



Technische levensduur voor groepen leidingen

Naar een onderbouwing van het investeringsbeleid

BTO 2011.038
Oktober 2011



Watercycle Research Institute

Technische levensduur voor groepen leidingen

Naar een onderbouwing van het investeringsbeleid

BTO 2011.038
Oktober 2011

© 2011 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Colofon

Titel

Technische levensduur voor groepen leidingen; naar een onderbouwing van het investeringsbeleid

Opdrachtnummer

B111662.103

Onderzoeksprogramma(`s)

BTO - Waterdistributie

Projectmanager

P.G.G. Slaats

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger(s)

E.J.M. Blokker

Auteur(s)

R.H.S. Beuken en G.A.M. Mesman

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

Het leidingnet vertegenwoordigt voor waterbedrijven een enorme waarde, zowel financieel als maatschappelijk. Een groot deel hiervan is aangelegd voor 1960 en waterbedrijven vragen zich af op welk tijdstip deze 'oudere' leidingen aan het einde van hun levensduur zijn en vervangen moeten worden, oftewel: 'op welk moment is welk investeringsniveau noodzakelijk?'. Hierbij geldt dat te vroeg investeren leidt tot kapitaalvernietiging, te laat investeren tot een hoger aantal storingen en dus een lagere prestatie en een hoger risico. Investeringsprognosen voor het vervangen van leidingen betreffen grote sommen geld, die invloed kunnen hebben op de waterprijs. Dit houdt in dat een investeringsprognose gebaseerd hoort te zijn op een toetsbare en goed onderbouwde methode en betrouwbare gegevens.

In het BTO Waterdistributie is het onderzoeksproject *Levensduurverdelingen voor groepen leidingen* gestart om kennis te verzamelen over technische levensduurverdelingen van groepen leidingen, zodat waterbedrijven een betere onderbouwing krijgen voor het maken van een investeringsprognose van leidingen. De focus ligt hierbij op de technische levensduurbepaling, omdat hier een gezamenlijk kennisaspect in zit. De levensduurbepaling op economische of maatschappelijke gronden is meer bedrijfsspecifiek. Voor het project zijn twee doelstellingen geformuleerd:

1. Het opstellen van een beschrijving van de meest relevante groepen en het maken van voorstellen voor een technische levensduurverdeling, op basis van de bestaande kennis en inzichten van de huidige leidingnetten.
2. Het uitwerken van een methode waarmee waterbedrijven een investeringsprognose van leidingen kunnen opstellen.

Kennis over de levensduur van leidingen is verzameld in internationale literatuur en bestaande BTO-rapporten. Met behulp van storingsdata uit het project USTORE is een indeling gemaakt in leidinggroepen op basis van combinaties van leidingmateriaal - diameter - aanlegjaar met een vergelijkbare storingsfrequentie. In een workshop op 11 oktober 2010 met experts van waterbedrijven is deze groepeerindeling besproken en is per groep een levensduurverdeling vastgesteld voor de technische levensduur.

Op basis van bestaande kennis en praktijkinzichten is een indeling gemaakt in 22 homogene groepen. Hiervoor zijn aan de hand van driehoeksverdelingen een schatting van de technische levensduurverdeling gemaakt (zie de tabel op de volgende pagina). De voornaamste overwegingen voor de indeling van groepen en het toekennen van een levensduurverdeling zijn in dit rapport beschreven. Waterbedrijven kunnen deze naar eigen inzicht aanpassen. Verder is een stappenplan uitgewerkt waarmee waterbedrijven een investeringsprognose kunnen uitvoeren. Hiermee wordt de implementatie van de kennis gefaciliteerd. Tevens zijn twee case studies beschreven die als leidraad kunnen dienen voor implementatie van resultaten.

Het rapport geeft een argumentatie voor de indeling in groepen en de gehanteerde levensduurverdeling op grond van nog steeds beperkte kennis van de conditie en het conditieverloop van leidingen. Door gericht kennis te verzamelen, bijvoorbeeld door storingsanalyse, exitbeoordelingen of leidinginspecties, wordt beter inzicht verkregen in de staat van het leidingnet en kunnen de genoemde overwegingen verder worden aangescherpt. Goed onderbouwde en dus betrouwbare kennis over de staat van het leidingnet en de daar van afgeleide levensduur zal leiden tot betere keuzen voor saneringsbeslissingen. In de praktijk zal dit leiden tot verlenging van de gemiddelde levensduur van groepen leidingen en dus uitstel van investeringen.

In de praktijk zal dit leiden tot verlenging van de gemiddelde levensduur van groepen leidingen, en dus uitstel van investeringen, en focus op die leidingen waarvan vervanging het meest nodig is.

Overzicht van de levensduurverdeling voor 22 groepen leidingen. De waarden t_1 , t_2 en t_3 verwijzen naar een driehoeksverdeling, die in combinatie met het aanlegjaar een prognose geeft van het verwachte vervangingsmoment van een leiding.

Groep	Mat.	Diameter	Aanlegperiode	Omgeving	t_1	t_2	t_3
1	AC		<1960	kalkhoudende bodem	50	90	150
2	AC	<400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	70	110	200
3	AC	<400 mm		kalkarme bodem	50	60	80
4	AC	>=400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	80	150	200
5	AC	>=400 mm		kalkarme bodem	50	80	100
6	GGIJ	<100 mm			80	150	200
7	GGIJ	100 - 249 mm		agressieve bodem	50	70	100
8	GGIJ	100 - 249 mm		niet agressieve bodem	80	140	200
9	GGIJ	>=250		agressieve bodem	70	110	140
10	GGIJ	>=250		niet agressieve bodem	100	150	200
11	PVC		<1970	kans op bodemzettingen	40	90	150
12	PVC		<1970	beperkte kans op bodemzettingen	80	140	200
13	PVC		1970 - 1976	kans op bodemzettingen	40	60	120
14	PVC		1970 - 1976	beperkte kans op bodemzettingen	40	80	200
15	PVC		>1976	kans op bodemzettingen	50	150	200
16	PVC		>1976	beperkte kans op bodemzettingen	100	150	200
17	PE				100	150	200
18	NGIJ				80	150	200
19	Staal onbeschermd				80	90	100
20	Staal beschermd				100	150	200
21	Beton				50	125	200
22	GVK				20	150	200

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling en aanpak	5
1.3 Leeswijzer	6
2 Achtergrond investeringsprognose	7
2.1 Investeringsbeleid bij waterbedrijven	7
2.2 Literatuuronderzoek technische levensduurverwachting	7
3 Verdelingen van levensduren	11
3.1 Levensduurverdeling versus vaste levensduur	11
3.2 Redenen voor saneren	12
3.2.1 Saneren op basis van technische levensduur	13
3.2.2 Leeftijdsonafhankelijk saneren	14
3.2.3 Saneren vanwege activiteiten van derden	15
3.3 Samengestelde levensduurverdeling	15
4 Workshop: groepen en levensduurverdelingen	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Groepenindeling en technische levensduur van asbestcement leidingen	17
4.3 Groepenindeling en technische levensduur van grijs gietijzeren leidingen	19
4.4 Groepenindeling en technische levensduur van PVC leidingen	20
4.5 Groepenindeling en technische levensduur van overige leidingmaterialen	21
4.6 Samenvatting technische levensduur voor 28 groepen	23
5 Case studies investeringsprognose	25
5.1 Inleiding	25
5.2 Investeringsprognose PWN	25
5.3 Investeringsprognose Waternet	29
5.4 Conclusies uit case studies	30
6 Implementatie investeringsprognose	31
6.1 Voorstel voor groepenindeling leidingen	31
6.2 Stappenplan voor opstellen van levensduurverdelingen	31
6.3 Inpassing investeringsprognose in verbetercirkel	33

6.4	Kennisverzameling over het leidingnet: exit-beoordeling	33
6.5	Kennisverzameling over het leidingnet: proactieve conditiebepaling	34
6.6	Kennisverzameling over het leidingnet: storingenanalyse	35
7	Resultaten en aanbevelingen	37
8	Referenties en internetverwijzingen	39
I	Deelnemers aan workshops	41
II	Voorbeeld Levensduurverdeling	43
III	Ervaringen van waterbedrijven met groepen leidingen	45
IV	Analyse storingen USTORE	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het leidingnet vertegenwoordigt voor waterbedrijven een enorme waarde, zowel financieel als maatschappelijk. De totale lengte van het Nederlandse leidingnet bedraagt circa 116.000 km (Vewin, 2010) met een geschatte vervangingswaarde van 20 miljard euro (de Kater e.a., 2010). De totale lengte van het leidingnet van de aan het BTO deelnemende waterbedrijven bedraagt circa 153.000 km met een geschatte vervangingswaarde van 25 miljard euro (de Kater e.a., 2010). Het huidige investeringsniveau in distributieprocessen bedroeg in 2007 158 miljoen euro (Vewin, 2009).

Een groot deel van het leidingnet is aangelegd voor 1960 en waterbedrijven vragen zich af op welk tijdstip deze 'oudere' leidingen aan het einde van hun levensduur zijn en dus vervangen moeten worden. De centrale vraag hierbij is: 'op welk moment is welk investeringsniveau noodzakelijk?'. Hierbij geldt dat te vroeg investeren leidt tot kapitaalvernietiging, te laat investeren tot een hoger aantal storingen en dus een lagere prestatie en een hoger risico. Investeringsprognosen voor het vervangen van leidingen betreffen grote sommen geld, die ook invloed kunnen hebben op de waterprijs. Dit houdt in dat een investeringsprognose gebaseerd hoort te zijn op een toetsbare en goed onderbouwde methode en betrouwbare gegevens. Hiermee kan ook voldaan worden om de maatschappelijke vraag om transparantie.

Binnen het BTO-project Bouwstenen Leidingnetbeheer heeft een verkenning plaatsgevonden naar softwarepakketten voor het ondersteunen van saneringsbeslissingen en het opstellen van een langetermijn-investeringsprognose. Tijdens workshops die in dit kader gehouden werden, zijn kansrijke pakketten gepresenteerd die ondersteuning kunnen bieden bij het opstellen van een investeringsprognose. Deze softwarepakketten baseren zich op de technische levensduur van leidingen. Omdat voor langetermijn-investeringsprognose een globaal resultaat volstaat, is een exacte benadering van de levensduur van individuele leidingen niet van belang. Volstaan kan worden met een benadering van de levensduur van groepen leidingen.

In het BTO Waterdistributie is binnen het project Conditiebepaling een deelproject gestart om kennis te verzamelen over technische levensduur van groepen leidingen. Dit rapport presenteert die resultaten.

1.2 Doelstelling en aanpak

De doelstelling van het onderzoek 'Levensduurverdelingen voor een investeringsprognose van leidingen' is:

1. Het opstellen van een beschrijving van de meest relevante groepen en het maken van voorstellen voor een technische levensduur, op basis van de bestaande kennis en inzichten van de huidige leidingnetten.
2. Het uitwerken van een methode waarmee waterbedrijven een investeringsprognose van leidingen kunnen opstellen.

Het verzamelen van kennis over de levensduur van leidingen heeft plaatsgevonden door raadpleging van internationale literatuur en bestaande BTO rapporten. Met behulp van de storingsdata uit het BTO-project USTORE is een analyse gemaakt naar combinaties van leidingmateriaal – diameter – aanlegjaar die een vergelijkbare storingsfrequenties laten zien. In een workshop op 11 oktober 2010 met experts van waterbedrijven is een groeppenindeling besproken en is per groep een levensduurverdeling vastgesteld voor de technische levensduur.

In samenwerking met het bedrijf Spatial Eye is vervolgens een GIS-analyse gemaakt met deze levensduren voor het leidingnet van PWN, als een eerste vingeroefening. De resultaten hiervan zijn teruggekoppeld in een tweede workshop op 14 oktober 2010. Bijlage I geeft een overzicht van de deelnemers aan beide workshops.

De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in dit rapport dat is opgesteld in samenspraak met de PBG Leidingnetbeheer.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt een achtergrond geschetst van investeringen voor het vervangen van leidingen. De investeringen van Nederlandse waterbedrijven worden op een rij gezet en er wordt een overzicht gegeven van (internationale) literatuur over dit onderwerp. In Hoofdstuk 3 wordt een toelichting gegeven over het nut van statistische verdelingen en worden de verschillende redenen voor vervanging nader toegelicht. Hoofdstuk 4 is een weerslag van de workshop van 11 oktober 2011 waar door experts van waterbedrijven die deelnemen aan het BTO een indeling van het leidingnet is gemaakt in 28 coherente groepen en waaraan vervolgens een verdeling is toegekend voor de technische levensduur. De indeling in groepen en bijbehorende levensduurverdelingen zijn vervolgens toegepast in case studies bij PWN en Waternet, zie Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 worden de ervaringen met de groepen geëvalueerd, wat leidt tot samenvoeging van een aantal groepen, resulterend in een indeling in 22 groepen. Vervolgens wordt een stappenplan besproken hoe de investeringsprognose in de praktijk te brengen en wordt aangegeven hoe waterbedrijven in de toekomst verdere kennis over de levensduur van het leidingnet kunnen opbouwen. In Hoofdstuk 7 worden de belangrijkste resultaten benoemd en worden aanbevelingen gedaan. De gebruikte literatuur en internetverwijzingen staan in Hoofdstuk 8.

2 Achtergrond investeringsprognose

2.1 Investeringsbeleid bij waterbedrijven

Om een beeld te krijgen van de omvang van de investering in het leidingnet is de Waterleidingstatistiek van de Vewin geconsulteerd (Vewin, 2001 – 2010). In deze documenten wordt het gezamenlijk investeringsniveau is van de Nederlandse waterbedrijven aangegeven en het percentage hiervan dat is toe te schrijven aan het distributieproces. De investeringen in het distributieproces bestaan voornamelijk uit uitbreidingen en saneringen van het leidingnet. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de investeringen in het distributieproces over de periode 2000 - 2008. Op basis van dit overzicht blijkt dat het investeringsniveau voor het distributieproces in deze periode is afgenomen.

In dezelfde periode is de totale lengte van het Nederlandse distributienet toegenomen met 8.421 km. De toename per jaar laat een zeer wisselend beeld zien, van een afname van de jaarlijkse uitbreidingen is geen sprake. Opvallend is de afname van de leidinglengte in 2007. De vraag is of het hier gaat om een daadwerkelijke afname of aanpassingen in informatiesystemen.

Gezien de afname van de investeringen voor het distributieproces en het voortzetten van de uitbreiding van het leidingnet, kan geconcludeerd worden dat over de periode 2000 – 2008 het aantal investeringen voor sanering niet is toegenomen en waarschijnlijk is afgenomen. De laatste jaren is veel aandacht geschonken aan de vraag of de waterbedrijven de komende jaren een vervangingsgolf te wachten staat, de zogenaamde vervangingsbult. Uit deze analyse blijkt dat deze discussie tot 2008 niet heeft geleid tot een toename van het investeringsniveau voor vervangingen.

Tabel 1. Overzicht van investeringen in het Nederlandse leidingnet, bron Vewin Waterleidingstatistiek.

jaar	Gezamenlijk investeringsniveau [miljoen €]	Aandeel distributieproces	Investeringsniveau distributie [miljoen €]	Totale lengte leidingnet [km]	Uitbreiding per jaar [km]
2000	419	50%	210	107.500	-
2001	426	49%	209	108.421	921
2002	374	48%	180	109.366	945
2003	433	42%	182	111.513	2147
2004	408	42%	171	112.147	634
2005	459	33%	151	115.635	3488
2006	348	46%	160	115.985	350
2007	341	57%	194	114.649	-1336
2008	323	49%	158	115.921	1272

Zoals hierboven benoemd verwachten waterbedrijven dat het investeringsniveau voor het saneren van leidingen zal toenemen. Het huidige saneringspercentage bedraagt ongeveer 0,5% per jaar (Senden, 2007). Dit houdt in dat bij gelijkblijvende omvang het 200 jaar zal duren voordat alle leidingen gesaneerd zullen zijn. Bij verscheidene waterbedrijven vinden discussies plaats of dit percentage niet substantieel verhoogd moet worden. Als voorbeeld heeft Brabant Water in 2010 besloten het investeringsniveau voor het saneren van leidingen stapsgewijs te laten toenemen van de huidige 50 km per jaar naar 270 km per jaar in 2044, of respectievelijk 0,3% per jaar en 1,5% per jaar van het leidingnet (Smits, 2010). Bij de uitvoering van dit volume zal het aandeel saneringen op eigen initiatief een veel groter aandeel innemen.

2.2 Literatuuronderzoek technische levensduurverwachting

De Stuurgroep Schadevergoeding Kabels en Leidingen (SKL) is een platform waarin de brancheorganisaties van de leidingbeheerders (Vewin), Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland (VELIN), Federatie van Energiebedrijven in Nederland (EnergieNed) en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat alsmede ProRail vertegenwoordigd zijn. Zij maken in de Stuurgroep afspraken over hoe

partijen binnen de kaders van de gezamenlijke regeling 'Overeenkomst inzake verleggingen van kabels en leidingen buiten beheersgebied' van 19 februari 1999 met elkaar omgaan en hoe de schadevergoedingsregeling uitgelegd moet worden. Voor meer informatie zie de website van de SKL (<http://www.stuurgroepskl.nl>). In de 'Nadeelcompensatieregeling verleggen kabels en leidingen in en buiten rijkswaterstaatswerken en spoorwegwerken 1999' meestal aangeduid als de NKL-regeling, is ter vaststelling van de hoogte van nadeelcompensatie bij werken van derden een inschatting gemaakt van de technische levensduur van kabels en leidingen. In Tabel 2 wordt de technische levensduur weergegeven voor waterleidingen, zoals vastgesteld door de SKL. De herkomst van deze levensduren niet duidelijk.

Tabel 2. Technische levensduur van waterleidingen volgens de NKL-regeling uit 1999.

Materiaal	Transportleidingen		Distributieleidingen	
	Diameterrange [mm]	Verwachte technische levensduur [jaar]	Diameterrange [mm]	Verwachte technische levensduur [jaar]
Staal	> 300	> 100	50 - 300	80
Beton	> 300	> 100		
Asbestcement	> 300	70	50 - 300	70
Nodulair GIJ	> 300	> 100	80 - 300	>100
Laminair GIJ	> 300	> 100	80 - 300	80
PVC vóór 1975	> 315	40	32 - 315	40
PVC van en na 1975	> 315	70	32 - 315	70
PE	> 300	70	60 - 300	70
GVK	> 300	> 100		

In het BTO is de laatste jaren veel aandacht besteed aan methoden om de conditie en de prestaties van het leidingnet te bepalen. In het project 'Investeringsprognose voor het vervangen van leidingen' zijn verkenningen uitgevoerd naar de te verwachten investeringen voor het vervangen van leidingen (Beuken, 2001). In deze studie is ook een voorspelling gehanteerd voor de technische levensduur van leidingen, zie Tabel 3. Deze voorspelling was een inschatting op basis van de toenmalige inzichten. Een venster is een gelijkmatige verdeling tussen twee jaren.

Tabel 3. Gehanteerde levensduren voor het BTO Investeringsprognose (Beuken, 2001)

Materiaal	Venster	
	van [jaar]	tot [jaar]
Grijs gietijzer voor 1965	85	105
Nodulair en grijs gietijzer vanaf 1965	105	150
AC voor 1960	55	75
AC vanaf 1960	75	115
PVC voor 1975	45	65
PVC vanaf 1975	80	110

Ter voorbereiding van de workshop van 11 oktober 2010 is een vragenlijst toegezonden aan de waterbedrijven. In deze vragenlijst is gevraagd naar hun ervaringen met groepen leidingen en levensduren. De antwoorden zijn weergegeven in Bijlage III. Tevens is aan waterbedrijven informatie verstrekt over veroudering van leidingen uit De Kater et al. (2010) en Blokker et al. (2004). De resultaten zijn weergegeven in Hoofdstuk 4.

Er is een internationaal literatuuronderzoek uitgevoerd naar levensduren van leidingen en het indelen van leidingen in groepen. In de literatuur zijn geen verwijzingen gevonden naar dergelijke informatie. In het kader van dit project zijn echter onderstaande punten uit de literatuur vermeldenswaardig.

