

RAPPORT

**Optimalisatie van strategische  
adviezen RHDHV over de  
verduurzaming van bestaande  
warmtenetten met TEO**

Afstudeerverslag Master of Pipeline Technology

Avans+

Referentie: BZ1179WATRP2002092200

Status: S0/00

Datum: 31 mei 2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85  
3068 AX ROTTERDAM  
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 **T**+31 10 209 44 26 **F**info@rhdhv.com **E**royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Optimalisatie van strategische adviezen RHDHV over de verduurzaming van  
bestaande warmtenetten met TEO

Ondertitel: Afstudeerverslag Master of Pipeline Technology

Referentie: BZ1179WATRP2002092200

Status: 00/S0

Datum: 31 mei 2020

Projectnaam: Afstudeerverslag Master of Pipeline Technology

:  
:

Opgesteld door: Ing. M. van Oostende

Gecontroleerd door: Ing. K. Everse

Datum/paraaf: Drs. J. Botke

: Dr. Drs. Ir. C.M. Ravestloot

:  
:

Classificatie

Open



## Disclaimer

Niets uit deze specificaties/drukwerk mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van HaskoningDHV Nederland B.V.; noch mogen zij zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor andere doeleinden dan waarvoor zij zijn vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor deze specificaties/drukwerk ten opzichte van anderen dan de personen door wie zij in opdracht is gegeven en zoals deze zijn vastgesteld in het kader van deze Opdracht. Het geïntegreerde QHSE-managementsysteem van HaskoningDHV Nederland B.V. is gecertificeerd volgens ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 en ISO 45001:2018.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1	Aanleiding	11
1.2	Probleemstelling	12
1.3	Onderzoeksvariabele	12
1.4	Hoofdvraag	12
1.5	Afbakening	13
1.6	Stand van zaken vergelijkbare onderzoeken	13
1.7	Relevantie	13
1.8	Leeswijzer	14
<b>2</b>	<b>Onderzoeksopzet</b>	<b>15</b>
2.1	Onderzoeksfasering	15
2.2	Deelvragen	15
<b>3</b>	<b>Literatuuronderzoek</b>	<b>16</b>
3.1	Inleiding	16
3.2	Methodiek	16
3.3	Resultaten	16
3.4	Conclusie	18
<b>4</b>	<b>Analyse van strategische adviezen</b>	<b>19</b>
4.1	Inleiding	19
4.2	Methodiek	19
4.3	Resultaten	19
4.4	Conclusie	21
<b>5</b>	<b>Maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen</b>	<b>22</b>
5.1	Inleiding	22
5.2	Methodiek	22
5.3	Resultaten	23
5.4	Analyse	29
5.5	Conclusie	30
<b>6</b>	<b>Gevalstudies</b>	<b>32</b>
6.1	Inleiding	32
6.2	Methodiek	32

6.3	Uitgangspunten	37
6.4	Resultaten	39
6.5	Conclusie	46
<b>7</b>	<b>Optimalisatie van strategische adviezen</b>	<b>47</b>
7.1	Inleiding	47
7.2	Methodiek	47
7.3	Resultaten	49
7.4	Conclusie	51
<b>8</b>	<b>Conclusie</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Discussie</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>Aanbeveling</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>Reflectie</b>	<b>56</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>57</b>

## Tabellen

Tabel 2.1 Deelvragen	15
Tabel 3.1 Zoektermen voor literatuurstudie naar procesmodellen	16
Tabel 4.1 Zoektermen voor desktoponderzoek naar strategische adviezen	19
Tabel 4.2 Samenvatting geanalyseerde strategische adviezen	20
Tabel 5.1 Zoektermen voor literatuurstudie naar maatregelen	22
Tabel 5.2 Overzicht van geïnterviewde werknemers van warmtebedrijven	23
Tabel 5.3 Rangschikking van maatregelen	31
Tabel 6.1 Samenvatting van uitgangspunten voor de Strip en de Wisselaar	39
Tabel 6.2 Uitgangspunten voor rivier de Mark	40
Tabel 6.3 Overzicht van risico's ten aanzien van wet- en regelgeving	41
Tabel 6.4 Reductie CO <sub>2</sub> -uitstoot de Strip	43
Tabel 6.5 Reductie CO <sub>2</sub> -uitstoot de Wisselaar	43
Tabel 6.6 Effect van de maatregelen voor de Strip en de Wisselaar	46
Tabel 7.1 Overzicht van deelnemers aan de focusgroep	49

## Figuren

Figuur 1 Werkwijze binnen strategische adviezen RHDHV	21
Figuur 2 Schematische weergaven van recirculatieleiding	27
Figuur 3 Analyse kwalitatieve codering interviews per maatregel	30
Figuur 4 Visualisatie gescheiden systemen binnen een warmtenet	37
Figuur 5 Geselecteerde sectie van warmtenet in het Havenkwartier	38
Figuur 6 Geselecteerde sectie van warmtenet in de Wisselaar	38
Figuur 7 Gemiddeld debiet Mark in de maanden juni, juli en augustus	40
Figuur 8 Uitkomsten COP berekening	42
Figuur 9 Jaarduurkromme de Strip met 30% warmtepomp en 70% Amernet	42
Figuur 10 Jaarduurkromme de Wisselaar met 30% warmtepomp en 70% Amernet	43
Figuur 11 Analyse van resultaten voor scenario 3 in de Strip	44
Figuur 12 Analyse van resultaten voor scenario 3 in de Wisselaar	45
Figuur 13 Totaal score per maatregel uit de SFA-matrix	50
Figuur 14 Fase binnen strategische adviezen waarin de maatregelen zijn toe te passen	50

## Bijlagen

Bijlage 1 – Samenvatting literatuurstudie

Bijlage 2 – Notulen van interviews incl. verificatie door geïnterviewde

Bijlage 3 – Codering van interviews

Bijlage 4 – Analyse van interviews

Bijlage 5 – Notulen van selectie gevalstudies incl. verificatie

Bijlage 6 – Data CO<sub>2</sub>-uitstoot per GJ in Amernet

Bijlage 7 – Uitgangspunten warmtevraag gevalstudies incl. verificatie

Bijlage 8 – Berekening TEO uit de Mark incl. verificatie

Bijlage 9 – Quicksan WKO in Breda incl. verificatie

Bijlage 10 – Berekening warmtepomp incl. verificatie

Bijlage 11 – Hydraulische scenario's de Strip en de Wisselaar incl. verificatie

Bijlage 12 – Resultaten SFA-matrix incl. verificatie

Bijlage 13 – Notulen van focusgroep incl. verificatie

Bijlage 14 – Beroepsproduct

Bijlage 15 – Interne en externe validatie

## Executive Summary

There is a demand from the heat sector for strategic advice in which sustainable heat sources are weighed against each other to choose the most promising heat source for making existing heat networks more sustainable. It is a **problem** that Royal HaskoningDHV (RHDHV) cannot adequately respond to this opportunity. The reason for this is that Thermal Energy from Surface water (TEO), in combination with the use of lower supply temperatures, cannot be properly weighed against other heat sources. It is strategically important for RHDHV to be able to do this in order to ensure sufficient connection with the sustainable heat sector. Insufficient alignment with making the heat sector more sustainable means that objectives with regard to turnover and a strong market position are not achievable.

The **aim of this research** is to optimize strategic advice so that TEO can be properly weighed against other sustainable heat sources. The following **main question** has been formulated for this: 'How can RHDHV optimize strategic advice, in order to weigh TEO in combination with the application of lower supply temperatures in existing heat networks against other sustainable heat sources, so that the business objectives with regard to turnover and a strong market position can be achieved by the end of 2022?'.

A literature study has conducted **research** into a model for weighing up measures for optimizing strategic advice. The most suitable model for RHDHV is the SFA-matrix. Both internal and external aspects can be taken into account here. Strategic advice from RHDHV was sought and analyzed on the basis of desktop research. The analysis has shown that major adjustments to the heat network are necessary to properly weigh TEO against other sustainable heat sources. Twelve measures have been found in the literature to prevent drastic adjustments to existing heat networks when applying lower supply temperatures. From the perspective of RHDHV, the most suitable measures for optimizing strategic advice are:

- Increase flow temperature;
- Cascading;
- Continuous heating;
- Increase surface of heat exchanger;
- Smart meters.

The **conclusion** is that RHDHV can best assess the measures when elaborating the scenarios in the strategic advice. This means that TEO scores better on the criteria "impact on system", "sustainability" and "phaseability" for a good consideration with other heat sources. The optimization of strategic advice contributes to the business objectives with regard to turnover and a strong market position.

The discussion has shown that the software program Dymola is better suited to assess the effect of applying lower supply temperatures. In addition, a full TEO Life Cycle Analysis (LCA) could be carried out in follow-up research. The **recommendation to RHDHV** is to assess the effect of the measures in future projects using the product based on the results of this study. It is a topical subject, it is good to keep on following scientific publications on this subject in the coming years. The **recommendation to the heat sector** is to enter into dialogue with the government to remove legal obstacles for the application of continuous heating.



## Managementsamenvatting

Vanuit de warmtesector ontstaat de vraag naar strategische adviezen waarin duurzame warmtebronnen tegen elkaar worden gewogen om te komen tot de meest kansrijke warmtebron voor de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Het is een **probleem** dat RHDHV onvoldoende kan inspelen op deze kans. De oorzaak hiervoor is dat TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen niet goed is af te wegen ten opzichte van andere warmtebronnen. Voor RHDHV is het van strategisch belang om dit wel te kunnen voor voldoende aansluiting bij de verduurzaming van de warmtesector. Onvoldoende aansluiting bij verduurzaming van de warmtesector heeft tot gevolg dat doelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie niet haalbaar zijn.

Het **doel** van dit onderzoek is om strategische adviezen te optimaliseren zodat TEO goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen. Hiervoor is de volgende **hoofdvraag** geformuleerd: *‘Op welke wijze kan RHDHV strategische adviezen optimaliseren, om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten af te kunnen wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen, zodat de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie eind 2022 haalbaar zijn?’.*

Middels een literatuurstudie is **onderzoek** gedaan naar een model voor het afwegen van maatregelen voor de optimalisatie van strategische adviezen. Het meest geschikte model voor RHDHV is de SFA-matrix. Hierin zijn zowel interne- als externe aspecten mee te wegen. Aan de hand van desktoponderzoek zijn uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV geanalyseerd. Uit de analyse is gebleken dat ingrijpende aanpassingen aan het warmtenet noodzakelijk zijn om TEO in te kunnen zetten. In de literatuur zijn twaalf maatregelen gevonden waarmee ingrijpende aanpassingen aan bestaande warmtenetten zijn te voorkomen bij de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. Vanuit het perspectief van RHDHV zijn de meest geschikte maatregelen voor de optimalisatie van strategische adviezen:

- Verhoging aanvoertemperatuur;
- Cascaderen;
- Continue verwarming;
- Vergroting oppervlak warmtewisselaar;
- Slimme meters.

De **conclusie** is dat RHDHV het effect van de maatregelen het best kan beoordelen bij het uitwerken van de scenario's in de strategische adviezen. Door de maatregelen zal TEO beter scoren op de criteria 'impact op systeem', 'duurzaamheid' en 'faseerbaarheid'. Door TEO beter af te kunnen wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen kan RHDHV zich onderscheiden van haar concurrenten. De optimalisatie van de strategische adviezen draagt bij aan de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie.

Uit de **discussie** is naar voren gekomen dat het softwareprogramma Dymola beter geschikt is om het effect van de toepassing van lagere aanvoertemperaturen te beoordelen. Daarnaast zou in vervolgonderzoek een volledige Life Cycle Analyse (LCA) van TEO kunnen worden uitgevoerd. De **aanbeveling aan RHDHV** is om in toekomstige projecten het effect van de maatregelen te beoordelen met behulp van het beroepsproduct dat op basis van de resultaten uit dit onderzoek is opgesteld. Het is een actueel onderwerp, het is goed om wetenschappelijke publicaties rondom dit onderwerp de komende jaren te blijven volgen. De **aanbeveling aan de warmtesector** is in gesprek te gaan met de overheid om juridische obstakels weg te nemen voor het toepassen van de maatregel continue verwarming.

## Afkortingen

BENG	=	Bijna Energieneutrale Gebouwen
COP	=	Coëfficiënt Performance
EPC	=	Energie Prestatie Coëfficiënt
GBO	=	Gebruiksoppervlak
SFA	=	Suitability, Feasability and Acceptability
HT	=	Hoge Temperatuur
ISSO	=	Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek
LCA	=	Lyfe Cycle Assesment
LT	=	Lage Temperatuur
MT	=	Midden Temperatuur
PE	=	Polyethyleen
PUR	=	Polyurethaan
RHDHV	=	Royal HaskoningDHV
SIKB	=	Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer
SPF	=	Seasonal Performance Factor
ST	=	Staal
SWOT	=	Strength, Weakness, Opportunity and Threats
TEA	=	Thermische Energie uit Afvalwater
TED	=	Thermische Energie uit Drinkwater
TEO	=	Thermische Energie uit Oppervlaktewater
TSA	=	Tegen Stroom Apparaat
VP	=	Value Propositie
WKO	=	Warmte- en Koudeopslag
WOC	=	Warmteonttrekkingscapaciteit

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De wereldwijde gemiddelde temperatuur is sinds de jaren '60 met bijna één graad gestegen (Masson-Delmotte, Zhai, Pörtner, Roberts, & Skea, 2018). De stijging van de temperatuur komt door een natuurlijk en antropogeen broeikasgaseffect. Als gevolg van het antropogeen broeikasgaseffect, menselijke gebruik van fossiele brandstoffen, is de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer gestegen. De toename van CO<sub>2</sub> heeft een stijging van de wereldwijde gemiddelde temperatuur tot gevolg (Solomon, Qin, Manning, Alley, & Berntsen, 2007). Afhankelijk van beperkende maatregelen voor CO<sub>2</sub>-uitstoot zal een temperatuurstijging optreden tot twee graden richting 2050 (Masson-Delmotte et al., 2018). Indien onvoldoende CO<sub>2</sub>-uitstoot beperkende maatregelen worden getroffen leidt dit tot een onacceptabele stijging van de wereldwijde gemiddelde temperatuur. De verwachting is dat de opwarming van de aarde gevolgen heeft voor onder andere (European Commission, 2018):

- - Weersomstandigheden;
- - Infrastructuur;
- - Voedselproductie;
- - Gezondheid;
- - Biodiversiteit;
- - Politieke stabiliteit.

In het 'Akkoord van Parijs' is afgesproken de temperatuurstijging te beperken tot maximaal 2 graden (UN, 2015). In Nederland gaf het kabinet op 23 februari 2018 het startschot voor het opstellen van het Klimaatakkoord. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren tot 49% in 2030 ten opzichte van 1990. Het Klimaatakkoord is op 28 juni 2019 gepubliceerd (Nijpels, 2019).

Royal HaskoningDHV (RHDHV) draagt met haar missie 'Enhancing Society Together' graag bij aan de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot om opwarming van de aarde te beperken. De visie is om een sterk, onafhankelijk, wereldwijd opererend ingenieursbureau te zijn, duurzaam en leider in onze markten. Concrete doelstellingen naar 2022 zijn om een gezond onafhankelijk bedrijf te zijn met betrokken werknemers, tevreden klanten, sterke marktpositie, omzet van €800 miljoen en een winstgevendheid van 8%. Om de doelstellingen naar 2022 te halen is de strategie 'STRONG22' geïntroduceerd die inzet op het investeren in werknemers, innovaties en partnerships om mee te gaan met veranderingen in de markt (Royal HaskoningDHV, 2017).

Binnen RHDHV is de Taskforce Energietransitie opgericht om bij te dragen aan vraagstukken gerelateerd aan het Klimaatakkoord. De Taskforce Energietransitie moet invulling geven aan de Strong22 strategie en wordt rechtstreeks aangestuurd vanuit de Raad van Bestuur. Er zijn in totaal 13 value propositions (VP's) benoemd welke aansluiten bij de thema's uit het Klimaatakkoord (Holleman, Idema, & Huber, 2017). Voorbeelden van de benoemde VP's zijn warmtenetten, regionale energie strategieën en waterstof.

Voor warmtenetten is in het Klimaatakkoord het doel opgenomen in 2030 een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot te bereiken van 70% ten opzichte van de huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot van CV-ketels (Nijpels, 2019). Het verduurzamen van bestaande warmtenetten is mogelijk door het vervangen van fossiele warmtebronnen door niet-fossiele warmtebronnen (Werner, 2017). Duurzame warmtebronnen die in het Klimaatakkoord zijn opgenomen betreffen geothermie, aquathermie, restwarmte, biomassa en Power to Heat.

Met de duurzame warmtebron aquathermie heeft RHDHV nog weinig ervaring. Aquathermie is een verzamelnaam voor thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), thermische energie uit afvalwater (TEA) en thermische energie uit drinkwater (TED) (Coo & Kleiweg, 2018). Uit recent onderzoek blijkt dat TEO de potentie heeft om 40% van de totale warmtevraag in de gebouwde omgeving in te vullen (Kruit, Schepers, Roosjen, & Boderie, 2018). TEO is een techniek waarbij warmte of koude uit oppervlaktewater ondergronds wordt opgeslagen om in te zetten voor de verwarming of koeling van woningen (Coo & Kleiweg, 2018). Het is echter nog onbekend of TEO is in te zetten voor bestaande warmtenetten. Eén van de oorzaken hiervan is de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten zoals naar voren gekomen in het interview met Marco van Schaik (bijlage 2), Programmanager Aquathermie bij Stowa. De toepassing van lagere aanvoertemperaturen wordt ook wel de transitie van 3<sup>e</sup> naar 4<sup>e</sup> generatie warmtenetten genoemd (Lund, Werner, Wiltshire, Svendsen, & Thorsen, 2014).

Uit de SWOT-analyse van de VP warmtenetten blijkt dat het strategisch adviseren van warmtebedrijven over het verduurzamen van bestaande warmtenetten een kans is voor RHDHV (Everse, 2019). In de strategische adviezen worden duurzame warmtebronnen tegen elkaar gewogen om te komen tot de meest kansrijke warmtebron voor de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Uit de confrontatiematrix van de SWOT-analyse blijkt dat een versterkingsstrategie nodig is om deze kans te benutten. De pijler van de versterkingsstrategie betreft het optimaliseren van strategische adviezen om meer aan te sluiten bij de verduurzaming van de warmtesector.

## 1.2 Probleemstelling

Een gevolg van het klimaatakkoord is dat de warmtesector moet verduurzamen. Hiermee ontstaat de vraag naar strategische adviezen waarin duurzame warmtebronnen tegen elkaar worden gewogen om te komen tot de meest kansrijke warmtebron voor de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Voor RHDHV is het van strategisch belang om alle beschikbare duurzame warmtebronnen goed tegen elkaar af te kunnen wegen. Binnen de strategische adviezen lukt dit nog niet voor TEO. Het is een probleem dat RHDHV niet weet hoe strategische adviezen zijn te optimaliseren om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen binnen bestaande warmtenetten af te wegen ten opzichte van andere warmtebronnen. Dit moet eind 2022 wel mogelijk zijn voor voldoende aansluiting bij de verduurzaming van de warmtesector. Onvoldoende aansluiting bij verduurzaming van de warmtesector heeft tot gevolg dat doelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie niet haalbaar zijn.

## 1.3 Onderzoeksvariabele

De mate waarin het RHDHV lukt strategische adviezen te optimaliseren om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten af te kunnen wegen met andere duurzame warmtebronnen, zodat de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie eind 2022 haalbaar zijn.

## 1.4 Hoofdvraag

Om het verschil tussen de huidige en gewenste situatie te verkleinen is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Op welke wijze kan RHDHV strategische adviezen optimaliseren, om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten af te kunnen wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen, zodat de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie eind 2022 haalbaar zijn?

