

BTO 2021.042 | Januari 2022

Transitie streefstructuren II:

**Inzicht in
risicogedreven en
hydraulische
grondslagen**

Rapport

Transitie streefstructuren II: inzicht in risicogedreven en hydraulische grondslagen

BTO 2021.042 | Januari 2022

Opdrachtnummer

402045/089

Projectmanager

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

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Distributie

Auteur(s)

I. (Ina) Vertommen MSc., dr. J. R. G. (Joost) van Summeren, dr. ir. K. A. (Karel) van Laarhoven, B. (Bernard) Raterman MSc.

Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

streefstructuren, asset management, numerieke optimalisatie, Gondwana

Jaar van publicatie
2021

Meer informatie
MSc Ina Vertommen
T 030-6069739
E ina.vertommen@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

KWR

September 2021 ©

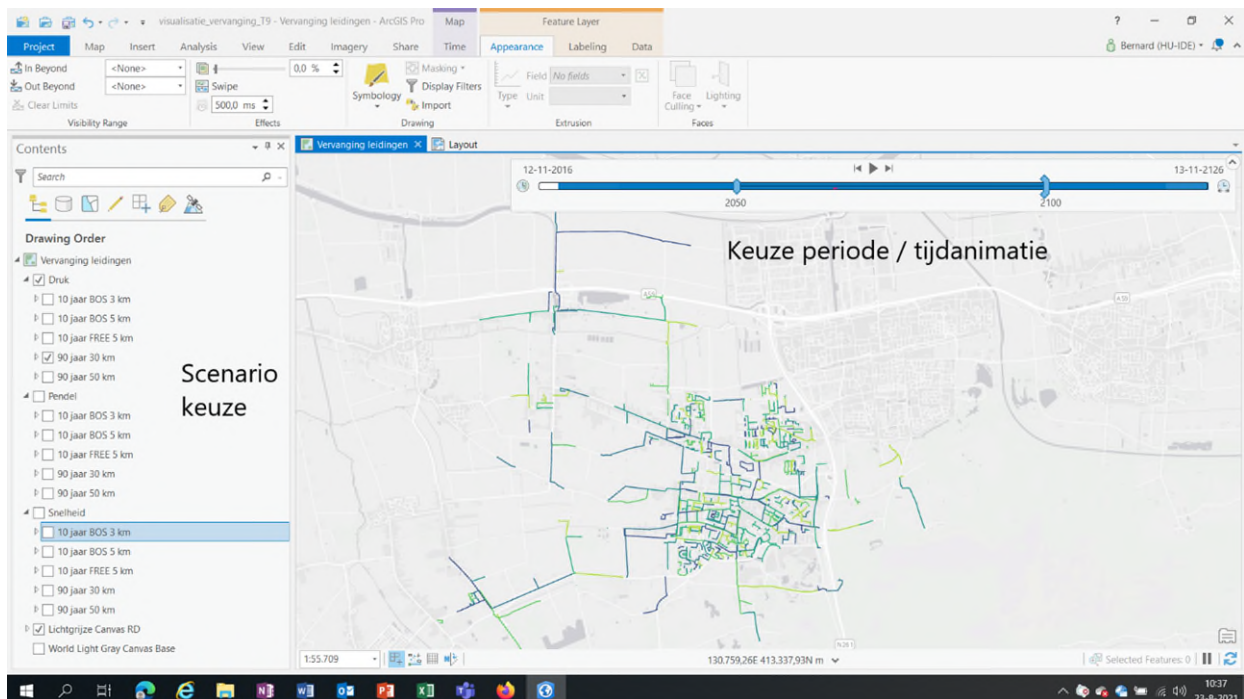
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

Managementsamenvatting

Meewegen van hydraulische prestaties naast risicoaspecten helpt in maken van keuzes richting streefstructuur

Auteur(s) Ina Vertommen MSc., dr. ir. Karel van Laarhoven, dr. Joost van Summeren, Bernard Raterman MSc.

De hydraulische prestatie van een leidingnetwerk is een waardevol aspect om mee te wegen in aanvulling op de beslissingsondersteuningssystemen (BOS) waar waterbedrijven momenteel mee werken. Deze benadering helpt assetmanagers onderbouwde keuzes te maken wat betreft de gewenste (combinatie van) transitie in een bestaand leidingnetwerk richting een streefstructuur. Dit blijkt uit een studie waarin voor het leidingnetwerk van Kaatsheuvel (Brabant Water) 15 alternatieve transitie zijn bepaald met numerieke optimalisatietechnieken. Rekening is gehouden met verschillende prestatie-indicatoren, tijdshorizonten en het wel of niet in aanmerking nemen van de BOS-prioritering. De alternatieve geoptimaliseerde transitie zijn uitgewerkt als verschillende lagen in een GIS kaart. Zo kan de assetmanager bij een drinkwaterbedrijf de verschillende opties visualiseren en met elkaar vergelijken. Uit de resultaten blijkt bijvoorbeeld ten opzichte van de BOS-prioritering op korte termijn een verbetering van 12-68% mogelijk in levering van de gewenste druk. Op lange termijn is een verbetering tot 34% op het aantal pendelzones haalbaar. Met deze studie wordt een perspectief geboden om de huidige BOS aan te vullen met numerieke optimalisatietechnieken, wat een stap is in de goede richting om dit complexe probleem van de transitie richting een streefstructuur het hoofd te bieden.



Visualisatie resultaten in ArcGIS Pro. De gebruiker kiest door middel van verschillende lagen welke alternatieve transitie worden weergegeven, bijvoorbeeld met een focus op drukeisen, aantal pendelzones of gemiddelde stroomsnelheid in leidingen. De kleuren van de leidingsegmenten geven het vervangingsjaar weer. Met een animatie kunnen de te vervangen leidingen ook in de tijd worden afgespeeld. Deze resultaten vullen het BOS aan.

Belang: rekening houden met hydraulisch aspecten bij de transitie naar een streefstructuur

Drinkwaterbedrijven zijn actief bezig met het ontwerpen van streefstructuren en de geleidelijke vervanging van hun leidingnetten. Daarbij zullen zij – verspreid over één of meerdere decennia – de oude leidingen grootschalig vervangen door een zo optimaal mogelijk netontwerp. Met het ontwerpen van zulke streefstructuren zijn veel waterbedrijven gestart, maar de realisatie hiervan gebeurt stapsgewijs en neemt jaren in beslag. Deze stappen kunnen op basis van risicoaspecten binnen de huidige BOS door drinkwaterbedrijven worden geprioriteerd. Dit onderzoek stelt vast dat het in die prioritering van belang is om ook de hydraulische prestatie van het netwerk meet te wegen.

Aanpak: geen ‘black box’ maar inzicht in verschillende criteria bij de transitie

Samen met assetmanagement-experts van de BTO-bedrijven zijn een inventarisatie en selectie gemaakt van relevante aspecten bij de transitie naar een streefstructuur. Daarbij is ook gelet op de grootste meerwaarde van deze aspecten ten opzichte van de bestaande BOS-analyse. Gekozen is voor levering onder gewenste druk, aantal pendelzones en gemiddelde snelheid in leidingen. Deze aspecten zijn vertaald naar doelfuncties in verschillende optimalisatieproblemen voor de transitie naar een streefstructuur. De beslisvariabele in deze problemen is het moment waarin elke leiding in het gebied moet worden gesaneerd. Aspecten zoals de tijdshorizon, de maximale te saneren leidinglengte en het wel of niet in aanmerking nemen van de BOS-prioritering, vormen de randvoorwaarden van deze optimalisatieproblemen. In dit project zijn in totaal 15 alternatieve transitie bepaald voor het leidingnetwerk dat Kaatsheuvel van drinkwater voorziet (Brabant Water). Vervolgens zijn deze met behulp van numerieke optimalisatietechnieken in het platform Gondwana doorgerekend. Handmatig zou deze exercitie niet haalbaar zijn. De resultaten van de alternatieve transitie zijn met elkaar vergeleken en uitgewerkt in ArcGIS Pro, zodanig dat assetmanagers deze als verschillende lagen in de kaart kunnen gebruiken.

Resultaten: optimalisatie van alternatieve transitie met verschillende hydraulische aspecten

Uit de resultaten blijkt dat de grootste verbetering valt te halen bij ‘levering onder gewenste druk’. Vergeleken met BOS-prioritering presteren alle geoptimaliseerde transitie beter op deze indicator. Op korte termijn is een verbetering mogelijk van 12-68%, afhankelijk van de leidinglengte die per jaar kan worden gesaneerd en het wel of niet in aanmerking nemen van BOS-prioritering. Op lange termijn zijn ten opzichte van deze prioritering verbeteringen tot 72% mogelijk. Het minimaliseren van het aantal pendelzones leidt in dit geval tot een verbetering tot 34%. Een verbetering op één van de indicatoren gaat vaak (maar niet altijd) gepaard met een verslechtering op de anderen indicatoren. Naast de meer kwantitatieve resultaten en conclusies, wordt ook opgemerkt dat deze benadering een positief effect heeft op de samenwerking tussen leidingnetmodelleurs en assetmanagers. Het in aanmerking nemen van hydraulische aspecten in de transitie naar een streefstructuur vergt een grotere samenwerking tussen deze afdelingen dan wanneer slechts risicogedreven aspecten in aanmerking worden genomen.

Toepassing: numerieke optimalisatietechnieken kunnen beslissingsondersteuningssystemen aanvullen

Dit onderzoek illustreert de mogelijkheid om bij de transitie naar een streefstructuur hydraulische aspecten met Gondwana te formuleren als (een van meerdere) doelfuncties. Dit biedt het perspectief om de huidige BOS waarmee waterbedrijven werken aan te vullen met dit optimalisatieplatform. De uitgewerkte methodiek kan in samenwerking tussen KWR-onderzoekers, assetmanagers en hydraulische modelleurs bij drinkwaterbedrijven in praktijk worden gebracht.

Het Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Transitie streefstructuren II: inzicht in risicogedreven en hydraulische aspecten* (BTO-2021.042). Voor dit onderwerp is ook de volgende publicaties relevant:

- BTO 2017-081 Optimaal ontwerp en transitie streefstructuren.

Inhoud

Rapport	2
<i>Managementsamenvatting</i>	3
Inhoud	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding en doel	7
1.2 Aanpak en leeswijzer	8
1.3 Begeleidingsgroep	8
2 Transitie naar streefstructuren	9
2.1 Rehabilitatie en optimale transitie van leidingnetten	9
2.2 Multicriteria beslisanalyse	10
2.3 Beslissingsondersteuningssystemen bij drinkwaterbedrijven	11
2.4 Benodigde aanvulling op de huidige BOS-analyses	12
2.4.1 Inventarisatie	12
2.4.2 Selectie	14
2.5 Toepassing van numerieke optimalisatietechnieken	15
3 Methodiek	16
4 Casestudy en resultaten	18
4.1 Kaatsheuvel	18
4.1.1 Leidingnetmodellen	18
4.1.2 BOS-prioritering	19
4.2 Resultaten	21
4.2.1 Eerste 10 jaar	22
4.2.2 Volledige tijdshorizon van 90 jaar	26
4.3 Discussie	30
5 Conclusies	31
5.1 Conclusie	31
5.2 Aanbevelingen	32
5.3 Implementatie	33
Referenties	34
I Door Nederlandse waterbedrijven toegepaste beslissingsondersteuningssystemen	36
II Enquêtevragen	39
III Reacties op enquête	42

IV	Samenvatting van de reacties en discussie van de enquête	53
V	Resultaten: absolute prestatie op de indicatoren voor de verschillende transitie	58

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Drinkwaterbedrijven zijn actief bezig met het ontwerpen van streefstructuren en de geleidelijke vervanging van hun leidingnetten. Dat betekent dat buizen niet één op één worden vervangen door een nieuw exemplaar met dezelfde kenmerken, maar gestreefd wordt naar een optimaal netontwerp na grootschalige vervanging van oude leidingen, verspreid over een periode van één of meerdere decennia. Veel waterbedrijven zijn gestart met het ontwerpen van streefstructuren en ook in het onderzoek zijn belangrijke inzichten verkregen (Vogelaar en Blokker, 2011, Agudelo-Vera en Blokker, 2016, Vertommen, et al., 2017). Het ideale eindplaatje wordt dus ontworpen, maar het realiseren van het ontwerp zal jaren duren en gebeurt in stappen. De volgorde van die stappen is wat we hier aanduiden als (het ontwerp van) de transitie.

Het ontwerpen van streefstructuren wordt nog veelal “lineair” gedaan, d.w.z. op basis van vuistregels en enkele hydraulische berekeningen wordt één ontwerp gemaakt dat voldoet aan de randvoorwaarden. In het onderzoek van de jaren is de meerwaarde van het gebruik van optimalisatietechnieken (Gondwana) aangetoond. De prestatie van het ontwerp door Gondwana is beter (voldoet beter aan de randvoorwaarden voor wat betreft druk en leveringszekerheid) en goedkoper dan handmatige ontwerpen. In de afgelopen jaren is ervaring opgedaan met verscheidene doelfuncties en randvoorwaarden en scenario’s die meegenomen kunnen worden in het ontwerp. Daarnaast is ervaring opgedaan hoe in de implementatie van Gondwana samen met het drinkwaterbedrijf de benodigde invoer (leidingnetmodel, scenario’s, doelfuncties, randvoorwaarden, schakelschema’s etc.) zo goed en efficiënt mogelijk kunnen worden bepaald. Openstaande vragen zijn o.a. welke prestatie-indicatoren belangrijk zijn om mee te nemen (euro’s (zowel CAPEX voor aanleg, als OPEX, voor bv. spuien), waterkwaliteit (verblijftijd, stroomsnelheid), leveringszekerheid, onzekere drinkwatervraag, etc.), en hoe iedere leiding een soort risicoscore zou kunnen krijgen, op basis van allerlei verschillende prestatie-indicatoren (zoals OLM, BEEL, en waterkwaliteit). In de huidige handmatige aanpak is het niet eenvoudig om de ideale transitie van de huidige netstructuur naar de streefstructuur te bepalen. Meestal gebruiken waterbedrijven softwarepakketten voor de ondersteuning van saneringsbeslissingen van leidingen en/of risicomatrices voor prioritering van vervangingsprojecten (Agudelo-Vera, et al., 2016). Het huidig gebruik van beslissingsondersteuningssystemen (BOS) voor saneringsbeslissingen houdt rekening met storingen, leeftijd van leidingen, effecten veroorzaakt door het falen van leidingen, risicovolle objecten, bijzondere klanten en andere bedrijfsspecifieke voorkeuren. Daarnaast wordt er o.a. gekeken naar het beschikbare budget en plannen van derden. Deze aspecten samen leiden tot de assetmanagement-prioritering. In deze benaderingen, waarbij dus stap voor stap onderdelen van de beoogde structuur tot stand komen, kunnen tijdens het proces weleens problemen optreden wanneer geen rekening wordt gehouden met de prestatie van het leidingnet (bijvoorbeeld voor wat betreft druk of leveringscontinuïteit). Drinkwaterbedrijven hebben aangegeven toegevoegde waarde te zien in een “ontwerp” van de transitie op basis van de hydraulische prestatie van het leidingnet. De prestatie van het leidingnet kan o.a. worden bepaald door leveringszekerheid (minimale druk tijdens normale en verstoorde levering), door leveringscontinuïteit (bijv. uitgedrukt in OLM) die kan worden verbeterd door de slechtste leidingen te vervangen, en door waterkwaliteit. Idealiter wordt de prestatie van het leidingnet zo snel mogelijk verbeterd, en komt niet beneden een bepaald niveau tijdens de transitie.

Het ontwerp van de beste transitie is handmatig lastig te bepalen en hierin kunnen optimalisatie en automatisering van toegevoegde waarde zijn. Het helpt drinkwaterbedrijven als bv. Gondwana naast de prioritering van vervangingsprojecten door o.a. het BOS, aangeeft in welke volgorde hydraulische knelpunten uit de streefstructuur, tijdens de transitiestappen, extra moeten worden meegenomen om aan de randvoorwaarden te voldoen. Zo kan Gondwana met de doorkijk van een jaarlijks vervangingsprogramma aandachtspunten meegeven om de transitie naar de streefstructuur vlekkeloos te laten verlopen. Een andere optie zou zijn om de vervangingsprioritering vanuit

het BOS in Gondwana op te nemen en Gondwana daarin wat te laten schuiven zodat een hydraulische beste volgorde ontstaat van het vervangingsprogramma.

In 2017 is in het BTO uitgebreid onderzoek gedaan naar hoe numerieke optimalisatietechnieken de helpende hand kunnen bieden in het ontwerp van streefstructuren en zijn de eerste stappen gezet in de daaropvolgende transitie van de bestaande structuren naar de geoptimaliseerde streefstructuren (Vertommen, et al., 2017). In het BTO-project van 2017 (transitie streefstructuren fase I) is gekozen om de nadruk van het onderzoek te leggen op het ontwerp van streefstructuren en is daarom beperkter onderzoek gedaan naar de transitie daarnaartoe. Met betrekking tot de transitie geven de verkregen resultaten een eerste inzicht in hoe een optimale transitie eruit ziet wanneer ofwel de reductie van de storingen ofwel de hydraulische prestaties leidend zijn in het proces. Daarnaast is geconstateerd dat er behoefte is aan vervolgonderzoek, namelijk aan het volgende:

- 1 Het verder uitwerken van de te optimaliseren transitie op basis van de hydraulische prestatie van het leidingnet door onderzoek te doen naar de meest geschikte doelfuncties (om de hydraulische prestatie het beste uit te drukken) en ook leveringscontinuïteit- en leveringszekerheidsaspecten in aanmerking te nemen.
- 2 Wanneer de reductie van het aantal storingen in aanmerking wordt genomen om de transitie van de huidige structuren naar streefstructuren te optimaliseren, is het van belang om de leeftijd van leidingen en storingsvoorspelling (Van Vossen en van Laarhoven, 2017, Agudelo-Vera en Blokker, 2018) in aanmerking te nemen, naast het materiaal en diameterklasse.
- 3 Onderzoek te doen naar hoe de benadering voor het optimaliseren van de transitie aansluit en/of aanvullend is op de informatie uit de beslissingsondersteuningssystemen die drinkwaterbedrijven op dit moment inzetten voor het bepalen van de vervangingsplannen.

In dit project is onderzoek gedaan naar de hierboven beschreven punten 1 en 3, en kan daarom worden gezien als een tweede fase van het BTO-project van 2017. Om hier vorm aan te geven is een generieke aanpak uitgewerkt en is Gondwana uitgebreid met de benodigde nieuwe functionaliteit om informatie uit de BOS mee te nemen in het optimalisatieproces en nieuwe doelfuncties (uit punt 1) te evalueren. Daarnaast is de uitvoering van een gedetailleerde casestudy van meerwaarde om de ontwikkelde benadering goed te toetsen en een goede aansluiting met de praktijk te waarborgen. Het verder ontwikkelen van Gondwana is dus niet het doel van dit onderzoek, maar een middel om te kwantificeren hoe een optimaal transitiepad kan bijdragen aan een betere prestatie van het leidingnet tijdens de transitie.

1.2 Aanpak en leeswijzer

Na de inleiding gaat dit rapport verder met een overzicht van de stand van de praktijk en literatuur op het gebied van rehabilitatie en gefaseerd ontwerp van drinkwaterdistributienetwerken in hoofdstuk 2. Hierin wordt ook de inventarisatie van belangrijke aspecten bij de transitie naar een streefstructuur en hoe deze het BOS kunnen aanvullen behandeld. In hoofdstuk 3 wordt de voorgestelde methode toegelicht. De toepassing van deze methode op een casestudy wordt beschreven in hoofdstuk 4. Tenslotte worden de conclusies en aanbevelingen beschreven in hoofdstuk 5.

1.3 Begeleidingsgroep

Dit BTO-onderzoek is begeleid door:

- Wout Kompagnie (Waterbedrijf Groningen);
- Roel Diemel en Tjakko Haaijer (Brabant Water);
- Ruben Oldhoff (WMD), vanaf December 2020.

2 Transitie naar streefstructuren

In deze sectie worden de academische literatuur en stand van de praktijk over transitie van leidingnetwerken beschouwd. Het transitievraagstuk is onlosmakelijk verbonden met het optimaliseren van netwerkontwerpen. Beide onderwerpen zullen dan ook de revue passeren in de beschouwing.

Bij het ontwerp van de hoofdstructuur van een leidingnet kan een zogenaamde *streefstructuur* als blauwdruk dienen bij renovaties en sanering en het afgelopen decennium hebben verschillende Nederlandse waterbedrijven hiermee ervaring opgedaan. Streefstructuren geven richting aan de ontwikkeling van het toekomstige net en ondersteunen de waterbedrijven in gesprekken met andere partijen in de ondergrond. Binnen het BTO heeft KWR een stappenplan opgesteld, geëvalueerd en aangescherpt voor het (her)ontwerp van secundaire leidingnetten (Vogelaar en Blokker, 2011; Agudelo-Vera en Blokker, 2016). Hierbij wordt rekening gehouden met leveringscontinuïteit, leveringszekerheid en waterkwaliteit.

Het realiseren van een nieuw ontwerp is een inspanning die doorgaans over meerdere jaren of decennia, stapsgewijs wordt uitgevoerd. Het optimaliseren van de transitie is erop gericht om de best mogelijke volgorde van deze stappen te berekenen. Daarbij wordt rekening gehouden met de (middellange termijn) systeemprestaties *tussen* vervangingsstappen, maar niet met de (korte termijn) systeemprestaties *tijdens* vervangingsstappen.

2.1 Rehabilitatie en optimale transitie van leidingnetten

Het optimaliseren van waterdistributiesystemen gaat terug tot de klassieke oudheid en omvat het bepalen van groottes, locaties en operationele status van netwerkcomponenten zoals leidingen, kelders en afsluiters, waarbij de kosten worden geminimaliseerd (Mala-Jetmarova *et al.* 2018). Veroudering van de infrastructuur gaat gepaard met een afnemend serviceniveau, toenemende operationele kosten, lekkage en leidingbreuken. Het tegengaan van veroudering vereist netwerkrehabilitatie - het vervangen, schoonmaken en/of relinen van bestaande leidingen tegen minimale kosten. Rehabilitatie brengt een transitie met zich mee van de huidige leidingnetstructuur naar een streefstructuur. Deze transitie kan worden geoptimaliseerd en hierbij zijn de volgende aspecten van belang:

- *Gefaseerd/statisch*. Een gefaseerd rehabilitatie heeft betrekking op het optimaliseren van een leidingstelsel over een lange tijdshorizon, verdeeld over verschillende constructiefases. Zonder fasering wordt gesproken van statische rehabilitatie.
- *Flexibel/deterministisch*. Indien bij fasering rekening wordt gehouden met toekomstige systeemonzekerheden zoals bijvoorbeeld een veranderende watervraag of stedelijke uitbreiding wordt gesproken van een flexibel ontwerp. Een flexibel ontwerp is vaak probabilistisch en dynamisch van aard en maakt een flexibele en adaptieve planning mogelijk.
- *Enkelvoudige/meervoudige doelfuncties*. Het transitie-vraagstuk kan worden geformuleerd als vraagstuk met een enkelvoudig economisch doel of met meerdere conflicterende doelen (multi-criteria optimalisatie). In een overzicht van Mala-Jetmarova *et al.* (2018) beslaat de meerderheid van de studies naar optimaal netwerkontwerp (69%) enkelvoudige doelen, waarmee het laagste-kosten ontwerp kan worden bepaald. Sinds de late jaren 1990 wordt het nastreven van meervoudige doelfuncties steeds vaker toegepast. Het geeft de mogelijkheid om een hoog serviceniveau voor klanten af te wegen tegen lage transitiekosten (zie ook paragraaf 2.2).

