

Integraal Ontwerp Warmtetransport Zuid-Holland Eindrapport 2021



Opgesteld door Gasunie i.s.m. Provincie Zuid-Holland, in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Samenvatting

De warmtetransitie is in volle gang. Gemeenten doen ervaringen op met het aardgasvrij maken van wijken en in 2021 leveren alle gemeenten een Transitievisie Warmte op. In de provincie Zuid-Holland is daarbij een grote rol weggelegd voor regionaal warmtetransport dat warmte uit de Rotterdamse Haven transporteert naar gebouwen in Zuid-Holland. Met WarmtelinQ zet Gasunie een belangrijke volgende stap in de ontwikkeling van het warmtetransportnet Zuid-Holland.

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft Gasunie, ondersteund door de Provincie Zuid-Holland het Integraal Ontwerp voor dit regionale net uitgewerkt. Dit Integraal Ontwerp dient drie doelen:

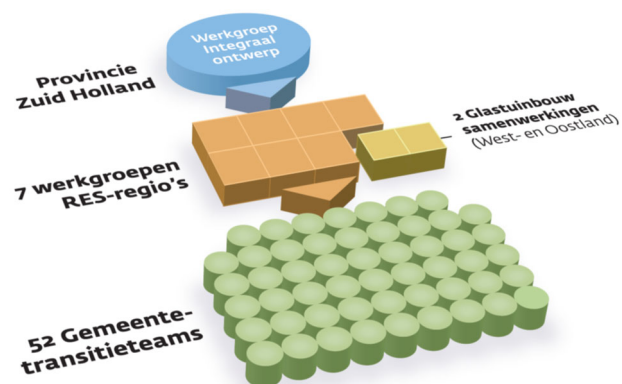
1. Het vormen van een beeld van de wijze waarop een warmtetransportsysteem kan bijdragen aan de energietransitie in Zuid-Holland
2. Te kunnen beoordelen of WarmtelinQ volgens de huidige inzichten over warmtevraag en -aanbod een maatschappelijk verstandige keuze is
3. Dienen als input voor de Transitievisies Warmte en de Regionale Energie Strategieën

De RES-regio's en gemeenten werken hard aan de Regionale Structuurvisies Warmte en Transitievisies Warmte. Ook de glastuinbouwsector maakt plannen voor de warmtetransitie en onderzoekt de rol die regionale warmte hierin kan spelen. Deze trajecten zijn volop in ontwikkeling en de wijze waarop de warmtevraag in de provincie in de toekomst wordt ingevuld zal steeds verder uitkristalliseren, net als de rol van warmtetransport hierin. Het Integraal Ontwerp gaat uit van de laatste inzichten en heeft gezien de toekomstige ontwikkelingen een voorlopig karakter dat aanpassing behoeft op het moment dat er meer duidelijkheid komt over warmtevraag en -aanbod.

Totstandkoming

Het integraal ontwerp is tot stand gekomen in samenwerking met de Provincie Zuid-Holland, de organisaties van de Regionale Energie Strategieën, gemeenten en twee samenwerkingsverbanden rondom tuinbouwgebieden in Westland en Oostland.

De input over de verwachte warmtevraag van alle partijen is samen met data uit de Startanalyse 2020 van PBL gebruikt om toekomstscenario's door te rekenen voor de verduurzaming van een deel van de warmtevoorziening in Zuid-Holland met behulp van een warmtetransportnet.



Toekomstscenario's

Of warmtetransport bijdraagt aan een betaalbare en duurzame warmtevoorziening hangt af van meerdere factoren, zoals de afstand tussen aanbod en vraag of de (kosten van) alternatieven voor een warmtenet o.b.v. een transportsysteem. Bij het integraal ontwerp zijn twee factoren gebruikt als basis voor vier scenario's:

1. De GJ-prijs van warmte bij de bron
2. De mate waarin de ontwikkeling van distributienetten, warmtebronnen en transportleidingen (bovenregionaal) wordt afgestemd

De mate van afstemming is op twee manieren tot uiting gebracht. Allereerst in de vollooperperiode: de tijd tussen het moment van aanleggen van de warmtetransportleidingen en het moment waarop deze maximaal worden gebruikt. Bij goede afstemming is de vollooperperiode kort. Ten tweede in het aggregatieniveau (buurt – wijk – gemeente) waarop kosten en baten worden gewogen bij het bepalen van de te volgen strategie voor verwarmen zonder aardgas. Een hoger aggregatieniveau vergt goede afstemming maar biedt ook kansen om de kosten van de transitie te verlagen.

1

Symfonie: Er zijn veel warmtebronnen en deze zijn goedkoop uit te koppelen. Door de hoge mate van afstemming in de aanleg van infrastructuur kan een groot deel van dit grote potentieel worden benut, op kosteneffectieve wijze.

2

Jazzconcert: Er zijn veel warmtebronnen en deze zijn goedkoop uit te koppelen. Doordat overkoepelende afstemming in de aanleg van infrastructuur ontbreekt kan maar een beperkt deel van dit grote potentieel worden benut.

3

Strijkkwartet: Er zijn niet veel warmtebronnen en deze zijn bovendien kostbaar. Door de hoge mate van afstemming in de aanleg van infrastructuur kan een groot deel van dit beperkte potentieel worden benut, op kosteneffectieve wijze.

4

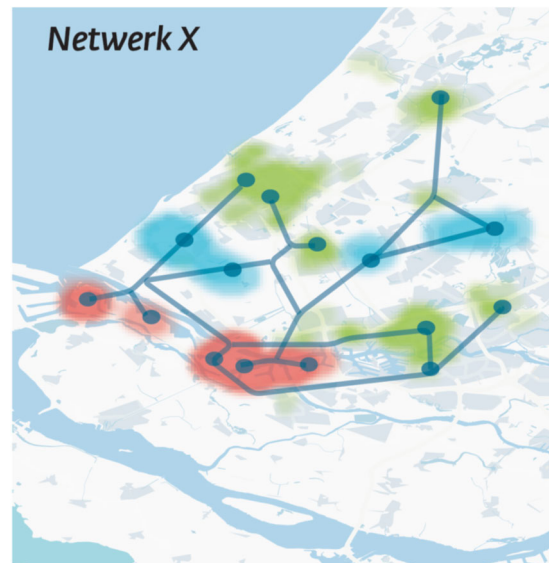
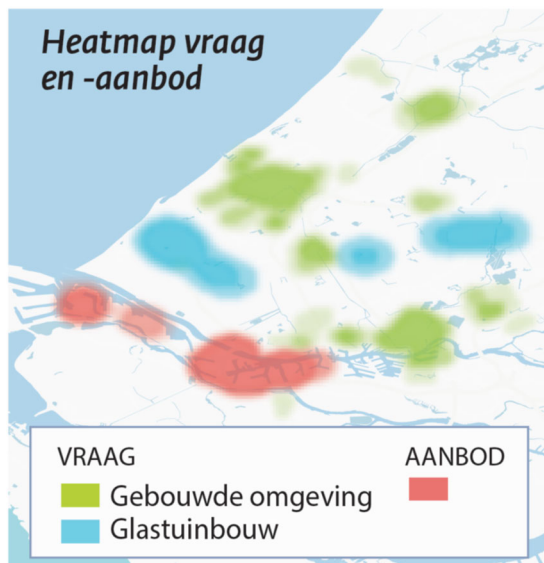
Gitaarsolo: Er zijn niet veel warmtebronnen en deze zijn bovendien kostbaar. Doordat overkoepelende afstemming in de aanleg van infrastructuur ontbreekt kan maar een beperkt deel van dit beperkte potentieel worden benut.

Van verkenning naar Stepping Stones

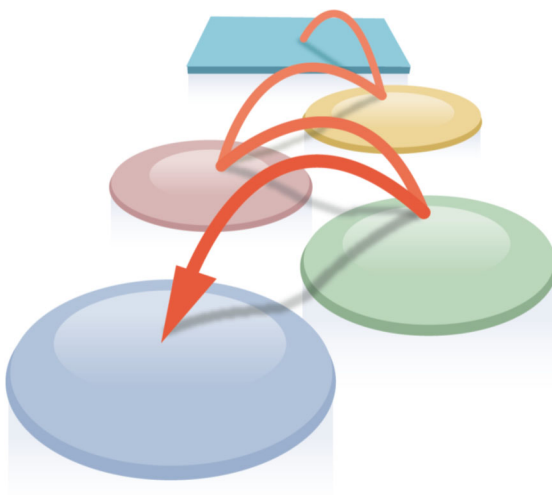
Het Integraal Ontwerp is ontwikkeld in twee fases:

1. Verkennende fase
2. Stepping Stone fase

In de **verkennende fase** is voor ieder scenario de benodigde warmtetransportcapaciteit bepaald op basis van de potentiële behoefte: de capaciteit die nodig is om warmtedistributienetten te voeden in alle buurten waar dit tot lagere nationale kosten leidt dan iedere andere aardgasvrije strategie. Vervolgens is voor ieder toekomstscenario het optimale netwerk bepaald door een optimalisatiealgoritme, dat kon putten uit een uitgebreid raamwerk van mogelijke transportverbindingen.



In de **Stepping Stone fase** zijn uit de resultaten van de verkennende fase een aantal transportleidingen gedestilleerd die in (bijna) alle variaties terugkomen: Stepping Stones. Deze transportleidingen zijn vervolgens verder uitgewerkt en doorgerekend, waarbij is bepaald welke leidingen met voldoende zekerheid over de warmtevraag aangelegd kunnen worden als backbone van een regionaal



warmtetransportnet. Hierbij moeten deze leidingen voldoende zekerheid bieden in hun volloop (beperking van de financiële risico's) maar ook toekomstige groei van het regionale warmtetransportnetwerk zo min mogelijk beperken (voldoende maatschappelijke impact). De leidingtrajecten die uit deze methode zijn gekomen hebben volgens de gehanteerde methode een goede aansluiting op de warmtevraag, een hoge mate van economische haalbaarheid en daarmee een grote kans op een sluitende businesscase.

De Stepping Stones



Voor de gebieden waar bestaande transportleidingen liggen, ligt voor de verduurzaming van de warmtevraag de uitbreiding van de hieraan gekoppelde distributienetten en de ontwikkeling van nieuwe distributienetten het meest voor de hand.

De uitwerking en invulling hiervan kan verder worden vormgegeven in overleg met de eigenaren van de betreffende transportleidingen: Eneco (Leiding over Noord), Uniper (B-driehoekleiding) en Warmtebedrijf Rotterdam (De Nieuwe Warmteweg).

Voor de gebieden die nog niet zijn ontsloten door warmtetransportleidingen komt het Integraal Ontwerp tot de volgende transportleidingen als Stepping Stones:

1. WarmtelinQ



De eerste Stepping Stone is WarmtelinQ. Dit project omvat transportleidingen vanaf de Vondelingenplaat naar Den Haag (WarmtelinQ V-D) met een aftak van Rijswijk naar Leiden (WarmtelinQ R-L) en kan in totaal 248 MW transporteren. Met WarmtelinQ kunnen bestaande warmtenetten (ca. 115 MW) worden verduurzaamd of uitgebreid en nieuwe netten worden aangelegd.

2. Aftakkingen West- en Oostland



Aftakkingen vanuit WarmtelinQ naar Westland (60 MW) en naar Oostland (85 MW). De totale warmtevraagpotentie overstijgt hiermee ruim de totale capaciteit van WarmtelinQ.

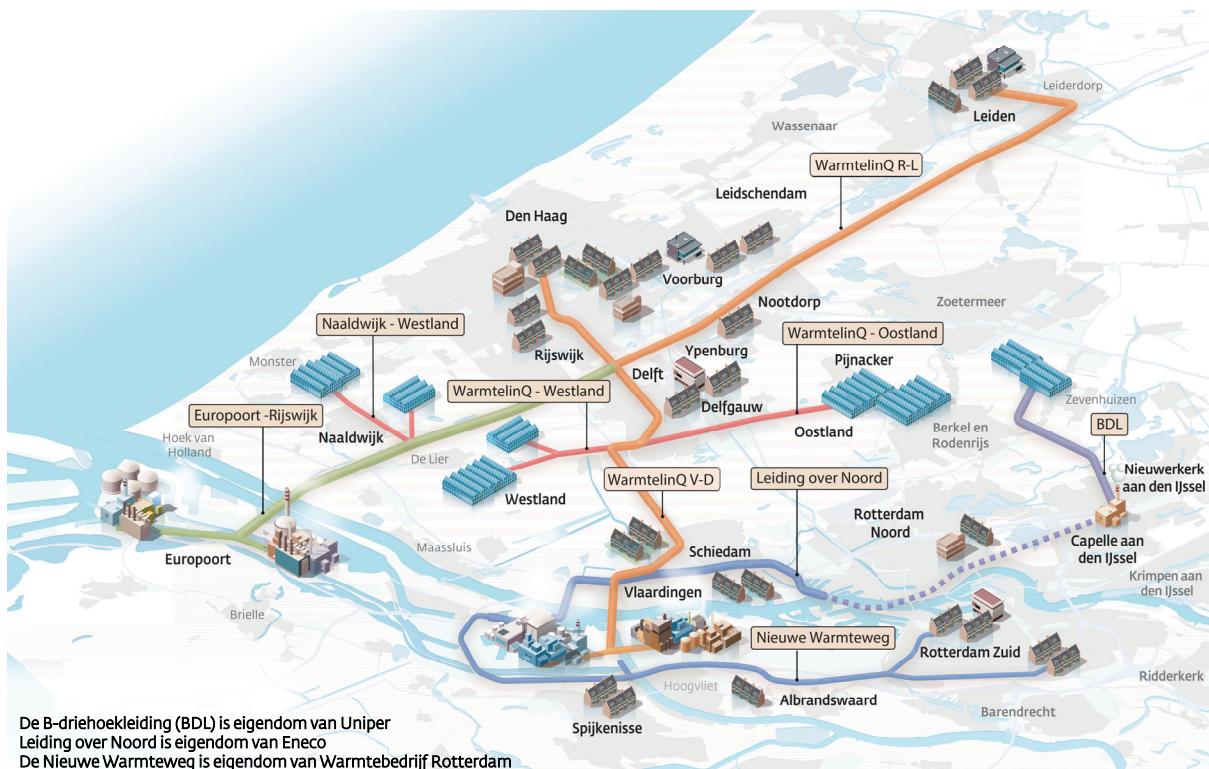
3. Leiding Europoort



Naarmate de leidingen intensiever worden gebruikt zal additioneel vermogen ontsloten moeten worden om aan de vraag te voldoen. Hiervoor wordt een leiding voorgesteld uit het Europoortgebied (324 MW), door het Westland om in Rijswijk (met 248 MW) aan te sluiten op WarmtelinQ. Met de aanleg van een leiding vanuit Europoort kunnen een additionele 240.000 woningen (WEQ's ¹) voorzien worden van warmte (basislast). Bovendien kan hiermee een ander deel van Westland worden aangesloten met een vermogen van 70 MW t.b.v. tuinbouwgebieden.

Overzichtskaart Stepping Stones

De drie Stepping Stones samen zorgen voor een transportnetwerk waarmee bijna de helft van de potentiële warmtevraag in het verzorgingsgebied kan worden bediend, wat gelijk staat aan ca een kwart van de warmtevraag in de gebouwde omgeving in de provincie Zuid-Holland. Daarnaast kan ruim 200 MW aan de glastuinbouw geleverd worden. Dit bedraagt bijna de helft van de opgegeven behoefte aan restwarmte van de glastuinbouw in Westland en Oostland. Met de Stepping Stones kan het regionaal warmtetransport samen met lokale warmtebronnen aan de totale vraag voor de regio voldoen.



¹ WEQ: Woningequivalent; het gemiddeld warmtegebruik per woning t.b.v. ruimte- en tapwaterverwarming

WarmtelinQ als eerste stap

Eén van de doelstellingen van het Integraal Ontwerp is om te beoordelen of WarmtelinQ maatschappelijk gezien een verstandige eerstvolgende stap is voor de ontwikkeling van de backbone. Uit de resultaten volgt dat WarmtelinQ vanuit maatschappelijk perspectief een betaalbare, economisch optimale, no-regret stap is, en daarmee een goede basis vormt voor verdere ontwikkeling van het warmtetransportnetwerk.

Op basis van de analyse is de algemene conclusie dat een regionaal warmtetransport-systeem een doelmatige en efficiënte manier is om het gebruik van aardgas en CO₂-uitstoot van een deel van de gebouwde omgeving in Zuid-Holland te reduceren.

WarmtelinQ heeft een beoogde capaciteit van 248 MW op basis van een 700mm diameter leiding, goed voor de aansluiting van 120.000 woningen. De capaciteit kan – met een aftak naar Oostland e/o Westland – ook voor glastuinbouw worden gebruikt. De resultaten van het Integraal Ontwerp onderschrijven dat de keuze van een DN700-leiding voor (het eerste deel van) WarmtelinQ de maatschappelijk optimale optie is. Dit helpt EZK en PZH bij het beoordelen of de publieke investeringen van voldoende maatschappelijke waarde zijn en Gasunie bij het maken van de investeringsbeslissing.



Cruciale rol voor gemeenten en energieregio's

Naast het ontwerp zelf heeft het project nog een aantal waardevolle inzichten opgeleverd. De grote invloed van de productiekosten van warmte op de potentie van warmtetransport ligt voor de hand. Mogelijk minder vanzelfsprekend is de grote invloed van de andere scenario-factor: De mate waarin de ontwikkeling van distributienetten, warmtebronnen en transportleidingen (bovenregionaal) wordt afgestemd. Deze factor wordt hier wat uitgebreider behandeld, ook omdat dit een factor is die gemeenten en energieregio's in positieve zin kunnen beïnvloeden. Uit de analyse blijkt allereerst dat een korte vollooperperiode zeer gunstig is voor de haalbaarheid van een transportsysteem en de betaalbaarheid van de warmtetransitie. De vollooperperiode kan worden beperkt door:

1. bestaande distributienetten aan te sluiten op een transportsysteem zodra dat beschikbaar is en
2. de ontwikkeling van nieuwe warmtedistributienetten, lokale bronnen en het transportsysteem zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen (programmering)

Voor een goede programmering is intensieve samenwerking essentieel, zowel tussen gemeenten en energieregio's onderling als met andere betrokken (markt)partijen.

Ten tweede komt uit de resultaten naar voren dat het aggregatieniveau waarop kosten en baten van warmtetransport worden gewogen veel invloed heeft op de inzetbaarheid van warmtetransport. Als uitgegaan wordt van een hoog aggregatieniveau kan veel meer warmtetransport ontwikkeld worden en zijn de totale transitiekosten beduidend lager. Het verdient aanbeveling dat gemeenten hier rekening mee houden, ook bij het vaststellen van warmtekavels.

Bij de verdere uitwerking van het integraal ontwerp is ervoor gekozen om niet van de hoogste aggregatieniveaus (groter dan gemeenten) uit te gaan aangezien de verwachting is dat dit in de praktijk niet haalbaar zal zijn.

Handelingsperspectief per gemeente

Op basis van het onderzoek en de voorgestelde Stepping Stones kan voor de meeste gemeenten en/of energieregio's een handelingsperspectief worden gegeven.

Uit de studie komt naar voren dat in de meeste gemeenten een combinatie van warmte uit een transportsysteem en warmte uit lokale bronnen optimaal is voor midden-temperatuur warmtenetten. De verhouding tussen beide typen warmtebron verschilt per gemeente. Om de warmtetransitie optimaal vorm te geven is het nodig om de ontwikkeling van alle onderdelen van de warmteketen (distributienetten, transportsysteem, (lokale) bronnen) goed op elkaar af te stemmen.

In **Vlaarding, Schiedam, Rotterdam Noord, Capelle aan den IJssel en Krimpen aan den IJssel** kunnen nieuwe distributienetten worden ontwikkeld op basis van de Leiding over Noord (LoN) van Eneco. Voor (delen van) Vlaarding en Schiedam is bovendien een aansluiting op WarmtelinQ een optie. De nabijheid van twee transportleidingen zou een relevante factor kunnen zijn bij het vaststellen van warmtekavels. Voor Capelle en Krimpen vormt de capaciteit van de Boszoomleiding mogelijk een beperking, zeker als de RoCa centrale zou wegvallen als bron. Afstemming is nodig tussen publieke en private partijen omtrent de inzet van de LoN als bron voor distributienetten, de toekomst van de RoCa centrale, de lokale bronnen en de hiermee samenhangende vaststelling van warmtekavels.

In **Spijkenisse, Albrandswaard, Rotterdam Zuid en Barendrecht** kunnen nieuwe distributienetten worden ontwikkeld op basis van de Nieuwe Warmteweg (DNWW) van Warmtebedrijf Rotterdam. Op basis van de resultaten worden geen ontwikkelingen op het gebied van warmtetransport verwacht die substantiële impact hebben op deze (deel)gemeenten of gebieden.

Voor **Oostland** is een aansluiting op WarmtelinQ een concrete optie die in de Stepping Stones is opgenomen. Hiermee kan slechts een deel van de totale potentiële behoefte worden gedekt, in Delfgauw en Pijnacker. Naar verwachting is het gebruik van de LoN of de DNWW ten behoeve van Oostland suboptimaal, tenzij hier blijvende onderbenutting wordt verwacht. De noodzaak van aanvullend transport is sterk afhankelijk van de toekomst van de RoCa centrale en de beschikbaarheid van goedkope warmte in het havengebied. Bij het verder verkennen hiervan wordt aangeraden om Waddinxveen, Zoetermeer en Gouda bij het onderzoek te betrekken.

De gemeenten **Delft, Den Haag en Rijswijk** kunnen gebruik maken van WarmtelinQ, traject Vlaardingen – Den Haag. De gemeenten in de Leidse regio kunnen gebruik maken van WarmtelinQ, traject Rijswijk - Leiden. Ook Leidschendam-Voorburg en Wassenaar kunnen onderzoeken of een aansluiting op het traject Rijswijk - Leiden haalbaar is.

Voor **Westland** is een aansluiting op WarmtelinQ (omgeving de Lier) een concrete optie die in de Stepping Stones is opgenomen. Op langere termijn zou het westelijk deel van Westland gevoed kunnen worden met de in de Stepping Stones opgenomen leiding vanuit de Europoort.

Voor **Goeree-Overflakkee, Hoeksche Waard, Alphen aan de Rijn en Gorinchem** lijkt warmtetransport geen voor de hand liggende oplossing. Voor deze gemeenten kan het beste worden ingezet op de ontwikkeling van lokale bronnen.

Tot slot is er een aantal vraagclusters en transporttrajecten waarvoor op dit moment geen robuuste uitspraak kan worden gedaan over de haalbaarheid van een aansluiting op een warmtetransportsysteem omdat de onzekerheden nog te groot zijn. In de hierna volgende tekst worden deze gebieden benoemd.

In **Waddinxveen, Zoetermeer en omgeving** is een grote potentiële vraag, waarin de glastuinbouw een belangrijke factor is. Naast eerdergenoemde onzekerheden speelt de toekomst van de RoCa-centrale en de afwijkende kosten-baten afweging voor de glastuinbouw een rol. Afhankelijk van de gevraagde vermogens zou een extra aanvoerleiding vanuit het havengebied nodig zijn. Bij voldoende schaalgrootte zou dit ook voor **Gouda** relevant kunnen zijn.

De afstand tussen bestaande transportleidingen en **Ridderkerk en omgeving** is relatief groot vergeleken met de potentiële warmtevraag in dit gebied. Ridderkerk lijkt afhankelijk te zijn van bovenregionale ontwikkelingen (bijvoorbeeld een toekomstige connectie met Drechtsteden) om gebruik te kunnen maken van warmte. Het ligt echter niet voor de hand dat dergelijke ontwikkelingen op korte termijn concreet worden.

De potentiële vraag in **Maassluis** is geschikt om te voorzien vanuit een nabijgelegen transportnetwerk. Alleen indien een doorvoerleiding Maassluis passeert wordt dit waarschijnlijk haalbaar.

Transport van warmte vanuit Rotterdam-Zuid naar de westelijke gemeenten in de Drechtsteden **Hendrik-Ido-Ambacht** en **Zwijndrecht** kan worden

onderzocht als er meer zekerheid is over de omgeving Barendrecht en Ridderkerk, onafhankelijk van de Stepping Stones. Op termijn kan als optimalisatie ook een verbinding met het industriegebied van Moerdijk overwogen worden.

Tot slot

Het Integraal Ontwerp biedt gemeenten en andere betrokken stakeholders de mogelijkheden van regionaal warmtetransport volgens de meest actuele inzichten. Zodra de warmtetransitie zich verder ontvouwt en er meer zekerheid is over vraag en aanbod, kunnen de nieuwste inzichten worden verwerkt in een nieuwe versie van dit Integraal Ontwerp. De samenwerkende partijen kunnen dan – met een nieuw Integraal Ontwerp – nieuwe vervolgstappen zetten om de warmtetransitie dichterbij brengen.

 Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (WEQ x 1000)		Potentie transportnetwerk	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
Leiding over Noord (Eneco)	388	358	159	248
Vlaardingen LoN	42	36	9	11
Schiedam	46	42	11	15
Rotterdam Noord	252	241	128	204
Capelle a/d IJssel	37	32	11	17
Nieuwerkerk a/d IJssel e.o.	11	7	0	1
Nieuwe Warmteweg (WBR)	168	126	83	106
Rotterdam Zuid	143	118	79	98
Barendrecht	25	8	4	8
WarmtelinQ V-D	463	403	135	351
Westland (gtb, De Lier e.o.)				60
Oostland (gtb)				75
Delft	71	63	34	54
Den Haag (excl. Ypenburg)	304	274	81	135
Rijswijk	46	30	14	20
Vlaardingen	42	36	6	7
WarmtelinQ R-L	289	190	75	112
Ypenburg en Pijnacker-Nootdorp	30	17	14	22
Leidschendam e.o.	43	32	0	0
Leiden e.o.	216	141	61	90
Europaort – Rijswijk				70
Westland (gtb, Naaldwijk e.o.)				70
Totaal	1308	1077	452	887
Waarvan nieuwe transportleidingen	752	593	210	533

De B-driehoekleiding (Uniper) is niet in dit overzicht opgenomen. Bepaling van actueel gebruik en voor groei beschikbare ruimte was o.b.v. publiek beschikbare data niet mogelijk.