## 1.5 Afbakening

Dit onderzoek richt zich op de strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Onder verduurzaming wordt een reductie van de huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot verstaan. Het onderzoek is uitgevoerd binnen de volgende kaders:

- De toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten heeft zowel impact op technische als niet-technische aspecten. Onder technische aspecten vallen de warmtebron, het transport- en distributienet en afleversets (Rämä & Sipilä, 2017). Onder niet-technische aspecten vallen contractuele afspraken met afnemers en leveranciers en de winstgevendheid van het warmtenet (Pellegrini, Bianchini, Guzzini, & Saccani, 2019). Voor de optimalisatie van strategische adviezen is enkel gekeken naar de technische aspecten voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen.
- Warmtenetten bestaan uit een warmtebron, transportnet, distributienet en afleverset. In het algemeen is het transport- en distributienet van elkaar gescheiden door een warmteoverdrachtsstation. Vanaf de WOS gaat het water via een distributienet naar de afnemers (Hoogervorst, 2017). In dit onderzoek is de verduurzaming van bestaande warmtenetten vanaf de WOS tot aan de afnemers beschouwt.
- Binnen het kader van dit onderzoek ligt de focus op TEO uit waterlopen en plassen (Scholten & Wierikx, 2016). Grote rivieren zijn veelal aanwezig in de steden waar bestaande warmtenetten liggen, hierdoor is TEO uit waterlopen en plassen het meest kansrijk.
- Een warmtepomp is collectief of individueel te plaatsen (Hoogervorst, 2017). In dit onderzoek is een individuele warmtepomp niet beschouwd omdat woningen die zijn aangesloten op bestaande warmtenetten oude woningen betreffen. Door ruimtegebrek in oude woningen is de inpassing van een individuele warmtepomp lastig.
- Benodigde aanpassingen aan woningen om deze geschikt te maken voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen (Verhaegh, 2017) maakt geen onderdeel uit van dit afstudeeronderzoek.

## 1.6 Stand van zaken vergelijkbare onderzoeken

Vanuit ingenieursbureaus zijn een beperkt aantal onderzoeken uitgevoerd naar het optimaliseren van adviezen. Afstudeeronderzoeken die via Google Scholar zijn gevonden betreffen 'Laat herstructurering zich modelleren?' (Dam, 2006), 'Blauwdruk " Ontwerpproces Tauw' (Swaij, 2007) en 'Belangrijke invloedsfactoren en mogelijke maatregelen voor snelwegsystemen' (Tiemessen, 2010). Deze afstudeeronderzoeken hebben geen betrekking op de warmtesector, maar op mobiliteit en planologie.

## 1.7 Relevantie

Met dit onderzoek streeft RHDHV naar een optimalisatie van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Het doel is om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen goed af te kunnen wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen. Hiermee lukt het RHDHV onderscheidend te zijn ten opzichte van haar concurrenten. Dit draagt bij aan de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van een omzet en een sterkere marktpositie. Het inspelen op de kansen uit de SWOT-analyse van de VP warmtenetten zorgt voor de verdere ontwikkeling van de Taskforce Energietransitie waarmee invulling wordt gegeven aan de STRONG22 strategie van RHDHV.

## 1.8 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de onderzoeksopzet. Hierin zijn de onderzoeksfasering en deelvragen uitgewerkt.

Hoofdstuk 3 gaat in op de literatuurstudie naar het optimaliseren van strategische adviezen. In dit hoofdstuk is een model geselecteerd dat voor RHDHV het meest geschikt is voor het afwegen van opties om tot de optimalisatie van strategische adviezen te komen.

Hoofdstuk 4 behandelt de analyse van uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV. Uit de analyse is de oorzaak gebleken waarom TEO in combinatie met de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur niet goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen.

Hoofdstuk 5 gaat in op de meest kansrijke maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten.

Hoofdstuk 6 beschrijft de gevalstudies waarvoor de haalbaarheid van TEO, reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot en het effect van de maatregelen is beoordeeld.

Hoofdstuk 7 gaat in op de afweging van de maatregelen die voor RHDHV het meest geschikt zijn om te adviseren over de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten. Daarnaast is onderzocht in welke fase van de strategische adviezen de maatregelen het best zijn te implementeren.

Hoofdstuk 8 beantwoordt de hoofdvraag van het onderzoek.

Hoofdstuk 9 bevat de discussie over de resultaten uit het onderzoek.

Hoofdstuk 10 beschrijft de aanbevelingen aan RHDHV en de branche die uit het onderzoek volgen.

Hoofdstuk 11 gaat in op de reflectie van de onderzoeker.

## 2 Onderzoeksopzet

Binnen dit hoofdstuk zijn de onderzoeksfasering en deelvragen opgenomen om tot beantwoording van de hoofdvraag te komen.

### 2.1 Onderzoeksfasering

#### *Fase 1 – Huidige- en gewenste situatie van strategische adviezen*

Om tot de gewenste situatie te komen, de optimalisatie van strategische adviezen, is een model nodig om opties voor optimalisatie tegen elkaar af te wegen. Doormiddel van een literatuurstudie is gekeken wat de wetenschappelijke literatuur zegt over de optimalisatie van strategische adviezen. Daarnaast is de huidige situatie beter in beeld gebracht door een analyse van uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV. Hieruit volgt het kader waarbinnen de hoofdvraag van dit onderzoek is te beantwoorden.

#### *Fase 2 - Maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten*

Voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten zijn maatregelen nodig om ingrijpende aanpassingen aan het warmtenet te voorkomen. Doormiddel van een literatuurstudie is naar maatregelen gezocht voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. De maatregelen uit de literatuurstudie zijn in semigestructureerde interviews met werknemers van warmtebedrijven besproken. Met de uitkomsten van de interviews zijn de maatregelen gerangschikt naar voorkeur vanuit het perspectief van de warmtebedrijven. Hiermee zijn externe belangen mee te wegen in het model uit fase 1 om tot de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV te komen. In twee gevalstudies is het effect van de maatregelen beoordeeld die vanuit de warmtebedrijven de grootste voorkeur hebben.

#### *Fase 3 - Optimalisatie van strategische adviezen RHDHV*

Het model uit fase 1 is gebruikt voor het selecteren van de maatregelen die voor RHDHV het meest geschikt zijn. Met een focusgroep, bestaande uit werknemers van RHDHV, is een discussie gevoerd over de fase waarin de maatregelen zijn te implementeren. Het beter kunnen afwegen van TEO met andere duurzame warmtebronnen zorgt voor een optimalisatie van de strategische adviezen van RHDHV over de verduurzaming van bestaande warmtenetten.

## 2.2 Deelvragen

Tabel 2.1 geeft de onderzoeksmethode en verificatie per deelvraag.

Tabel 2.1 Deelvragen

Nr	Deelvragen	Onderzoeksmethode	Verificatie
1	Wat zegt de wetenschappelijke literatuur over de optimalisatie van strategische adviezen?	Literatuurstudie	Zoektermen
2	Wat is de oorzaak dat TEO niet goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen binnen de strategische adviezen van RHDHV?	Desktoponderzoek	Zoektermen
3	Welke maatregelen zijn vanuit het perspectief van de warmtebedrijven het meest gewenst voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten?	Literatuurstudie & Semigestructureerde interviews	Zoektermen & Goedgekeurde notulen
4	Wat is de bijdrage van TEO aan de verduurzaming van bestaande warmtenetten en wat is het effect van de maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen?	Gevalstudie	Goedgekeurde gevalstudie
5	Welke maatregelen zijn voor RHDHV het meest geschikt voor de optimalisatie van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten	Focusgroep	Goedgekeurd afwegingskader & notulen



## 3 Literatuuronderzoek

### 3.1 Inleiding

Een literatuuronderzoek is uitgevoerd naar de optimalisatie van strategische adviezen. Om het verschil te verkleinen tussen de huidige en gewenste situatie is een model nodig waarmee opties zijn af te wegen voor de optimalisatie van strategische adviezen. Binnen dit hoofdstuk is onderzocht welk model voor RHDHV het meest geschikt is. Dit hoofdstuk beantwoordt de deelvraag:

1. Wat zegt de wetenschappelijke literatuur over de optimalisatie van strategische adviezen?

In paragraaf 3.2 is toegelicht welke zoeklocaties en zoektermen gebruikt zijn om literatuur te vinden over het optimaliseren van strategische adviezen. In paragraaf 3.3 zijn de resultaten van het literatuuronderzoek opgenomen. Paragraaf 3.4 beantwoordt deelvraag 1.

### 3.2 Methodiek

In deze paragraaf is toegelicht welke zoektermen en zoeklocaties voor het literatuuronderzoek zijn gebruikt om modellen over het afwegen van opties te vinden. Google Scholar is gebruikt om wetenschappelijke literatuur te zoeken. Hierbij zijn geen beperkingen opgenomen voor de relevantie (publicatiedatum) van de literatuur. Modellen zijn immers van alle tijden. Tabel 5.1 geeft de zoektermen die zijn gebruikt.

Tabel 3.1 Zoektermen voor literatuurstudie naar procesmodellen

Nederlands	Engels
Modellen voor verbetering adviezen	Models for improving advise
Optimalisatie van adviezen ingenieursbureaus	Optimization of advises engineering consultants

### 3.3 Resultaten

In deze paragraaf zijn de relevante modellen toegelicht welke zijn gevonden in de wetenschappelijke literatuur.

#### 3.3.1 DMAIC cyclus

De DMAIC cyclus is afkomstig uit de Six-Sigma filosofie en staat voor formuleren (Define), meten (Measure), analyseren (Analyse), verbeteren (Improve) en controleren (Control) (Mast & Lokkerbol, 2012). Het doel van de cyclus is om tot verbetering van processen te komen. De cyclus bestaat uit de stappen (Talankar, 2011):

- 1 Formuleren van de verbetermogelijkheid ten aanzien van een probleem, risico, of idee;
- 2 Vooraf vastleggen van informatie welke nodig is om de verbetering te kunnen meten;
- 3 Analyseren van het probleem om tot de oorzaken van het probleem te komen;
- 4 Een oplossing voor het probleem en het opstellen van een implementatieplan voor het bedrijf;
- 5 Controleren of de resultaten van de verbetering ook tot de oplossing van het probleem leiden.



### 3.3.2 FOETSJE-model

Het FOETSJE-model bestaat uit criteria, die betrekking hebben op de interne organisatie, om de haalbaarheid van opties te toetsen (Framback & Nijssen, 2017). Uit het model volgen de meest geschikte opties welke invulling kunnen geven aan de strategie van de organisatie. De criteria betreffen (Kleijn & Rorink, 2005):

- Financieel;
- Organisatorisch;
- Economisch;
- Technologisch;
- Sociaal;
- Juridisch;
- Ethisch.

### 3.3.3 SFA-matrix

Met de SFA-matrix zijn strategische opties tegen elkaar af te wegen (Johnson & Scholes, 1993). SFA staat voor geschiktheid (Suitability), haalbaarheid (Feasibility) en aanvaardbaarheid (Acceptability). De SFA-matrix heeft tot doel de opties te beoordelen voor de uitwerking van de strategie uit de confrontatiematrix van de SWOT analyse. De SFA-matrix lijkt hiermee veel op het FOETSJE-model. De SFA-matrix is echter uitgebreider doordat het naast de haalbaarheid van de opties ook ingaat op geschiktheid en aanvaardbaarheid. Bij de beoordeling van de opties op haalbaarheid zijn de criteria van het FOETSJE-model te gebruiken. Andere criteria voor de beoordeling van de opties betreffen:

- Geschiktheid:
  - Creëert onderscheidend vermogen?
  - Benut het de kansen en sterkte van de organisatie?
- Aanvaardbaarheid:
  - Mate van financiële risico's?
  - Acceptatie door belanghebbende?

### De 5 P's

De 5 P's zijn een afgeleide van de 4 P's die in 1960 door McCarthy zijn ontwikkeld (McCarthy, 1960). De 4 P's worden aanvankelijk voor verbetering van marketing gebruikt, maar zijn tegenwoordig ook voor verbeteringen binnen bedrijven in te zetten (Waterschoot & S. van den Bulte, 1992). Een vijfde P is toegevoegd om het accent niet te leggen op een 'product', maar op een 'dienst. Hierdoor sluiten de 5 P's beter aan bij ingenieursbureaus die met name diensten leveren. De 5 P's zijn te vertalen naar:

- Product;
- Promotie
- Prijs;
- Plaats;
- Personeel;

### 3.4 Conclusie

Binnen dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord:

1. Wat zegt de wetenschappelijke literatuur over de optimalisatie van strategische adviezen?

Voor de optimalisatie van strategische adviezen zijn binnen dit hoofdstuk vier modellen omschreven afkomstig uit de wetenschappelijke literatuur. De vier gevonden modellen betreffen de DMAIC cyclus, FOETSJE-model, SFA-Matrix en 5 P's. Binnen het kader van dit onderzoek sluit de SFA-matrix het best aan om opties, binnen dit onderzoek verder maatregelen genoemd, te kunnen afwegen op geschiktheid, haalbaarheid en aanvaardbaarheid. Met deze criteria wordt zowel ingegaan op interne- als externe aspecten welke van belang zijn bij de beoordeling. Met de SFA-matrix is te beoordelen welke maatregelen voor RHDHV het meest geschikt zijn voor de optimalisatie van de strategische adviezen.

## 4 Analyse van strategische adviezen

### 4.1 Inleiding

Binnen dit hoofdstuk zijn uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV over de verduurzaming van bestaande warmtenetten geanalyseerd. De analyse heeft tot doel de oorzaak te achterhalen dat TEO niet goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen. Dit hoofdstuk beantwoordt deelvraag:

2. Wat is de oorzaak dat TEO niet goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen binnen de strategische adviezen van RHDHV?

In paragraaf 4.2 is toegelicht welke zoeklocaties en zoektermen zijn gebruikt om op basis van een desktoponderzoek uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV te vinden. In paragraaf 4.3 zijn de resultaten opgenomen van de analyse van de strategische adviezen. Paragraaf 4.4 bevat de beantwoording van de deelvraag.

### 4.2 Methodiek

In deze paragraaf is toegelicht welke zoeklocaties en zoektermen zijn gebruikt om uitgevoerde strategische adviezen te vinden. Doordat de strategische adviezen verspreid zijn uitgevoerd over verschillende Business Lines van RHDHV is geen totaal beeld van de uitgevoerde strategische adviezen. Om een zo compleet mogelijk beeld van uitgevoerde strategische adviezen te krijgen is in het digitaal archief van RHDHV, BOX, gezocht. Tabel 4.1 geeft de zoektermen die zijn gebruikt.

Tabel 4.1 Zoektermen voor desktoponderzoek naar strategische adviezen

Zoektermen	
Scenariostudie warmtebronnen	Duurzame warmtevoorziening
Masterplan warmtenet	Variantenanalyse warmtebronnen

Vanaf 2018 zijn door RHDHV de eerste strategische adviezen uitgevoerd waarin onderzoek is gedaan naar de meest kansrijke warmtebronnen voor de verduurzaming van warmtenetten. Hierdoor is een zoekperiode gehanteerd vanaf januari 2018 tot en met april 2020. Enkel Nederlandstalige zoektermen zijn gebruikt, omdat de strategische adviezen tot op heden alleen voor de Nederlandse markt zijn uitgevoerd.

### 4.3 Resultaten

In deze paragraaf zijn uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV geanalyseerd. Strategische adviezen die zijn gevonden in het desktoponderzoek en zijn gebruikt voor de analyse betreffen:

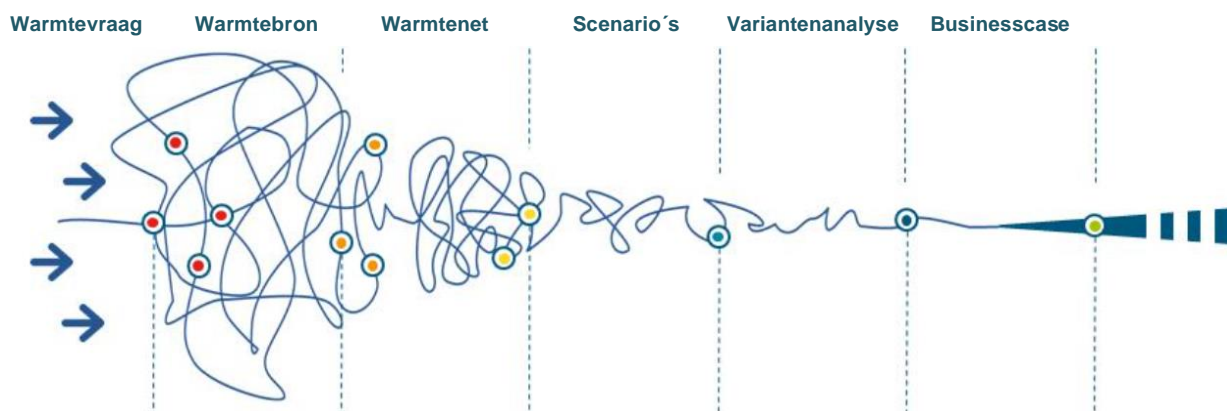
- Ypenburg transitie hernieuwbare warmte (Pfeiffer & Everse, 2018)
- Variantenanalyse Zeeburgereiland (Hoetz & Baas, 2019)
- Energieplan Groot Schuylenburg (Boekenoogen, Bootsma, Bosch, & Baat, 2019)
- Masterplan warmtenet Assen (Knoors & Bootsma, 2020)
- Verkenning wijkuitvoeringsplan Spoorzone Zwolle (Overvelde, Knoors, & Fransen, 2020)

Uit de analyse van de uitgevoerde strategische adviezen van RHDHV blijkt dat deze bestaat uit zes fasen. Per strategisch advies verschillen de onderdelen die binnen de fasen worden behandeld. Tabel 4.2 geeft de uitkomsten van de analyse.

Tabel 4.2 Samenvatting geanalyseerde strategische adviezen

	(Pfeiffer & Everse, 2018)	(Hoetz & Baas, 2019)	(Boekenoo gen et al., 2019)	(Knoors & Bootsma, 2020)	(Overvelde et al., 2020)
<b>1. Warmtevraag bepalen</b>					
a. Woningen	X		X	X	X
b. Niet-woningen	X	X	X	X	X
c. Toekomstige nieuwbouw	X	X	X	X	X
<b>2. Warmtebronnen identificeren</b>					
a. Collectief	X	X	X	X	X
b. Individueel	X	X	X	X	X
<b>3. Warmtenet beoordelen</b>					
a. Bestaand warmtenet	X				X
b. Toekomstige uitbreiding	X				
c. Nieuw warmtenet		X	X	X	X
<b>4. Scenario's uitwerken</b>					
a. Bronnet		X			X
b. Lage temperatuur	X	X	X		X
c. Midden temperatuur	X	X	X	X	X
d. Hoge temperatuur	X	X	X		
<b>5. Variantenanalyse</b>					
a. Betaalbaarheid	X	X	X	X	X
b. Duurzaamheid	X	X	X	X	X
c. Faseerbaarheid / Flexibiliteit	X	X	X	X	X
d. Ruimtelijke inpasbaarheid		X		X	X
e. Impact op systeem	X	X	X		X
f. Impact op de woningen	X		X		
g. Draagvlak	X				X
h. Organiseerbaarheid		X			
<b>6. Businesscase opstellen</b>					
a. CAPEX	X	X	X	X	X
b. OPEX	X	X	X	X	X
c. Gevoeligheidsanalyse				X	X

Figuur 1 visualiseert de fasen die voor de uitwerking van strategische adviezen worden doorlopen. De strategische adviezen starten veelal met het bepalen van de warmtevraag van een gebied. De combinatie van beschikbare warmtebronnen en configuraties voor het warmtenet leidt tot verschillende scenario's. Uit de variantenanalyse volgt een totaalscore per scenario. De uitwerking van de businesscase vindt alleen plaats voor het scenario met de hoogste score.



Figuur 1 Werkwijze binnen strategische adviezen RHDHV

De onderdelen behandeld binnen fase 3 'Warmtenet' en 5 'Variantenanalyse' van de uitgevoerde strategische adviezen verschillen van elkaar. De verschillen die ontstaan in fase 3 'Warmtenet' zijn het gevolg van de focus, duurzaam nieuw of verduurzaming bestaand warmtenet, waarop de strategische adviezen zijn gericht. In fase 5 'Variantenanalyse' verschillen de geanalyseerde strategische adviezen van elkaar ten aanzien van de criteria waarop scenario's zijn beoordeeld.

In de analyse is naar voren gekomen dat warmtebronnen met een LT of MT vaak afvallen binnen fase 5 'Variantenanalyse'. De oorzaak hiervoor is dat ingrijpende aanpassingen aan bestaande woningen en het warmtenet nodig zijn. Dit resulteert in een slechte beoordeling op enkele specifieke criteria in de variantenanalyse. Slimme oplossingen zijn nodig om de beoordeling op de criteria 'impact op systeem', 'impact op woningen', 'duurzaamheid' en 'faseerbaarheid' te verhogen. Door een hogere beoordeling op deze criteria zijn warmtebronnen zoals TEO met een LT of MT kansrijker voor de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Dit zou een optimalisatie van de strategische adviezen van RHDHV betekenen waarmee beter wordt aangesloten bij de verduurzaming van de warmtesector.