In eerdere onderzoeken (naar optimale leidingnetontwerpen of transities) zijn in ieder geval de volgende doelfuncties toegepast (Mala-Jetmarova *et al.* 2018 en referenties daarin):

- minimaliseren van (investerings)kosten;
- minimaliseren van niet-geleverde watervraag/ het schenden van drukcondities;
- minimaliseren van het schenden van snelheidscondities, gerelateerd aan sedimentatie en troebelheid van water;

- minimaliseren van te lage niveaus van desinfectie-middelen;
- minimaliseren van de potentiële brandschade uitgedrukt als tekort van beschikbare bluscapaciteit;
- minimaliseren van CO₂-emissies.

2.2 Multicriteria beslisanalyse

Oorspronkelijk werd in optimalisatieproblemen alleen uitgegaan van optimalisatie voor enkelvoudige doelen, bijvoorbeeld netwerkontwerp tegen minimale kosten. Bij deze aanpak wordt één beste oplossing geïdentificeerd, die relatief makkelijk is te analyseren en te implementeren. Sinds eind jaren 1990 worden optimalisatieproblemen in toenemende mate geformuleerd met meervoudige, onderling conflicterende doelstellingen. Daarmee ontstond de mogelijkheid om, enerzijds, netwerkopbrengsten te maximaliseren en, anderzijds, systeemkosten te minimaliseren.

De meervoudige benadering introduceerde tevens een nieuwe uitdaging: met meerdere (onderling conflicterende) criteria bestaat er niet één beste oplossing, maar een grote set van valide (Pareto-)oplossingen (verzameling van oplossingen die allemaal in wisselende verhoudingen optimaal presteren op de gekozen criteria). De oplossingen moeten tegen elkaar worden afgewogen en dit vergt extra eisen en een additionele stap voor een beslissingsnemer om één of een klein aantal beste eindoplossingen te selecteren. Een wiskundige oplosmethode voor dit type problemen is meervoudige-criteria beslisanalyse (hierna afgekort als MCDA naar de gangbare Engelse term “multi-criteria decision analysis”). MCDA biedt beslissingsnemers coherente relaties tussen een set alternatieve oplossingen en de mogelijk tot objectieve selectie van de meest geschikte oplossing bij een gekozen beleid.

De basisstappen van MCDA zijn gedefinieerd als (Keeney, 1982):

- 1 Structureren van het beslisprobleem. Deze stap bestaat uit het genereren van alternatieve oplossingen en het specificeren van doelstellingen.
- 2 Vaststellen van de mogelijke effecten van verschillende alternatieven. Bij deze stap moet rekening worden gehouden met onzekerheden in de effecten.
- 3 Bepalen van voorkeuren (waarden) van beslissingsnemers.
- 4 Evalueren en vergelijken van alternatieven.

Aan de basis van MCDA staat het vinden van Pareto-oplossingen (stap 1)–oplossingen waarvoor geen enkele van de criteria kan worden verbeterd. Hiervoor zijn verschillende rekenmethodes in te zetten; een overzicht van dergelijke methodes is te vinden in Mala-Jetmarova *et al.* (2018).

Bij stap 3 hangt de keuze voor de meest geschikte oplossing uit de Pareto-set af van de (subjectieve) voorkeuren van de beslissingsnemer. Deze voorkeuren of beleidskeuzes worden uitgedrukt met weegfactoren voor de verschillende criteria, waarbij wordt toegewerkt naar één gezamenlijke eenheid. Het bepalen van de weegfactoren kan zowel vóór als na de stappen 1 en 2 plaatsvinden, of in een iteratief proces.

Om bij stap 4 objectief de meest geschikte oplossing bij één of meerdere voorkeursafwegingen kan zogenaamde ordinatie worden toegepast (ook: ranking of gradient analysis). Ordinatie omvat een groot aantal statistische technieken waarbij de optimale oplossing numeriek of grafische wordt weergegeven. Voorbeelden van toegepaste technieken zijn principal component analysis (PCA), niet-metrische multi-dimensionale schaling (NMDa) en correspondence analysis (CA), Bray-Curtis ordinatie en redundancy analysis (RDA).

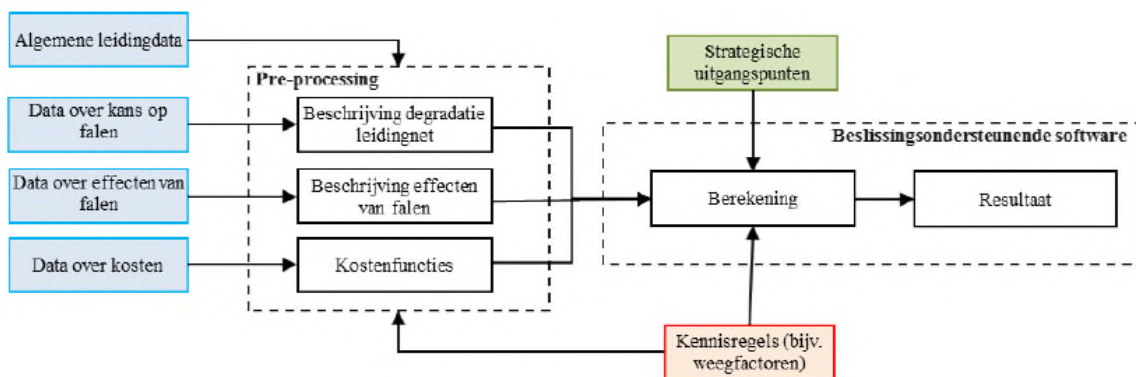
Een voorbeeld van een MCDA-toepassing voor het optimaliseren van een leidingnettransitie in te vinden in Marques en Savic (2015). Het zogenaamde “New York Tunnels” vraagstuk betreft de keuze tussen negen alternatieve gefaseerde uitbreidingen van een leidingnet in Manhattan, New York City. De negen transitie-scenario's zijn berekend met numerieke optimalisatie voor verschillende toekomstprojecties van de verbruikstoename over een tijdshorizon van 60 jaar binnen een vastgestelde onzekerheidsmarge (stap 1). Als randvoorwaarde is opgelegd dat uitbreidingen plaatsvinden in drie fases met tussenperiodes van 20 jaar. De alternatieven zijn geëvalueerd door vier criteria te berekenen (investeringskosten, druktekort, niet-geleverde watervraag en CO₂-emissie), waarbij rekening wordt gehouden met de onzekere watervraag (stap 2). Vervolgens worden beleidskeuzes gedefinieerd

met drie combinaties van criteria-specifieke weegfactoren (stap 3). Ordinatie van de optimale oplossing vindt plaats gebruikmakend van lineaire preferentie (stap 4).

2.3 Beslissingsondersteuningssystemen bij drinkwaterbedrijven

Omdat bij het vernieuwen van het leidingnet het handmatig selecteren van de juiste leidingen te bewerkelijk is, zetten waterbedrijven de laatste jaren steeds vaker beslissingsondersteunende software in, in aanvulling op expertkennis. Dergelijk softwarepakketten berekenen vervangingsstrategieën voor grote leidingssystemen door prestaties, risico's en kosten van vervanging tegen elkaar af te wegen. De pakketten kennen allen eenzelfde basisstructuur, zoals getoond in Figuur 1, waarin de volgende kenmerken zijn te onderscheiden (naar: Beuken en Van Vossen, 2017):

- *Strategische uitgangspunten*: deze zijn een afgeleide van de bedrijfsstrategie en betreffen bijvoorbeeld de omvang van het beschikbare budget voor leidingvernieuwingen of randvoorwaarden die worden gesteld aan het toelaatbaar aantal leidingbreuken of ongeplande OLM;
- *Invoergegevens*: geobjectiveerd beschrijvingen van leidingen, kosten en de omgeving;
- *Kennisregels*: deze geven aan hoe de data wordt geïnterpreteerd, zoals de indeling van het leidingnet in cohorten, de omzetting van objecten storings naar een toekomstige storingsverwachting, de selectie van objecten in de omgeving van een leiding die deel uitmaken van een risicoanalyse en de toekenning van de reparatieduur aan verschillende leidingtypen. Naast kennisregels worden in de modellen weegfactoren toegepast die verhoudingen uitdrukken tussen het belang van de verschillende individuele factoren.



Figuur 1. Schematische weergave procesonderdelen van de inzet van beslissingsondersteunende software. (Bron: Beuken & Van Vossen (2017))

Vorbewerking van de gegevens (pre-processing) is noodzakelijk om de ruwe gegevens om te zetten naar data geschikt voor het rekenproces. Tijdens de hoofdberekening worden prestaties, risico's en kosten tegen elkaar afgewogen. Het resultaat is een prioritering voor het vervangen van leidingen en/of leidingsecties. Een BOS maakt het dus mogelijk om voor een volledig distributiegebied onderbouwde leidingen voor vervanging te selecteren; iets wat handmatig niet mogelijk is, of op zijn minst zeer bewerkelijk. Tevens zijn de consequenties van verschillende strategische uitgangspunten (beleidskeuzes) inzichtelijk te maken en tegen elkaar af te wegen.

Naast de hierboven genoemde overeenkomsten in de algemene structuur, bestaan er ook verschillen in de aanpak van BOS-en. Om hiervan een indruk te krijgen zijn vier BOS-en geïnventariseerd die bij Nederlandse waterbedrijven in gebruik zijn: WilCO (ontwikkelaar SEMAS), Rasmariant (Rolsch), IMQS (Vitens) en Transparant (Inzicht in data). De functionaliteit van deze pakketten op hoofdlijnen is beschreven in I. De doelen waarmee deze pakketten worden ingezet zijn grotendeels overlappend:

- besluitvormingsondersteuning voor het opstellen van investeringsplannen, zowel op strategisch als operationeel niveau;
- een modelleringsomgeving voor snelle identificatie van de gevolgen van besluiten;
- ondersteuning van een herhaalbaar en transparant proces van investeringsplannen.

In hoeverre de aanpak van invloed is op de berekende vervangingsstrategie is onderzocht in een BTO speerpuntonderzoek (Beuken en Van Vossen, 2017). Hiertoe zijn vier pakketten (Rasmariant, Transparant, WilCO en IMQS) met elkaar vergeleken voor eenzelfde leidingnet van Dunea. De softwarepakketten bleken onderling verschillende resultaten op te leveren en tevens af te wijken van resultaten gebaseerd op expertkennis. Deze verschillen worden voor een groot deel veroorzaakt door verschillende interpretaties van de data van het leidingnet en de omgeving, maar vooral door verschillende interpretaties van de opgetreden storingen. De uitkomsten benadrukken een aantal onvolkomenheden en benadrukken het belang van het evalueren en structureren van inputdata en het toewerken naar beter onderbouwde storingsvoorspellingen, leidingdegradatie, effecten van leidingbreuken en kostenmodellen. De toegevoegde waarde van de softwarepakketten —nl. de capaciteit om informatie uit veel verschillende databronnen te combineren op een schaal die handmatig ondoenlijk is— zal echter toenemen naarmate dergelijke onvolkomenheden worden weggenomen of verbeterd (Beuken en Van Vossen, 2017). In dit verband is in hetzelfde rapport een tienstappenplan opgesteld om tot een betrouwbare methode voor beslissingsondersteuning van leidingsaneringen te komen.

2.4 Benodigde aanvulling op de huidige BOS-analyses

2.4.1 Inventarisatie

Een vereiste voor een optimale leidingnettransitie is kennis van de KPI's en doelfuncties die de waterbedrijven relevant achten. In dit verband benaderde KWR assetmanagement-experts van de BTO-bedrijven met een vragenlijst over KPI's, doelfuncties en randvoorwaarden. Experts van vijf bedrijven waren hierbij betrokken:

- Tjakko Haaijer en Roel Diemel (Brabant Water)
- Maurice van de Roer (Dunea)
- Wout Kompagnie (Waterbedrijf Groningen)
- Arno Bindt (Evides)
- Peter Horst (PWN)

De vragen, antwoorden en een compilatie van antwoorden zijn te vinden in de bijlage (II, III en IV).

Gevolgtrekkingen van algemene aard uit deze inventarisatie zijn:

- de twee belangrijkste doelen waarmee de waterbedrijven BOS-en toepassen zijn: (i) ondersteuning bieden bij het opstellen van vervangingsplannen en (ii) verkrijgen van inzicht in beleidskeuzes rond vervangingsplannen;
- waterbedrijven zetten berekeningen met BOS-en in op diverse ruimtelijke niveaus (leidingen, wijken, voorzieningsgebieden) en voor zowel operationele, tactische als strategische doeleinden.

De experts is tevens gevraagd om KPI's en doelfuncties te definiëren om systeemprestaties m.b.t. *transitie* van leidingnetten uit te drukken. Hierbij is gevraagd om de KPI's volgens de SMART-criteria uit te drukken, d.w.z.: **s**pecifiek voor een bepaald gebied, **m**meetbaar (kwantificeerbaar of ten minste te kwalificeren met een indicator-parameter), **a**haalbaar (**a**chievable), **r**levant en **t**ijsgebonden. Tabel 1 geeft een overzicht van doelfuncties, opgesteld met reacties van de drinkwaterbedrijven op de enquête (blauwe velden), opgesteld door KWR (groen veld), of bekend uit de literatuur (roze veld). Meerdere velden in Tabel 1 zijn toepasbaar op zowel de streefstructuur als de transitie.

Tabel 1. Inventarisatie van mogelijk KPI's en doelfuncties voor optimale netwerkstructuren en optimale transitie van huidige netwerkstructuren naar streefstructuren. De reacties van de drinkwaterbedrijven op de enquête zijn weergegeven in de blauwe velden, criteria opgesteld door KWR in het groen, en bekend uit de literatuur in het roze veld.

Nr.	KPI en doelfunctie	Eenheid	Motivatie
1	Minimaliseren Ondermaatse LeveringsMinuten (OLM), zowel gepland en ongepland (door de meest risicovolle leidingen eerst te vernieuwen).	Minuten	Beperk overlast voor de klant
2	Minimaliseren leveringsonderbrekingen en storingen (door de meest risicovolle leidingen eerst te vernieuwen).	Aantal storingen of onderbrekingen	Bepek overlast voor de klant
3	Minimaliseren levering onder gewenst drukniveau (onder reguliere condities en bijvoorbeeld bij uitval van leidingen)	kPa x minuten	Beperk overlast voor de klant door robuuste levering te optimaliseren.
4	Minimaliseren lekverlies (door de meest risicovolle leidingen eerst te vernieuwen).	Liter (of percentage)	Lekverlies op acceptabel niveau houden (voor zowel klant als drinkwaterbedrijf)
5	Minimaliseren kosten (CAPEX + OPEX)	€	Beperk kosten
6	Maximaliseren zelfreinigende capaciteit	Indexering o.b.v. dagelijks optredende maximum snelheid	Verlaag risico op bruinwaterklachten
7	Minimaliseren verblijftijden (of overschrijdingen van een streefwaarde)	Uren (gewogen naar geleverd volume)	Verlaag risico op waterkwaliteitsklachten
8	Minimaliseren risico op stroomomkeringen.	Aantal omkeringen (gewogen naar volumestroom of aantal getroffen aansluitingen)	Verlaag risico op incidenten m.b.t. klachten op deeltjesmateriaal- en/of biofilm
9	Minimaliseren risico op overschrijding van wettelijke drinkwatertemperatuurgrens van 25°C.	Aantal graden overschrijding * minuten	Verlaag het risico op overschrijdingen en waterkwaliteitsincidenten/-klachten.
10	Minimaliseren van CO ₂ -uitstoot	Kg CO ₂	Duurzame distributie

Een aantal opmerkingen bij Tabel 1:

- Punt 1 (OLM) en punt 2 (storingen) zijn gerelateerd, maar punt 2 is een kans (aantal storingen per jaar) en punt 1 is een risico (kans maal effect, met als effect: het aantal getroffen klanten).
- Punt 5 (kosten): kosten worden soms als doelfunctie gebruikt en soms als randvoorwaarde (in geval van een vaststaand budget dat een bedrijf jaarlijks vrijmaakt voor vervangingen).
- Punt 6 (zelfreinigende capaciteit): dit betreft een waterkwaliteitsparameter die voornamelijk van toepassing is op het tertiaire leidingdeel. De vraag is daarom of het zinvol is om deze parameter in aanmerking te nemen bij de transitie naar streefstructuren, dat voornamelijk te maken heeft met het secundaire leidingnet. Dit punt is met de projectgroep besproken tijdens het overleg op 17/06/2020. Samen met de projectgroep is besloten om een alternatieve waterkwaliteitsindicator in aanmerking te nemen, namelijk de gemiddelde snelheid over een dag. Wanneer de gemiddelde snelheid over een dag wordt gemaximaliseerd komt dat zowel de zelfreinigende capaciteit als de verblijftijd ten goede.
- Punt 8 (stroomomkeringen/hydraulische incidenten): dit betreft een waterkwaliteitsparameter als indicator voor waterkwaliteitsincidenten. Stroomomkeringen zijn mogelijk lastig nauwkeurig in te schatten aangezien ze deels worden bepaald door slecht voorspelbare calamiteiten zoals onvoorziene onderbreking van kelderlevering.
- Punt 9 (drinkwatertemperatuur): afgezien van lokale metingen in het leidingnet is de drinkwatertemperatuur grotendeels onbekend. In het BTO ontwikkelde KWR rekenmodellen voor de drinkwatertemperatuur in leidingnetten, maar dergelijke modellen zijn op dit moment nog niet praktisch toepasbaar.

- Punt 10 (CO₂): hier wordt bedoeld de totale uitstoot (de gehele levenscyclus, inclusief de winning van grondstoffen, het vervoer, productie, installatie, sloop, afvoer en verwerking) voor alle geïnstalleerde leidingen binnen de tijdshorizon de transitie. In Marques e.a. (2015) wordt de totale uitstoot berekend door de uitstoot, per leidingmateriaal en diameter, te vermenigvuldigen met de lengte van de te vervangen leidingen.

2.4.2 Selectie

Om uit de mogelijkheden (Tabel 1) de doelfunctie met de grootste meerwaarde t.o.v. bestaande BOS-analyse te selecteren, zijn de volgende selectiecriteria toegepast:

- 1 *Aansluiting op BOS-en*: op welke manier is de toevoeging van aanvullende waarde m.b.t. BOS-en?
- 2 *Meetbaar en berekenbaar via een hydraulisch model*.
 - De KPI moet specifiek zijn voor een bepaald gebied.
 - De KPI moet kwantificeerbaar zijn of kwalificeerbaar met een indicatorparameter.
 - Berekening van KPI moet haalbaar zijn binnen de gewenste tijd. Ook moeten voldoende gegevens van de juiste kwaliteit beschikbaar zijn om de KPI te kwantificeren.
 - In dit project is een voorwaarde dat berekeningen worden uitgevoerd met een hydraulisch model.

Een eerste selectie is afgestemd met Roel Diemel (Brabant Water) en later besproken met de projectgroep tijdens het overleg op 17/6/2020. Het resultaat is samengevat in Tabel 2. Het **maximaliseren van de gemiddelde snelheid, minimaliseren van pendelzones en levering onder de gewenste druk**, komen naar voren als meest geschikte doelfuncties (deze scoren “+” in beide kolommen 1 en 2). De overige indicatoren zijn minder geschikt vanwege:

- overlap met gangbare toepassing bij drinkwaterbedrijven met BOS-en (indicatoren 1, 2, 4, 5, en 10, kolom 1 in Tabel 2);
- rekentechnische bezwaren (kolom 2):
 - OLM (indicator 1), kosten (indicator 5) en CO₂-uitstoot (indicator 10) worden doorgaans zonder hydraulische informatie berekend en vallen daarmee buiten de strekking van het huidige project.
 - Verblijftijdberekeningen (indicator 7) vergen lange rekentijden en zijn niet één-op-één te vertalen naar een bedrijfsrisico. Het maximaliseren van de gemiddelde snelheid (6) komt de verblijftijd ten goede. Het in aanmerking nemen van deze indicator samen met het minimaliseren van het aantal pendelzones zorgt ervoor dat de waterkwaliteit goed is vertegenwoordigd in de transitie.
 - Stroomomkeringen (indicator 8 in Tabel 1) zijn lastig te bepalen omdat deze samenhangen met de stochastische watervraag en slecht te voorspellen calamiteiten, zoals onvoorziene uitval van kelderlevering. Samen met de projectgroep is gekozen om wel het aantal pendelzones onder reguliere condities in aanmerking te nemen, als indicator voor waterkwaliteit.
 - Het bepalen van drinkwatertemperaturen (indicator 9) vergt temperatuurmetingen met een volledige dekking of een betrouwbare modellering van de drinkwatertemperatuur in complexe distributiesystemen wat op het moment van schrijven niet beschikbaar was.

Tabel 2. Selectie van KPI en doelfunctie, ter aanvulling op gangbare beslissingsondersteuning bij transitie van streefstructuren. Regelnummers zijn identiek aan die in Tabel 1 en kolomnummers verwijzen naar selectiecriteria genoemd in bovenstaande tekst. In kolom 1 betekenen de '+' en '-' tekens dat de criteria wel (-) of niet overlap (+) hebben met de BOS-en, en dus van toegevoegde waarde zijn. In kolom 2 geven de '+' en '-' tekens aan of de criteria wel (+) of niet (-) rekentechnisch haalbaar zijn. Criteria die in beide kolommen een '+' scoren zijn het meeste geschikt voor de doelfuncties. De reacties van de drinkwaterbedrijven op de enquête zijn weergegeven in de blauwe velden, criteria opgesteld door KWR in het groen, en bekend uit de literatuur in het roze veld.