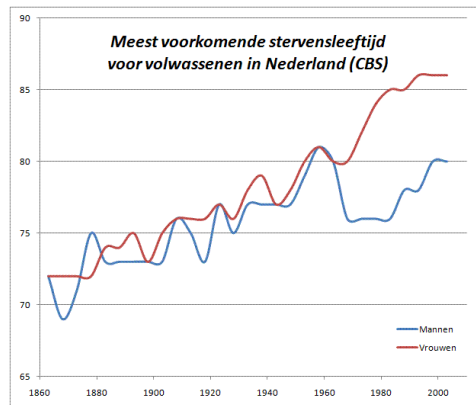
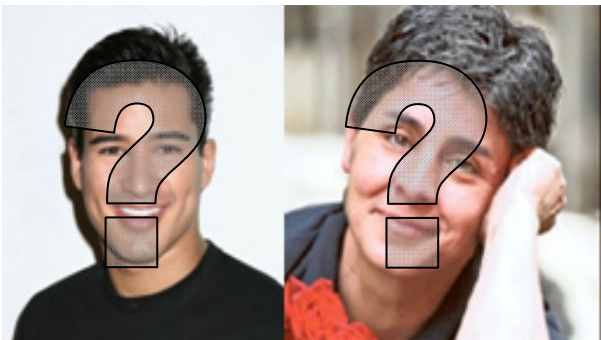
- Diverse auteurs (o.a. Kleiner en Rajani, 2001) gebruiken het begrip cohort. Een cohort wordt gedefinieerd als een verzameling leidingen met een homogene samenstelling voor wat betreft de levensduurverwachting. Nederlandse waterbedrijven hanteren het begrip groep. In dit kader komt het begrip groep overeen met de door Kleiner en Rajani gehanteerde omschrijving van cohort.
- In een andere studie van dezelfde auteurs (Kleiner en Rajani, 1999) is een statistische analyse beschreven van een dataset van leidingbreuken die is verkregen over 20 jaar registratie in een Canadees voorzieningsgebied. Deze set is geanalyseerd, waarna curven zijn opgesteld die het verloop van de storingsfrequentie over de tijd weergeven. Deze curven zijn geëxtrapoleerd en vergeleken met een controlegroep van storingsgegevens over vier jaar. Met behulp van een statistische vergelijking (ANOVA) is nagegaan welke karakteristieken significant van invloed waren op het voorspelde resultaat. Uit deze analyse volgde dat, ongeacht voor het type leidingmateriaal, de karakteristieken die de meeste significante invloed hadden de leeftijd, de soort ondergrond en de druk waren. De diameter en de verkeersbelasting bleken van een beperkte invloed en het type weg van geen invloed.
- Kleiner en Rajani (1999) geven ook aan dat bij de indeling van een leidingnet in groepen er sprake is van een tegengesteld belang:
 - Voor een juiste inschatting van de levensduur is het goed om te werken met zo homogeen mogelijke groepen. Dit leidt in de praktijk tot een groot aantal kleine groepen met een beperkt aantal leidingen, zodat het minder makkelijk is een statistisch significante onderbouwing te geven van de levensduur.
 - Grotere groepen zijn minder homogeen maar statistisch beter te onderbouwen.
- Burn et al (2009) gaan in op de vereiste nauwkeurigheid van eigenschappen van groepen. Bij beperkte kennis over de eigenschappen van groepen zal de nauwkeurigheid beperkt zijn. Deze kennis zou verzameld kunnen worden op basis van expertmeningen. Om te komen tot een hogere nauwkeurigheid zal het nodig zijn om gericht metingen te gaan uitvoeren van de conditie. Dit leidt tot extra kosten, waarbij het management zal moeten afwegen of deze opwegen tegen de voordelen van een nauwkeuriger resultaat van de analyse.

3 Verdelingen van levensduren

3.1 Levensduurverdeling versus vaste levensduur

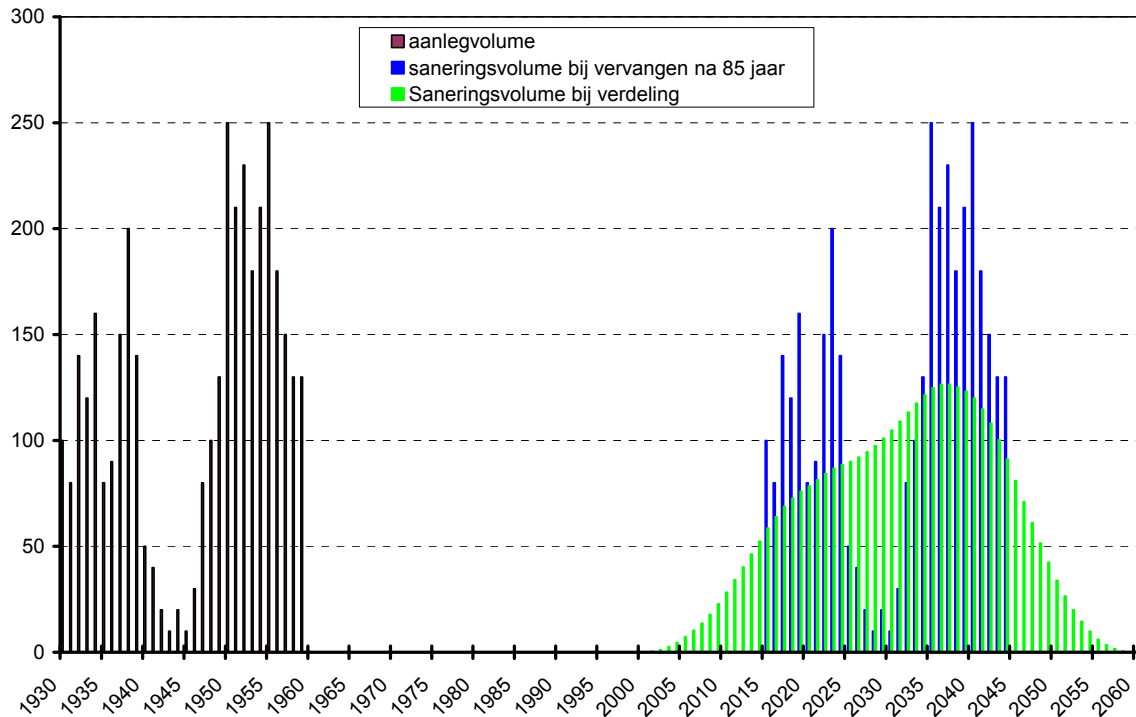
Een prognose van het moment van saneren bevat een groot aantal onzekerheden. Omdat een nauwkeurige conditie van een leiding in de meeste gevallen niet bekend is, is het ook niet realistisch dat een leiding een strikt te bepalen levensduur heeft. Investeringsprognoses die een vaste levensduur voor een leiding hanteren geven dan ook een te simpele weergave van de werkelijkheid. Dit heeft veelal tot gevolg dat men een 'veilige', oftewel een lage schatting van de levensduur hanteert. Van de andere kant kunnen specifieke leidingen met een ongunstige liggingsomgeving of een groot effect niet worden onderscheiden, zodat hiervoor wellicht geen saneringsgelden worden gereserveerd. De meest betrouwbare werkwijze is voor een groep leidingen een verdeling op te stellen van de te verwachten levensduur op basis van specifieke eigenschappen van die groep. Deze levensduurverdeling kan gebaseerd worden op het gestructureerd analyseren van expertmetingen, liefst vergezeld van steekproefsgewijze conditiebepalingen.

Illustratief voor de noodzaak van het werken met verdelingen is de werkwijze bij demografische analyses. Hierbij geldt dat het niet mogelijk is de levensduurverwachting van een persoon te voorspellen, maar dat dit wel kan voor groepen (zie Figuur 1).



Figuur 1. Hoe oud Piet of Marie wordt is niet te voorspellen, wel hoe oud wij allen worden.

Als argument voor het hanteren van een vaste levensduur wordt soms aangegeven dat de aanleggeschiedenis van leidingen een spreiding laat zien die zich doorvertaalt naar een spreiding van het moment van vervangen. Omdat investeringsprognoses grove ramingen betreffen zou deze simpele rekenmethode volstaan. Ter illustratie wordt in Figuur 2 het effect weergegeven van een vaste levensduur of een levensduurverdeling. Hieruit blijkt dat het aanhouden van een vaste levensduur leidt tot een grillig verloop met een beperkte spreiding. Deze beperkte spreiding staat in contrast met bevindingen uit de praktijk die juist aangeven dat voor hetzelfde leidingmateriaal een grote spreiding van de levensduur voorkomt. Deze spreiding heeft tot gevolg dat men eerder met vervangen dient aan te vangen en dat dit ook langer in de tijd doorloopt. De piek in de vervanging wordt echter aanmerkelijk afgevlakt.



Figuur 2. Weergave van de verschillen in resultaten van een vervanging na een vast aantal jaar (hier 85 jaar) of volgens een verdeling. De hier gekozen verdeling is een driehoekverdeling ($t_1 = 70$ jaar, $t_2 = 85$ jaar, $t_3 = 100$ jaar). Voor uitleg van de driehoeksverdeling, zie paragraaf 3.2.1.

3.2 Redenen voor saneren

Bij sanering van leidingen staan twee vragen centraal:

1. de *actieve* saneringsvraag: Welke leidingen hebben een dusdanige conditie dat sanering gewenst of vereist is?
2. de *reactieve* saneringsvraag: Als nabij een leiding wordt gewerkt aan een andere infrastructuur, is het dan gelet op de kosten en risico's beter om de waterleiding te laten liggen of om "mee te gaan" en de waterleiding ook te saneren?

De actieve saneringsvraag heeft betrekking op alle leidingen van het drinkwaternet van een waterbedrijf. Selectie van te saneren leidingen gebeurt op basis van de inschatting van de huidige en/of de toekomstige conditie. Hierbij zullen ook de effecten bij falen een rol spelen, immers bij leidingen met een groot negatief effect bij falen zal men doorgaans een hogere normconditie hanteren en daarmee een kortere levensduurverwachting.

De reactieve saneringsvraag wordt vooral gedictieerd door activiteiten in de omgeving door derden. Het aantal reactieve saneringen is daarbij afhankelijk van het aantal activiteiten in de omgeving en de attitude daarop van het waterbedrijf.

Voor actieve en reactieve saneringen geldt dat het waterbedrijf voldoende financiële middelen beschikbaar moet hebben. De investeringsprognose moet daarom beide vragen adresseren.

De te kiezen verdeling van de levensduur hoort een afspiegeling te zijn van de te verwachten momenten dat sanering op kan treden. Om dit goed in beeld te krijgen is het van belang zicht te krijgen op de redenen voor saneren. Tijdens de workshop van 11 oktober 2010 zijn drie redenen voor saneren onderscheiden:

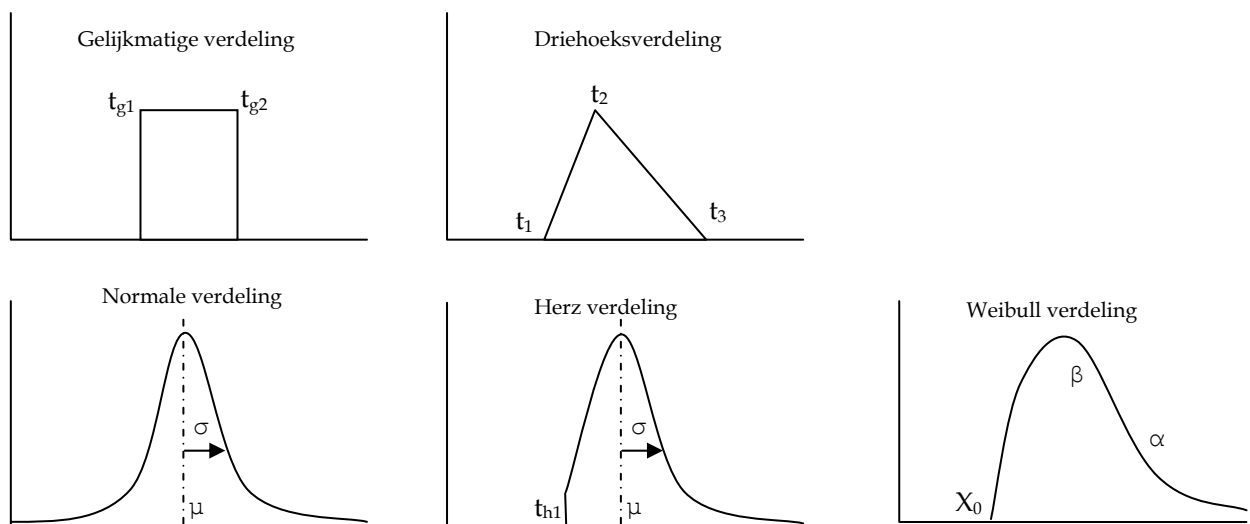
1. Saneren vanwege het bereiken van de technische levensduur van de leiding (actief).
2. Saneren vanwege een onvoorspelbare en leeftijdsonafhankelijke oorzaak (actief), bijvoorbeeld door aanlegfouten of het omwaaien van nabijgelegen bomen.
3. Saneren vanwege activiteiten van derden (reactief).

Een levensduurverdeling kan worden weergegeven als een functie met op de x-as de tijd en op de y-as de jaarlijkse omvang van het saneringsvolume als percentage van het huidige lengte van een groep leidingen. Het oppervlak van de verdeling heeft de waarde 1 en vertegenwoordigt de totale leidinglengte van de groep leidingen.

3.2.1 Saneren op basis van technische levensduur

De verdelingen die de technische levensduur beschrijven hebben een verloop dat op lagere leeftijd laag (of nul) is, na een aantal jaren een piek en op hogere leeftijd weer laag (of nul) is. Er bestaan meerdere statische verdelingen die de technische levensduurverdeling kunnen representeren, met specifieke voor- en nadelen. De meest gebruikte verdelingen zijn (zie ook Figuur 3):

- **Gelijkmatige verdeling (saneringsvensters):** deze verdeling kan goed worden toegepast als er een beperkte hoeveelheid data beschikbaar is over de levensduur en men zich vooral moet baseren op de ervaringen van experts. Door het verzamelen van meningen kan men een aanname doen voor de waarden t_{g1} en t_{g2} . Deze verdeling heeft echter het nadeel dat de grote overgang aan de randen die minder goed aansluit op de praktijkervaringen, immers net buiten het venster bedraagt het aantal vervangingen nul, daarbinnen bevindt het zich op een hoger niveau.
- **Driehoeksverdeling:** net als bij de gelijkmatige verdeling is deze verdeling geschikt bij een beperkte hoeveelheid data en kunnen op basis van expertmeningen de waarden t_1 , t_2 en t_3 worden ingeschat. Bij de hoekpunten treedt een vrij abrupte overgang op, echter minder extreem dan bij een gelijkmatige verdeling. Het is ook mogelijk om een scheve (of asymmetrische) verdeling te hanteren.
- **Normale verdeling:** dit is een veel gebruikte verdeling, waarbij een inschatting gemaakt moet worden van het gemiddelde en de standaarddeviatie, of het gemiddelde en percentielwaarden. Deze waarden kunnen worden afgeleid van metingen en zijn op basis van praktijkervaring lastiger in te vullen dan de twee bovenstaande verdelingen. Daarnaast is er het nadeel dat de normale verdeling nooit de x-as raakt en daardoor op alle leeftijden een waarde zal geven (zelfs voor het jaar 0). Om dit euvel op te vangen is de zogenaamde Herz-curve ontwikkeld, waarbij de linkeruitloper wordt 'afgekapt'.
- **Weibull verdeling:** Dit is een veel gebruikte verdeling voor het weergeven van levensduurverdelingen binnen onderhoudsmanagement. De verdeling dient te worden gefit op metingen en kent een groot aantal vrijheden van vorm, maar sluit minder makkelijk aan op de ervaringen van experts. Voor het opstellen van een betrouwbare curve is veel data noodzakelijk.



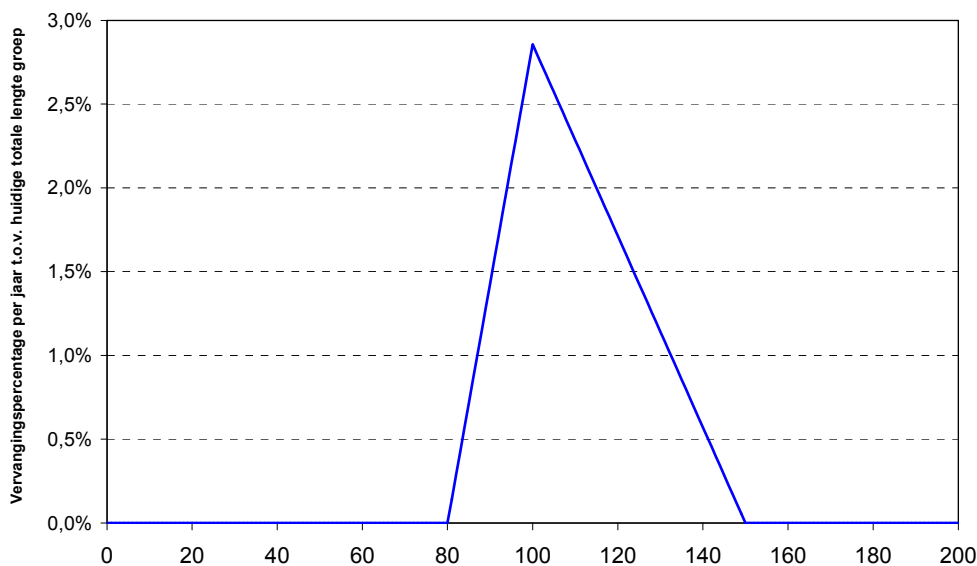
Figuur 3. Verschillende levensduurverdelingen

Er is gekozen om de verdeling van de technische levensduur te baseren op de driehoeksverdeling. De reden hiervoor is dat er op dit moment weinig betrouwbare data beschikbaar is over de levensduur van leidingen en er voornamelijk gebruik wordt gemaakt van expertmeningen. De driehoeksverdeling geeft daarbij meer vrijheden dan de gelijkmatige verdeling.

De driehoeksverdeling kan worden vastgesteld met de volgende de vragen:

1. Op welke leeftijd (t_1) zullen de eerste vervangingen plaatsvinden?
2. Op welke leeftijd (t_2) zal het aantal vervangingen maximaal zijn?
3. Op welke leeftijd (t_3) zullen alle leidingen vervangen zijn?

Bovenstaande vragen leveren een beschrijving op van de te verwachten technische levensduur. Voor een voorbeeld zie Figuur 4.



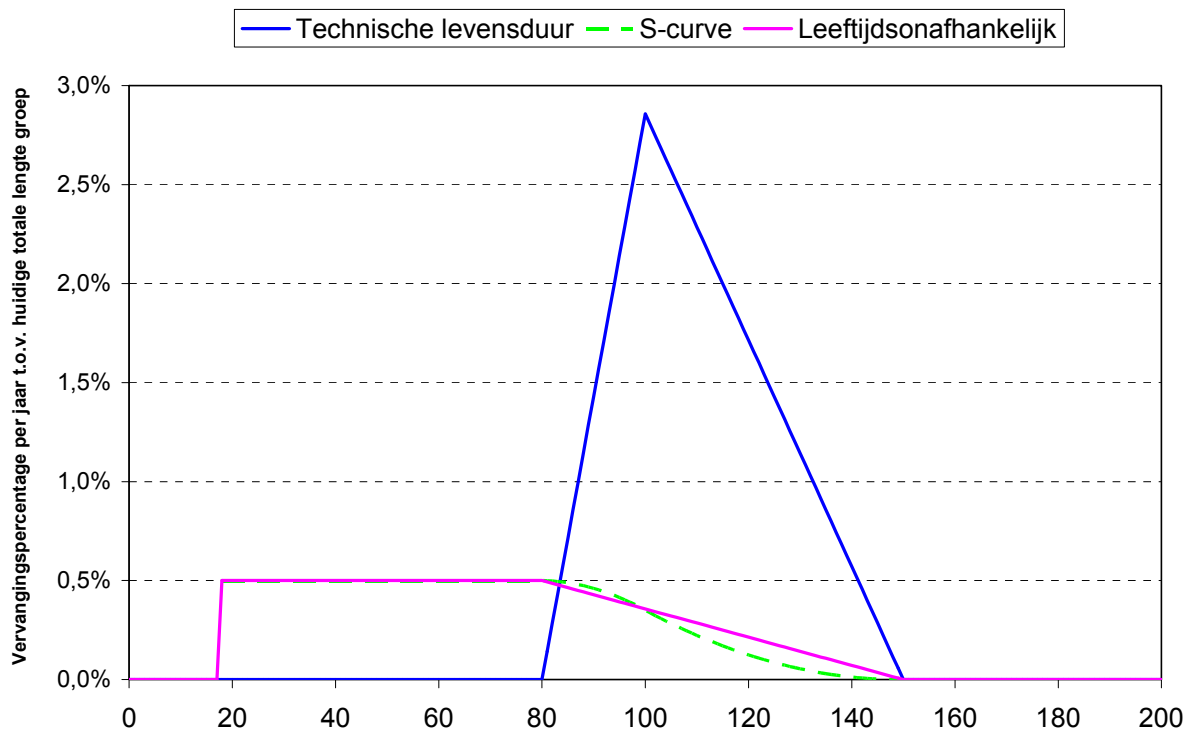
Figuur 4. Technische levensduur volgens de driehoekverdeling: In dit voorbeeld geldt: $t_1 = 80$ jaar; $t_2 = 100$ jaar; $t_3 = 150$ jaar.