## 4.4 Conclusie

Binnen dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord:

2. Wat is de oorzaak dat TEO niet goed is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen binnen de strategische adviezen van RHDHV?

TEO is niet goed af te wegen met andere duurzame warmtebronnen doordat ingrijpende aanpassingen aan woningen en het warmtenet nodig zijn bij de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. Binnen de strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten scoort TEO binnen fase 5 'Variantenanalyse' slecht op de criteria 'impact op systeem', 'impact op woningen', 'duurzaamheid' en 'faseerbaarheid'. Aanpassingen van woningen valt buiten het kader van dit onderzoek. Slimme oplossingen waarmee aanpassingen aan het warmtenet zijn te voorkomen maken wel onderdeel uit van dit onderzoek voor de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV.

## 5 Maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen

### 5.1 Inleiding

Binnen dit hoofdstuk zijn maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten onderzocht. De maatregelen zijn in semigestructureerde interviews met werknemers van warmtebedrijven besproken. Met de resultaten uit de interviews zijn de maatregelen gerangschikt naar voorkeur vanuit het perspectief van de warmtebedrijven. De rangschikking is input voor de criteria 'Geaccepteerd door belanghebbende' binnen de SFA-matrix die in hoofdstuk 7 van dit onderzoek is uitgewerkt. Dit hoofdstuk beantwoordt de deelvraag:

- Welke maatregelen zijn vanuit het perspectief van de warmtebedrijven het meest gewenst voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten?

Om een compleet beeld te krijgen van maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten is een literatuurstudie uitgevoerd. In paragraaf 5.2 is de methode omschreven welke gebruikt is voor het uitvoeren van de literatuurstudie en semigestructureerde interviews. In paragraaf 5.3 zijn de maatregelen omschreven die uit de literatuur. De omschrijving van de maatregelen is aangevuld met informatie afkomstig uit de interviews. Paragraaf 5.4 bevat de analyse van de interviews voor de rangschikking van de maatregelen naar voorkeur vanuit het perspectief van de warmtebedrijven. Paragraaf 5.5 sluit het hoofdstuk af door beantwoording van de deelvraag.

### 5.2 Methodiek

Een literatuurstudie is uitgevoerd naar maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten. Google Scholar is gebruikt om wetenschappelijke literatuur op te zoeken. Er is enkel naar actuele publicaties gezocht niet ouder dan vijf jaar, met peildatum 14 september 2019. Tabel 5.1 geeft de zoektermen weer welke in Google Scholar zijn gebruikt. Literatuur met betrekking tot de volgende onderwerpen is niet meegenomen omdat deze buiten het kader van dit onderzoek vallen of nader onderzoek nodig hebben:

- Toepassing van lagere aanvoertemperaturen door slimme sturing;
- Toepassing van lagere aanvoertemperaturen door aanpassingen aan binneninstallaties van woningen;
- Toepassing van lagere aanvoertemperaturen door plaatsing van individuele buffervaten.

Tabel 5.1 Zoektermen voor literatuurstudie naar maatregelen

Nederlands	Engels
Verlaging aanvoertemperatuur warmtenetten	Reduction of supply temperature district heating
Verlaging retourtemperatuur warmtenetten	Reduction of return temperature district heating
Verlaging retourtemperatuur in bestaande warmtenetten	Lowering return temperature in existing district heating
Transitie naar 4e generatie warmtenetten	Transition to 4th generation district heating
Transitie naar lage temperatuur warmtenetten	Transition to low temperature district heating

Voor de vertaling van de wetenschap naar de praktijk zijn de maatregelen, afkomstig uit de literatuurstudie, in semigestructureerde interviews voorgelegd aan werknemers werkzaam bij de warmtebedrijven Ennatuurlijk, Vattenfall en Eneco. Per warmtebedrijf is één werknemer geïnterviewd op

managementniveau en één op operationeel niveau. Tabel 5.2 geeft een overzicht van de geïnterviewde personen.

Tabel 5.2 Overzicht van geïnterviewde werknemers van warmtebedrijven

Naam	Functie	Bedrijf
Frank Soons	Manager Duurzaamheid & Innovatie	Ennatuurlijk
Richard van Ballegooijen	Project Engineer	Ennatuurlijk
Caryl Jones	Programmamanager Warmte	Vattenfall
Erol Karaulu	Pipeline Engineer	Vattenfall
Michiel Bakker, Paulo Herdé	Operationeel Assetmanager, Manager Smart Grid & Innovation	Eneco
Niels van Schie	System Engineer	Eneco

De notulen van de interviews zijn kwalitatief gecodeerd om de verzamelde informatie te ordenen. Het kwalitatief coderen bestaat uit de fasen open coderen, axiaal coderen en selectief coderen. Voor het open coderen zijn codes aan tekstfragmenten gekoppeld. Voor het axiaal coderen is het aantal codes afkomstig uit het open coderen gereduceerd door bij elkaar horende codes samen te voegen. Bij het selectief coderen zijn de codes uit het axiaal coderen geordend om een overzicht te krijgen van de codes die relevant zijn voor dit onderzoek.

Per code uit de kwalitatieve codering van de interviews is beoordeeld of het bijbehorende tekst fragment negatief of positief was. De maatregelen uit de literatuurstudie zijn hiermee te rangschikken van minst naar meest gewenst vanuit het perspectief van de warmtebedrijven.

## 5.3 Resultaten

Uit de literatuurstudie zijn in totaal 12 maatregelen in de wetenschappelijke literatuur gevonden voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. Voor de vertaling van de maatregelen uit de literatuur naar de praktijk is de omschrijving van elke maatregel aangevuld met informatie afkomstig uit de interviews.

Aanvullende informatie bij deze paragraaf is opgenomen in 'Bijlage 1 Samenvatting literatuurstudie' en 'Bijlage 2 Notulen van interviews'.

### 5.3.1 Verhoging aanvoertemperatuur bij pieklast

Bij de toepassing van lagere aanvoertemperaturen ontstaat een lagere overdracht in de afleverset (Pellegrini et al., 2019). In de winter dient een comfortabele verwarming van woningen gewaarborgd te blijven tijdens de pieklast. Een oplossing hiervoor is het kortstondig verhogen van de aanvoertemperatuur (Kleinertz, Brühl, Veitengruber, Pellingner, & Roon, 2018).

Uit het interview met Michiel Bakker en Frank Soons blijkt dat warmtebedrijven de aanvoertemperatuur in bestaande grootschalige warmtenetten al geleidelijk laten toenemen naarmate de temperatuur buiten afkoelt. Volgens geïnterviewde Richard van Ballegooijen en Niels van Schie is het tijdelijk verhogen van aanvoertemperatuur voor het opvangen van de ochtend en avond pieklast voor grote bestaande warmtenetten lastig te regelen. De oorzaak hiervoor is de grote transportafstand vanaf de warmtebron naar de afnemers waardoor het lang duurt voordat de warmte bij de afnemers aankomt. Bij kleinere warmtenetten is het tijdelijk verhogen van de aanvoertemperatuur beter te regelen.



### 5.3.2 Verhogen druk en stroomsnelheid bij pieklast

De toepassing van lagere aanvoertemperaturen heeft als gevolg dat de stroomsnelheid moet toenemen tijdens de pieklast (Lauenburg, 2016). Hierdoor ontstaan meer drukverliezen waardoor een hogere druk noodzakelijk is. Mogelijk dat oude leidingen vervangen dienen te worden om de hogere druk toe te kunnen laten (Neirotti, Noussan, Rivero, & Manganini, 2019). Indien overcapaciteit in de leidingen aanwezig is zijn lagere aanvoertemperaturen toe te passen zonder noodzakelijk vervanging van oude leidingen (Volkova, Latošov, Hlebnikov, & Siirde, 2018).

Uit het interview met Richard van Ballegooijen blijkt dat de pompen in warmtenetten bij een toenemende warmtevraag al een hogere druk leveren voor het vergroten van de transportcapaciteit. Volgens geïnterviewde Michiel Bakker is de mate waarmee op druk en stroomsnelheid is te sturen echter beperkt en neemt de retourtemperatuur toe bij hogere stroomsnelheden. Volgens geïnterviewde Niels van Schie is het nadeel van het toepassen van hogere drukken en stroomsnelheden een toename van de pompenergie en een hogere slijtage van de pomp.

### 5.3.3 Continue verwarming

Continue verwarming is een oplossing om de pieklast afkomstig van ruimteverwarming te verminderen. Hierbij stuurt het warmtebedrijf aan op verwarming van woningen in de nacht zodat de pieklast in de ochtend kleiner is. Door het verkleinen van de pieklast ontstaat overcapaciteit in de leidingen waardoor het toepassen van lagere aanvoertemperaturen mogelijk is. In een gevalstudie is aangetoond dat door continue verwarming de jaarlijkse warmtevraag met 3,5% toeneemt. De toename wordt gecompenseerd door een vermindering van de warmteverliezen bij een lagere aanvoertemperatuur (Neirotti et al., 2019).

In het interview met Paolo Herdé is aangegeven dat Eneco met het project Finland momenteel kijkt naar het afvlakken van de pieklast. Met informatie over de gewenste binnentemperatuur is het mogelijk de warmtelevering aan afnemers te sturen. Volgens geïnterviewde Richard van Ballegooijen is het voor warmtebedrijven nog een uitdaging om informatie te verkrijgen over de gewenste binnentemperatuur. Door geïnterviewde Niels van Schie is bevestigd dat door continue verwarming de verwachting is dat de pieklast afneemt, maar de basislast toeneemt.

Uit het interview met Michiel Bakker bleek dat in afleversets kleppen zitten die alleen volledig open of dicht kunnen. Voor het geleidelijk bereiken van de gewenste binnentemperatuur biedt een modulaire klep uitkomst. Een modulaire klep kan in verschillende standen open, waardoor de stroming beter is te reguleren en lagere retourtemperaturen zijn te bereiken. Volgens geïnterviewde Niels van Schie is het voordeel van het geleidelijk bereiken van de gewenste binnentemperatuur dat de binnentemperatuur niet hoger eindigt dan gewenst.

### 5.3.4 Cascaderen

Bij cascaderen zijn gebouwen niet aangesloten op de aanvoerleiding, maar op de retourleiding. Door het aansluiten van gebouwen op de retourleiding zijn lagere retourtemperaturen te bereiken (Martinez, Zabala, Bogdanovic, Savic, & Sistemi, 2020). Door de lagere retourtemperatuur verbetert de efficiëntie van het warmtenet (Averfalk, Werner, Felsmann, Rühling, & Wiltshire, 2017). In een gevalstudie voor het warmtenet in Klagenfurt is de methodologie uitgewerkt voor de modelopzet van een warmtenet waarin cascaderen is toegepast (Basciotti, Köfinger, Marguerite, Terreros, & Agugiaro, 2016). In een gevalstudie voor het warmtenet in Wenen is aangetoond dat door cascaderen de retourtemperatuur is te verlagen met 10 graden en de capaciteit van het warmtenet met 16% toeneemt (Köfinger, Basciotti, & Schmidt, 2017).



Bij retourtemperaturen die te laag zijn voor het gebruik van warm tapwater is cascaderen alleen mogelijk voor kantoren of woningen zonder warm tapwater gebruik (Kleinertz et al., 2018).

Volgens geïnterviewde Richard van Ballegooijen en Niels van Schie is cascaderen door de warmtebedrijven alleen toegepast in secundaire transportleidingen met een stooklijn van 90/70 graden. Bij deze stooklijn is de aanvoertemperatuur vanuit de retourleiding voldoende hoog voor warm tapwater. In het interview met Erol Karaulu is naar voren gekomen dat cascaderen uitkomst biedt om op leidingen die al tegen hun maximale capaciteit zitten extra afnemers aan te sluiten. Door geïnterviewde Richard van Ballegooijen is bevestigd dat door cascaderen lagere retourtemperaturen zijn te bereiken.

In het interview met Richard van Ballegooijen is als aandachtspunt benoemd dat onderlinge beïnvloeding tussen de aanvoer- en retourleiding is te voorkomen door voldoende afstand te houden bij de aansluiting op de retourleiding. Volgens geïnterviewden Frank Soons, Niels van Schie en Michiel Bakker biedt een extra koppeling met de aanvoerleiding uitkomst om tijdens de pieklast de gecascadeerde afnemers van voldoende warmte te garanderen. Volgens geïnterviewde Niels van Schie is door menging van de aanvoer- met de retourtemperatuur een stooklijn van 70/40 graden voor het gecascadeerde deel van het warmtenet haalbaar. In het interview met Michiel Bakker is gebleken dat Eneco momenteel onderzoek doet naar het verlagen van de aanvoertemperatuur in specifieke secties van het warmtenet door het mixen van de aanvoer- en retourtemperatuur vanaf onderstations.

Volgens geïnterviewde Niels van Schie en Richard van Ballegooijen dalen in de toekomst de huidige stooklijnen van 90/70 naar 70/40 of 45/25 graden. Bij een retourtemperatuur van 55 graden of lager is de directe levering van warm tapwater niet meer mogelijk. Warm tapwater is dan alleen te gebruiken door de tussenkomst van een boiler of boosterwarmtepomp. Alleen nieuwbouwwoningen met een lage warmtevraag of kantoorgebouwen met een beperkte vraag naar warm tapwater zijn bij een lage retourtemperatuur gecascadeerd aan te sluiten.

### 5.3.5 By-pass met kleinere klep

Voor warm tapwater geldt dat de aanvoertemperatuur minimaal 55 graden moet zijn om legionella te voorkomen (NEN1006). Om de aanvoertemperatuur voldoende hoog te houden zijn verbindingen tussen de aanvoer- en retourleidingen gemaakt. Deze verbindingen worden ook wel by-passen of thermische omlopen genoemd. De by-pass bevat een mechanische klep die open gaat op het moment dat de aanvoertemperatuur lager is dan 55 graden (Lund et al., 2014) (Della Rosa, Li, Svendsen, Werner, & Persson, 2014). Het gevolg van de menging van water uit de aanvoerleiding met water in de retourleiding is een minder efficiënt gebruik van het warmtenet door een toename van de retourtemperatuur (Li, Svendsen, Gudmundsson, Schmidt, & Kallert, 2017). By-passen zijn te optimaliseren door het toepassen van een kleinere klep, in de vorm van een naaldventiel. Het debiet dat door de by-pass stroomt neemt hierdoor af. Het voordeel van het naaldventiel is dat een constantere stroming door de by-pass de efficiëntie van het warmtenet ten goede komt. De verwachting is dat hierdoor 50% minder water door by-passen stroomt (Della Rosa et al., 2014).

Door alle geïnterviewde experts uit de warmtesector is bevestigd dat de by-pass als functie heeft de aanvoertemperatuur boven de 55 graden te houden voor het gebruik van warm tapwater. De by-passen die in distributieleidingen voorkomen zijn DN20, DN32 of DN40. Per warmtebedrijf verschillen de locaties waar by-passen zijn toegepast:

- Op locaties waar warmtenetten nog in ontwikkeling zijn en de leiding op een eind ligt;
- Onder de beugel van de afleverset bij het laatste aangesloten gebouw;

- Bovenaan stijgleidingen in flats;
- Op het einde van leidingen voor blokverwarming;
- In de afleverset.

Volgens geïnterviewde Erol Karaulu en Niels van Schie is de diameter van de mechanische klep in de by-pass nagenoeg gelijk aan de diameter van de by-pass. In het interview met Frank Soons en Michiel Bakker is bevestigd dat het toepassen van een kleinere klep zal leiden tot een lager debiet dat door de by-pass stroomt. Volgens geïnterviewde Richard van Ballegooijen is de toepassing van een kleinere klep alleen mogelijk als de primaire functie van de by-pass in stand blijft.

### 5.3.6 Ringnet

In traditionele vertakte warmtenetten begint de aanvoer- en retourleiding bij de warmtebron en eindigt bij de laatste afnemer (Andri, Pina, Ferrão, Fournier, & Lacarrière, 2018). Het elimineren van straat by-passen is mogelijk door het toepassen van een ringnet. Door een ringnet is een by-pass tussen de aanvoer- en retourleiding niet langer noodzakelijk voor het behouden van voldoende stroomsnelheid tijdens een lage warmtevraag in de zomer (Averfalk et al., 2017). De aanvoerleiding van een ringnet begint bij de warmtebron, gaat vervolgens langs alle afnemers, en eindigt weer bij de warmtebron (District, Blesl, Svendsen, Li, & Schmidt, 2017). Voor de omzetting van een vertakt- naar een ringnetwerk is een specifieke analyse van het warmtenet nodig om tot verbindingen tussen bestaande aanvoerleidingen te komen (Li et al., 2017).

Een ander voordeel van een ringnetwerk is dat het drukverschil tussen de aanvoer- en retourleiding nagenoeg gelijk is aan elkaar. Hierdoor is minder noodzaak tot regulering van de druk in het warmtenet en ontstaan minder defecten (Andri et al., 2018).

Per warmtebedrijf verschilt de netwerkstructuur van de distributieleiding. Uit de interviews met Frank Soons, Erol Karaulu en Niels van Schie blijkt dat de netwerkstructuur van warmtenetten uiteen loopt van vertakte- tot ringnetten. Volgens de geïnterviewde Michiel Bakker en Erol Karaulu is in de meeste gevallen op straatniveau een vertakt-net toegepast. Uit het interview met Niels van Schie Erol Karaulu en Michiel Bakker blijkt dat de keuze voor een vertakt- of ringnet afhankelijk is van de leveringszekerheid en flexibiliteit van het warmtenet voor het uitvoeren van onderhoud. Volgens geïnterviewde Frank Soons zijn ringnetten ontstaan om de leveringszekerheid en capaciteit van het warmtenet te vergroten. In het interview met Richard van Ballegooijen is aangegeven dat nadelen van ringnetten de stijging van de gemiddelde leidingdiameter en een grotere leidinglengte zijn.

### 5.3.7 Comfortable Bathroom

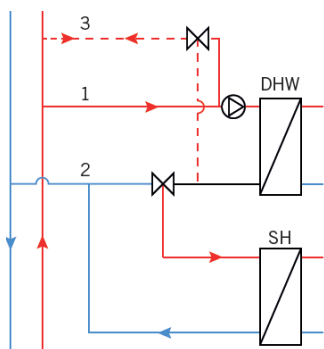
Het Comfortable Bathroom concept heeft als doel om de by-pass in de afleverset te elimineren. Het afgekoelde aanvoerwater stroomt bij dit concept niet langer door de by-pass, maar door de vloerverwarming in de badkamer. Het voordeel hiervan is dat het water verder is af te koelen voordat het de retourleiding instroomt. Daarnaast heeft de afnemer het comfort van een verwarmde badkamer. Het Comfortable Bathroom concept biedt de mogelijkheid om alle by-passen in het warmtenet te elimineren (District et al., 2017). Met het Comfortable Bathroom concept is het zeker dat er voldoende stroming in de aanvoerleiding blijft tijdens een lage warmtevraag (Averfalk et al., 2017). Het Comfortable Bathroom concept leidt tot een toename van temperatuur in de badkamer met 0,6 - 2,2 graden en verlaagd de retourtemperatuur van het warmtenet met 3,9 graden (Brand, Rosa, & Svendsen, 2014).

In het interview met Caryl Jones, Erol Karaulu, Richard van Ballegooijen en Michiel Bakker is aangegeven dat het warmtebedrijf geen verantwoordelijkheid kan nemen voor de correcte werking van het Comfortable Bathroom concept. De vloerverwarming in de badkamer is immers onderdeel van de binneninstallatie van de woning. Volgens geïnterviewde Frank Soons zal een aparte leiding vanaf de afleverset naar de badkamer noodzakelijk zijn.

Volgens geïnterviewde Frank Soons en Niels van Schie is recirculatie van aanvoerwater voornamelijk in de zomerperiode nodig. De zomer is echter niet het moment dat afnemers behoefte hebben aan vloerverwarming in de badkamer, afnemers hebben dan eerder behoefte aan een koele badkamer.

### 5.3.8 Recirculatieleiding

Een recirculatieleiding betreft naast de huidige aanvoer- en retouraansluitleiding een derde aansluitleiding voor gebouwen. Figuur 2 geeft schematisch het principe van de recirculatieleiding weer. Via de recirculatieleiding stroomt afgekoeld water, dat een te lage temperatuur heeft voor warm tapwater, terug naar de aanvoerleiding van het distributienet (Averfalk et al., 2017). Hier mengt het water in de aanvoerleiding. De recirculatieleiding is een oplossing om de by-pass in de afleverset te elimineren. De verwachting is dat de overige by-passen in het warmtenet noodzakelijk blijven (District et al., 2017).