Nr.	KPI en doelfunctie	Toegevoegde waarde t.o.v. BOS	Rekentechnisch haalbaar
1	Minimaliseren OLM	-	-
2	Minimaliseren leveringsonderbrekingen en storingen	-	+
3	Minimaliseren levering onder gewenst drukniveau	+	+
4	Minimaliseren lekverlies	-	+
5	Minimaliseren kosten	-	+
6	Maximaliseren gemiddelde snelheid	+	+
7	Minimaliseren verblijftijden	+	-
8	Minimaliseren aantal pendelzones	+	+
9	Minimaliseren risico op overschrijding van drinkwatertemperatuur	+	-
10	Minimaliseren van CO ₂ -uitstoot	-	-

2.5 Toepassing van numerieke optimalisatietechnieken

Het door KWR ontwikkelde softwareplatform Gondwana is geschikt voor het optimaliseren drinkwaterdistributie- en sensornetwerken (Van Thienen en Vertommen, 2015). Gondwana maakt gebruik van numerieke optimalisatietechnieken bij de berekeningen van oplossingen. Dit biedt meerdere voordelen, waaronder:

- Het probleem moet duidelijk worden geformuleerd: hierbij moet goed worden nagedacht wat de randvoorwaarden en beoogde doelen van een ontwerp zijn. Deze stap is vaak complexer dan verwacht, maar biedt veel inzicht en zorgt voor gedragen en onderbouwde keuzes bij drinkwaterbedrijven.
- De prestaties op randvoorwaarden en doelfuncties, en afwegingen daartussen, worden gekwantificeerd, waardoor keuzes onderbouwd zijn.
- Het rekenproces is geautomatiseerd, waardoor (1) meerdere scenario's kunnen worden doorgerekend (wat handmatig vaak niet haalbaar is) en (2) het doorrekenen van alternatieven (o.b.v. nieuwe informatie of andere keuze in randvoorwaarden bv.) met 'een druk op de knop' mogelijk wordt gemaakt.
- De oplossing wordt geoptimaliseerd, d.w.z., dat i.p.v. één oplossing die voldoet aan randvoorwaarden, er een heel groot aantal oplossingen die voldoen worden doorgerekend en daaruit het best presterende (op gekozen criteria) wordt gekozen.

Het optimaliseren met Gondwana van zowel het *ontwerp* als de *transitie* van streefstructuren van leidingnetten is recent toegepast voor het distributienet van Helmond-Mierlo (Vertommen *et al.* 2017; Vertommen *et al.*, 2018). Hierbij werd het ontwerp geoptimaliseerd voor (i) minimale kosten van nieuw aan te leggen leidingen en (ii) het vermijden van het niet voldoen aan het gewenste drukniveau. Bij het berekenen van de optimale transitie zijn twee optimalisatieproblemen geformuleerd, elk met twee doelfuncties (in dit geval, i-ii, en i-iii): (i) maximaliseren van de reductie in leidingfalen, (ii) minimaliseren van het aantal constructie-locaties en (iii) minimaliseren van overschrijding van het drukniveau. Deze voorgaande studies illustreren de mogelijkheid om met Gondwana hydraulische aspecten te formuleren als (een van meerdere) doelfuncties bij een transitie naar een streefstructuur. Dit biedt het perspectief om met Gondwana de BOS(en) aan te vullen die op dit moment in gebruik zijn bij de waterbedrijven.

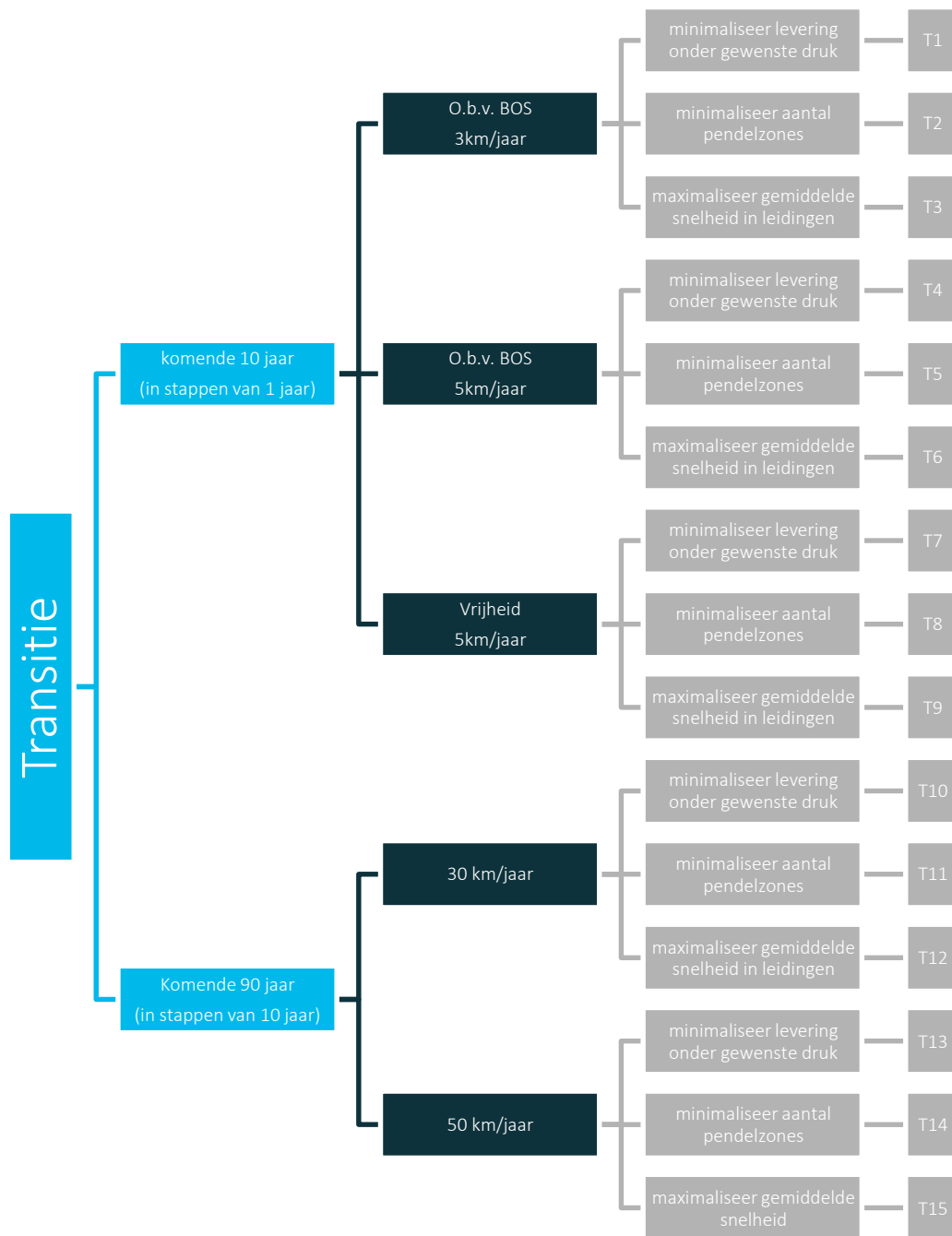
3 Methodiek

De toegepaste benadering in dit onderzoek is om verschillende alternatieve transitie naar een streefstructuur te bepalen aan de hand van verschillende tijdshorizonten, randvoorwaarden en doelfuncties (bepaald in 2.4.2), zie Tabel 3. Tabel 3 voor een overzicht. Uit de combinatie van deze verschillende opties zijn in totaal zijn 15 optimalisatieproblemen geformuleerd. Figuur 2 geeft hier een overzicht van. Deze problemen zijn doorgerekend in het optimalisatieplatform Gondwana. De beslisvariabel in deze problemen is het moment waarin elke leiding in het netwerk idealiter moet worden gesaneerd (dit moment is het jaar in het geval van de korte tijdshorizon, en het decennium in het geval van de lange termijn). Het resultaat van elk van de 15 optimalisatieproblemen is dus een transitie, die geoptimaliseerd is voor de gekozen doelfunctie, daarbij steeds een specifieke tijdshorizon en randvoorwaarden in aanmerking nemend. Gezien de gekozen doelfuncties tegenstrijdig kunnen zijn, en ook randvoorwaarden een beperkend effect kunnen hebben, zijn de 15 verkregen geoptimaliseerde transities vervolgens geëvalueerd op alle andere doelfuncties. De prestatie van de transitie uit het BOS, op de verschillende doelfuncties, is in aanmerking genomen als referentie.

Tabel 3. Overzicht van opties bij de transitie naar een streefstructuur.

Tijdshorizon	Randvoorwaarden	Doelfunctie
- Korte termijn, gedetailleerd (bv. komende 10 jaar, in stappen van 1 jaar)	- Prioritering BOS in aanmerking nemen, d.w.z. Gondwana mag enkel de door het BOS-geïdentificeerde leidingen in aanmerking nemen bij de transitie.	- Levering onder gewenste druk zo snel mogelijk verbeteren
- Lange termijn, minder detail (bv. 90 jaar, in stappen van 10 jaar)	- Prioritering BOS niet in aanmerking nemen, d.w.z. Gondwana mag zelf bepalen welke leidingen worden gesaneerd in een periode.	- Aantal pendelzones zo snel mogelijk minimaliseren
	- Maximale leidinglengte te saneren per jaar.	- Gemiddelde snelheid in leidingen zo snel mogelijk maximaliseren.

Ter verduidelijking, zijn doelen als het minimaliseren van levering onder de gewenste druk, het minimaliseren van het aantal pendelzones en het maximaliseren van de gemiddelde snelheid in leidingen, doelstellingen die horen bij het ontwerp van een streefstructuur. In dit geval, is de streefstructuur al ontworpen en willen we met de transitie, zo snel mogelijk deze aspecten verbeteren.



Figuur 2. Overzicht van de verschillende optimalisatieproblemen die zijn doorgerekend.

4 Casestudy en resultaten

4.1 Kaatsheuvel

De gekozen casestudy betreft het leidingnet dat het dorp Kaatsheuvel van drinkwater voorziet. Kaatsheuvel ligt in Noord Brabant en telt ca. 17 000 inwoners. Kaatsheuvel is gekozen als casestudy omdat het wordt beschreven door een relatief klein leidingnetmodel (en dus beter haalbaar wat betreft rekentijden dan grotere modellen), omdat het toch een gebied in zijn geheel is (en niet enkel een wijk in een gebied bv.), en omdat er een model beschikbaar is van zowel de huidige structuur als van de streefstructuur.

4.1.1 Leidingnetmodellen

Brabant Water heeft een leidingnetmodel aangeleverd van zowel de huidige structuur als de (door Brabant Water ontworpen) streefstructuur voor Kaatsheuvel. De kenmerken van beide zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4. Kenmerken van de leidingnetmodellen van Kaatsheuvel – huidige structuur en streefstructuur, aangeleverd door Brabant Water.

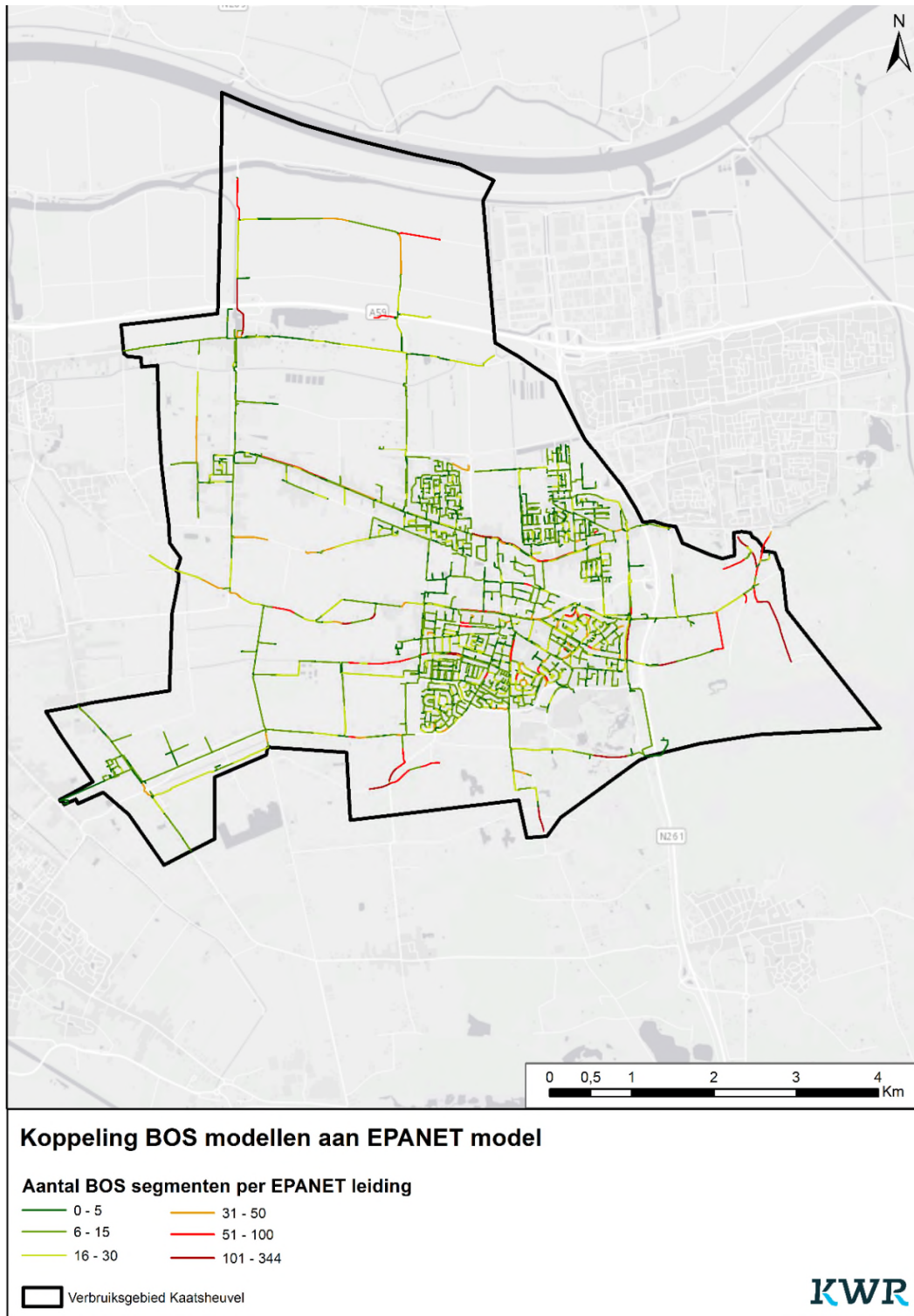
	Aantal knopen	Aantal leidingen	Reservoirs	Afsluiters	Watervraag
Leidingnetmodel van de huidige structuur	6260	5408	2	1047	Verbruikspatronen van max-dag
Leidingnetmodel voor de streefstructuur	6259	5411	2	1047	Verbruikspatronen van max-dag + 10%

De streefstructuur is 2% kleiner (in termen van leidinglengte x diameter) dan het huidige leidingnet, terwijl het tegelijkertijd en hogere watervraag aan kan. De afname in volume heeft voornamelijk te maken met het vertakken van tertiaire leidingen. Voor het ontwerp van de streefstructuur zijn, naast leveringszekerheids- en continuïteitsaspecten, een minimale (afgedwongen) druk van 250 kPa en een gewenste minimale druk van 300 kPa in aanmerkingen genomen.

Het doorrekenen van de transitie in Gondwana gebeurt door nieuwe leidingdiameters toe te kennen aan een netwerkmodel (en te bepalen op welke moment in de tijdshorizon dit gebeurt). Dit wil zeggen dat er enkel één hydraulisch model wordt ingeladen in Gondwana. Omdat de modellen van het huidige leidingnet van Kaatsheuvel en de streefstructuur van elkaar verschillen (in aantal knopen en leidingen en in ID's van enkele elementen), is er één hydraulisch model gemaakt op basis van het leidingnetmodel van de huidige structuur (d.w.z. met alle elementen van de huidige structuur en bijhorende kenmerken zoals diameters), waarin alle nieuwe leidingen en knopen van de streefstructuur zijn toegevoegd (deze leidingen krijgen in dit geval een diameter gelijk aan nul), en waarin de toekomstige watervraag is toegekend aan de knopen. Op deze manier wordt in de transitie bepaald op welke moment elke leiding in het model de diameter van dezelfde leiding in de streefstructuur krijgt.

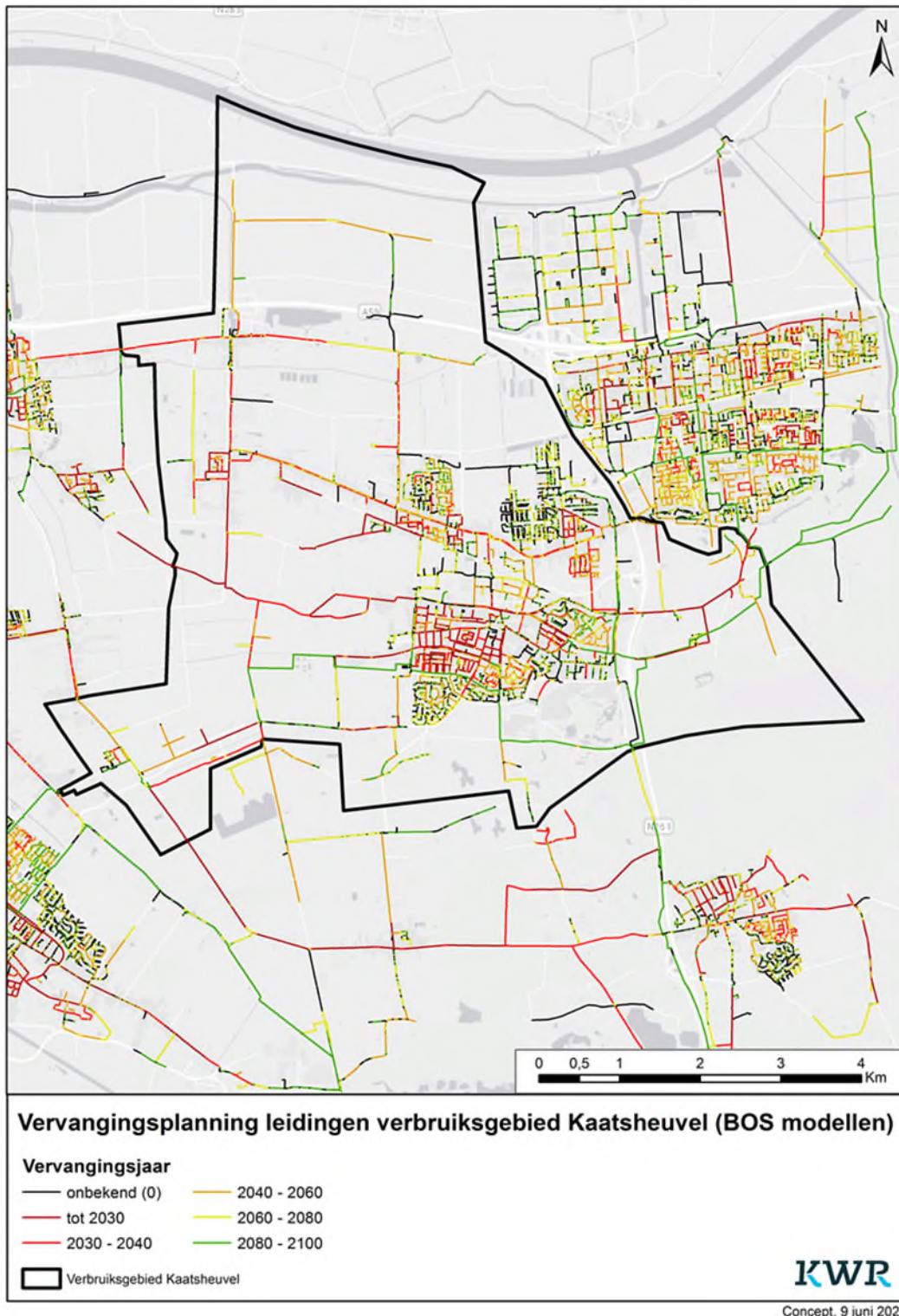
4.1.2 BOS-prioritering

Brabant Water heeft naast de hydraulische modellen ook gegevens uit het BOS (RASMARIANT) gedeeld in de vorm van ArcGIS-*shape* bestanden. Deze gegevens zijn gekoppeld aan de leidingen in het hydraulische model. Deze stap is minder eenvoudig dan eerst gedacht, omdat de leidingen in het hydraulische model niet één-op-één overeenstemmen met de segmenten in het BOS. Figuur 3 geeft aan hoeveel het aantal BOS segmenten per leiding in het EPANET model aan.



Figuur 3. Aantal BOS segmenten per leiding in het EPANET model.

Elk BOS-segment is gekoppeld aan een specifiek vervangingsjaar, zie Figuur 4. Wanneer één leiding in het EPANET-model is samengesteld uit verschillende segmenten in het BOS, met verschillende vervangingsjaren, is het gewogen gemiddelde uit de verschillende BOS-vervangingsjaren in aanmerking genomen als vervangingsjaar voor de leiding in het EPANET-model.



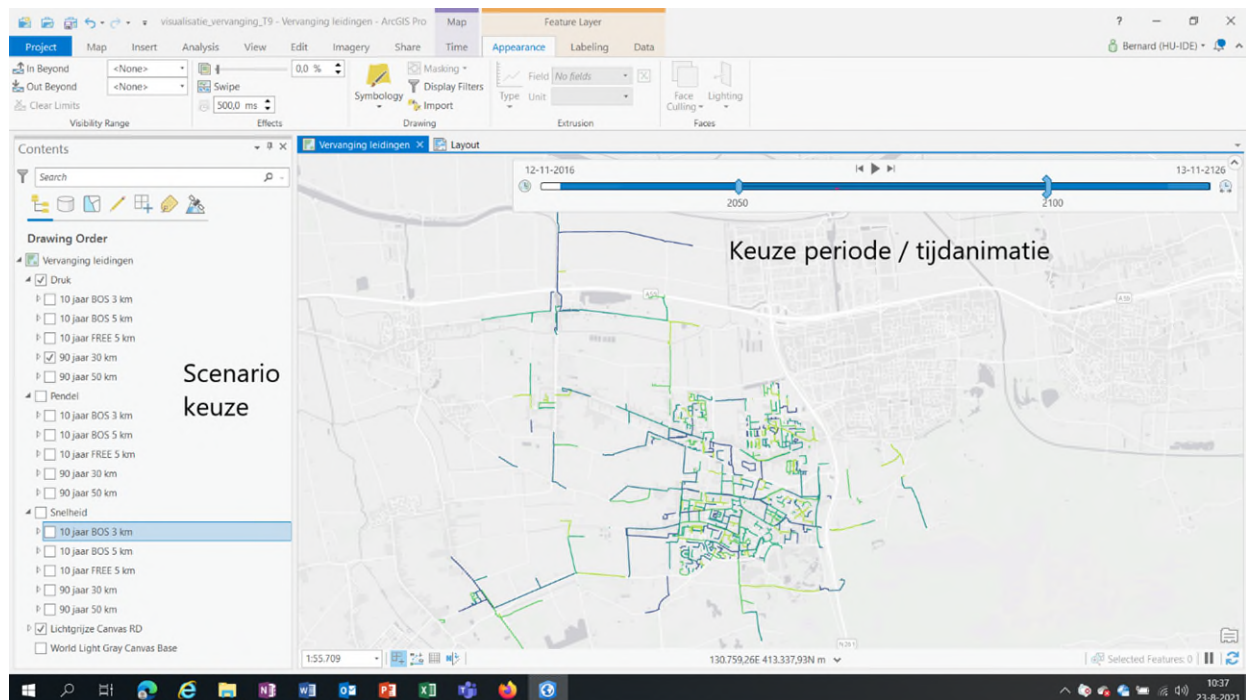
Figuur 4. Vervangingsjaar voor elk BOS segmenten, bepaald door Brabant Water met RASMARIANT.