3.2.2 Leeftijdsonafhankelijk saneren

Bij een technische levensduur die wordt weergegeven door een driehoeksverdeling wordt er van uitgegaan dat in de periode tot het jaar t_1 geen saneringen zullen plaatsvinden. In de praktijk kan een beperkt aantal saneringen plaatsvinden door oorzaken die geen relatie hebben met de te verwachten veroudering, zoals materiaal- of aanlegfouten of het optreden van buitengewone belastingsituaties (het omwaaien van nabij gelegen bomen, extreme verkeerslast, graafwerkzaamheden). In de regel zal de omvang van dit saneringsvolume beperkt zijn. Waterbedrijven kunnen op basis van ervaringen per groep een schatting maken van het percentage leidingen dat jaarlijks wordt gesaneerd op leeftijdsonafhankelijke gronden. Als deze saneringsoorzaak voor een bepaalde groep niet relevant gevonden wordt, kan het ook buiten beschouwing blijven.

Als verdeling voor deze saneringsoorzaak wordt een gelijkmatige verdeling voorgesteld vanaf het heden (H) tot jaar t_1 . De reden dat het tijdstip H wordt geïntroduceerd is dat vervangingen hiervoor al hebben plaatsgevonden en dus geen deel meer uitmaken van het huidige omvang van de groep leidingen. Het tijdstip H kan worden bepaald door van een groep leidingen de gemiddelde leeftijd te berekenen.

In de periode tussen t_1 en t_3 zal het totale volume van de te saneren leidingen afnemen en daardoor ook het aantal leeftijdsonafhankelijke saneringen. Om het effect van het verminderde volume correct weer te geven zou een S-vormige curve moeten worden aangehouden. Voor de eenvoud van werken wordt tussen t_1 en t_3 een lineair verloop voorgesteld, zie ook Figuur 5. Bij een laag volume van leeftijdsonafhankelijk saneren is de fout beperkt.



Figuur 5. Voorbeeld van een leeftijdsonafhankelijke levensduurverdeling, heden (H) komt overeen met een leeftijd van 18 jaar.

3.2.3 Saneren vanwege activiteiten van derden

Waterbedrijven moeten investeren als een leiding gesaneerd wordt op basis van initiatieven van derden. Analoog aan de verdeling zoals besproken in paragraaf 3.2.2, is ook voor deze categorie een gelijkmatige verdeling voorgesteld. De hoogte van deze verdeling kan vastgesteld worden door per groep te bepalen wat de jaarlijkse omvang is van saneren vanwege activiteiten van derden.

3.3 Samengestelde levensduurverdeling

In deze paragraaf wordt aangegeven op welke wijze de drie hierboven beschreven levensduurverdelingen gekwantificeerd kunnen worden en hoe zij gecombineerd kunnen worden tot een gezamenlijke verdeling. Als meerdere verdelingen worden samengevoegd, zal na het cumuleren een herberekening plaatsvinden zodat het oppervlak onder de grafiek weer de waarde 1 krijgt. Dit wordt normalisatie genoemd. De methode wordt geïllustreerd met een voorbeeld.

1. Verdeling technische levensduur

De groep betreft PVC leidingen, die zijn aangelegd in de periode 1980 tot 2010. De gemiddelde leeftijd in 2010 bedraagt 18 jaar. Aangenomen wordt dat de technische levensduur wordt weergegeven door de waarden:

- $t_1 = 80$ jaar
- $t_2 = 100$ jaar
- $t_3 = 150$ jaar

In Figuur 6 wordt de technische levensduurverdeling weergegeven door de donkerblauwe doorgetrokken lijn.

2. Verdeling leeftijdsonafhankelijke oorzaak

Aangenomen wordt dat jaarlijks 0,1% van het huidige volume leidingen gesaneerd wordt door een leeftijdsonafhankelijke oorzaak. Dit percentage loopt vanaf heden ($H = 18$ jaar) tot t_1 . Tussen t_1 en t_3 neemt dit gelijkmatig af. In Figuur 6 wordt de leeftijdsonafhankelijke verdeling weergegeven door de oranje lijn. Het gezamenlijk aandeel van leeftijdsonafhankelijk saneren bedraagt 9,75% van de totale lengte van de groep.

3. Verdeling voor activiteiten van derden

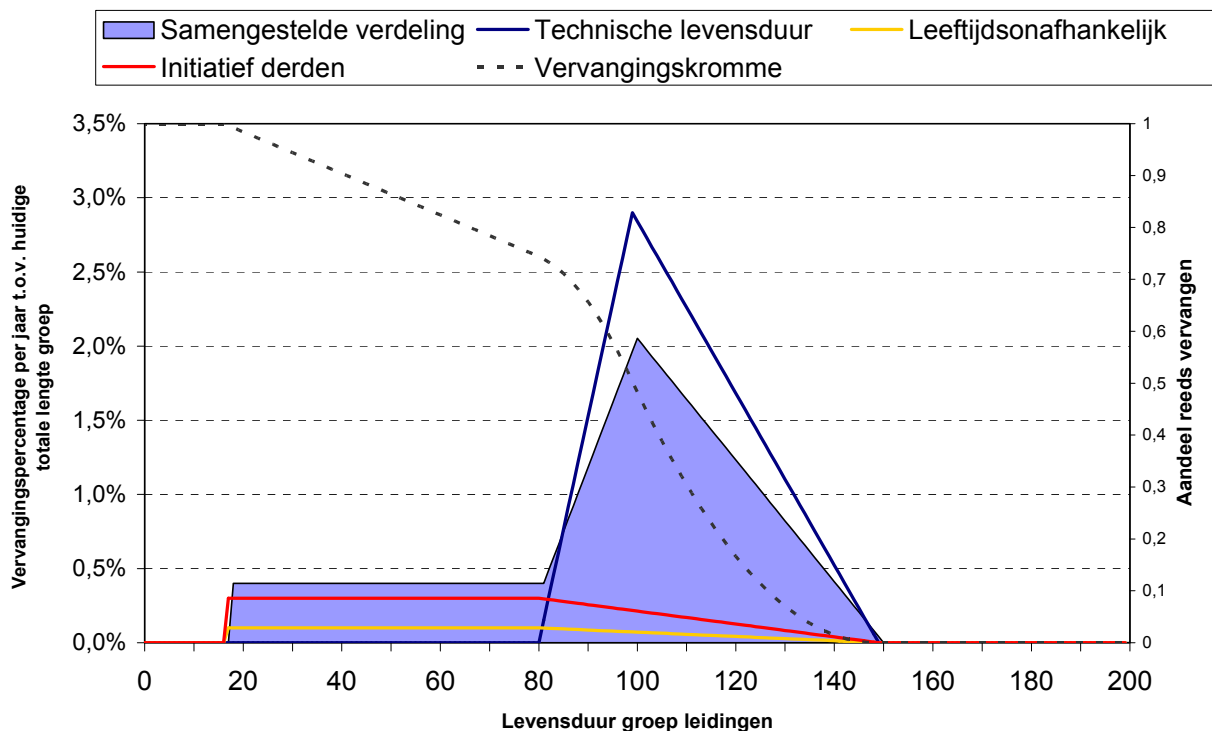
Aangenomen wordt dat jaarlijks 0,3% van het huidige volume gesaneerd wordt als gevolg van activiteiten van derden. Dit percentage loopt vanaf heden ($H = 18$ jaar) tot t_1 . Tussen t_1 en t_3 neemt dit gelijkmatig af. In Figuur 6 wordt de leeftijdsonafhankelijke verdeling weergegeven als de rode lijn. Het gezamenlijk aandeel saneren op initiatief van derden bedraagt 29,25% van de totale lengte van de groep.

4. Samengestelde curve levensduurverdeling

De som van de het aantal leidingen die worden vervangen door leeftijdsonafhankelijke oorzaak en door initiatieven van derden bedraagt in totaal 39%. Dit houdt in dat 61% van de leidingen vervangen zal worden op basis van het bereiken van de technische levensduur. De samengestelde levensduurverdeling wordt in Figuur 6 weergegeven door het blauwe vlak. In Bijlage II wordt de berekeningsmethode nader toegelicht.

In het tijdsvak vanaf heden (gelijk aan gemiddelde levensduur) tot t_1 wordt de hoeveelheid vervangen leidingen bepaald door de som van de vervangingen door leeftijdsonafhankelijke oorzaak en de vervanging op initiatief van derden. Deze hoeveelheden zijn direct afleidbaar uit rapportages over het leidingnetbeheer. De som van deze hoeveelheden wordt afgetrokken van het volume dat is gerelateerd aan de vervangingen op technische levensduur. Deze aanpak heeft tot gevolg dat leidingen met een hogere technische levensduur een relatief kleiner aandeel zullen hebben dat wordt vervangen op grond van technische veroudering ('De omgeving dan voor een groter deel het vervangingsbeleid'). Dit beeld komt overeen met de bedrijfspraktijkervaringen.

In Figuur 6 wordt ook een vervangingskromme aangegeven. Deze geeft aan welk aandeel van de leidingen uit die groep vervangen is. Op H heeft de vervangingskromme de waarde 0, op t_3 de waarde 1.



Figuur 6. Samengestelde levensduurverdeling.

4 Workshop: groepen en levensduurverdelingen

4.1 Inleiding

Voor het opstellen van een investeringsprognose is een groep gedefinieerd als een verzameling leidingen met homogene samenstelling voor wat betreft materiaalsoort en liggingsomgeving. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de levensduurverdeling voor een groep leidingen eenduidig is vast te stellen. De workshop van 11 oktober 2011 is georganiseerd om een sectorstandpunt te krijgen van de BTO-bedrijven over een generieke indeling in groepen en bijbehorende technische levensduurverdeling.

Ter voorbereiding van de workshop is een notitie opgesteld met een voorstel voor een groeppenindeling, zie Bijlage IV. Hierbij zijn 17 groepen leidingen onderscheiden. Deze indeling is in eerste instantie gebaseerd op het leidingmateriaal. Daarna is met behulp van storingsgegevens uit USTORE gekeken welke verdere indeling op basis van diameter of aanlegjaar leidt tot groepen met een vergelijkbare storingsfrequentie. Deze notitie is besproken in de PBG Leidingnetbeheer van 13 september 2010. Daarna hebben er nog enkele wijzigingen plaatsgevonden. Een van deze wijzigingen was dat voor de meest voorkomende materialen (te weten PVC, AC en GGJ) een verdere onderverdeling is gemaakt naar de liggingsomgeving. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een meer en minder agressieve omgeving. Voor PVC wordt een meer agressieve omgeving gekenschetst als een verhoogde kans op ongelijkmatige zettingen, voor AC als de afwezigheid van kalk in de bodem en voor GGJ als de aanwezigheid van een corrosieve bodem.

Voor elk van de 28 groepen leidingen is in de workshop van 11 oktober 2010 een verdeling bepaald voor de technische levensduur door gezamenlijk de tijdstippen t_1 , t_2 en t_3 van de driehoeksverdeling te schatten. Het doel hiervan was om op basis van de gezamenlijke praktijkinzichten een generieke inschatting te maken van de technische levensduurverdeling van leidingen. Deze indeling geeft een gemiddelde opname voor de aan het BTO deelnemende bedrijven. Waterbedrijven kunnen deze verdelingen verder aanpassen aan bedrijfseigen omstandigheden.

De overige saneringsoorzaken, namelijk leeftijdsonafhankelijk en op initiatief van derden, zijn niet nader ingevuld. Deze verdelingen zijn meer bedrijfsspecifiek (of zelfs regiospecifiek) en waterbedrijven kunnen ze kwantificeren door evaluatie van eerder uitgevoerde werken.

In onderstaande paragrafen is de motivatie gegeven voor de indeling in groepen en de in de workshop gekozen levensduurverdeling. Verwijzingen naar de storingsfrequentie zijn onderbouwd in Bijlage IV.

4.2 Groeppenindeling en technische levensduur van asbestcement leidingen

Voor asbestcementen leidingen is een onderverdeling voorgesteld in acht groepen, zie Tabel 4. De overwegingen voor deze indeling is:

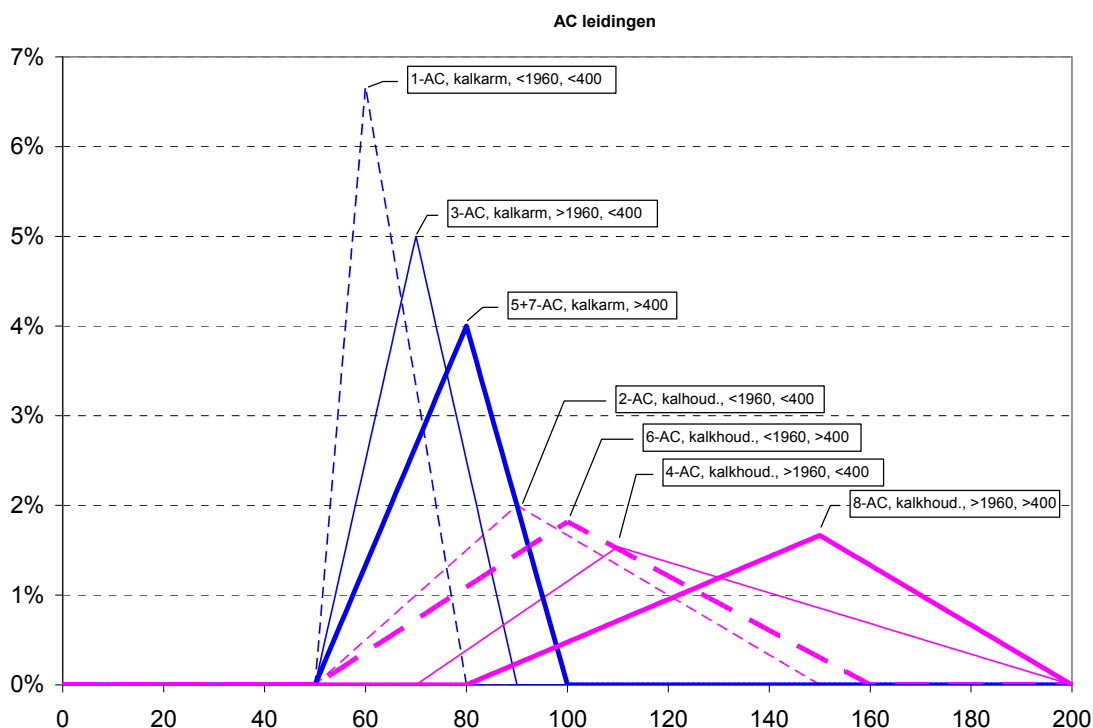
- Er wordt aangenomen dat leidingen met een diameter groter dan 400 mm een langere levensduur hebben. Dit argument wordt gemotiveerd door een lagere storingsfrequentie voor deze groep.
- Er wordt aangenomen dat leidingen die zijn aangelegd voor 1960 een kortere levensduur hebben. Dit argument wordt gemotiveerd door een hogere storingsfrequentie voor deze groep. Als oorzaak hiervoor wordt vaak verwezen naar de aanwezigheid van natuurrubberringen en de grotere variatie materiaalkwaliteit bij deze groep.
- Er wordt aangenomen dat leidingen die zijn gelegen in een bodem waarin zich geen vrije kalk bevindt een kortere levensduur hebben. Uitloging aan de buitenzijde van asbestcement leidingen wordt versterkt door een lage pH in de bodem rondom de leiding (Slaats en Mesman, 2004). Een lage pH komt voor in bodems waarin zich geen of weinig vrije kalk bevindt. De legenda bij de Bodemkaart (Alterra) geeft aan in welke bodems zich kalk bevindt. Hiermee kan met behulp van de bodemkaart worden aangegeven in welke gebieden meer of minder uitloging is te verwachten.

Tabel 4. Voorgestelde groepen voor asbestcement leidingen

Groep	Materiaal	Diameter	Aanlegperiode	Liggingomgeving
1	AC	<400 mm	<1960	kalkarme bodem
2	AC	<400 mm	<1960	kalkhoudende bodem
3	AC	<400 mm	>=1960	kalkarme bodem
4	AC	<400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem
5	AC	>=400 mm	<1960	kalkarme bodem
6	AC	>=400 mm	<1960	kalkhoudende bodem
7	AC	>=400 mm	>=1960	kalkarme bodem
8	AC	>=400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem

De resultaten van de discussie over de verdeling voor de technische levensduur van AC leidingen zijn besproken in de workshop van 11 oktober 2011 en weergegeven in Figuur 7. Overwegingen, naast die hiervoor in deze paragraaf al zijn genoemd, zijn:

- De geschatte gemiddelde leeftijd is 45 jaar.
- In kalkarme bodems is de levensduur korter, de waarde $t_1 = 50$ houdt in dat voor een deel van de leidingen de technische levensduur is bereikt.
- In kalkhoudende bodems zullen sommige leidingen het zeer lang uithouden, om die reden is een hoge waarde voor t_3 aangehouden.
- Leidingen groter dan 400 mm in kalkarme grond zijn voor de periode van aanleg onderscheiden in twee aparte groepen (5: <1960 en 7>1960). Tijdens de workshop werd opgemerkt dat men in de praktijk geen verschil in de levensduur opmerkt tussen deze groepen. Om die reden zijn dezelfde waarden voor de technische levensduur toegekend.



Figuur 7. Verdeling van technische levensduur voor AC leidingen.