Figuur 2 Schematische weergaven van recirculatieleiding

Door het vervangen van de by-pass in de afleverset door de recirculatieleiding zijn warmteverliezen met 12% te reduceren (Yang, Li, & Svendsen, 2016). Bij nieuwe aansluitingen zullen de investeringskosten minimaal toenemen (Averfalk & Werner, 2018).

Uit de interviews blijkt dat de meerwaarde voor een recirculatie aansluitleiding onduidelijk is. Volgens de geïnterviewde Erol Karaulu, Richard van Ballegooijen en Niels van Schie weegt een lagere aanvoertemperatuur niet op tegen een hogere retourtemperatuur. In beide gevallen neemt het temperatuurverschil tussen de aanvoer- en retourleiding af. Nadelen van een recirculatieleiding zijn:

- Volgens geïnterviewde Frank Soons leidt een extra aansluitleiding tot een grotere hoeveelheid leidinglengte met hogere warmteverliezen en meer onderhoudskosten tot gevolg;
- Door geïnterviewde Richard van Ballegooijen is aangegeven dat voor de recirculatieleiding extra ruimte nodig is in de afleverset waardoor de afleverset lastiger zal zijn in te passen in de meterkast;
- Volgens geïnterviewde Frank Soons vraagt de toepassing van een recirculatie aansluitleiding voor bestaande aansluitingen hoge investeringen door de noodzaak voor het vervangen van de afleverset;
- In het interview met Michiel Bakker is aangegeven dat bij het recirculeren van aanvoerwater terug naar de aanvoerleiding een extra pomp nodig is om het drukverschil te compenseren.

### 5.3.9 Sluiten van by-pass bij afwezigheid

Om ongewenste doorstroming door de by-pass van een afleverset te voorkomen is de huidige by-pass in de afleverset te vervangen door een on/off by-pass (Li & Xia, 2017). Bij afwezigheid van de afnemer is het mogelijk de by-pass te sluiten om ongewenste stroming van water uit de aanvoerleiding direct in de retourleiding te voorkomen. Onduidelijk is of de aanvoertemperatuur voldoende hoog blijft op het moment dat in de hele straat de by-pass is gesloten (Averfalk et al., 2017).

In het interview met Niels van Schie is aangegeven dat de kosten voor het warmhouden van de afleverset voor de afnemer €7,50 tot €15,00 per jaar bedragen. De verwachting is dat het financiële voordeel voor afnemers te klein is om de by-pass te sluiten bij afwezigheid. In het interview met Richard van Ballegooijen is aangegeven dat de verwachting van het sluiten van de by-pass bij afwezigheid alleen effect heeft als dit op grotere schaal wordt toegepast. Volgens geïnterviewde Michiel Bakker is het een risico dat bij het volledig dichtzetten van de afleverset condens optreedt.

Uit het interview met Frank Soons is gebleken dat nieuwe afleversets een elektronische regelklep, flowsensor en warmhoudfunctie voor warm tapwater hebben. Hierdoor beschikt een afnemer sneller van de gewenste temperatuur voor warm tapwater en is een by-pass in de afleverset niet meer nodig.

### 5.3.10 Vergroting oppervlakte warmtewisselaar

Bij de toepassing van een warmtewisselaar ontstaat een temperatuurverschil tussen de retourtemperatuur van de binneninstallatie en de retourtemperatuur in het warmtenet. Met een groter oppervlak van de warmtewisselaar is een kleiner temperatuurverschil tussen de retourtemperatuur van de binneninstallatie en retourtemperatuur in het warmtenet te bereiken (Averfalk & Werner, 2018).

Om oncomfortabele verwarming van de woningen te voorkomen bij de toepassing van lagere aanvoertemperaturen is het huidige oppervlak van de warmtewisselaar te vergroten (Pellegrini et al., 2019). Door het vergroten van het oppervlak zijn kleinere temperatuurverschillen te bereiken tussen de retourtemperatuur van de binneninstallatie en de retourtemperatuur in het warmtenet (Averfalk & Werner, 2017). Het toepassen van een groter oppervlak betekent echter een toename van de investeringskosten in afleversets (Li & Nord, 2018).

Alle geïnterviewde experts uit de warmtesector hebben aangegeven geen warmtewisselaren in afleversets toe te passen voor ruimteverwarming. Voor warm tapwater is wel een warmtewisselaar aanwezig. Volgens geïnterviewde Erol Karaulu past Vattenfall sinds drie jaar incidenteel warmtewisselaren toe voor ruimteverwarming. De afweging voor de toepassing van een warmtewisselaar is afhankelijk van de druk in het warmtenet. Uit het interview met Richard van Ballegooijen is gebleken dat distributienetten bij voorkeur een maximale druk van zes bar hebben zodat deze gelijk is aan de maximale toelaatbare druk van binneninstallaties. Hiermee zijn warmtewisselaren voor ruimteverwarming niet nodig.

Uit het interview met Michiel Bakker is gebleken dat warmtewisselaren wel voorkomen in onderstations. Volgens geïnterviewde Michiel Bakker en Niels van Schie moet een groter oppervlak voor warmtewisselaren in de toekomst worden toegepast bij lagere aanvoertemperaturen. In het interview met Richard van Ballegooijen en Niels van Schie is aangegeven dat het toepassen van een groter oppervlak warmtewisselaar meer geld kost en meer ruimte in beslag neemt. In het interview met Richard van Ballegooijen is aangegeven dat het onbekend is of een groter oppervlak warmtewisselaar financieel opweegt tegen de hogere efficiency van het warmtenet.

### 5.3.11 Slimme meter

Slimme meters leveren data over de volumestroom en aanvoer- en retourtemperatuur bij de afleversets. Deze data levert informatie over het presteren van de afleversets (Li et al., 2017). Zo is een klein verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur een indicatie voor een fout in de afleverset (Lund, Ostergaard, Yang, & Mathiesen, 2017). Door informatie over het presteren van de afleversets zijn fouten in de afleversets te detecteren (Li & Nord, 2018). Op basis van een pilot met 135 slimme meters is gebleken dat in 74% van de afleversets fouten zitten waardoor hogere retourtemperaturen ontstaan. De gedetecteerde fouten zijn onder te verdelen naar afwijkend patroon warmtevraag, klein temperatuurverschil en slechte besturing van de afleverset (Gadd & Werner, 2015).

Volgens geïnterviewde Erol Karaulu is Vattenfall het eerste warmtebedrijf dat voor een pilot 4000 woningen in Amsterdam heeft voorzien van slimme meters. Door de geïnterviewde Michiel Bakker en Niels van Schie is aangegeven dat de toepassing van slimme meters een oplossing biedt om proactief in te spelen op storingen in de afleverset en afnemers te lokaliseren met een te hoge retourtemperatuur.

### 5.3.12 Retourtemperatuur tarief

Voor een gevalstudie in Middelfart in Denemarken is de toepassing van lagere aanvoertemperaturen gelukt door het introduceren van een retourtemperatuur tarief. Dit tarief betreft een korting voor de afnemer bij het behalen van een lagere retourtemperatuur door een goed ingeregelde binneninstallatie (Andri et al., 2018). De lagere retourtemperaturen leveren voor warmtebedrijven een voordeel op van €0,05 - €0,50 Eur/MWhC (Li et al., 2017).

Uit het interview met Caryl Jones en Michiel Bakker is gebleken dat in de praktijk retourtemperaturen hoog zijn. Als grootste oorzaak zijn niet goed ingeregelde binneninstallaties benoemd. Volgens geïnterviewde Erol Karaulu, Niels van Schie en Michiel bakker spelen warmtebedrijven momenteel al in op het correct inregelen van binneninstallaties door binnen installateurs te instrueren. Het komt echter vaak voor dat de bewoners radiatoren van de muur af moeten halen om erachter te behangen of verven. Het gevolg hiervan is dat na het terugplaatsen van de radiatoren de binneninstallatie niet meer goed is ingeregeld. Uit het interview met Erol Karaulu blijkt dat Vattenfall als mitigerende maatregel een brief in de meterkast hangt met de mededeling contact op te nemen bij aanpassingen aan de binneninstallatie.

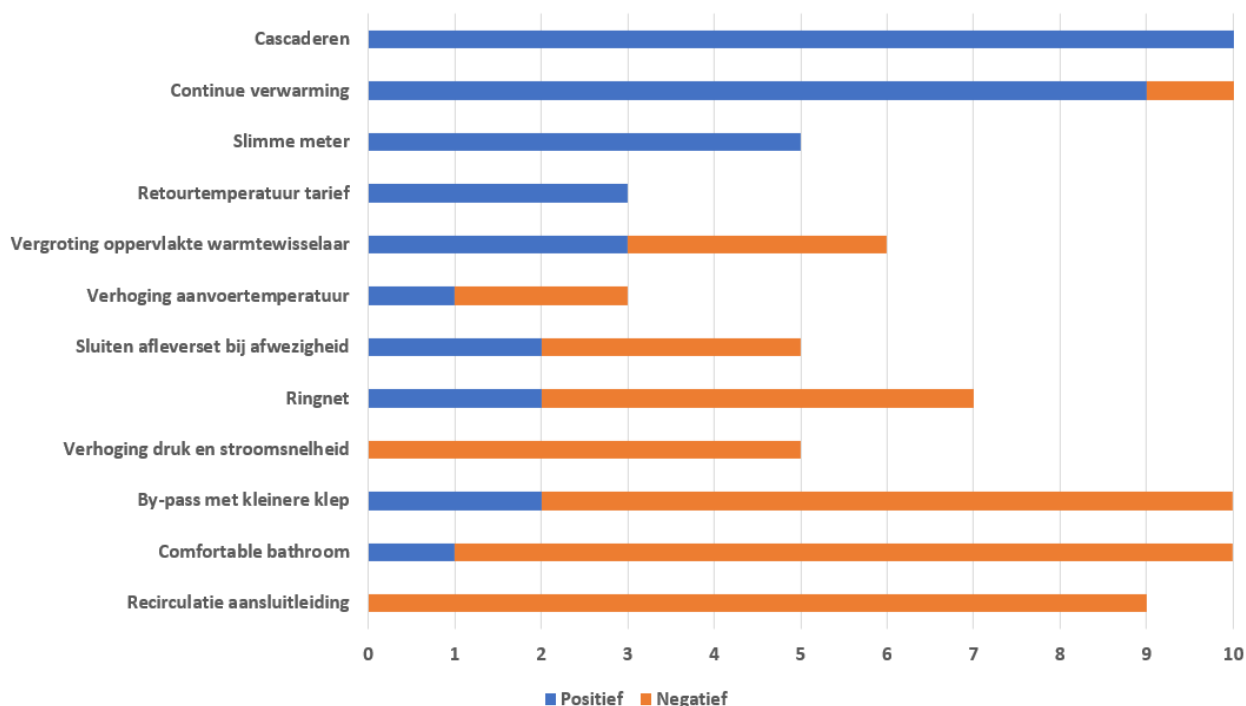
Volgens geïnterviewde Niels van Schie zal het introduceren van een retourtemperatuur tarief afnemers motiveren een goed ingeregelde binneninstallatie te hebben voor het bereiken van een lage retourtemperatuur. Uit het interview met Frank Soons blijkt dat Ennatuurlijk het eerste warmtebedrijf is dat een retourtemperatuur tarief gaat toepassen voor een aantal nieuwe klanten. Volgens geïnterviewde Richard van Ballegooijen zijn het bedrag dat volstaat als korting, de manier waarop het is te meten en contractuele afspraken nog onbekende om een retourtemperatuur tarief te kunnen introduceren.

## 5.4 Analyse

In deze paragraaf zijn de uitkomsten van de interviews met experts uit de warmtesector geanalyseerd aan de hand van de kwalitatieve codering van de interviews. Het doel van de analyse is tot de rangschikking van de maatregelen te komen van minst naar meest gewenst vanuit het perspectief van de warmtebedrijven.

Aanvullende informatie bij deze paragraaf is opgenomen in 'Bijlage 3 codering van interviews' en 'Bijlage 4 analyse van interviews'.

Per maatregel is beoordeeld of de codes uit de kwalitatieve codering van de interviews negatief of positief zijn. Figuur 3 geeft de rangschikking van de maatregelen van minst naar meest gewenst op basis van het aantal keer dat een negatieve of positieve opmerking tijdens de interviews naar voren is gekomen.



Figuur 3 Analyse kwalitatieve codering interviews per maatregel

Uit de rangschikking van de maatregelen blijken de maatregelen cascaderen en continue verwarming het meest gewenst door het grootste aantal positieve opmerkingen. Hierop volgend is de maatregel slimme meter. Bij een nadere analyse van de codes die zijn toegekend aan de maatregel slimme meter bleken achteraf 3 van de 5 positieve opmerkingen afkomstig uit één interview. Hierdoor zou de maatregel slimme meter eigenlijk gelijk moeten staan in de rangschikking als de maatregel retourtemperatuur tarief. De rangschikking is hier echter niet meer op aangepast doordat het geen wezenlijk verschil van inzicht oplevert.

## 5.5 Conclusie

Binnen dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord:

- Welke maatregelen zijn vanuit het perspectief van de warmtebedrijven het meest gewenst voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten?

In wetenschappelijke literatuur zijn in totaal twaalf maatregelen gevonden voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten. Met de uitkomsten van de semigestructureerde interviews met werknemers van de warmtebedrijven Ennatuurlijk, Vattenfall en Eneco is een rangschikking gemaakt van de minst naar meest gewenste maatregelen. Tabel 5.3 geeft de rangschikking van de maatregelen. Uit de rangschikking volgt dat de maatregelen 'Cascaderen' en 'Continue verwarming' het meest gewenst zijn vanuit het perspectief van de warmtebedrijven.

Tabel 5.3 Rangschikking van maatregelen

Maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen			
1	Cascaderen	7	Sluiten van afleverset bij afwezigheid
2	Continue verwarming	8	Ringnet
3	Slimme meter	9	Verhoging druk- en stroomsnelheid
4	Retourtemperatuur tarief	10	Kleinere klep in by-pass
5	Vergroting oppervlak warmtewisselaar	11	Comfortable Bathroom concept
6	Verhoging aanvoertemperatuur	12	Recirculatie aansluitleiding

De rangschikking levert input voor de beoordeling van de maatregelen op de criteria ‘Geaccepteerd door belanghebbende?’ binnen de SFA-matrix. Hiermee zijn ook externe belangen mee te nemen in de afweging van maatregelen die het meest geschikt zijn voor de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV.



## 6 Gevalstudies

### 6.1 Inleiding

Binnen dit hoofdstuk zijn twee gevalstudies uitgewerkt waarmee het effect van de maatregelen is beoordeeld die het meest gewenst zijn vanuit het perspectief van de warmtebedrijven. Dit betreffen de maatregelen 'Cascaderen' en 'Continue verwarming'. Het doel van de gevalstudies is om tot een methode te komen waarmee de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur is te beoordelen voor de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV. Daarnaast is beschouwd in welke mate TEO bijdraagt aan de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Dit hoofdstuk beantwoordt de deelvraag:

4. Wat is de bijdrage van TEO aan de verduurzaming van bestaande warmtenetten en wat is het effect van de maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen?

Paragraaf 6.2 beschrijft de methodiek voor de uitwerking van de gevalstudies. Paragraaf 6.3 bevat per gevalstudie de uitgangspunten. Paragraaf 6.4 geeft de resultaten van het effect van de maatregelen en de bijdrage door TEO voor de verduurzaming van de warmtenetten uit de gevalstudies. Paragraaf 6.5 sluit het hoofdstuk af met de beantwoording van de deelvraag.

### 6.2 Methodiek

In deze paragraaf is de methodiek omschreven voor het beoordelen van de haalbaarheid van TEO, de CO<sub>2</sub>-reductie door de inzet van TEO en het effect van de maatregelen 'Cascaderen' en 'Continue verwarming'.

#### 6.2.1 Haalbaarheid TEO

Om de haalbaarheid van TEO voor de twee gevalstudies te kunnen beoordelen zijn de volgende stappen doorlopen, afkomstig uit de 'Handreiking Aquathermie' (Coo & Kleiwegt, 2018):

- Bepaling van de potentie van thermische energie uit oppervlaktewater;
- Bepaling van de potentie van warmte- en koudeopslag;
- Bepaling van de toegevoegde energie door een warmtepomp.

TEO is haalbaar op het moment dat de warmtevraag van de gevalstudies, vermindert met de toegevoegde energie door een warmtepomp, kleiner is dan de potentie van thermische energie uit oppervlaktewater. Daarnaast moet een WKO mogelijk zijn. In de volgende subparagrafen is een nadere toelichting gegeven op bovenstaande stappen.

##### 6.2.1.1 Potentie thermische energie uit oppervlaktewater

Voor het bepalen van de thermische energie uit oppervlaktewater is de volgende informatie van belang (Coo & Kleiwegt, 2018):

- Strooming;
- Watervolume;
- Wateroppervlakte;
- Toegestane temperatuursverandering van het watersysteem in relatie tot de ecologie.



De warmteonttrekkingscapaciteit uit stromend water is te berekenen met de formule uit de rapportage 'Nationaal potentieel van aquathermie' (Kruit et al., 2018). De formule luidt als volgt:

$$WOC = Q * \Delta T * P_w * C_p$$

WOC	=	Warmteonttrekkingscapaciteit (MW)
Q	=	Debiet (m <sup>3</sup> /s)
$\Delta T$	=	Temperatuurverschil (°C)
P <sub>w</sub>	=	Soortelijke dichtheid (zoet water = 998 kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>p</sub>	=	Warmtecapaciteit (water = 4.195 J/kg*°C)

De toegestane temperatuurstijging of -daling van oppervlaktewater is nog een onbekende bij TEO berekeningen. Er is nog geen richtlijn voor de bepaling van de toegestane temperatuurstijging- of daling. Uit de Handreiking Aquathermie van Stowa blijkt dat 'Doorgaans wordt een maximum van 3°C temperatuurstijging van het watersysteem voor en na lozing aangehouden, omdat een dergelijke variatie ook in de natuur voorkomt' (Coo & Kleiweg, 2018). Voor de TEO berekening is een maximale daling van de temperatuur van het oppervlaktewater van 3°C aangehouden.

#### 6.2.1.2 Potentie warmte- en koudeopslag

Een WKO is nodig om de winning van warmte in de zomer op te kunnen slaan. In de winter is de warmte uit de WKO in te zetten voor ruimteverwarming en warm tapwater. Bij een WKO is de keuze tussen een open of een gesloten systeem. Een open WKO heeft een grotere opslagcapaciteit dan een gesloten WKO, hierdoor zijn open WKO's het best toepasbaar voor collectieve systemen. De open WKO bestaat uit twee grondwaterbronnen, één bron is voor de opslag van warmte en één is voor koude. Deze bronnen komen over het algemeen in het eerste of tweede watervoerend pakket. Door op deze grote diepte buizen met hele kleine gaatjes (filters) te plaatsen is grondwater te infiltreren en te onttrekken. De capaciteit van een WKO is afhankelijk van de lokale bodemopbouw. Het ruimtegebruik van de WKO in de ondergrond is te berekenen aan de hand van de thermische straal. De thermische straal betreft een straal rondom de bron waarbinnen de temperatuur van het grondwater wordt beïnvloed (Coo & Kleiweg, 2018).

Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (SIKB) stelt kwaliteitsrichtlijnen op voor bodembeheer, bodembescherming en archeologie die tot stand zijn gekomen door samenwerking tussen de overheid en het bedrijfsleven. Door het SIKB is Protocol 11001 opgesteld over 'Ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen' (SIKB, 2014).

Het Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek (ISSO) ontwikkelt kennis op het gebied van gebouwinstallaties. Door het ISSO is publicatie 39 opgesteld over 'Energiecentrale met warmte- en koudeopslag (WKO)'. Deze publicatie gaat in op de ontwerpprocedures voor het bovengrondse deel van energiecentrales met een open WKO (Aarssen, Aerts, Broekhuizen, Buitenhuis, & Gerats, 2011).

De potentie van de WKO heeft met name betrekking op de ondergrondse opslagcapaciteit. Doordat de ISSO 39 alleen over het bovengrondse deel van de WKO gaat is voor dit afstudeeronderzoek het SIKB Protocol 110001 gehanteerd dat specifiek over het ondergrondse deel van de WKO gaat. De formule om de capaciteit van de WKO te berekenen is onderstaand toegelicht.

