gebruikte materiaal dan ook meestal PVC. Dit materiaal heeft de kleinste milieu-impact heeft bij alle bekeken diameters, wat betekent dat het afhangt van de omvang van de verkeersomleiding (in termen van (type) voertuigen en extra afstand die wordt afgelegd) of sleufloze technieken duurzamer zijn voor een specifiek project dan een traditionele open ontgraving. In het algemeen kan gesteld worden dat hoe kleiner de diameter is, hoe groter de invloed van verkeersomleidingen op duurzaamheid zal zijn. Een aanpak op basis van alleen CO₂-equivalenten houdt alleen rekening met emissies, wat er voor zorgt dat het totale milieueffect van verkeersomleidingen wordt overschat.

Doordat het materiaal in duurzaamheidsanalyse van de producten het zwaarste weegt, hebben onzekerheden in de levensduur van de verschillende producten een grote impact op de duurzaamheid. De verschillen in materiaalkeuze en verkeersomleidingen zijn binnen die onzekerheid wel dusdanig dat ze significant zijn, maar voor specifieke projecten vormen de berekeningen voor bijvoorbeeld het effect van verkeersomleidingen niet meer dan een indicatie van de ordegrrootte.

Bijlage IX Boomstructuren



Bijlage X CO₂ berekening

CO₂ EQUIVALENTEN VOOR MATERIAAL EN DIAMETER PER METER RELINING.

	Diameter (m)	PE	PVC	Glasvilt+hars
CO₂ equivalenten	0.1	6	6	13
	0.2	20	21	28
	0.3	48	50	42
	0.4	81	84	56

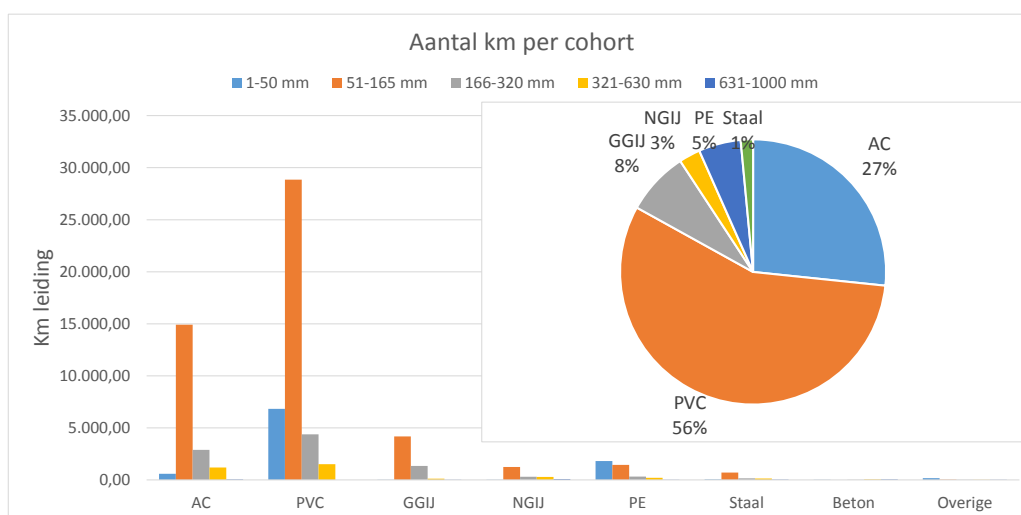
CO₂ EQUIVALENTEN VAN VERSCHILLENDE VOERTUIGEN PER KM.