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse

Inhoudsopgave

1	Inleiding	12
1.1	Doel van dit document	13
1.2	Totstandkoming van dit document	13
1.3	Beperkingen aan het gebruik van deze studie	14
1.4	Leeswijzer	15
2	Warmtevoorziening	16
2.1	Criteria keuze aardgasvrije alternatieven	16
2.2	Verwarmen van de gebouwde omgeving	17
2.3	Individuele warmtevoorziening	19
2.4	Collectieve warmtevoorziening.....	20
3	De optimale schaal van warmtetransport.....	27
3.1	Haalbaarheidsfactoren bij warmtebronnen.....	28
3.2	Haalbaarheidsfactoren bij afnemers.....	29
3.3	Haalbaarheidsprincipes voor het transportsysteem	35
3.4	Haalbaarheidsprincipes voor de warmteketen	37
4	Totstandkoming van het Integraal Ontwerp.....	39
4.1	Samenwerking met RES-regio's en overige stakeholders	39
4.2	Werkwijze.....	40
4.3	Uitgangspunten	44
5	Resultaten.....	47
5.1	Vraag.....	47
5.2	Aanbod	49
5.3	Transportinfrastructuur.....	50
5.4	Sensitiviteitsanalyses	66
5.5	WarmtelinQ in relatie tot het economisch optimum	68
6	Conclusie	69
6.1	Toekomstperspectief	69
6.2	Is WarmtelinQ een verstandige stap?.....	71
7	Vervolg van het integraal ontwerp	73
7.1	Doelen van het integraal ontwerp vragen om updates	73
7.2	Verwachte wettelijke taak voor de warmtetransportnetbeheerder	73
7.3	Samenwerking van de regio continueren en verstevigen.....	74
Bijlagen		

1 Inleiding

Het klimaatakkoord stelt heldere doelen over de verduurzaming van de gebouwde omgeving en de reductie van Groninger gas. Per 2030 moeten 1,5 miljoen huizen een aardgasvrije warmtevoorziening hebben en tegen 2050 moeten alle 7 miljoen huizen en 1 miljoen gebouwen in Nederland duurzaam verwarmd worden. Deze doelen stellen Nederland voor een enorme meerjarige opgave. De verduurzaming van de gebouwde omgeving zal niet met één type warmtevoorziening worden gerealiseerd. In de toekomst zal er een mix van duurzame bronnen in onze warmtebehoefte voorzien, zoals aardwarmte, zon en wind, industriële processen en energie uit omgevingslucht of oppervlaktewater. De energie uit deze bronnen wordt in de vorm van een energiedrager (elektriciteit, brandbaar gas, heet water) naar de woningen gebracht, waarbij gebruik wordt gemaakt van infrastructuur: netten voor elektriciteit, gas, warmte.

Een van de belangrijkste instrumenten in deze warmtetransitie zijn collectieve warmtenetten. In gebieden met dichte bebouwing en beschikbaarheid over regionale bronnen, vormen collectieve warmtenetten een kostenefficiënt middel om de warmtetransitie vorm te geven. De provincie Zuid-Holland is een regio die zeer geschikt² is voor collectieve warmtenetten; het beschikt over dichte bebouwing en veel potentie van zowel lokale als regionale duurzame bronnen. Een van die bronnen is de industrie in de Rotterdamse Haven³. Grote hoeveelheden warmte gaan daar momenteel onbenut de lucht of het water in. Deze warmte kan gebruikt worden in de gebouwde omgeving, maar moet daarvoor van de industrie naar de dichtbebouwde gebieden gebracht worden d.m.v. een warmtetransportnet. Een van de eerste stappen naar een warmtetransportnet voor Zuid-Holland is de realisatie van WarmtelinQ, een transportleiding die warmte uit de Rotterdamse haven transporteert naar het gebied van Vlaardingen tot Den Haag, met mogelijke aftakkingen naar Leiden en glastuinbouwclusters in het Westland en Oostland.

Een onderdeel van de opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat aan Gasunie voor de ontwikkeling en realisatie van een warmtetransportsysteem Zuid-Holland is het maken van een integraal ontwerp voor dit warmtetransportsysteem. Dit ontwerp moet zijn afgestemd op de verwachte ontwikkeling van de warmtevraag in de gebouwde omgeving/glastuinbouw en warmtebronnen. Meer details over de opdrachtbeschrijving staan in de bijlage.

² Kamerbrief over ontwikkeling warmtetransportnet Zuid-Holland, 09-2019, Min v EZK

³ De officiële definitie van restwarmte (NEN7125:2017, definitie 3.26) stelt dat er geen extra fossiele energie verbruikt mag worden om deze warmte uit te koppelen. We noemen restwarmte duurzaam in dit verslag, zonder de intentie om de duurzaamheidskwalificatie van restwarmte ter discussie te stellen.

1.1 Doel van dit document

Het integraal ontwerp dient drie hoofddoelen (zie bijlage voor meer context):

- Het dient als toekomstperspectief voor de wijze waarop een warmtetransportsysteem kan bijdragen aan de energietransitie in Zuid-Holland;
- Het dient als maatschappelijke toets op de aanleg van WarmtelinQ als eerste stap in de aanleg van dit warmtetransportsysteem in Zuid-Holland;
- Het dient als input voor de Transitievisies Warmte en de Regionale Energie Strategieën, die momenteel worden opgesteld.

Het voorliggende document dient ter verslaglegging van het project en presentatie van de resultaten.

1.2 Totstandkoming van dit document

Om te bepalen welke hoofdinfrastructuur voor warmtetransport maatschappelijk gewenst en kosteneffectief is, is samengewerkt met de werkgroepen van de RES regio's en gemeenten in Zuid-Holland. Hun input is samen met data uit de PBL Startanalyse 2020 gebruikt om toekomstscenario's door te rekenen voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in Zuid-Holland middels een warmtetransportsysteem.

1.2.1 Beleid rond Warmtetransitie

In lijn met het Parijs-akkoord en nationale duurzaamheidsdoelstellingen zijn er in Nederland afspraken gemaakt over de verduurzaming van de warmtevoorziening van de bebouwde omgeving.

De uitvoering van deze internationale en landelijke afspraken naar een aardgasvrije bebouwde omgeving zijn belegd bij de gemeenten en bij de hiervoor gedefinieerde energieregio's. Binnen de gemeenten worden deze afspraken uitwerkt in Transitievisies Warmte (TVW's). Op regionaal niveau wordt, als deel van de Regionale Energie Strategieën (RES'en), specifiek op het onderwerp warmte een Regionale Structuur Warmte (RSW) opgesteld. Binnen deze documenten is een van de eerste milestones tot 2030 het aardgasvrij maken van 1,5 miljoen gebouwen en het grootschalig isoleren van de gebouwen (*p.27 Klimaatakkoord*). Voor meer informatie over deze beleidsprocessen, zie de bijlage.

Tijdens het schrijven van dit document zijn de concept-RES'en van de RES-regio's gepubliceerd en zijn de trajecten voor het vaststellen van de finale RES'en, RSW's en TVW's van de gemeenten in volle gang. Tijdens het opstellen van dit document wordt afgestemd en overlegd met de Provincie, RES-groepen en gemeenten, zodat het in de behoefte en verwachtingen van deze partijen voorziet. De bevindingen in dit document kunnen worden meegenomen in de RES'en, voornamelijk in het onderdeel RSW, en de TVW's van de gemeenten, betreffende de rol van bovenregionale warmte en de waarde van bovenregionale samenwerking.

1.2.2 Belangrijkste uitgangspunten en randvoorwaarden

Er liggen een aantal belangrijke uitgangspunten ten grondslag aan de huidige studie. Deze worden in detail besproken in paragraaf 4.3 en de bijlage. De zes meest fundamentele uitgangspunten zijn:

1. Het warmtetransportnet zal worden gebruikt als basislastvoorziening waarmee MT-warmtenetten worden gevoed.
2. Bestaande transportleidingen staan volledig ter beschikking van de gehele warmtemarkt. Kosten van deze leidingen worden meegenomen voor zover de leiding daadwerkelijk wordt gebruikt.
3. De potentie van warmtetransport in Zuid-Holland in 2050 wordt bepaald voor 4 scenario's, gebaseerd op 2 factoren: de beschikbaarheid van goedkope (rest)warmte en de mate waarin ontwikkeling van distributienetten, lokale bronnen en transportsysteem op elkaar worden afgestemd.
4. De vraag naar warmte uit een transportnet wordt bepaald op basis van de laagste nationale kosten voor aardgasvrij verwarmen op basis van de startanalyse 2020 van PBL⁴, gecombineerd met input uit de gemeenten en RES werkgroepen.
5. Geothermiebronnen direct leveren aan distributienetten, net als kleine lokale restwarmtebronnen.
6. Bij het beoordelen van de haalbaarheid worden kosten en baten berekend per buurt, met optimalisatie⁵ op het niveau van – afhankelijk van het scenario – wijk of gemeente.

Hierbij wordt met *MT-warmtenetten* bedoeld op warmtedistributienetten waarin de aanvoer- en retourtemperatuur bij de eindgebruiker resp. 70°C en 40°C bedraagt. Het gebruik als *basislastvoorziening* betekent dat:

- a) Het transportsysteem *basislastvermogen* levert: 30% van het maximaal benodigde vermogen⁶.
- b) Van het totaal gebruikte volume aan warmte wordt 80% door het transportsysteem aangevoerd.
- c) Bronnen voor piek en back-up vermogen deel uit maken van de distributienetten, evenals evt. buffers.

1.3 Beperkingen aan het gebruik van deze studie

- Deze studie is geen business case. Besluiten over bijv. investeringen in een transportleiding dienen niet o.b.v. deze studie alleen te worden genomen.
- Deze studie is geen blauwdruk of kristallen bol. Wanneer in deze studie een transportleiding naar een bepaald gebied naar voren komt als kansrijk, dan zegt dat niet dat deze leiding er ook moet of zal komen. Tussen deze studie en een investeringsbeslissing liggen meerdere stappen.

⁴ Dit betekent dat we geen rekening houden met subsidies, business cases van ketenpartijen, dat we uitgaan van verwarmen tot maximaal 70°C, en dat we alleen vergelijken met aardgasvrije alternatieven.

⁵ Zie ook de uitleg bij *voordeelden* in 3.2.

⁶ Maximaal benodigde vermogen: langjarig gemiddelde van het maximale 24-uurs gemiddelde vermogen.

- Deze studie kan op geen enkele manier worden gebruikt voor het doen van uitspraken over kosten, baten, winst of verlies van bestaande warmtenetten, warmtebronnen, leidingen of hun eigenaar.

1.4 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk bestaat deze eindrapportage uit nog vijf hoofdstukken en een aantal bijlages. Hieronder wordt de inhoud van hoofdstukken 2 t/m 6 kort toegelicht.

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de techno-economische kadering van aardgasvrije warmtevoorzieningen, zoals deze binnen het Nederlands beleid vorm begint te krijgen. Deze kadering dient als achtergrond om de rol en functie van een integraal warmtetransportsysteem beter te doorgronden. Het hoofdstuk is aan te raden voor lezers die nog wat minder bekend zijn met de mogelijke strategieën voor een aardgasvrije warmtevoorziening.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de haalbaarheidsprincipes voor warmtetransport als een middel en onderdeel van de warmtetransitie van Zuid-Holland als totaal. Het doel is de lezer mee te nemen vanuit het perspectief van een Integraal Ontwerp Warmtetransport Zuid-Holland en van daaruit een aantal logische kaders te stellen en dynamieken te schetsen die de haalbaarheid van zo'n transportsysteem bepalen.

Hoofdstuk 4 beschrijft de methodiek voor de totstandkoming van de resultaten van het Integraal Ontwerp. Dit omvat de samenwerking met de werkgroepen van de RES regio's en gemeenten in Zuid-Holland, de gekozen scenario-methodiek, een beschrijving van de processtappen in het iteratief ontwerp van de hoofdinfrastructuur, en de belangrijke uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de werkwijze.

Hoofdstuk 5 behandelt de resultaten van het Integraal Ontwerp in vier delen. De bestaande situatie van warmtenetten in Zuid-Holland wordt beschreven, inclusief de vraag en aanbod in deze plaatsen. Hierna worden de eerste stappen richting een hoofdtransportnet beschreven. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal sensitiviteitsanalyses.

Hoofdstuk 6 blikt terug op de twee hoofdvragen voor het Integraal Ontwerp die als opdracht door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat zijn opgegeven. Op basis van de resultaten kan een conclusie op beide hoofdvragen worden gegeven. In dit concluderende hoofdstuk wordt tevens besproken hoe het vervolg van het integraal ontwerp eruit ziet.

2 Warmtevoorziening

De warmtetransitie is een complex vraagstuk. Technische, economische en sociale aspecten worden meegenomen in de transitie naar een aardgasvrije omgeving. Het is van belang om de onderlinge verbanden binnen en tussen deze aspecten te begrijpen om tot een gedegen keuze van oplossingsrichtingen te komen.

Aan de basis van de warmtetransitie in Nederland staat de keuze om over te gaan op aardgasvrije warmtevoorzieningen. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de techno-economische kadering van aardgasvrije warmtevoorzieningen, zoals deze binnen het Nederlands beleid vorm begint te krijgen. Deze kadering dient als achtergrond om de rol en functie van een warmtetransportsysteem beter te doorgronden.

Binnen het speelveld van aardgasvrije technologieën bevindt zich een breed scala aan opties. In paragraaf 2.1 worden algemene criteria beschreven voor de keuze van (een mix van) deze opties. In paragraaf 2.2 worden verschillende opties en technologieën voor duurzame verwarming van de gebouwde omgeving beschreven, alsmede een overzicht van de warmteketen. Tot slot worden individuele en collectieve warmteoplossingen verkend in paragrafen 2.3 en 2.4, waarbij ook wordt ingegaan op de rol van een warmtetransportsysteem binnen het warmtesysteem.

2.1 Criteria keuze aardgasvrije alternatieven

Bij de keuze voor aardgasvrije alternatieven spelen verschillende criteria een hoofdrol, denk aan de *betaalbaarheid*, *duurzaamheid*, *betrouwbaarheid* en het *tempo* van schaalbaarheid van het alternatief. Het Expertise Centrum Warmte (ECW) helpt gemeenten met het opstellen van een transitievisie warmte. De mogelijk te hanteren criteria met uitgebreide omschrijving staan o.a. in De Leidraad⁷.

1. *Betalbaarheid*: Wat zijn de kosten van de verschillende alternatieven? In deze studie is uitsluitend gekeken naar *nationale kosten*, maar ook eindgebruikerskosten zijn van belang.
2. *Duurzaamheid*: Wat is de impact op het klimaat en het milieu van de gekozen oplossingen? Binnen dit criteria wordt bijvoorbeeld gekeken naar CO₂ uitstoot maar ook naar effect op luchtkwaliteit
3. *Betrouwbaarheid*: Kunnen de oplossingen op een betrouwbare manier de consument van warmte of koude voorzien?
4. *Tempo*: Kan de oplossingsrichting op voldoende tempo opgeschaald worden om binnen de legale kaders en ambities van de betrokken partijen te vallen?

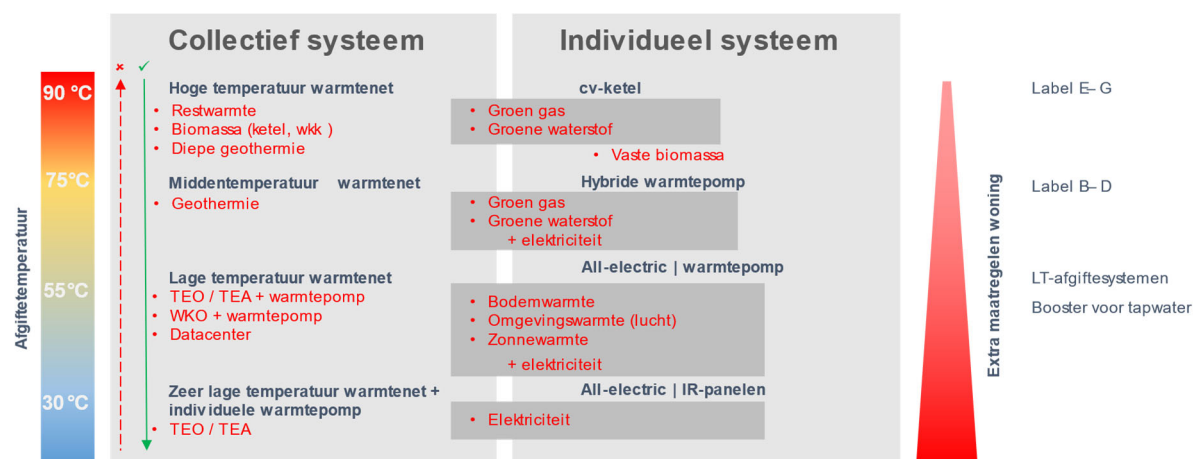
De dynamiek van de warmtetransitie is moeilijk te vatten en is sterk regionaal en gebiedsafhankelijk. De keuze voor technische oplossingen is vaak gebonden aan de gevraagde kwaliteit (temperatuur) van geleverde warmte, maar óók afhankelijk van het aanbod en potentie van lokale bronnen. Bij de afweging worden bovenstaande criteria gehanteerd.

⁷ De Leidraad bestaat uit de Startanalyse en de handreiking voor lokale analyse en wordt constant geüpdatet. De laatste versie is hier te vinden: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/nieuws/1759914.aspx>

2.2 Verwarmen van de gebouwde omgeving

Voor het duurzaam verwarmen en koelen van gebouwen binnen de gebouwde omgeving bestaan een grote variatie aan oplossingen, die in verschillende stadia van ontwikkeling zijn. Aannemelijke strategieën voor een aardgasvrije omgeving worden door het PBL berekend in de Startanalyse⁸. In tabel 1 van het achtergrondrapport Startanalyse (PBL, 2020)⁹ staat een lijst met meegenomen strategieën, die het startpunt zullen vormen voor de analyse in hoofdstuk 4.

Binnen deze oplossingen kan een onderscheid gemaakt worden tussen collectieve systemen (i.e. warmtenetten) en individuele systemen. Collectieve systemen maken gebruik van netten waarin water centraal wordt verwarmd. Het water vervoert deze warmte via leidingen naar aangesloten gebouwen. Bij individuele systemen wordt via een elektrische of anders meestal gasvormige¹⁰ energiedrager energie geleverd aan een huishouden. Deze energie wordt binnen dit huishouden omgezet in warmte (en eventueel koude), traditioneel via een (HR) cv-ketel, tegenwoordig vaak met warmtepompen of boilers. In onderstaande figuur is ook een relatie met de strategieën en de afgifte temperatuur weergegeven, evenals de relatie met benodigde isolatie bij bestaande gebouwen om hiermee voldoende verwarmd te kunnen worden.



Figuur 1: Een overzicht van de belangrijkste opties voor aardgasvrij verwarmen.

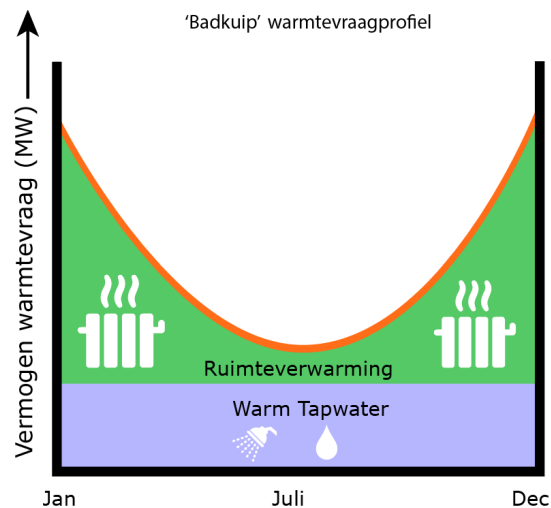
2.2.1 Warmtevraag

De jaarlijkse vraag naar warmte in een gebouw is afhankelijk van het type gebruik, het gedrag van gebruikers en de mate van isolatie van het gebouw. De vraag laat zich onderscheiden in warm tapwater of ruimteverwarming. De totale warmtevraag heeft een badkuipvorm; in de wintermaanden is er een relatief hoge piekvraag en in de zomer een lagere vraag, uitsluitend voor warm tapwater.

⁸ <https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniekfactsheets+energiebronnen/default.aspx>

⁹ https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-startanalyse-aardgasvrije-buurtten-achtergrondrapport_4049.pdf

¹⁰ Hoewel er ook individuele oplossingen op basis van bio-olie of houtpellets bestaan worden deze beperkt toegepast in Nederland, en lijken deze ook in de toekomst geen grote rol te gaan spelen in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in Nederland.



Figuur 2: Jaarlijkse warmtevraag voor huizen.

Utiliteitsgebouwen (zoals kantoren) hebben vaak een lagere warm tapwatervraag dan huizen en voor de glastuinbouw heeft de jaarlijkse warmtevraag een constanter profiel, met een hogere basislast. De vorm van deze *badkuip* bepaalt dus mede welke type warmtebron hiervoor de beste optie is.

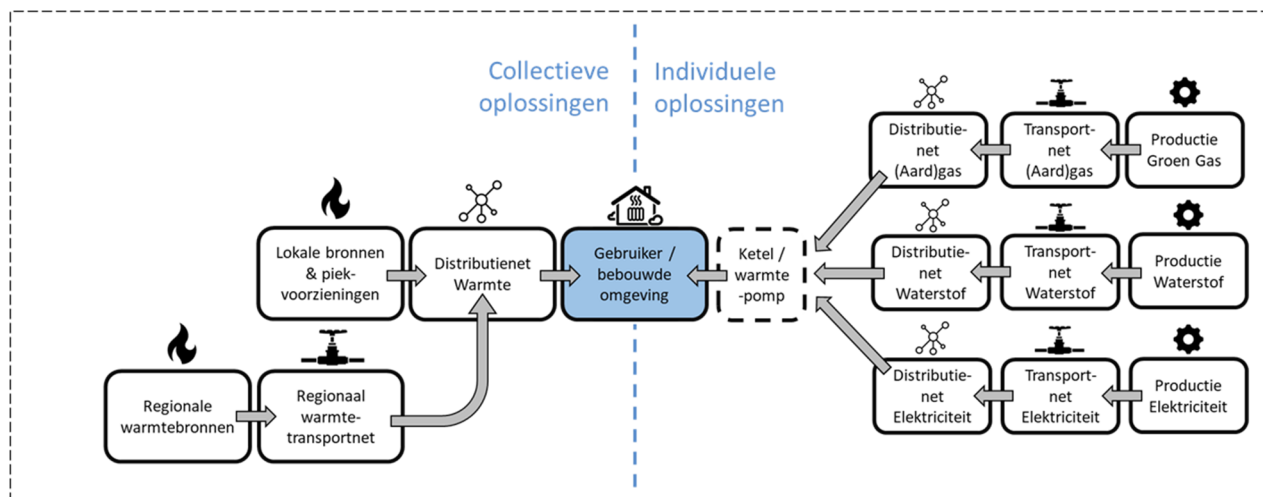
2.2.2 Energieketen

Energiebronnen worden via transport- en distributiesystemen naar gebouwen vervoerd. Een beschouwing van deze energiebronnen aan de hand van deze energieketen, van opwek/productie tot levering, kan helpen de rollen, mogelijkheden en uitdagingen van verschillende energiebronnen inzichtelijk te maken.

De energieketen kan worden opgedeeld in de volgende stappen, die weergegeven zijn in onderstaand figuur:

1. Productie/opwek: In collectieve systemen is dit het punt waarop het water van het warmtenet wordt verwarmd (= opwek van warmte), in individuele systemen is dit het punt waar de energiedrager wordt geproduceerd (= productie van groen gas, waterstof of elektriciteit).
2. Transport: Regionaal, nationale of internationale vervoer van energiedragers tot het punt waar deze wordt overgedragen aan een lokaal distributienet.
3. Distributie: De energiedrager wordt binnen een gemeente, wijk of buurt via een fijnmazig distributienet verder vervoerd naar de eindgebruikers.
4. Gebruiker: De energie wordt uiteindelijk gebruikt door een eindgebruiker. In collectieve systemen neemt deze gebruiker warmte af van het water van een distributiesysteem, in individuele systemen neemt de gebruiker een energiedrager af die omgezet wordt omzet in warmte of koude.

In onderstaande figuur is een visualisatie gegeven van hoe de drie meest prominente individuele systemen (paragraaf 2.3) en collectieve systemen (paragraaf 2.4) met deze ketens weergegeven kunnen worden.

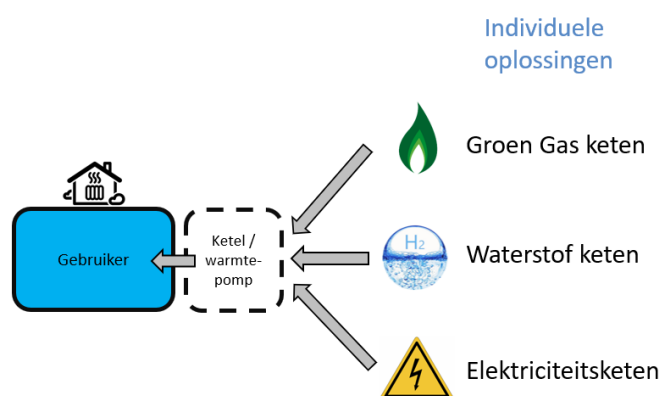


Figuur 3: Warmteketens voor collectieve en individuele oplossingen.