De maximale infiltratiesnelheid op de boorgatwand is te berekenen met de formule (SIKB, 2014):

$$V_{inf} = 1000 * \left( \frac{K}{(150)} \right)^{0.6} * \sqrt{\frac{v_v}{2 * MFI * u_{eq}}}$$

$V_{inf}$	= maximale intrede snelheid [m/u]
$K$	= doorlatendheid watervoerend pakket [m/d]
$v_v$	= specifieke verstoppingsnelheid [m/j]
$MFI$	= membraan filter index [s/l <sup>2</sup> ]
$u_{eq}$	= aantal equivalente vollasturen [u/j]

### 6.2.1.3 Toegevoegde energie door een warmtepomp

Een collectief geplaatste warmtepomp waardeert de temperatuur van het water uit de WKO op naar een hogere temperatuur. De verhoging van de aanvoertemperatuur is afhankelijk van de temperatuur waarmee woningen comfortabel zijn te verwarmen (Hoogervorst, 2017). Naarmate een hogere aanvoertemperatuur noodzakelijk is neemt de efficiëntie van de warmtepomp af. De efficiëntie van de warmtepomp wordt ook wel uitgedrukt in de 'coëfficiënt of performance' (COP). De COP is het aandeel energie dat de warmtepomp toevoegt aan de energie geleverd vanuit de WKO (Coo & Kleiweg, 2018).

Door het ISSO is publicatie 80 opgesteld over 'Handboek integraal ontwerpen van collectieve installaties met warmtepompen in de woningbouw'. Deze publicatie gaat in op het ontwerpproces van warmtepompinstallaties voor collectieve installaties (ISSO, 2007).

De efficiency die wordt behaald door de warmtepomp is afhankelijk van het carnotrendement. Het carnotrendement is de verhouding tussen de theoretisch hoogst haalbare COP en COP die in de praktijk haalbaar is. Het carnotrendement ligt gebruikelijk tussen de 50% en 70% (RVO, 2015). Het carnotrendement dient vermenigvuldigd te worden met de berekende COP. De formule voor de COP is (ISSO, 2007):

$$COP = T_{condensor} / (T_{condensor} - T_{verdamer})$$

$T_{condensor}$	= temperatuur bij de condensor [K]
$T_{verdamer}$	= temperatuur bij de verdamer [K]

De berekende COP-waarde van een warmtepomp blijft een theoretische waarde. Afhankelijk van de warmtebron voor de warmtepomp ligt de COP in de praktijk lager. De werkelijk efficiëntie van de warmtepomp wordt ook wel uitgedrukt in de Seasonal Performance Factor (SPF). Voor de gevalstudies is echter uitgegaan van de COP, de aanvoertemperatuur vanuit de WKO is immers nagenoeg constant.

## 6.2.2 Reductie CO<sub>2</sub>-uitstoot

De reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot door de inzet van TEO en toepassing van lagere aanvoertemperaturen is op individueel woningniveau niet te beoordelen. De reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door de inzet van TEO mag alleen op het totaal van een aan één gesloten systeem worden beschouwd. Hierdoor zijn de gevalstudies als een gesloten systeem benaderd. Om ook naar de toekomst een beeld te hebben van de bijdrage door TEO aan de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot is deze berekend voor de jaren 2018 en 2030.

In eerste instantie is voor de bijdrage van TEO aan de verduurzaming van de bestaande warmtenetten de vergelijking gemaakt op basis van de gas referentie. Voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot door gas is 56,6 kg/GJ aangehouden (Zijlema, 2017). In tweede instantie is naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot gekeken door de huidige warmtebronnen die op het warmtenet van de gevalstudies zijn aangesloten.

Voor de berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door TEO is met name het elektriciteitsgebruik door de warmtepomp en oppervlaktewater- en WKO-pomp relevant. Voor dit onderzoek is aangenomen dat het energieverbruik door de oppervlaktewater- en WKO-pomp 20% bedraagt van het elektriciteitsgebruik door de warmtepomp. Voor elektriciteit bedraagt de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2018 0,45 kg/kWh en voor 2030 is de prognose 0,13 kg/kWh (Overveld, Bleeker, Boot, Born, & Brink, 2019).

### 6.2.3 Effect van maatregelen

Voor het kunnen beoordelen van het effect van de maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten is een methodiek nodig. In één wetenschappelijk onderzoek is een methode gevonden die specifiek is gericht op het beoordelen van de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. Deze methode bestaat uit 3 stappen (Basciotti et al., 2016):

- Modelleren van warmtelevering:
  - Aanvoertemperatuur;
  - Locatie van warmtebron;
- Modelleren van warmtevraag
  - Ruimteverwarming op basis van oppervlak, bouwjaar en renovaties gebouwen;
  - Warm tapwater op basis van werkelijk gemeten verbruik;
  - Retourtemperatuur op basis van gemeten waarden;
- Modelleren van warmtenet
  - Diameters en leidingmaterialen;
  - Locatie van leidingen en aftakkingen.

Voor de bewerking van de data en het modelleren van de warmtelevering, warmtevraag en het warmtenet is GIS gebruikt. Om het effect van de maatregelen te beoordelen is de software Dymola gebruikt (Heijde, Fuchs, Tugores, Schweiger, & Sartor, 2017). Dit betreft software voor hydraulische berekeningen van warmtenetten waarin wrijvingsverliezen door bochten en de wandruwheid van leidingen is mee te nemen.

Door vanuit RHDHV geen beschikking te hebben over de software Dymola is uitgeweken naar COMSOF Heat. Een verschil tussen Dymola en Comsof Heat is dat de warmtevraag niet per gebouw wordt berekend, maar gebaseerd is op de huidige warmtevraag. Daarnaast verschilt de volgorde van de uitwerking van de stappen. Onderstaand visualiseert de volgorde van de te doorlopen stappen voor de hydraulische berekening van het warmtenet met COMSOF Heat.



Een kanttekening bij COMSOF Heat is dat het slechts mogelijk is om één stooklijn voor het hele warmtenet op te geven. In de praktijk verschilt de stooklijn echter per gebouw. Hierdoor zijn de uitkomsten van de hydraulische modellen een benadering van de werkelijkheid.

Het effect van de maatregelen is te beoordelen door de uitwerking van drie scenario's:

- Scenario 1      Kalibratie van het gemodelleerde warmtenet aan de hand van aangeleverde informatie door de eigenaar van het warmtenet;
- Scenario 2      Impact op de capaciteit van het warmtenet door de toepassing van lagere aanvoertemperaturen;
- Scenario 3      Effect van de maatregelen op de capaciteit van het warmtenet bij de toepassing van lagere aanvoertemperaturen.

### 6.2.3.1 Maatregel cascaderen

Cascaderen betreft de aansluiting van een gebouw op de retourleiding in plaats van op de aanvoerleiding. Hierdoor is het benodigde debiet in de aanvoerleiding te verlagen. Varianten voor cascaderen betreffen (Köfinger et al., 2017):

- Aansluiting op de retourleiding van het distributienet;
- Aansluiting op de retourleiding van een aansluitleiding van een naastgelegen gebouw.

Binnen de gevalstudies is alleen gekeken naar een gecascadeerde aansluiting op de retourleiding van het distributienet. De stroming door de retourleiding van een aansluitleiding van een naastgelegen gebouw is namelijk onbetrouwbaar waardoor de leveringszekerheid niet is te garanderen.

Voor de gecascadeerde aansluiting zijn nog enkele keuzes te maken ten aanzien van de levering van warm tapwater (Köfinger et al., 2017):

- Extra aansluiting voor de directe levering van warm tapwater;
  - Vanuit de retourleiding in het gebouw decentraal de temperatuur opwaarderen voor warm tapwater;
  - Volledig decentraal warm tapwater opwekken in het gebouw zonder afname vanuit de retourleiding.
- Voor dit onderzoek is uitgegaan van decentrale opwaardering van warmte uit de retourleiding voor warm tapwater. Hierbij heeft het de voorkeur om alleen utiliteitsbouw met een kleine warmtevraag voor warm tapwater gecascadeerd aan te sluiten op het warmtenet.

Door de vertakte netwerkstructuur is het effect van cascaderen afhankelijk van de locatie van een gecascadeerd gebouw binnen het warmtenet. Om tot de selectie van gebouwen te komen om gecascadeerd op het warmtenet aan te sluiten is rekening te houden met (Köfinger et al., 2017):

- De temperatuurbehoefte;
- Locatie binnen het warmtenet;
- Het profiel van de warmtevraag.

Aanvullend op bovenstaande punten is tijdens het interview met Bob Jansen (bijlage 2) aangegeven dat het warmteprofiel van de gebouwen welke zijn aangesloten op het achterliggende warmtenet een overeenkomend warmteprofiel met het gecascadeerde gebouw moeten hebben om voldoende debiet in de retourleiding te garanderen.

Door het gecascadeerd aansluiten van gebouwen neemt de retourtemperatuur af. De afname van de retourtemperatuur is te bepalen aan de hand van (Basciotti et al., 2016):

- Vermogen gecascadeerde gebouwen ten opzichte van het totale vermogen van het distributienet;

- Aangepaste stooklijn voor gecascadeerde gebouwen.

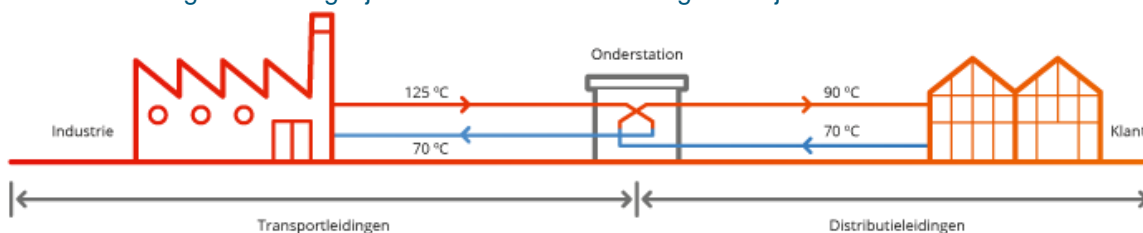
### 6.2.3.2 Maatregel continue verwarming

De grootste pieklast in warmtenetten vindt in de ochtend plaats op het moment dat de ruimteverwarming van de woning aangaat en mensen tegelijkertijd douchen. De pieklast is in de ochtend af te vlakken door het introduceren van continue verwarming waarbij de woning zowel overdag als in de nacht op temperatuur wordt gehouden. In twee gevalstudies is aangetoond dat door continue verwarming de pieklast afkomstig van ruimteverwarming met 60% (Neirotti et al., 2019) en 68% (Beltram, Christensen, & Li, 2019) afneemt. Hiertegenover staat wel een toename van de jaarlijkse warmtevraag met circa 4% (Neirotti et al., 2019).

Voor de gevalstudies is conservatief uitgegaan van een reductie van de pieklast met 60%. De afname van de pieklast is in COMSOF te simuleren door het vermogen voor ruimteverwarming van alle gebouwen met 60% te reduceren en geen gelijktijdigheidsfactor toe te passen.

## 6.3 Uitgangspunten

Uit de interviews met experts uit de warmtesector (Bijlage 2) is naar voren gekomen dat het de voorkeur heeft om bestaande warmtenetten te verduurzamen vanuit de kern. De aanpak hierbij is secties achter een onderstation te koppelen aan duurzame warmtebronnen. Figuur 4 toont de scheiding tussen de transportleidingen en distributieleidingen door het onderstation. Het koppelen van duurzame warmtebronnen vanaf onderstations geeft de mogelijkheid het hele warmtenet geleidelijk te verduurzamen.



Figuur 4 Visualisatie gescheiden systemen binnen een warmtenet

In overleg met Ennatuurlijk (bijlage 5) zijn de Strip en de Wisselaar in het bestaande warmtenet van Ennatuurlijk in Breda geselecteerd om te gebruiken voor de gevalstudie. Beide gevalstudies bevinden zich nabij rivier de Mark, waardoor TEO kansrijk is om in te zetten voor de verduurzaming van het warmtenet. De notulen van dit overleg zijn geverifieerd door Ton Goossens, Key accountmanager Ennatuurlijk.

### 6.3.1 CO<sub>2</sub>-uitstoot Amernet

Door Marnix Vink, Portfolio Manager bij Ennatuurlijk, is voor 2018 aangegeven dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot 47,5 kg/GJ bedraagt voor warmte geleverd vanuit de Amercentrale. De prognose voor 2030 is dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot daalt naar 6,6 kg/GJ door de bijmenging van een groter aandeel biomassa. De ontvangen informatie over de CO<sub>2</sub>-uitstoot voor warmte geleverd vanuit de Amercentrale is opgenomen in bijlage 6.



### 6.3.2 Gevalstudie de Strip



Figuur 5 Geselecteerde sectie van warmtenet in het Havenkwartier

De Strip betreft een nieuw te ontwikkelen stadsdeel in het Havenkwartier in Breda. Figuur 5 geeft met een contour het plotplan voor de Strip aan. Voor de uitrol van een nieuw warmtenet heeft Ennatuurlijk voor ogen de Strip deels gecascadeerd aan te sluiten op het bestaande warmtenet en deels van warmte te voorzien afkomstig van een WKO. In het Strip ligt nog geen warmtenet van Ennatuurlijk. Om de Strip als gevalstudie te gebruiken is een 'fictief' warmtenet ontworpen op basis van uitgangspunten voor bestaande warmtenetten met een stooklijn van 70/40 graden. Nieuwbouwwoningen in de Strip zullen voldoen aan Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG) met een Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) < 0,4 (Nuiten, Goud, Hoiting, Ree, & Harmelink, 2019). Kenmerkend aan woning- en utiliteitsbouw, ontworpen op basis van BENG, is dat deze ook een koudevraag hebben.

### 6.3.3 Gevalstudie De Wisselaar



Figuur 6 Geselecteerde sectie van warmtenet in de Wisselaar

De Wisselaar is een wijk in Breda waar al een warmtenet aanwezig is. Het onderstation in de Wisselaar betreft RHT005 en heeft meerdere uitgaande leidingen, ook wel groepen genoemd. Voor de gevalstudie is naar groep 1 gekeken om als sectie van het warmtenet te verduurzamen. Figuur 6 geeft met een contour de gebouwen aan die zijn aangesloten op de uitgaande leiding van groep 1.

### 6.3.4 Samenvatting relevante uitgangspunten

Tabel 6.1 geeft de uitgangspunten die relevant zijn voor de uitwerking van de gevalstudies. De onderbouwing van de uitgangspunten voor de Strip en Wisselaar zijn opgenomen in bijlage 7. De uitgangspunten zijn geverifieerd door Piet van Rooij, Salesengineer bij Ennatuurlijk.

Tabel 6.1 Samenvatting van uitgangspunten voor de Strip en de Wisselaar

Omschrijving	Strip	Wisselaar
Woningbouw [stuks]	562	206
Utiliteitsbouw [stuks]	12	4
Warmtevraag ruimteverwarming [MWh]	1.254	1.557
Warmtevraag warm tapwater [MWh]	1.256	490
Energieverliezen [%]	14	16
Totale warmtevraag inclusief energieverliezen [MWh]	2.870	2.370
Koudevraag koeling [MWh]	885	-
Vermogen ruimteverwarming per woning [kW]	3,7	5,0 – 7,0
Vermogen warm tapwater per woning [kW]	35 (CW 5)	28 (CW 4)
Vermogen koeling [kW]	2,2	-
Totaal vermogen ruimteverwarming inclusief gelijktijdigheid [kW]	1.860	1.010
Totaal vermogen warm tapwater inclusief gelijktijdigheid [kW]	844	414
Totaal vermogen koeling inclusief gelijktijdigheid [kW]	1.350	-
Warmtebron	Amernet en WP incl. WKO	Amernet
Stooklijn [°C]	70/40	90/70
Tracélengte warmtenet [m]	1804	1736

## 6.4 Resultaten

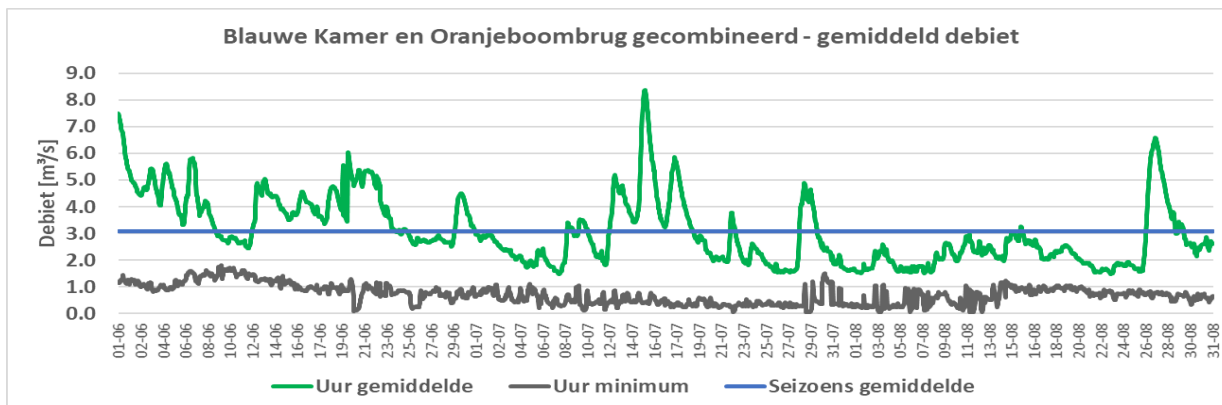
In deze paragraaf zijn de resultaten van de gevalstudies omschreven ten aanzien van de haalbaarheid van TEO, CO<sub>2</sub>-reductie en het effect van de maatregelen op de capaciteit van het warmtenet door de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur.

### 6.4.1 Haalbaarheid TEO

#### 6.4.1.1 Potentie van TEO uit de Mark

Voor informatie over de breedte en diepte van de Mark is de Legger van waterschap Brabantse Delta geraadpleegd. Om benodigde informatie te verkrijgen over de stroming, watervolume, wateroppervlakte en watertemperatuur van de Mark is contact opgenomen met waterschap Brabantse Delta.

Figuur 7 toont het gemiddelde en het minimale debiet in de Mark voor de maanden juni, juli en augustus van 2011 t/m 2019. Uit de figuur blijkt dat het seizoensgemiddelde debiet 3,1 m<sup>3</sup>/s bedraagt.



Figuur 7 Gemiddeld debiet Mark in de maanden juni, juli en augustus

Tabel 6.2 geeft de uitgangspunten voor de TEO berekening. Op basis van deze uitgangspunten volgt dat 39 MW aan thermische energie uit de Mark is te winnen. In de maanden juni, juli en augustus levert dit 302.762 GJ op. Dit is voldoende om circa 7200 woningen van warmte te voorzien.

Tabel 6.2 Uitgangspunten voor rivier de Mark

Omschrijving	Eenheid	[-]
Breedte	m	25,0
Diepte	m	3,25
Gemiddeld debiet in juni, juli en augustus	m <sup>3</sup> /s	3,1
Minimale temperatuur oppervlaktewater in juni, juli en augustus	Graden	15,5
Gemiddelde temperatuur oppervlaktewater in juni, juli en augustus	graden	20,8
Maximaal te bereiken temperatuurverschil oppervlaktewater	graden	3
Vollasturen in de maanden juni, juli, augustus	uren	2160

In bijlage 8 is de memo opgenomen waarin de volledige berekening voor thermische energie uit de Mark is uitgewerkt. De memo is geverifieerd door Barry Scholten, Key accountmanager bij Ennatuurlijk.

#### 6.4.1.2 Potentie warmte- en koudeopslag in de Strip en de Wisselaar

Voor de potentie van een open WKO in de Strip en de Wisselaar is een Quick Scan uitgevoerd conform het SIKB Protocol 11001. Binnen de Quick Scan zijn de volgende zaken beschouwd:

- In hoeverre wet- en regelgeving de implementatie van een WKO-systeem kunnen belemmeren;
- Geschiktheid van de lokale (hydrologische/hydrochemische) condities voor een WKO-systeem;
- Potentiele capaciteit van de bronnen.

Uit de Quick Scan volgt dat de strip en de wisselaar niet zijn gelegen in een gebied op basis waarvan een WKO-systeem op voorhand kan worden uitgesloten. Tabel 6.3 geeft voor de strip en de wisselaar een overzicht van de risico's ten aanzien van wet- en regelgeving. Hierin staat de kleur groen voor geen risico, oranje voor matig risico en rood voor ernstig risico.



Tabel 6.3 Overzicht van risico's ten aanzien van wet- en regelgeving

	Wisselaar	Strip
Zoet- brakwatergrens	Green	Green
Aantasting Natuurwaarden	Yellow	Yellow
Thermische interferentie	Green	Yellow
Archeologische Monumenten	Green	Green
Verontreinigingen	Green	Red
Landbouwschade	Green	Green

In de Wisselaar is geen uitsluitsel te geven over de bodemopbouw door een groot verschil tussen de booromschrijvingen van omliggende boorstaten. Met het uitvoeren van een proefboring zijn de hydraulische karakteristieken van de bodemopbouw beter vast te stellen.