Vervoermiddel	CO₂- equivalenten/voertuig/km
<i>Auto diesel</i>	0.32
<i>Auto benzine</i>	0.37
<i>Vrachtwagen</i>	1.12
<i>Scooter</i>	0.05

Bijlage XI Kenmerken leidingnet

Overzicht leidingnet

In totaal hebben Brabant Water, WML en Vitens ruim 74,000 km leiding in beheer, waarvan het merendeel PVC (56%) en AC (27%) (Bron: Leiding Informatiesysteem (LIS) van de respectievelijke bedrijven), zie ook figuur XI.1. De 3 waterbedrijven vertegenwoordigen daarmee zo'n 62% van het Nederlandse leidingnet. AC mag sinds 1993 niet meer worden aangelegd, het aandeel AC neemt dus af. PVC is momenteel het dominante materiaal bij nieuwaanleg. PE is in Nederland een materiaal met relatief beperkte toepassing (5%). Gietijzer was tot de jaren 50 het dominante materiaal voor nieuw aanleg, sinds de opkomst van AC en PVC is het aandeel gietijzer afgenomen tot nu in totaal (GGIJ en NGIJ samen) zo'n 11% bij de deelnemende drinkwaterbedrijven.



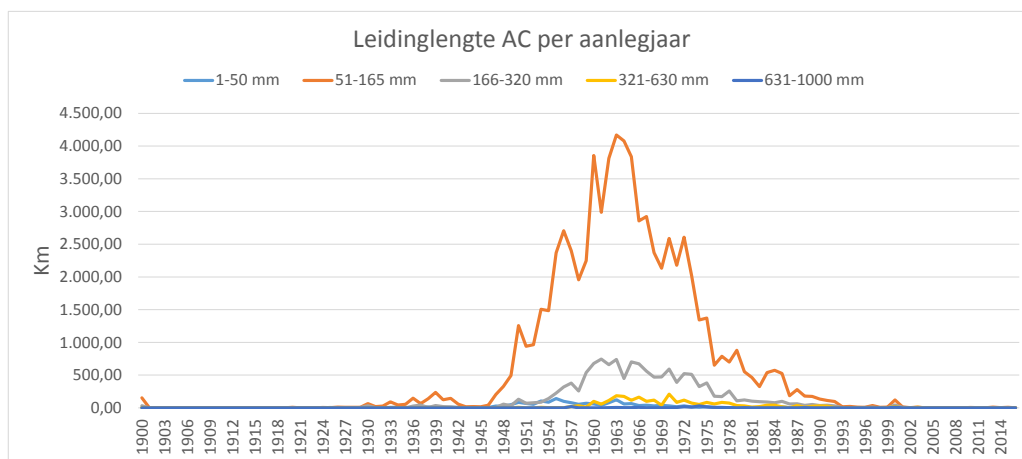
FIGUUR XI.1 VERDELING AANTAL KILOMETERS LEIDING OVER DE COHORTEN.

De verdeling over de cohorten laat duidelijk zien dat de grootste lengtes leiding in het distributienet tot 165 mm diameter (82% van het totaal aantal kilometers) te vinden zijn en dan met name in het segment 50-165 mm diameter.

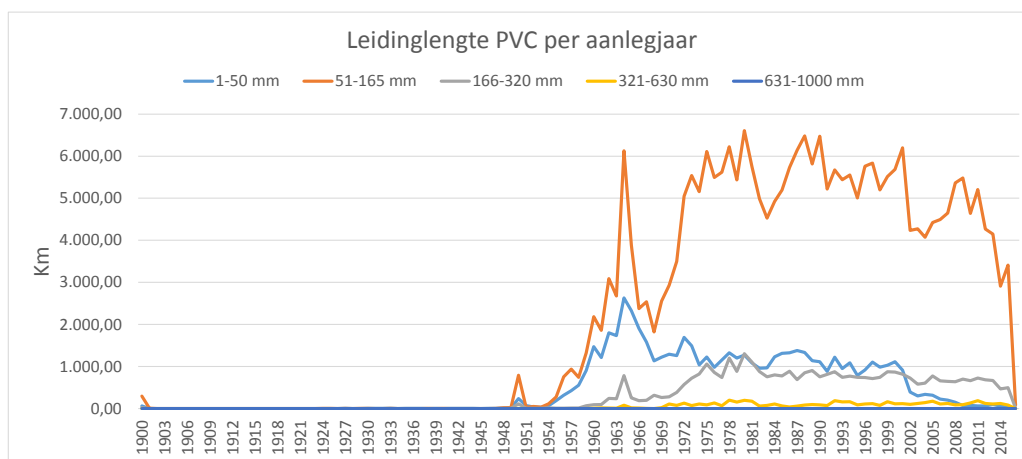
Figuur XI.2 tot en met Figuur XI.5 geven de nog aanwezige kilometers leidinglengte weer voor respectievelijk AC, PVC, GGIJ en NGIJ als functie van aanlegjaar (op basis van de ruwe data, dat wil zeggen dat er geen correctie is uitgevoerd voor onrealistische data, zie bijvoorbeeld een aantal AC leidingen met als aanlegjaar 2000). Dit is wat er oorspronkelijk aan kilometers is aangelegd minus het aantal kilometers dat in de tussentijd is vervangen.