Lokale en bovenregionale collectieve oplossingen kunnen elkaar aanvullen. Zo kan er energie worden ingevoerd uit lokale maar ook uit regionale bronnen. De temperaturen van beide systemen moeten wel aansluiten op elkaar, lage temperatuurbronnen kunnen immers zonder temperatuursprong niet ingevoerd worden op hoge temperatuurnetten. Bronnen hebben op hun beurt vaak weer een aansluiting op het elektriciteits- of gasnetwerk.

2.3 Individuele warmtevoorziening

Warmtevoorziening op gebouwniveau zijn nu voornamelijk gebaseerd op gasvormige energiedragers zoals aardgas, biogas, waterstof en op elektriciteit zoals de (hybride) warmtepomp. Deze hebben allemaal hun achterliggende keten. Zo moet er bijvoorbeeld bij waterstof nagedacht worden over de productie, (internationaal) transport en de uiteindelijke omzetting naar warmte in gebouwen. De gebouwgebonden oplossingen zijn individueel van aard, echter is de benodigde infrastructuur, zoals een (internationaal) elektriciteitsnet of waterstofnet, collectief.



Figuur 4: Ketens van individuele oplossingen.

In de meeste huizen in Nederland staat een cv-ketel gestookt op aardgas. Na het afbouwen van de aardgaswinning in Groningen zullen kleine velden of internationale markten de bron van aardgas zijn.

Waterstofgas als energiedrager voor verwarming is nog in ontwikkeling en de verwachting is dat deze vorm van verwarmen voorlopig niet op brede schaal zal

worden toegepast^{11,12}. Een aanpassing van het aardgasnet zal nodig zijn, ook zal dan een geheel gebied moeten overstappen op waterstof.

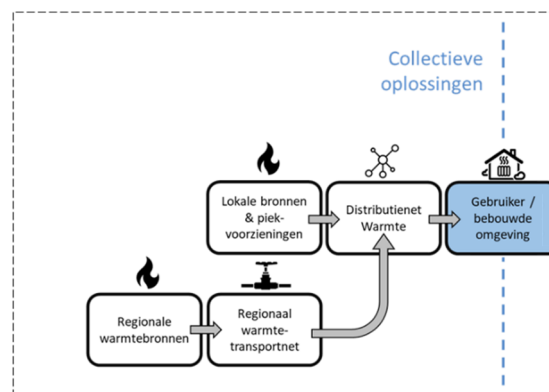
Groen gas als bron voor verwarming is bezig met een opmars. Nu is het nog beperkt beschikbaar, maar dit zal in de toekomst breder beschikbaar worden¹³.

Warmtevoorzieningen gebaseerd op elektriciteit zijn voornamelijk warmtepompen die gebruik maken van omgevingswarmte. Warmtepompen leveren vaak relatief lage temperaturen t.o.v. gasgestookte ketels ($<65^{\circ}\text{C}$). De binneninstallatie voor warmteafgifte moet daarom ook aangepast worden, eveneens als isolatie voor bestaande bouw. Er zijn wel ontwikkelingen op het gebied van warmtepompen die de afgiftetemperatuur van een cv-ketel benaderen, waardoor minder eisen hoeven te worden gesteld aan de afgiftesystemen in gebouwen. Dit gaat wel ten koste van de systeemefficiëntie¹⁴.

Een hybride cv-ketel ofwel hybride warmtepomp is een systeem dat bestaat uit een (meestal) lucht/waterwarmtepomp en een HR cv-ketel, waar de warmtepomp het grootste gedeelte van de warmtevraag voor zijn rekening neemt. Rendement verhogende opties zijn warmteterugwinning of het gebruik van warmte-koude opslagsystemen.

2.4 Collectieve warmtevoorziening

Warmtevraag kan ook collectief worden voorzien door warmtenetten. Een warmtenet is onderdeel van een totaal energiesysteem voor de verwarming van de omgeving. Warmtenetten bestaan uit bronnen, warmteoverdrachtstations (WOS'en), een distributienet in de wijken, tot aan warmte afleversets in woningen, eventueel met individuele systemen voor na-verwarmen. Soms wordt er gebruik gemaakt van een 'backbone', een transportnet met een grotere capaciteit voor warmtetransport over langere afstanden. Hieronder wordt een schematische weergave van een warmteketen weergegeven van een systeem inclusief een backbone. In de alinea's hierna wordt hier dieper op ingegaan.



Figuur 5: Schematische weergave van collectieve warmtenetten.

¹¹ <https://www.pbl.nl/publicaties/waterstof-voor-de-gebouwde-omgeving-operationalisering-in-de-startanalyse-2020>

¹² <https://www.stedin.net/-/media/project/online/files/duurzaamheid-en-innovatie/waterstof-workingpaper.pdf>

¹³ [https://www.gasunie.nl/expertise/aardgas/energiemix-2050/\\$3170/\\$3171](https://www.gasunie.nl/expertise/aardgas/energiemix-2050/$3170/$3171)

¹⁴

<https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniekfactsheets+gebouwmaatregelen/elektrische+warmtepomp/default.aspx>

2.4.1 Warmtenet typologie

Warmtenetten zijn technisch te categoriseren op temperatuurniveau en schaal. Huidige warmtenetten zijn veelal op midden (50-70 °C) en hoge temperatuur (70-90 °C). Er zijn ook voorbeelden van lage temperatuur warmtenetten (30-50° C) zoals Mijnwater in Heerlen of zeer lagetemperatuur warmtenetten (10-30° C) zoals in Greenstart Amstelveen. De schaal van deze netten kan ook verschillen; van buurtnetten tot aan warmtenetten op regionaal niveau.

Lage temperatuur warmtenetten stellen hogere eisen aan de isolatie en gebouwgebonden installaties van de woning, wat in het geval van na-isolatie tot extra kosten leiden.

Tabel 1: Gebouwgebonden installaties per temperatuurregime (HT,MT,LT)

Midden en hogetemperatuur warmtenetten	Lagetemperatuur warmtenetten	Zeer lagetemperatuur warmtenetten
• Warmte-afleverset • HT-radiatoren	• Warmte-afleverset • LT-radiatoren • Booster warmtepompen voor warm tapwater	• Warmte-afleverset • LT-radiatoren • Combi warmtepompen voor warm tapwater en ruimteverwarming

2.4.2 Bronnen

Warmtenetten worden gevoed met warmte uit bronnen. De karakteristieken van de bron bepalen op welke manier deze ingezet zal worden in het warmtenet: voor basislast, middenlast of pieklast. Deze begrippen worden verderop in dit gedeelte verder benoemd. Bepalende karakteristieken zijn kwaliteit (duurzaamheid, temperatuur), beschikbaarheid, kostenstructuur en eventueel subsidies.

Er zijn bronnen waarvoor warmte het enige product is, zoals een aardwarmtebron of een houtketel. Warmte kan ook als bijproduct vrijkomen bij chemische processen of de productie van elektriciteit uit afval of (aard)gas. Productie van warmte i.c.m. elektriciteit wordt aangeduid als *warmtekrachtkoppeling* (wkk). Dit concept wordt toegepast in installaties o.b.v. een gasmotor (vaak kort maar niet erg specifiek aangeduid als wkk-installatie), in (aardgas)gestookte elektriciteitscentrales (meestal aangeduid als WKC, warmtekrachtcentrale, of STEG, Stoom(turbine) en Gas(turbine)) of in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's).

Niet alle bronnen die warmte maken als bijproduct worden op dezelfde manier ingezet. Bij een chemisch proces is het primaire product (bijvoorbeeld grondstoffen) veelal leidend, waarmee de vrijkomende warmte een zuiver bijproduct is (restwarmte). De vraag naar warmte speelt dan geen enkele rol bij het bepalen van de te maken hoeveelheid primaire product en het gebruik van de warmte gaat niet ten koste van andere producten.

Bij warmtekracht-koppeling is dit meestal anders. De vraag naar warmte is over het algemeen wel relevant bij het bepalen hoeveel elektriciteit wordt geproduceerd en wanneer. Bij installaties met een stoomturbine (AVI's en WKC's¹⁵) kan bovendien de verhouding tussen de hoeveelheden warmte en

¹⁵ Bij wkk-installaties o.b.v. een gasmotor is deze verhouding nagenoeg vast

elektriciteit – binnen zekere grenzen – gekozen worden. Dit meerdere gebruik van warmte gaat dan gepaard met een lagere productie van elektriciteit. Deze elektriciteitsderving werkt door in de kosten en wordt ook meegerekend in de energieprestatie en duurzaamheid van het warmtenet¹⁶. De inzet wordt binnen de geldende duurzaamheidseisen bepaald o.b.v. optimalisatie van kosten en inkomsten, waarbij afhankelijk van de marktomstandigheden maximale warmteproductie of maximale elektriciteitsproductie de voorkeur heeft.

In de toekomst zal een deel van de huidige bronnen mogelijk wegvallen, door ouderdom, veranderingen in de voor de betreffende bron relevante markten (bijvoorbeeld de elektriciteitsmarkt) of door wet- en regelgeving. Tegelijkertijd is niet iedere verandering meteen het einde van een warmtebron. Zelfs als voor een aardgasgestookte STEG de slooptdatum al bekend is hoeft dat niet te betekenen dat er geen nieuwe warmtebron voor terugkomt, bijvoorbeeld in de vorm van een elektrolyser voor de productie van waterstof. Op het niveau van individuele installaties is het daardoor lastig om met zekerheid te stellen dat op de locatie van die specifieke bron wel of niet een warmtebron beschikbaar zal zijn in 2050.

2.4.2.1 Basislastbronnen

Een basislastbron is een bron die het grootste deel van de tijd in bedrijf is, gemiddeld ca 6.000 uur¹⁷ of meer per jaar. Basislastbronnen dekken niet de volledige vraag; vaak ongeveer 25 – 35% van het vermogen en 70 – 85% van het volume.

Basislastbronnen worden over het algemeen gekenmerkt door relatief hoge kapitaallasten en andere vaste kosten tegenover relatief lage gebruiksafhankelijke kosten. Subsidies e/o duurzaamheidseisen kunnen ervoor zorgen dat deze vuistregel niet opgaat. Zo kan een biomassaketel (met hoge gebruiksafhankelijke kosten) m.b.v. subsidie (ook gebruiksafhankelijk) toch als basislastbron worden ingezet.

Typische basislastbronnen zijn geothermie, afvalverbrandingsinstallaties en industriële restwarmte. Ook WKK's of WKC's worden als basislastbron ingezet.

2.4.2.2 Middenlastbronnen

Middenlastbronnen zijn bronnen die per jaar zo'n 2.500 – 5.000 uur produceren. Zij hebben meestal een andere kostenstructuur dan basislastbronnen, met naar verhouding hogere verbruiksafhankelijke kosten. Daarnaast kunnen er ook andere factoren zijn die maken dat dit type bron niet (bijna) continue produceert. Bij WKK-installaties is de marktvraag naar elektriciteit zo'n factor, die doorwerkt in de elektriciteitsopbrengsten.

2.4.2.3 Piek- en back-upbronnen

Piekbronnen worden ingezet als het écht koud is en dus de warmtevraag het hoogst is. Daarnaast vervullen deze bronnen vaak nog een andere rol, namelijk die van reservebron (back-up). In veel gevallen kunnen de piek- en back-

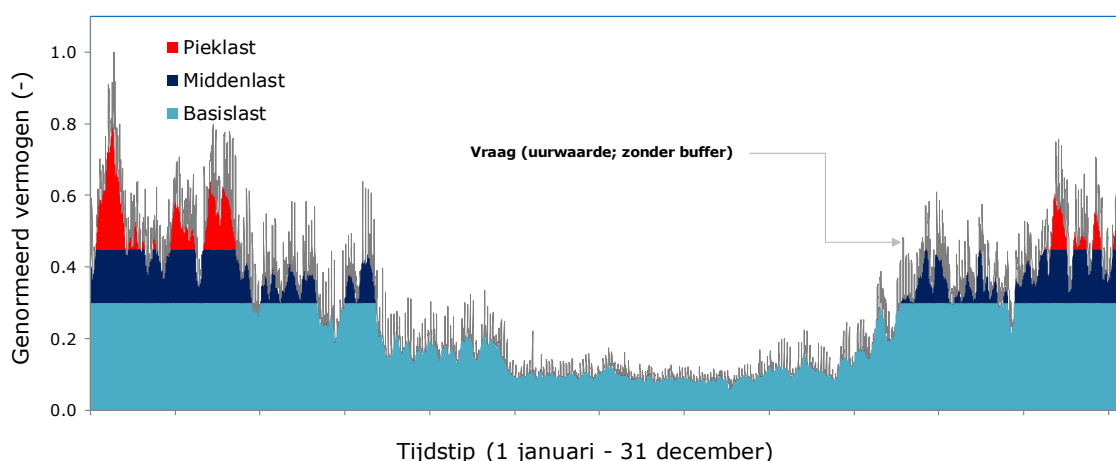
¹⁶ Voor details hierover zie bijlage P van NTA 8800:2020+A1 Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode

¹⁷ Uitgedrukt als *equivalente vollasturen*. Deze worden berekend door het de jaarproductie (MWh) te delen door het vermogen (MW).

upbronnen samen het volledige maximumvermogen van het warmtenet leveren. Desondanks leveren ze over het algemeen slechts een beperkt deel van het volume, typisch minder dan 30%. Over het algemeen worden ketels ingezet als piek- of back-upbron vanwege de hoge betrouwbaarheid en relatief lage investeringskosten. In het verleden werd veel gebruik gemaakt van stookolie, tegenwoordig is aardgas de meest voorkomende brandstof. Duurzame alternatieven hiervoor zijn groen gas, waterstof of elektrische weerstandsverwarming (op groene stroom). Ook vloeibare biobrandstoffen zijn mogelijk.

2.4.2.4 Productie per type bron

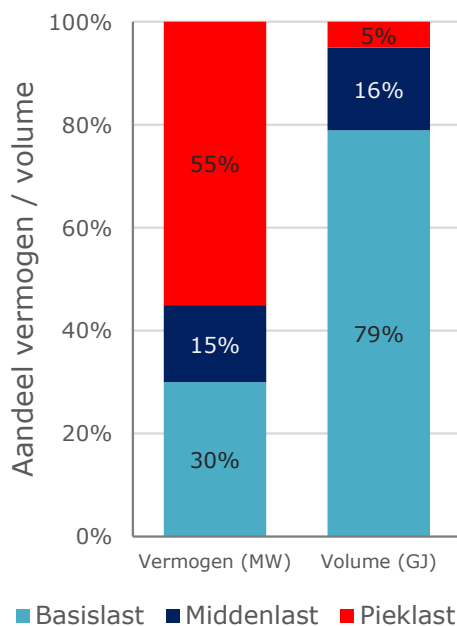
In Figuur 6 wordt een jaarprofiel weergegeven van de warmtevraag van een typisch warmtenet. Dit jaarprofiel wordt gebruikt om de verschillen tussen basislast, middenlast en pieklast toe te lichten. Helemaal links op de horizontale as staat de vraag op het eerste uur van 1 januari, helemaal rechts het laatste uur van 31 december. De dunne, grijze lijn geeft het vermogen op ieder uur van het jaar weer. Met de drie kleuren wordt aangegeven met welk type bron deze vraag wordt ingevuld. Hierbij is het gebruik van een buffer nagebootst d.m.v. een 24-uurs voortschrijdend gemiddelde, waardoor het profiel van de bronnen iets glooiender is dan het profiel van de vraag.



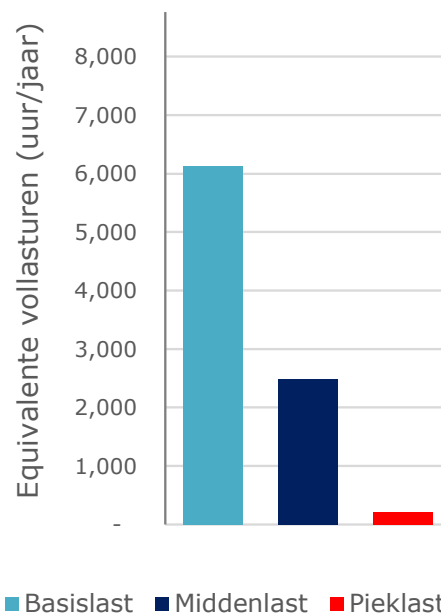
Figuur 6. Illustratief voorbeeld van een jaarprofiel van de warmtevraag en invulling per type bron.

In Figuur 7 worden voor het voorbeeld uit Figuur 6 per type bron de aandelen in vermogen resp. volume weergegeven. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat een basislastbron (lichtblauw) met 30% van het totaal benodigde vermogen 79% van het totale volume produceert.

In Figuur 8 wordt voor ieder type bron uit het voorbeeld uit Figuur 6 aangegeven hoeveel equivalente vollasturen¹⁷ ieder type bron per jaar zou maken. Hieruit blijkt dat de basislastbron (lichtblauw) met 30% ruim 6.000 equivalente vollasturen in bedrijf is. De pieklastbron is daarentegen 211 is equivalente vollasturen in bedrijf.



Figuur 7. Voorbeeld van verdeling van vermogen en productievolume over basis-, midden- en pieklastbronnen.



Figuur 8. Voorbeeld bedrijfstijd in equivalente vollasturen van basis-, midden- en pieklast bronnen.

Het profiel en alle waarden in Figuur 6 – Figuur 8 zijn illustratief. Zij zijn bedoeld om aan te geven hoe sterk de voor exploitatie relevante kenmerken van bronnen worden beïnvloed door de volgorde van inzet en de verdeling van vermogens over de verschillende bronnen.

2.4.2.5 Warmteopslag

Warmte kan ook worden opgeslagen om deze op een ander moment te gebruiken. Warmtebuffers kunnen hierbij dienen als een (deels) vervanging van piekwarmtebronnen. Dit heeft als bijkomend voordeel dat, door de grotere beschikbaarheid van duurzame basislastbronnen ten opzichte van piekwarmtebronnen, er vaak meer duurzame warmte kan worden gebruikt in warmtenetten met warmteopslag.

Warmteopslagsystemen onderscheiden zich in temperatuurniveau en schaalgrootte. Voorbeelden van warmteopslagsystemen zijn: warmte-koude opslag (WKO), hogetemperatuuropslag in de bodem en grote buffervaten.

2.4.2.6 Temperaturen van bronnen en netten

Temperatuurniveaus van warmtebronnen dienen minimaal op hetzelfde niveau te zijn als het warmtenet waar het aan voedt. Hogetemperatuur restwarmte kan bijvoorbeeld gebruikt worden in lage temperatuurnetten (<50 °C), maar andersom zou ondiepe geothermie eerst in temperatuur verhoogd moeten worden (wat vaak tot significante meerkosten leidt) om geschikt te zijn voor midden- (50-70 °C)- en hogetemperatuur warmtenetten (>70 °C). Het is dus onwaarschijnlijk dat warmte van (ondiepe) geothermie wordt getransporteerd door een transportnet dat opereert op hoge temperatuur. Grofweg kan de onderverdeling zoals weergegeven in Figuur 9 worden gemaakt.



Figuur 9: Bronnen en hun geschiktheid voor verschillende netten.

De mogelijkheid bestaat om hoge temperatuurnetten te cascaderen naar MT en LT-netten, om zo een lagere retourtemperatuur te krijgen na warmteafgifte in LT-netten. Door slimme schakeling hiervan kunnen meer bronnen van LT en MT-netten invoeden, waardoor er een efficiëntere benutting van bronnen mogelijk is.

2.4.3 Duurzaamheid van warmtenetten

De duurzaamheid van warmtenetten wordt voornamelijk bepaald door de mate van CO₂-reductie (vanwege het niet hoeven te gebruiken van aardgas), de aard van de warmtebron, maar ook door andere factoren zoals het warmteverlies en de mate van verduurzaming van het elektriciteitsnetwerk en de beschikbaarheid van duurzame gassen.

De referentie is de cv-ketel in woningen. Deze stoot, afhankelijk van de gehanteerde methodiek en aannames, 56-64 kg CO₂/GJ uit. Om tot een CO₂-besparing te komen, zal een warmtenet deze score moeten verbeteren. Normstelling in de wet collectieve warmtevoorziening zal van 40 kg/GJ in 2022 naar 25 kg/GJ in 2030 gaan¹⁸.

Basislast- en middenlastbronnen voorzien voor het grootste gedeelte van de jaarlijkse warmtevraag aan warmtenetten. Deze zijn op dit moment grotendeels STEG-centrales, afvalverbrandingsinstallaties en WKK's met of zonder elektriciteitsderving. De specifieke uitstootcijfers hangen o.a. af van de duurzaamheid van het elektriciteitsnet bij derving, efficiëntie van de omzetting en het biogene deel van afval.

Piekvoorzieningen worden momenteel voornamelijk ingevuld door gasgestookte ketels. Ondanks dat deze bronnen op jaarbasis beperkt bijdragen aan de totale warmtelevering, drukken deze relatief zwaar op de totale duurzaamheidsscore van warmtenetten¹⁹. Deze voorzieningen zullen daarom ook in de toekomst

¹⁸ Zie concepttekst *Wet houdende regels omtrent productie, transport en levering van warmte (Wet collectieve warmtevoorziening)*

¹⁹ Zie o.a. ketenemissies warmtelevering van CE Delft (2016), inventarisatie duurzaamheid warmtenetten van Greenvis (2020).

moeten verduurzamen, door bijvoorbeeld het gebruik van groen gas, waterstof, bio-olie en/of (seizoens)opslag.

Door warmteverliezen moet er meer energie opgewekt worden dan dat er uiteindelijk bij de eindgebruiker geleverd wordt. De mate van warmteverlies hangt af van de temperatuur van het water (hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de verliezen), de mate van isolatie, de diameter van de leidingen (dikkere leidingen hebben een lager verlies) en de omvang van waterlekken.

Warmtenetten verliezen zo'n 20-30% van de geleverde energie, waarbij de lokale verliezen het grootst zijn. Op termijn, wanneer gebouwen daar klaar voor zijn, wordt het dus interessant om de temperatuur te verlagen.

Uiteindelijk zal de warmteleverancier een afweging moeten maken hoe het warmtenet zo gevoed kan worden met de inzet van verschillende bronnen om te voldoen aan tarief²⁰- en duurzaamheidswetgeving.

²⁰ Zie bijv. <https://www.acm.nl/nl/publicaties/tarievenbesluit-warmteleveranciers-2021>

3 De optimale schaal van warmtetransport

In het vorige hoofdstuk is uitgebreid toegelicht hoe invulling gegeven wordt aan de warmtetransitie-uitdaging van gemeenten op buurtniveau. In dit hoofdstuk wordt verder uitgezoomd tot het schaalniveau van een bovenregionaal warmtetransportsysteem dat meerdere gemeenten van warmte – afkomstig uit grote, centrale bronnen – kan voorzien. Het doel is de lezer inzicht te geven in de belangrijkste haalbaarheidsprincipes die een rol spelen bij het ontwerp van een transportsysteem en duidelijk te maken hoe keuzes in één gemeente de haalbaarheid van warmtetransport voor een andere gemeente kunnen beïnvloeden. Bovendien kunnen hiermee enkele kaders voor warmtetransport in Zuid-Holland worden bepaald.

Centraal in dit hoofdstuk staat de vraag: “Wanneer is het zinvol om warmte te vervoeren via een warmtetransportnet?”. Deze vraag valt te bezien vanuit verschillende perspectieven.

Vanuit het perspectief van kosten is het zinvol om warmte te transporteren als aan twee voorwaarden is voldaan:

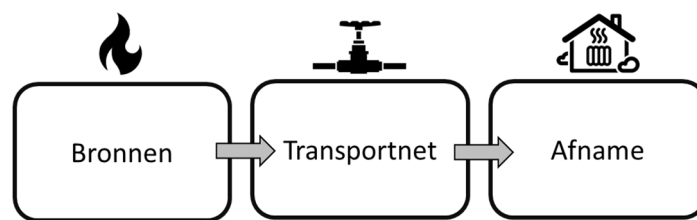
1. De kosten van de *gehele warmteketen* (bron + transport + distributie + afgifte) zijn lager dan de kosten van individuele manieren van verwarmen, en
2. De kosten van de *keten tot aan het distributienet* (bron + transport) zijn lager dan de kosten van beschikbare lokale warmtebronnen

Om deze vergelijking van kosten goed te maken is het wel van belang dat voor iedere optie alle kosten over de hele voorzieningsketen worden meegenomen. Daarnaast moeten alle opties die worden vergeleken aan dezelfde eisen m.b.t. veiligheid, duurzaamheid, betrouwbaarheid etc. voldoen. In de praktijk is dit laatste lastig: prestaties verschillen per technologie en het waarderen van die verschillen is in zekere mate subjectief.

Naast kosten, veiligheid, duurzaamheid en betrouwbaarheid zijn er nog andere aspecten die een rol kunnen spelen bij het beantwoorden van de vraag welke warmtevoorziening de voorkeur heeft. Er kan bijvoorbeeld ook worden gekeken naar schaalbaarheid, ruimtelijke inpassing, de mogelijkheid om te leren en te verbeteren, (on)afhankelijkheid (op diverse manieren en niveaus) of afhankelijkheid van beleid.

In dit verslag en de onderliggende methode is voornamelijk gekeken naar de techno-economische aspecten. Omdat ook gebruik is gemaakt van informatie van energieregio's en gemeenten, afkomstig uit (concept) regionale energiestrategieën en warmtetransitievisies zullen de andere aspecten (deels) meegenomen zijn, impliciet of expliciet.