Een waardevolle parameter voor de analyse is het risicokosten reductie rendement (RRR) per leiding. Dit is een relatie tussen de risicokosten op het moment van vervanging van de leiding (functie van de kans op en effect van het falen van de leiding, inclusief kosten van reparatie en OLM), risicokosten na de vervanging, aanlegkosten van de nieuwe leiding en jaarlijkse onderhoudskosten van de huidige en nieuwe gelegde leidingen. Het ideale moment van vervangen wordt gekozen wanneer vernieuwen voordeliger wordt. Aan de start van de casestudy zijn door Brabant Water de risicokosten van 2019 aangeleverd. Deze kosten veranderen door de tijd heen. Door gebrek aan data bij de start van de casestudy is deze verandering niet in aanmerking genomen in het optimalisatieproces, en is aangenomen dat het RRR constant bleef in de tijd. Aan het einde van het project is gebleken dat het achterhalen van deze benodigde data uit het BOS met enige inspanning wel mogelijk is. In eventuele vervolgprojecten of implementatie is het van belang om de ontwikkeling van het risicokosten reductie rendement, per leiding en door de tijd heen, wel in aanmerking te nemen tijdens de optimalisatie (zie ook aanbevelingen in hoofdstuk 5.2).

4.2 Resultaten

In deze sectie zijn de resultaten verkregen door het doorrekenen van de 15 geformuleerde optimalisatieproblemen (Figuur 2) in Gondwana gepresenteerd. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de transities voor de korte en lange termijn, gezien deze niet met elkaar kunnen worden vergeleken. De tabellen vatten de verbetering of verslechtering van de prestaties van de verschillende geoptimaliseerde transities, op de gekozen prestatie indicatoren, samen, met als referentie de transitie uit het BOS van Brabant Water. Het is te verwachten dat een transitie geoptimaliseerd op het minimaliseren van de levering onder de gewenst druk (300 kPa) het beste presteert op de indicator 'Levering $P < 300$ kPa', terwijl een transitie geoptimaliseerd op het minimaliseren van het aantal pendelzones juist op deze indicator het beste presteert, enzovoort. Het is juist interessante om ook te kijken hoe een transitie geoptimaliseerd op een indicator, uiteindelijk presteert op de andere indicatoren.

De resultaten zijn uitgewerkt als 'project packages' in ArcGIS Pro. De alternatieve transities zijn als verschillende lagen in de kaart beschikbaar, zie Figuur 5. Deze bestanden zijn met Brabant Water gedeeld ter interpretatie.



Figuur 5. Visualisatie van de resultaten in ArcGIS Pro. De gebruiker kan door middel van verschillende lagen kiezen welke alternatieve transities worden weergegeven. De kleuren van de leidingsegmenten geven het vervangingsjaar weer. Doormiddel van een animatie kunnen de te vervangen leidingen ook in de tijd worden weergegeven.

4.2.1 Eerste 10 jaar

Tabel 5 bevat een samenvatting van de resultaten verkregen voor de optimalisatieproblemen op korte termijn, d.w.z., de eerste 10 jaar, in stappen van één jaar. De resultaten, zijn verschillende alternatieve transities, d.w.z., bij elk geoptimaliseerde transitie, T1-9, hoort een lijst met het jaar waarin elke leiding wordt gesaneerd en tot welke prestatie op de verschillende indicatoren deze keuze leidt.

In de geoptimaliseerde transities T1-6 is de BOS-prioritering in aanmerking genomen tijdens de optimalisatie. Dat wil zeggen dat Gondwana enkel de door het BOS-geïdentificeerde leidingen (leidingen te saneren gedurende de eerste 10 jaar) in aanmerking heeft genomen tijdens de optimalisatie. Dit zijn 269 van de 5411 leidingen in de streefstructuur, wat ook wil zeggen, dat het eindplaatje in dit geval nog niet de complete streefstructuur is. De volgorde van sanering is wel gewijzigd ten opzichte van het BOS om beter te voldoen aan de hydraulische aspecten. Bij problemen T1-3 is de maximale te saneren lengte vastgelegd op 3 km/jaar (gemiddelde uit het BOS), terwijl deze lengte bij problemen T4-6 flexibeler is, namelijk maximaal 5 km/jaar. In de optimalisatieproblemen T7-9 is de BOS-prioritering niet in aanmerking genomen, d.w.z., dat Gondwana zelf mocht bepalen welke leidingen in de eerste 10 jaar het beste aan de beurt zouden komen, zolang er niet meer dan 5km/jaar gesaneerd zou worden. Dit zijn tussen de 673 en 1074 van de 5411 leidingen in totaal, afhankelijk van de gekozen doelfunctie.

Uit de resultaten is te zien dat op de indicator 'Levering onder de gewenste druk' de meeste verbeteringen mogelijk zijn. Bij alle optimalisaties is er vooruitgang te boeken ten opzichte van de transities uit het BOS. Van 12% verbetering wanneer wordt uitgegaan van de door het BOS geïdentificeerde leidingen, zowel bij een maximum te saneren leidinglengte van 3 en 5 km/jaar, tot 43-73% verbetering wanneer Gondwana alle vrijheid heeft. Niet verassend is de transitie T7, geoptimaliseerd op druk, de oplossing waar de levering onder de gewenste druk het beste is.

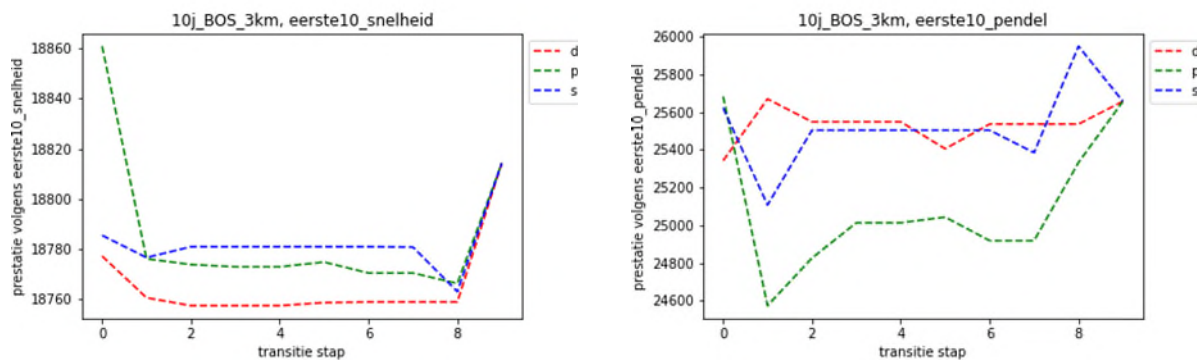
Met betrekking tot het minimaliseren van het aantal pendelzones en het maximaliseren van de gemiddelde stroomsnelheid in de leidingen, is er minder verbetering mogelijk. Bij transitie T5 wordt de prestatie op het aantal pendelzones wel 12% beter, maar dit vertaalt zich wel in een 10% verslechtering op de gemiddelde snelheid. Deze tegenstrijd tussen prestatie indicatoren wordt benadrukt in transities T7-9. De verbetering ten opzicht van de levering onder de gewenste druk is opmerkelijk, maar dit gaat vaak ten koste van de prestatie op het aantal pendelzones en gemiddelde snelheid. Dit gebeurt niet bij transities T1-3, waar de verbetering op één van de indicatoren niet ten kosten gaat van de prestatie op de anderen.

Tabel 5. Percentuele verbetering of verslechtering van de geoptimaliseerde transities verkregen voor optimalisatieproblemen T1-T9 (voor de komende 10 jaar, in stappen van 1 jaar) op de verschillende gekozen prestatie indicatoren, met als referentie de transitie uit het BOS. De kleuren geven aan of het gaat om een verbetering van meer dan 2,5% (groen, hoe donkerder, hoe groter te verbetering), verslechtering van meer dan 2,5% (oranje, hoe donkerder hoe groter te verslechtering) of minder dan 2,5% verschil (grijs). De resultaten in absolute getallen staan in bijlage V.

		Percentuele verbetering/verslechtering op de prestatie op indicatoren in relatie tot het transitieplan uit het BOS:				
		Transitie geoptimaliseerd op:	RRR	# pendelzones	Gemiddelde snelheid	Levering P<300 kPa
T1	BOS, 3km/j	Min. P < 30	62	0	0	12
T2		Min. # pendelzones	47	2	0	2
T3		Max. gem. snelheid	14	0	0	3
T4	BOS, 5km/j	Min. P < 30	49	11	-10	12
T5		Min. # pendelzones	29	12	-10	12
T6		Max. gem. snelheid	25	0	0	3
T7	vrij, 5km/j	Min. P < 30	279	-21	-2	73
T8		Min. # pendelzones	139	1	-3	43
T9		Max. gem. snelheid	301	-23	2	68

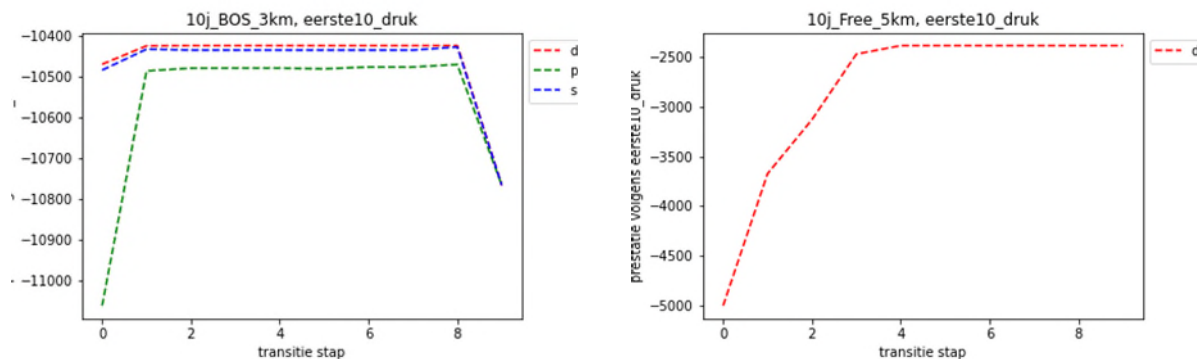
Bij deze resultaten valt op te merken dat het niet mogelijk is om het risicoreducerendement (RRR in tabel 5) zoals doorgerekend in Gondwana te controleren in het BOS van Brabant Water. Het is daarom niet mogelijk om te concluderen of het verschil plausibel en verklaarbaar is. Idealiter zouden de transitie uit Gondwana worden doorgerekend in het BOS om eventuele verschillen in berekeningen te interpreteren. Bij implementatie in de praktijk dient hier over nagedacht te worden.

Figuur 6 biedt inzicht in enkele voorbeelden van de ontwikkeling van de prestatie van verschillende transitie op de indicatoren door de transitieperiode heen (gecumuleerde verbetering).



(a) Ontwikkeling van de prestatie van transitie T1 (rode curve, d), T2 (groene curve, p) en T3 (blauwe curve, s) op de gemiddelde snelheid in de leidingen.

(b) Ontwikkeling van de prestatie van transitie T1 (rode curve, d), T2 (groene curve, p) en T3 (blauwe curve, s) op het aantal pendelzones in de leidingen.



(c) Ontwikkeling van transitie T1 (rode curve, d), T2 (groene curve, p) en T3 (blauwe curve, s) op de levering onder de gewenste druk.

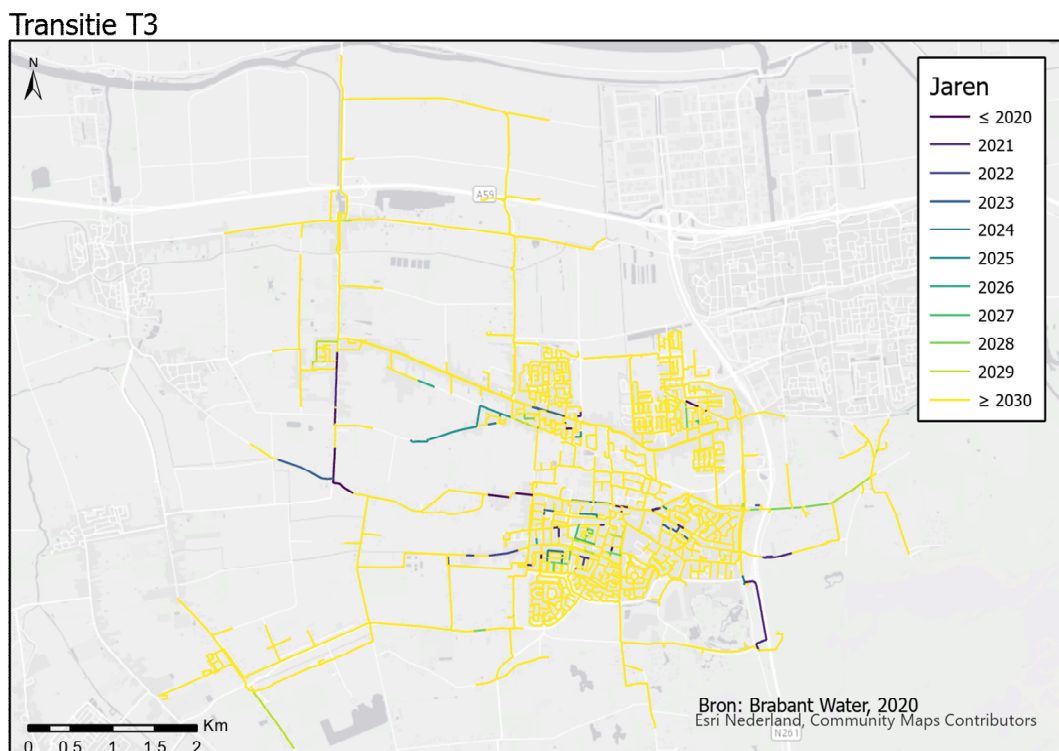
(d) Ontwikkeling van transitie T7 op de levering onder de gewenste druk.

Figuur 6. Ontwikkeling van de prestatie van verschillende transitie op verschillende indicatoren door de tijd heen.

Hieruit is te zien dat het gedrag niet altijd is zoals verwacht. Bij Figuur 6a is verwacht dat de gemiddelde snelheid in de leidingen toeneemt en dus ook de blauwe curve (s), geoptimaliseerd op snelheid, dit gedrag zou vertonen. In Tabel 5 is al duidelijk dat er geen significante verbetering mogelijk is op deze indicator. Uit de curves is te zien dat de gemiddelde snelheid eerst iets afneemt, dan redelijk constant blijft, ongeacht de saneringen, en tenslotte in de laatste transitieperiode weer toeneemt. Deze transitie worden ook beperkt door het aantal te saneren lengte en de BOS-prioritering. In Figuur 6b wordt verwacht dat het aantal pendelzones afneemt. De transitie T2 (groene curve) geoptimaliseerd op pendel presteert beter dan de transitie T1 en T3, geoptimaliseerd op druk en snelheid, maar vertoont geen consistent gedrag. Aan het einde van de transitieperiode, is de prestatie voor alle transitie gelijk, omdat alle leidingen aangegeven door het BOS zijn aangepakt. In Figuur 6c is te zien dat de levering onder de gewenste druk in eerste instantie beter wordt (er wordt geoptimaliseerd op het maximaliseren van het negatieve van de totale ondermaatse druk, d.w.z. dat een lager negatief getal op de y-as beter is), maar dat deze bij de laatste

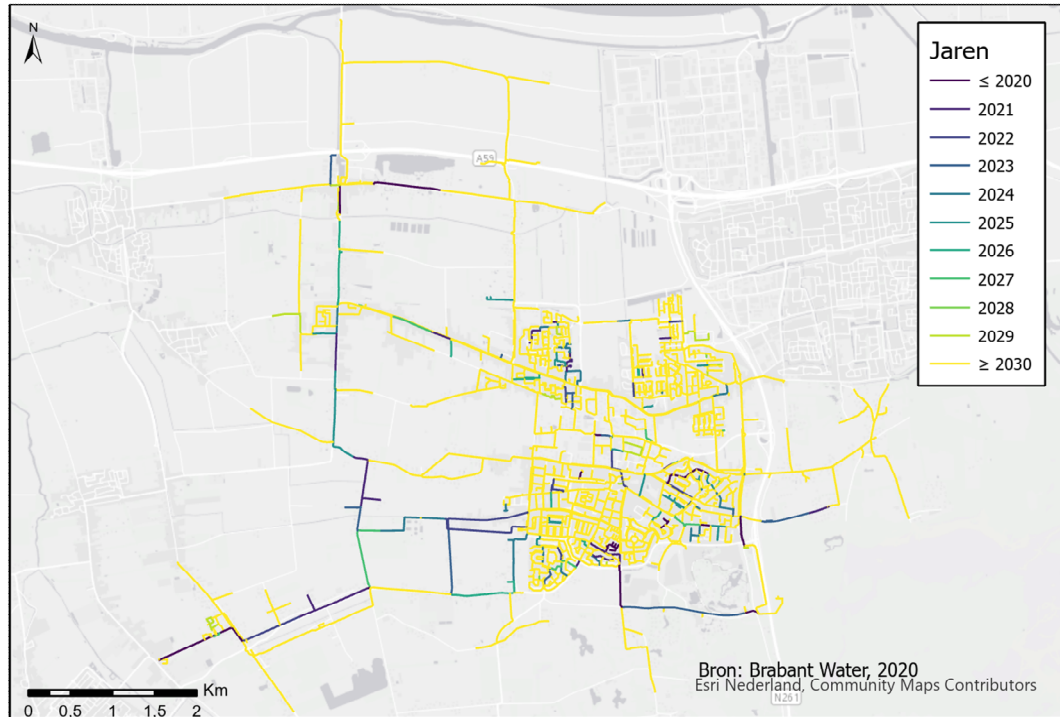
transitiestap weer verslechterd. Aan het einde van de transitieperiode, is de prestatie voor alle transitieperioden gelijk, omdat alle leidingen aangegeven door het BOS zijn aangepakt. In Figuur 6d is een verwacht gedrag te zien: de levering onder de gewenste druk wordt geleidelijk beter door de tijd heen (er wordt geoptimaliseerd op het maximaliseren van het negatieve van de totale ondermaatse druk, d.w.z. een lager negatief getal op de y-as beter is). Gondwana heeft in dit geval de vrijheid gehad om leidingen te kiezen die het meest bijdragen aan de verbetering van de druk. Deze curves zijn aan het einde van het project en het doorrekenen van de casestudies gemaakt. In vervolgonderzoek is het belangrijk om vanaf het begin naar deze curves te kijken en te beoordelen of de gekozen doelfuncties in het optimalisatieprobleem moeten worden aangescherpt, zodanig dat de ontwikkeling door de tijd heen ook optimaal is.

Figuur 7 en Figuur 8 bieden inzicht in de resultaten van de optimalisatieproblemen T3 en T9. In beide problemen is geoptimaliseerd op gemiddelde snelheid. Zoals eerder beschreven, is T3 beperkt tot het saneren van 3 km leidingenlengte per jaar, terwijl dat in probleem T9 5 km is. Daarnaast gaat Gondwana in probleem T3 uit van de BOS-prioritering, terwijl in T9 alle leidingen in aanmerking komen voor sanering. De kleuren in de figuren geven het vervangingsjaar aan. Figuur 8 biedt inzicht in de verschillen tussen beide transitieperioden.



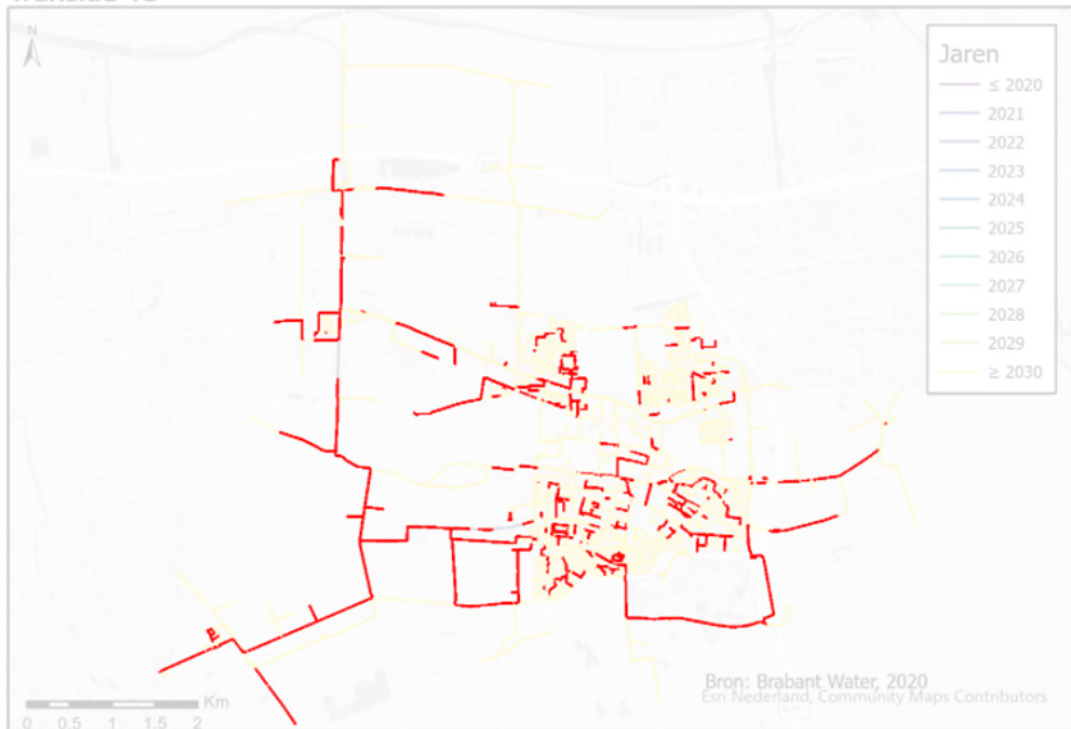
Figuur 7. Visualisatie van het vervangingsplan geïdentificeerd door het optimalisatieprobleem T3. In dit probleem is uitgegaan van de BOS-prioritering en zijn enkel de leidingen te saneren gedurende de eerste 10 jaar in aanmerking genomen (269 van de 5411 leidingen), met een maximale te saneren lengte vastgelegd op 3 km/jaar. De volgorde van sanering is in dit geval gewijzigd ten opzichte van het BOS om de gemiddelde stroomsnelheid in leidingen te maximaliseren. De verschillende kleuren geven het vervangingsjaar aan.

Transitie T9



Figuur 8. Visualisatie van het vervangingsplan geïdentificeerd door het optimalisatieprobleem T9. In dit probleem is alle vrijheid aan Gondwana gegeven om de leidingen te saneren gedurende de eerste 10 jaar te kiezen, met als doel het maximaliseren van de gemiddelde stroomsnelheid, beperkt door een maximale te saneren lengte gelijk aan 5 km/jaar. De verschillende kleuren geven het vervangingsjaar aan.

Transitie T3



Figuur 9. Verschil tussen figuren 6 en 7. Leidingen in het rood hebben een verschillend vervangingsjaar in T3 en T9.