Gietijzer is het materiaal dat oorspronkelijk het meest gebruikte materiaal voor drinkwaterleidingen was. De lage aantallen in het begin van de twintigste eeuw en de toename richting de jaren dertig zijn een combinatie van een toename in aanleg en het feit dat er in deze groep leidingen al veel leidingen zijn vervangen. De relatief lage aantallen in de jaren veertig hangt samen met de Tweede Wereldoorlog. Vanaf de jaren zestig is gietijzer als dominant materiaal vervangen door eerst AC en later PVC. Het gebruik van AC is na de jaren zestig sterk afgenomen en het materiaal werd verboden in 1993. Vanaf de jaren zestig

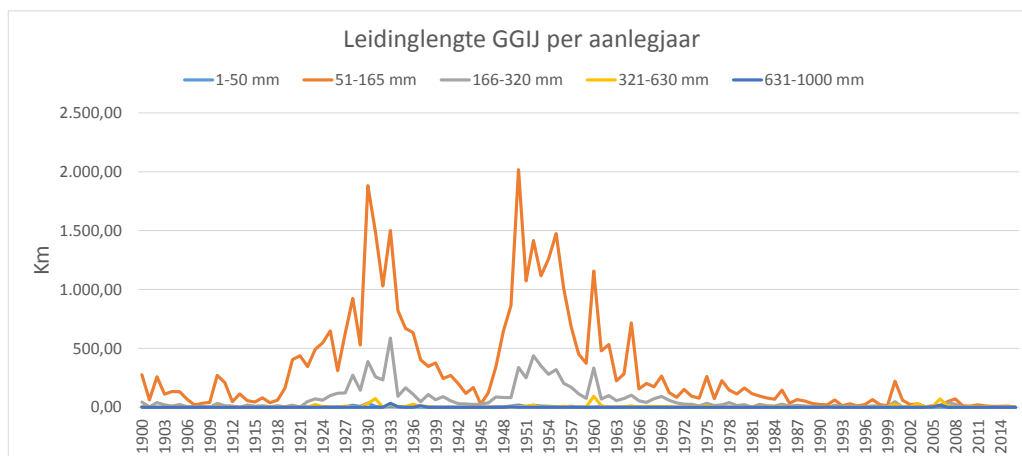
is het gebruik van PVC sterk gegroeid en het dominante materiaal geworden tot op de dag van vandaag.