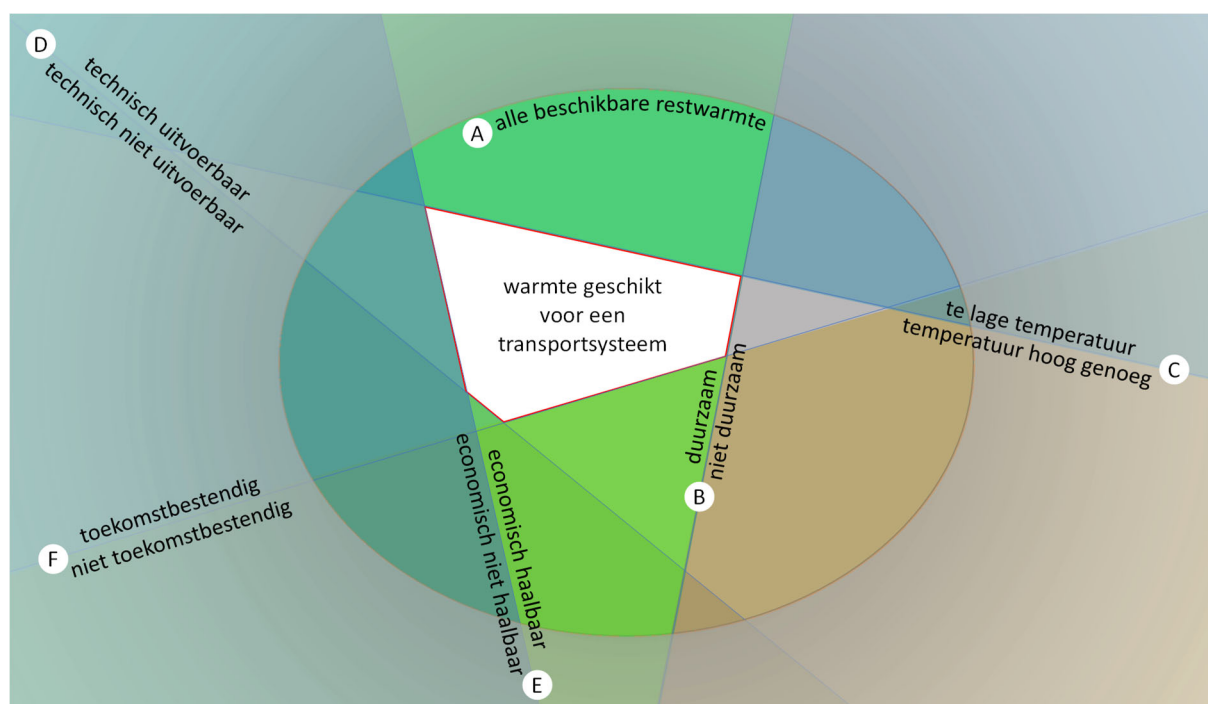
In het navolgende deel van dit hoofdstuk wordt verkend hoe het totale maatschappelijke voordeel van een transportsysteem afhangt van de omvang van dat systeem en wat dat betekent voor het vinden van het optimum. Dit wordt gedaan aan de hand van schaaffecten: “wat gebeurt er als meer of minder warmte getransporteerd wordt?”. Eerst wordt ieder deel van de warmteketen apart beschouwd en er wordt afgesloten met de keten als geheel.



Figuur 10: Drie ketenstappen in een systeem met een warmtetransportnet

3.1 Haalbaarheidsfactoren bij warmtebronnen

Warmtebronnen zijn plekken waar veel warmte wordt geproduceerd. Deze warmte is niet altijd lokaal af te zetten en kan dus geleverd worden aan andere partijen. Hoewel in een toekomstig warmtetransportsysteem ook bronnen zoals geothermie of ketels op duurzaam gas warmte kunnen invoeden, wordt in de casus in Zuid-Holland initieel gefocust op de toepassing van restwarmte uit de Rotterdamse haven. De rest van deze paragraaf zal kijken naar de dynamiek rondom restwarmte.

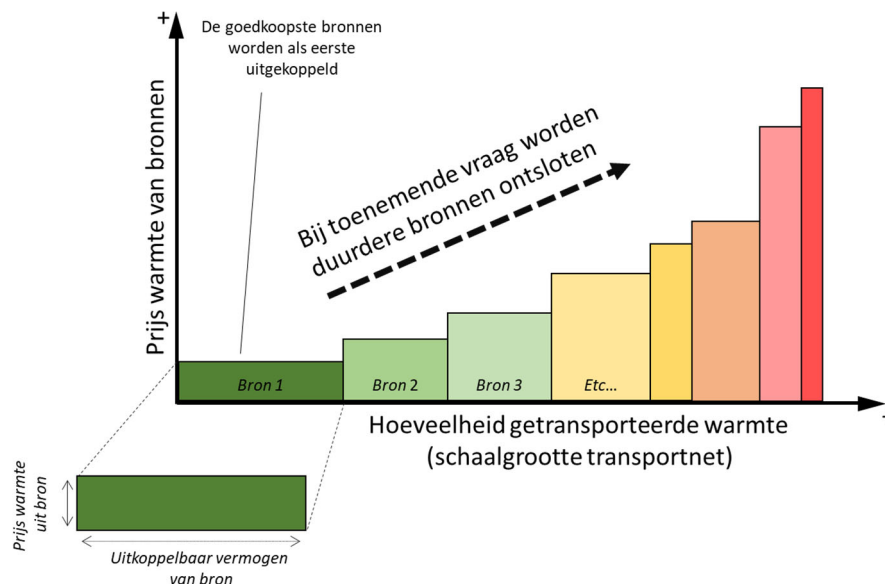


Figuur 11: Visualisatie van de selectie van warmte die geschikt is voor uitkoppeling naar een warmtetransportsysteem uit alle beschikbare restwarmte. NB: Deze afbeelding is illustratief. De verhoudingen in oppervlak zijn niet representatief.

Niet alle restwarmte is geschikt voor gebruik in een warmtetransportsysteem. Om hiervoor geschikt te zijn moet de restwarmte aan een aantal voorwaarden voldoen, zoals weergegeven in Figuur 11. Allereerst moet de warmte beschikbaar zijn en moet de eigenaar meewerken aan uitkoppeling van de restwarmte (A). De restwarmte moet (B) duurzaam zijn (t.o.v. alternatieven) en (C) van de juiste temperatuur (bij de eerste leidingen zal dit minimaal rond de 110°C zijn, in de toekomst zal deze temperatuur waarschijnlijk kunnen dalen tot

minimaal 70°-90°²¹). Het uitkoppelen van de restwarmte moet (D) technisch uitvoerbaar zijn en (E) economisch haalbaar. Tot slot moet de bron (F) toekomstbestendig zijn.

De warmtebronnen die overblijven als geschikt voor uitkoppeling naar een warmtetransportsysteem kunnen vervolgens worden gerangschikt op basis van de prijs van de warmte, zie Figuur 12.



Figuur 12: Indicatieve representatie van de kosten van warmtebronnen, die aangeeft hoe economisch haalbaar verschillende bronnen zijn, vanuit het perspectief van de afnemer.

Zelfs als alle bronnen vanuit het perspectief van de warmteproducent economisch uitkoppelbaar zijn (criterium E in Figuur 11), wordt de uiteindelijke haalbaarheid in het systeem bepaald door de bereidheid van afnemers om de *gevraagde* warmteprijs te betalen. Hierbij ligt het in de lijn der verwachting dat goedkopere bronnen een grotere kans hebben om als eerste uitgekoppeld te worden. Hierdoor kan de gemiddelde prijs van warmte stijgen zodra het systeem groeit zonder verdere kostenreductie bij uitkoppeling.

3.2 Haalbaarheidsfactoren bij afnemers

Voor het ontwerpen van een optimaal warmtetransportsysteem is een goed beeld van de (potentiële) vraag naar warmtetransport van belang. Bovendien is het nodig om te begrijpen welke factoren deze vraag beïnvloeden en op welke manier. In dit gedeelte wordt ingegaan op het bepalen van de vraag naar warmtetransport en de prijselasticiteit: de mate waarin de vraag naar warmtetransport afhankelijk is van de kosten van warmtetransport. Daarnaast wordt duidelijk gemaakt dat het aggregatieniveau (buurt – wijk – gemeente), waarop kosten en baten worden gewogen bij het bepalen van de te volgen strategie voor verwarmen zonder aardgas, grote invloed kan hebben op de vraag naar warmtetransport. Tot slot wordt het concept *voordeel delen* geïntroduceerd.

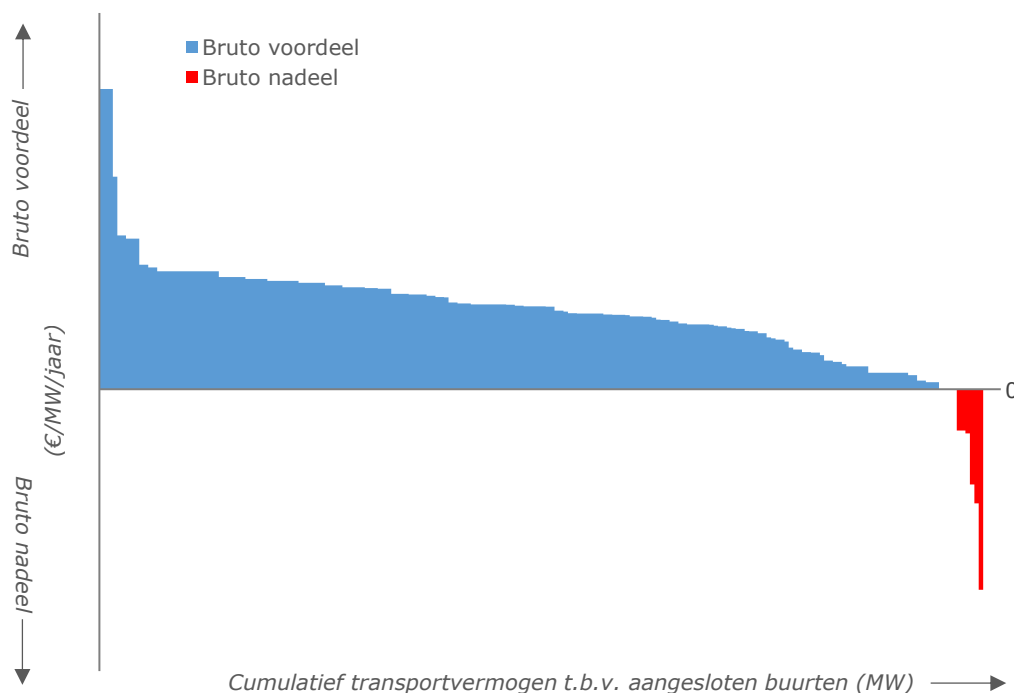
²¹ Henrik Lund et al: *4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*. Energy 68, 2014, 1-11. [Download van Elsevier](#)

Dit concept, waarbij genoemd aggregatieniveau centraal staat, is in deze studie gebruikt bij het bepalen van de vraag naar warmtetransport.

Afnemers van een warmtetransportsysteem zijn warmte*distributienetten*, geen eindgebruikers van warmte²²; eindgebruikers zijn afnemer van het distributienet. De aanwezigheid van een distributienet is dus een voorwaarde voor het gebruik van warmtetransport. Zonder distributienet geen vraag naar warmtetransport.

Voor een warmte*distributienet* is een warmtetransportsysteem één van de mogelijke bronnen²³ van warmte. Om een aantal redenen is het niet aannemelijk dat een warmte*distributienet* alle warmte zal afnemen uit een warmtetransportsysteem. Mede hierom is *de vraag naar warmtetransport* niet hetzelfde als de *vraag naar warmte bij eindgebruikers*. De potentiële vraag naar warmtetransport is het basislastvermogen (zie 1.2.2 voor uitleg) dat een warmte*distributienet* nodig heeft (in dit rapport uitgedrukt in MW).

Een eerste stap om de potentiële vraag naar warmtetransport te bepalen is het beantwoorden van de vraag voor welke buurten de warmtetransitie met een warmtetransportsysteem goedkoper is dan zonder een warmtetransportsysteem. In Figuur 13 wordt de beantwoording van deze vraag geïllustreerd aan de hand van gegevens van een willekeurige gemeente.



Figuur 13. Bruto voordeel (of nadeel) van warmtetransport per buurt.

In Figuur 13 vertegenwoordigt iedere staaf een buurt. De breedte van de staaf geeft aan welk basislastvermogen (MW) nodig is voor een warmte*distributienet* in de betreffende buurt. De hoogte van de staaf vertegenwoordigt het *bruto*

²² M.u.v. eventuele grootgebruikers

²³ Strikt genomen is het warmtetransportsysteem geen warmtebron maar een systeem dat warmte uit centrale bronnen naar het warmte*distributienet* transporteert. Het resultaat is echter hetzelfde: het warmte*distributienet* kan warmte onttrekken uit het warmtetransportsysteem, net als uit lokale warmtebronnen.

*voordeel*²⁴: de verlaging van de nationale kosten voor de betreffende buurt t.o.v. de eerstvolgende alternatieve strategie, wanneer deze buurt wordt verwarmd d.m.v. een warmtenet dat warmte onttrekt uit een transportsysteem, wanneer de kosten van transport nul zouden zijn²⁵. Het bruto voordeel wordt uitgedrukt in €/MW/jaar: jaarlijks kostenvoordeel per MW transportcapaciteit. Het oppervlak van een staaf kan worden gezien als de absolute waarde van warmtetransport voor de betreffende buurt (in €/jaar).

De buurten zijn gesorteerd op volgorde van afnemend bruto voordeel. Hoe verder naar rechts in de grafiek, hoe minder voordeel een buurt heeft van een warmtetransportsysteem. Helemaal rechts staat een aantal roodgekleurde buurten waarvoor het bruto voordeel negatief is. Voor deze buurten zijn de nationale kosten van een warmtenet o.b.v. een transportsysteem zelfs bij kosteloos warmtetransport hoger dan die van alternatieve strategieën.

Figuur 13 is een voorbeeld voor een willekeurige gemeente, gebaseerd op berekeningen voor één scenario. Het exacte verloop van de curve wisselt per gemeente en is vooral (sterk) afhankelijk van de aangenomen kostprijs van de getransporteerde warmte. Het beeld is echter wel representatief, ook wanneer dezelfde analyse wordt gemaakt voor een regio of provincie: De toegevoegde waarde per MW transportcapaciteit neemt af met iedere MW die erbij komt.

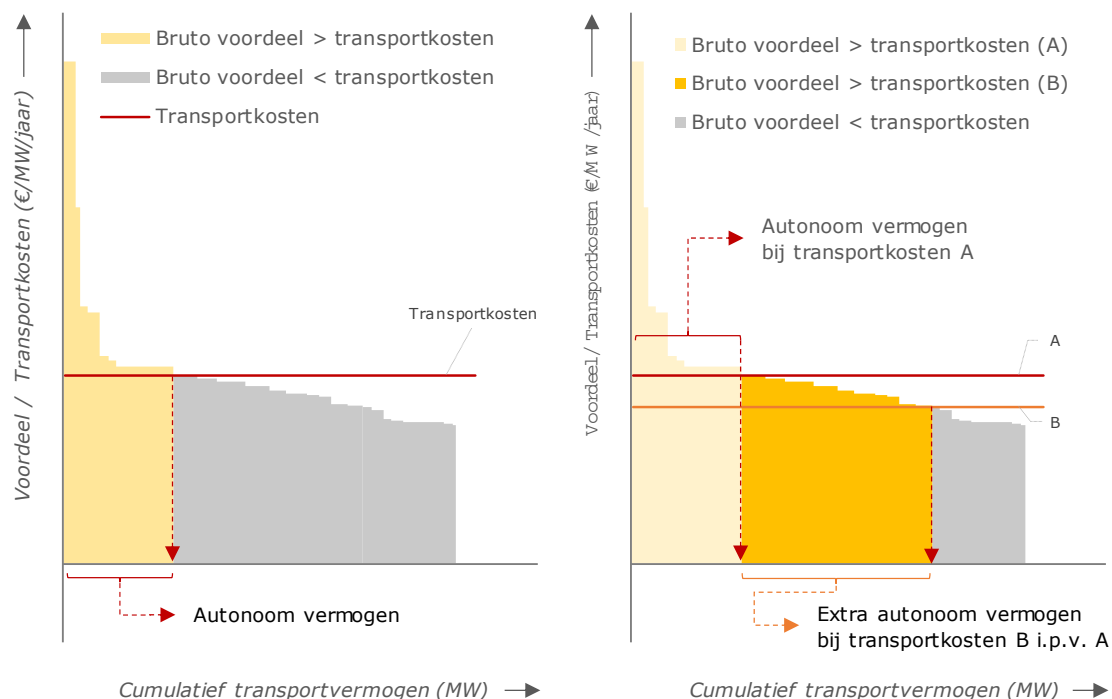
Bij de volgende stap om de potentiële vraag naar warmtetransport te bepalen wordt bepaald of het bruto voordeel hoog genoeg is om de kosten van warmtetransport te dekken. Het bruto voordeel is hoeveel warmtetransport maximaal mag kosten om voor de betreffende buurt nog voordelig te zijn. Als de transportkosten lager zijn dan het bruto voordeel, dan zijn de nationale kosten voor die buurt lager dan met de eerstvolgende alternatieve strategie. Het transportvermogen t.b.v. alle buurten waarvoor de transportkosten lager zijn dan het bruto voordeel voor de betreffende buurt kan worden bepaald zoals weergegeven in Figuur 14.

Net als in Figuur 13 vertegenwoordigt in Figuur 14 iedere staaf een buurt, staat de breedte van de staaf voor het basislastvermogen (MW) en de hoogte van de staaf voor het bruto voordeel (€/MW/jaar).

De nationale kosten van een warmtetransportsysteem kunnen – net als het bruto voordeel – worden uitgedrukt in €/MW/jaar. Deze kosten zijn voor een fictief transportsysteem weergegeven in Figuur 14 (links) d.m.v. een getrokken lijn. Wanneer het bruto voordeel voor een bepaalde buurt groter is dan de transportkosten, zijn de kosten van de warmtetransitie voor die buurt met een warmtetransportsysteem lager dan zonder warmtetransportsysteem.

²⁴ De wijze waarop het bruto voordeel is berekend wordt toegelicht in 0

²⁵ In werkelijkheid zijn de transportkosten geen nul. Daarom wordt gesproken van *bruto* voordeel. Het voordeel dat overblijft na aftrek van de transportkosten is het *netto* voordeel.

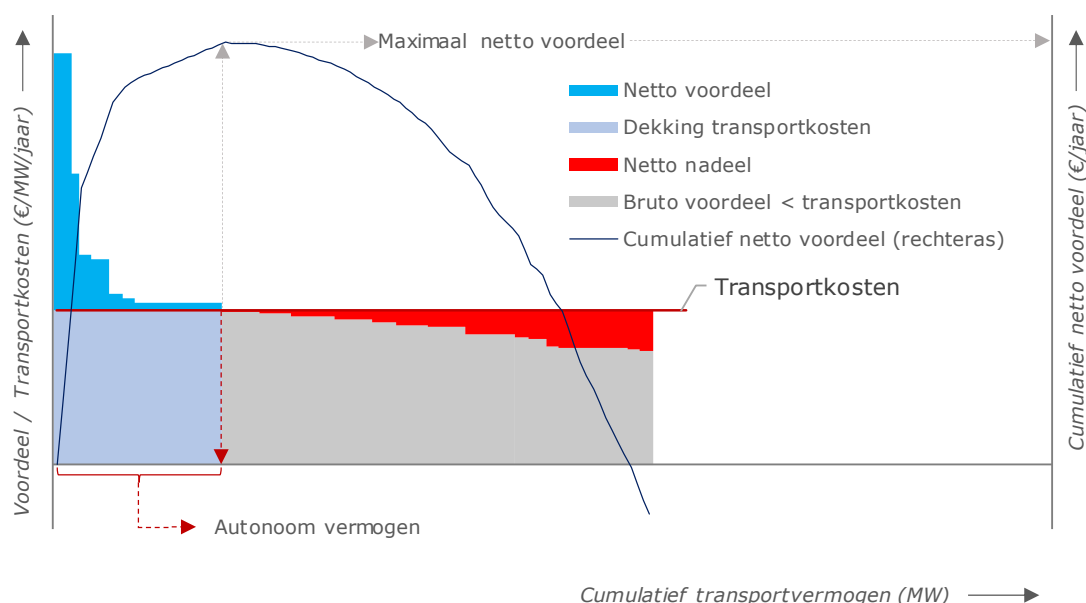


Figuur 14. Bepaling van de autonome vraag naar warmtetransport (links) en effect van lagere transportkosten op de autonome vraag (rechts).

Als voor iedere buurt afzonderlijk de keuze om warmte uit een transportsysteem te onttrekken zou worden gemaakt op basis van nationale kosten, dan resulteert dat in een gevraagd transportvermogen zoals aangegeven met de gestippelde pijl. Dit vermogen wordt in dit rapport aangeduid als het *autonoom vermogen* (of autonome vraag), omdat deze wordt bepaald door voor iedere buurt afzonderlijk te bepalen of een warmtetransportsysteem voordelig is, zonder hierbij rekening te houden met andere buurten.

De rechter grafiek in Figuur 14 geeft weer hoe de autonome vraag toeneemt met afnemende kosten van warmtetransport. In dit voorbeeld zijn de kosten van transportsysteem B 20% lager dan de kosten van transportsysteem A.

Wanneer voor situatie B het autonome vermogen op dezelfde wijze wordt bepaald als voor situatie A neemt dit vermogen toe t.o.v. A tot het vermogen bij B, zoals aangegeven met de blauwe pijl. Deze toename is procentueel veel groter (in dit voorbeeld ca 180%) dan de daling van de kosten. Door de flauwe helling van de grafiek is de prijselasticiteit van de vraag hoog. De exacte situatie verschilt per gemeente, maar ook hier is de figuur representatief voor het algemene beeld.

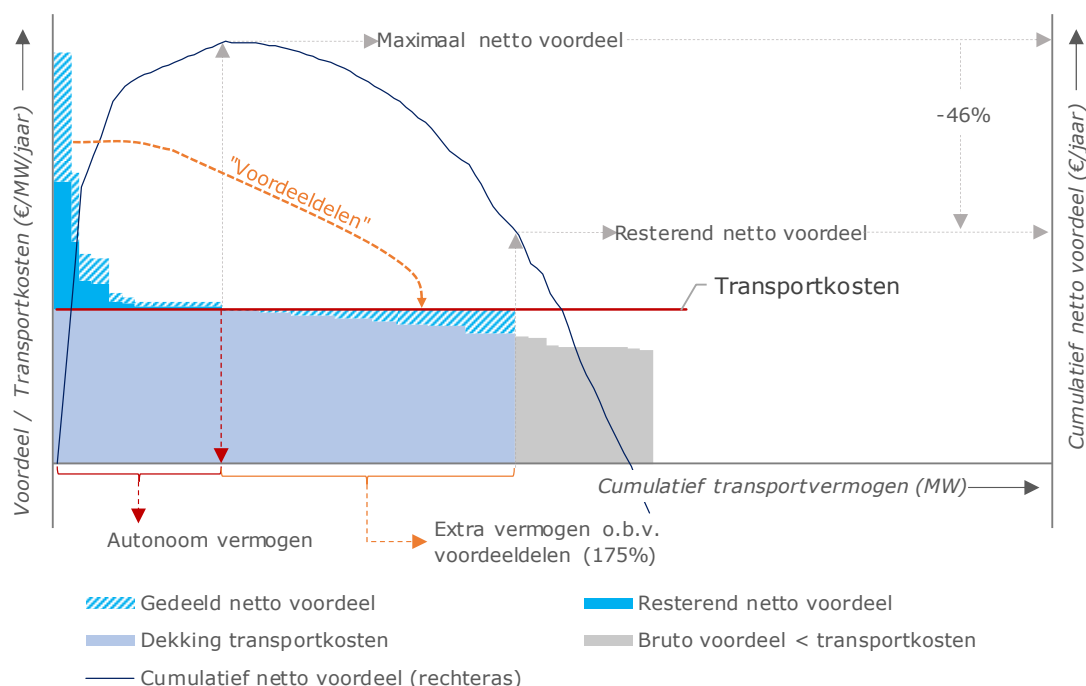


Figuur 15. Aggregatie binnen een gemeente: cumulatief voordeel.

In Figuur 15 wordt met de lijn *cumulatief netto voordeel* weergegeven hoe het voordeel van een warmtetransportsysteem voor een gemeente als geheel toeneemt naarmate het aantal aan te sluiten buurten toeneemt – tot het punt waar het autonome vermogen is bereikt. Voorbij dat punt neemt het totale voordeel voor de gemeente af. Vanuit nationale kosten bezien zou een keuze voor iedere buurt afzonderlijk dus moeten leiden tot de optimale uitkomst voor de hele gemeente. Voorwaarde daarbij is dat die keuze ook daadwerkelijk voor iedere buurt afzonderlijk gemaakt kan worden en dat de keuze voor buurt X op geen enkele manier invloed heeft op de keuze voor buurt Y. Vaak wordt aan deze voorwaarde niet voldaan, zo ook bij de keuze om wel of niet aan te sluiten op een warmtetransportsysteem.

Onder andere door schaalfactoren die in 3.3 worden besproken is er juist een grote onderlinge afhankelijkheid tussen buurten. Zo is het mogelijk dat aansluiten op een warmtetransportsysteem voor buurt X alleen haalbaar is als ook buurten Y en Z aansluiten omdat buurt X alleen de kritische massa niet heeft. Andersom is het ook mogelijk dat de infrastructuur (bijvoorbeeld een aansluitleiding) die geschikt is voor buurten X en Y zonder meerkosten ook nog ruimte biedt voor buurt Z. Op hogere aggregatieniveaus geldt hetzelfde. Een leiding van Rotterdam naar Leiden is alleen haalbaar als die leiding ook wordt gebruikt door tussenliggende gemeenten.