4.3 Groepenindeling en technische levensduur van grijs gietijzeren leidingen

Voor grijs gietijzeren leidingen is een onderverdeling voorgesteld in zeven groepen, zie Tabel 5. De overwegingen voor deze indeling is:

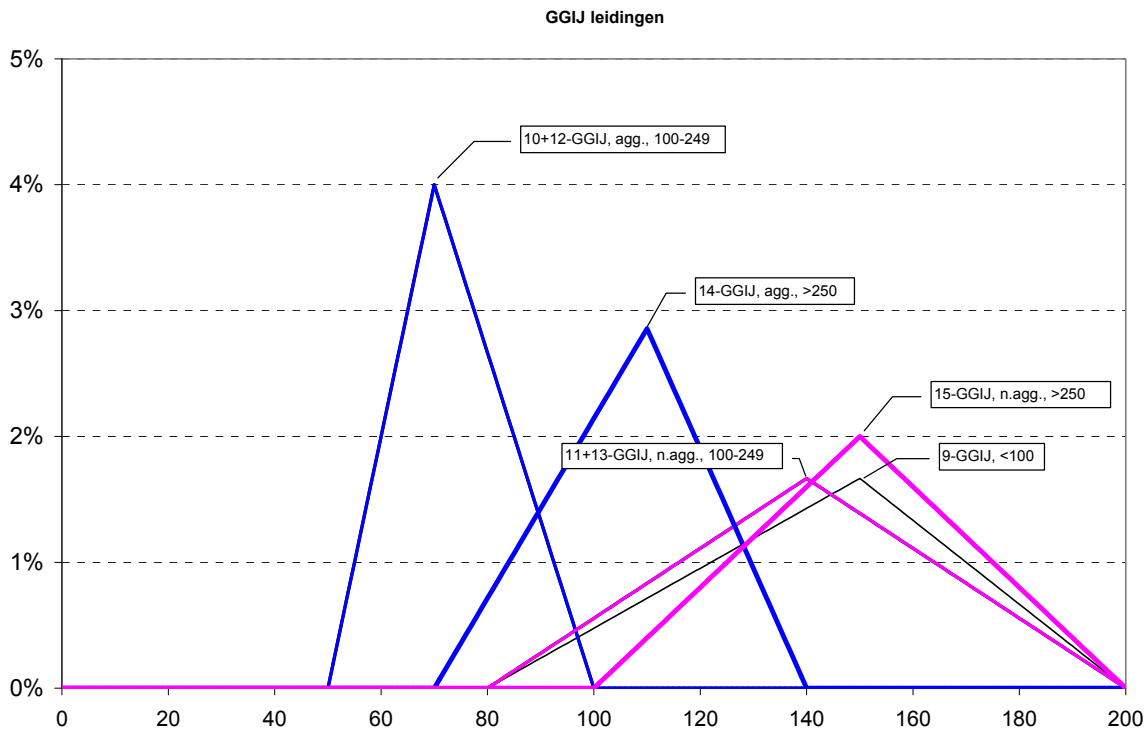
- Er wordt voorgesteld leidingen kleiner dan 100 mm in een aparte groep onder te brengen. Deze laten een hogere storingsfrequentie zien.
- Er wordt aangenomen dat leidingen met een diameter groter dan 250 mm een langere levensduur hebben. Dit argument wordt gemotiveerd door een lagere storingsfrequentie voor deze groep. En ervaringen uit de bedrijfstak over de conditie.
- Er wordt aangenomen dat leidingen uit de periode 1970 – 1979 een kortere levensduur hebben. Deze leidingen laten een hogere storingsfrequentie zien. Het is niet duidelijk wat de oorzaak is van deze verhoogde storingsfrequentie.
- Er wordt aangenomen dat leidingen een kortere levensduur hebben als ze zijn gelegen in een corrosieve bodem. Dit is een bodem met een hoog elektrisch geleidingsvermogen en/of een lage pH van het grondwater (Mesman en Slaats, 2004). Deze bodems kunnen geïdentificeerd worden met respectievelijk de kaart van het chloride-gehalte (Oude Essink et al., 2010) of met de Bodemkaart 1:50.000 (Alterra).

Tabel 5. Onderscheiden groepen voor grijs gietijzeren leidingen.

Groep	Materiaal	Diameter	Aanlegperiode	Liggingsomgeving
9	GGIJ	<100 mm	-	-
10	GGIJ	100 – 249mm	1970 – 1979	corrosieve bodem
11	GGIJ	100 – 249mm	1970 – 1979	niet corrosieve bodem
12	GGIJ	100 – 249mm	overige jaren	corrosieve bodem
13	GGIJ	100 – 249mm	overige jaren	niet corrosieve bodem
14	GGIJ	>=250	-	corrosieve bodem
15	GGIJ	>=250	-	niet corrosieve bodem

De resultaten van de discussie over de verdeling voor de technische levensduur van GGIJ leidingen zijn besproken in de workshop van 11 oktober 2011 en weergegeven in Figuur 8. De overwegingen die hierbij een rol hebben gespeeld zijn:

- De geschatte gemiddelde leeftijd is 75 jaar.
- Bij het uitnemen van buisdelen blijken er grote verschillen tussen de conditie van leidingen en ook tussen buisdelen (Mesman en Slaats, 2004). Gezien deze verschillen in conditie is gekozen voor brede vensters.
- Hoewel leidingen kleiner dan 100 mm een hogere storingsfrequentie laten zien, geven bedrijven aan dat de meeste ‘probleemleidingen’ reeds gesaneerd zijn en dat de resterende leidingen vaak in relatief gunstige omstandigheden of in relatief minder belangrijke gebieden liggen. Om die reden is gekozen voor een breed venster, dat aangeeft dat leidingen op kortetermijn worden vervangen maar ook dat een groot aandeel nog een relatief lange levensduur heeft.
- Leidingen uit de periode 1970 – 1979 laten een hogere storingsfrequentie zien. Bedrijven geven aan dat deze groep beperkt in omvang is en dat in de praktijk geen duidelijke verschil in conditie is waar te nemen. Besloten is om geen afwijkende levensduur toe te kennen. Om die reden kunnen groep 10 en groep 12 én groep 11 en groep 13 gecombineerd worden.
- In corrosieve bodems is een kortere levensduur aangehouden. Leidingen in een corrosieve bodem en in de diameterrange 100 tot 249 mm zullen naar verwachting in de komende 40 jaar vervangen worden.
- In niet-corrosieve bodems zullen een deel van de GGIJ leidingen een aanvaardbare conditie behouden. Om die reden is hiervoor een hoge waarde voor t_3 aangehouden.



Figuur 8. Verdeling van technische levensduur voor GGIJ leidingen.

4.4 Groepenindeling en technische levensduur van PVC leidingen

Voor PVC leidingen is een onderverdeling voorgesteld in zes groepen, zie Tabel 6. De overwegingen voor deze indeling is:

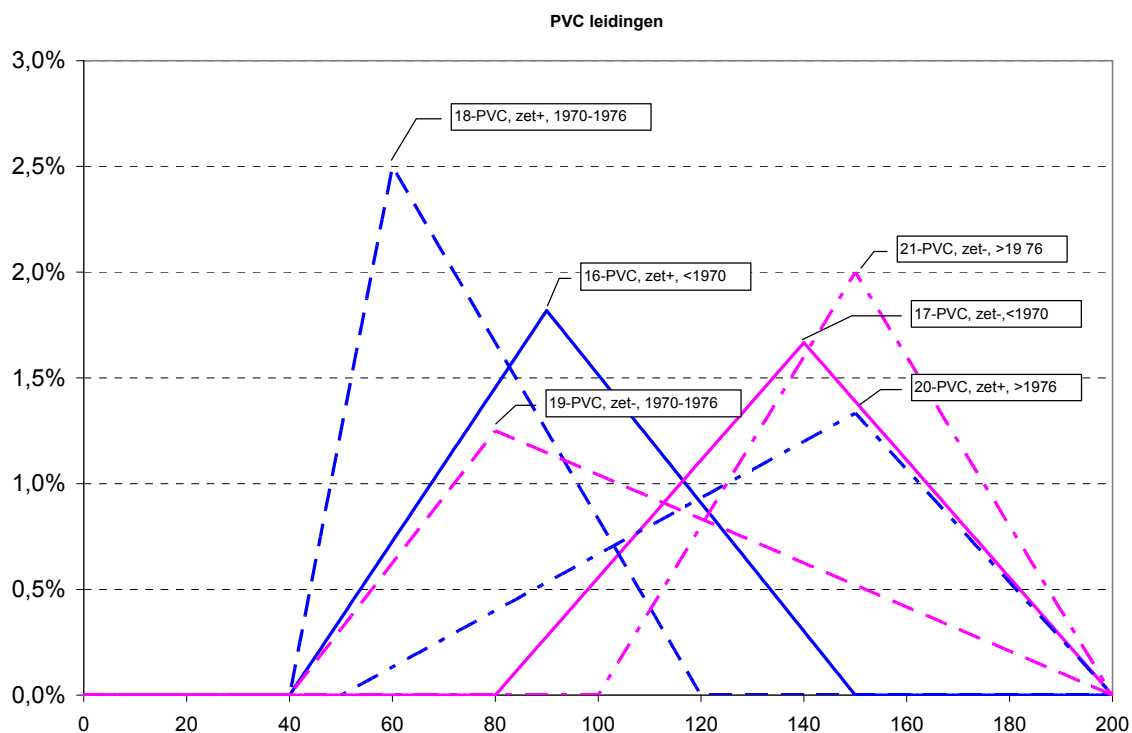
- In de analyse van USTORE gegevens (zie Bijlage IV) blijkt dat leidingen uit de periode 1970 – 1979 een verhoogde storingsfrequentie hebben. Deze tijdspanne hangt samen met een analyse van de storingen in perioden van 10 jaar. Tijdens de workshop wordt opgemerkt dat PVC leidingen uit de periode 1970 – 1976 een grotere spreiding laten zien in de conditie. De Kater e.a. (2010) geven aan dat door ontwikkelingen in het distributieproces er in deze periode buizen zijn geproduceerd met een soms verminderde kwaliteit. Voorgesteld is drie periodes te onderscheiden: voor 1970, van 1970 tot 1976 en na 1976.
- Er wordt aangenomen dat PVC leidingen een kortere levensduur hebben als ze zijn gelegen in een bodem waarin spanningen in de buiswand ontstaan door zettingsverschillen (ongelijkmatige zettingen). Deze spanningen kunnen de materiaaleigenschappen (weerstand tegen langzame scheurgroei) op langere duur negatief beïnvloeden (Mesman e. a., 2009). Zettingsgevoelige bodems zijn te identificeren met behulp van de Bodemkaart (Alterra) of zettingenkaarten, zoals bijvoorbeeld opgesteld door de Provincie Noord-Holland (Noord-Holland). Aangenomen wordt dat in gebieden waar zettingen optreden ook meer zettingsverschillen zijn.

Tabel 6. Onderscheiden groepen voor PVC leidingen.

Groep	Materiaal	Diameter	Aanlegperiode	Liggingsomgeving
16	PVC	-	<1970	kans op bodemzettingen
17	PVC	-	<1970	bepaalde kans op bodemzettingen
18	PVC	-	1970 – 1976	kans op bodemzettingen
19	PVC	-	1970 – 1976	bepaalde kans op bodemzettingen
20	PVC	-	>1976	kans op bodemzettingen
21	PVC	-	>1976	bepaalde kans op bodemzettingen

De resultaten van de discussie over de verdeling voor de technische levensduur van PVC leidingen zijn besproken in de workshop van 11 oktober 2011 en zijn weergegeven in Figuur 9. De overwegingen die hierbij een rol hebben gespeeld zijn:

- De geschatte gemiddelde leeftijd is 25 jaar.
- Bij PVC leidingen wordt geen chemische degradatie waargenomen en ze laten in het algemeen een lage storingsfrequentie zien. Aangenomen kan worden dat indien er geen verhoogde spanningen optreden door zettingen of andere oorzaken, een groot deel van de leidingen een hoge technische levensduur zal bereiken (hoge waarde t_3).
- Leidingen uit de periode 1970 - 1976 hebben in bepaalde gevallen een aanmerkelijk kortere levensduur, dit is vertaald in een lage waarde voor t_1 . Dit geldt niet voor alle leidingen, met name voor leidingen in een omgeving waar geen zettingen worden verwacht, kunnen een hoge levensduur bereiken.
- Aan leidingen die zijn aangelegd voor 1970, wordt een kortere levensduur gegeven dan leidingen die zijn aangelegd na 1976. Aangenomen wordt dat de kwaliteit van deze leidingen over het algemeen lager is.



Figuur 9. Verdeling van technische levensduur voor PVC leidingen.

4.5 Groepenindeling en technische levensduur van overige leidingmaterialen

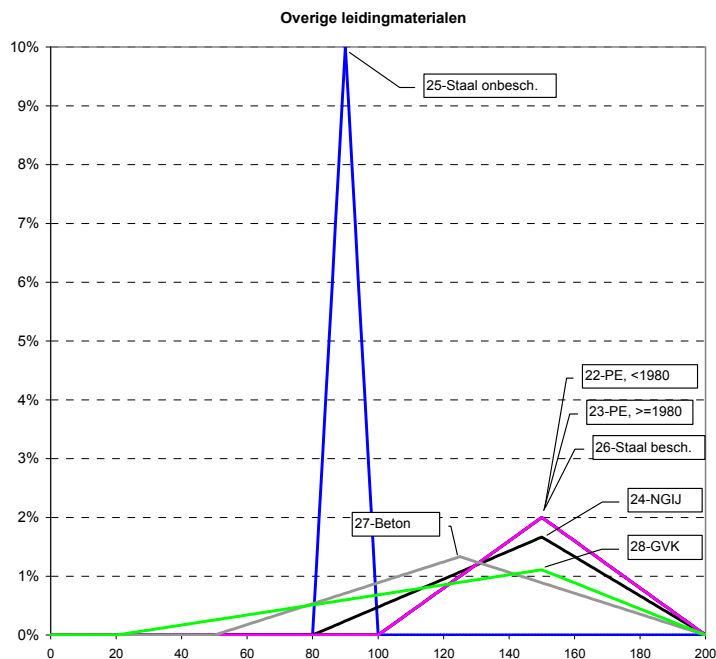
Voor overige leidingmaterialen is een onderverdeling voorgesteld in zeven groepen, zie Tabel 7. Dit zijn materialen met een beperkter lengte-aandeel. Voor nodulair gietijzer, beton en GVK is geen verdere onderverdeling aangehouden. PE leidingen zijn onderverdeeld in voor en na 1980. Deze onderverdeling is gebaseerd op het feit dat leidingen voor 1980 een hogere storingsfrequentie laten zien (zie Bijlage IV). Daarnaast is een onderverdeling gemaakt voor stalen leidingen. Dit is uitgesplitst in staal onbeschermd en staal beschermd. Onbeschermd stalen leidingen zijn onbeklede leidingen die zijn aangelegd voor 1960. Zij kennen een hoge storingsfrequentie en worden in snel tempo gesaneerd. Beschermd stalen leidingen zijn van recentere aard en meestal intern en extern gecoat en voorzien van kathodische bescherming (KB). Dit betreffen vooral grotere transportleidingen van hoge kwaliteit en een lange levensduur.

Tabel 7. Onderscheiden groepen voor overige leidingmaterialen.

Groep	Materiaal	Diameter	Aanlegperiode	Liggingsomgeving
22	PE	-	<1980	-
23	PE	-	>=1980	-
24	NGIJ	-	-	-
25	Staal onbeschermd	-	-	-
26	Staal beschermd	-	-	-
27	Beton	-	-	-
28	GVK	-	-	-

De resultaten van de discussie over de verdeling voor de technische levensduur van de overige leidingmaterialen zijn besproken in de workshop van 11 oktober 2011 en zijn weergegeven in Figuur 10. De overwegingen die hierbij een rol hebben gespeeld zijn:

- Omdat het aantal storingen bij PE leidingen relatief laag is, wordt een lange technische levensduur aangehouden. Vervangingen van PE in vervuilde grond hebben in het algemeen reeds plaatsgevonden. PE leidingen worden veel in landelijke gebieden toegepast waar de gevolgen bij breuk voor klanten beperkt zijn. De leidingen zijn makkelijk te repareren. Mede gezien de beperkte lengte van de leidingen voor 1980, is tijdens de workshop van 11 oktober 2010 besloten dat er geen behoefte is om onderscheid aan te houden op basis van de periode van aanleg.
- Nodulair gietijzer kent een grote verscheidenheid in materiaaleigenschappen. De meeste leidingen zullen een lange levensduur kennen. In bijzondere gevallen hebben waterbedrijven minder goede ervaringen met NGIJ en komen dus kortere levensduren voor. Het volume is te klein om een verdere onderverdeling te maken.
- Onbeschermd staal dateert meestal uit de jaren 1920 en 1930. Het wordt ervaren als een 'probleemmateriaal'. Saneren is in de meeste gevallen op kortetermijn gewenst. Er is gekozen voor een levensduurverdeling (tussen 80 en 100 jaar) die past bij saneren op kortetermijn.
- Beschermd staal is voorzien van een coating en KB en heeft in normale gevallen een lange levensduur.
- Betonnen leidingen (oa Bonna leidingen) zijn gevoelig voor zettingen. Een groot deel van de slechte leidingen is echter vervangen. Er is een grote spreiding in de te verwachten levensduur.
- Ook voor GVK is voor een grote spreiding gekozen. Vanwege enkele gevallen van nog jonge GVK leidingen met een slechte conditie is t_1 op 20 jaar gesteld.



Figuur 10. Verdeling van technische levensduur voor overige leidingmaterialen.

4.6 Samenvatting technische levensduur voor 28 groepen

Ter voorbereiding voor de workshop van 11 oktober 2010 zijn 28 groepen onderscheiden, waaraan tijdens de workshop technische levensduurverdelingen zijn toegekend, zie Tabel 8. In sommige gevallen is tijdens de workshop aan verschillende groepen een gelijke technische levensduurverdeling toegekend. Waterbedrijven kunnen deze groepen samenvoegen tot één groep. De hier gepresenteerde indeling in groepen is een inschatting die is gebaseerd op beperkte kennis van de conditie van leidingen. Als meer gericht kennis over de conditie de leidingen en de levensduur wordt verkregen, dan kan dit leiden tot aanpassing van de groepen en van de levensduurverdelingen.

Tabel 8. Overzicht van de levensduurverdeling voor 28 groepen leidingen.

Groep	Mat.	Diameter	Aanlegperiode	Omgeving	t1	t2	t3
1	AC	<400 mm	<1960	kalkarme bodem	50	60	80
2	AC	<400 mm	<1960	kalkhoudende bodem	50	90	150
3	AC	<400 mm	>=1960	kalkarme bodem	50	70	90
4	AC	<400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	70	110	200
5	AC	>=400 mm	<1960	kalkarme bodem	50	80	100
6	AC	>=400 mm	<1960	kalkhoudende bodem	50	100	160
7	AC	>=400 mm	>=1960	kalkarme bodem	50	80	100
8	AC	>=400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	80	150	200
9	GGIJ	<100 mm			80	150	200
10	GGIJ	100 - 249 mm	1970 - 1979	agressieve bodem	50	70	100
11	GGIJ	100 - 249 mm	1970 - 1979	niet agressieve bodem	80	140	200
12	GGIJ	100 - 249 mm	overige jaren	agressieve bodem	50	70	100
13	GGIJ	100 - 249 mm	overige jaren	niet agressieve bodem	80	140	200
14	GGIJ	>=250		agressieve bodem	70	110	140
15	GGIJ	>=250		niet agressieve bodem	100	150	200
16	PVC		<1970	kans op bodemzettingen	40	90	150
17	PVC		<1970	beperkte kans op bodemzettingen	80	140	200
18	PVC		1970 - 1976	kans op bodemzettingen	40	60	120
19	PVC		1970 - 1976	beperkte kans op bodemzettingen	40	80	200
20	PVC		>1976	kans op bodemzettingen	50	150	200
21	PVC		>1976	beperkte kans op bodemzettingen	100	150	200
22	PE		<1980		100	150	200
23	PE		>=1980		100	150	200
24	NGIJ				80	150	200
25	Staal onbeschermd				80	90	100
26	Staal beschermd				100	150	200
27	Beton				50	125	200
28	GVK				20	150	200

5 Case studies investeringsprognose

5.1 Inleiding

De in dit rapport gebruikte methode voor het opstellen van een investeringsprognose wordt in dit hoofdstuk toegelicht aan de hand van twee case studies. De case studie over het distributienet van PWN licht met name de inzet van GIS toe voor het bepalen van de omgevingsvariabelen. De case studie over het distributienet van Waternet laat het verschil zien tussen een prognose gebaseerd op vaste levensduren zoals momenteel gehanteerd door Waternet en de inzet van de in dit project gedefinieerde levensduurverdelingen. Dit is uitgewerkt voor grijs gietijzeren leidingen. Beide case studies nemen geen herinvestering in overweging van toekomstig te vervangen leidingen.

5.2 Investeringsprognose PWN

Als basis voor de investeringsprognose van PWN dient de groepenindeling en de verdelingen van de technische levensduur zoals beschreven in Hoofdstuk 4. Omdat geen nadere gegevens voorhanden waren is in dit voorbeeld geen rekening gehouden met saneren vanwege leeftijdsafhankelijke oorzaak of op initiatief van derden. Waterbedrijven wordt echter aanbevolen deze factoren wel te beschouwen omdat daarmee een betere inschatting wordt verkregen van het investeringsvolume, met name het volume op kortere termijn zal anders worden onderschat.