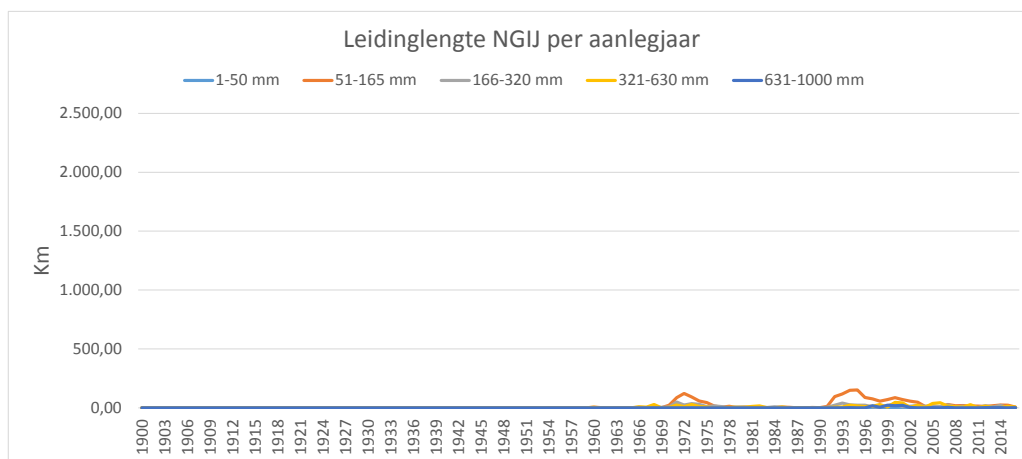
FIGUUR XI.2 NOG AANWEZIGE KILOMETERS LEIDINGLENTE ALS FUNCTIE VAN AANLEGJAAR VOOR AC.



FIGUUR XI.3 NOG AANWEZIGE KILOMETERS LEIDINGLENTE ALS FUNCTIE VAN AANLEGJAAR VOOR PVC.



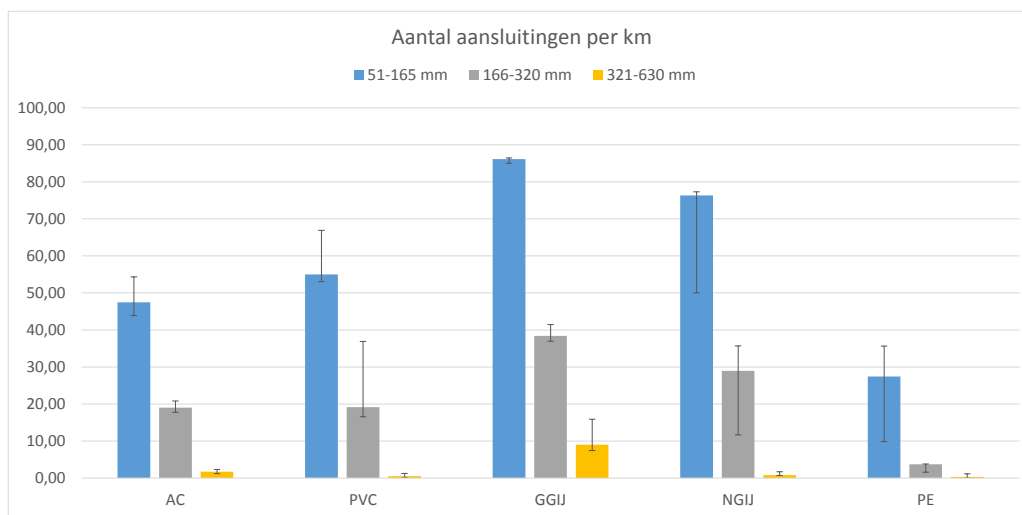
FIGUUR XI.4 NOG AANWEZIGE KILOMETERS LEIDINGLENTE ALS FUNCTIE VAN AANLEGJAAR VOOR GGIJ.



FIGUUR XI.5 NOG AANWEZIGE KILOMETERS LEIDINGLENGTE ALS FUNCTIE VAN AANLEGJAAR VOOR NGIJ.