Naast alle onzekerheden zorgt bovengenoemde afhankelijkheid ervoor dat er geen eenduidig optimaal transportvermogen per (deel)gemeente bepaald kan worden. Er is sprake van een bandbreedte. Voor dit onderzoek is een methode ontwikkeld om deze bandbreedte te kunnen kwantificeren: *voordeeldelen*. Dit concept wordt hier uitgelegd – i.p.v. in het gedeelte methodologie – omdat het een centraal element voor het integraal ontwerp is dat op meerdere plaatsen in dit rapport terugkomt. Bovendien wordt hiermee ook duidelijk dat het aggregatieniveau (buurt – wijk – gemeente) waarop kosten en baten worden gewogen bij het bepalen van de te volgen strategie voor verwarmen zonder aardgas, grote invloed kan hebben op de vraag naar warmtetransport.



Figuur 16. Illustratie van het concept voordeeldelen.

In de situatie zoals weergegeven in Figuur 15 zijn er zeven buurten met een positief netto voordeel. Voor de resterende buurten wordt de warmtetransitie niet goedkoper door een warmtetransportsysteem. Stel – in een gedachtenexperiment – dat een aansluiting voor alleen deze zeven buurten niet haalbaar is. Met het autonome vermogen alleen wordt de kritische massa niet gehaald. Als er niet meer buurten worden aangesloten komt er geen aansluiting. In dat geval is het economisch gezien een optie om een deel van het netto voordeel van deze zeven buurten op te offeren ter compensatie van het netto nadeel van enkele andere buurten, als daarmee wel de kritische massa wordt gehaald. Deze oplossing wordt weergegeven in Figuur 16. Van het totale netto voordeel (van de eerste zeven buurten) wordt een deel van het netto voordeel 'gedeeld' met buurten waarvoor het transportsysteem – op individuele basis – (net) geen voordeel biedt. Dit gedeelde voordeel wordt gebruikt om het netto nadeel van een aantal opvolgende buurten te compenseren. In dit voorbeeld wordt 46% van het initiële netto voordeel gedeeld, waarmee 11 extra buurten aangesloten kunnen worden en het totale vermogen toeneemt met 175%.

Niet alleen het gedeelde percentage van het netto voordeel bepaalt hoeveel extra vermogen haalbaar wordt, ook het aggregatieniveau waarop het kan worden ingezet. Tijdens het onderzoek is gebleken dat wanneer voordeel alleen kan worden uitgewisseld tussen buurten die in dezelfde wijk liggen is het extra vermogen meestal fors lager is dan wanneer dit voordeel binnen de hele gemeente kan worden uitgewisseld. Doordat er op wijkniveau minder opties zijn is het herverdelen minder efficiënt. In het gebruikte voorbeeld is het extra vermogen bij delen op wijkniveau ongeveer $\frac{1}{3}$ van hetgeen met delen op gemeenteniveau wordt gehaald²⁶. Kanttekening hierbij is dat bij delen op

²⁶ Dit is overigens niet op te maken uit de figuur

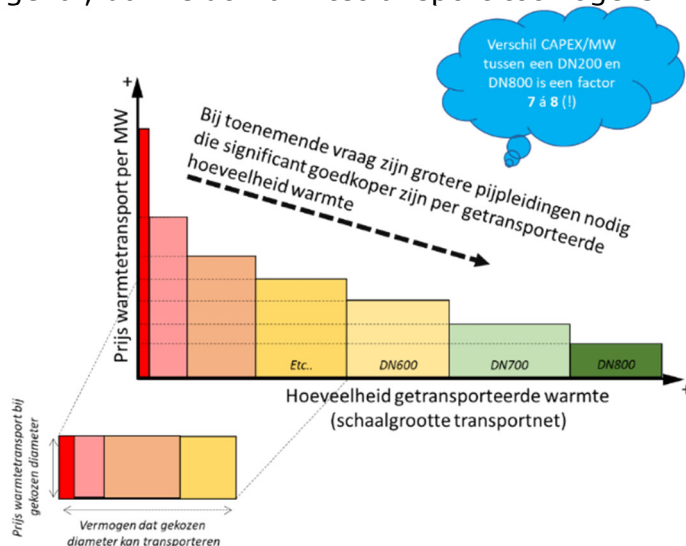
gemeenteniveau mogelijk buurten worden gebundeld die in werkelijkheid te ver uit elkaar liggen.

‘Voordeeldelen’ is een concept waarmee een bandbreedte kan worden bepaald voor de haalbare vraag naar warmtetransport, bovenop de autonome vraag. In deze studie is 50% delen gehanteerd en afhankelijk van het scenario wijk- of gemeenteniveau. Het volledig gebruiken van deze bandbreedte is geen doel op zich. De analyses die voor deze studie zijn uitgevoerd maken duidelijk dat het aggregatieniveau (buurt – wijk – gemeente) waarop kosten en baten worden gewogen en opties worden vergeleken grote invloed heeft op de potentiële vraag naar warmtetransport en daarmee de haalbaarheid van een transportsysteem en de kosten van de transitie. Met weging op een hoger aggregatieniveau (bijv. gemeente of regio) kunnen de kosten van de warmtetransitie substantieel lager zijn.

Wat uit de analyses ook naar voren komt is dat het effect van veranderingen in de uitgangspunten en -gegevens op de haalbare vraag naar warmtetransport groot is. Met meer zekerheid over deze input wordt de ontwerpbasis voor een transportsysteem robuuster. Echter, deze grote gevoeligheid wordt mede veroorzaakt door de beperkte verschillen in kosten van aardgasvrije strategieën. Dit impliceert dat het aandeel van andere – niet financiële – factoren in de uiteindelijke besluitvorming groot kan zijn.

3.3 Haalbaarheidsprincipes voor het transportsysteem

De derde component in de keten, het transportsysteem, verbindt bron en afnemer. Het verschil in waarde van warmte tussen afnamepunt en bron moet voldoende zijn om de kosten van het transportnet te dekken. Is dit niet het geval, dan leidt warmtetransport tot hogere nationale kosten.



Figuur 17: Het effect van aflopende transportkosten bij oplopende leidingdiameter.

De kosten van een transportsysteem hangen sterk samen met afstand die deze overbrugt en de diameter (DNXXX) van de transportleidingen. Bij toenemende afstand nemen zowel de investeringskosten (CAPEX) als de operationele kosten voor pompenergie en warmteverlies (OPEX) toe. Bij toenemende diameter nemen de relatieve kosten per getransporteerde MW juist sterk af, te zien in

Figuur 17. Dit betekent ook dat transporteren over lange afstanden alleen economisch haalbaar is met grote leidingdiameters met hoge transportvolumes.

Naast dimensioneringsfactoren moeten ook andere factoren worden meegenomen die de haalbaarheid van een transportsysteem bepalen. Zoals PBL het verwoordt in de *tussentijdse analyse van regionale energiestrategieën*²⁷:

"Belangrijke dilemma's vloeien voort uit de waarneming dat de voorkeuren van de regio's vaak duurder zijn dan de meest kostenefficiënte oplossingen. Het gaat hierbij niet alleen over een afweging tussen kostenefficiëntie en draagvlak maar ook over hoe het energiesysteem van de toekomst op een maatschappelijk gedragen manier vorm kan krijgen. Draagvlak, ruimtegebruik, netwerkcapaciteit, de markt en de hoogte en kwaliteit van de voorstellen komen daarin samen."

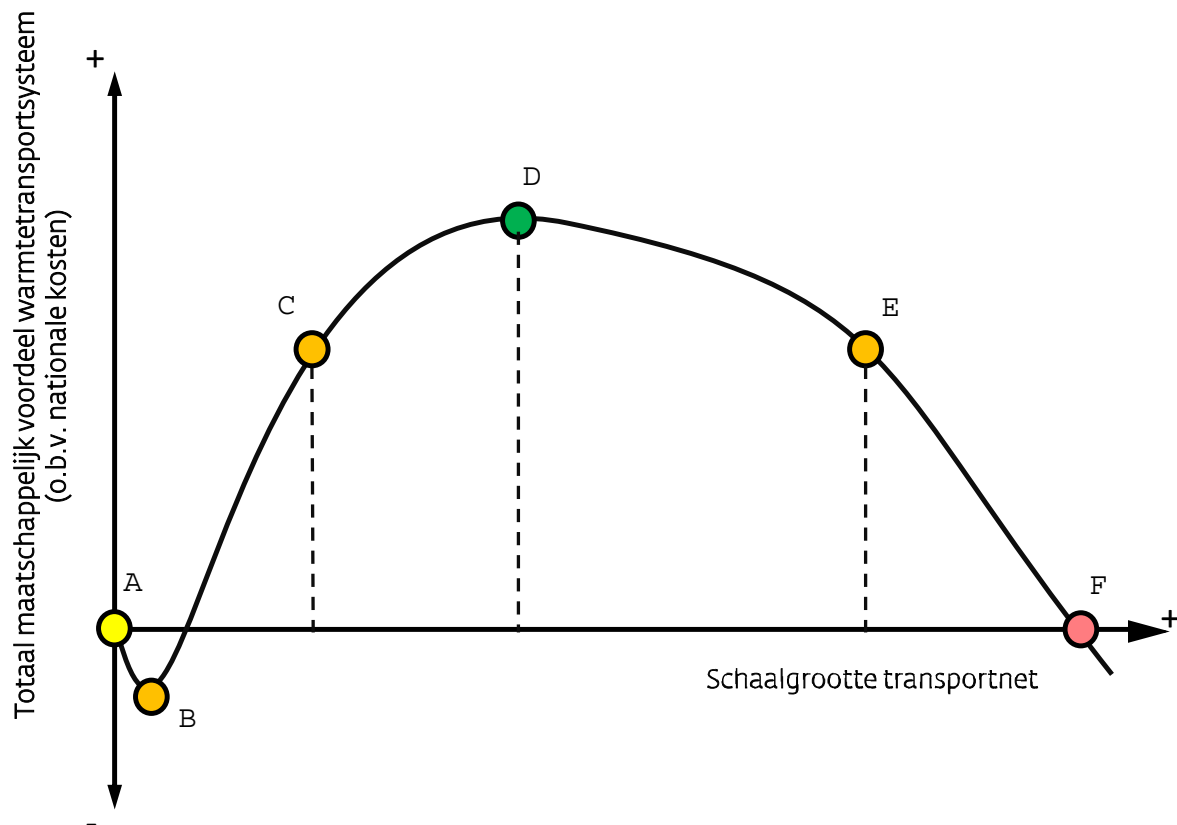
Het draagvlak voor een warmtetransportsysteem in de verschillende regio's is in de huidige studie getoetst middels de afstemming met de gemeenten en RES werkgroepen (zie 4.1). De manier waarop ruimtegebruik een beperkende factor kan zijn, alsmede de geschiktheid van de omgeving voor de aanleg van leidingen, is meegenomen bij het opstellen van het raamwerk voor warmtetransportleidingen in de provincie Zuid-Holland (zie 4.2.2.3).

Het vollooprisico van nieuw te ontwikkelen leidingen heeft een grote impact op de haalbaarheid. Binnen een regio waarin afnameclusters en bijbehorende distributienetten al in hoge mate zijn ontwikkeld, is er een gereduceerd vollooprisico en hogere garantie op het gebruik van de transportleiding kort na aanleg. Hierdoor kunnen de kosten sneller verdeeld worden over de verkoopbare capaciteit. Bij een leiding met een grotere diameter is meer afname vereist om de leiding vol te laten lopen. Als deze additionele afname niet, of niet tijdig, gerealiseerd kan worden vertraagt dit de volloop van de leiding, wat de prijs van warmtetransport laat toenemen. Als de vollooperperiode van een grotere leiding significant langer is dan die van een kleinere leiding kan dit de schaalgrootte voordelen die een grotere leiding heeft, teniet doen. Om deze reden is afstemming tussen de aanleg van een transportleiding en de ontwikkeling van distributienetten bij de afname economisch voordelig. Dit vollooprisico is in de huidige studie meegenomen en speelt een rol in het vormgeven van de toekomstscenario's (zie 4.2.1).

²⁷ https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-regionale-energie-strategieen-een-tussentijdse-analyse-1-oktober-2020_4217.pdf

3.4 Haalbaarheidsprincipes voor de warmteketen

Wanneer alle hiervoor beschreven effecten voor de hele keten worden gecombineerd resulteert dit in een relatie tussen schaalgrootte en (economisch) maatschappelijk voordeel van een warmtetransportsysteem zoals weergegeven in Figuur 18. Er zijn in deze figuur zes punten gemarkeerd die hieronder verder worden toegelicht.



Figuur 18: De relatie tussen het totale maatschappelijk voordeel en de schaalgrootte van een transportnet. Gebaseerd op de gecombineerde haalbaarheidsfactoren en schaalearbeiden.

Punt A. Er is geen transportsysteem en er wordt dus ook geen maatschappelijk voordeel behaald. Kansen om de energietransitie tegen lagere kosten te realiseren worden hier gemist.

Punt B. Er is een klein transportsysteem dat een (zeer) klein deel van de gebouwde omgeving van warmte kan voorzien. Door het gebrek aan schaalgrootte weegt het voordeel van dit systeem niet op tegen de kosten ervan. De investering is weliswaar klein maar niet rendabel en het maatschappelijk voordeel is negatief.

Op Punt C is er een transportsysteem dat een beperkt deel van de gebouwde omgeving van warmte kan voorzien. Het maatschappelijk voordeel dat met dit systeem wordt behaald weegt ruimschoots op tegen de kosten ervan. De totale investering is beperkt en deze is rendabel. Het maximaal te behalen voordeel wordt slechts ten dele gerealiseerd: er is nog een deel van de gebouwde omgeving 'over' waarvoor aansluiting op het transportsysteem ook voordelig zou

zijn als het systeem groter was geweest, mede door het extra schaalvoordeel van een groter systeem.

Wanneer de lijn wordt gevolgd vanaf punt C naar punt D nemen de transportkosten (per MW) af door schaalvoordelen. Deze lagere transportkosten wegen op tegen de toenemende kosten van de bronnen en het afnemende voordeel per buurt, totdat punt D is bereikt. Op dat punt is de schaal van het transportsysteem in economisch opzicht optimaal. Vanaf punt D richting punt E weegt verdere afname van de transportkosten niet meer op tegen de toenemende kosten van bronnen en het afnemende voordeel per buurt. Het totale maatschappelijke voordeel neemt geleidelijk af. Overigens is een grilliger verloop tussen C en E niet uit te sluiten.

Het maatschappelijk voordeel op punt E is hetzelfde als op punt C, maar op punt E wordt significant veel meer gebruik gemaakt van restwarmte. Om dat mogelijk te maken moeten er dus veel meer bronnen worden ontsloten en is een groter transportsysteem nodig. De investeringen in transportsysteem en centrale bronnen zijn daarmee ook groter, terwijl de investeringen in lokale bronnen kleiner zijn.

Voorbij punt E neemt het maatschappelijk voordeel verder af en zal uiteindelijk zelfs sprake kunnen zijn van een negatief maatschappelijk voordeel (voorbij punt F). Met andere woorden: met een veel te groot gedimensioneerd transportsysteem wordt de energietransitie duurder dan zonder dit systeem.

Wanneer men enkel streeft naar de laagste nationale kosten dan streeft men naar een situatie zoals in punt D. Zelfs als men in staat zou zijn om dit punt exact te bepalen, dan nog zijn er ook andere factoren die een rol kunnen spelen bij de afweging, zoals uitvoerbaarheid, risico's en de (on)mogelijkheid om investeringen gefaseerd uit te voeren. Met de uitdrukkelijke kanttekening dat hier geen sprake is van exacte wetenschap, is bij deze studie ingezet op een systeem "tussen de punten C en D". Groot genoeg om warmte te kunnen transporteren tegen redelijke kosten, maar niet veel groter. Voornaamste redenen hiervoor zijn dat 1) hele grote systemen praktisch niet binnen de randvoorwaarden (met name de vollooperperiode) te realiseren zijn en 2) de onzekerheid of de benodigde bronnen en distributienetten daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden, groter wordt met de omvang van het transportsysteem.

4 Totstandkoming van het Integraal Ontwerp

Om te bepalen welke hoofdinfrastructuur voor (rest)warmte maatschappelijk gewenst en kosteneffectief is voor geheel Zuid-Holland op de langere termijn, zijn een aantal stappen gevolgd. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt beschreven hoe in de totstandkoming van het Integraal Ontwerp wordt samengewerkt met de werkgroepen van de RES regio's in Zuid-Holland. De tweede paragraaf beschrijft wat de precieze werkwijze is om tot resultaten te komen, inclusief de gekozen scenario-methodiek en een beschrijving van de processtappen in het iteratief ontwerp van de hoofdinfrastructuur voor elk van de scenario's. Een gedetailleerdere beschrijving van de stappen in het iteratief ontwerp is te lezen in de bijlage. In de derde paragraaf worden de belangrijke uitgangspunten besproken die ten grondslag liggen aan de werkwijze.

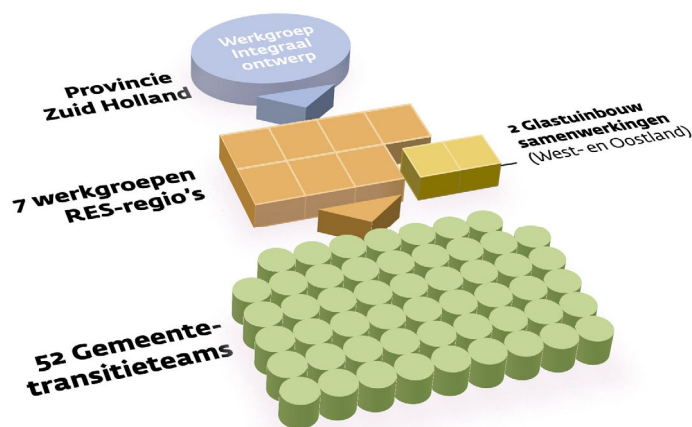
4.1 Samenwerking met RES-regio's en overige stakeholders

De energietransitie vraagt bredere afstemming met alle stakeholders. Zo is afstemming met de RES regio's nodig om te bepalen dat de scenario's waarmee gerekend wordt overeenkomen met de toekomstscenario's waar RES werkgroepen mee rekenen, om te bevestigen dat vergelijkbare aannames en informatiebronnen in beide typen studies gebruikt worden, en dat een realistisch gezamenlijk beeld geschetst wordt van de mogelijke verduurzamingsstrategieën en -technologieën in elke regio van Zuid-Holland.

De afstemming met RES-regio werkgroepen en de werkgroep Integraal Ontwerp biedt daarnaast kansen om regio-overstijgende vraagstukken aandacht te geven, zoals het spotten van mogelijke synergiën tussen regio's door warmtebronnen die meerdere regio's kunnen bedienen.

Naast samenwerking met RES-regio's is ook afstemming met de 'Glastuinbouw samenwerkingen' WSW en WSO gewenst, alsmede met de transitievisies warmte (TVW) per gemeente. Afstemming met WSW en WSO verloopt bilateraal op initiatief van de Integraal Ontwerp werkgroep. De werkgroepen van de RES-regio's borgen de afstemming met de gemeentes. De resultaten van het Integraal Ontwerp kunnen gebruikt worden voor het opstellen van de TVW's.

In onderstaande Figuur 19 is te zien hoe de verschillende samenwerkingen t.b.v. het Integraal Ontwerp proces georganiseerd zijn.



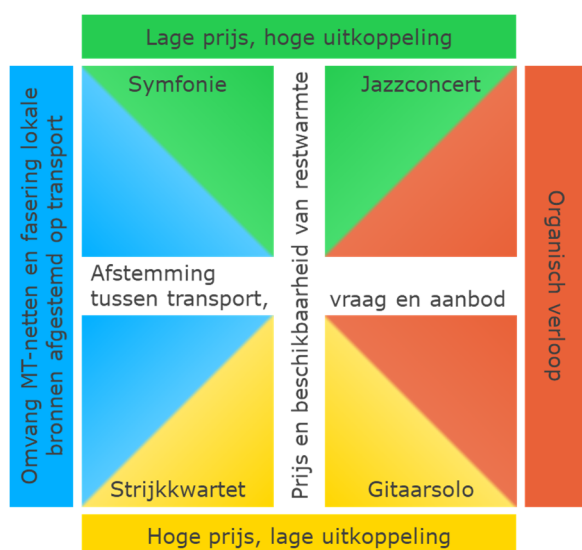
Figuur 19: Visuele weergave van de communicatie tussen de verschillende werkgroepen

4.2 Werkwijze

4.2.1 Toekomstbeeld: 4 Scenario's voor ontwikkeling warmtetransport

Het doel van het Integraal Ontwerp is om een transportnetwerk voor warmte in kaart te brengen dat kosteneffectief is, voor duurzame warmtevoorziening in Zuid-Holland, over een lange termijn horizon. De toekomst bevat veel echter onzekerheden over de ontwikkeling van externe factoren, die bepalend zijn voor de kosteneffectiviteit van een investering in een transportnetwerk. Om te bepalen hoe goed zo'n investering zal presteren bij verschillende ontwikkelingen richting de toekomst, wordt gewerkt met toekomstscenario's die een brede scope van mogelijke toekomstsituaties omvatten.

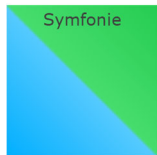
Deze scenario's worden zo gevormd dat ze extremen vormen op een schaal, waardoor het waarschijnlijk is dat de daadwerkelijke toekomstsituatie ergens uitkomt tussen de uitersten van de schaal. Voor het huidige vraagstuk wordt een tweedimensionale schaal voorgesteld, met de reden dat twee externe factoren het meest bepalend zijn voor de kosteneffectiviteit van een transportnetwerk.



Figuur 20: Toekomstscenario's voor het Integraal Ontwerp.

De opbouw van de scenario's wordt toegelicht aan de hand van Figuur 20. De verticale as staat voor de prijs en beschikbaarheid van restwarmte. Deze factor is bepalend voor het totale potentieel voor warmtetransport. De horizontale as staat voor de mate waarin de ontwikkeling van MT-netten, lokale bronnen en het transportsysteem op elkaar worden afgestemd. Dit heeft grote invloed op de kosten en risico's van de infrastructuur en daarmee op de mate waarin het potentieel maatschappelijk kosteneffectief gerealiseerd kan worden. De twee factoren zijn in principe onafhankelijk van elkaar en extern bepaald.

Iedere factor heeft twee uiterste waarden. Deze zijn verwoord met de teksten aan de uiteinden van de assen. De twee assen vormen vier kwadranten. Ieder kwadrant staat voor een scenario: een toekomstbeeld dat wordt bepaald door de bijbehorende combinatie van uiterste waarden van de factoren. Ieder scenario heeft een naam die verwijst naar een muzikale term. Deze is illustratief bedoeld. Hieronder wordt een korte schets van de scenario's gegeven.



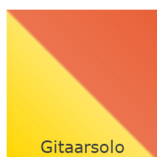
Symfonie: "Er zijn veel restwarmtebronnen en deze zijn goedkoop uit te koppelen. Door de hoge mate van afstemming in de aanleg van infrastructuur kan een groot deel van dit grote potentieel worden benut, op kosteneffectieve wijze".



Jazzconcert: "Er zijn veel restwarmtebronnen en deze zijn goedkoop uit te koppelen. Doordat overkoepelende afstemming in de aanleg van infrastructuur ontbreekt kan maar een beperkt deel van dit grote potentieel worden benut".



Strijkkwartet: "Er zijn niet veel restwarmtebronnen en deze zijn bovendien kostbaar. Door de hoge mate van afstemming in de aanleg van infrastructuur kan een groot deel van dit beperkte potentieel worden benut, op kosteneffectieve wijze".

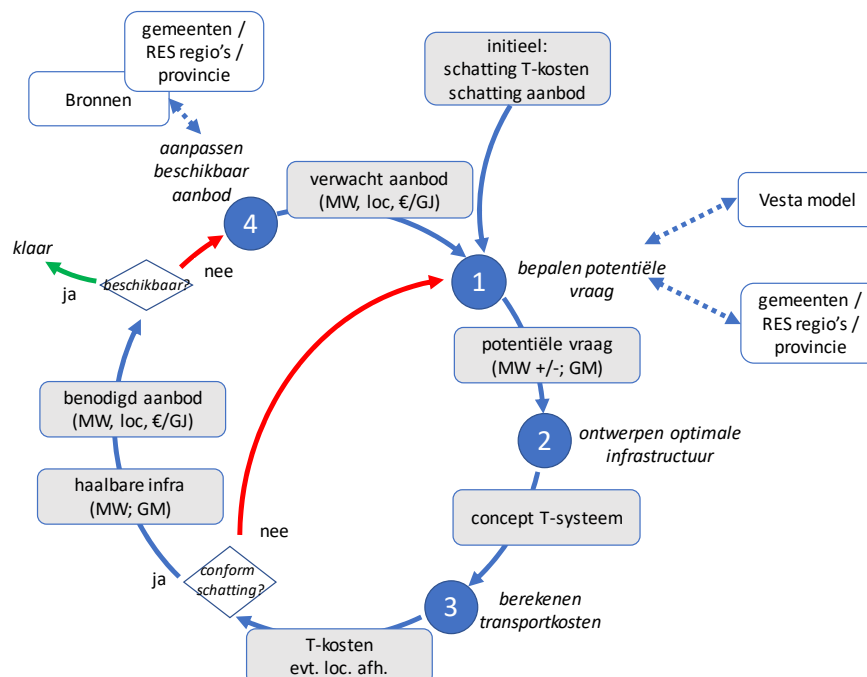


Gitaarsolo: "Er zijn niet veel restwarmtebronnen en deze zijn bovendien kostbaar. Doordat overkoepelende afstemming in de aanleg van infrastructuur ontbreekt kan maar een beperkt deel van dit beperkte potentieel worden benut".