Dataset van leidingnet

Van PWN is een dataset verkregen van het gehele drinkwaterleidingnet, zie Tabel 9 voor een geaggregeerd overzicht. Deze dataset geeft onder andere informatie over de leidinglengte, de diameter, het jaar van aanleg, de materiaalsoort en de locatie (XY).

Tabel 9. Overzicht drinkwaterleidingnet van PWN, 2010.

<i>Materiaal</i>	<i>Lengte (km)</i>	<i>Aandeel</i>
AC	4.413	43,1%
Beton	381	3,7%
GVK	57	0,6%
Grijs gietijzer	687	6,7%
Koper	29	0,3%
Nodulair gietijzer	493	4,8%
PE	1.827	17,9%
PVC	2.179	21,3%
Staal	166	1,6%
Totaal	10.232	

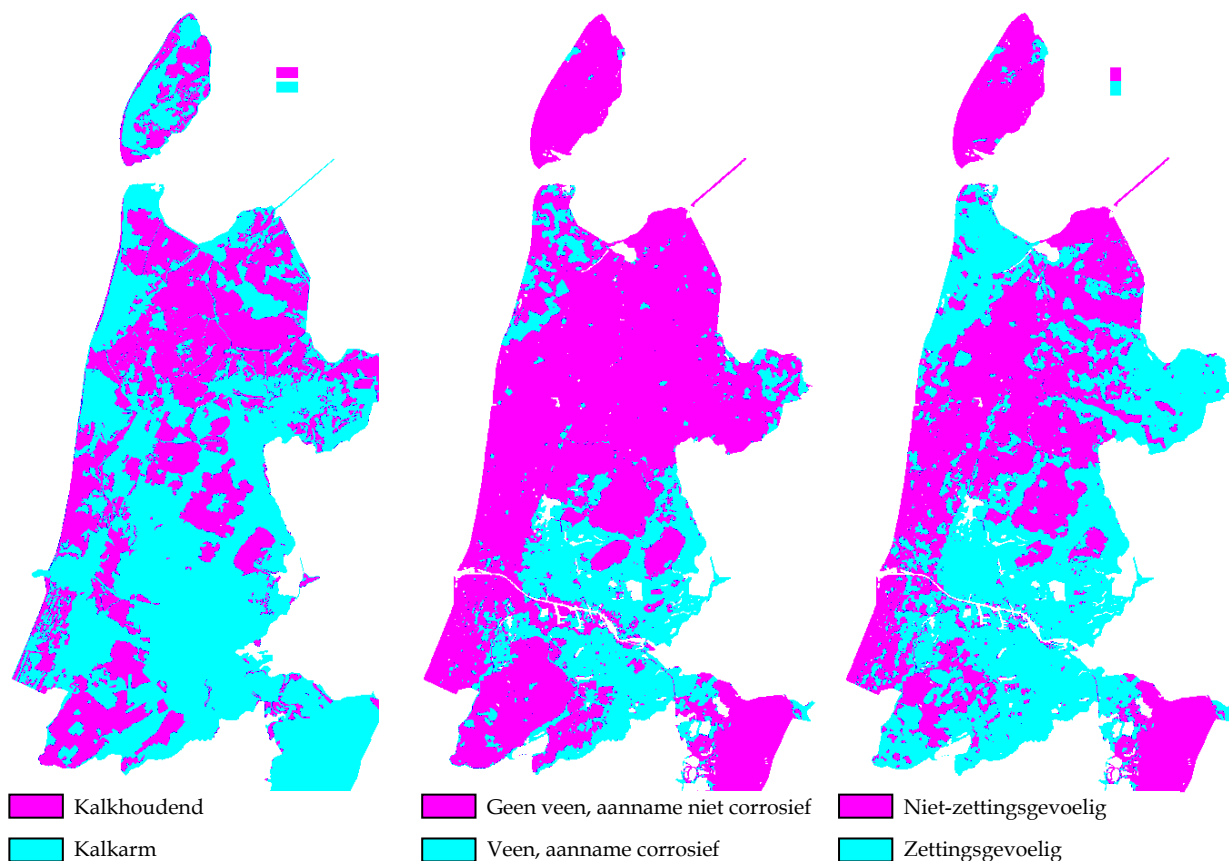
Indeling in groepen leidingen

Binnen dit voorbeeld is de generieke groepenindeling toegepast die is voorgesteld in Hoofdstuk 4. De indeling in 28 generieke groepen vind voor een deel plaats met behulp van de leidingkenmerken materiaal, diameter en aanlegperiode. Daarnaast zijn ook onderstaande omgevingskenmerken gedefinieerd. Deze zijn visueel weergegeven in Figuur 11.

- Voor AC leidingen wordt onderscheid gemaakt tussen leidingen in een kalkarme of kalkhoudende bodem. Op basis van de Nederlandse Bodemkaart en de bijbehorende legenda is een indeling gemaakt in kalkarme en kalkhoudende bodems.
- Voor GIJ leidingen wordt onderscheid gemaakt tussen leidingen in een corrosieve of niet-corrosieve bodem. Dit onderscheid kan gemaakt worden met behulp van een kaart met het chloride gehalte van de ondergrond, bijvoorbeeld vervaardigd door TNO (Oude Essink et al., 2010). Deze kaart was echter voor deze pilot niet beschikbaar. Met behulp van de vrij te raadplegen Zettingsgevoeligheidskaart van de Provincie Noord-Holland, die is opgesteld in het kader van het

project Bodemvisie (Provincie Noord-Holland), zijn veenbodems geïdentificeerd. Voor dit voorbeeld wordt aangehouden dat veenhoudende bodems meer corrosief zijn.

- Voor PVC leidingen wordt onderscheid gemaakt tussen leidingen in een zettingsgevoelige en niet-zettingsgevoelige bodem. Op hierboven genoemde Zettingsgevoeligheidskaart van de Provincie Noord Holland zijn de zettingsgevoelige delen aangegeven.



Figuur 11. Relevante bodemeigenschappen voor levensduurverdelingen voor respectievelijk AC, GGIJ en PVC.

Stel per groep een levensduurverdeling op

Alle leidingen zijn nu verdeeld over 28 groepen. Voor elke groep is de verdeling aangehouden van de technische levensduur met de waarden t_1 , t_2 en t_3 uit Tabel 8. Een eenvoudige werkwijze is om aan elke leiding de bijbehorende verdeling te koppelen. Door deze te combineren met het aanlegjaar, ontstaat een verdeling van het toekomstig vervangingsmoment. Door dit te vermenigvuldigen met de lengte en de producten op te tellen krijgt men het saneringsvolume in de tijd. Een dergelijke bewerking is vrij eenvoudig uit te voeren in Excel, hoewel dit tot zeer omvangrijke bestanden zal leiden.

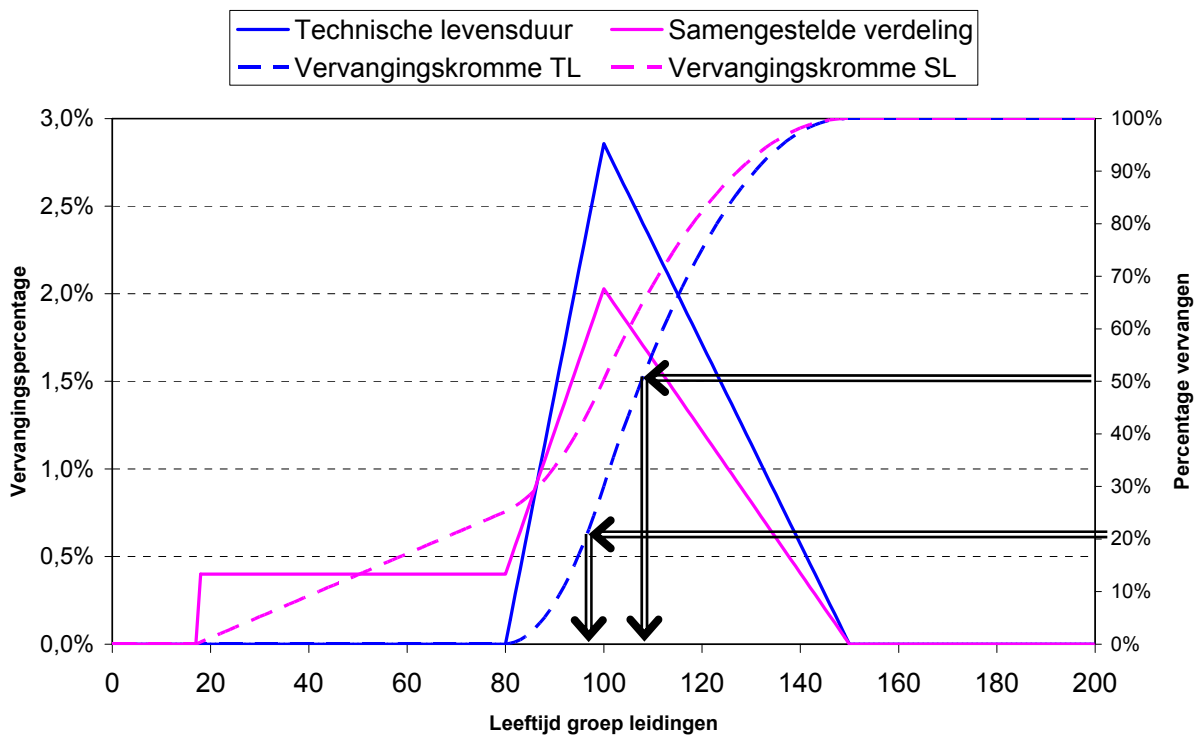
Bij de uitwerking van dit voorbeeld is gebruik gemaakt van het softwarepakket Spatial Office dat door PWN wordt gebruikt voor het maken van netwerk analyses. Figuur 12 laat een weergave zien van de indeling in groepen leidingen in Den Helder. Het is met dit pakket niet mogelijk om een verdeling te koppelen aan leidingen. Om die reden zijn voor elke groep percentielwaarden bepaald die aangeven op welke leeftijd een bepaalde omvang op technische gronden vervangen zal zijn. Voor elke groep zijn de waarden P_{20} , P_{50} , P_{80} en P_{100} bepaald. Voor P_{20} geldt dat op dit tijdstip er een kans is van 20% dat een leiding van die specifieke groep op technische gronden vervangen zal zijn.

Deze benadering is geïllustreerd in Figuur 13 aan de hand van het rekenvoorbeeld van Figuur 6. In Figuur 13 geeft de blauwe lijn de levensduurverdeling weer op basis van de technische levensduur. Hiervan wordt de vervangingskromme afgeleid. Deze geeft aan welk aandeel van de leidingen uit die groep vervangen is. Op t_1 heeft de vervangingskromme de waarde 0, op t_3 de waarde 1. De waarde P_{50} bedraagt hier 107 jaar, de waarde P_{20} bedraagt 96 jaar.

In Figuur 13 geven de paarse lijnen de verdeling aan van de samengestelde levensduur (combinatie van de verdelingen voor technische levensduur, leeftijdsonafhankelijke en activiteiten van derden) en de bijbehorende vervangingskromme. De waarden P_{50} en P_{20} bedragen in dit geval respectievelijk 99 en 66 jaar.



Figuur 12. Indeling in groepen leidingen, uitsnede bij Den Helder.



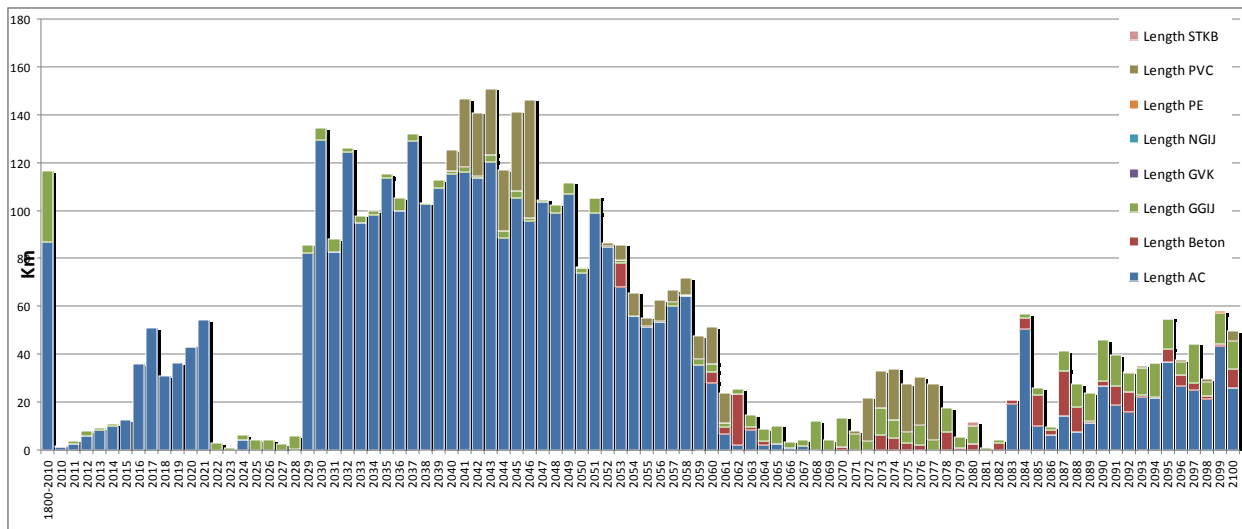
Figuur 13. Voorbeeld van de waarden P_{20} en P_{50} voor een verdeling op basis van de technische levensduur (TL), deze zijn respectievelijk 96 en 107 jaar. Tevens is de samengestelde levensduur aangegeven (SL).

Stel per leidinggroep het vervangingsmoment vast en totaliseer tot lengte saneringsvolume

Door voor elke leiding bij het aanlegjaar de bijbehorende waarden voor P_{20} , P_{50} , P_{80} en P_{100} op te tellen, ontstaat een beeld van de waarschijnlijke toekomstige vervanging voor die leiding. Door deze waarden voor alle leidingen op te tellen, ontstaat een beeld van de toekomstige vervangingen. In Figuur 14 is dit weergegeven voor de waarde P_{50} . Dezelfde grafieken zijn ook opgesteld voor P_{20} , P_{80} en P_{100} . Door per jaar de volumes voor de waarden P_{20} , P_{50} , P_{80} en P_{100} te sommeren ontstaat een saneringsvoorspelling. Deze sommatie is hier uitgevoerd volgens de formule:

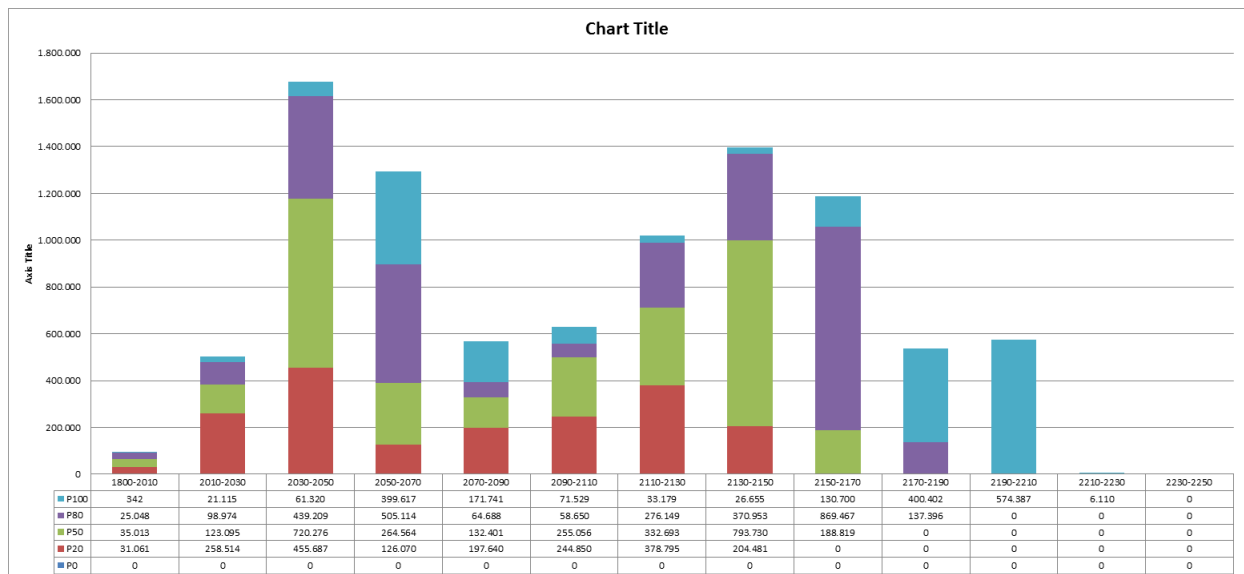
$$SV_t = 0,2 * P_{20,t} + 0,3 * P_{50,t} + 0,3 * P_{80,t} + 0,2 * P_{100,t}$$

Hierin SV_t staat voor het saneringsvolume in jaar t en $P_{20,t}$ voor de 20% percentielwaarde in jaar t .



Figuur 14. Voorspelling van P50 saneringen, dit houdt in dat naar verwachting 50% van de leidingen in het bijbehorende jaar vervangen zal zijn.

In Figuur 15 is voor het hier gepresenteerde voorbeeld een saneringsvoorspelling gemaakt voor perioden van 20 jaar. Uit deze analyse blijkt dat op basis van technische veroudering in de periode 2010 – 2030 een saneringsvolume van 500 km wordt voorspeld, oftewel gemiddeld 25 km per jaar. Voor de periode 2030 – 2050 bedraagt dit volume circa 1700 km, oftewel gemiddeld 85 km per jaar. Beide waarden komen voor PWN overeen met een jaarlijks saneringsvolume op basis van de technische levensduur van respectievelijk 0,25% en 0,85% van het leidingnet.



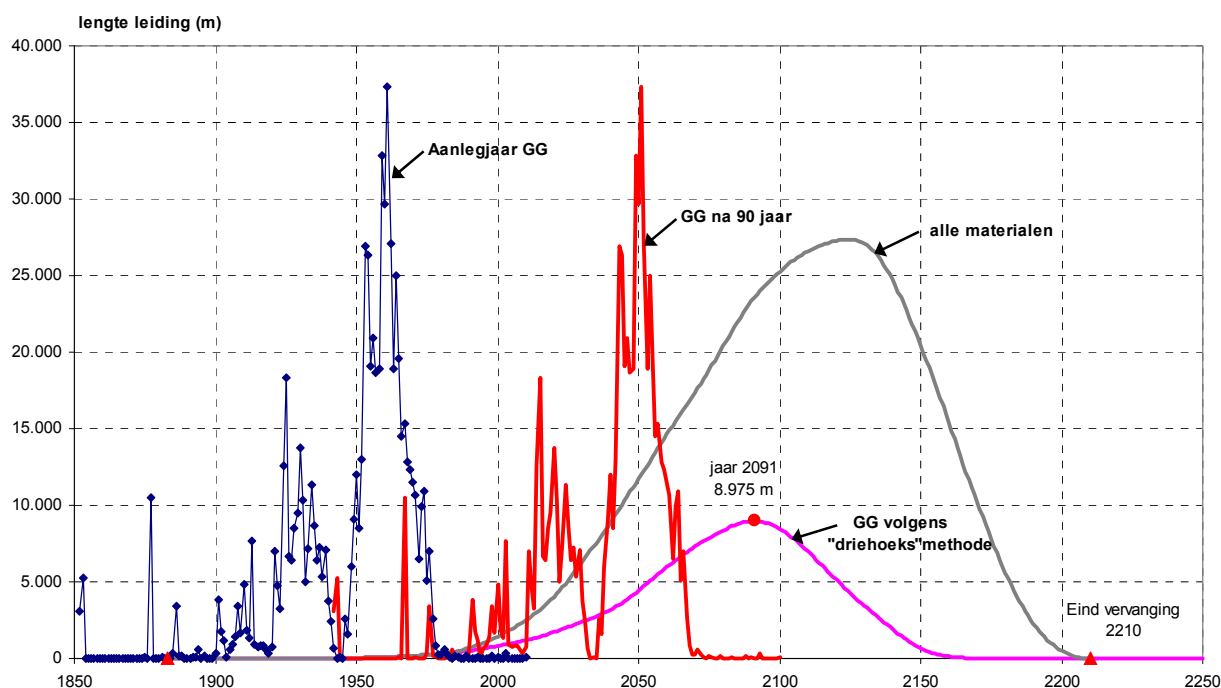
Figuur 15. Voorspelling te saneren leidinglengtes op basis van de technische levensduur voor PWN.