Het is duidelijk te zien dat er een groter aantal leidingen wordt gekozen in transitie T9 dan in T3, omdat er ruimte is om meer leidinglengte te vervangen. Daarnaast zien we dat enkele leidingen uit de BOS-prioritering ook door Gondwana worden gekozen (leidingen met een kleur anders dan geel), wanneer Gondwana alle vrijheid krijgt, maar dat dit niet voor alle leidingen het geval is. Gondwana kiest leidingen die niet in de BOS-prioritering voorkomen, en kiest in sommige gevallen ook om leidingen uit de BOS-prioritering juist niet in de eerste 10 jaar te saneren, omdat dit voordeliger is voor de zo snel mogelijke verbetering van de snelheid in leidingen (door bv. eerst leidingen die worden verkleint te saneren). Dit kan de keuze voor de sanering van een bepaalde leiding in een gegeven jaar versterken (wanneer de leiding zowel door het BOS als Gondwana wordt gekozen), of juist de asset-manager van een drinkwaterbedrijf verschillende alternatieve (soms tegenstrijdige) opties bieden.

4.2.2 Volledige tijdshorizon van 90 jaar

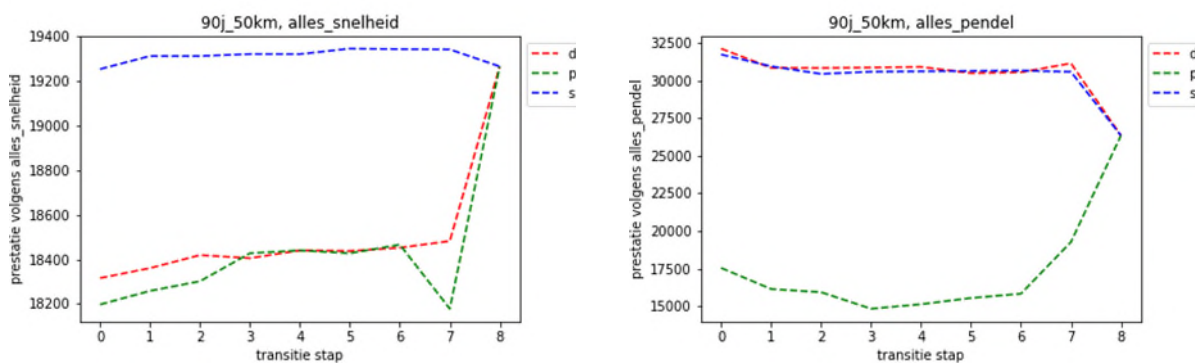
Tabel 6 bevat een samenvatting van de resultaten verkregen voor de optimalisatieproblemen op lange termijn, d.w.z., de volledige tijdshorizon van 90 jaar, in stappen van 10 jaar. Zoals bij T1-9, zijn de resultaten verschillende alternatieve transitie, waarbij een lijst met het decennium waarin elke leiding wordt gesaneerd hoort en tot welke prestatie op de verschillende indicatoren deze keuze leidt. In dit geval komen alle 5411 leidingen in de streefstructuur aan bod. Dit wil zeggen dat de tijdshorizon wordt gebruikt om het hele leidingnet te saneren. Het eindplaatje is dus de streefstructuur. Het is daarom te verwachten dat de verbetering op de verschillende prestatie-indicatoren veel groter is dan bij de transitie voor de eerste 10 jaar.

Wanneer de transitie over de volledige tijdshorizon wordt geoptimaliseerd, wordt het ook duidelijk dat een verbetering op een van de indicatoren vaak ten koste gaat van de andere. De prestatie op het risicoreductierendement (RRR) wordt bv. altijd verslechterd. Net zoals bij de transitie op korte termijn, is uit de resultaten te zien dat voor de levering onder de gewenste druk van 300 kPa de meeste verbeteringen mogelijk zijn. Bij alle alternatieve transitie wordt de prestatie op deze indicator verbeterd, tussen de 44 en 72%. Wanneer op levering onder de gewenste druk wordt geoptimaliseerd, is deze verbetering het grootst, maar dit gaat wel ten koste van de prestatie op het risicoreductierendement, het aantal pendelzones en de gemiddelde snelheid (bij 50 km/decennium). Optimaliseren op het minimaliseren van het aantal pendelzones leidt tot een verbetering van 30-34% op deze indicator, en leidt ook op een significante verbetering van de levering onder de gewenste druk. Op de gemiddelde snelheid zijn geen significante verbeteringen zichtbaar (slechts 3%). De randvoorwaarden voor de te saneren leidinglengte per decennium lijken niet van grote invloed te zijn. Waarschijnlijk is het in deze casestudy met 30 km/decennium al goed mogelijk om de 'grote slagen' te slaan, d.w.z., dat na 90 jaar via 30km/decennium ($30 \cdot 9 = 270$ km) de streefstructuur al redelijk is bereikt. Met 50 km/decennium wordt er wel meer gesaneerd ($50 \cdot 9 = 450$ km), maar de vraag is of in het verschil van 180 km (450-270) enkel de laatste optimalisaties in de marges worden gedaan.

Tabel 6. Percentuele verbetering of verslechtering van de geoptimaliseerde transitie verkregen voor optimalisatieproblemen T10-T15 (voor de komende 90 jaar, in stappen van 10 jaar) op de verschillende gekozen prestatie indicatoren, met als referentie de transitie uit het BOS. De kleuren geven aan of het gaat om een verbetering van meer dan 2,5% (groen, hoe donkerder, hoe groter te verbetering), verslechtering van meer dan 2,5% (oranje, hoe donkerder hoe groter te verslechtering) of minder dan 2,5% verschil (grijs). De resultaten in absolute getallen staan in bijlage V.

		Percentuele verbetering/verslechtering op de prestatie op indicatoren in relatie tot het transitieplan uit het BOS:				
		Transitie geoptimaliseerd op:	RRR	# pendelzones	Gemiddelde snelheid	Levering P<300 kPa
T10	30 km/10 j	Min. P < 30	-7.00	-17.00	3.00	72.00
T11		Min. # pendelzones	-6.00	34.00	-2.00	57.00
T12		Max. gem. snelheid	-3.00	-24.00	3.00	69.00
T13	50 km/10 j	Min. P < 30	-5.00	-24.00	-1.00	72.00
T14		Min. # pendelzones	-1.00	30.00	-1.00	44.00
T15		Max. gem. snelheid	-8.00	-24.00	3.00	69.00

Figuur 10 biedt inzicht in enkele voorbeelden van de ontwikkeling van de prestatie van verschillende transitie op de indicatoren door de transitieperiode heen (gecumuleerde verbetering).



(a) Ontwikkeling van de prestatie van transitie T13 (rode curve, d), T14 (groene curve, p) en T15 (blauwe curve, s) op de gemiddelde snelheid in de leidingen.

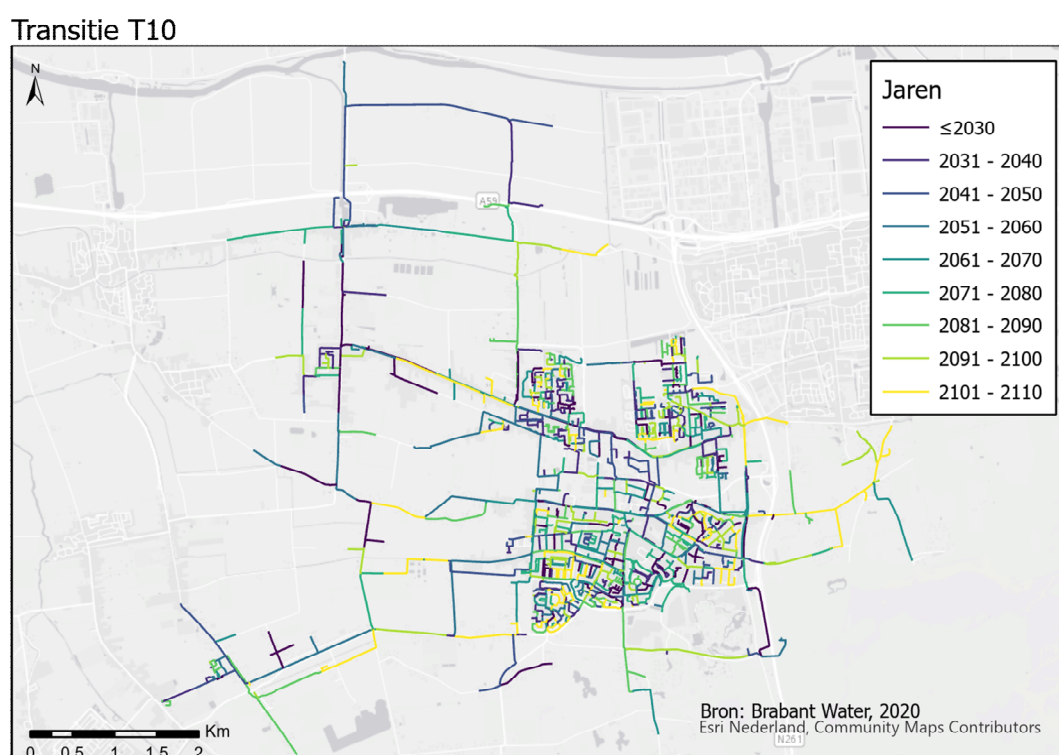
(b) Ontwikkeling van de prestatie van transitie T13 (rode curve, d), T14 (groene curve, p) en T15 (blauwe curve, s) op het aantal pendelzones in de leidingen.

Figuur 10. Ontwikkeling van de prestatie van verschillende transitie op verschillende indicatoren door de tijd heen.

Zoals bij Figuur 6 is te zien dat aan het einde van de transitieperiode de prestatie op een indicator gelijk is. In dit geval is de streefstructuur op dat moment bereikt en hoort de prestatie dus bij de prestatie van de ontworpen streefstructuur. De weg daarnaartoe verschilt. In Figuur 10a is te zien dat de transitie T15 (blauwe curve), geoptimaliseerd snelheid in leidingen, door de tijd heen zorgt voor een hogere gemiddelde snelheid in vergelijking met de transitie T13 (rode curve) en T14 (groene curve). In de laatste stappen worden leidingen gesaneerd die juist zorgen voor een afname in de gemiddelde snelheid. De transitie T13 en T14 kiezen andere paden om de streefstructuur te bereiken, en alhoewel de snelheid toeneemt, is het transitie T15 gelukt om de gemiddelde snelheid vanaf het begin te maximaliseren, d.w.z., in de het eerste decennium zijn de leidingen met het meeste impact op de snelheid direct aangepakt. In Figuur 10b is te zien dat transitie T14 (groene curve) het aantal pendelzones tijdens de transitie lager houdt dan transitie T13 en T15, T14 is immers geoptimaliseerd op het minimaliseren van het aantal pendelzones, terwijl T13 en T15 op andere indicatoren zijn geoptimaliseerd. Aan het einde van de transitieperiode nemen het aantal pendelzones toe, naar het aantal dat hoort bij de streefstructuur.

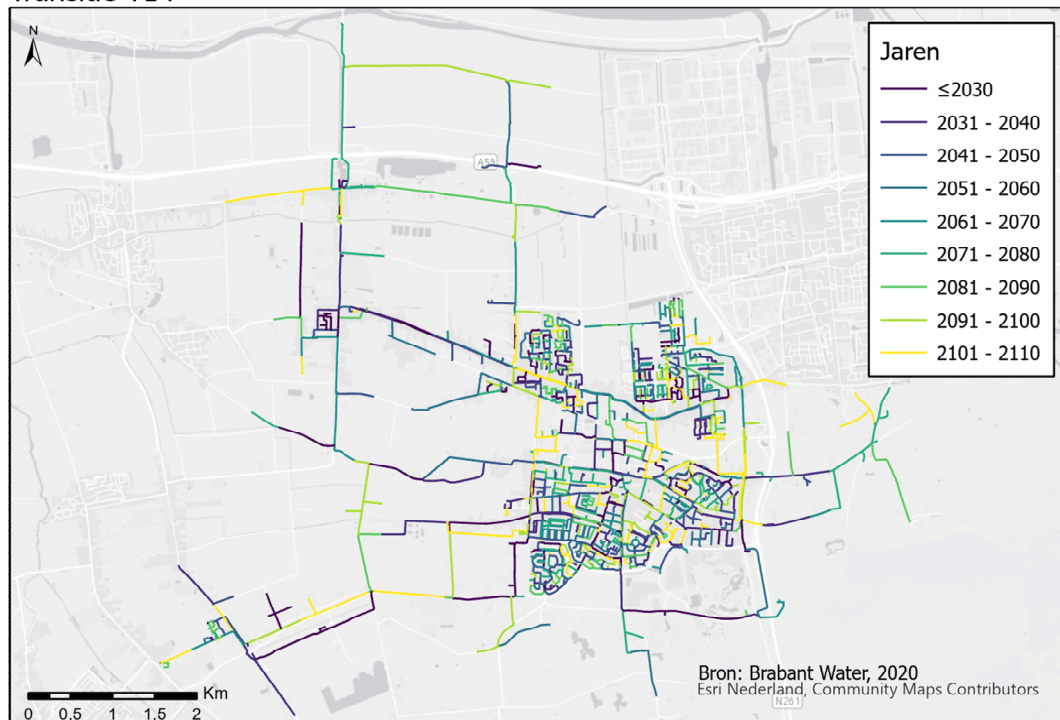
Figuur 11 en Figuur 12 bieden inzicht in de resultaten van de optimalisatieproblemen T10 en T14. In probleem T10 is geoptimaliseerd op het minimaliseren van de levering onder de gewenste druk, terwijl in probleem T14 is geoptimaliseerd op het minimaliseren van het aantal pendelzones. Verder, is T10 beperkt tot het saneren van 30km leidingen per decennium, terwijl dat in probleem T14 50km is. De kleuren in de figuren geven de vervangingsjaren aan. Figuur 12 biedt inzicht in de verschillen tussen beide transities.

Enkele leidingen worden in beide transities in hetzelfde decennium gesaneerd (leidingen met dezelfde kleur in beide figuren). Andere leidingen worden afhankelijk van de gekozen transitie in een ander decennium gesaneerd, en soms is dit verschil behoorlijk groot. Onderaan rechts bv. wordt een groot traject aangewezen voor sanering in 2091-2100 in transitie T10, terwijl dat in transitie T14 al vóór 2030 is. Ook in dit geval kunnen overeenkomsten keuzes versterken, terwijl verschillen juist eisen dat assetmanagers keuzes maken aan de hand van bedrijfsspecifieke voorkeuren en beleid.

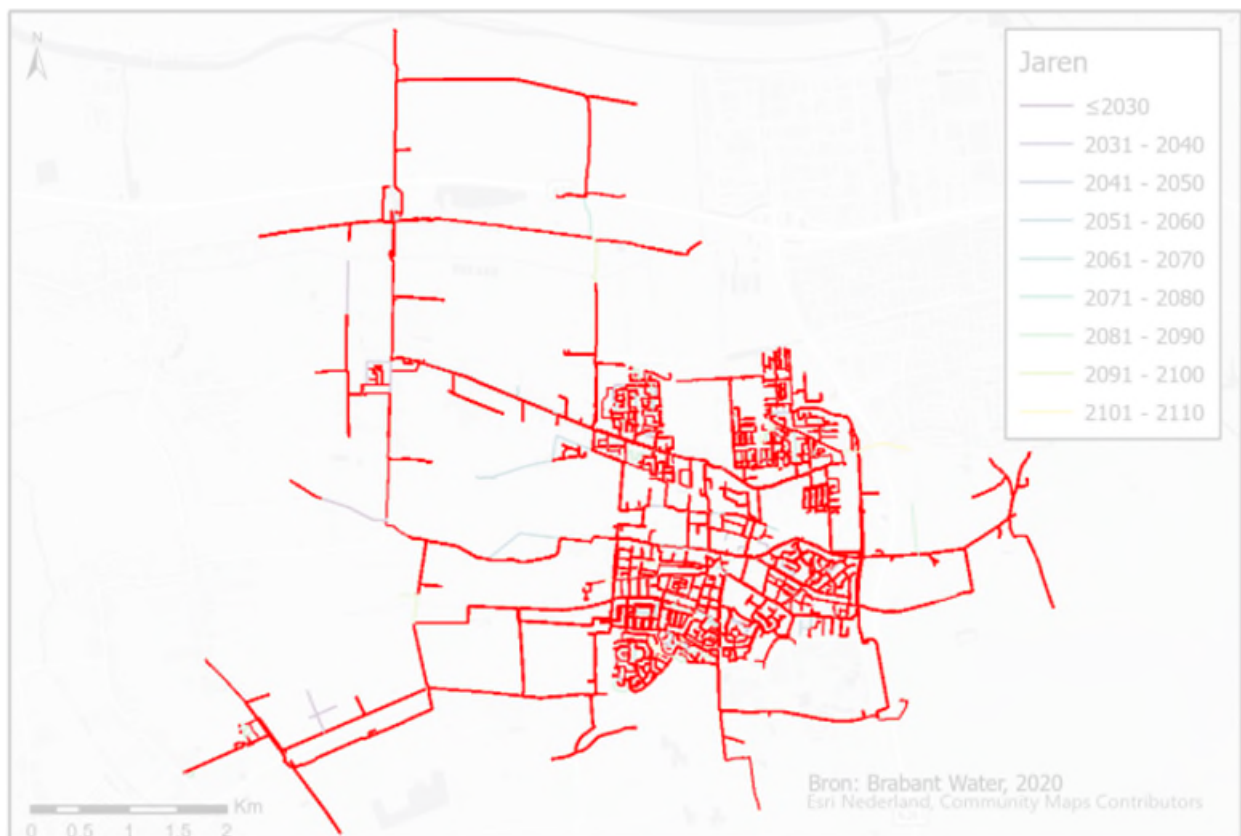


Figuur 11. Visualisatie van het vervangingsplan geïdentificeerd door het optimalisatieprobleem T10, met als doel het minimaliseren van de levering onder de gewenste druk. In dit probleem is uitgegaan een maximale te saneren lengte vastgelegd op 30 km/decennium. De verschillende kleuren geven de vervangingsjaren aan.

Transitie T14



Figuur 12. Visualisatie van het vervangingsplan geïdentificeerd door het optimalisatieprobleem T14, met als doel het minimaliseren van het aantal pendelzones. In dit probleem is uitgegaan een maximale te saneren lengte vastgelegd op 50 km/decennium. De verschillende kleuren geven de vervangingsjaren aan.



Figuur 13. Verschil tussen figuren 9 en 10. Leidingen in het rood hebben een verschillend vervangingsjaar in T10 en T14.

4.3 Discussie

De resultaten zijn gedeeld met Brabant Water ter discussie en zijn ook met de projectgroep besproken. Hieruit blijkt het volgende:

- De transities uit Gondwana komen deels overeen met de transitie uit het BOS, namelijk de Gondwana-transities T4-6 (korte termijn, 'BOS, 5 km/j') komt op sommige punten goed overeen met de vervangingsvolgorde van Brabant Water.
- De resultaten zijn aanvullend en helpen Brabant Water om locaties te identificeren waar het (hydraulisch) voordelig is om net wat meer leidingen te gaan vervangen dan oorspronkelijk begroot.
- Omdat er geen randvoorwaarden zijn ingebouwd om in langere tracés of clusters (bv. afsluitersecties) te saneren, bestaat het risico dat Gondwana erg gefragmenteerde oplossingen vindt, die goed presteren op de gekozen indicatoren, maar die in de praktijk minder goed uitvoerbaar zijn. In de resultaten lijkt dit goed mee te vallen, d.w.z., de gevonden oplossingen zijn niet te gefragmenteerd en zijn in de praktijk uitvoerbaar, ook wanneer Gondwana alle vrijheid heeft om de saneringsvolgorde te bepalen.
- Het verschil in prioritering van leidingen voor de verschillende doelen, druk, pendel en snelheid, is opvallend. In de selectie van projecten is het dan lastig om hieruit een projectgebied aan te maken. Inzicht in de percentuele verbetering/verslechtering op de prestatie op indicatoren (Tabellen 5 en 6) is belangrijk om keuzes te onderbouwen. Maar toch blijft dit nog een uitdaging voor een drinkwaterbedrijf. Verschillende doelfuncties tegen elkaar uitzetten in een pareto-curve kan hier verder inzicht in bieden. Zo wordt inzichtelijk wat de invloed van concessies op één aspect hebben op verbeteringen op een ander aspect.
- Verschillen in het risicoreducerendement berekend door Gondwana en Rasmariant (BOS) zijn niet eenvoudig uit te leggen. Een mogelijke verklaring is dat Rasmariant rekening houdt met een minimum saneringslengte (minimaal 30% van een tracé tussen afsluiters). D.w.z. dat een gekozen tracé een combinatie kan zijn van hoge en lage RRR. Gondwana heeft de vrijheid om juist meerdere kleine, gefragmenteerde, tracés, met hogere RRR te prioriteren. Een mogelijke conclusie is dus dat door extra vrijheid de RRR score in de transities uit Gondwana hoger is, maar de vraag is of dit praktisch gezien nog steeds haalbaar is.
- De ontwikkeling van de prestatie van de verschillende transities door de tijd heen is in een laat stadium in het project onderzocht en vertoont niet altijd een consistent gedrag. Zeker wanneer wordt gekeken naar de eerste 10 jaar, schommelt vaak de prestatie op een indicator door de tijd heen. Dit heeft te maken met de gekozen doelfuncties en randvoorwaarden, die focussen op de som van de prestaties over de stappen heen, maar niet op een geleidelijke verbetering. Het gedrag lijkt consistent te zijn wanneer er naar de gehele transitieperiode wordt gekeken. Het is waardevol om in vervolgonderzoek meer aandacht te besteden aan de ontwikkeling van de prestatie door de tijd heen en doelfuncties te onderzoeken die hier meer geschikt voor zijn.

5 Conclusies

5.1 Conclusie

De transitie van de huidige infrastructuur van een leidingnetwerk naar een streefstructuur is een complex probleem. Verschillende overwegingen spelen hierin een rol, zowel hydraulisch als risicogedreven. De huidige beslissingsondersteuningssystemen bij drinkwaterbedrijven bieden een prioritering op basis van risicoaspecten, zoals storings, leeftijd van leidingen en effecten veroorzaakt door het falen van leidingen. In dit onderzoek is vastgesteld dat het waardevol is om naast deze aspecten ook de hydraulische prestatie in aanmerking te nemen bij de transitie naar een streefstructuur. Het maximaliseren van de gemiddelde snelheid, minimaliseren van pendelzones en levering onder de gewenste druk, komen naar voren als de meest geschikte en waardevolle doelfuncties. Deze aspecten kunnen worden vertaald naar concrete en objectieve optimalisatieproblemen. Door vervolgens numerieke optimalisatietechnieken toe te passen (in dit onderzoek – het optimalisatieplatform Gondwana), is het mogelijk om verschillende alternatieve transities eenvoudig (en geautomatiseerd) door te rekenen. Om te voorkomen dat de keuze voor een transitie een ‘black box’ wordt, is expliciet gekozen om verschillende prestatie-indicatoren niet te combineren in één enkele doelfunctie, maar om de assetmanager de informatie en inzicht te bieden om overwogen keuzes te maken (‘het blijft mensenwerk’). Daarom is gekozen om meerdere alternatieve transities door te rekenen in de vorm van verschillende optimalisatieproblemen. Zo zijn in dit project in totaal 15 alternatieve transities bepaald voor het leidingnetwerk dat het gebied van Kaatsheuvel van drinkwater voorziet (Brabant Water), rekening houdend met verschillende prestatie indicatoren, tijdshorizon en het wel of niet in aanmerking nemen van de BOS-prioritering. Deze exercitie zou handmatig moeilijk (of niet) haalbaar zijn.