4.2.2 Fase 1: Iteratief ontwerp

Voor elk van de vier scenario's worden vier stappen iteratief doorerekend, zoals geïllustreerd in Figuur 21:

1. Wat is de potentiële vraag van warmte uit een warmtetransportnetwerk,
2. Wat is het optimale ontwerp (qua ligging en dimensionering) van zo'n netwerk,
3. Wat zijn de transportkosten,
4. Kan de resulterende vraag daadwerkelijk worden geleverd door bronnen



Figuur 21: De vier stappen in het iteratief ontwerp

De input en output van elke stap is weergegeven in de bijlage, waar ook een gedetailleerde beschrijving van elke stap te lezen is. Elke rekenstap wordt hieronder kort toegelicht.

4.2.2.1 Initiële schatting van warmte-aanbod en transportkosten (stap 0)

Om een eerste iteratie te kunnen doorlopen in het iteratief ontwerp, zijn initiële aannames nodig voor de restwarmte die aanwezig is in Zuid-Holland (warmte-aanbod), en voor welke kosten deze getransporteerd kunnen worden middels een regionaal warmtetransportnetwerk. Deze initiële aannames zijn gebaseerd op een selectie van informatiebronnen zoals verder beschreven in de bijlage. In elke opvolgende iteratie worden de aannames over transporttarieven overschreven door de resultaten uit stap 3.

4.2.2.2 Bepalen van de potentiële vraag (stap 1)

In de eerste stap wordt bepaald in welke buurten in Zuid-Holland een aansluiting op een regionaal warmtetransportnet de meest kostenefficiënte wijze is om de buurt te verduurzamen tot een CO₂-neutrale warmtevoorziening (warmtevraag). De Startanalyse van PBL wordt uitgebreid met de verduurzamingsstrategie 'restwarmte uit een regionaal transportnet' door middel van het Vesta-Mais model. In elk van de vier scenario's leidt dit tot een verschillende set aan buurten, en een verschillende totale optelsom van warmtevraag uit een regionaal warmtetransportnetwerk. De nettovraag uit een transportnet neemt toe door voordeelden op verschillende niveaus toe te passen en neemt af door het verwachte warmteaanbod uit lokale (potentiële) bronnen (zie de bijlage voor meer achtergrondinformatie en uitleg van deze principes). Waar gemeenten voor bepaalde buurten een warmtestrategie verwachten die afwijkt van de uitkomsten van het Vesta-Mais Model gaan wij uit van de opgave van de gemeenten. Dit kan zowel tot een verhoging als ook een verlaging van de nettovraag uit een transportnet leiden ten opzichte van de modelberekeningen.

4.2.2.3 Ontwerpen van transportinfrastructuur (stap 2)

De tweede stap bepaalt de topologie en de benodigde CAPEX investering voor aanleg van het optimale netwerk, per scenario (met eventueel enkele alternatieven per scenario). De transportinfrastructuur is gebaseerd op een raamwerk van mogelijke transportleidingen, dat is afgestemd met de provincie en gemeenten in Zuid-Holland. Daarnaast is nuttig gebruik gemaakt van de ervaring van Gasunie met het inschatten van de haalbaarheid van tracés. Het optimale netwerk per scenario wordt door een optimalisatiealgoritme bepaald, dat minimaliseert op kosten.

4.2.2.4 Berekenen van transportkosten (stap 3)

De derde stap bestaat uit een nauwkeuriger berekening van de benodigde investering voor de optimale netwerken voor elk scenario, zoals bepaald in stap 2. Daarnaast worden inschattingen gemaakt van de operationele kosten voor elk netwerk. Samen met een rendementseis tellen deze kosten op tot de basis transportkosten. Tijdens de eerste iteratie wordt in stap 1 een schatting van de transportkosten gebruikt, zoals beschreven bij stap 0.

Na het voltooien van stap 3 wordt gecontroleerd of de berekende transportkosten grofweg overeenkomen met kosten die zijn gebruikt voor het

bepalen van de potentiële vraag. Wanneer de berekende transportkosten te sterk afwijken wordt stap 1 opnieuw uitgevoerd met de laatst berekende transportkosten.

4.2.2.5 Verificatie van warmte-aanbod (stap 4)

Nadat de vraag naar warmte uit een regionaal warmtetransportnetwerk berekend is voor elk van de vier scenario's, inclusief een initiële inschatting van de bronnen waar deze warmte vandaan komt, is het nodig om te verifiëren dat het benodigde warmte-aanbod ook daadwerkelijk geleverd kan worden door restwarmtebronnen in Zuid-Holland, en voor welke prijs per GJ.

4.2.3 Fase 2: Selecteren van stepping stones

In fase 1 wordt in meerdere iteraties voor ieder scenario een optimaal transportsysteem bepaald, waarbij de uitgangspunten steeds worden aangepast o.b.v. inzichten uit de voorgaande berekeningen. In fase 2 worden *stepping stones* gedestilleerd uit de verschillende topologievarianten, die qua kosten en benutting in elk scenario gunstig uitkomen, en die daarnaast gunstig scoren op haalbaarheidsfactoren zoals draagvlak en verwachte volloopsnelheid. Een op deze wijze ontworpen transportsysteem waarin ook overige externe factoren meegenomen worden geeft het meest haalbare en rendabele toekomstbeeld. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar het "ideale eindbeeld", maar wordt daarnaast ook rekening gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van de bestaande situatie en het gegeven dat er nog veel onzekerheden zijn die grote invloed hebben op de verdere ontwikkeling van een transportsysteem.

In fase 1 is voor ieder scenario onderzocht welke topologie het beste zou passen bij de omstandigheden van dat scenario. In fase 2 is voor één topologie bepaald hoe die zou functioneren in ieder van de scenario's.

4.2.4 Verantwoording

4.2.4.1 Informatiebronnen

De benodigde data voor het iteratief ontwerp zijn afkomstig uit onafhankelijke informatiebronnen, die in de bijlage genoemd worden onder de kopjes 'Input' van elke stap. Samengevat worden de volgende informatiebronnen gebruikt voor deze analyse:

- Vesta-Mais model
- PBL Startanalyse 2019 en 2020 (2020 vanaf sprint 2)
- Buurtdata uit CBS
- Opgaven van gemeenten voor de buurten waarvoor de gemeenten een bepaalde warmteoplossing voorzien.
- WarmtelinQ business case
- Raamwerk van transportnetwerk, afgestemd met RES werkgroepen
- AIMMS optimalisatiesoftware pakket inclusief CPLEX solver algoritme

4.2.4.2 Validatie van werkwijze en resultaten

De werkwijze en resultaten zijn in eerste instantie gevalideerd middels een peer review binnen de werkgroep van het Integraal Ontwerp. De onafhankelijkheid van deze werkwijze is gewaarborgd door externe reviews door onafhankelijke partijen, zoals de RES werkgroepen, CE Delft en de werkgroep Infrastructuur

Outlook 2050. De werkwijze in algemene zin, en specifiek de uitbreiding op het Vesta-MAIS model, zijn gevalideerd middels een review door PBL.

4.3 Uitgangspunten

4.3.1 Algemene uitgangspunten

De belangrijkste algemeen geldende uitgangspunten worden vermeld in paragraaf 1.2.2. Voor een uitgebreidere toelichting op de uitgangspunten verwijzen we naar de bijlage.

Voor het uitrekenen van de transportkosten per MW is grotendeels uitgegaan van de WarmtelinQ business case, met aanpassingen t.b.v. de vergelijkbaarheid o.b.v. nationale kosten met andere strategieën uit de startanalyse. Zo zijn inflatie, belastingen en subsidies buiten beschouwing gelaten. Tevens is de projectperiode op 30 jaar gezet, met een investeringsperiode van twee jaar en een operationele periode van 28 jaar. Het aangenomen rendementspercentage is conform nationale kosten 3,0%. Dit reflecteert niet per definitie de uitgangspunten van de WarmtelinQ business case.

De CAPEX aannames zijn gebaseerd op kentallen. Deze kentallen vertegenwoordigen een all-in bedrag per meter voor het ontwerp, materiaal en aanleg van een warmtetransportnet. Elke diameter kent zijn eigen prijs, waarbij tevens een opslag is toegekend voor tracés in stedelijk gebied of met hoge mate van kronkeling. Voor pompstations is als uitgangspunt gehanteerd dat de maximale leidinglengte tussen twee pompstations 20 km bedraagt.

Voor de operationele kosten zijn de volgende onderdelen meegenomen in de berekening: pompenenergie, warmteverlies, onderhoud en overhead. Er is aangenomen dat vervangingen binnen de kosten voor onderhoud kunnen worden gerealiseerd.

4.3.2 Uitgangspunten die per scenario verschillen

Zoals eerder beschreven verschillen de scenario's. De onderscheidende factoren zijn de prijs van restwarmte, de mate van coördinatie tussen vraag, aanbod en infrastructuuraanleg en de mate van voordeeldelen. Hieronder wordt kort beschreven hoe deze factoren verschillen per scenario.

4.3.2.1 Kosten van restwarmte

Voor de twee scenario's met dure restwarmte is 7.50 €/GJ gehanteerd als kostprijs van restwarmte, voor de twee scenario's met goedkope restwarmte 4.50 €/GJ.

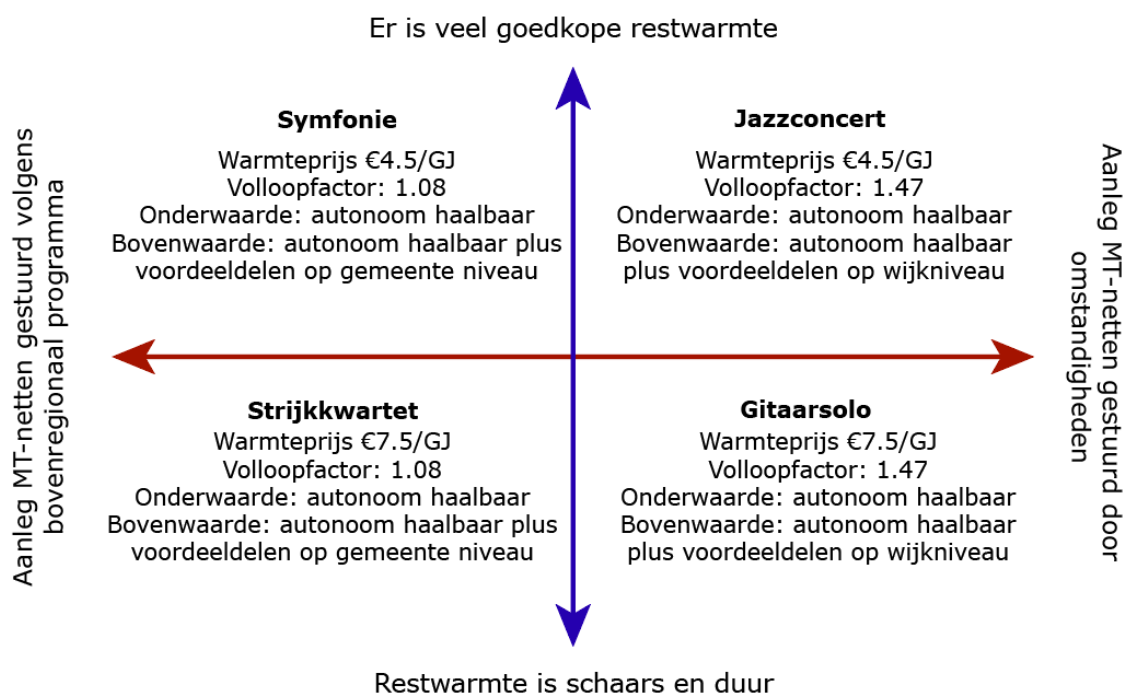
4.3.2.2 Mate van coördinatie van vraag, aanbod en infrastructuuraanleg

De mate van coördinatie en samenwerking tussen alle betrokken partijen met betrekking tot het afstemmen van warmtevraag- en aanbod en de bijbehorende aanleg van infrastructuur komt op twee manieren in de modellering tot uitdrukking.

Allereerst is er gebruik gemaakt van de *volloopfactor*. Dit is een factor waarmee de basis transportkosten worden vermenigvuldigd. De volloopfactor is zodanig berekend dat de kosten van het (tijdens de vollooperperiode) ongebruikte deel van het transportsysteem worden meegerekend in de transportkosten per eenheid

capaciteit. De onderliggende aanname hierbij is dat de mate van samenwerking en coördinatie bepalend is voor de lengte van de periode tussen aanleg en volledige benutting van het transportsysteem. Als alles perfect op elkaar aansluit, dan is de periode waarin de transportinfrastructuur maar deels wordt gebruikt korter dan wanneer er weinig sprake is van (bovenregionale) afstemming. Bij een volloopduur van 15 jaar (weinig coördinatie) is de volloopfactor 1.47, bij 5 jaar (veel coördinatie) 1.08.

Daarnaast komt coördinatie en samenwerking tussen alle betrokken partijen tot uiting in de mate van voordeeldelen. Bij een hoge mate van coördinatie wordt voordeeldelen per gemeente toegepast, bij een lage mate van coördinatie per wijk.



Figuur 22: Scenario-afhankelijke factoren.

4.3.3 Beperkingen t.g.v. gehanteerde uitgangspunten en gebruikte gegevens

Voor deze studie gehanteerde uitgangspunten en gebruikte gegevens kunnen ertoe leiden dat de (tussen)resultaten ervan afwijken van de realiteit. De belangrijkste hiervan zijn:

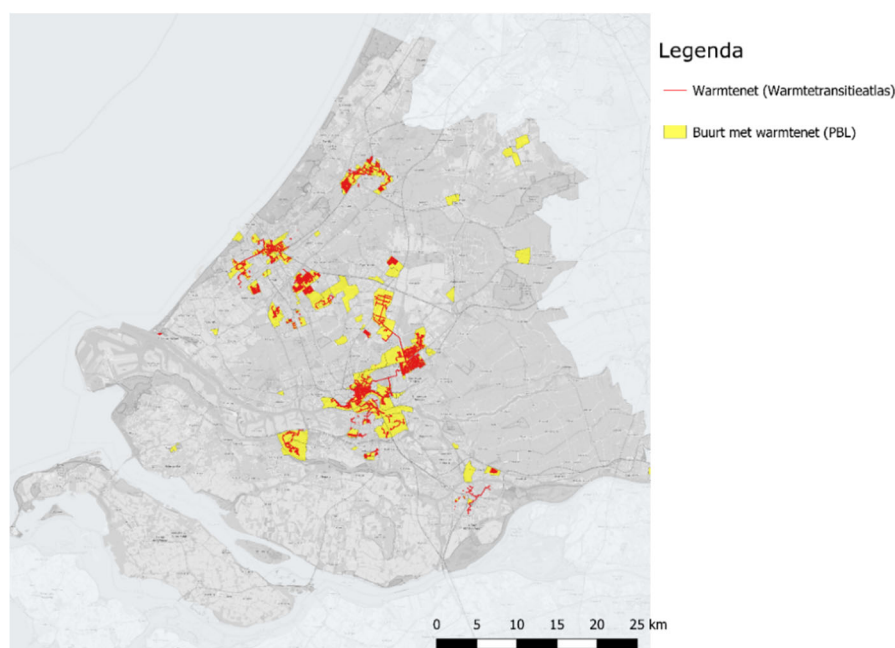
- De aanname is dat er in alle scenario's voldoende restwarmte beschikbaar is om de vraag hiernaar te vervullen, gegeven de warmteprijs per scenario: prijselasticiteit van het aanbod is genegeerd.
- Waarde van transport voor glastuinbouw is onbekend. Gewenst vermogen is nagenoeg gelijk tussen de scenario's (~400MW). Betalingsbereidheid en prijselasticiteit van de glastuinbouw-vraag zijn onbekend.
- Economische haalbaarheid is veruit de belangrijkste factor in deze studie. Andere maatschappelijke factoren kunnen in de praktijk een grote(re) rol spelen. Bovendien is gerekend met nationale kosten: herverdeling van

kosten en baten kan nodig zijn. Dit geldt overigens niet alleen voor warmtenetten maar ook voor de alternatieven.

- Er is gerekend met nationale kosten voor de gehele voorzieningsketen. Dit betekent o.a. dat belastingen, subsidies en de verdeling van kosten en baten over de keten niet zijn meegenomen terwijl deze wel degelijk een significante invloed kunnen hebben op het wel of niet tot stand komen van de betreffende voorzieningsketen of de keuze tussen verschillende vormen van verwarmen.
- Er is aangenomen dat bestaande transportleidingen volledig ter beschikking staan van de gehele warmtevoorziening in Zuid-Holland. De kosten van toekomstig gebruik van bestaande transportleidingen zijn wel meegenomen, maar er is geen rekening gehouden met de realiteit dat deze leidingen eigendom zijn van marktpartijen die deze leidingen gebruiken in hun dagelijkse bedrijfsvoering en om welke reden dan ook de betreffende leiding op een andere manier willen of moeten gebruiken dan het in deze studie aangenomen "optimaal gebruik". Daarnaast zijn door de eigenaren gedragen risico's genegeerd.
- Bij alle ontwerpen en berekeningen is ervan uitgegaan dat transportsystemen worden ingezet voor basislast. De hierbij gehanteerde vuistregel voor het benodigde basislastvermogen (30% van het piekvermogen) is vastgehouden, ongeacht het gebruik van de betreffende leiding. In de praktijk zal het (meestal) economisch aantrekkelijker zijn om een groter aandeel dan 30% van het maximale vermogen uit de basislastvoorziening te betrekken, als de investering eenmaal is gedaan. De twee belangrijkste gevolgen van het vaste vermogensaandeel zijn dat 1) de huidige benutting van bestaande leidingen (dus o.b.v. bestaande vraag) waarschijnlijk niet overeenkomt met de realiteit en 2) de geschatte maatschappelijke waarde van deels onbenutte leidingen mogelijk wordt onderschat.
- Bij de zoektocht naar een "optimale klimaatneutrale en aardgasvrije warmtevoorziening" is klimaatneutraal en aardgasvrij een harde randvoorwaarde. Vervolgens is bij de optimalisatie primair gekeken naar de nationale kosten. Waar beschikbaar is (lokale) informatie over bijvoorbeeld inpasbaarheid meegenomen, maar de studie rust in hoge mate op economische afwegingen en factoren als (lokaal) draagvlak zijn niet meegenomen. Dit heeft tot gevolg dat opties die in deze studie als 'optimaal' worden bestempeld in werkelijkheid niet uitvoerbaar kunnen zijn. NB: dit geldt niet alleen voor opties gebaseerd op warmtenetten, maar voor *alle* opties. Het is niet goed aan te geven of dit tot een onder- of juist overschatting van de potentie van warmtenetten o.b.v. een transportsysteem leidt.
- De gegevens van PBL (Startanalyse 2020 en de hiervoor gebruikte data) vormen de basis van deze studie. Er is zoveel mogelijk informatie ingewonnen bij RES-regio's, gemeenten en andere (publieke) verbanden.
- Vanwege commerciële gevoeligheden is het beperkt mogelijk om informatie in te winnen bij relevante marktpartijen. Afwijkingen tussen de gehanteerde gegevens en de werkelijkheid zijn niet uitgesloten.

5 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven die zijn behaald met de methode en uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 4. Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van de verwachte vraag (5.1) en het aanbod (5.2) in Zuid-Holland. De kern van de resultaten is beschreven in 5.3, beginnend met een overzicht van de bestaande transportleidingen in Tabel 5 en de berekende potentie voor verdere volloop van bestaande transportleidingen in Tabel 6 en Figuur 27. Hierop volgt het ontwikkelingspotentieel voor warmtenetten bij realisatie van WarmtelinQ inclusief de leiding naar Leiden in Tabel 8 en Figuur 30. Vervolgens worden stappen voorgesteld die na WarmtelinQ de verdere potentie van vraag en aanbod in Zuid-Holland met elkaar verbinden, in Tabel 10 en Figuur 32. Deze ontwikkelstappen samen vormen een eindbeeld voor warmtetransport in Zuid-Holland dat is samengevat in Tabel 12 en Figuur 34. De resultatensectie wordt afgesloten met een aantal sensitiviteitsanalyses in 5.4 en een vergelijking van toekomstbeelden inclusief vs. exclusief WarmtelinQ in 5.5.



Figuur 23. Bestaande stadswarmtenetten in Zuid-Holland.²⁸

5.1 Vraag

De vraag naar warmte kan worden onderverdeeld in vraag die wordt ingevuld d.m.v. warmtenetten en vraag die wordt ingevuld door individuele technieken zoals gasgestookte cv-ketels en warmtepompen. In dit rapport wordt met “vraag” bedoeld: het gedeelte van de totale warmtevraag dat d.m.v. HT- of MT-warmtenetten wordt ingevuld.

Vraag wordt uitgedrukt als woningequivalent of als megawatt. Een *woningequivalent* (WEQ) is de hoeveelheid warmte (in GJ) die een gemiddelde woning verbruikt in een jaar. In dit rapport is de WEQ bepaald op buurniveau, in lijn met de Startanalyse.

²⁸ Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse.
Kaart: OpenStreetMap.

Wanneer in dit rapport vraag wordt uitgedrukt in megawatt (MW), dan wordt hiermee bedoeld op het thermisch vermogen dat benodigd is om een MT-warmtenet in het betreffende gebied te voorzien van *basislastwarmte* (zie 2.4.2 voor uitleg van het begrip basislast).

5.1.1 Bestaande vraag

In Figuur 23 worden de bestaande warmtenetten in Zuid-Holland weergegeven d.m.v. rode lijnen. Buurten die geheel of gedeeltelijk worden verwarmd met een warmtenet zijn geel gekleurd.

In Tabel 2 wordt voor de bestaande warmtenetten in Zuid-Holland het basislastvermogen gegeven voor de belangrijkste regio's. NB: De vermogens in Tabel 2 zijn berekend op de wijze waarop ook het vermogen voor te ontwikkelen warmtenetten is berekend.

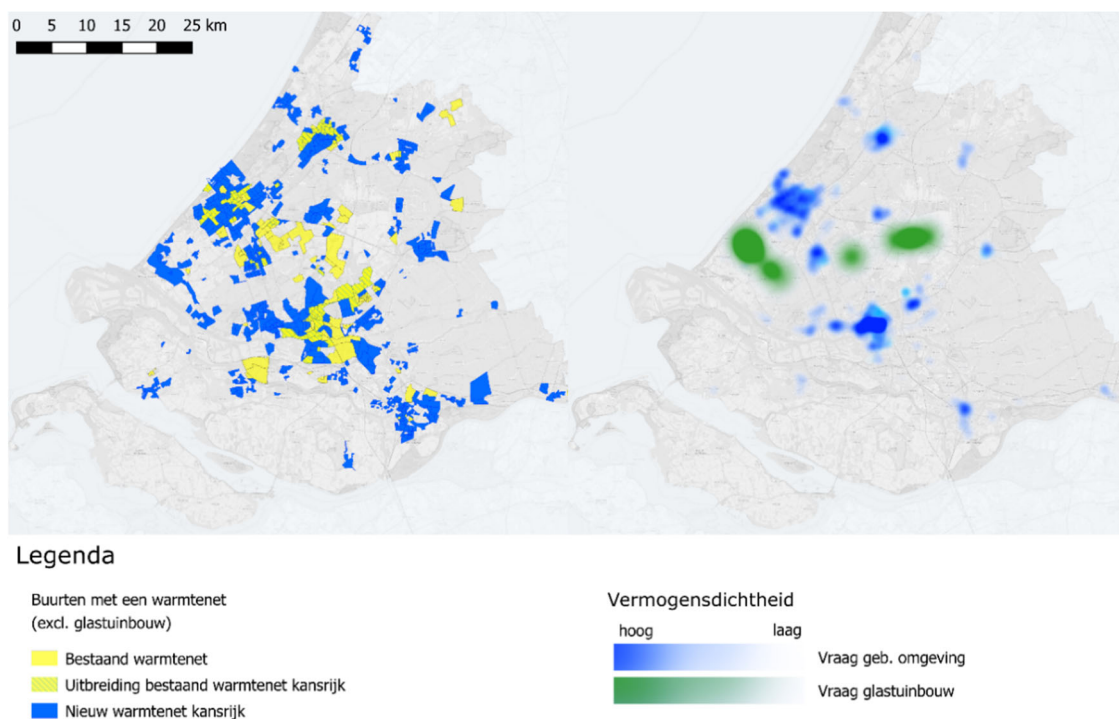
Deze waarden kunnen daarom afwijken van bekende gegevens.

Tabel 2. Basislastvermogen in MW van bestaande warmtenetten per regio (eigen berekening o.b.v. data PBL).

Regio	Basislastvermogen
Rotterdam e.o.	170 MW
Den Haag	65 MW
Leiden e.o.	25 MW
Overig	20 MW

5.1.2 Toekomstige vraag

In dit rapport wordt met "toekomstige vraag" bedoeld: het gedeelte van de totale *toekomstige* warmtevraag dat d.m.v. HT- of MT-warmtenetten wordt ingevuld. Dit betreft zowel bestaande als nog te realiseren warmtenetten.



Figuur 24. Toekomstverwachting voor warmtenetten in Zuid-Holland.²⁹

Links: Per buurt, alleen gebouwde omgeving. Rechts: Vermogensdichtheid, incl. glastuinbouw.

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

²⁹ Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse.
Kaart: OpenStreetMap.