In de Strip is een WKO kansarm doordat de Formatie van Maassluis bestaat uit zeer fijn en fijn zand tot 80 meter onder maaiveld. Van 84 tot 94 meter onder maaiveld blijkt matig grof zand aanwezig, hier zou een WKO wel kansrijk zijn. Deze zandlagen liggen echter dieper dan vanuit het beleid van Provincie Noord-Brabant is toegestaan om een WKO te realiseren (Visser-Grijp, 2013). Met goede argumenten is een overschrijding van de maximale diepte bespreekbaar met de Provincie. Eén van de argumenten hiervoor is het ontbreken van geschikte zandlagen tot aan de maximale toegestane diepte voor een WKO.

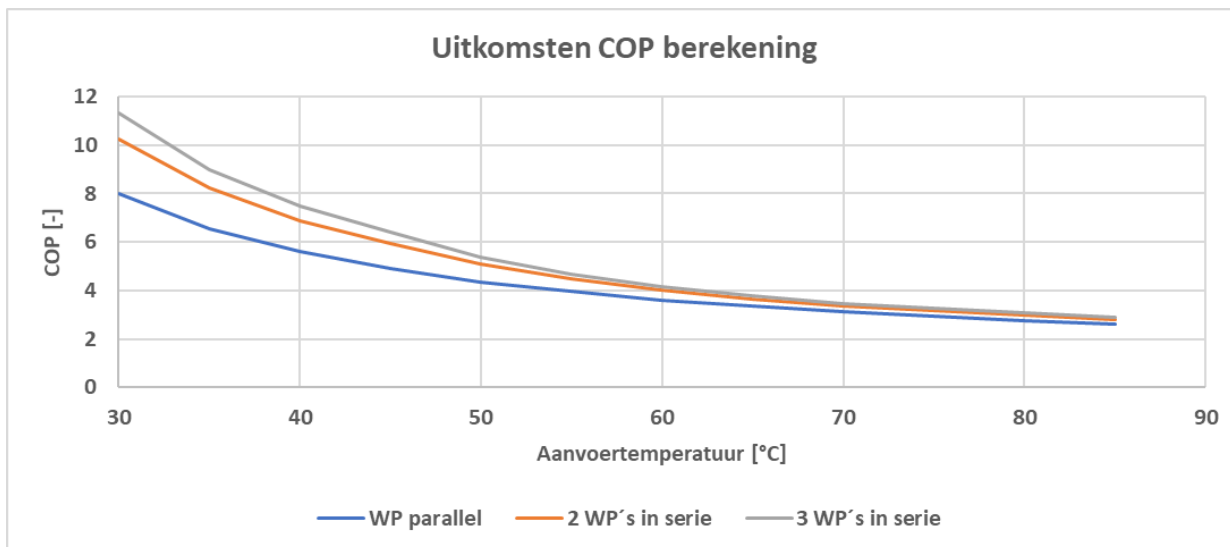
Voor zowel de Wisselaar als de Strip geldt dat de diepte voor de filterstelling en doorlatendheid van de grond niet zijn te bepalen. Door te weinig gegevens over de bodemopbouw is de filterlengte onbekend waardoor de maximale infiltratiesnelheid op de boorgatwand niet is te berekenen.

De volledige Quick Scan WKO in Breda is opgenomen in bijlage 9. De memo is geverifieerd door Gerard Dijkhuis, Hydrogeoloog bij Royal HaskoningDHV.

#### 6.4.1.3 Toegevoegde energie door een warmtepomp

Voor de berekening van de COP van de warmtepomp in de Strip en de Wisselaar zijn relevante uitgangspunten de aanvoer- en retourtemperatuur van het warmtenet en van de Mark. Voor de aanvoertemperatuur vanuit de WKO is uitgegaan van de gemiddelde temperatuur van de Mark in de maanden juni, juli en augustus. Voor de minimale retourtemperatuur naar de WKO is voor de Wisselaar 10 °C aangehouden en voor de Strip 14 °C. Voor de Strip is een hogere retourtemperatuur aangehouden zodat deze in de zomer ook is in te zetten voor de koeling van gebouwen. Bij een koudere temperatuur voor koeling bestaat anders het risico op condensvorming in de woning.

Figuur 8 geeft de uitkomsten van de COP berekening waarbij is uitgegaan van in serie geplaatste warmtepompen. Voor twee warmtepompen geplaatst in serie volgt uit de figuur een COP van 5,9 voor de Strip bij een stooklijn van 45/25 graden. Voor de Wisselaar volgt een COP van 3,2 bij een stooklijn van 70/40 graden. De COP berekeningen zijn aangeleverd door Bastian Knoors, Consultant Energietransitie bij Royal HaskoningDHV. De berekeningsbladen zijn opgenomen in bijlage 10.



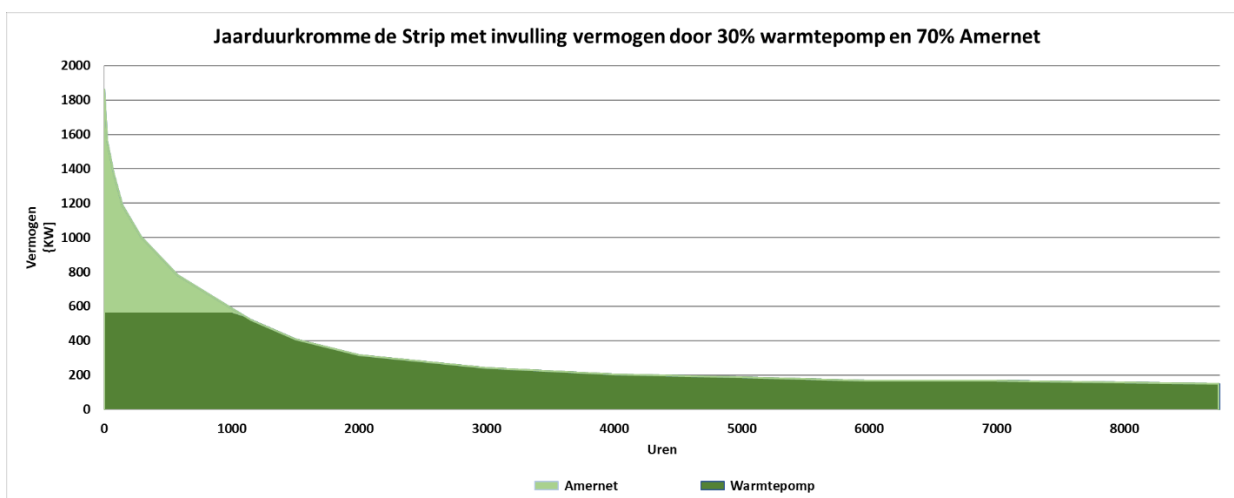
Figuur 8 Uitkomsten COP berekening

## 6.4.2 Reductie CO<sub>2</sub>-uitstoot

De inzet van warmtepompen in combinatie met een WKO vraagt om een grote financiële investering. Deze investering is alleen rendabel als de warmtepomp een groot aantal vollasturen kan maken. Om een hoog aantal vollasturen te bereiken is voor zowel de Strip als de Wisselaar de keuze gemaakt om 30% van het totale vermogen te leveren vanuit de warmtepomp en 70% vanuit het Amernet.

### 6.4.2.1 Strip

Figuur 9 geeft voor de Strip de verdeling tussen het geleverde vermogen vanuit de warmtepomp en het Amernet weer in een jaarduurkromme. Voor een efficiëntere werking van de warmtepomp is de huidige stooklijn verlaagd van 70/40 naar 45/25 graden. Door de verlaging van de stooklijn neemt het jaarlijkse energieverlies in het warmtenet af naar 9.4% (Nussbaumer & Thalmann, 2014). De jaarlijkse warmtevraag voor de Strip daalt hierdoor van 2870 MWh naar 2660 MWh.



Figuur 9 Jaarduurkromme de Strip met 30% warmtepomp en 70% Amernet

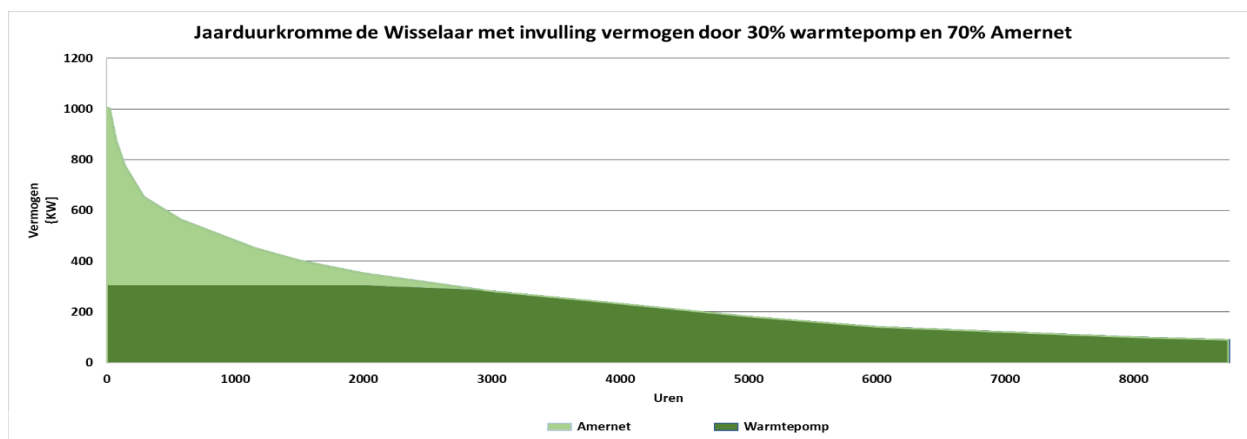
In de zomer is de TEO installatie actief voor de regeneratie van de WKO bronnen. Zoals in paragraaf 7.3 omschreven is in de Strip 's zomers ook een koudevraag. Net als de TEO installatie draagt het koudenet in de zomer bij aan de regeneratie van de WKO bronnen. Tabel 6.4 geeft de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Strip voor 2018 en 2030.

Tabel 6.4 Reductie CO<sub>2</sub>-uitstoot de Strip

	2018 [kg CO <sub>2</sub> ]	2030 [kg CO <sub>2</sub> ]
Referentie gas	584.791	584.791
De Strip vermogen 7% warmtepomp en 93% Amernet	429.602	81.587
De Strip vermogen 30% warmtepomp en 70% Amernet	245.111	64.443
<b>Reductie door TEO t.o.v. referentie gas</b>	<b>339.680</b>	<b>503.204</b>
<b>Reductie door TEO t.o.v. huidige warmtebron</b>	<b>184.491</b>	<b>17.145</b>

### 6.4.2.2 Wisselaar

Figuur 10 geeft voor de Wisselaar de verdeling tussen het geleverde vermogen vanuit de warmtepomp en het Amernet weer in een jaarduurkromme. Voor een efficiëntere werking van de warmtepomp is de huidige stooklijn verlaagd van 90/70 naar 70/55 graden. Door de verlaging van de stooklijn neemt het jaarlijkse energieverlies in het warmtenet af naar 12.2% (Nussbaumer & Thalmann, 2014). De warmtevraag voor de Wisselaar daalt hierdoor van 2370 MWh naar 2295 MWh.



Figuur 10 Jaarduurkromme de Wisselaar met 30% warmtepomp en 70% Amernet

In de zomer is de TEO installatie alleen actief voor de regeneratie van de WKO bronnen. Tabel 6.5 geeft de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Wisselaar voor 2018 en 2030.

Tabel 6.5 Reductie CO<sub>2</sub>-uitstoot de Wisselaar

	2018 [kg CO <sub>2</sub> ]	2030 [kg CO <sub>2</sub> ]
Referentie gas	482.911	482.911
De Wisselaar vermogen 100% Amernet	404.946	56.266
De Wisselaar vermogen 30% warmtepomp en 70% Amernet	310.797	81.613
<b>Reductie door TEO t.o.v. referentie gas</b>	<b>172.114</b>	<b>401.298</b>
<b>Reductie door TEO t.o.v. huidige warmtebron</b>	<b>94.149</b>	<b>-25.347</b>

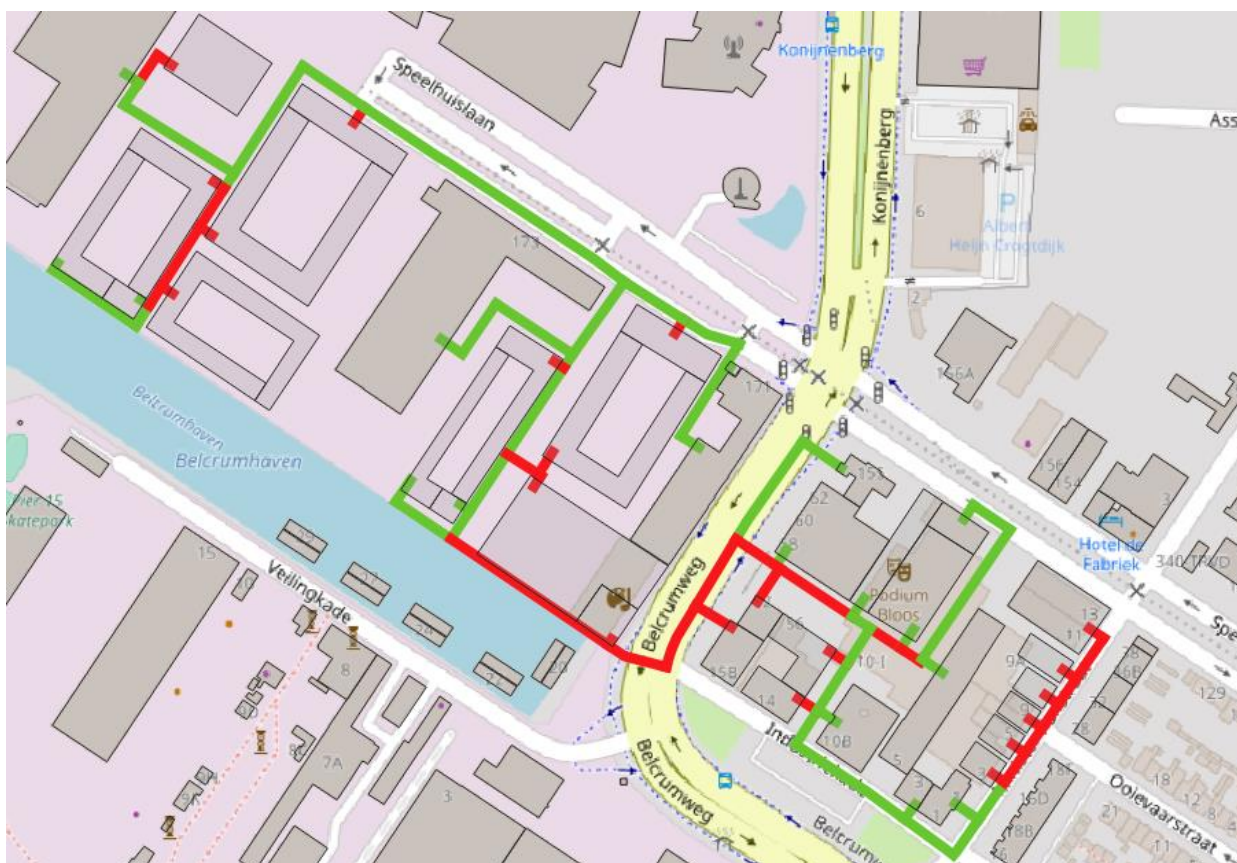
### 6.4.3 Effect van maatregelen

In deze paragraaf is het effect van de maatregelen uitgewerkt bij de toepassing van lagere temperaturen in de Strip en Wisselaar. De memo waarin de berekeningen volledig zijn uitgewerkt is opgenomen in bijlage 11. De memo is geverifieerd door Sijbrand Balkema, Hydraulicus bij RHDHV.

#### 6.4.3.1 De Strip

Voor de Strip is de stooklijn verlaagd van 70/40 naar 45/25 °C. Doordat in delen van het distributienet restcapaciteit aanwezig is leidt de afname van de transportcapaciteit in deze delen tot ongewijzigde leidingdiameters. Voor 40,6% van de tracélengte zijn de leidingdiameters te klein om het gevraagde vermogen te leveren.

De retourtemperatuur van 25 °C is te laag om de maatregel cascaderen toe te passen. De maatregel continue verwarming is wel toe te passen. Het vermogen daalt hiermee van 2.425 kW naar 1.455 kW. Deze maatregel reduceert de tracélengte waarvan de leidingdiameters te klein zijn naar 33%. Figuur 11 geeft de leidingdiameters weer die na het toepassen van de maatregel continue verwarming te klein blijken voor het leveren van het gevraagde vermogen. De groene leidingen hebben een diameter die groot genoeg is. De rode leidingen hebben een te kleine diameter ten opzichte van de huidige situatie.



Figuur 11 Analyse van resultaten voor scenario 3 in de Strip



### 6.4.3.2 Wisselaar

Voor de Wisselaar is de stooklijn verlaagd van 90/70 naar 70/55 °C. Voor 46,9% van de tracélengte blijken leidingdiameters te klein om het gevraagde vermogen te leveren.

Voor het toepassen van de maatregel cascaderen zijn drie gebouwen geselecteerd. De lagere retourtemperatuur van deze gebouwen leidt tot een verlaging van de retourtemperatuur van 55 naar 53°C. Deze maatregel reduceert de tracélengte waarvan de leidingdiameters te klein zijn naar 27,7%. De maatregel continue verwarming leidt tot een daling van het vermogen van 1.264 kW naar 758 kW. De tracélengte waarvan de leidingdiameters te klein zijn reduceerde naar 36,1%. De combinatie van de maatregelen cascaderen en continue verwarming reduceert de tracélengte waarvan de leidingdiameters te klein zijn naar 15,7%. Figuur 12 geeft de leidingdiameters die na het toepassen van beide maatregelen te klein blijken voor het leveren van het gevraagde vermogen.



Figuur 12 Analyse van resultaten voor scenario 3 in de Wisselaar

Voor de combinatie van de maatregelen cascaderen en continue verwarming blijkt uit het hydraulisch model dat beide elkaar versterken. De reden hiervoor is dat het debiet in de retourleiding constant is door de toepassing van continue verwarming. Het constante debiet in de retourleiding is een voordeel voor het cascaderen van gebouwen, hierdoor is het minder vaak noodzakelijk warmte uit de aanvoerleiding af te nemen. Een opmerking hierbij is wel dat door continue verwarming het debiet in de retourleiding lager is. Een aandachtspunt bij de toepassing van de maatregel continue verwarming is dat het debiet door de retourleiding groter blijft dan het gevraagde debiet door gecascadeerde gebouwen.

## 6.5 Conclusie

Binnen dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord:

4. Wat is de bijdrage van TEO aan de verduurzaming van bestaande warmtenetten en wat is het effect van de maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen?

Om het effect van de inzet van TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen te beoordelen zijn twee gevalstudies uitgewerkt. De twee gevalstudies betreffen de wijken de Strip en Wisselaar die beide zijn gelegen binnen het bestaande warmtenet van Ennatuurlijk in Breda.

De rivier de Mark blijkt een technische potentieel voor TEO te hebben van 39 MW. Dit levert in de maanden juni, juli en augustus 302.762 GJ aan warmte op. Dit is meer dan genoeg voor de regeneratie van de WKO-bronnen voor de Strip en Wisselaar. Om de capaciteit van de WKO-systemen nader te bepalen zouden proefboringen nodig zijn om meer inzicht te krijgen in de bodemopbouw.

De verduurzaming van de warmtenetten in de Strip en de Wisselaar is bereikt door 30% van het vermogen in te vullen met TEO. De resterende 70% blijft afkomstig van het Amernet. Ten opzichte van de gas referentie blijkt voor zowel 2018 als 2030 dat TEO een grote reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot oplevert. Alleen voor 2030 volgt dat de inzet van TEO in de Wisselaar leidt tot een toename van CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van het Amernet. De oorzaak is de relatief lage COP van 3,2 waardoor de warmtepomp nog veel elektriciteit moet toevoegen. Ondanks een lichte toename van de CO<sub>2</sub>-uitstoot voor 2030 is met TEO een lokale warmtebron in te zetten die tot op heden onbenut is gebleven.