De alternatieve geoptimaliseerde transities zijn uitgewerkt als verschillende lagen in een GIS kaart. Zo kan de assetmanager bij een drinkwaterbedrijf, in dit geval Brabant Water, eenvoudig de verschillende opties visualiseren en met elkaar vergelijken. Het maken van de beste keuze blijkt dan toch nog lastig te zijn. De verschillende alternatieve transities zijn daarom ook met elkaar vergeleken, om inzicht te geven in hoe elke transitie presteert op de verschillende, vaak tegenstrijdige, prestatie indicatoren. Deze vergelijking samen met de GIS-visualisatie, helpen assetmanagers onderbouwde keuzes te maken m.b.t. welke transitie (of combinatie van) daadwerkelijk gekozen wordt voor realisatie. Uit de resultaten van de casestudie uitgevoerd in dit onderzoek blijkt het volgende:

- De prestatie-indicator ‘Levering onder de gewenste druk’ is waar de meeste verbetering is te halen. Alle geoptimaliseerde transities presteren beter op deze indicator in vergelijking met het vervangingsplan uit het BOS. Op korte termijn, is tussen de 12 en 73% verbetering mogelijk, afhankelijk van de leidinglengte die per jaar kan worden gesaneerd en de keuzevrijheid in het optimalisatieprobleem (namelijk, het wel of niet in aanmerking nemen van BOS-randvoorwaarden). Op lange termijn zijn verbetering tussen de 44 en de 72% mogelijk ten opzichte van het BOS-plan.
- Verbetering op ‘aantal pendelzones’ en ‘gemiddelde snelheid in leidingen’ is geringer, voornamelijk op de korte termijn.
- Op lange termijn leidt het minimaliseren van het aantal pendelzones tot een verbetering van 30-34% op deze indicator, en leidt ook op een significante verbetering van de levering onder de gewenste druk.
- Een verbetering op één van de indicatoren gaat vaak (maar niet altijd) gepaard met een verslechtering op de anderen indicatoren.

Dit onderzoek illustreert de mogelijkheid om met numerieke optimalisatietechnieken hydraulische aspecten te formuleren als (een van meerdere) doelfuncties bij een transitie naar een streefstructuur. Dit biedt het perspectief om met Gondwana de beslissingsondersteuningssystemen aan te vullen die op dit moment in gebruik zijn bij de waterbedrijven.

Naast de meer kwantitatieve resultaten en conclusies, valt ook op te merken dat deze benadering een positief effect heeft op de samenwerking tussen leidingnetmodelleurs en assetmanagers: het in aanmerking nemen van hydraulische aspecten in de transitie naar een streefstructuur vergt een grotere samenwerking tussen deze afdelingen, dan wanneer enkel risicogedreven aspecten in aanmerking worden genomen.

5.2 Aanbevelingen

- 1 Zowel het ontwerp van een streefstructuur als de transitie daarnaartoe zijn **maatwerk** en moeten daarom rekening houden met bedrijfsspecifieke voorkeuren en gebied specifieke kenmerken en randvoorwaarden. Dit geldt zowel voor het formuleren van het optimalisatieprobleem als voor de interpretatie van de resultaten en de uiteindelijke keuze voor een vervangingsplan. Het wordt aanbevolen om in dergelijke projecten aandacht te besteden aan een goede samenwerking tussen experts bij de drinkwaterbedrijven en onderzoekers zodanig dat maatwerk wordt geleverd.
- 2 De verkregen resultaten zijn afhankelijk van het gebied, de prestatie van de huidige infrastructuur en van de streefstructuur. Hierbij valt op te merken dat het leidingnet van Kaatsheuvel hydraulisch goed presteert. Er treden bv. geen problemen op met betrekking tot leveringscontinuïteit. Het is daarom interessant om de benadering toe te passen op een gebied dat kampt met een minder goede hydraulische prestatie en waar ook een groter verschil is tussen de huidige infrastructuur en de streefstructuur. Het belang om rekening te houden met de **leveringscontinuïteit** tijdens de transitie kan in een dergelijk gebieden duidelijk naar boven komen.
- 3 Het optimalisatieproces kost per alternatieve transitie meerdere dagen/weken rekentijd. Dit kan worden versneld door meer **rekencapaciteit** te gebruiken, en de berekeningen waar mogelijk te paralleliseren. Hier wordt momenteel door KWR aan gewerkt.
- 4 In vervolgonderzoek is het belangrijk om vanaf het begin naar de ontwikkeling van de prestatie van de verschillende transities door de tijd heen, de **gecumuleerde verbetering**, te kijken en onderzoek te doen naar de geschikte doelfuncties in het optimalisatieprobleem, om te zorgen dat de ontwikkeling door de tijd heen ook optimaal is. Hiermee heeft een assetmanager inzicht en controle in hoe snel een prestatie indicator wordt verbeterd.
- 5 Meerdere benaderingen zijn denkbaar bij de optimalisatie van de transitie naar een streefstructuur. In dit onderzoek is één daarvan uitgewerkt. Het wordt aanbevolen om in vervolgonderzoek een benadering uit te werken gebaseerd op **'regret'**, d.w.z. om 'no regret' leidingen te kiezen bij een vervangingsplan, met nadruk op hoe 'regret' in dit geval goed kan worden gedefinieerd.
- 6 Zowel het ontwerp van als de transitie naar een streefstructuur moeten met regelmaat worden **geüpdatet**. Het wordt aanbevolen om de transitie (en de verschillende lagen daarin) bv. om de 2 jaar door te rekenen, rekening houdend met gemaakte keuzes en nieuwe informatie.
- 7 Voor de praktijk blijkt dat de focus op **kortere termijn** belangrijker is dan de langere termijn. Dit omdat de streefstructuur waarschijnlijk nog verandert; de onzekerheid is groot. Vervolgstappen zouden daarom moeten focussen op transities voor de eerste 10 jaar, voor de streefstructuur die **nu** is voorbereid door een drinkwaterbedrijf en die **nu** geldig is.
- 8 Het is van belang om transitieplannen **integraal over alle voorzieningsgebieden** uit te werken, om de te vervangen leidinglengte op elkaar af te stemmen en te optimaliseren, i.p.v. oplossingen te begrenzen per gebied (dit kan leiden tot suboptimale/lokale oplossingen).
- 9 In dit onderzoek is een aanname gemaakt met betrekking tot het **risicokosten reductie rendement**. Bij implementatie in de praktijk is het van belang om de ontwikkeling van het risicokosten reductie rendement, per leiding en door de tijd heen, wel in aanmerking te nemen tijdens de optimalisatie. Dit is technisch mogelijk in Gondwana. Aan het einde van het project is gebleken dat het achterhalen van deze benodigde data uit het BOS met enige inspanning wel mogelijk is.
- 10 De geoptimaliseerde transities zouden idealiter moeten worden doorgerekend in het BOS om eventuele verschillen beter te interpreteren. Dit blijkt op dit moment niet haalbaar te zijn. Dit wil zeggen dat Gondwana rekening kan houden met BOS-prioriteringen, maar dat het BOS geen rekening kan houden met een Gondwana-

prioritering. Bij implementatie zou het juist waardevol zijn om een 'dialogoog' mogelijk te maken tussen **Gondwana en het BOS**, en om in een iteratief proces te werken naar een optimale en uitvoerbare transitie, in een benadering dat voor drinkwaterbedrijven goed bruikbaar is. Om dit te bereiken is het nodig dat de BOS'en Gondwana-prioriteringen kunnen inlezen en als invoer kunnen gebruiken om een nieuwe risico-gedreven prioritering door te rekenen.

5.3 Implementatie

Dit onderzoek biedt het perspectief om met Gondwana de beslissingsondersteuningssystemen aan te vullen die op dit moment in gebruik zijn bij de drinkwaterbedrijven, of zelfs een 'dialogoog' tussen beiden systemen te stimuleren, om drinkwaterbedrijven nog verder te ondersteunen in het maken van keuzes voor de transitie naar streefstructuren. De uitgewerkte methodiek is, door KWR-onderzoekers in samenwerking met assetmanagers en hydraulische modellers bij drinkwaterbedrijven, klaar voor een pilot-implementatie in de praktijk.

Om deze resultaten samen met een drinkwaterbedrijf in de vorm van een pilot in de praktijk te brengen, is het nodig om:

- Een pilotgebied te definiëren, d.w.z., een voorzieningsgebied van een drinkwaterbedrijf, waarvoor een streefstructuur beschikbaar is.
- Een iteratief ontwerpproces te doorlopen, waarin onderzoekers van KWR, leidingnetmodellers en assetmanagers van het drinkwaterbedrijf samen (1) gebied- en bedrijfsspecifieke doelstellingen en randvoorwaarden bespreken voor de transitie naar de streefstructuur, (2) optimalisatieberekeningen evalueren, (3) knelpunten identificeren, en (4) het optimalisatieprobleem aanscherpen. Op deze manier wordt er samen gewerkt naar een transitie die optimaal aansluit op de wensen en behoeftes van de praktijk.
- Verschillende optimalisatieberekeningen in Gondwana uit te voeren aan de hand van de keuzes gemaakt in het iteratief proces.

Met betrekking tot data, is het volgende nodig:

- Een werkend en geverifieerd model in EPANET-formaat van het (1) huidige leidingnet en (2) de streefstructuur van het pilotgebied. Indien er nog geen streefstructuur is ontworpen kan deze met behulp van Gondwana worden ontworpen.
- BOS prioritering voor het pilotgebied.
- Lijst met het risicokosten reductie rendement, per leiding en door de tijd (transitieperiode) heen, in GIS of XLSX-formaat.
- Eventueel aanvullende relevante gegevens in GIS of XLSX-formaat, zoals bv. aantal aansluitingen per leiding (i.v.m. leveringscontinuïteit analyses),

Referenties

Laverman, R. en Molegraaf, H. (2015) Vervangingsbult en afsluiter-effect Brabant Water met Rasmariant. Rolsch Assetmanagement rapport.

Agudelo-Vera, C. en E. J. M. Blokker (2016) Ontwerp secundair net aangescherpt, evaluatie na vijf jaar praktijkervaring BTO 2016.090, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Agudelo-Vera, C. M., A. Moerman en A. J. Vogelaar (2016) Kwantitatieve risicoanalyse van leidingnetten - Stand van zaken sinds 2008, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Agudelo-Vera, C. A. en E. J. M. Blokker (2018) Vergelijken vervangingsstrategieën AC-leidingen, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Beuken, R.H.S., Mesman, G. (2015) Actualisatie driehoeksverdelingen voor onderbouwing investeringsprognoses leidingen, BTO 2015.223(s), KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Beuken, R.H.S, Van Vossen, J. (2017) Kwantitatieve vergelijking van beslissingsondersteunende software voor leidingsanering, BTO 2017.066, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Brans, J.P., Vincke, Ph., A (1985) Preference ranking organisation method: (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making. *Management Science*, 31, (6), p.647-656.

Keeney, R. (1982) Decision analysis: An overview. *Operations Research Society of America*, 30 (5), p.803-838.

Mala-Jetmarova, H. Sultanova, N., Savic, D. (2018) Lost in optimisation of water distribution systems? A literature review of system design. *Water*, 2018, 10, 307, doi:10.3390/w10030307.

Marques, J.; Cunha, M.; Savic, D. (2015) A Multicriteria Approach for a Phased Design of Water Distribution Networks. *Procedia Eng.* 2015, 119, 1231–1240.

Moglia, M., Burn, S., Meddings, S. (2006) Decision support system for a water pipeline renewal prioritization. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. Vol.11,p. 237-256.

Roebuck, J. (2011) Dunea WiLCO Pilotproject – WiLCO-pilot Projectsamenvatting .

Van Thienen, P., Vertommen, I. (2015) Gondwana: a generic optimization tool for drinking water distribution systems design and operation. *Procedia Eng.* 119, 2012-122, doi:10.1016/j.proeng.21015.08.978.

Van Vossen, J. en K. van Laarhoven (2017) Voorspellen storingsfrequenties, haalbaarheid en methodiek, BTO 2017.045, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Vertommen, I., Agudelo-Vera, C., Van Laarhoven K., Van Thienen, P. (2017) Optimaal ontwerp en transitie van streefstructuren. BTO 2017.08, KWR Water Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

Vertommen, I., Van Laarhoven, K., Van Thienen, P., Agudelo-Vera, C., Haaijer, T., Diemel, R. (2018) Optimal design of and transition towards water distribution network blueprints, *MDPI Proceedings* 2, 584, doi:10.3390/proceedings2110584.

Vertommen, I., Van Thienen, P., Klein Arfman, M. Optimization of network blueprints: application of Gondwana to a real-life network. In Proceedings of the Leading Edge Sustainable Asset Management of Water and Wastewater Infrastructure Conference (LESAM) 2017, Trondheim, Norway, 20—22 June 2017.

Vogelaar, A. & Blokker, E.J.M. (2011). Ontwerpen secundair leidingnet. BTO 2011.025, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

I Door Nederlandse waterbedrijven toegepaste beslissingsondersteuningssystemen

Deze Bijlage geeft een algemene beschrijving van vier beslissingsondersteuningssystemen die op dit moment bij Nederlandse drinkwaterbedrijven in gebruik zijn. Er is niet geprobeerd om een volledig overzicht te geven, maar een indruk van de functionaliteit op hoofdlijnen van dergelijke systemen. Deze evaluatie voor Transparant en WiLCO is overgenomen uit Beuken & Van Vossen (2017). De beschrijvingen van secties I.4 en I.5 zijn schatplichtig aan die in Beuken & Van Vossen, 2017 (Hoofdstuk 2).

WiLCO

Het softwarepakket WiLCO bestaat uit een rekenhart dat op basis van genetische algoritmen een optimale saneringsoplossing bepaald. Het pakket is ontwikkeld door SEAMS en heeft een driedelig hoofddoel (Roebuck, 2011):

- besluitvormingsondersteuning voor het opstellen van efficiënte investeringsplannen;
- een modelleringsomgeving voor snelle identificatie van gevolgen van besluiten;
- ondersteuning van een herhaalbaar en transparant proces van investeringsplannen.

WiLCO bestaat uit (i) een *strategisch model* voor investeringsbeslissingen op de lange termijn (ca. 25 jaar) voor een geheel voorzieningsgebied van een waterbedrijf en op het niveau van cohorten van leidingen met gelijke eigenschappen en (ii) een *operationeel model* voor de kortere termijn (ca. 10 jaar) afgestemd op de regio en op basis van berekeningen op het niveau van individuele leidingen. WiLCO bevat meerdere, deels gekoppelde applicaties waarmee de berekeningen visueel zijn te maken, onder meer met behulp van een GIS-viewer. De gebruikte modeldata bestaat uit: assetgegevens (leidingdiameter, -lengte) en gegevens van assetprestaties (storingen), ingrepen en kosten. Het opstellen van een model om berekeningen mogelijk te maken, bestaat uit onderstaande stappen:

- Voorbewerken van ruwe gegevens om *storingfrequenties* voor leidingen en *degradatiecurves* voor leidingcohorten te genereren.
- Opstellen van een multivariabel model voor het structurele *storingpercentage* van leidingen. De percentages zijn gebaseerd op historische storingsgegevens en geassocieerd naar leeftijd, materiaaltype, diameter en grondsoort.
- Inschatten van ondermaatse leveringsminuten (OLM), rekening houdend met de leidingdiameter en uitgesplitst naar geplande en ongeplande ingrepen.
- Opstellen van een strategisch en operationeel *risicoalgoritme* met behulp van relatieve gewichten van verschillende risicomponenten, onderbouwd door een risicomatrix.
- Opstellen van *modelkosten*, waarbij rekening wordt gehouden met alle kosten die volgen uit levering, inbedrijfstelling, bediening, onderhoud, reparaties, en buitenbedrijfstelling gedurende de levensduur van een asset of dienst. Naast CAPEX en OPEX, kunnen ook maatschappelijke kosten (zoals CO₂-uitstoot) worden opgenomen in het kostenmodel. Om de *waardering van de assets* in te sluiten in het model worden de boekwaarde en economische waarde toegevoegd aan de strategische cohorten en de operationele assets.

Na het opstellen van het model kan de gebruiker verschillende investeringsscenario's doorrekenen en de gevolgen van verschillende scenario's voor de service aan de klant kwantitatief en geografisch inzichtelijk maken.

WiLCO is gebruikt in een pilotstudie van Dunea. Daarin wordt het belang van robuuste en betrouwbare data onderstreept. Ook wordt het opstellen van een kwaliteitsmatrix aanbevolen, om daarmee de dekking, volledigheid, betrouwbaarheid en het belang van de data inzichtelijk te maken en de accuratesse van de uitkomsten beter te kwantificeren. Er wordt ook geconcludeerd dat het model verder uitgebreid kan worden, bijvoorbeeld door toevoeging van de waterkwaliteit en vraag en aanbod (bijvoorbeeld lekkages).

Rasmariant

Rasmariant is een analyse- en simulatietool voor infrabeheerondersteuning bij het prioriteren van infrabeheeractiviteiten. De tool is ontwikkeld door Rolsch Assetmanagement voor rioolbeheertoepassingen, maar is evengoed toepasbaar op drinkwaterdistributiesystemen. De tool is in gebruik bij Brabant Water en Waternet. Centraal in de methodiek is het bepalen van het vervangingsmoment van individuele leidingen op basis van een afweging van de kosten bij vervangen en niet vervangen van een leiding, waarbij i.h.a. de onderhouds- en risicokosten met de tijd zullen toenemen. De tool berekent projecties met een planningshorizon van honderd jaar. Hiermee worden investeringen en opbrengsten op de korte (operationeel niveau) en lange termijn (strategisch niveau) inzichtelijk voor verschillende beleidskeuzes. Risicokosten zijn inzichtelijk te maken op het niveau van individuele leidingen. Ook is mogelijk om het effect van afsluiterfalen op de OLM te berekenen—bruikbaar voor afsluiter-onderhoudsplanning.

In de analyse voor Brabant Water is gebruik gemaakt van de volgende data:

- Assetgegevens: materiaalsoort, leidingdiameter, -lengte, en -aanlegjaar.
- Kostengegevens: vervangings-, reparatie en -onderhoudskosten gegroepeerd per materiaalsoort- en leidingdiameter-groep.
- Storingsgegevens: historische gegevens van storingsen over de jaren 2010 t/m 2014.
- Gegevens van de omgeving om effecten te bepalen: Bevat theoretische OLM-gegevens en Externe Effecten Leidingen (EEL),
- Gewichten voor de risicoanalyse: de OLM- en de EEL-informatie wordt uitgedrukt in euro's en vormt daarmee de gewichten van risicoeffecten.

Transparant

Transparant is een analysemethode die is ontwikkeld door het drinkwaterbedrijf PWN. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een driehoeksverdeling voor het beschrijven van de levensduur van leidingcohorten en de daarbij gehanteerde levensduren (zie ook Beuken en Mesman, 2015). In Transparant wordt van elke leiding de maximum levensduur als uitgangspunt aangehouden. Per leiding wordt met behulp van kennisregels aangegeven wat de effecten kunnen zijn van een leidingbreuk. Deze kennisregels betreffen de levering aan klanten, schade voor de omgeving en het imago voor het drinkwaterbedrijf. Voor diverse effectcategorieën is een positie binnen de driehoek vastgesteld, die de zogenaamde Maatschappelijke Levensduur van de leiding weergeeft. Vervolgens worden factoren vastgesteld die tot een bekorting van de levensduur kunnen leiden. Voor deze factoren zijn kennisregels opgesteld die aangeven met hoeveel jaar de levensduur wordt bekort. De kennisregels die in Transparant worden toegepast, zijn gebaseerd op expertkennis en zijn zelf door een gebruiker aan te passen. Met behulp van een GIS-applicatie wordt volgens de methodiek van Transparant voor elke leiding het jaar van sanering vastgesteld. Vervolgens worden de bijbehorende exploitatiekosten, kapitaalkosten en te verwachten OLM hiervan afgeleid. Transparant heeft een planningshorizon van tweehonderd jaar.

IMQS

IMQS is een softwareplatform, bestaande uit verschillende componenten voor het uitvoeren van analyses van verschillende soorten infrastructuur. Voor Vitens is een tool ontwikkeld waarbij informatie uit verschillende databronnen wordt gecombineerd om te komen tot een zogenaamde Pipe Replacement Potential (PRP) voor elke leiding. Deze PRP-waarde representeert de risicoperceptie van Vitens van een leidingbreuk. Zij is berekend als het product van een kansgetal en een effectgetal. Het kansgetal representeert de kans dat een leidingbreuk kan optreden en het effectgetal wat de bijbehorende negatieve effecten zijn van een leidingbreuk. Dit kans- en effectgetal wordt bepaald m.b.v. een multicriteria-analyse, waarbij diverse componenten (materiaaleigenschappen, hydraulische omstandigheden, eigenschappen van de omgeving) bijdragen aan het kans- en effectgetal. Voor elke component wordt o.b.v. eigenschappen van de leiding of de omgeving van de leiding een waarde toegekend die varieert van 1 tot en met 5, waarbij 1 staat voor een lage kans of een laag effect en 5 voor een hoge kans of een hoog effect.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen een PRP voor een lange- en een kortetermijnberekening. Voor de kortetermijnberekening wordt ook rekening gehouden met de storingsfrequentie van individuele leidingen. De restlevensduur die in de berekening van het kansgetal een grote impact heeft, is vastgesteld op basis van expertschattingen.

Afhankelijk van het beschikbare budget voor het saneren van leidingen, worden de leidingen geselecteerd met de hoogste PRP-waarde. IMQS berekent met behulp van kostenkennallen vervolgens een scenario dat de toekomstige kapitaallasten (Capex), onderhoudslasten (Opex) en OM weergeeft binnen de strategische randvoorwaarden.

II Enquêtevragen

Van

Joost van Summeren (KWR)

Onderwerp

Enquête prestatieindicatoren bij transitie streefstructuren

Datum

19 juli 2019

Bestemd voor

Wout Kompagnie (Waterbedrijf Groningen), Aulia Galama-Tirtamarina, Nico van der Moot (WMD), Roel Diemel, Tjakko Haaijer (Brabant Water), Anton van Eijden, Richard Peerboom (WML), Peter Horst (PWN), Hala Alhamed, Joost Louter (Waternet), Maurice van de Roer (Dunea), Bas Bouwman (Oasen), Arno Bindt (Evides), Cristina Orodol (De Watergroep).