In Figuur 24 wordt de *verwachte* toekomstige vraag weergegeven. Op de linker kaart zijn buurten met een bestaand warmtenet geel gekleurd en buurten waar een toekomstig warmtenet kansrijk³⁰ is blauw. Op de rechterkaart is de vermogensdichtheid van de verwachte toekomstige vraag weergegeven d.m.v. een *heatmap*. Blauwe vlekken geven gebieden aan waar de vermogensdichtheid van de vraag naar warmte voor de gebouwde omgeving hoog is, groene vlekken geven hetzelfde aan, maar dan voor de glastuinbouw.

De kaarten bevatten de berekende vraag voor buurten waar een MT-warmtenet naar verwachting de laagste nationale kosten kent, ongeacht de bron waarmee dat net wordt gevoed. Het hoeft niet te betekenen dat dit voor iedere blauw gekleurde buurt de meest kansrijke oplossing is.

5.2 Aanbod

Om de bestaande en nieuwe vraagclusters te voeden moeten er voldoende bronnen zijn, die bovendien betaalbaar genoeg zijn om uit te koppelen en te transporteren zijn naar de vraagclusters. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van aanbodclusters en hun (geschatte) vermogens beschikbaar om uit te koppelen. Deze verwachte aanbodclusters zijn op de kaart weergegeven in Figuur 25.

Verduurzaming van sectoren als elektriciteit of afvalverwerking kan gevolgen hebben voor de toekomst van bestaande warmtebronnen (zie hoofdstuk 2). Echter, het type industrie in het Rotterdamse havengebied zal ook restwarmte produceren als deze industrie volledig is overgestapt op duurzame grondstoffen en efficiëntere bedrijfsvoering. Het ontstaan van warmte is in veel gevallen inherent aan het gemaakte product.

Een extra aandachtspunt zijn bestaande aardgasgestookte bronnen, zoals de stadscentrales in Rotterdam / Capelle, Den Haag en Leiden, eigendom van Uniper en enkele STEG's in het havengebied. Omdat een aardgasvrije gebouwde omgeving het uitgangspunt is, zijn deze STEG's niet meegenomen als warmtebron voor de eindsituatie. Als er zicht komt op verduurzaming van genoemde bronnen dan zal dit gegeven moeten worden meegenomen in een volgend ontwerp.

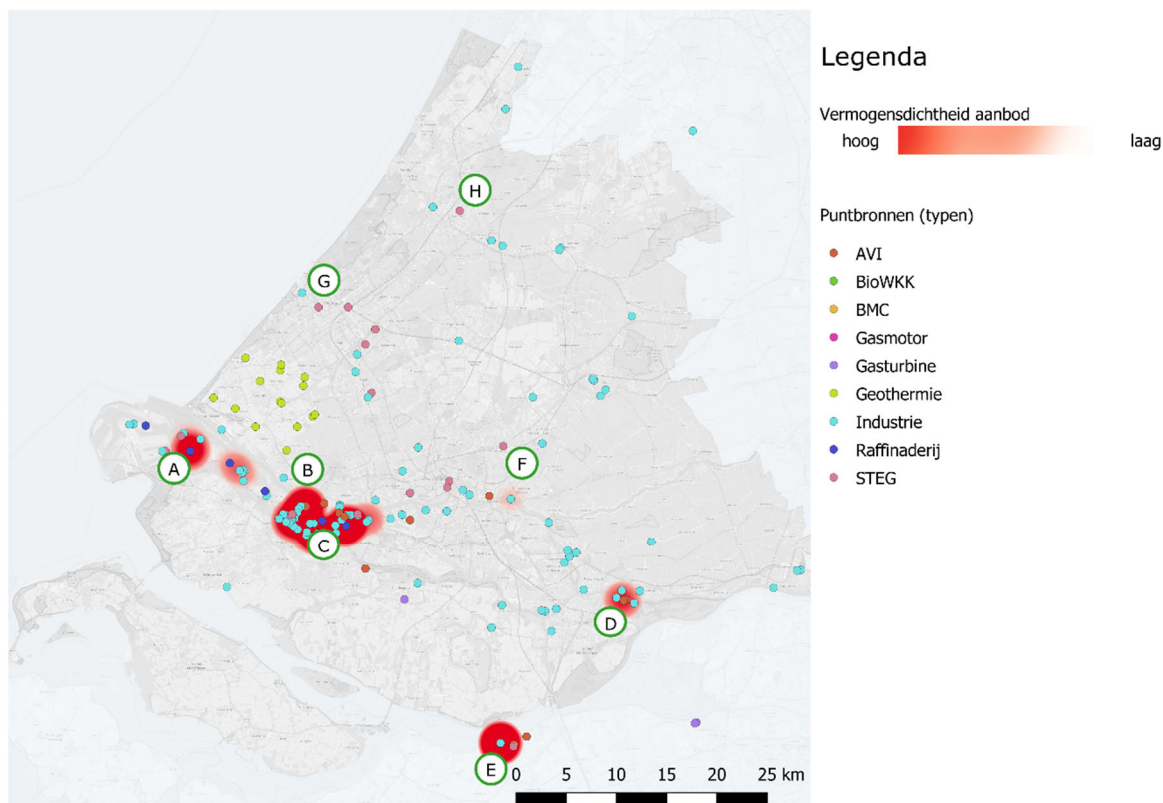
Tabel 3. Overzicht van aanbod van (rest)warmte per cluster

Cluster	Type bron	Vermogen (MW)
A: Westelijk havengebied	Restwarmte	0 – 450 (nu 0)
B: Rozenburg	Afvalverbranding	350 – 450 (nu ~120)
C: Vondelingenplaat	Restwarmte + STEG ¹ /Aftapwarmte	200 – 550 (nu 0)
D: HVC	Afvalverbranding	70 (nu ~15)
E: Moerdijk	Restwarmte	0 – 175 (nu 0)
F: Uniper RoCa – Eneco	STEG ¹	0 – 180 (nu ~90)
G: Uniper Den Haag – Eneco	STEG ¹	0 – 70* (nu ~50)
H: Uniper Leiden – Vattenfall	STEG ¹	0 – 40* (nu ~40)

¹ Berekeningen zijn uitgevoerd met STEG's op 0 MW. Zie tekst voor toelichting.

³⁰ Buurten waar de strategie met laagste nationale kosten is gebaseerd op een MT-warmtenet

Naast genoemde STEG's staan op de Uniper locaties ook piek- en back-upbronnen, pompen, buffers en andere installaties die essentieel zijn voor de distributienetten. Deze vallen buiten de gehanteerde scope van het te ontwerpen warmtetransportsysteem, maar het is wel goed om te vermelden dat genoemde locaties een belangrijke functie in de warmteketen vervullen en dat in de toekomst ook kunnen doen, mogelijk ook voor nieuw aan te leggen warmtenetten in het betreffende gebied.



Figuur 25. Bronnen van restwarmte. De "heatmap" geeft de vermogensdichtheid aan.

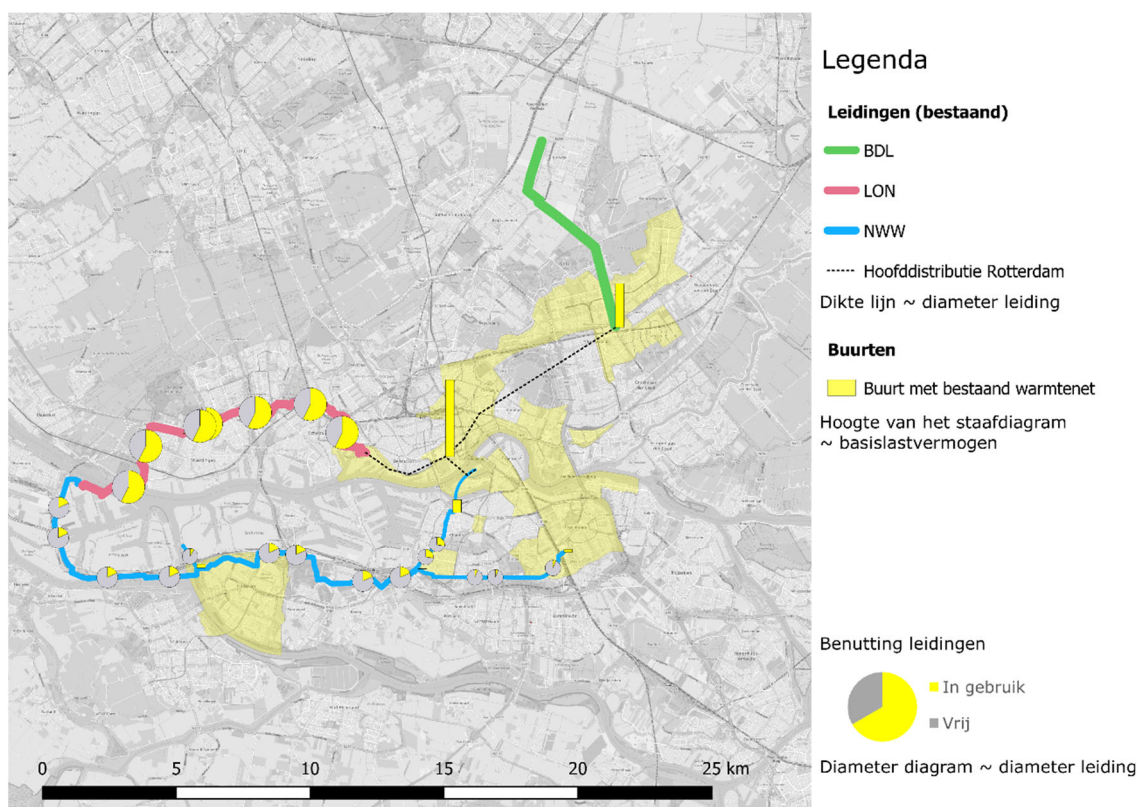
Bronnen: Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

5.3 Transportinfrastructuur

5.3.1 Bestaande transportleidingen

Om te bepalen hoe de toekomstige transportinfrastructuur vraag en aanbod aan elkaar kan verbinden, is het belangrijk om eerst naar de bestaande infrastructuur te kijken. Er zijn op dit moment drie grote transportnetten aanwezig in Zuid-Holland: de Nieuwe Warmteweg (DNWW), de Leiding over Noord (LoN) en de B-driehoekleiding³¹ (BDL). De belangrijkste gegevens van deze bestaande leidingen – zoals in deze studie gehanteerd – staan in Tabel 4. In Figuur 26 worden deze bestaande warmtetransportleidingen geografisch weergegeven, samen met de bestaande distributienetten.

³¹ De B-driehoekleiding levert warmte aan de driehoek Bergschenhoek – Berkel en Rodenrijs – Bleiswijk. De leiding staat ook bekend als de RoCa leiding, omdat deze wordt gevoed vanuit de RoCa centrale, een STEG op de grens van Rotterdam en Capelle a.d. IJssel.



Figuur 26. Berekend gebruik van bestaande transportleidingen.

Noot: er waren onvoldoende gegevens voorhanden om het gebruik van de B-driehoekleiding te berekenen
Bronnen: Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

Figuur 26 toont buurten met een bestaand warmtenet in geel gemarkeerd. Op de bestaande leidingen zijn taartdiagrammen te zien met de benuttingsgraad van deze leidingen, waarbij het gele gedeelte benut is voor levering aan de bestaande warmtenetten³². De grijze taartpunten geven aan welk deel van de transportcapaciteit van elke leiding nog beschikbaar is, samengevat in Tabel 4.

Tabel 4. Gegevens bestaande transportleidingen

Leiding	Diameter	Berekend gebruik* t. b.v. bestaande netten in MW	Beschikbaar voor groei	Max. vermogen*
Leiding over Noord (Eneco)	DN700	144**	104	248 MW
Nieuwe Warmteweg (WBR)	DN500/ DN400	23 79	102 MW	
B-driehoek-leiding (Uniper)	DN800	Gebruik onbekend		331 MW

*Details vermogensberekening: zie bijlage

** Het getoonde vermogen is inclusief de volledige vraag in Capelle a.d. IJssel, met de lokale productie van de RoCa centrale op nul gesteld. Het werkelijk door deze centrale geleverde vermogen is onbekend, maar niet nul.

Alle vermogens zijn berekend volgens de gehanteerde uitgangspunten voor vermogensvraag per buurt en het aandeel basislast, o.b.v. gegevens van PBL.

³² Het voor bestaande warmtenetten berekende basislastvermogen per buurt is toegewezen aan de dichtstbijzijnde transportleiding. De verdeling van het vermogen over de invoedende bronnen is geschat. Het resterend beschikbare transportvermogen per leidingdeel is berekend door de benutte vermogens af te trekken van het maximale vermogen dat is berekend o.b.v. bekende leidingdiameters.

In Tabel 5 is het berekende gebruik van de bestaande transportleidingen weergegeven per (deel van het) verzorgingsgebied.

Tabel 5. Berekend gebruik van bestaande transportleidingen



Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (WEQ x 1000)		Bestaande distributienetten	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
Leiding over Noord (Eneco)	388	358	81	144
Vlaardingen LoN*	42	36	0	1
Schiedam	46	42	0	0
Rotterdam Noord	252	241	70	126
Capelle a/d IJssel	37	32	11	17
Nieuwerkerk a/d IJssel e.o.	11	7	0	0
Nieuwe Warmteweg (WBR)	168	126	14	23
Rotterdam Zuid	143	118	14	23
Barendrecht	25	8		

*Vlaardingen is hier enigszins arbitrair opgesplitst in een gebied verzorgd vanuit de LoN en een vanuit WLQ te beleveren gebied.

In deze tabel staat alleen het gedeelte van Vlaardingen dat aan de LoN is toebedeeld.

Zie begeleidende tekst voor kanttekeningen bij deze tabel. Brongegevens: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse.

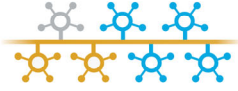
Bij de gegevens in Tabel 5 zijn enkele belangrijke kanttekeningen te maken. Allereerst zijn de vermogens *berekend*; er is geen gebruik gemaakt van informatie van de eigenaar of operator van de leidingen. De gehanteerde toewijzing van buurten en de berekende vermogens per buurt kunnen afwijken van de realiteit. Ten tweede worden de transportleidingen op dit moment waarschijnlijk ook gebruikt voor warmte die o.b.v. de in deze studie gehanteerde uitgangspunten³³ als midden- en/of pieklast wordt beschouwd.

Daarnaast is er een belangrijk aandachtspunt voor Capelle a.d. IJssel en omgeving. Capelle a.d. IJssel ligt niet direct aan de Leiding over Noord. Warmte vanuit de LoN wordt door het (hoofd)distributienet van Eneco naar Capelle a.d. IJssel vervoerd. Hier komt nog bij dat de bestaande warmtenetten in Capelle a.d. IJssel ten dele worden gevoed vanuit de RoCa centrale. Op basis van de beschikbare informatie is het niet mogelijk gebleken om een goede inschatting te maken van het gebruik van de Leiding over Noord t.b.v. de warmtenetten in Capelle a.d. IJssel en de mate waarin nieuwe netten aldaar vanuit de Leiding over Noord gevoed kunnen worden.

Zoals uit Tabel 5 en Figuur 26 blijkt worden de bestaande transportleidingen (nog) niet volledig benut t.b.v. basislastvraag. De leidingen bieden nog potentieel voor uitbreiding van bestaande en aanleg van nieuwe distributienetten. Dit potentieel is voor Rotterdam en omstreken weergegeven in Figuur 27 en Tabel 6.

³³ Nadere toelichting hierover in bijlage 0

Tabel 6. Berekend potentieel voor nieuwe distributienetten o.b.v. bestaande transportleidingen



Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (WEQ x 1000)		Potentieel voor nieuwe distributienetten	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
Leiding over Noord (Eneco)	388	358	78	104
Vlaardingen LoN*	42	36	9	10
Schiedam	46	42	11	15
Rotterdam Noord	252	241	58	78
Capelle a/d IJssel	37	32	0	0
Nieuwerkerk a/d IJssel e.o.	11	7	0	1
Nieuwe Warmteweg (WBR)	168	126	69	83
Rotterdam Zuid	143	118	65	75
Barendrecht	25	8	4	8

*Vlaardingen is hier enigszins arbitrair opgesplitst in een gebied verzorgd vanuit de LoN en een vanuit WLQ te belevende gebied.

In deze tabel staat alleen het gedeelte van Vlaardingen dat aan de LoN is toebedeeld.

Zie begeleidende tekst voor kanttekeningen bij deze tabel. Brongegevens: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse.

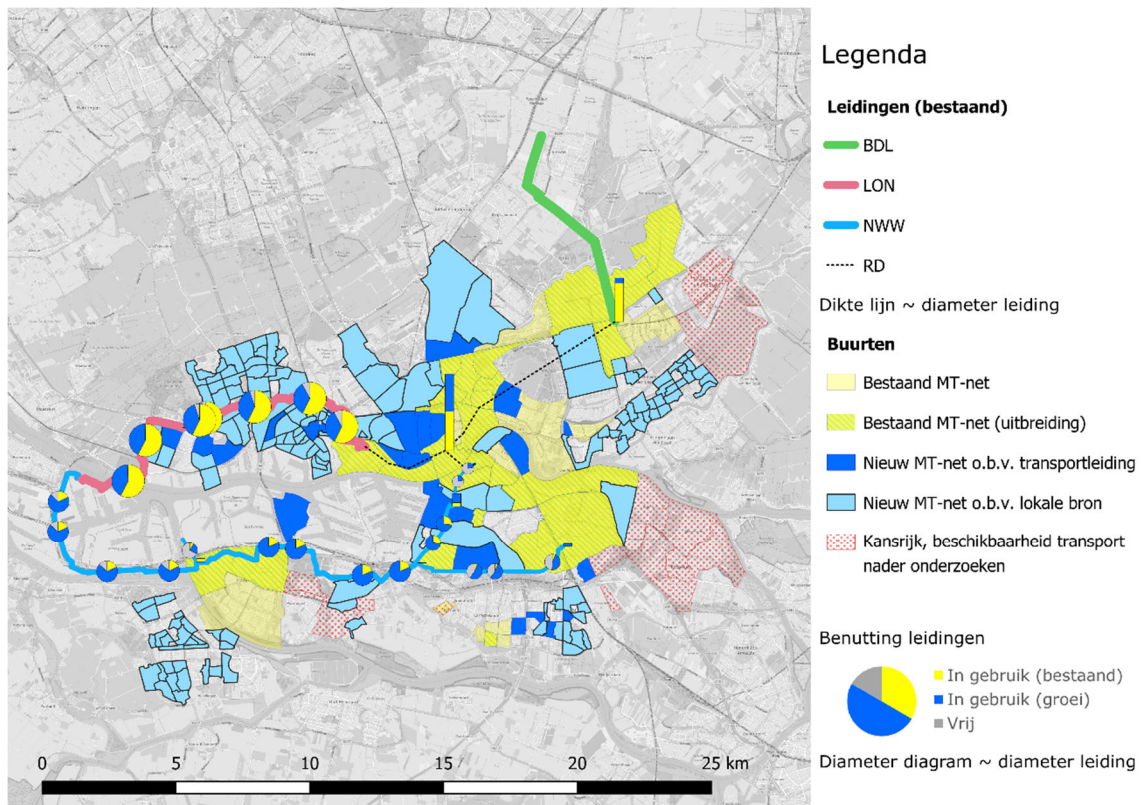
In Tabel 6 wordt in cijfers weergegeven welk deel van de totale opgave voor de betreffende gebieden kan worden ingevuld d.m.v. uitbreiding van bestaande en aanleg van nieuwe warmtenetten, die gevoed worden vanuit bestaande transportleidingen. Per verzorgingsgebied³⁴ wordt de totale opgave in woningequivalenten aangegeven en het gedeelte hiervan waarvoor volgens de analyse een MT-warmtenet de laagste kosten kent.

In Figuur 27 zijn buurten met een bestaand warmtenet en de benutting van de transportleidingen hiervoor op dezelfde wijze berekend en weergegeven als in Figuur 26. Daarnaast wordt in de blauwe taartpunten het transportvermogen getoond dat nodig is voor uitbreiding van bestaande netten (blauw-geel gearceerde buurten) en nieuw te ontwikkelen warmtenetten (blauwe buurten).

Voor buurten die lichtblauw zijn ingekleurd heeft een MT-warmtenet o.b.v. een lokale bron (in de meeste gevallen geothermie, in enkele gevallen TEO³⁵) volgens de berekeningen de laagste nationale kosten, dus lager dan een MT-net o.b.v. warmte uit het transportsysteem. Deze buurten kunnen desalniettemin – al dan niet tijdelijk – warmte afnemen uit het transportsysteem, afhankelijk van daadwerkelijke haalbaarheid en kosten, fasering en eventuele optimalisatie van het gehele ecosysteem van distributienetten, lokale bronnen en transportsysteem met centrale bronnen.

³⁴ Verzorgingsgebied: gebied waarbinnen een distributienet aangesloten zou kunnen worden op de betreffende transportleiding.

³⁵ Thermische Energie uit Oppervlaktewater



Figuur 27. Potentieel voor nieuwe distributienetten op basis van bestaande Rotterdamse transportleidingen.

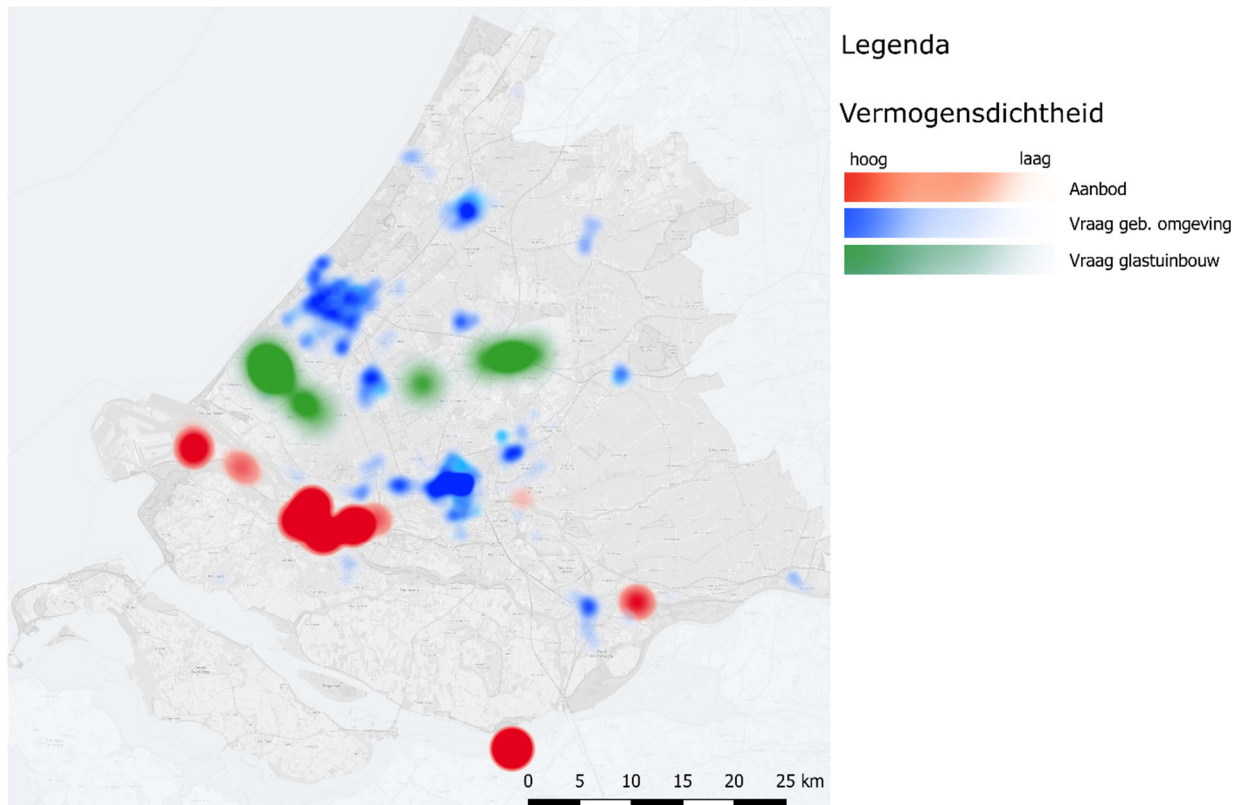
Bronnen: Startanalyse 2020 (PBL); Warmtetransitieatlas; eigen analyse
 Kaart: OpenStreetMap
 NB: zie begeleidende tekst voor kanttekeningen bij deze figuur.

Voor Figuur 27 en Tabel 6 gelden dezelfde kanttekeningen als voor Figuur 26 en Tabel 5. Met de beschikbare informatie is de groeimogelijkheid voor warmtenetten in Capelle a.d. IJssel o.b.v. bestaande transportleidingen niet goed in te schatten. Hierom wordt hier geen potentieel weergegeven in de tabel. Dat betekent echter niet dat groei uitgesloten is. Het potentieel zal nader moeten worden onderzocht i.o.m. Eneco, eigenaar van Leiding over Noord en het distributienet in Rotterdam Noord. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden met de toekomstverwachtingen voor de RoCa locatie – eigendom van Uniper – waar op dit moment een STEG staat die fungeert als bron voor de stadsverwarming.

Tot slot is het belangrijk om bij besluitvorming over nieuwe warmtenetten en uitbreiding van bestaande warmtenetten o.b.v. bestaande transportleidingen rekening te houden met de toekomstverwachtingen van de bronnen die op deze leidingen zijn aangesloten of in de toekomst aangesloten kunnen worden.

5.3.2 Nieuw aan te leggen transportleidingen

De toekomstige behoefte aan transport wordt bepaald door de vraag en aanbod *in de toekomst*. Wanneer de vraag als leidend wordt gezien wordt de transportbehoefte bepaald door de hoeveelheid beschikbare warmte en de totale kosten van uitkoppeling en transport. Voor de vier gehanteerde scenario's lopen deze totale kosten sterk uiteen en als gevolg hiervan ook de potentiële behoefte aan transport.