5.3 Investeringsprognose Waternet

Het leidingnet van Waternet heeft een lengte van ongeveer 3200 km, het aandeel grijs gietijzer is 23%. Waternet hanteert voor het maken van een vervangingsprognose technische levensduren, die verwant zijn aan de NKL-regeling (zie Tabel 2). De technische levensduur voor gecoat grijs gietijzer is gesteld op 90 jaar voor diameters kleiner of gelijk aan 300 mm en op 100 jaar voor grotere diameters. Alle ongecoate grijs gietijzeren leidingen hebben een technische levensduur van 60 jaar toegewezen gekregen. Naar aanleiding van de in dit project voorgestelde benadering is door Waternet een herberekening van de vervangingsprognose gemaakt. De grijs gietijzeren leidingen zijn ingedeeld in zeven groepen. Er is voor het distributiegebied van Waternet een inschatting gemaakt van de verhouding agressieve ten opzichte van niet-agressieve bodems. Naar aanleiding van deze verhouding heeft een interpolatie voor de waarden t_1 , t_2 en t_3 plaatsgevonden, zie Tabel 10. Voor de gecoate grijs gietijzeren leidingen kleiner dan 300 mm zijn de driehoekverdelingen van Tabel 10 gecombineerd met de aanleghistorie. Dit heeft geresulteerd in de vervangingsprognose zoals weergegeven in Figuur 16.

Tabel 10. Overzicht verdelingen technische levensduur voor grijs gietijzeren leidingen zoals gehanteerd in de case studie door Waternet.

Diameter	Periode van aanleg	Bodem	Verhouding	Oorspronkelijk			Geïnterpoleerd		
				t_1	t_2	t_3	t_1	t_2	t_3
<100 mm			100%	80	150	200	80	150	200
100 - 249 mm	1970 - 1979	agressief	10%	50	70	100	77	133	190
		niet-agressief	90%	80	140	200			
	overige jaren	agressief	10%	50	70	100	77	133	190
		niet-agressief	90%	80	140	200			
>=250 mm		agressief	10%	70	110	140	97	146	194
		niet-agressief	90%	100	150	200			



Figuur 16. Overzicht van aanleghistorie van gecoate grijs gietijzeren leidingen kleiner dan 300 mm (blauw), de vervangingsprognose bij een vaste levensduur van 90 jaar (rood) en de vervangingsprognose bij de toepassing van de in dit project vastgestelde driehoeksverdeling (paars). De grijze lijn geeft de totale lengte van de vervangingsprognose aan bij toepassing van de driehoeksverdelingen voor alle materialen van het distributienet van Waternet.

Figuur 16 laat duidelijk het effect van een levensduurverdeling zien. Het piekerig aanlegpatroon wordt vertaald in een gelijkmatige vervangingsverdeling. Ook leiden de hernieuwde inzichten in de restlevensduur van leidingen tot een verschuiving van de vervangingen verder in de toekomst, vanzelfsprekend heeft dit betrekking op de technische levensduur.

5.4 Conclusies uit case studies

De case studies laten zien dat het goed mogelijk is om op basis van de groepen en de bijbehorende levensduurverdelingen een investeringsprognose op te stellen. De case studie bij PWN geeft aan dat de gedefinieerde omgevingsvariabelen zijn toe te wijzen aan leidingen door gebruik te maken van geografische informatie. Beide case studies laten zien dat inzet van de hier voorgestelde methode leidt tot vervangingsscenario's die meer zijn gebaseerd op de huidige kennis van het leidingnet en daarmee een meer realistisch investeringsprognose opleveren. Door gebruik te maken van een overzichtelijke methode en verzamelde kennis uit de bedrijfstak, is een beter onderbouwde voorspelling mogelijk.

6 Implementatie investeringsprognose

6.1 Voorstel voor groepenindeling leidingen

Na evaluatie van de groepenindeling en toekenning van de technische levensduur, zoals weergegeven in Hoofdstuk 4, heeft een aanpassing van de groepenindeling plaatsgevonden. Deze nieuwe indeling is besproken met afgevaardigden van de waterbedrijven tijdens de PBG van 29 juni 2011.

De belangrijkste constatering bij de oorspronkelijke groepenindeling is dat deze uit veel (28) groepen bestaat, waarbij er in een aantal gevallen een gelijke of vrijwel gelijke technische levensduurverdeling is aangehouden. De aangepaste groepenindeling waarbij sprake is van 22 groepen leidingen met bijbehorende technische levensduurverdeling is weergegeven in Tabel 11.

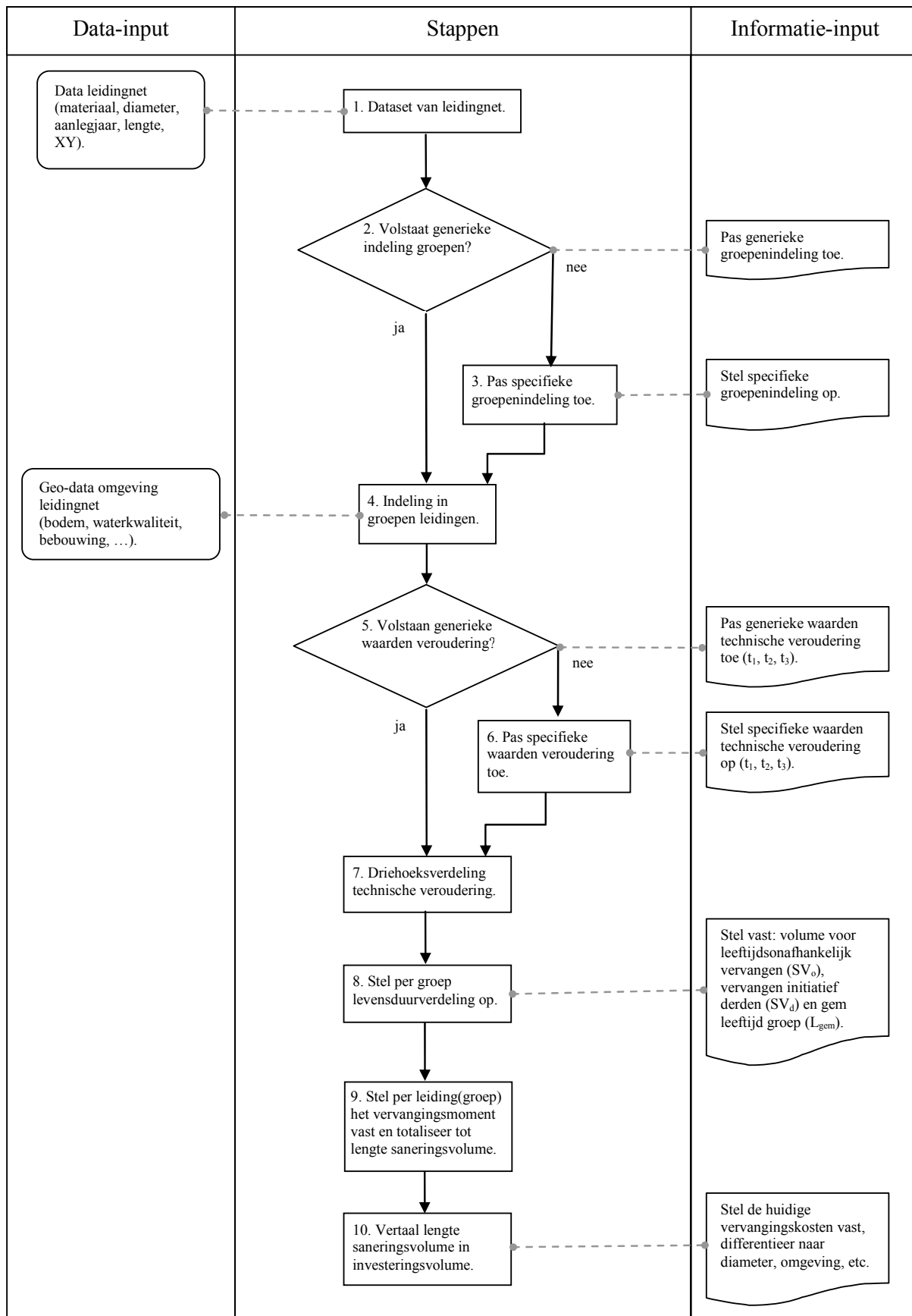
Tabel 11. Overzicht van de levensduurverdeling voor 22 groepen leidingen. De laatste kolom geeft de relatie weer met Tabel 8.

Groep	Mat.	Diameter	Aanlegperiode	Omgeving	t1	t2	t3	Groep Tabel 8
1	AC		<1960	kalkhoudende bodem	50	90	150	2,6
2	AC	<400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	70	110	200	4
3	AC	<400 mm		kalkarme bodem	50	60	80	1,3
4	AC	>=400 mm	>=1960	kalkhoudende bodem	80	150	200	8
5	AC	>=400 mm		kalkarme bodem	50	80	100	5,7
6	GGIJ	<100 mm			80	150	200	9
7	GGIJ	100 - 249 mm		agressieve bodem	50	70	100	10,12
8	GGIJ	100 - 249 mm		niet agressieve bodem	80	140	200	11,13
9	GGIJ	>=250		agressieve bodem	70	110	140	14
10	GGIJ	>=250		niet agressieve bodem	100	150	200	15
11	PVC		<1970	kans op bodemzettingen	40	90	150	16
12	PVC		<1970	bepaalde kans op bodemzettingen	80	140	200	17
13	PVC		1970 - 1976	kans op bodemzettingen	40	60	120	18
14	PVC		1970 - 1976	bepaalde kans op bodemzettingen	40	80	200	19
15	PVC		>1976	kans op bodemzettingen	50	150	200	20
16	PVC		>1976	bepaalde kans op bodemzettingen	100	150	200	21
17	PE				100	150	200	22,23
18	NGIJ				80	150	200	24
19	Staal onbeschermd				80	90	100	25
20	Staal beschermd				100	150	200	26
21	Beton				50	125	200	27
22	GVK				20	150	200	28

6.2 Stappenplan voor opstellen van levensduurverdelingen

Op basis van ervaringen van waterbedrijven en eerder onderzoek is een stappenplan opgesteld voor het opzetten van een investeringsprognose voor leidingen, zie Figuur 17. In dit stappenplan wordt aangegeven wat de benodigde data-input en informatie-input is. De data-input is afkomstig uit informatiesystemen en betreft leiding- en omgevingskenmerken. De informatie-input betreft benodigde inzichten en besluitvorming voor een goed onderbouwde investeringsprognose.

In het stappenplan zijn twee situaties weergegeven (stap 2 en stap 5) waarin de vraag wordt gesteld of een generieke groepenindeling of levensduurverdeling volstaat. Als een waterbedrijf van mening is dat de in dit rapport gepresenteerde generieke bepaling niet volstaat, dan kunnen hier bedrijfsspecifieke (of regio-specifieke) gegevens worden ingebracht.



Figuur 17. Stappenplan voor het uitvoeren van een investeringsprognose voor leidingen.

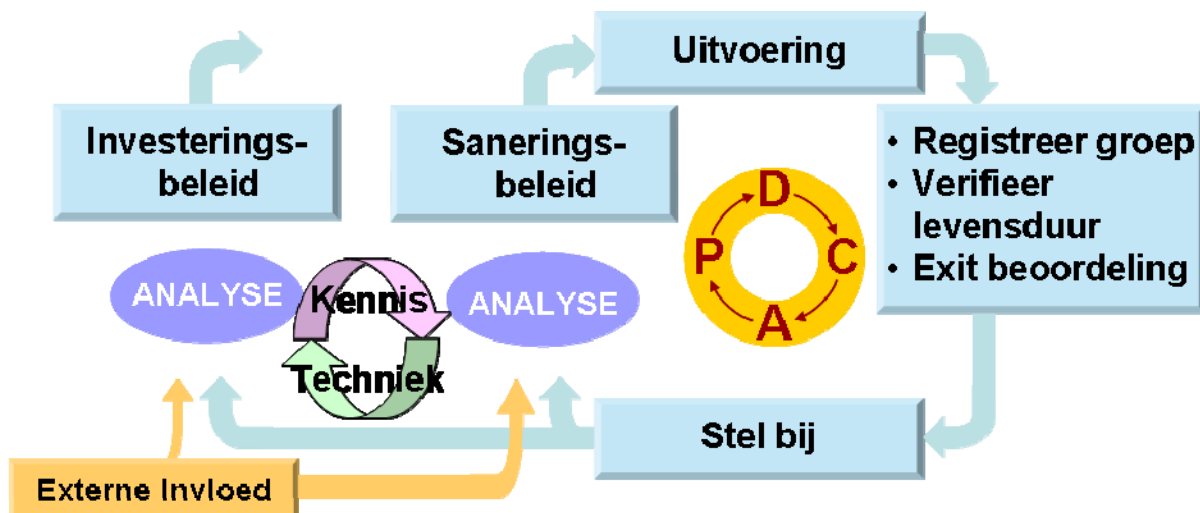
6.3 Inpassing investeringsprognose in verbetercirkel

In dit rapport is een methode beschreven voor het maken van een investeringsprognose voor het leidingnet. Het leidingnet wordt daarbij ingedeeld in een aantal coherente groepen met een vergelijkbaar verouderingsproces. Deze groepen zijn naast een hulpmiddel voor het maken van een investeringsprognose ook een hulpmiddel voor het gericht verzamelen van kennis over het leidingnet. Uitgangspunt hierbij is dat elke groep een vergelijkbare wijze en dus tempo van verouderen heeft. Door per groep aan te geven wat het volume is en de tijdsspanne van vervangen, kan een prioritering worden opgesteld om van specifieke groepen gericht kennis op te bouwen.

De indeling in groepen kan een belangrijk hulpmiddel zijn voor het evalueren van het saneringsbeleid. Waterbedrijven kunnen bijvoorbeeld een prestatie-indicator opstellen die aangeeft wat het aandeel prioritairere groepen dient te zijn in het totale bestand van saneringen. Op deze wijze wordt bewaakt of bij de uitvoering voldoende aandacht wordt gegeven aan het saneren van de 'juiste' leidingen. Op deze wijze schept het investeringsbeleid een duidelijk kader voor het kortetermijn-saneringsbeleid.

In Figuur 18 is een schematische weergave gegeven van de wijze waarop het investeringsbeleid, het saneringsbeleid en de uitvoering van werken binnen een waterbedrijf kunnen worden georganiseerd. De uitvoering wordt direct aangestuurd door het saneringsbeleid. Om het saneringsbeleid vorm te geven is informatie nodig van het leidingnet en externe invloeden. Door inzet van kennis en technieken, zoals bijvoorbeeld softwarepakketten, kan de analyse verbeterd worden. Het investeringsbeleid staat op een grotere afstand en schept vooral kaders door het bepalen van de benodigde middelen (investeringsvolume) en het leggen van focus voor het prioriteren van informatiebehoefte. Deze investeringsprognose is ook gebaseerd op informatie over het leidingnet. Omdat het meer een langeretermijn-analyse is, is er in mindere mate behoefte aan informatie over externe invloeden.

Figuur 18 laat ook de Demingcirkel zien die aangeeft dat analyse (Plan) de basis is voor uitvoering (Do). Minstens zo belangrijk is het om te leren van de uitvoeringsactiviteiten (Check) en dit de basis te laten zijn voor bijstelling van de analyse (Act).



Figuur 18. Schematische weergave van investeringsbeleid, saneringsbeleid en uitvoering van werken.

6.4 Kennisverzameling over het leidingnet: exit-beoordeling

Een belangrijke uitdaging voor waterbedrijven is het op een efficiënte wijze verkrijgen van informatie over het leidingnet, als basis voor een juiste saneringsactiviteiten. Omdat leidingen ondergronds liggen, en dus moeilijk bereikbaar zijn, zijn er weinig gelegenheden gericht informatie te verzamelen over de staat van het leidingnet. Een belangrijke gelegenheid zijn uitvoeringswerkzaamheden: activiteiten voor inspectie, onderhoud en sanering. Zoals hierboven al gememoreerd, kan door registratie van leidinggroep worden geëvalueerd of de prioritering zoals aangegeven in het investeringsplan wordt aangehouden. Daarnaast kan door analyse van uitgenomen leidingmateriaal worden nagegaan of

aannames en analyses van het investerings- en saneringsbeleid correct waren. Hiervoor kunnen zogenaamde exit-beoordelingen worden uitgevoerd. Een exit-beoordeling is een vast omschreven procedure voor het beoordelen van de kwaliteit van het te vervangen leidingmateriaal, waarbij een beoordeling gemaakt kan worden van de leidingconditie aan de hand van een visuele inspectie, een conditiebepalingstest of een druktest. Deze exitbeoordeling levert inzicht in de conditie van een specifieke groep leidingen en kan ook dienen om de juistheid van de saneringsbeslissing te evalueren.

6.5 Kennisverzameling over het leidingnet: proactieve conditiebepaling

Waterbedrijven voeren op dit moment conditiebepalingen uit, met name fenolftaleïnetesten. De komende jaren zal het saneringsbeleid voor een groot deel gericht zijn op het saneren van AC leidingen. De meeste fenolftaleïnetesten worden uitgevoerd bij uitgenomen leidingdelen, vooral bij vervangingen. Dit betekent dat een beeld wordt verkregen dat voornamelijk is bepaald door leidingen die om welke reden dan ook vervangen worden. De vraag is of hiermee op een juiste manier kennis wordt opgebouwd. Dit betekent dat in aanvulling op de in paragraaf 6.4 beschreven exit-beoordeling, het aan raden is om op een geordende en statistisch significante wijze proactief leidingen te selecteren en hierop fenolftaleïnetesten uit te voeren. Door zowel proactief als reactief inspectiebeleid wordt een meer volledig beeld verkregen over de staat van AC leidingen, zodat het saneringsbeleid beter kan worden afgestemd op die leidingen waarvan de conditie onvoldoende is. Door leidingen met een acceptabele conditie niet (of later) te vervangen zal per saldo de restlevensduur toenemen en kunnen investeringen efficiënter worden ingezet, of worden uitgesteld.

In onderstaande berekening wordt nagegaan of een proactief inspectiebeleid door middel van het uitnemen van buisdelen waarop een fenolftaleïnetest wordt uitgevoerd kan leiden tot een positieve businesscase. Opgemerkt wordt dat inspectie door middel van non-destructieve in-line technieken de voorkeur hebben. Deze technieken zijn echter nog niet beschikbaar voor leidingen kleiner dan 250 mm, tevens zijn deze technieken relatief duur (de Kater e.a., 2010).

Stel een waterbedrijf heeft een bestand van 1.000 km AC leidingen met een gemiddelde verwachte restlevensduur van 25 jaar. Uitgangspunt is dat als er meer kennis is over de conditie van leidingen de verwachte restlevensduur zal toenemen. De gemiddelde vervangingswaarde voor huidige vervangingen en vervangingen in de toekomst wordt gesteld op €100/m. Voor het netto rente percentage wordt 3% aangehouden.

In Tabel 12 is aangegeven wat voor diverse jaren van levensduurtoename het kostenvoordeel is door uitstel van investeringen. Dit bedrag komt eenmaal ter beschikking voor conditiebepaling. Als voor het proactief uitnemen van monsters €2000 per monster wordt gerekend, dan kan afhankelijk van de gemiddelde levensduurtoename met 1, 3 of 5 jaar een fenolftaleïne test worden uitgevoerd op respectievelijk elke 1400, 500 en 300 meter.

Tabel 12. Businesscase voor het proactief uitvoeren van fenolftaleïnetesten.