Netwerkeigenschappen en ligging

In Figuur XI.6 staan de aantallen aansluitingen per kilometer leiding weergegeven (Bron: leidinginformatiesystemen (LIS) van Brabant Water, WML en Vitens). Veruit de meeste aansluitingen zijn te vinden in het distributienet, tot 165 mm diameter. De leidingen kleiner dan 50 mm zijn buiten beschouwing gelaten, vanwege de lage aantallen kilometers aanwezig in het net en omdat hier ook aansluitleidingen bij kunnen zitten. Het aantal aansluitingen per kilometer leiding neemt snel af met de diameter, vanaf 320 mm zijn er nog slechts sporadisch aansluitingen te vinden. In het distributienet van deze waterbedrijven zijn er 20-85 aansluitingen per kilometer, maar dit verschilt sterk per materiaal en kent een grote, lokale spreiding. In woonwijken kan de dichtheid oplopen tot een aansluiting per 5 meter, oftewel 200 aansluitingen per kilometer.

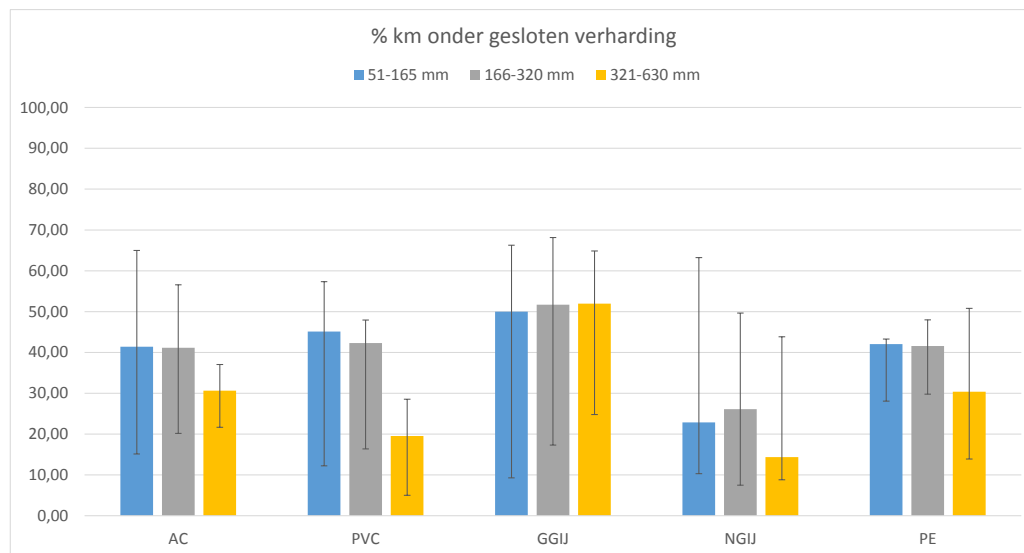


FIGUUR XI.6 AANTAL AANSLUITINGEN PER KM ONDERVERDEELD PER COHORT. ONZEKERHEIDSMARGES GEVEN DE MINIMUM EN MAXIMUM WAARDEN AAN VAN DE 3 DEELNEMENDE DRINKWATERBEDRIJVEN.

In Figuur XI.7 is het aandeel weergegeven van leidingen die onder gesloten verharding liggen op basis van de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT). Elke leiding die op één punt onder asfalt ligt is hierbij tot liggend onder asfalt gerekend. Gesloten verharding betekent in de meeste gevallen asfalt. Er is uitgegaan van een nauwkeurigheid van één meter, om twee redenen:

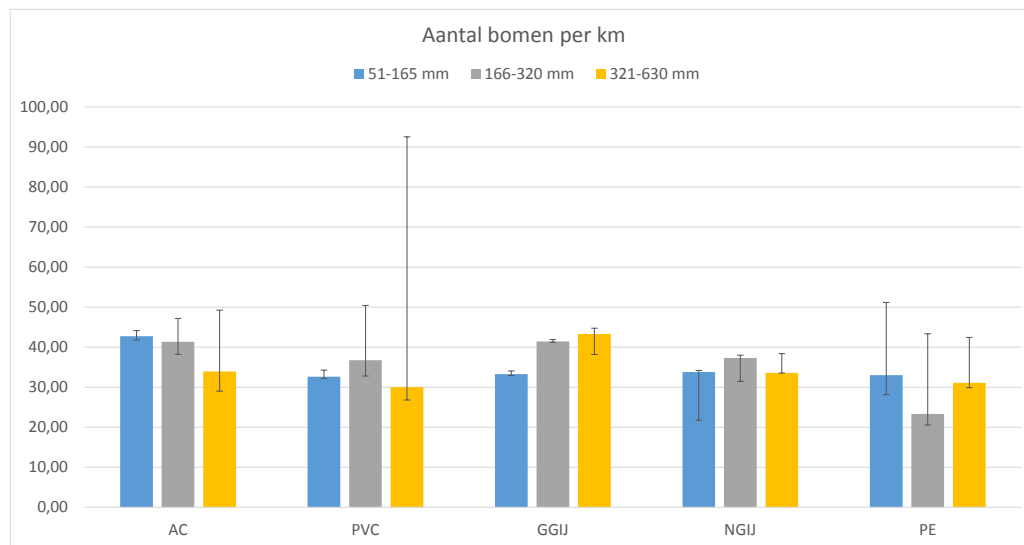
1. Eén meter is de wettelijke minimale vereiste nauwkeurigheid van liggingsgegevens (WION). In praktijk kan het dus betekenen dat leidingen die binnen één meter van verharde wegen liggen, in werkelijkheid onder de verharding liggen en andersom. Deze beperkte nauwkeurigheid betekent waarschijnlijk wel dat er meer leidingen onder het asfalt worden meegerekend in de analyse dan in de praktijk het geval zal zijn. Drinkwaterbedrijven hebben beleid om zo min mogelijk leidingen onder asfalt te leggen. Zonder proefsleuven is hierover geen duidelijkheid en dit wordt in de projectvoorbereiding duidelijk.
2. Als een leiding binnen één meter van een asfaltweg ligt, is de kans groot (hoe dieper de leiding, hoe groter) dat graafwerkzaamheden de weg en de wegfundering raken.

In Figuur XI.7 is te zien dat een aanzienlijk deel van het leidingnet onder of in elk geval zeer dichtbij gesloten verharding ligt. In het distributienet ligt zo'n 40-55% van de leidingen onder of zeer dichtbij gesloten verharding, terwijl in het transportnet 15-50 % onder gesloten verharding ligt.



FIGUUR XI.7 PERCENTAGE LEIDINGLENGTES BINNEN 1 METER VAN GESLOTEN VERHARDING (BRON:BGT). ONZEKERHEIDSMARGES GEVEN DE MINIMUM EN MAXIMUM WAARDEN AAN VAN DE 3 DEELNEMENDE DRINKWATERBEDRIJVEN.

Het aantal bomen boven waterleidingen is gebaseerd op het Basisbestand bomen (2016), Figuur XI.8. Alle leidingen die binnen het oppervlak van de boomkruin vallen zijn meegenomen als liggend onder bomen. De aanname hierbij is dat de omvang van de boomkruin een goede maat is voor de omvang van het wortelstelsel. Opvallend is dat over de cohorten en materialen het gemiddelde aantal bomen per kilometer redelijk stabiel is, namelijk zo'n 30 tot 45 bomen per kilometer, oftewel iedere 20 tot 30 meter. Iedere 20 tot 30 meter betekent dat in een aanzienlijk deel van de vervangingsprojecten bomen op het tracé te vinden zijn.



FIGUUR XI.8 AANTAL BOMEN PER KILOMETER LEIDINGLENGTE (ALLEEN DATA VAN WML EN BRABANT WATER BESCHIKBAAR). ONZEKERHEIDSMARGES GEVEN DE MINIMUM EN MAXIMUM WAARDEN AAN VAN DE DEELNEMENDE DRINKWATERBEDRIJVEN.