Pagina

39/59

Doel van deze memo

- In het kader van het BTO Transitie Streefstructuren II vraagt KWR de waterbedrijven om een enquête in te vullen. Het projectplan is toegevoegd waarin de achtergrond van het project staat beschreven.
- Eén van de doelen binnen het project is om geschikte key performance indicators (KPI's) te definiëren bij de transitie van de huidige leidingstructuur naar de streefstructuur die zowel hydraulisch aspecten als de AM-prioritering kwantificeerbaar en inzichtelijk maakt.
- De enquêtevragen zoals hieronder te vinden zijn enerzijds gericht op het huidige gebruik van de beslissingsondersteuningssystemen (BOS) bij de bedrijven, en anderzijds op welke functionaliteit toegevoegde waarde kan bieden.
- Bij sommige vragen zijn een aantal voorbeelden toegevoegd, bedoeld om de vragen te duiden, niet om de antwoorden te sturen. Voelt u vrij om uw antwoorden los van deze voorbeelden te formuleren. De voorbeelden in de tabellen mogen verwijderd worden.
- Antwoorden graag toevoegen onder elke vraag en in rode letterkleur.
- Uiteraard is het geen probleem om de vragen af te stemmen of door te sturen aan collega's.
- Graag ontvangen wij de antwoorden vóór 3 augustus 2019. Graag vernemen wij per ommekeer of het mogelijk is om de enquête in te vullen, en of evt. meer tijd nodig is om te reageren.
- Neem bij eventuele vragen gerust contact op met ondergetekende of Ina Vertommen.

Enquête**Deel I – Huidig gebruik van beslissingsondersteuningssystemen door waterbedrijven**

1. Ontwerpt het waterbedrijf streefstructuren? Zo ja, is dit een stap die vóór of ná het opstellen van vervangingsplannen wordt uitgevoerd?
2. Worden leidingen proactief of reactief vervangen?
3. Welk BOS gebruikt het bedrijf?
4. Met welk doel wordt het BOS ingezet? Probeer hierin zo specifiek mogelijk te zijn. Meerdere doelen zijn mogelijk, in dat geval graag aangeven welke het belangrijkste is.
5. Op welke gebied(en) is het BOS toegepast? Ging het om een proof-of-principle, pilot, of volwaardige toepassing?
6. Is het BOS toegepast voor inzichten op operationeel of strategisch niveau, of beide?
7. Welke data is gebruikt? Denk aan gegevens van leidingen, storingen, omgeving, kosten, wegingsfactoren uit risico-matrix of anderszins, etc. Geef waar relevant zo duidelijk mogelijk aan om hoeveel data het gaat, voor welke periode en voor welk gebied.

8. Welke (type) randvoorwaarden en doelstellingen worden gebruikt? Denk hierbij aan totaalbudget voor leidingvernieuwing, minimaal percentage te vervangen leidingen, minimale te behalen risicoreductie, etc. (NB. De precieze getallen kosten, e.d. zijn niet per se nodig om te vermelden.)
9. Welke bewerkingsstappen van de ruwe data worden uitgevoerd voorafgaand aan de analyse? Denk aan: opstellen van storingsrelaties of degradatiecurves, inschatten van (theoretische) OLM (ondermaatse leveringsminuten), opstellen van een risico-algoritme, opstellen van kostenmodel voor leidingvernieuwing, etc. Geef steeds aan om welke data het gaat, wat de voorbereiding inhoud, met welk doel dit wordt uitgevoerd, en hoe de bewerkte gegevens er uitzien.
10. Welke KPI's worden gebruikt? (inclusief eenheden, en ruimtelijk niveaus waarop ze worden weergegeven (afzonderlijke leidingen, wijken, leveringsgebied, etc.).
11. Voert het bedrijf zelf de BOS-analyses uit of geeft het hiertoe opdracht aan een derde partij?
12. Beschrijf de belangrijkste inzichten uit de analyseresultaten, hoe dragen deze bij aan de doelstellingen geformuleerd bij vraag 2?
13. Wat zijn de valkuilen van de methode? Zijn er bepaalde stappen die veel tijd kosten of lastig zijn uit te voeren?
14. Wat is te zeggen over de datakwaliteit. Wat zijn de belangrijkste aandachtspunten rond de kwaliteit van de invoergegevens? Hoe is deze eventueel te verbeteren?
15. Is er (voldoende) inzicht in hoe de invloed van datakwaliteit doorwerkt op de uitkomsten van de BOS-analyses? Hoe is dit inzicht evt. te verbeteren?
16. Welke KPI's worden gebruikt om systeemprestaties uit te drukken? Denk hierbij aan OLM, het aantal storingen, risicogetal, bedrijfsimago, leveringszekerheid, leveringsonderbreking, etc. Zijn de KPI's SMART (specifiek voor een bepaald gebied, meetbaar: kwantificeerbaar of ten minste kwalificeerbaar met een indicator, haalbaar op het gewenste niveau binnen de gewenste tijd).

KPI	Doel	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Toelichting
OLM	Minimaliseren	Euro	Voorzieningsgebied X	Kwantificeerbaar in euro middels omrekenfactor (X euro per minuut)	Berekende OLM is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens
...						

Deel II – Toekomstige aanvullingen ten behoeve van een optimale transitie naar streefstructuren

In het huidige project wordt onderzocht hoe hydraulische aspecten kunnen worden opgenomen in het bepalen van de *transitie* van huidige netwerkstructuren naar toekomstige streefstructuren. Het kan gaan om aspecten met betrekking tot zowel de waterkwantiteit (o.a. leveringszekerheid, risico op lekkage, etc.) en waterkwaliteit (o.a. verblijftijd, mengverhouding). Omdat ook wordt onderzocht of numerieke optimalisatietechnieken een rol kunnen spelen in de voorgenoemde transitie, is het van belang dat de gekozen aspecten kwantificeerbaar zijn. Welke KPI's zijn interessant om mee te nemen in het bepalen van de optimale transitie? En waarom?

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
OLM (ongepland) gemiddeld over de transitieperiode	Minimaliseren	Minuten	Voorzieningsgebied X	Ja, in minuten, berekend met hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	Zo snel mogelijk reduceren van de OLM, t.b.v. bedrijfsimago.
...						

III Reacties op enquête

Ontwerpt het waterbedrijf streefstructuren? Zo ja, is dit een stap die vóór of ná het opstellen van vervangingsplannen wordt uitgevoerd?

Brabant Water	Ja sinds 2012. Planning BW volledig dekkend per medio 2020. Gedeeltelijk (c.a. 80% van voorzieningsgebied) <u>Voor</u> . Resterende deel (c.a. 20%) <u>Na</u> .
Dunea	Niet grootschalig, wel wordt voor wijk een ontwerp berekend met SynerGi. (na opstellen vervangingsplan wordt ontwerp gemaakt. stappen: leiding of wijk selecteren ter vervanging, ontwerp maken van secundair net)
Waterbedrijf Groningen	Voor het transportnet in en rond de stad Groningen is een blauwdruk (streefstructuur) ontworpen. Deze blauwdruk is leidend voor het vervangingsprogramma van de transportleidingen. Vervanging gebeurt in combinatie met reconstructiewerkzaamheden van derden (bijv. aanleg zuidelijke en westelijke ring rond de stad Groningen. Voor de provincie wordt de blauwdruk ontwikkeld mede in combinatie met de visie op het gebruik van de distributiepompstations in het voorzieningsgebied. Blauwdruk is leidend voor toekomstige vervangingsplannen. Ook hier wordt gestreefd naar synergie met andere partijen (provincie e.d.).
Evides	Ja, Evides ontwerpt streefstructuren. Deze worden zowel voor als na het opstellen van het vervangingsplannen opgesteld.
PWN	Ja PWN ontwerpt streefstructuren voor distributieleidingen in steden. Inmiddels zijn voor een 10-tal steden de streefstructuur gereed. Het opstellen van vervangingsplannen doen we jaarlijks sinds 2011 voor het gehele leidingnet.

Worden leidingen proactief of reactief vervangen?

Brabant Water	Proactief
Dunea	Proactief, incidenteel reactief
Waterbedrijf Groningen	Vervanging gebeuren voornamelijk reactief. Combinatie met gasvervangingsprogramma's van Enexis en/of reconstructie werkzaamheden derden. Hierbij gaat het om wijkvervangingen. Daarnaast is er een beoordelingsrichtlijn voor het vervangen van frequent storende leidingen. Veelal solo vervangingen waarbij wel afstemming wordt gezocht met andere partijen.
Evides	Evides vervangt hoofdzakelijk reactief bij de mogelijkheid tot gecombineerde werkzaamheden met gemeentes of andere netbeheerders.
PWN	Ongeveer 50 % van de leiding wordt op eigen initiatief gesaneerd (soms in samenwerking met andere infrastructuurbeheerders) en de overige 50 % wordt gereconstrueerd omdat werkzaamheden van derden het noodzakelijk maken dat we het leidingnet aanpassen.

Welk BOS gebruikt het bedrijf?

Brabant Water	Rasmariant
Dunea	Dunea gebruikt WilCO van SEAMS
Waterbedrijf Groningen	TransparantNL gaat gebruikt worden als saneringsondersteuningsprogramma
Evides	Evides gebruikt Rasmariant ter ondersteuning van vervangingsbeslissingen. Intern wordt het eindproduct SALMI genoemd.
PWN	TRANSPARANT

Met welk doel wordt het BOS ingezet? Probeer hierin zo specifiek mogelijk te zijn. Meerdere doelen zijn mogelijk, in dat geval graag aangeven welke het belangrijkste is.

Brabant Water	Keuze te vervangen leidingen en inzicht gevolgen van vervangingsstrategie in kaart brengen
Dunea	Balans tussen prestatie, risico's en kosten. BOS wordt oa gebruikt om scenario's met elkaar te vergelijken en resultaten van scenario's te overleggen met Asset owner. Dunea heeft voor het volgende scenario gekozen: OLM gelijk houden en handhaven van aantal storingen
Waterbedrijf Groningen	TransparantNL geeft een tijdvenster aan waarin leidingen vervangen dienen te worden op basis van kennisregels. Dit tijdvenster help WBG in gesprekken met derden om te komen tot het meest gunstige moment waarop de leidingen ook daadwerkelijk vervangen gaan worden. Streven is om zoveel mogelijk gezamenlijk met derden gebieden aan te pakken om de overlast naar de burgers te beperken ("Maatschappelijk saneren").
Evides	Rasmariant ondersteunt de gebiedsbeheerder bij vervangingsbeslissingen voor individuele situaties waar gecombineerde werkzaamheden mogelijk zijn (op initiatief van derden). Dit is het belangrijkste doel. Daarnaast wordt Rasmariant ingezet voor het opstellen van een lange termijn assetplan.
PWN	Voor elke leiding bepalen in welk jaar de leiding theoretisch vervangen zou moeten worden. Prognoses te kunnen maken hoeveel leidingen de komende 100 jaar jaarlijks vervangen moeten worden om de prestatie, risico en kosten van het leidingnet beheersbaar te houden voor PWN en acceptabel te houden voor de klant.

Op welke gebied(en) is het BOS toegepast? Ging het om een proof-of-principle, pilot, of volwaardige toepassing?

Brabant Water	Volwaardig
Dunea	WiLCO is in productie
Waterbedrijf Groningen	De pilot is afgerond en gaat leiden tot een volwaardige toepassing voornamelijk voor de secundaire en tertiaire leidingnetten.
Evides	Rasmariant is een volwaardige toepassing binnen Evides. Het gehele leidingnet is doorgerekend waarvan de resultaten in een GIS portal beschikbaar zijn.
PWN	PWN maakt jaarlijks een run met TRANSPARANT als volwaardige toepassing. De informatie wordt gedeeld met gemeenten en energiebedrijf.

Is het BOS toegepast voor inzichten op operationeel of strategisch niveau, of beide?

Brabant Water	Beide
Dunea	Beide: Strategisch voor bepalen van saneringsomvang (25 jaar) en ondersteunt het bereken van scenario's Tactisch voor selectie van te vervangen leidingen (10-15 jaar)
Waterbedrijf Groningen	Voornamelijk strategisch niveau.
Evides	Rasmariant wordt op beide niveaus toegepast. Zie ook antwoord 4.

PWN De berekening die voor elke leiding wordt gemaakt is op tactisch niveau bedoeld voor een leidingbeheerder die in gesprek gaat met de omgeving en die bepaalt welke leidingen uiteindelijk geselecteerd worden voor vervanging.

De berekening voor de te vervangen leidingen voor de komende 100 jaar is uiteraard van een strategisch niveau.

Welke data is gebruikt? Denk aan gegevens van leidingen, storingen, omgeving, kosten, wegingsfactoren uit risico-matrix of anderszins, etc. Geef waar relevant zo duidelijk mogelijk aan om hoeveel data het gaat, voor welke periode en voor welk gebied.

Brabant Water	Alle bovenstaande data met storingsdata vanaf 2010
Dunea	Gegevens leidingen (diameter, jaar van aanleg, lengte, materiaal etc.) Koppeling Object sectie (aantal aansluitingen per leidingdeel) voor berekening rode OLM (=on gepland) Hydraulic Critical Index (HCI) uit SynerGi Storingsfrequentie Bodemkaart met grondsoorten Reparatietijd Kosten van reparatie (voor verschillende diameters) Kosten vervangen van hoofdleidingen (verschillend voor stadscentra of buitengebied) BEEL data Wegingsfactoren (voor bepalen risico (berekenen dmv BEEL, HCI en OLM))
Waterbedrijf Groningen	Gegevens leidingnet uit GIS Storingen uit USTORE Klachtenregistratie Vervangingskosten Streefwaarde OLM Wegenkaarten (voor ontgrondingen) Gegevens aardbevingsgebieden Bodemkaarten Grondwaterstanden Risicoscores uit risicobeoordelingssystematiek voor ongeplande saneringen (frequent storende leidingen) Etc. etc. Data heeft betrekking op het gehele voorzieningsgebied.
Evides	Leidingen + afsluiters (gehele verzorgingsgebied); Storingen (2004-heden wat betreft Rijnmond + storingen Zeeland (tijdspanne Zeeland vergelijkbaar); Storingscurves; Pompstations/productielocaties; Externe veiligheidslocaties (dijken, wegen, spoorwegen) Kosten voor vervanging, reparatie, falen (omgevingskosten), kosten per OLM
PWN	TRANSPARANT maakt gebruik van tientallen kennisregels die verband houden met de kans en het effect van disfunctioneren. Het voert te ver om al deze regels hier op te sommen. Door KWR (Ralph Beuken) is dit in 2015/2016 al eens vastgelegd t.b.v. een Bedrijfsonderzoek van Vitens.

Welke (type) randvoorwaarden en doelstellingen worden gebruikt? Denk hierbij aan totaalbudget voor leidingvernieuwing, minimaal percentage te vervangen leidingen, minimale te behalen risicoreductie, etc. (NB. De precieze getallen kosten, e.d. zijn niet per se nodig om te vermelden.)

Brabant Water	zoveel mogelijk de risicovolle leidingen vervangen voor 30M euro per jaar met vastgestelde meterprijs van leidingen zodat de doelstellingen van maximaal aantal lekkages per jaar en hoeveelheid OLM worden behaald
Dunea	Scenario 0 Do nothing scenario Scenario 1: Handhaaf OLM rood en het aantal storingen (afhankelijke van scenario verschillende randvoorwaarden)
Waterbedrijf Groningen	Op dit moment is het budget, onderdeel van het MeerjarenInvesteringsProgramma (MIP), leidend in de keuze van het jaarlijkse vervangingsprogramma. Het gaat hierbij om geplande vervangingen en reconstructies.
Evides	Totaalbudget; Maximale OLM;
PWN	Het jaar van vervanging van individuele leidingen wordt zuiver op technische gronden bepaald (alle genoemde kennisregels). De totale hoeveelheid te vervangen leidingen per jaar wordt bepaald op basis van een aantal scenario's waarin de KPI's kosten, prestatie (OLM, onderbrekingsfrequentie, lekverlies) en risico (uitgedrukt in virtuele euro's) worden berekend.

Welke bewerkingsstappen van de ruwe data worden uitgevoerd voorafgaand aan de analyse? Denk aan: opstellen van storingsrelaties of degradatiecurves, inschatten van (theoretische) OLM (ondermaatse leveringsminuten), opstellen van een risico-algoritme, opstellen van kostenmodel voor leidingvernieuwing, etc. Geef steeds aan om welke data het gaat, wat de voorbewerking inhoud, met welk doel dit wordt uitgevoerd, en hoe de bewerkte gegevens er uitzien.

Brabant Water	Zoals bovenstaand. Verder is dit al beschreven in rapport van Jozanneke van Vossen
Dunea	Storingsfrequentie leidingen per diameter, materiaalsoort en bodemtype Degradatie curves per materiaalsoort (verschillende curves per materiaalsoort voor verschillende leeftijden) Kosten model voor reparatie en kostenmodel voor het vervangen van leidingen (berekening kostenkentallen uitgevoerde hoofdleidingprojecten) Reparatietijden
Waterbedrijf Groningen	Analyse wordt uitgevoerd door Spatial Insight, de ontwikkelaar van het pakket TransparantNL
Evides	Dit betreft voornamelijk het opstellen van degradatiecurves op basis van storingen. Het doel is om de faalkans van de leidingen zo goed mogelijk te 'voorspellen'.
PWN	Alle ruwe databronnen voor kennisregels worden inderdaad voorbewerkt; gezien het grote aantal kennisregels voert dat te ver om hier te noemen. Voor berekeningen van toekomstige storingsfrequentie en OLM wordt inderdaad gebruikt gemaakt van een grafiek waarin de storingsfrequentie is uitgezet tegen de leeftijd van de leiding. Voor de berekening van risico wordt

gebruik gemaakt van een risicoreductiematrix. Kosten worden berekend m.b.v. kengetallen voor distributie en voor transportleidingen.

Welke KPI's worden gebruikt? (inclusief eenheden, en ruimtelijk niveaus waarop ze worden weergegeven (afzonderlijke leidingen, wijken, leveringsgebied, etc.).

Brabant Water	KPI zijn op heel voorzieningsgebied geprojecteerd zoals aantal storingen en hoeveelheid ongeplande OLM
Dunea	Op basis van gekozen scenario zijn de belangrijkste KPI's: Rode OLM en aantal storingen Afzonderlijke leidingen (er is steeds meer behoefte aan wijksgewijze aanpak in samenwerking met gas & elektra)
Waterbedrijf Groningen	Geen specifieke KPI's benoemd. Belangrijk criterium is om de overlast voor de burger zoveel mogelijk te beperken door gezamenlijke aanpak van projecten.
Evides	Risico reductierendement - leveringsgebied OLM - leveringsgebied Storings - leveringsgebied
PWN	Zie het antwoord op vraag 8.

Voert het bedrijf zelf de BOS-analyses uit of geeft het hiertoe opdracht aan een derde partij?

Brabant Water	zelf
Dunea	Dunea levert data, degradatiekromme is gezamenlijke actie en SEAMS maakt WilCO en voert berekeningen uit
Waterbedrijf Groningen	Zie 9.
Evides	Evides voert de analyses zelf uit. Een aantal stappen (pre-processing) wordt door de leverancier uitgevoerd.
PWN	PWN laat de berekening uitvoeren door een het externe bedrijf Spatial Insight.

Beschrijf de belangrijkste inzichten uit de analyseresultaten, hoe dragen deze bij aan de doelstellingen geformuleerd bij vraag 2?

Brabant Water	Waar wat vervangen en impact van vervangingen op doelstellingen nu en op lange termijn.
Dunea	Vervangingsvolume en selectie van te vervangen leidingen
Waterbedrijf Groningen	Analyseresultaten helpen in de keuze van de juiste gebieden (leidingen). Expert Judgement blijft echter ook een belangrijke rol spelen in de daadwerkelijke keuze.
Evides	Het gebruik van Rasmariant geeft inzicht in de risico's van het leidingnet de komende jaren en geeft inzicht in de benodigde investeringen. Ook zorgt de output van Rasmariant voor beter beargumenteerde, risicogebaseerde afwegingen bij lokale vervangingsplannen.
PWN	Voor alle leidingen wordt een jaar van vervanging berekend wat essentiële informatie is om te bepalen of PWN meegaat als een gemeente een wijk aan gaat pakken. Voor het Lange Termijn Investerings Plan van PWN kunnen de resultaten van de Lange Termijn berekening van TRANSPARANT één op één worden gebruikt

Wat zijn de valkuilen van de methode? Zijn er bepaalde stappen die veel tijd kosten of lastig zijn uit te voeren?

Brabant Water

Dunea	<p>Het blijft een beslissingsondersteunende tool en bijv. waterkwaliteit is nog niet opgenomen in model.</p> <p>Het maken van strategisch model vraagt veel rekentijd.</p> <p>We hebben steeds meer behoefte aan selectie van leidingen met een werkbare projectomvang. (wijksgewijze aanpak)</p>
Waterbedrijf Groningen	<p>Valkuil is dat de aangegeven vervangingsmomenten sterk leidend gaan worden in de keuze wel/niet vervangen of meegaan in werkzaamheden derden.</p> <p>Nog te kort met het programma gewerkt om aan te geven welke stappen veel tijd kosten of lastig uit te voeren.</p>
Evides	<p>Het draaien van meerdere scenario's is tijdrovend. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat Rasmariant erg stuurt op OLM.</p>
PWN	<p>Het verzamelen van data van externen kost iedere keer tijd.</p> <p>Verschillen tussen resultaten tussen de berekening van vorig jaar en het huidige jaar moeten niet te groot zijn</p>

Wat is te zeggen over de datakwaliteit. Wat zijn de belangrijkste aandachtspunten rond de kwaliteit van de invoergegevens? Hoe is deze eventueel te verbeteren?

Brabant Water	<p>Kosten per locatie om daar te vervangen en de storingscurve richting toekomst.</p>
Dunea	<p>Datakwaliteit van hoofdleidingen is goed</p>
Waterbedrijf Groningen	<p>Datakwaliteit van eigen assets (GIS, USTORE, klachten e.d.) kunnen met een hoge betrouwbaarheid worden aangeleverd.</p> <p>Bij externe databronnen (bodemkaarten, grondwaterstanden, zettingen e.d.) ben je sterk afhankelijk welke beschikbaar zijn en tegen acceptabele kosten kunnen worden gebruikt. Met name bij gebruik van COMSIMA is het verkrijgen van de juiste data kostbaar.</p>
Evides	<p>Topologie van het netwerk is belangrijk. Dit wordt gecorrigeerd in de pre-processing door de leverancier. Daarnaast is het van belang om te zorgen voor correcte attribuutwaarden (materiaal, leeftijd, diameter).</p>
PWN	<p>Zettingsgegevens verkregen d.m.v. satellietdata spelen een belangrijke rol. We hebben met een groot aantal drinkwaterbedrijven een onderzoek laten uitvoeren hoe deze data zo goedkoop en voldoende betrouwbaar bemachtigd kunnen worden.</p>

Is er (voldoende) inzicht in hoe de invloed van datakwaliteit doorwerkt op de uitkomsten van de BOS-analyses? Hoe is dit inzicht evt. te verbeteren?