Lengte AC leidingen	km	1000		
Vervangingswaarde	€/m	100		
Netto rente		3%		
Gem. restlevensduur oud	jaar	25		
Toename van restlevensduur	jaar	1	3	5
Gem. restlevensduur nieuw	jaar	26	28	30
Contante vervangingskosten over 25 jaar	M€	47,8		
Contante vervangingskosten uitgesteld	M€	46,4	43,7	41,2
Kostenvoordeel	M€	1,4	4,1	6,6
Stel gem. kosten conditiebepaling	€	2000	2000	2000
Financiële ruimte voor testen	€	696	2026	3281
Break even bij jaarlijks 1 test elke	km	1,4	0,5	0,3

6.6 Kennisverzameling over het leidingnet: storingenanalyse

Naast inspecties kan ook inzicht dat is verkregen door analyse van storingen leiden tot verbeterde kennis over het leidingnet. Binnen het BTO worden binnen het project USTORE storingen uniform geregistreerd en centraal geanalyseerd. Door een goede registratie en een grotere database worden de mogelijkheden van analyse vergroot, zodat een beter beeld kan ontstaan van welke materialen met welke eigenschappen en in welke omstandigheden meer storingen laten zien. Dit zal ook meer inzicht geven in de relatie tussen leeftijd en het aantal storingen. Hiermee zal storingenanalyse een belangrijk middel zijn om voorspellingen te maken van de levensduur van groepen leidingen. Om dit te faciliteren zal de storingenanalyse van USTORE gebruik maken van de groepindeling zoals voorgesteld in dit rapport.

7 Resultaten en aanbevelingen

In het voorliggende rapport *Technische levensduur voor groepen leidingen* is een methode uitgewerkt voor het maken van een investeringsprognose voor het leidingnet. Tevens is bestaande kennis geïnventariseerd over technische veroudering van leidingen die als input kan dienen voor het maken van een investeringsprognose. De belangrijkste resultaten van het onderzoek zijn:

1. Drie redenen voor saneren van leidingen zijn onderscheiden die de grondslag vormen voor een investeringsprognose, deze zijn:
 - saneren vanwege het bereiken van de technische levensduur van de leiding,
 - saneren vanwege een onvoorspelbare en leeftijdsonafhankelijke oorzaak, bijvoorbeeld door aanlegfouten of het omwaaien van nabijgelegen bomen.
 - saneren vanwege activiteiten van derden.Het saneren vanwege het bereiken van de technische levensduur kan beschreven worden op een meer generieke wijze. De overige redenen zijn bedrijfs- of regiospecifiek en zijn af te leiden door nacalculatie van gerealiseerde werken.
2. Op basis van bestaande kennis en praktijkinzichten is een indeling gemaakt van 22 homogene groepen. Hieraan zijn aan de hand van driehoeksverdelingen een schatting van de technische levensduurverdeling gemaakt, zie Tabel 11.
3. De voornaamste redenen voor de indeling van groepen en het toekennen van een levensduurverdeling zijn in dit rapport beschreven. Waterbedrijven kunnen deze naar eigen inzicht aanpassen. Verder is een stappenplan uitgewerkt waarmee waterbedrijven een investeringsprognose kunnen uitvoeren.
4. De hier beschreven methode voor het opstellen van een investeringsprognose voor het leidingnet is gebaseerd op de bestaande kennis over de veroudering van leidingen en levert waterbedrijven een duidelijk kader voor de allocatie van toekomstige financiële middelen en het prioriteren van groepen leidingen voor het vormgeven van saneringsbeleid en het gericht verzamelen van informatie.
5. Het rapport geeft een argumentatie voor de indeling in groepen en de gehanteerde levensduurverdeling op grond van nog steeds beperkte kennis van de conditie van leidingen. Door gericht kennis te verzamelen, bijvoorbeeld door storingenanalyse, exitbeoordelingen of leidinginspecties, wordt beter inzicht verkregen in de staat van het leidingnet en kunnen de genoemde argumenten verder worden aangescherpt. Goed onderbouwde en dus betrouwbare kennis over de staat van het leidingnet en de daar van afgeleide levensduur zal leiden tot betere keuzen voor saneringsbeslissingen. In de praktijk zal dit leiden tot verlenging van de gemiddelde voorspelde levensduur van groepen leidingen en dus uitstel van investeringen (zie hiervoor de case studie van Waternet).

Naar aanleiding van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gegeven:

1. Waterbedrijven wordt aanbevolen het leidingnet in te delen in groepen en op basis hiervan beleid op te stellen voor het maken van een onderbouwde investeringsprognose. Bij het maken van een investeringsprognose zal rekening gehouden moeten worden met de diverse redenen voor vervanging zoals in dit rapport beschreven.
2. De in dit rapport beschreven verdelingen van de technische levensduur is gemaakt op basis van beperkte kennis over de conditie van leidingen. Waterbedrijven wordt aanbevolen gezamenlijk en gericht informatie te verzamelen over de conditie van leidingen en over kostenkennallen bijvoorbeeld door exit-beoordelingen, nacalculaties, storingenregistratie en inspecties. Dergelijke

exercities worden soms als kostenverhogend gezien, echter betere kennis over het leidingnet zal uiteindelijk volgens de auteurs leiden tot een betere prestatie en lagere kosten.

3. Waterbedrijven krijgen steeds meer kennis over het leidingnet. Gezien de ontwikkeling van de kennis op dit gebied, wordt aanbevolen om over twee á drie jaar de hier gepresenteerde groepen en levensduurverdelingen opnieuw tegen het licht te houden en daar waar nodig aan te scherpen.
4. Om de kwaliteit van de kennis en informatie te verhogen is het in veel gevallen effectief om gebruik te maken van een grote database. Waterbedrijven wordt aanbevolen na te gaan of het mogelijk is om kennis te delen over de conditie of over kostenkennallen. Het BTO is per uitsteking geschikt om deze kennisuitwisseling vorm te geven en het project USTORE kan hierbij als leerervaring worden genomen.

8 Referenties en internetverwijzingen

Alterra, Bodemkaart 1:50.000: www.bodemdata.nl (geraadpleegd 6 juni 2011)

Beuken R.H.S. (2001). *Investeringsprognose voor het vervangen van leidingen, de bult nader bekeken*. KWR, Nieuwegein. BTO 2001.178 (c).

Beuken R. (2005). *Investeringsprognose, rekenprogramma InvesteringsPrognose leidingen IPL*. KWR, Nieuwegein. BTO 2005.047.

Blokker, M., R. Beuken R. G. Mesman en B. Raterman (2004). *Vervangings- en investeringsprognose distributie voor Hydron*. KWR, Nieuwegein KWR 04.026.

Burn, S., Williams, W., Puranik, S., and Marlow, D. (2009) *The role of condition assessment and its application in Asset Management in North America - The Hillborough County case study*. LESAM 2009, International conference on asset management, Miami.

Kater, H. de, R. Beuken en A. Vogelaar (2010). *Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten; een overzicht van technieken en randvoorwaarden*. KWR, Nieuwegein. BTO 2010.013.

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

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

Vewin, publicaties Waterleidingstatistiek 2000 t/m 2008 (2001-2010)

Kleiner, Y., and Rajani, B. (1999). *Using limited data to assess future needs*. Journal of American Water Works Association, 91(7), 47-62.

Kleiner, Y., and Rajani, B. (2001). *Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models*. Urban Water, 3, 131-150.

Oude Essink, G.H.P., E.S. van Baaren, and P.G.B. de Louw (2010). *Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in The Netherlands*. Water Resour. Res., 46, W00F04, doi:10.1029/2009WR008719

Provincie Noord-Holland Bodemvisie: <http://geo.noord-holland.nl/bodemvisie/bodemvisie.html> (geraadpleegd 6 juni 2011)

Senden, W.J.M.K. et al. *Inventarisatie van de vervanging van hoofdleidingen*. KWR, Nieuwegein. BTO 2008.005

Smits, F. (2010). *Projectinitiatief Sanering infrastructuur Brabant Water, met de saneringstrein naar het distributienet van de toekomst.* s-Hertogenbosch, Brabant Water 100623/smitf1/smitf1/172960.

I Deelnemers aan workshops

In onderstaand overzicht zijn de deelnemers weergegeven aan de workshops 'Restlevensduur van groepen leidingen' van 11 en 14 oktober 2010.

Bedrijf	Deelname 11 oktober 2010	Deelname 14 oktober 2010
WbGr	Eddy Postmus	Eddy Postmus
WMD	Hylke Merkus	Petra Holzhaus
Vitens	Eelco Trietsch; Jan Pot	Eelco Trietsch; Jan Pot
PWN	Peter Horst Peter Schaap	Peter Horst Peter Schaap
Waternet	Joost Louter Geertjan van Heck	Joost Louter Arne Bosch
Dunea	Rob de Jong Rob Geers	Rob de Jong Rob Geers
Evides	Berry Ooms Henk de Kater	Berry Ooms Henk de Kater
BW	Roel Diemel Ferry Smits	Roel Diemel
WML	Anton van Eijden	Henk Vogelaar
Pidpa	Karel Vangeel Koen Notelé	Karel Vangeel
Spatial Eye		Gerrit Bruins Luis Pinheiro
KWR	Ralph Beuken George Mesman	Ralph Beuken George Mesman

II Voorbeeld Levensduurverdeling

In onderstaande uitsnede van het Excel-sheet staat aangegeven op welke wijze de samengestelde verdeling - bestaande uit technische levensduur, leeftijdsonafhankelijk vervangen en initiatieven derden - is opgebouwd. De grijze velden zijn invoerwaarden.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Samengestelde levensduurverdeling						
2	t1	80					
3	t2	100					
4	t3	150					
5	Opp-d	1					
6	top	0,0285714					
7	heden	18	jaar				
8	derden	0,3%	per jaar	opp	29,25%		
9	Leeftijdson	0,1%	% per jaar	opp	9,75%		
10	som	1,39		rest opp	0,61		
11							
12		Vervangen op basis van					
13	Jaar	Technische levensduur	Leeftijdsonafhankelijk	Initiatief derden	Samengestelde verdeling		Vervanging skromme
14	0	0	0	0	0		0
15	1	0	0	0	0		0
16	2	0	0	0	0		0
17	3	0	0	0	0		0
18	4	0	0	0	0		0
19	5	0	0	0	0		0
20	6	0	0	0	0		0
21	7	0	0	0	0		0
22	8	0	0	0	0		0
23	9	0	0	0	0		0
24	10	0	0	0	0		0
25	11	0	0	0	0		0
26	12	0	0	0	0		0
27	13	0	0	0	0		0
28	14	0	0	0	0		0
29	15	0	0	0	0		0
30	16	0	0	0	0		0
31	17	0	0	0	0		0
32	18	0	0,001	0,003	0,004		0,004
33	19	0	0,001	0,003	0,004		0,008
34	20	0	0,001	0,003	0,004		0,012

Ref	Ingevoerde formule in Excel
A	=B5*2/(+B4-B2)
B	=SUM(B14:D214)
C	=SUM(D14:D214)
D	=SUM(C14:C214)
E	=1-E8-E9
F	=+IF(OR(A14<=\$B\$2;A14>=\$B\$4);0;IF(A14<=\$B\$3;(\$B\$6*(A14-\$B\$2)/(\$B\$3-\$B\$2));(\$B\$6*(B\$4-A14)/(\$B\$4-\$B\$3)))
G	=+IF(OR(A14<\$B\$7;A14>\$B\$4);0;IF(A14<\$B\$2;\$B\$9;\$B\$9*(B\$4-A14)/(+B\$4-\$B\$2)))
H	=+IF(OR(A14<\$B\$7;A14>\$B\$4);0;IF(A14<\$B\$2;\$B\$8;\$B\$8*(B\$4-A14)/(+B\$4-\$B\$2)))
I	=+B14*\$E\$10+C14+D14
J	=+G14+E15

De formules F t/m J gelden voor rij 14 t/m 214.

III Ervaringen van waterbedrijven met groepen leidingen

1. Welke ervaringsregels past u toe voor het vervangen van leidingen	
Brabant Water	<p>We bevinden ons in de eerste fase hiervan. Het vertrekpunt is het vervangen van individuele leidingen op basis van risicokosteneffectiviteit. Bijzondere overwegingen kunnen dit beïnvloeden bijvoorbeeld een grootscheepse wijkrenovatie. Onze gegevens zijn momenteel onvoldoende om groepen te identificeren op basis van risicokosteneffectiviteit.</p> <p>Echter willen we wel een strategische planning kunnen opstellen van investeringen en capaciteit (personeel en aannemers). Hiervoor hebben we een levensduurverwachting van 90 jaar aangenomen, zodat gekoppeld aan het aanlegjaar een saneringshoeveelheid is te bepalen per toekomstig jaar. Dit wil niet zeggen dat we deze groepen per aanlegjaar gaan vervangen. We willen prioriteren op risicokosteneffectiviteit van de individuele leiding of leidingen in een gedefinieerd gebied.</p>
Evides	<p>Beslismodellen. Vooral Ac wordt vaker en sneller vervangen maar dat volgt uit het beslismodel. Specifieke aandacht is er voor PVC 315 met aanlegjaar 1975 van bepaald fabricaat. Deze worden, daar waar de leidingen op risicovolle plaatsen liggen, versneld vervangen. Verder is er aandacht voor oude stalen leidingen zonder KB en specifieke AC leidingen die onbetrouwbare rubberen ringen hebben.</p>
Pidpa	<ul style="list-style-type: none"> - Gietijzeren leidingen met 'veel' loden aftakkingen worden gesaneerd voor 23-12-2013 - Bij activiteiten door derden wordt meegegaan als de conditiebepaling een restlevensduur < 15 jaar voorspelt (gij en ac) - Bij activiteiten door derden wordt staal systematisch vervangen (tenzij er echt weinig lekmeldingen zijn) - Bij meerdere lekken (geen benoemd getal) wordt een vak vervangen. Deze insteek komt vanuit onze dienst 'onderhoud'.
WMD	<p>Voorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Van het materiaal AC willen we van af nu tot het jaar 2020 totaal 400 km vervangen hebben ▪ Bij activiteiten van derden nabij materiaal AC, zullen we in ieder geval meegaan ▪ Van materiaal AC willen we voor 2030 50% vervangen hebben <p>Elke AC leiding in 2010 met een met een restlevensduur (KSLB) van minder dan 0 jaar wordt binnen 10 jaar vervangen</p>
Vitens (Overijssel)	<p>De ervaringsregels komen o.a. tot uiting in bijgaande rapport storinganalyse 2009 met bijlage.</p> <p>Er is verder een 'Aandachtslijst' met storende leidingdelen of vanuit oogpunt van beheer ongewenste situaties. deze aandachtslijst dient als input voor saneringen. Deze informatie is gebaseerd op de leidinganalyses en de continue input vanuit het veld. Dit overzicht is ook te raadplegen door de afdeling Infra Projecten. Deze afdeling heeft contacten met derden zoals gemeenten en provincies betreffende reconstructies etc.</p> <p>Een leidingsegment die in aanmerking komt voor sanering kan door werkzaamheden derden naar voren worden gehaald.</p> <p>Er is geen Vitens breed beleid waarbij een soort leidingmateriaal voor een bepaalde datum vervangen moet worden.</p> <p>Breukfrequentie en leeftijd zijn parameters voor het invullen van de Kiwa tool levensduur bepaling leidingen. geldt alleen voor GIJ en AC.</p>

2. Heeft uw bedrijf al een voorstel voor een groeppenindeling en eventueel bijbehorende levensduurverdeling?	
Brabant Water	Nee, de technische en maatschappelijke levensduurverwachting kunnen we met onze data niet inschatten. We proberen wel een poging hiertoe op basis van materiaal, diameter, jaar van aanleg, historische SI, kalkagressiviteit bodem en storingsfrequentie.
Evides	Nee.
Pidpa	<ul style="list-style-type: none"> - Zeker per materiaal. - Misschien is een verdere opdeling naar subtype wenselijk <ul style="list-style-type: none"> o acNBN, acBS, o gij in staande vorm, gij centrifugaal gegoten (hier kan een productiejaar misschien een indicatie geven) o PE80, PE100 (al hebben we nog geen ervaring met verschillend gedrag) o PVC(-1980) PVC(+1980) (al hebben we heel weinig PVC(-1980) en dus geen ervaring met een verschillend gedrag) - Een bijhorende levensduurverwachting is nog niet aan te geven. We doen nog een (beperkte) analyse van onze storingsgegevens om na te gaan of hier iets uit af te leiden is.
WMD	AC < 150 mm 80 jaar AC > 150 mm 100 jaar PVC < 1974 80 jaar PVC > 1974 100 jaar
Vitens (Overijssel)	Er is nog geen groeppenindeling waarbij op leeftijd leidingsegmenten vervangen wordt anders dan de rest levensduur voorspelling met de Kiwa tool

3. Voor welke toepassingen kunt u levensduurverdelingen toepassen bij uw bedrijf?	
Brabant Water	Grootschalig vervangingsbeleid, strategische capaciteit (personeel en aannemer) en investeringbepalingen.
Evides	Langetermijn (10/20 jaar) investeringsplannen
Pidpa	<ul style="list-style-type: none"> - Saneringsbeslissingen - Budgettering
WMD	Hoofdleidingen distributie
Vitens (Overijssel)	Als ik mij enkel richt op leidingmateriaal, dan zou het toepassen van levensduurverdeling op de AC buis en dan met name de 100mm goed mogelijk zijn

IV Analyse storingsen USTORE

Onderstaande analyse van de storingsen is aan de waterbedrijven toegestuurd als voorbereiding op de workshop. De hier gepresenteerde groepenindeling is met enkele wijzigingen gebruikt in de workshop van 11 oktober 2010.

Storingsen zijn een afgeleide maat voor de conditie van leidingen. Door een analyse te maken van de storingsen, is het mogelijk groepen te bepalen met een overeenkomstig storingsgedrag. Vervolgens wordt aangenomen dat deze groepen ook een overeenkomstige conditie en levensduur hebben. Groepen kunnen vervolgens worden samengevoegd om een relevant saneringsvolume te krijgen of verder gesplitst om specifieke factoren mee te nemen (bijv bodemsamenstelling).

In het project USTORE zijn storingsen bijeengebracht van de waterbedrijven Dunea, PWN, WML, WMD en WbGr. Waternet en Brabant Water doen ook mee aan U-STORE maar hebben tot op heden (d.d. sept 2010) nog geen data aangeleverd. De periode van registratie bedraagt kwartaal 1 - 2009 t/m kwartaal 2 - 2010, hoewel niet van alle bedrijven storingsen van de hele periode zijn ontvangen, zie Tabel 13.

Tabel 13. Overzicht aangeleverde storingsdata.

	09Q1	09Q2	09Q3	09Q4	10Q1	10Q2
Dunea	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PWN	✓	✓	✓	✓	✓	✗
WML	✓	✓	✓	✓	✗	✗
WMD	✓	✓	✓	✓	✓	✓
WbGr	✗	✓	✓	✓	✗	✗
Waternet	✗	✗	✗	✗	✗	✗
BraWa	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Er is beschikking over twee verschillende databestanden, waarvan er een informatie bevat over de diameters van de leidingen en de andere over het jaar van aanleg. Het bestand dat de diameter bevat heeft een omvang van 32.071 km. De storingsen zijn geanalyseerd van de materialen PVC, PE, AC, NGIJ en GGII. De totale lengte hiervan bedraagt 30.394 km (95%). Het bestand met leidingen en aanlegjaren heeft een omvang van 23.734 km. Dit betreft alleen leidingen met een bekend aanlegjaar.