Tabel 6.6 geeft het effect van de maatregelen voor de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur in de Strip en de Wisselaar. De combinatie van de maatregelen compenseren grotendeels de afname van de transportcapaciteit ten gevolge van de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur. Er blijft echter een percentage leidingen over waar een capaciteitstekort ontstaat. Hierdoor is op basis van de twee gevalstudies niet te concluderen of door de maatregelen de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten mogelijk is. Om dit wel te kunnen concluderen zijn meer gevalstudies nodig waarin ook de combinatie met andere maatregelen is uitgewerkt. In het uiterste geval zijn aanpassingen aan de isolatie en binneninstallatie van woningen nodig voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen, zodat een lock-in situatie, waarin bestaande warmtenetten op hoge temperatuur moeten blijven, is te voorkomen.

Tabel 6.6 Effect van de maatregelen voor de Strip en de Wisselaar

Omschrijving	Strip	Wisselaar
Verlaging stooklijn [°C]	70/40 -> 45/25	90/70 -> 70/55
Te kleine diameters door verlaging stooklijn [%]	41	47
Te kleine diameters bij toepassing maatregel Cascaderen [%]	-	28
Te kleine diameters bij toepassing maatregel Continue verwarming [%]	34	36
Te kleine diameters bij combinatie van maatregelen [%]	-	16

## 7 Optimalisatie van strategische adviezen

### 7.1 Inleiding

Binnen dit hoofdstuk is het model uit hoofdstuk 3, de SFA-matrix, uitgewerkt voor het selecteren van maatregelen die voor RHDHV het meest geschikt zijn. In een focusgroep is discussie gevoerd over de mate waarin de maatregelen bijdragen aan de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV over de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Dit hoofdstuk beantwoordt deelvraag:

- 5 Welke maatregelen zijn voor RHDHV het meest geschikt voor de optimalisatie van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten?

In paragraaf 7.2 is de methode toegelicht voor de uitwerking van de SFA-matrix en opzet van de focusgroep. In paragraaf 7.3 zijn de resultaten uit de SFA-matrix en focusgroep opgenomen. Paragraaf 7.4 bevat de beantwoording van de deelvraag.

### 7.2 Methodiek

In deze paragraaf is de methode omschreven voor de opzet van de SFA-matrix en focusgroep.

#### 7.2.1 SFA-matrix

Alle maatregelen afkomstig uit hoofdstuk 5 zijn met de SFA-matrix te beoordelen om tot de meest geschikte maatregelen voor RHDHV te komen. De weging van de criteria zijn in overleg met de Manager Pipelines van RHDHV bepaald. De scores van de maatregelen zijn in samenspraak met de Business Developer Warmte tot stand gekomen. De uitwerking van de SFA-matrix bestaat uit twee onderdelen:

- Het toekennen van een weging per criteria, waarbij:
  - 1 punt = totaal niet van belang
  - 2 punten = weinig belang bij
  - 3 punten = matig belangrijk
  - 4 punten = belangrijk
  - 5 punten = zeer belangrijk
- Het toekennen van een score per criteria voor iedere maatregel, waarbij:
  - 1 punt = erg slecht
  - 2 punten = slecht
  - 3 punten = matig
  - 4 punten = goed
  - 5 punten = zeer goed

De som van de vermenigvuldiging van de weging met de score per criteria levert de totale score per maatregel op. Om de totale score per maatregel goed te kunnen vergelijken is deze uit te drukken in een percentage van de maximaal te behalen score. Om de gevoeligheid van de resultaten uit de SFA-matrix te beoordelen is de weging voor enkele criteria aan te passen.

Voor de weging en score per criteria moet de omschrijving van de criteria duidelijk zijn. Onderstaand is elke criteria die in de SFA-matrix voorkomt nader omschreven:

- Creëert onderscheidend vermogen?
  - Mate waarin het lukt om onderscheidend te zijn ten opzichte van andere ingenieursbureaus. Onderscheidend vermogen draagt bij aan profilering op de markt en het behalen van een hogere score op kwaliteit voor tenders.
- Benut het de kansen en sterkte van de organisatie?
  - Mate waarin het lukt om de kans beter te kunnen benutten voor het opstellen van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Onder benutting van de sterktes van RHDHV vallen zaken als digitalisering en inzet van multidisciplinaire teams.
- Financieel haalbaar?
  - Mate waarin investeringen nodig zijn voor de implementatie van de maatregelen binnen de organisatie. Voorbeelden van investeringen die nodig kunnen zijn betreffen opleidingskosten van personeel, ontwikkelkosten en kosten voor nieuwe software.
- Organisatorisch uitvoerbaar?
  - Mate waarin het complex is om de maatregelen te implementeren in de organisatie doordat benodigde kennis verspreid is over verschillende Business Lines of alleen extern beschikbaar is.
- Economisch verantwoord?
  - Mate waarin de uren die nodig zijn om het effect van de maatregelen te beoordelen opwegen tegen het effect dat de maatregel oplevert.
- Technologisch haalbaar?
  - De mate waarin de maatregel technologisch bewezen is. Een technologisch bewezen maatregel is met een grotere betrouwbaarheid te adviseren dan een maatregel die nog in een studie fase zit.
- Sociaal verantwoord?
  - De mate waarin de maatregelen sociaal geaccepteerd worden door de warmtebedrijven of afnemers van de warmte.
- Juridisch verantwoord?
  - Mate waarin het juridisch complex is ten aanzien van wet- en regelgeving om de maatregelen toe te passen. Relevante wet- en regelgeving hierbij is de Omgevingswet en Warmtewet.
- Ethisch verantwoord?
  - Mate waarin de maatregelen bijdragen aan de verduurzaming door het verminderen van materiaal gebruik of brandstof waardoor de CO<sub>2</sub>-footprint van een warmtenet afneemt.
- Mate van financiële risico's?
  - Mate waarin RHDHV het risico loopt op een claim doordat investeringen die een warmtebedrijf doet om de maatregelen uit te niet het gewenste effect hebben.
- Acceptatie door belanghebbende?
  - Mate waarin de warmtebedrijven de maatregelen voor de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur in bestaande warmtenetten gewenst vinden.



### 7.2.2 Focusgroep

Doormiddel van een focusgroep met werknemers van RHDHV is de wijze besproken waarop de meest geschikte maatregelen zijn te implementeren in de strategische adviezen. Daarnaast is een discussie gevoerd over de mate waarmee TEO beter is af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen door de kennis die met dit onderzoek is vergaard.

Deelnemers die voor de focusgroep zijn uitgenodigd betreffen werknemers van RHDHV die regelmatig betrokken zijn bij warmte projecten. Voor de samenstelling van de groep is gekeken naar een mix van Business Lines waarin de deelnemers actief zijn, verschillende functies zoals adviseurs, projectleiders en projectdirecteuren met een range aan werkervaring van 5 tot en met 30 jaar. Tabel 7.1 geeft een overzicht van de deelnemers die bij de focusgroep aanwezig zijn geweest.

Tabel 7.1 Overzicht van deelnemers aan de focusgroep

Naam	Functie	Bedrijf
José Varwijk	BL I&B – AG Environment & Energy – Adviseur	RHDHV
Sijbrand Balkema	BL Water – AG Drinkwater – Hydraulicus	RHDHV
Klaas Bootsma	BL T&P – AG Ruimte & Energietransitie – Projectleider	RHDHV
Bastian Knoors	BL I&B – AG Environment & Energy – Adviseur	RHDHV
Roland Boon	BL Water – AG Drinkwater – Adviseur	RHDHV
Kees Everse	BL Water – AG Drinkwater – Projectdirecteur	RHDHV

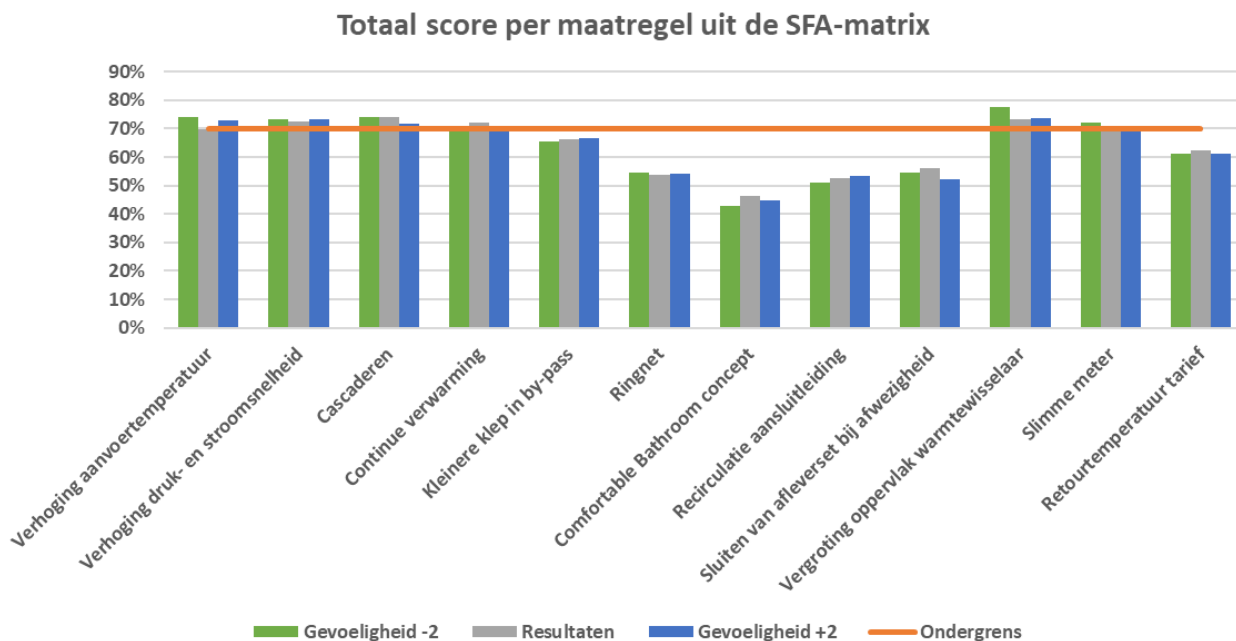
Om de deelnemers aan de focusgroep goed mee te nemen in de thesis en voldoende gelegenheid te geven voor discussie is de volgende structuur aangehouden:

- Start van de focusgroep met een toelichting op het doel van de focusgroep;
- Presentatie waarin de eerste resultaten uit het onderzoek worden toegelicht;
- Vragen tijdens de presentatie aan de deelnemers over de resultaten uit het onderzoek. Mentimeter is hierbij gebruikt om onderlinge beïnvloeding voor beantwoording van de vragen te voorkomen;
- Discussie over de wijze waarop de maatregelen zijn te implementeren in de strategische adviezen.

### 7.3 Resultaten

Elke maatregel is beoordeeld aan de hand van de criteria uit de SFA-matrix. Figuur 13 geeft de resultaten uit de SFA-matrix. Maatregelen met een score van 70% of hoger zijn voor RHDHV geschikt. De maatregelen die hieraan voldoen zijn 'Verhoging aanvoertemperatuur', 'Verhoging druk- en stroomsnelheid', 'Cascaderen', 'Continue verwarming', 'Vergroting oppervlak warmtewisselaar' en 'Slimme meter'. Om de gevoeligheid van de resultaten uit de SFA-matrix te bepalen is de weging voor de criteria met de hoogste en laagste weging met twee punten verhoogd of verlaagd. Hieruit is gebleken dat de aanpassing van de weging geen effect heeft op de resultaten uit de SFA-matrix.

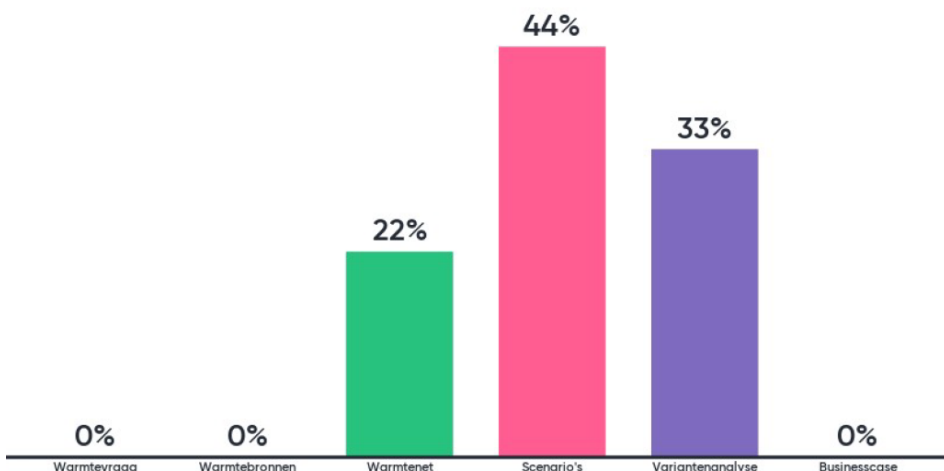
De maatregel 'Verhoging druk- en stroomsnelheid' scoort op de criteria 'creëert onderscheidend vermogen' een één. Het verhogen van de druk- en stroomsnelheid gebeurt al standaard in warmtenetten op het moment van een piekvraag. Door deze erg slechte beoordeling is het voor RHDHV geen interessante maatregel. De maatregel 'Continue verwarming' scoort op de criteria 'juridisch verantwoord' ook een één. Ondanks deze erg slechte score is het voor RHDHV wel een interessant maatregel. Naar de toekomst is het de verwachting dat juridisch obstakels voor deze maatregel worden weggenomen.



Figuur 13 Totaal score per maatregel uit de SFA-matrix

De volledige uitwerking van de SFA-matrix en gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in bijlage 12. De weging van de criteria inclusief onderbouwing zijn aangeleverd door Paul Vastenbrug, Manager Pipelines bij RHDHV. De scores die per maatregel zijn toegekend aan de criteria zijn geverifieerd door Kees Everse, Business Developer Warmte bij RHDHV.

Binnen de focusgroep zijn vragen gesteld met betrekking tot de eerste resultaten uit het onderzoek. Figuur 14 geeft de resultaten uit Mentimeter voor de beantwoording van de vraag 'Binnen welke fase van de werkwijze binnen strategische adviezen zouden jullie de maatregelen implementeren?'. Uit de beantwoording van de vraag bleek dat de maatregelen het best zijn toe te passen in de fase 'Scenario's'. In deze fase zijn de stooklijnen bekend voor de scenario's. Afhankelijk van de stooklijn is per scenario te bepalen of er een noodzaak om maatregelen in te zetten voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen.



Figuur 14 Fase binnen strategische adviezen waarin de maatregelen zijn toe te passen

Afhankelijk van de specifieke kenmerken van elk bestaand warmtenet zal de ene maatregel een groter effect hebben dan de andere maatregel. Hierdoor is inzicht nodig in het effect van iedere maatregel die voor RHDHV het meest geschikt. Afhankelijk van het effect van de maatregelen verschilt de mix van maatregelen per bestaand warmtenet voor de inzet van TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. De methodiek voor het beoordelen van het effect van de maatregelen is aangevuld met de maatregelen die het meest geschikt zijn voor RHDHV om tot een beroepsproduct te komen dat is te gebruiken in toekomstige projecten.

Uit de discussie met de deelnemers van de focusgroep volgt dat de maatregelen ook een meerwaarde hebben in de fase 'Variantenanalyse'. Scenario's met een lagere aanvoertemperatuur scoren door de toepassing van de maatregelen beter op de criteria 'Duurzaamheid', 'Faseerbaarheid' en 'Impact op het systeem'. Hierdoor is binnen de variantenanalyse TEO beter af te wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen.

De notulen van de focusgroep zijn opgenomen in bijlage 13 inclusief de verificatie door de deelnemers. In bijlage 14 is het beroepsproduct opgenomen waarmee het effect van de maatregelen is te beoordelen.

## 7.4 Conclusie

Binnen dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord:

- 5 Welke maatregelen zijn voor RHDHV het meest geschikt voor de optimalisatie van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten?

Voor beantwoording van de deelvraag zijn alle maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten beoordeeld in een SFA-matrix. De volgende maatregelen zouden het meest geschikt zijn voor de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV:

- Verhoging aanvoertemperatuur;
- Cascaderen;
- Continue verwarming;
- Vergroting oppervlak warmtewisselaar;
- Slimme meter.

Uit de focusgroep met werknemers van RHDHV is gebleken dat de maatregelen het beste zijn te beoordelen in de fase 'scenario's' van strategische adviezen over het verduurzamen van bestaande warmtenetten. Om de juiste mix van maatregelen voor toekomstige projecten te kunnen selecteren is de methode om het effect van de maatregelen te beoordelen uitgewerkt in een beroepsproduct. Door de maatregelen is voor TEO een hogere score toe te kennen aan de criteria 'Duurzaamheid', 'Faseerbaarheid' en 'Impact op het systeem'. Hierdoor kan RHDHV TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen binnen strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten beter afwegen met andere duurzame warmtebronnen.

## 8 Conclusie

In de voorgaande hoofdstukken is antwoord gegeven op de deelvragen. In dit hoofdstuk is de hoofdvraag van het onderzoek beantwoord.

Op welke wijze kan RHDHV strategische adviezen optimaliseren, om TEO in combinatie met de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten af te kunnen wegen ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen, zodat de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie eind 2022 haalbaar zijn?

In dit onderzoek is gekeken naar de optimalisatie van strategische adviezen van RHDHV over de verduurzaming van bestaande warmtenetten. Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat voor de inzet van TEO ingrijpende aanpassingen aan woningen en aan het warmtenet nodig zijn door de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. Binnen dit onderzoek is gefocust op maatregelen om ingrijpende aanpassingen aan het warmtenet te voorkomen.

De SFA-matrix is gebruikt voor het afwegen van maatregelen. Maatregelen zijn in de SFA-matrix te beoordelen op onderdelen als geschiktheid, haalbaarheid en aanvaardbaarheid. Hiermee wordt zowel ingegaan op interne- als externe aspecten die van belang zijn in de afweging. In wetenschappelijke literatuur zijn in totaal twaalf maatregelen gevonden voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten. Na beoordeling van deze maatregelen in de SFA-matrix is gebleken dat de volgende maatregelen het meest geschikt zijn voor RHDHV:

- Verhoging aanvoertemperatuur;
- Cascaderen;
- Continue verwarming;
- Vergroting oppervlak warmtewisselaar;
- Slimme meter.

Voor de optimalisatie van de strategische adviezen zijn de maatregelen het best te beoordelen bij het uitwerken van de scenario's. Afhankelijk van de situatie is de juiste mix van maatregelen te selecteren om het gewenste effect te bereiken. Hiermee is TEO beter te beoordelen op de criteria 'Duurzaamheid', 'Faseerbaarheid' en 'Impact op het systeem' voor de afweging ten opzichte van andere duurzame warmtebronnen. Dit leidt tot een optimalisatie van de strategische adviezen van RHDHV over de verduurzaming van bestaande warmtenetten.

De ontwikkelde kennis sluit aan bij de missie, visie en strategie van RHDHV. Hiermee is in te spelen op de kans uit de SWOT-analyse van het businessplan van de VP warmtenetten. Door de optimalisatie van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten is bij te dragen aan de bedrijfsdoelstellingen ten aanzien van omzet en een sterke marktpositie.

## 9 Discussie

Dit hoofdstuk bevat de discussie over de resultaten van het onderzoek. De discussie is ingegaan op de interpretatie, beperkingen en implicaties van de resultaten uit het onderzoek. Daarnaast zijn suggesties gedaan voor vervolgonderzoek.

Binnen het onderzoek is het antwoord op elke deelvraag geverifieerd door minimaal één expert. Daarnaast is de samenhang van het hele onderzoek zowel intern als extern gevalideerd. Door de interne validatie is voorkomen dat resultaten en conclusies onderhevig zijn aan subjectiviteit van de onderzoeker. Met de externe validatie is getoetst in welke mate de resultaten en conclusies zijn te generaliseren voor de gehele warmtesector. De correspondentie over de interne en externe validatie van het onderzoek zijn opgenomen in bijlage 15.

Aan de hand van twee gevalstudies is beoordeeld wat de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot is door de inzet van TEO. Bij de inzet van niet-fossiele warmtebronnen zoals TEO was de verwachting een grote reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot te bereiken. Voor 2018 was sprake van een grote reductie, maar voor 2030 werd de reductie beperkter. De oorzaak is dat warmtebedrijven een groter aandeel biomassa gaan bijmengen in fossiele warmtebronnen waardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot naar de toekomst fors afneemt. Ondanks een beperkte reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot voor 2030 is met TEO een lokale warmtebron in te zetten die tot op heden onbenut is gebleven en naar de toekomst hard nodig is om de gestelde klimaatdoelen te halen.