Brabant Water	<p>Gevoeligheidsanalyses zijn in het verleden uitgevoerd maar moeten een integraal onderdeel gaan vormen in de afweging van vervanging en strategiebeoordeling.</p>
Dunea	<p>Ja er is een gevoeligheidsanalyse gemaakt om het effect op de uitkomsten te bepalen.</p>
Waterbedrijf Groningen	<p>Door Spatial Insight is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij inzicht is verkregen welke data grote invloed hebben op de uitkomsten. Met name de degradatiecurven van de verschillende leidingmaterialen hebben een zeer belangrijke invloed op de lange termijn vervangingen. Hier val nog veel kennis te ontwikkelen.</p>

Evides	Hier is geen uitgebreid onderzoek naar gedaan. Dit kan worden onderzocht door diverse scenario's te draaien waarbij datasets met een verschillende datakwaliteit worden toegepast.
PWN	Doordat we zelf de kennisregels bepalen weten we precies wat het effect is van een bepaalde kennisregel op de uitkomst.

Welke KPI's worden gebruikt om systeemprestaties uit te drukken? Denk hierbij aan OLM, het aantal storingen, risicogetal, bedrijfsimago, leveringszekerheid, leveringsonderbreking, etc. Zijn de KPI's SMART (specifiek voor een bepaald gebied, meetbaar: kwantificeerbaar of ten minste kwalificeerbaar met een indicator, haalbaar op het gewenste niveau binnen de gewenste tijd).

Brabant Water

Ja voor spontane storingen olm ongepland en gepland. De andere zijn meer consequenties van gekozen strategie (risicogetal) of rand voorwaardelijk (leveringszekerheid).

KPI	Doel	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Toelichting
OLM	Minimaliseren	Euro	Voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in euro middels omrekenfactor (0,2 euro per minuut)	Berekende OLM is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens
storingen	Minimaliseren	aantal	Voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in aantal	Berekende aantal is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens

Dunea

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
OLM (ongepland) gemiddeld over de transitieperiode	Minimaliseren	Minuten	Voorzieningsgebied X	Ja, in minuten, berekend met hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	Zo snel mogelijk reduceren van de OLM, t.b.v. bedrijfsimago.
Robuuste levering wijken (leveringscontinuïteit)	optimaliseren	Druk	Voedingen naar wijk (gevoed van 3 kanten)	Ja, drukverlaging bij uitval leiding berekend met hydraulische simulatie	Ja via hydraulische simulatie	Zo snel mogelijk maximaliseren (indien onvoldoende).

Waterbedrijf Groningen

Alleen voor de OLM is een KPI geformuleerd in minuten maar er is geen bedrag In Euro's aangehangen. Voor de ongeplande storingen wordt gebruik gemaakt van een risicogetal die ontstaat uit zeven effectcriteria:

- Onderbreking van de levering
- Ondermaatse druk
- Ondermaatse levering van kwaliteit
- Imagoschade

- Directe kosten
- Veiligheid
- Externe effecten

Door het toekennen van wegingsfactoren aan de afzonderlijke effectcriteria wordt de mate van belangrijkheid zichtbaar. Voor de kans wordt gebruik gemaakt van categorieën waarin de storingen optreden (MTBF). Kans x effect (incl. wegingsfactor) geeft het risicogetal en het besluit om te saneren.

Evides

KPI	Doel	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Toelichting
OLM	Minimaliseren	Euro	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in euro middels omrekenfactor (X euro per minuut)	Dit kan met Rasmariant worden berekend	
Risicoreductie rendement	Optimaliseren	Risicopunt	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar (risicoreductie per geïnvesteerde euro)	Dit kan met Rasmariant worden berekend	

PWN

KPI	Doel	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Toelichting
OLM ongepland	Voor de klant op een acceptabel niveau houden	minuten	Gehele Voorzieningsgebied X	Kwantificeerbaar in minuten	Berekende OLM is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens
Onderbrekingsfrequentie	Voor de klant op een acceptabel niveau houden	Keren per jaar	Per gemiddelde sectie	Kwantificeerbaar in keren per jaar	haalbaar	Zie OLM
storingsfrequentie	Voor de klant op een acceptabel niveau houden	Storingen per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in storingen per jaar	haalbaar	Zie OLM
lekverlies	Voor PWN op een acceptabel niveau houden	Percentage per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in procenten per jaar	haalbaar	Zie OLM
CAPEX+OPEX	Voor PWN beheersbaar houden	Euro's per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in euro's per jaar	haalbaar	Zie OLM + kengetallen voor vervanging van leidingen
risico	Voor PWN beheersbaar houden	Virtueel € per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in virtuele euro's per jaar	haalbaar	Zie OLM + Risicoreductiematrix

In het huidige project wordt onderzocht hoe hydraulische aspecten kunnen worden opgenomen in het bepalen van de *transitie* van huidige netwerkstructuren naar toekomstige streefstructuren. Het kan gaan om aspecten met betrekking tot zowel de waterkwantiteit (o.a. leveringszekerheid, risico op lekkage, etc.) en waterkwaliteit (o.a. verblijftijd, mengverhouding). Omdat ook wordt onderzocht of numerieke optimalisatietechnieken een rol kunnen spelen in de voorgenoemde transitie, is het van belang dat de gekozen aspecten kwantificeerbaar zijn. Welke KPI's zijn interessant om mee te nemen in het bepalen van de optimale transitie? En waarom?

Brabant Water

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
Minimale druk handhaving (P \geq) <i>(Kwantiteit)</i>	Druk handhaving na/tijdens saneringsproject	Druk (P) in kPa	Voorzienings gebied X of een deelgebied van X	Ja, d.m.v. druk op kno(o)p(en) + Lev.zekerheid + Lev.continuiteit	Ja, via hydraulische simulatie	Prioritering m.b.t. conflicten: Optimale project volgorde. Welke uit de BOS bepaalde (wijk)saneringsprojecten kunnen wel / niet gelijktijdig worden uitgevoerd.
Drukverbetering <i>(Kwantiteit)</i>	Druk Optimalisatie	Druk (P) in kPa	Voorzienings gebied X	Ja, d.m.v. druk op kno(o)p(en)	Ja, via hydraulische simulatie	Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (Prim of Sec) leidingen of leidinggroepen uit de Strstr en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan P verbetering.
Stroomsnelheid <i>(Kwaliteit)</i>	Verminderen verblijftijden	Snelheid (V) in m/sec	Voorzienings gebied X	Ja. Snelheid (V) op buisdelen.	Ja, via hydraulische simulatie	Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (Prim of Sec) leidingen of leidinggroepen uit de Strstr en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan V verbetering.
Stroomrichting <i>(Kwaliteit)</i>	Verminderen pendel leidingen	Snelheid V plus en/of min	Voorzienings gebied X	Ja. Snelheidsverandering (V + en/of -) op buisdelen.	Ja, via hydraulische simulatie	Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (Prim of Sec) leidingen of leidinggroepen uit de Strstr en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan V +/- verbetering.

Dunea

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
OLM (ongepland) gemiddeld over de transitieperiode	Minimaliseren	Minuten	Voorzieningsgebied X	Ja, in minuten, berekend met hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	Zo snel mogelijk reduceren van de OLM, t.b.v. bedrijfsimago.

Robuuste levering wijken (leveringscontinuïteit)	optimaliseren	Druk	Voedingen naar wijk (gevoed van 3 kanten)	Ja, drukverlaging bij uitval leiding berekend met hydraulische simulatie	Ja via hydraulische simulatie	Zo <i>snel mogelijk</i> maximaliseren (indien onvoldoende).
Zoveel mogelijk zelfreinigend, vertakt (of zo min mogelijk lussen/vermaasd)	maximaliseren	Min snelheid	leiding	Ja, snelheid (maar wordt niet goed berekend in leidingnetmodel obv verbruikspatronen)	Ja via hydraulische simulatie icm Simdeum of andere aanpak	Waterkwaliteit

Zie ook:

- “Pilot WILCO bij Dunea” (Evaluatie assetmanagement tools) BTO 2011.112
- BTO 2017.066 Vitens kwantitatieve vergelijking BOS leidingsanering

Waterbedrijf Groningen

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
OLM (ongepland) gemiddeld over de transitieperiode	Minimaliseren	Minuten	Voorzieningsgebied X	Ja, in minuten, berekend met hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	Zo <i>snel mogelijk</i> reduceren van de OLM, t.b.v. bedrijfsimago.
Druk beschikbaar voor de laatst aangesloten aansluiting in lijn met wat in het drinkwaterbesluit wordt genoemd.		kPa	Gehele voorzieningsgebied	Ja, berekenen uit hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	Klanttevredenheid en Normen en doelstellingen eigen bedrijf

Evides

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
Verblijftijd	Minimaliseren	Minuten	Secundaire / tertiaire netten	Kwantificeerbaar	Het is haalbaar, echter zal een aantal aannames gemaakt moeten worden (bijv. een geheel tracé / gehele buurt wordt vervangen). Ook moeten aannames gemaakt worden over de vermindering van verblijftijd bij vervanging	Verblijftijd verkorten i.v.m. waterkwaliteit

PWN

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
Alle KPI's die bij vraag 16 zijn genoemd						
Blijft de netdruk op het gewenste niveau	Levering drinkwater onder voldoende druk		Gehele gebied	Aantal knopen waar de druk daalt beneden de minimale waarde van 230 kPa in de distributieleiding	Mogen jullie zeggen	Als een leiding wordt vervangen door een leiding met een nieuwe kleinere diameter zou dat kunnen leiden tot drukklachten elders

IV Samenvatting van de reacties en discussie van de enquête

Streefstructuren

Alle ondervraagde waterbedrijven zijn actief in het ontwerpen van streefstructuren. De aanpak verschilt wel sterk tussen bedrijven: van ontwerpen op wijkniveau, stadsniveau tot ontwerpen die het leveringsgebied volledig dekken. Streefstructuren worden zowel vóór als na vervangingsplannen opgesteld.

Vervangen van leidingen

Het vervangen van leidingen gebeurt door de waterbedrijven zowel op actieve als reactieve wijze. Er wordt in belangrijke mate gezocht naar synergie met gemeentes en andere netbeheerders, met als doel om werkzaamheden gecombineerd uit te voeren. De ondervraagde waterbedrijven gebruiken diverse BOS-en: Rasmariant (Brabant Water, Evides), WiLCO (Dunea), Transparant (Waterbedrijf Groningen, PWN).

Gebruik van BOS-en

De ondervraagde waterbedrijven zetten BOS-en in voor uiteenlopende doelen:

- ondersteuning van beheerders bij het vervangen van leidingen en het opstellen van lange-termijn vervangingsplannen;
- inzicht in de gevolgen (prestaties, kosten, risico's) van vervangingsstrategieën;
- afstemming van tijdsvensters waarop vervangingen moeten worden uitgevoerd, zowel voor afstemming intern als met derden.

Zij gebruiken een BOS veelal als een volwaardige toepassing, of werken hier actief naar toe. De BOS-en worden ingezet zowel voor operationele, tactische als strategische doeleinden. De bijbehorende vervangingstermijnen zijn 10 tot 15 jaar (tactisch niveau) en 25 tot 100 jaar (strategisch niveau). Het uitvoeren van de BOS-analyses gebeurt ofwel zelfstandig door de waterbedrijven, in samenwerking met de leverancier, dan wel volledig door de leverancier.

Data en databeheer m.b.t. beslissingsondersteuning

De data die wordt gebruikt voor het opstellen van vervangingsplannen met een BOS omvatten:

- assetgegevens van het distributiesysteem: gegevens van leidingen (diameter, jaar van aanleg, lengte, materiaal, aantal aansluitingen per leiding, etc.), afsluiters en pompstations/ productielocaties;
- gegevens m.b.t. kans, effecten en kosten van het falen, vervangen en repareren van leidingen: storingsfrequenties/-curves (bijvoorbeeld uit USTORE), klantgegevens (klachtenregistratie), kosten voor leidingreparatie, -vervanging en -falen, BEEL-gegevens;
- omgevingsdata: type grondsoort / bodemkaarten, grondwaterstanden, aardbevingsgegevens, externe veiligheidslocaties (dijken, wegen, spoorwegen);
- strategische uitgangspunten en kennisregels: wegingsfactoren (voor bepalen van risico), streefwaarde OLM, kosten per OLM. Specifieke randvoorwaarden en doelstellingen verschillen per bedrijf; in het algemeen zijn deze uit te drukken in kosten (financiële overwegingen, budgetlimieten), prestaties (lekverlies, OLM, storings) en risico's.

Genoemde databewerkingsstappen voorafgaand aan analyse met een BOS zijn:

- bepalen van storingsfrequenties van leidingen (uitgesplitst naar materiaalsoort, diameter en aanlegjaar / ouderdom);
- berekenen van reparatietijden van leidingen;
- berekenen van risico's (bijvoorbeeld m.b.v. risico-reductiematrix);

- berekenen van kosten (bijvoorbeeld m.b.v. kengetallen voor leidingen).

Zeggingskracht van BOS-en

De belangrijkste opbrengsten van een BOS-analyse die zijn genoemd:

- opstellen van vervangingsplannen: waar, wanneer, welke, en hoeveel leidingen vervangen;
- inzicht in de impact van vervangingskeuzes op bedrijfsdoelstellingen: kosten, prestaties en risico's op korte en lange termijn. Dit leidt tot beter onderbouwde, risico-gebaseerde afwegingen bij vervangingsplannen en betere afstemming met derden.

Genoemde valkuilen bij BOS-analyses zijn:

- afwezigheid van waterkwaliteitsaspecten in BOS;
- lange rekentijden voor het maken van strategisch vervangingsmodellen;
- vervangingsmomenten worden sterk leidend in de keuze voor vervanging of meegaan met derden;
- het verzamelen van data (intern en extern) kost veel tijd;
- grote verschillen in uitkomsten met berekeningen van voorgaande jaren zijn niet wenselijk.

Genoemde aandachtspunten rond de kwaliteit van de invoergegevens:

- betrouwbaarheid van locatie-specifieke vervangingskosten;
- betrouwbaarheid van storingscurves;
- beschikbaarheid van externe databronnen (bodem, grondwater, zettingen, e.d.). Een aantal drinkwaterbedrijven hebben onderzoek laten uitvoeren naar het bemachtigen van betrouwbare en betaalbare zettingsgegevens.

In het verleden hebben waterbedrijven en leveranciers gevoeligheidsanalyses uitgevoerd waarmee inzicht is verkregen in de invloed van de datakwaliteit op de uitkomsten van BOS-analyses. Hieruit bleek o.a. dat degradatiecurves van verschillende leidingmaterialen een belangrijke invloed hebben op de lange-termijn vervangingen. Hier valt nog veel kennis te ontwikkelen en de mening van Brabant Water is dat gevoeligheidsanalyses een integraal onderdeel moeten gaan vormen in de afweging van vervanging en strategiebepaling.

Key Performance Indicators –gebruikt om systeemprestaties uit te drukken.

De genoemde KPI's voor het uitdrukken van systeemprestaties zijn:

KPI	Doel	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Toelichting
OLM (meestal ongepland, maar ook wel gepland)	Minimaliseren / op acceptabel niveau houden	Euro / minuten	Voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in euro middels omrekenfactor (0,2 euro per minuut) / minuten	Berekende OLM is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens
Storingsfrequentie / aantal leveringsonderbrekingen per jaar	Minimaliseren / op een voor de klant acceptabel niveau houden	Aantal storingen	Voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in aantal storingen per jaar	Berekende aantal is altijd beschikbaar op het niveau van leidingen.	Berekend via storingscurves naar materiaalsoort, afgeleid uit historische storingsgegevens
Robuuste levering wijken (leveringscontinuïteit)	optimaliseren	Druk	Voedingen naar wijk (gevoed van 3 kanten)	Ja, drukverlaging bij uitval leiding berekend met hydraulische simulatie	Ja via hydraulische simulatie	<i>Zo snel mogelijk</i> maximaliseren (indien onvoldoende).
Risico / Risicoreductie rendement	Beheersbaar houden / rendement optimaliseren	Virtuele € per jaar / risicopunt	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar (virtuele € per jaar / risicoreductie per geïnvesteerde euro)	Haalbaar / kan met Rasmariant worden berekend	Zie OLM + Risicoreductiematrix
Leverings-onderbreking /overlast burgers	Voor de klant op een acceptabel niveau houden	Onderbrekingen per jaar	Per gemiddelde sectie	Kwantificeerbaar in keren per jaar	haalbaar	Zie OLM
Lekverlies	Op een acceptabel niveau houden	Percentage per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in procenten per jaar	haalbaar	Zie OLM
CAPEX+OPEX	Beheersbaar houden	Euro's per jaar	Gehele voorzieningsgebied	Kwantificeerbaar in euro's per jaar	haalbaar	Zie OLM + kengetallen voor vervanging van leidingen

Waterbedrijf Groningen maakt voor ongeplande storingen gebruik van een risicogetal die ontstaat uit zeven effectcriteria, waaronder ook imagoschade, veiligheid, externe effecten.

Waterbedrijven geven de KPI's weer op diverse ruimtelijk niveau's: afzonderlijke leidingen, wijken, leveringsgebieden of gehele voorzieningsgebieden.

Key Performance Indicators -hydraulische aspecten bij transitie.

De waterbedrijven hebben KPI's aangemerkt die interessant zijn om mee te nemen in het bepalen van de optimale transitie zijn weergegeven in onderstaande tabel. Er is gevraagd naar hydraulische aspecten en de genoemde KPI's zijn te zien als een uitbreiding op de KPI's die in de tabel hierboven zijn genoemd.

KPI	Doelfunctie	Eenheid	Specifiek voor gebied	Kwantificeerbaar /kwalificeerbaar	Haalbaarheid	Motivatie
Minimale druk handhaving ($P \geq$) Druk beschikbaar voor de laatst aangesloten aansluiting in lijn met wat in het drinkwaterbesluit wordt genoemd. (Kwantiteit)	Druk handhaving na/tijdens saneringsproject	Druk (P) in kPa	Voorzieningsgebied / deelgebied	Ja, d.m.v. druk op kno(o)p(en) + leverings-zekerheid + leveringscontinuïteit	Ja, via hydraulische simulatie	<p>Prioritering m.b.t. conflicten: Optimale project volgorde. Welke uit de BOS bepaalde (wijk)saneringsprojecten kunnen wel / niet gelijktijdig worden uitgevoerd.</p> <p>Als een leiding wordt vervangen door een leiding met een nieuwe kleinere diameter zou dat kunnen leiden tot drukklachten elders</p> <p>Klanttevredenheid en Normen en doelstellingen eigen bedrijf</p>
Drukverbetering Robuuste levering wijken (leveringscontinuïteit) (Kwantiteit)	Druk Optimalisatie	Druk (P) in kPa	Voorzieningsgebied Voedingen naar wijk	Ja, d.m.v. druk op kno(o)p(en) berekend met hydraulische simulatie	Ja, via hydraulische simulatie	<p>Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (primair of secundair) leidingen of leidinggroepen uit de streefstructuur en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan P verbetering.</p> <p><i>Zo snel mogelijk</i> maximaliseren (indien onvoldoende).</p>
Stroomsnelheid / verblijftijd (Kwaliteit)	Verminderen verblijftijden minimaliseren / verminderen	m/s (snelheid), minuten (verblijftijd)	Secundaire / tertiaire netten, Voorzieningsgebied	Ja. Snelheid (V) op buisdelen. (maar wordt niet goed berekend in leidingnetmodel o.b.v. verbruikspatronen)	Ja, via hydraulische simulatie.	<p>Verblijftijd verkorten i.v.m. waterkwaliteit</p> <p>Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (primair of secundair) leidingen of leidinggroepen uit de streefstructuur en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan V verbetering.</p>
Stroomrichting (Kwaliteit)	Verminderen pendel leidingen	Snelheid V plus en/of min	Voorzieningsgebied X	Ja. Snelheidsverandering (V + en/of -) op buisdelen.	Ja, via hydraulische simulatie	<p>Prioritering m.b.t. volgorde: Welke (primair of secundair) leidingen of leidinggroepen uit de streefstructuur en de uit de BOS bepaalde saneringen dragen het snelst bij aan V +/- verbetering.</p>
Zoveel mogelijk zelfreinigend, vertakt (of zo min mogelijk lussen/vermaasd) (Kwaliteit)	maximaliseren	Min snelheid	leiding	Ja, snelheid (maar wordt niet goed berekend in leidingnetmodel o.b.v. verbruikspatronen)	Ja via hydraulische simulatie met Simdeum of andere aanpak	Waterkwaliteit

V Resultaten: absolute prestatie op de indicatoren voor de verschillende transities

V.I Eerste 10 jaar

Tabel 7. Absolute prestatie van de verschillende transities (voor de komende 10 jaar, in stappen van 1 jaar) op de verschillende gekozen prestatie indicatoren. Deze prestaties zijn gesommeerd over alle elementen van het leidingnetwerk, alle tijdstappen van de simulatieperiode (24u) en alle stappen van de tijdshorizon.

Ref.	BOS	Transitie geoptimaliseerd op:	RRR	# pendelzones (x10 ⁵)	Gemiddelde snelheid (m/s, x10 ⁵)	Levering P<300 kPa (x10 ⁵)
Ref.	BOS	n.v.t.	6,86	2,56	1,88	1,07
T1	BOS, 3km/j	Min. P < 30	11,10	2,55	1,88	0,94
T2		Min. # pendelzones	11,01	2,51	1,88	1,06
T3		Max. gem. snelheid	7,82	2,55	1,88	1,05
T4	BOS, 5km/j	Min. P < 30	10,20	2,29	1,69	0,94
T5		Min. # pendelzones	8,84	2,26	1,69	0,95
T6		Max. gem. snelheid	8,60	2,55	1,88	1,05
T7	vrij, 5km/j	Min. P < 30	25,3	3,16	1,84	0,29
T8		Min. # pendelzones	16,4	1,76	1,82	0,61
T9		Max. gem. snelheid	27,5	3,15	1,91	0,35

V.II Volledige tijdshorizon van 90 jaar

Tabel 8. Absolute prestatie van de verschillende transities (voor de volledige tijdshorizon, in stappen van 10 jaar) op de verschillende gekozen prestatie indicatoren. Deze prestaties zijn gesommeerd over alle elementen van het leidingnetwerk, alle tijdstappen van de simulatieperiode (24u) en alle stappen van de tijdshorizon.

Ref.	BOS	Transitie geoptimaliseerd op:	RRR	# pendelzones (x10 ⁵)	Gemiddelde snelheid (m/s, x10 ⁵)	Levering P<300 kPa (x10 ⁵)
Ref.	BOS	n.v.t.	109,4	2,2	1,68	0,88
T10	30 km/10 j	Min. P < 30	101,6	2,57	1,74	0,25
T11		Min. # pendelzones	102,7	1,45	1,65	0,47
T12		Max. gem. snelheid	105,8	2,73	1,74	0,28
T13	50 km/10 j	Min. P < 30	104,2	2,74	1,67	0,25
T14		Min. # pendelzones	108,6	1,55	1,66	0,49
T15		Max. gem. snelheid	100,1	2,73	1,74	0,28