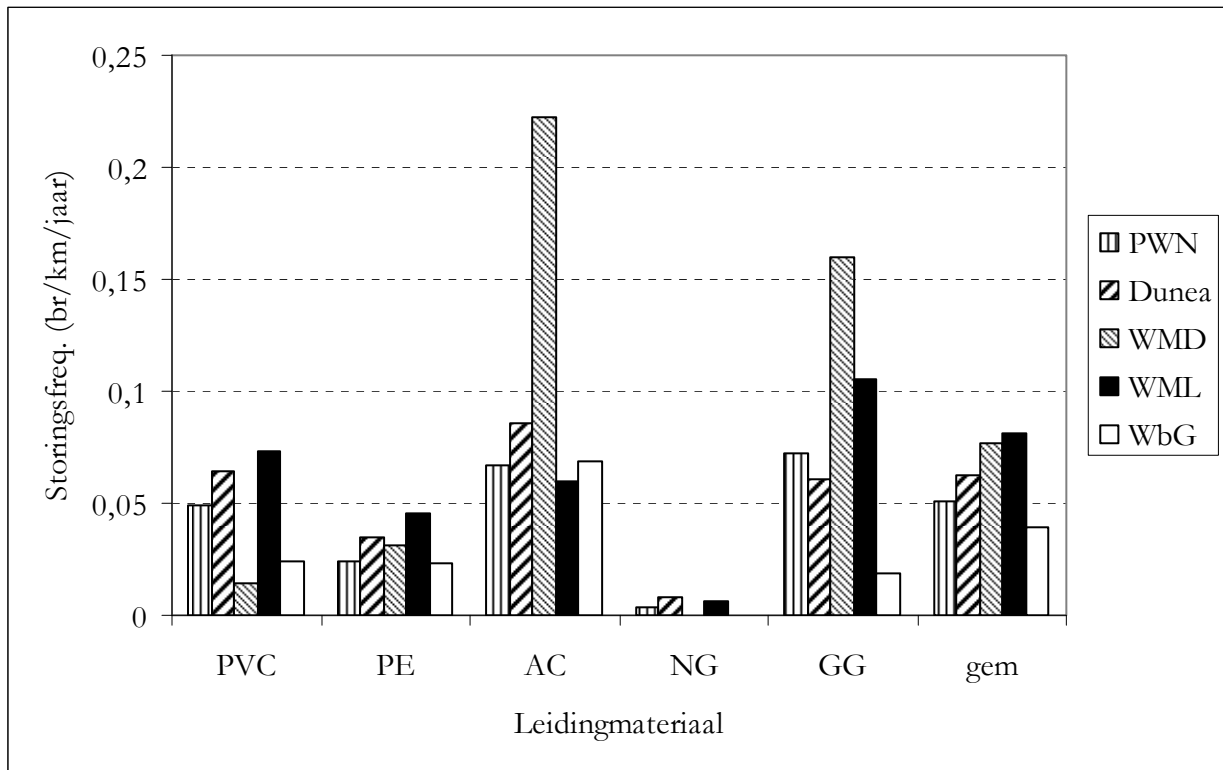
In totaal zijn 2451 storingsen geregistreerd. Hiervan waren 435 storingsen (18%) veroorzaakt door derden, dwz dat 2016 storingsen worden gekenschetst als spontane storingsen. Van alle storingsen is de diameter van de leiding bekend. De leidingmaterialen PVC, PE, AC, NGIJ en GGII bevatten in totaal 1720 storingsen, waarvan van 1419 storingsen (83%) het aanlegjaar van de leiding bekend is.

In combinatie met de leidinglengte per bedrijf en de duur van de registratieperiode is de gemiddelde storingsfrequentie per waterbedrijf bepaald, zie Tabel 14. De leidinglengtes zijn afkomstig van een overzicht dat in 2008 aan KWR is vertrekt. Opvallend is de lage storingsfrequentie bij WbGr.

Tabel 14. Aantal geregistreeerde storingsen en storingsfrequentie per waterbedrijf (incl, storingsen door derden).

	Geregistreeerd aantal storingsen	Lengte leidingnet (km)	Registratieperiode (jaar)	Gem. storingsfreq. (st/km/jr)
PWN	629	9925	1,25	0,051
DUNEA	405	4358	1,50	0,062
WbGr	183	4659	1,00	0,039
WMD	560	4876	1,50	0,077
WML	674	8253	1,00	0,082
Som	2451	32071		0,061

Voor de leidingmaterialen PVC, PE, AC, NG en GGIJ zijn storingsfrequenties (incl storings door derden) bepaald, zie Figuur 19. Deze leidingmaterialen hebben een aandeel van 2144 storings (88% van 2451). De resterende storings beslaan voornamelijk stalen leidingen die vrijwel alleen bij WML in gebruik zijn. In deze figuur is bij WMD de hoge storingsfrequentie van AC en GGIJ en de lage storingsfrequentie van PVC opvallend. Het is waarschijnlijk dat de verhoogde storingsfrequentie is terug te voeren op de veengronden in Drenthe. Bij WML valt de hogere waarde op van de storingsfrequentie bij GG op.



Figuur 19. Overzicht storingsfrequentie per waterbedrijf (incl storings door derden.)

Hieronder zijn voor de verschillende leidingmaterialen de storingsfrequenties bepaald per diameterrange en per leeftijdsgroep (10 jaar). Door storings veroorzaakt door derden niet mee te nemen, hebben de storingsfrequenties alleen betrekking op oorzaken die direct aan de leiding zijn toe te wijzen, de zogenaamde spontane storings.

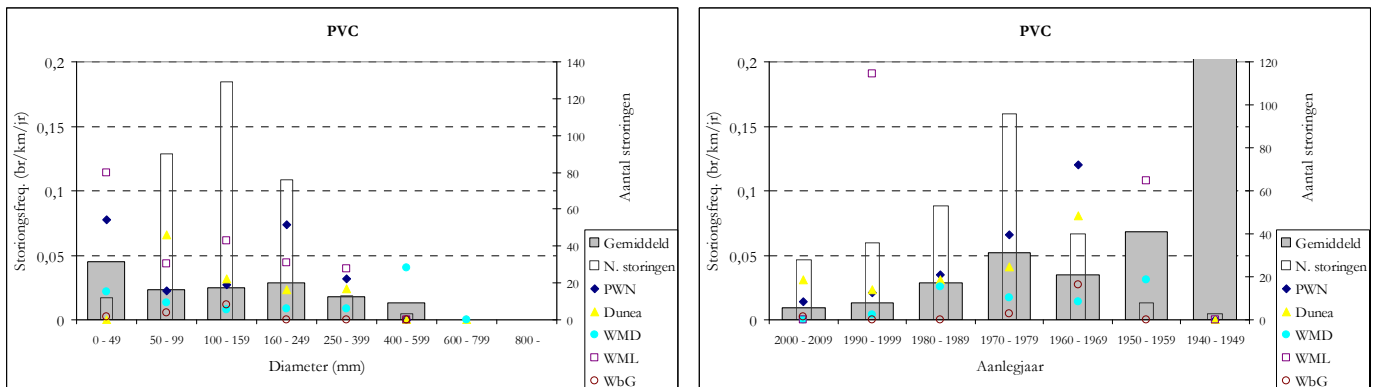
De bepaling van de storingsfrequentie per leeftijdsgroep wordt bemoeilijkt omdat niet van alle leidingen en storings het aanlegjaar bekend is. Om toch tot een resultaat te komen zijn alle leidingen en storings met onbekend aanlegjaar omgeslagen over de leidingen en storings met bekend aanlegjaar. Deze benadering geeft minder nauwkeurige berekening van oudere leidingen waarvan het aanlegjaar onbekend is, met name oudere leidingen van AC en GIJ.

PVC

De totale lengte van de PVC leidingen bedraagt 10.442 km, van 91% van deze leidingen is het aanlegjaar bekend. Het aantal geregistreerde spontane storingen in PVC leidingen bedraagt 323, waarvan van 82% het aanlegjaar bekend is.

In Figuur 20 zijn de storingsfrequentie weergegeven per diametergroep en per aanlegdecade. Op de tweede y-as is per groep het aantal storingen weergegeven. Hiermee kunnen groepen onderscheiden worden met een beperkt aantal storingen, deze hebben namelijk een grotere kans op een afwijkende waarde.

Opvallend is het hoge aantal storingen bij WML in de periode '90-'99, wat is te wijten aan 4 storingen op een leidingsegment van 9 km. Het aantal storingen in de periode '40-'49 kan buiten beschouwing worden gelaten, aangezien dit veroorzaakt wordt door 3 storingen bij WMD in een klein leidingsegment.



Figuur 20. Storingfrequentie van PVC, uitgesplitst naar diametergroep (links) en aanlegdecade (rechts).

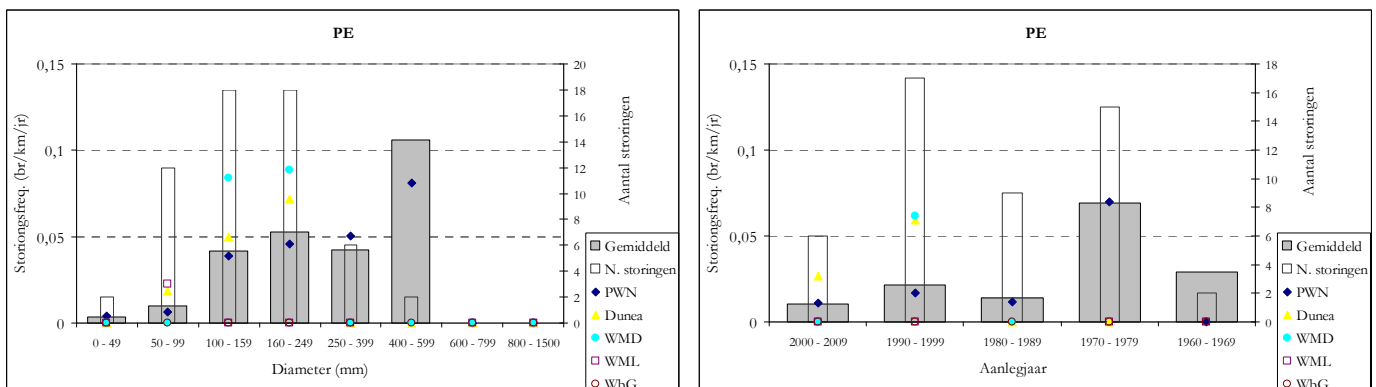
Op basis van de storingsfrequentie wordt de volgende groeplenindeling voorgesteld:

- diameter: voor alle ranges geldt een lage frequentie, dus geen onderscheid
- aanlegdecade: leidingen voor 1980 hebben een verhoogde storingsfrequentie

PE

De totale lengte van de PE leidingen bedraagt 2.184 km, van 86% van deze leidingen is het aanlegjaar bekend. Het hoge aandeel PE leidingen wordt voornamelijk veroorzaakt door het hoge aandeel PE bij PWN. Het aantal geregistreerde spontane storingen in PE leidingen bedraagt 58, waarvan van 84% het aanlegjaar bekend is. In Figuur 21 zijn de storingsfrequentie weergegeven per diametergroep en per aanlegdecade.

Opvallend is de hoge storingsfrequentie voor leidingen tussen 400 en 599 mm. Dit betreft echter een beperkte leidinglengte. De leidingen in de periode '70-'79 hebben een verhoogde frequentie, die van '60-'69 is weer wat lager, deze laatste groep in aanmerkelijk kleiner.



Figuur 21. Storingfrequentie van PE, uitgesplitst naar diametergroep (links) en aanlegdecade (rechts).

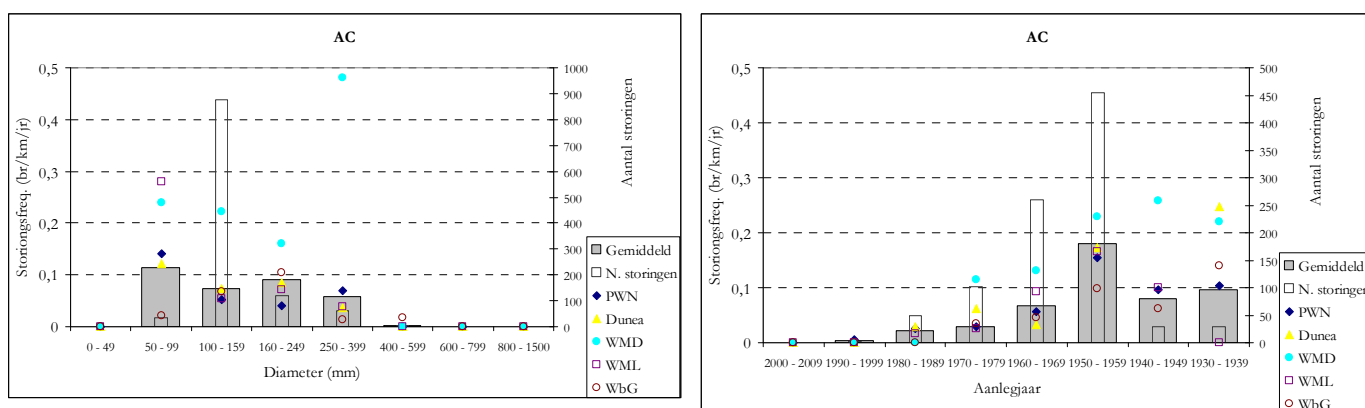
Op basis van de storingsfrequentie wordt de volgende groeppenindeling voorgesteld:

- diameter: leidingen kleiner dan 100 mm hebben een verlaagde storingsfrequentie
- aanlegdecade: leidingen voor 1980 hebben een verhoogde storingsfrequentie

AC

De totale lengte van de AC leidingen bedraagt 12.420 km, van 71% van deze leidingen is het aanlegjaar bekend. Het hoge aandeel AC leidingen wordt voornamelijk veroorzaakt door het hoge aandeel AC bij WML en PWN. Het aantal geregistreerde spontane storings in AC leidingen bedraagt 1098, waarvan van 85% het aanlegjaar bekend is. In Figuur 22 zijn de storingsfrequentie weergegeven per diametergroep en per aanlegdecade.

Opvallend is dat WMD hier hoge waarden heeft, met name voor AC leidingen tussen 250 en 399 mm. Voor alle bedrijven geldt dat grote AC leidingen een zeer lage storingsfrequentie hebben. Leidingen in de periode '50-'59 hebben een opvallend hoge frequentie. Leidingen in de periode '60-'69 hebben een verhoogde waarde. Het is waarschijnlijk dat de problematiek omtrent natuurrubberringen (toegepast tot ca 1963) en een mindere materiaalkwaliteit deze laatste decade deels beïnvloedt en dat hier een andere klasse-indeling tot een meer uitgesproken resultaat zal leiden.



Figuur 22. Storingsfrequentie van AC, uitgesplitst naar diametergroep (links) en aanlegdecade (rechts).

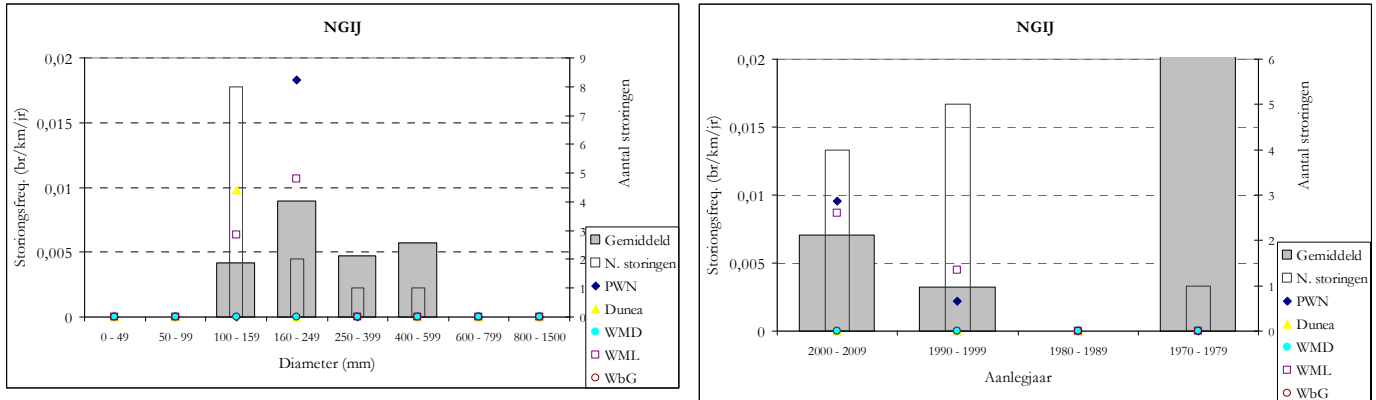
Op basis van de storingsfrequentie wordt de volgende groeppenindeling voorgesteld:

- diameter: leidingen groter dan 400 mm hebben een verhoogde storingsfrequentie
- aanlegdecade: leidingen in de periode '50-'59 hebben een verhoogde storingsfrequentie

NGIJ

De totale lengte van de NGIJ leidingen bedraagt 2.1690 km, van 60% van deze leidingen is het aanlegjaar bekend. Het aantal geregistreerde spontane storings in NGIJ leidingen bedraagt 12, waarvan van 83% het aanlegjaar bekend is. In Figuur 23 zijn de storingsfrequentie weergegeven per diametergroep en per aanlegdecade.

Deze groep is beslaat een beperkt aantal storings (12) en een zeer lage storingsfrequentie. Overigens zijn er twijfels of het onderscheid tussen NGIJ en GGIJ in de aangeleverde databases in alle gevallen goed is te onderscheiden.



Figuur 23. Storingfrequentie van NGIJ, uitgesplitst naar diametergroep (links) en aanlegdecade (rechts).

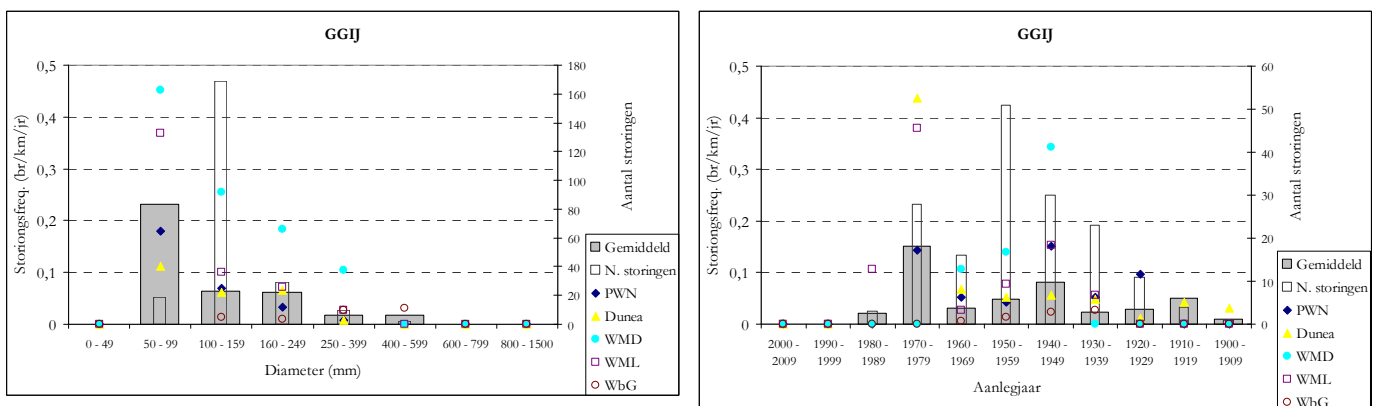
Op basis van de storingfrequentie wordt de volgende groeplenindeling voorgesteld:

- diameter: voor alle ranges geldt een lage frequentie, dus geen onderscheid
- aanlegdecade: voor alle ranges geldt een lage frequentie, dus geen onderscheid

GGIJ

De totale lengte van de GGIIJ leidingen bedraagt 3.1678 km, van 71% van deze leidingen is het aanlegjaar bekend. Het aantal geregistreerde spontane storingen in GGIIJ leidingen bedraagt 229, waarvan van 73% het aanlegjaar bekend is. In Figuur 24 zijn de storingfrequentie weergegeven per diametergroep en per aanlegdecade.

Opvallend is de hoge storingfrequentie voor leidingen in de klasse 50-99 mm. Hieronder vallen de 80 mm leidingen die bekend staan als leidingen met een minder dan gemiddelde conditie. Daarnaast valt op dat de leidingen in de zeventiger jaren een hoge storingfrequentie hebben.



Figuur 24. Storingfrequentie van GGIIJ, uitgesplitst naar diametergroep (links) en aanlegdecade (rechts).

Op basis van de storingfrequentie wordt de volgende groeplenindeling voorgesteld:

- diameter: leidingen kleiner dan 100 mm hebben een verhoogde storingfrequentie, leidingen groter dan 250 mm een verlaagde
- aanlegdecade: leidingen uit de jaren 70 hebben een verhoogde storingfrequentie.