Binnen dit onderzoek is de verduurzaming van bestaande warmtenetten enkel vertaald naar een reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het advies voor vervolgonderzoek zou zijn om naast de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot de volledige milieubelasting van TEO te vergelijken met andere warmtebronnen. Dit is mogelijk door het uitvoeren van een Lyfe Cycle Assesment (LCA). De LCA geeft een compleet beeld van de milieubelasting door TEO over de gehele levensduur van de installatie. In de LCA is de milieubelasting door de grondstoffen, fabricage, gebruik en recycling van de installatie te berekenen.

In de gevalstudies is het effect van de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten beoordeeld. Bij de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur was de verwachting dat op alle locaties in het warmtenet een tekort aan transportcapaciteit zou ontstaan. Uit de gevalstudies blijkt dat slechts in 40 tot 50% van de tracélengte van het warmtenet een tekort aan transportcapaciteit ontstaat. De reden hiervoor is dat in delen van het warmtenet restcapaciteit aanwezig is. Met de maatregelen is het percentage tracélengte te reduceren waar capaciteitstekorten ontstaan. Het is nog onbekend of het volledige capaciteitstekort met maatregelen is te reduceren. Indien het niet lukt om de capaciteitstekorten op te lossen komen bestaande warmtenetten in een lock-in situatie, waarin het niet mogelijk is om LT warmtebronnen te introduceren door op HT te moeten blijven.

Het softwareprogramma COMSOF HEAT is gebruikt om het effect van de maatregelen in de gevalstudies te beoordelen. Met dit softwareprogramma is slechts een benadering van de werkelijkheid mogelijk. Voor de gevalstudies gaf dit voldoende inzicht. Bij de toepassing van de maatregelen binnen strategische adviezen van RHDHV geven softwareprogramma's zoals Dymola een betere benadering van de werkelijkheid. In dergelijke softwareprogramma's zijn warmtenetten vanuit componenten op te bouwen waarmee het effect van de maatregelen is te beoordelen. Deze software is momenteel nog niet in het bezit van RHDHV, daarnaast ontbreekt het aan kennis om de software toe te passen.

Het beroepsproduct bij dit onderzoek bestaat uit de methode om het effect van de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten te beoordelen. Afhankelijk van de situatie is de juiste mix aan maatregelen te selecteren. Binnen het beroepsproduct is de beoordeling van het effect van de maatregelen nog onderbelicht. Binnen de gevalstudies van dit onderzoek is het effect van slechts twee maatregelen beoordeeld. De uitwerking van de maatregelen in toekomstige projecten van RHDHV geeft nieuwe inzichten. Deze nieuwe inzichten zullen een aanvulling vormen voor het beroepsproduct.

Met een homogene groep is binnen de focusgroep een goed onderbouwde discussie gevoerd over de fase binnen strategische adviezen waarin de maatregelen zijn te implementeren voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen. De verwachting was dat de maatregelen het beste zouden aansluiten bij de fase 'Warmtenetten'. Uit de focusgroep volgde echter dat de maatregelen het beste zijn toe te passen in de fase 'Scenario's'. De reden hiervoor is dat in deze fase de stooklijnen voor de scenario's van het warmtenet bekend zijn.

## 10 Aanbeveling

Dit hoofdstuk beschrijft de aanbevelingen aan RHDHV en aan de branche.

In dit onderzoek is de methodiek, om het effect van de maatregelen te beoordelen, uitgewerkt in een beroepsproduct. Het advies aan RHDHV is deze methodiek voor toekomstige projecten te hanteren. Met de methodiek is de haalbaarheid voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten te beoordelen. Deze methodiek is niet alleen voor RHDHV geschikt, maar voor alle ingenieursbureaus of warmtebedrijven die de toepassing van een lagere aanvoertemperatuur in bestaande warmtenetten willen beoordelen.

In strategische adviezen is een groot aantal activiteiten te doorlopen om de geïdentificeerde warmtebronnen te vertalen naar een passende businesscase. RHDHV dient hierbij weloverwogen om te gaan met het beschikbare aantal uren. Om met een beperkt aantal uren toch de haalbaarheid van de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten te beoordelen is het advies aan RHDHV zich te limiteren tot het uitvoeren van de volgende activiteiten:

- Het beoordelen van de restcapaciteit op basis van de huidige en toekomstige warmtevraag;
- Het selecteren van de juiste mix aan maatregelen om capaciteitstekorten te beperken;

In een volgende fase van het project is een specifieke analyse van het warmtenet uit te voeren naar het effect van de maatregelen.

De maatregel 'Continue verwarming' is erg kansrijk om de capaciteit van bestaande warmtenetten te vergroten. Uit de SFA-matrix blijkt echter dat deze maatregel erg slecht scoort op de criteria 'juridisch verantwoord'. Momenteel zijn er teveel juridische obstakels om deze maatregel toe te kunnen passen. Het is een aanbeveling aan de branche om met de overheid in gesprek te gaan om obstakels weg te nemen. Hiermee zou het in de toekomst mogelijk zijn de maatregel continue verwarming wel toe te passen.

Met de optimalisatie van strategische adviezen over het verduurzamen van bestaande warmtenetten kan RHDHV zich onderscheiden van andere ingenieursbureaus. Het advies aan accountmanagers van RHDHV is de de nieuw ontwikkelde kennis te delen met hun contactpersonen bij de warmtebedrijven. Hiermee is een betere propositie neer te zetten voor het uitvoeren van strategische adviezen over de verduurzaming van bestaande warmtenetten.

Het koppelen van warmtebronnen met een lage aanvoertemperatuur op bestaande warmtenetten is een onderwerp waar de komende jaren nog veel onderzoek naar gedaan zal worden. Eén van de voorbeelden hiervan is het recent opgestarte programma MMIP4 dat zich richt op duurzame warmte- en koude in de gebouwde omgeving. Het is dan ook de verwachting dat de komende jaren nieuwe maatregelen voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen naar voren zullen komen. Het is een aanbeveling aan RHDHV om wetenschappelijke publicaties rondom dit onderwerp te blijven volgen om op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen. Nieuwe maatregelen zijn vervolgens te beoordelen met de SFA-matrix. Hiermee is te toetsen of de nieuwe maatregelen ook geschikt zijn voor de strategische adviezen RHDHV.



## 11 Reflectie

Binnen dit hoofdstuk is een kritische reflectie opgenomen over de gehanteerde onderzoeksmethoden, wijzigingen van deelvragen en nieuwe inzichten die zijn ontstaan.

Door vanuit mijn dagelijkse werkzaamheden operationeel bezig te zijn was het lastig om het onderzoek vanuit een strategische invalshoek op te zetten. Nadat het onderzoek een meer strategisch karakter had gekregen merkte ik dat meer contact met het management ontstond. Door het vinden van de SFA-matrix kon een goede strategische afweging gemaakt worden tussen de gevonden maatregelen in de literatuur. De SFA-matrix bood de juiste criteria om tot een selectie van de maatregelen te komen die voor RHDHV het meest geschikt zijn voor de optimalisatie van strategische adviezen. Voor keuzes die in de toekomst vanuit het perspectief van RHDHV gemaakt moeten worden zal ik de SFA-matrix weer hanteren.

De onderzoeksmethode semigestructureerde interviews is gebruikt om de maatregelen die naar voren zijn gekomen uit de literatuurstudie te bespreken met experts uit de warmtesector. Tijdens de interviews bleken de experts een bredere visie te hebben voor de toepassing van lagere aanvoertemperaturen in bestaande warmtenetten. Hierdoor is het inzicht ontstaan dat bestaande warmtenetten het makkelijkst zijn te verduurzamen vanuit de kern van het warmtenet. Een ander inzicht dat is ontstaan is dat de toepassing van lagere aanvoertemperaturen alleen mogelijk is als retourtemperaturen ook dalen.

Tijdens de interviews is aan de experts uit de warmtesector de vraag gesteld of zij de samenwerking aan zouden willen gaan voor de uitwerking van een gevalstudie in het kader van het onderzoek. De warmtebedrijven stonden hier niet direct voor open. Het verduurzamen van bestaande warmtenetten conflicteerde namelijk met andere doelen van de warmtebedrijven. De toepassing van een lagere aanvoertemperatuur levert immers een afname van de transportcapaciteit op waardoor minder afnemers zijn aan te sluiten op het warmtenet. Hierdoor heeft de selectie van twee gevalstudies voor het onderzoek uiteindelijk meer tijd gekost dan vooraf voorzien. In het vervolg zal ik bij de toepassing van de onderzoeksmethode gevalstudie al in een vroegtijdig stadium opzoek gaan naar locaties die zijn te gebruiken voor de gevalstudie.

Naarmate het onderzoek vorderde werd de omvang steeds groter. Voor de uitwerking van de gevalstudies is een groot aantal activiteiten doorlopen. Deze activiteiten hebben veel tijd in beslag genomen wat ten koste is gegaan van een juiste onderzoekshouding. Door het uitvoeren van de activiteiten heb ik veel geleerd van experts die bij het onderzoek zijn betrokken. In het vervolg zal ik echter een betere afbakening opstellen om het aantal uit te voeren activiteiten te beperken en meer focus te hebben op de kwaliteit van de resultaten uit het onderzoek. Door elke activiteit binnen dit onderzoek geverifieerd te hebben door experts is echter geen twijfel aan de kwaliteit van de uitkomsten van het onderzoek.



## Literatuurlijst

- Aarssen, M. van, Aerts, J. C., Broekhuizen, H. J., Buitenhuis, J. J., & Gerats, P. M. J. (2011). ISSO-publicatie 39 Ontwerp, realisatie en beheer van een Energiecentrale met warmte en koude opslag (WKO), (november), 1–37.
- Andri, A. I., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., & Lacarrière, B. (2018). Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. *Energy Procedia*, 149, 595–604. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.224>
- Averfalk, H., & Werner, S. (2017). Essential improvements in future district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069>
- Averfalk, H., & Werner, S. (2018). Novel low temperature heat distribution technology. *Energy*, 145, 526–539. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157>
- Averfalk, H., Werner, S., Felsmann, C., Rühling, K., & Wiltshire, R. (2017). *IAE Annex XI Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems*.
- Basciotti, D., Köfinger, M., Marguerite, C., Terreros, O., & Agugiaro, G. (2016). Methodology for the Assessment of Temperature Reduction Potentials in District Heating Networks by Demand Side Measures and Cascading Solutions.
- Beltram, L., Christensen, M. H., & Li, R. (2019). Demonstration of heating demand peak shaving in smart homes Demons. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012055>
- Boekenoogen, A., Bootsma, K., Bosch, A., & Baat, P. De. (2019). *Energieplan Groot Schuylenburg*. Zwolle.
- Brand, M., Rosa, A. D., & Svendsen, S. (2014). Energy efficient and cost-effective in-house substations bypass for improving thermal and DHW comfort in bathrooms in low-energy buildings supplied by low-temperature district heating. *Energy*, 67, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.064>
- Coo, W. de, & Kleiweg, E. (2018). *Handreiking Aquathermie*. Amersfoort.
- Dam, W. K. van. (2006). *Laat herstructureren zich modelleren?* Hengelo.
- Della Rosa, A., Li, H., Svendsen, S., Werner, S., & Persson, U. (2014). *IAE Annex X Experience and Potential of Low-Temperature District Heating*. IEA Annex X. <https://doi.org/10.3389/fnins.2011.00017>
- District, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., & Schmidt, D. (2017). Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. *Energy Procedia*, 116, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052>
- European Commission. (2018). *A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Brussel.
- Everse, K. (2019). *Businessplan Domein Warmte & Energie*. Royal HaskoningDHV.
- Framback, R., & Nijssen, E. (2017). *Marketing strategie* (6e druk). Noordhoff uitgevers B.V.
- Gadd, H., & Werner, S. (2015). Fault detection in district heating substations. *Applied Energy*, 157, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.061>
- Heijde, B. Van Der, Fuchs, M., Tugores, C. R., Schweiger, G., & Sartor, K. (2017). Dynamic equation-based thermo-hydraulic pipe model for district heating and cooling systems. *Energy Conversion and Management*, 151(July), 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.072>
- Hoetz, C., & Baas, D. (2019). *Variëtenanalyse Zeeburgereiland*. Amersfoort.
- Holleman, E., Idema, R., & Huber, E. (2017). *Energietransitie Nederland*. Royal HaskoningDHV.
- Hoogervorst, N. (2017). *Toekomstbeeld Klimaatneutrale Warmtenetten in Nederland*. Den Haag. Retrieved from <http://www.pbl.nl/publicaties/toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland>
- ISSO. (2007). *ISSO-publicatie 80 Handboek integraal ontwerpen van collectieve installaties met warmtepompen in de woningbouw*. ISSO.
- Johnson, G., & Scholes, K. (1993). *Exploring corporate strategy*. Prentice Hall, London.
- Kleijn, H., & Rorink, F. (2005). *Verandermanagement: een plan van aanpak voor integrale organisatieverandering en innovatie*. Pearson Education.
- Kleinertz, B., Brühl, G., Veitengruber, F., Pellingner, C., & Roon, S. von. (2018). Transformation of an existing into a Fourth Generation Heating Network - Assessing the feasibility of using heat Room demand temperature function for a heat forecast. *Energy Procedia*, 149, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.212>
- Knors, B., & Bootsma, K. (2020). *Masterplan warmtenet Verkenning warmtenet in Assen*. Amersfoort.

- Köfinger, M. urban district heating systems by the implementation, Basciotti, D., & Schmidt, R.-R. (2017). Reduction of return temperatures in urban district heating systems by the implementation of energy-cascades. *Energy Procedia*, 116, 438–451.
- Kruit, K., Schepers, B., Roosjen, R., & Boderie, P. (2018). *Nationaal potentieel van aquathermie*. Delft. Retrieved from [www.ce.nl](http://www.ce.nl)
- Lauenburg, P. (2016). *Temperature optimization in district heating systems. Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00011-2>
- Li, H., Svendsen, S., Gudmundsson, O., Schmidt, D., & Kallert, A. (2017). *IAE Annex TS1 Low Temperature District Heating for Future Energy Systems*.
- Li, & Nord, N. (2018). Transition the 4th generation district heating - possibilities , The to bottlenecks , and challenges bottlenecks , and challenges. *Energy Procedia*, 149, 483–498. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.213>
- Li, & Xia, J. (2017). An on-off control strategy to reduce return water temperature. *Energy Procedia*, 116, 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.092>
- Lund, R., Ostergaard, D. S., Yang, X., & Mathiesen, B. V. (2017). Comparison of Low-temperature District Heating Concepts in a Long-Term Energy System Perspective, 12, 5–18.
- Lund, Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., & Thorsen, J. E. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Martinez, R. G., Zabala, V. S., Bogdanovic, B., Savic, R., & Sistemi, S. (2020). A flexible approach to the deployment and conversion of district heating networks to low temperature with increased use of local solar systems, 97–102.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., & Skea, J. (2018). *Global Warming of 1.5°C. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Mast, J. De, & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *Intern. Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- McCarthy, E. J. (1960). Basic Marketing: A Managerial Approach. *Journal of Marketing*, 56, 83–93.
- Neirotti, F., Noussan, M., Rivero, S., & Manganini, G. (2019). Analysis of Different Strategies for Lowering the Heating Networks, 1–17. <https://doi.org/10.3390/en12020321>
- Nijpels, E. (2019). *Klimaataakkoord*. Den Haag.
- Nuiten, P., Goud, J., Hoiting, H., Ree, B. van der, & Harmelink, M. (2019). *Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving voor de warmtevoorziening in de woning - en utiliteitsbouw*.
- Nussbaumer, T., & Thalmann, S. (2014). *Status Report on District Heating Systems in IEA Countries Task 32*. Zürich.
- Overveld, M. A., Bleeker, A., Boot, P., Born, G. J. van den, & Brink, C. (2019). *Klimaat- en Energieverkenning 2019*.
- Overvelde, J., Knoors, B., & Fransen, S. (2020). *Technische en financiële verkenning wijkuitvoeringsplan Spoorzone Zwolle*. Amersfoort.
- Pellegrini, M., Bianchini, A., Guzzini, A., & Sacconi, C. (2019). Classification through analytic hierarchy process of the barriers in the revamping of traditional district heating networks into low temperature district heating: an Italian case study. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 20(April), 51–66. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2019.20.5>
- Pfeiffer, E., & Everse, K. (2018). *Ypenburg transitie hernieuwbare warmte*. Amersfoort.
- Rämä, M., & Sipilä, K. (2017). Transition to low temperature distribution in existing systems. *Energy Procedia*, 116, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.055>
- Royal HaskoningDHV. (2017). *Guide To a Strong22: Let ' S Create a Future Together! We Create a Strong22!* Royal HaskoningDHV.
- RVO. (2015). *Best Practice Industriële Warmtepompen*. Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Retrieved from publicatienummer: RVO-124/1501/RP-DUZA
- Scholten, B., & Wierikx, R. (2016). *Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem*. Utrecht. SIKB. (2014). *het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen*. Gouda.

- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R., & Berntsen, T. K. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Swaaij, D. van. (2007). "Blauwdruk" *Ontwerpproces Tauw*. Utrecht.
- Talankar, A. (2011). A conceptual framework for application of Six Sigma improvement methodology in non-formal service sector, 6(4), 321–338.
- Tiemessen, P. V. (2010). *Belangrijke invloedsfactoren en mogelijke maatregelen voor snelwegsystemen*.
- UN, U. N. (2015). *Convention on Climate Change: Climate Agreement of Paris*.  
<https://doi.org/10.1017/s0020782900004253>
- Verhaegh, N. (2017). *Slim van het gas af met lage temperatuur*.
- Visser-Grijp, A. L. (2013). *Beleid ondergrond Provincie Noord-Brabant*. Provincie Noord-Brabant.
- Volkova, A., Latõšov, E., Hlebnikov, A., & Siirde, A. (2018). Technical improvement potential of large district heating network: application to the Case of Tallinn, Estonia. *Energy Procedia*, 149, 337–344.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.197>
- Waterschoot, W. van, & S. van den Bulte. (1992). The Classification of the Revisited Marketing Mix, 56(4), 83–93. <https://doi.org/10.2307/1251988>
- Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617–631.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>
- Yang, X., Li, H., & Svendsen, S. (2016). Decentralized substations for low-temperature district heating with no Legionella risk, and low return temperatures. *Energy*, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.073>
- Zijlema, P. J. (2017). *Berekening van de standaard CO2 -emissiefactor aardgas t.b.v. nationale monitoring 2017 en emissiehandel 2017*. Utrecht.

## **Bijlage**

### **Bijlage 1 – Samenvatting literatuurstudie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 2 – Notulen van interviews incl. verificatie door geïnterviewde**

**Bijlage**

**Bijlage 3 – Codering van interviews**

**Bijlage**

**Bijlage 4 – Analyse van interviews**

## **Bijlage**

### **Bijlage 5 – Notulen van selectie gevalstudies incl. verificatie**



## **Bijlage**

### **Bijlage 6 – Data CO<sub>2</sub>-uitstoot per GJ in Amernet**

## **Bijlage**

### **Bijlage 7 – Uitgangspunten warmtevraag gevalstudies incl. verificatie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 8 – Berekening TEO uit de Mark incl. verificatie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 9 – Quicksan WKO in Breda incl. verificatie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 10 – Berekening warmtepomp incl. verificatie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 11 – Hydraulische scenario's de Strip en de Wisselaar incl. verificatie**

## **Bijlage**

### **Bijlage 12 – Resultaten SFA-matrix incl. verificatie**



## **Bijlage**

### **Bijlage 13 – Notulen van focusgroep incl. verificatie**

**Bijlage**

**Bijlage 14 – Beroepsproduct**

**Bijlage 15 – Interne en externe  
validatie**



Regional Office Locations

With its headquarters in Amersfoort, The Netherlands, Royal HaskoningDHV is an independent, international project management, engineering and consultancy service provider. Ranking globally in the top 10 of independently owned, nonlisted companies and top 40 overall, the Company's 6,000 staff provide services across the world from more than 100 offices in over 35 countries.

### **Our connections**

Innovation is a collaborative process, which is why Royal HaskoningDHV works in association with clients, project partners, universities, government agencies, NGOs and many other organisations to develop and introduce new ways of living and working to enhance society together, now and in the future.

### **Memberships**

Royal HaskoningDHV is a member of the recognised engineering and environmental bodies in those countries where it has a permanent office base.

All Royal HaskoningDHV consultants, architects and engineers are members of their individual branch organisations in their various countries.

### **Integrity**

Royal HaskoningDHV is the first and only engineering consultancy with ETHIC Intelligence anti-corruption certificate since 2010.



[royalhaskoningdhv.com](http://royalhaskoningdhv.com)