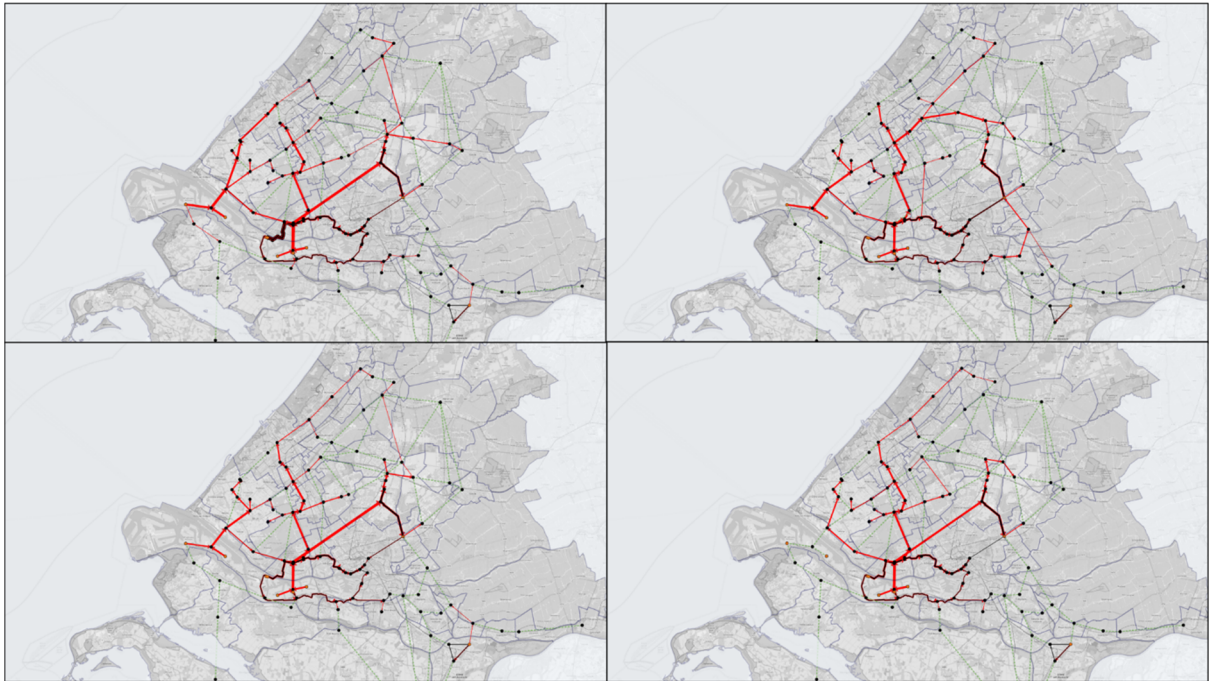
Figuur 28. Toekomstverwachting vraag en aanbod als basis voor de transportbehoefte.

Bronnen: Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

In Figuur 28 worden vraag en aanbod samen op één kaart getoond in de vorm van een heatmap. Een ideaal transportsysteem verbindt de rode vlekken met de groene en blauwe vlekken op een zodanige manier dat de totale kosten minimaal zijn.

5.3.2.1 Optimale transportsystemen per scenario

Meerdere keren is voor ieder scenario een optimaal transportsysteem bepaald met het optimalisatiealgoritme dat minimaliseert op kosten, waarbij de uitgangspunten steeds werden aangepast o.b.v. inzichten uit de voorgaande berekeningen. Ter illustratie worden in Figuur 29 op deze manier bepaalde netwerken getoond voor de vier scenario's.



Figuur 29. Uiteenlopende transportnetwerken voor de 4 scenario's (tussenresultaat, enkel ter illustratie).

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

Uit analyse van de resultaten na meerdere iteraties bleek dat de topologie van het als optimaal berekende netwerk per scenario sterk verschilt. Kleine wijzigingen in vraag en aanbod kunnen leiden tot grote veranderingen in de optimale topologie. Tegelijkertijd verschillen de kosten per MW transportvermogen van dergelijke topologievarianten betrekkelijk weinig.

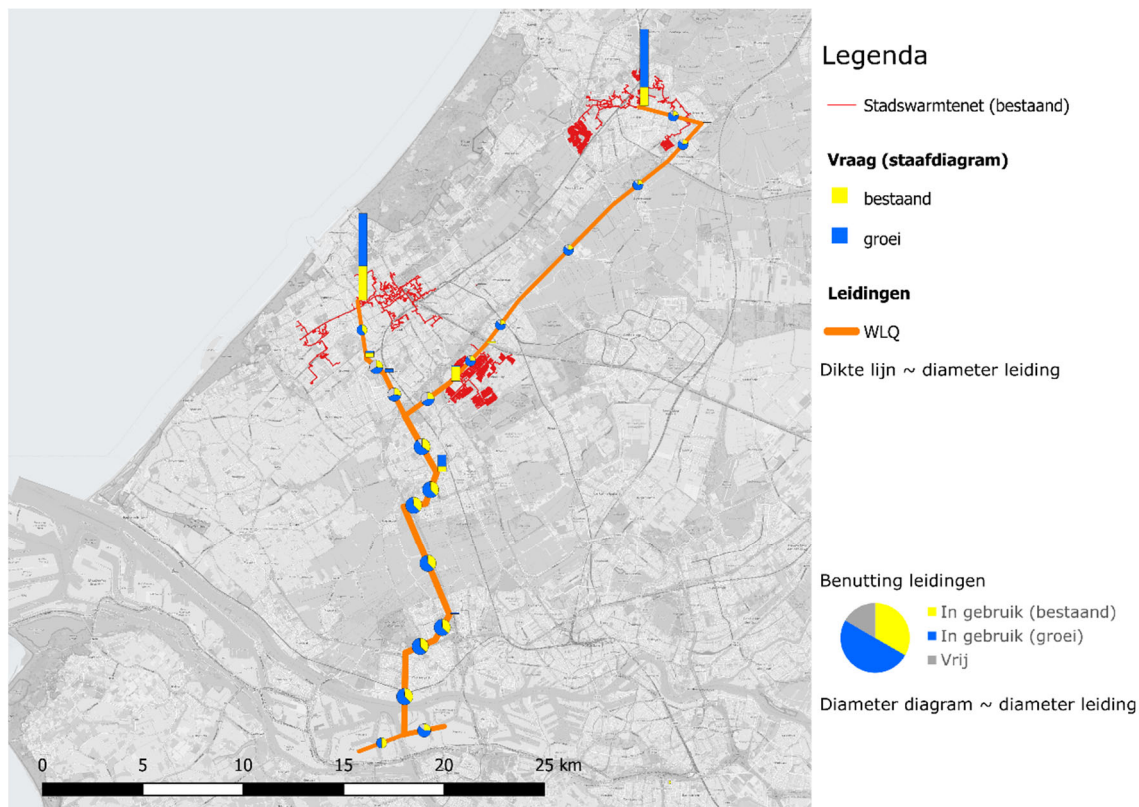
Daarnaast kwam naar voren dat de totale kosten per MW transportvermogen van uitgebreide netwerken zoals te zien in Figuur 29 erg hoog zijn. Vaak zijn veel, relatief dunne, leidingen nodig om in de volledige vraag te voorzien. Als gevolg hiervan is een op deze wijze ontworpen transportsysteem voor een (soms groot) deel van de potentiële vraag geen rendabele optie.

Tot slot werd duidelijk dat de "volloopsnelheid" een belangrijke factor is in de doelmatigheid van een transportsysteem.

Om te onderzoeken of WarmtelinQ een goede eerste stap richting een provinciaal transportsysteem is, zijn meerdere berekeningen uitgevoerd waarbij voor iedere set van vraag en aanbod steeds op twee manieren het optimale netwerk is berekend: één keer met WarmtelinQ als een opgelegd gegeven en één keer zonder deze randvoorwaarde. De topologie van de op deze manier bepaalde netwerken liep soms sterk uiteen, maar in alle gevallen waren de kosten van het netwerk hooguit enkele procenten hoger door het 'opleggen' van WarmtelinQ. Dit betekent dus dat een optimaal netwerk zonder WarmtelinQ er misschien anders uitziet dan een optimaal netwerk met WarmtelinQ, maar dat de verschillen in kosten verwaarloosbaar zijn.

5.3.2.2 Nieuwe leidingen t.b.v. bestaande distributienetten

De haalbaarheid van een transportleiding wordt in hoge mate bepaald door de ontwikkeling van het gebruik in de tijd. Per uiteindelijk gebruikte MW zijn de kosten van een leiding waarvan het gebruik in 15 jaar tijd groeit tot de maximale capaciteit ca. 1,5 keer zo hoog als van dezelfde leiding die direct volledig wordt benut. Hoe groter het gebruik bij aanvang, hoe lager de uiteindelijke kosten per MW³⁶. Leidingen die kunnen voorzien in een concrete transportbehoefte hebben daardoor een hogere kans van slagen. Voor Zuid-Holland kan WarmtelinQ in een bestaande transportbehoefte voorzien, zoals weergegeven in Figuur 30. De bestaande transportleidingen zijn niet weergegeven omdat deze in principe onafhankelijk van de getoonde leidingen kunnen opereren (en vice versa).



Figuur 30. Nieuwe transportleidingen o.b.v. bestaande vraag.

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

De belangrijkste gegevens voor de bestaande distributienetten in Den Haag, Ypenburg en Leiden – zoals in deze studie gehanteerd – zijn opgenomen in Tabel 7. Hierbij wordt het traject van Vlaardingen naar Den Haag aangeduid als *WarmtelinQ V-D*. Het traject tussen Rijswijk en Leiden wordt aangeduid als *WarmtelinQ R-L*.

³⁶ Er van uitgaande dat de totale kosten gelijk worden verdeeld over alle MW's.

Tabel 7. Gegevens van bestaande warmtenetten die gevoed kunnen worden d.m.v. WarmtelinQ

 Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (in WEQ x 1000)		Bestaande distributienetten	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
WarmtelinQ V-D	463	403	28	53
Delft	71	63	4	6
Den Haag (excl. Ypenburg)	304	274	24	47
Rijswijk	46	30		
Vlaardingen	42	36		
WarmtelinQ R-L	289	190	27	42
Ypenburg en Pijnacker-Nootdorp	30	17	12	20
Leidschendam e.o.	43	32		
Leiden e.o.	216	141	15	22

Bronnen: W armtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse

Met deze leidingen kunnen bestaande distributienetten in Den Haag, Ypenburg en Leiden worden voorzien van warmte vanuit het Rotterdamse havengebied (omgeving Botlek – Vondelingenplaat– Pernis). Daarnaast is het mogelijk om warmte uit te wisselen met de Leiding over Noord: warmte uit Rozenburg kan via WarmtelinQ richting Den Haag en Leiden worden getransporteerd of warmte van de Vondelingenplaat kan via Leiding over Noord richting Rotterdam Noord worden getransporteerd.

De bestaande distributienetten kunnen dienen als initiële benutting van de nieuwe transportleidingen (zie ook Tabel 7). Het potentieel aan distributienetten dat met deze leidingen kan worden gevoed is echter groter. Het groeipotentieel voor het verzorgingsgebied van WarmtelinQ wordt weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8. Ontwikkelingspotentieel o.b.v. WarmtelinQ

 Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (WEQ x 1000)		Nieuwe distributienetten in gebied WarmtelinQ	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
WarmtelinQ V-D	463	403	55	83
Delft	71	63	9	14
Den Haag (excl. Ypenburg)	304	274	43	64
Rijswijk	46	30	3	4
Vlaardingen	42	36	1	1
WarmtelinQ R-L	289	190	48	70
Ypenburg en Pijnacker-Nootdorp	30	17	2	2
Leidschendam e.o.	43	32	0	0
Leiden e.o.	216	141	46	68

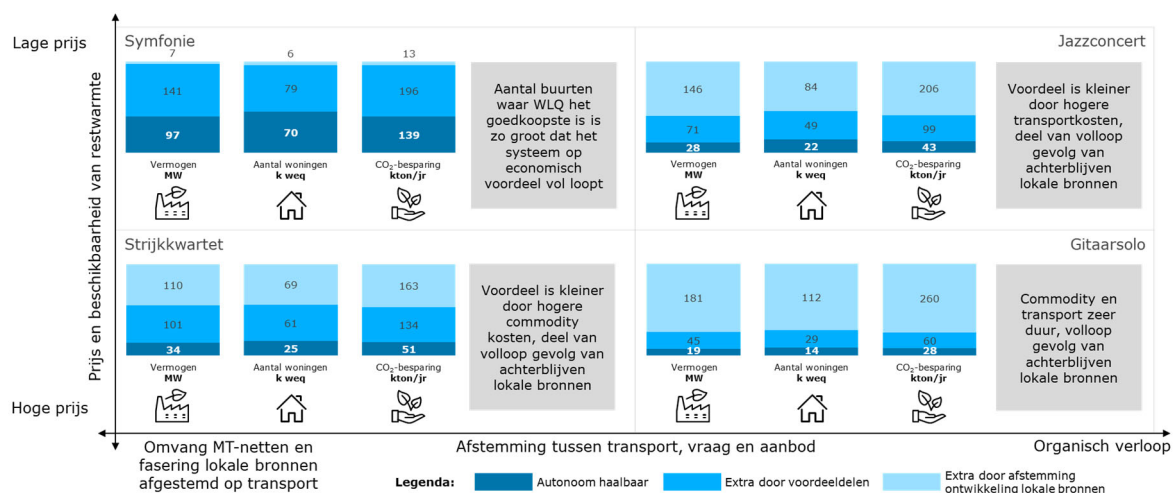
Bronnen: W armtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse

Het ontwerp biedt flexibiliteit in de keuze van de locatie waar de warmte wordt afgenomen. Er kan bijvoorbeeld in Rijswijk meer warmte worden afgenomen als in Delft wat minder wordt afgenomen. Mede hierdoor, i.c.m. de grootte van de vermogensstappen tussen DN-klassen, is het niet mogelijk om ieder leidingdeel 100% te benutten.

Tabel 9. Berekende benutting van WarmtelinQ per traject

Traject	Diameter	Gebruik t.b.v. bestaande netten (MW)	Gebruik t.b.v. groei (MW)	Resterend (MW)	Max. vermogen
Vondelingenplaat - Vlaardingen	DN700	93	152	3	248 MW
Vlaardingen - Delft	DN700	93	157	4	248 MW
Delft - Knooppunt Rijswijk	DN700	86	138	24	248 MW
Knooppunt Rijswijk - Rijswijk	DN600	46	64	56	166 MW
Rijswijk - Den Haag Zuid	DN600	46	67	53	166 MW
Den Haag Zd - Den Haag CR-plein	DN500	40	62	102	102 MW
Knooppunt Rijswijk - Ypenburg	DN600	47	69	56	166 MW
Ypenburg - Leiden	DN500	22	68	12	102 MW

De benutting van de WarmtelinQ+ leidingen wordt in Tabel 9 weergegeven voor 2 situaties: bij gebruik t.b.v. bestaande distributienetten met afname conform Tabel 7 en bij maximaal gebruik t.b.v. bestaande en potentiële distributienetten met afname conform Tabel 7 + Tabel 8.



Figuur 31. Gebruik van WarmtelinQ in de vier scenario's.

In Figuur 31 wordt het verwachte gebruik van het WarmtelinQ transportnetwerk in de vier scenario's getoond. Voor ieder scenario wordt voor het totaal afgenomen vermogen en de hiermee beleverde woningen (uitgedrukt in woningequivalenten) getoond. Daarnaast wordt de vermeden CO₂-uitstoot van de betreffende woningen aangegeven ("CO₂-besparing"). Dit is de reductie van CO₂-uitstoot die door de gehele keten – van bron tot eindgebruiker – wordt gerealiseerd wanneer alle onderdelen CO₂-neutraal zijn: restwarmte, piek- en back-upbronnen en pompenergie. Dit is in lijn met de doelstellingen voor 2050

uit het Klimaatakkoord. Hierbij is een onderverdeling in drie categorieën gehanteerd: *Autonoom haalbaar*, *Extra door voordeeldelen* en *Extra door afstemming ontwikkeling lokale bronnen*. Deze verdeling zal hier worden toegelicht aan de hand van het scenario "Symfonie" (linksboven in de figuur).

Het vermogen dat *Autonoom haalbaar* is (97 MW) leidt tot een CO₂-besparing van 139 kton/jaar, wat refereert aan de aansluiting van buurten waarvoor het voordeel van een transportsysteem voor *iedere individuele buurt* groter is dan de kosten. Deze buurten ter grootte van 70.000 woningequivalenten (WEQ) zouden bij wijze van spreken zelf kiezen voor een warmtenet o.b.v. een transportsysteem als nationale kosten doorslaggevend zouden zijn. Deze buurten hebben in dat geval een netto kostenvoordeel t.o.v. alternatieve strategieën.

Extra door voordeeldelen (141 MW) staat gelijk aan een besparing van 196 kton/jaar. Deze CO₂-besparing wordt gerealiseerd door buurten aan te sluiten waarvoor een warmtenet o.b.v. een transportsysteem kostenneutraal is indien de helft van het voordeel van de 'autonoom'-buurten wordt gebruikt om een deel van de kosten van het transportsysteem te dekken. Op deze manier kunnen de 79.000 WEQ bijdragen aan het mogelijk maken van (een aansluiting op) het transportsysteem voor de eerstgenoemde 70.000 WEQ. Voor de 149.000 WEQ samen biedt een warmtenet o.b.v. een transportsysteem nog steeds een netto kostenvoordeel.

Extra door afstemming ontwikkeling lokale bronnen. Tot slot zijn er 6.000 WEQ en 7 MW aan capaciteit over. Met dit vermogen kunnen buurten aangesloten worden die een netto-voordeel net niet met 50% voordeeldelen redden, maar waarvoor de alternatieve strategie (die o.b.v. de beschikbare gegevens lagere nationale kosten kent) praktisch niet uitvoerbaar blijkt of waarvoor de (volgens de berekeningen goedkopere) lokale bron later wordt ontwikkeld. Een CO₂-besparing van 13 kton/jaar wordt hiermee gerealiseerd.

Samengevat betekenen deze getallen dat het transportsysteem in het scenario Symfonie puur op economisch voordeel vrijwel volledig benut zal worden, met een totale CO₂-uitstootreductie – gerealiseerd door de gehele keten van bron tot eindgebruiker – van 348 kton/jaar bij verduurzaming van industrie, elektriciteit en piek- en back-upbronnen conform de doelstellingen voor 2050 uit het Klimaatakkoord.

Voor de scenario's Jazzconcert en Strijkkwartet is de verdeling over de drie categorieën vergelijkbaar. Het aantal aan te sluiten WEQ's in de categorieën Autonoom haalbaar en Voordeeldelen samen is beduidend lager dan in het scenario Symfonie. In het scenario Jazzconcert komt dit door de hogere kosten van transport als gevolg van tragere voltoop. In het scenario Strijkkwartet komt dit door de hogere kosten van restwarmte. In het scenario Gitaarsolo, met hoge kosten voor zowel transport als voor restwarmte, zijn de totale kosten voor het voeden van MT-netten dusdanig hoog dat het voor een beperkt aantal buurten voordelig is. Het vermogen van 'autonoom haalbaar' en 'voordeeldelen' samen is hierbij zelfs lager dan het vermogen van de bestaande warmtenetten. Dat suggereert dat de omstandigheden in dit scenario wel zeer ongunstig zijn.

Reductie van CO₂-uitstoot: marginale i.p.v. integrale berekening

De in dit rapport getoonde reductie van CO₂-uitstoot betreft de totale uitstootreductie die wordt gerealiseerd wanneer de volledige voorzieningsketen naar de gebouwde omgeving klimaatneutraal is ingericht. Deze uitstootreductie is in lijn met de gegevens uit de startanalyse van PBL. De voorzieningsketen die voor deze CO₂-uitstootreductie moet zorgen, bestaat uit meerdere schakels die allemaal moeten verduurzamen voor 2050. De CO₂-uitstootreductie uit de startanalyse is niet aan één individuele schakel in de voorzieningsketen toe te wijzen; het is een *integrale* waarde voor de hele keten.

Voor WarmtelinQ – de eerste stepping stone – is ook de *marginale* CO₂-uitstootreductie berekend, als indicatie van de minimale CO₂-uitstootreductie die aan het project kan worden toegerekend. Deze berekening is gebaseerd op het verdringingseffect: Warmte uit WarmtelinQ verdringt warmte die met andere (aardgasgestookte) bronnen is opgewekt. De marginale CO₂-uitstootreductie van WarmtelinQ is gelijk aan de CO₂-uitstoot van de verdrongen warmtebronnen min de CO₂-uitstoot t.g.v. de warmte uit WarmtelinQ (uitkoppeling, transport en distributie). Voor deze berekening is een verwacht gebruik bij volledige voltooiing van de leiding in 2040 als uitgangspunt genomen. Daarnaast is onderscheid gemaakt tussen twee soorten verdrongen warmte:

- 1) Warmte die nu met een aardgasgestookte STEG wordt geproduceerd en door bestaande distributienetten wordt geleverd aan eindgebruikers en
- 2) Warmte die nu met individuele cv-ketels wordt bij de eindgebruikers.

Bij warmte uit een STEG is de CO₂-uitstoot lager dan bij warmte uit een cv-ketel. Daar staat tegenover dat bij het verdringen van warmte uit een cv-ketel rekening moet worden gehouden met warmteverlies en pompenergie in nieuw aan te leggen distributienetten terwijl dat bij het verdringen warmte uit een STEG niet hoeft.

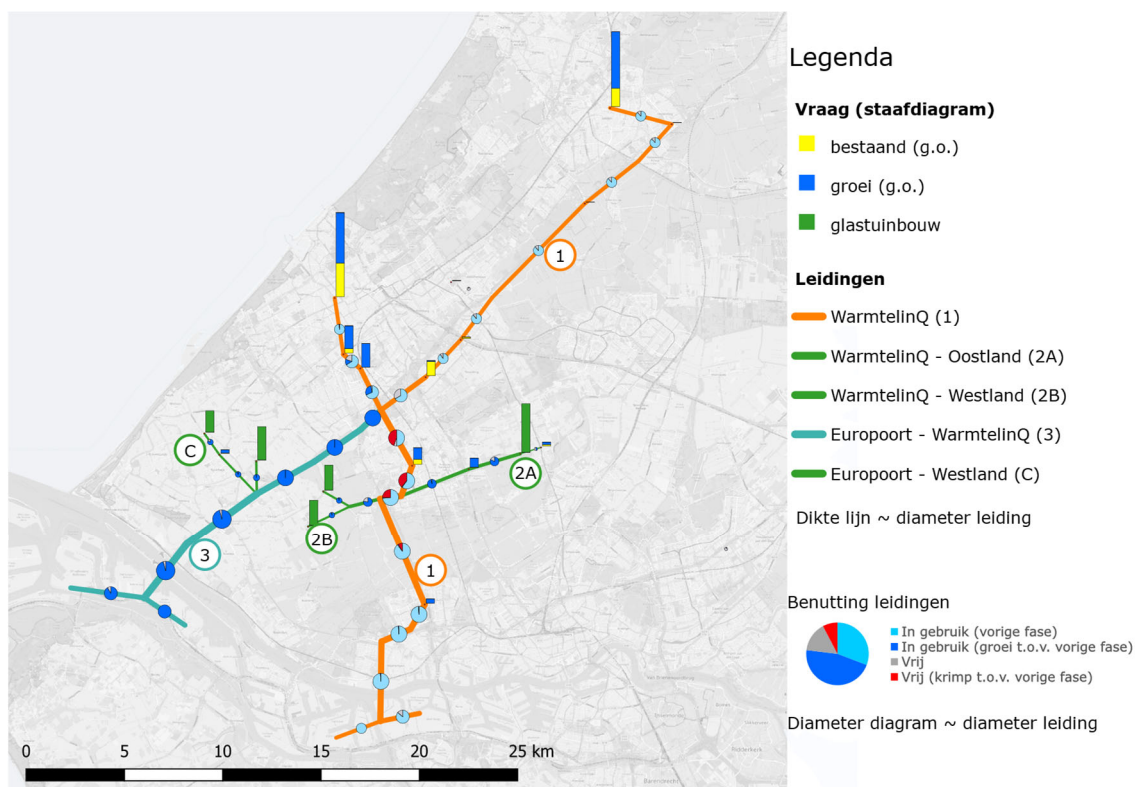
Met deze en andere aannames komt de marginale CO₂-uitstootreductie in 2040 uit op circa 0,18 Mton CO₂ per jaar. Bij deze berekening is geen rekening gehouden met optimalisaties zoals verdere uitkoeling van de warmte door bijvoorbeeld gebruik te maken van de retourleiding of de benutting d.m.v. meer vollasturen.

5.3.2.3 Nieuwe leidingen: afname in Glastuinbouw en invoeding vanuit Europoort

In het voorafgaande gedeelte is alleen levering aan de gebouwde omgeving beschouwd. Ook in de glastuinbouw wordt veel warmte gebruikt en ook daar is een potentieel grote behoefte aan restwarmte uit een transportsysteem.

Voor de gebouwde omgeving is de potentie van een transportsysteem grotendeels bepaald aan de hand van de nationale kosten van het alternatief voor klimaatneutraal verwarmen volgens de Startanalyse van PBL. Voor de glastuinbouw waren er onvoldoende gegevens beschikbaar om op een vergelijkbare wijze de meerwaarde van warmtetransport te bepalen. Daarom is gebruik gemaakt van de opgegeven behoefte aan transportvermogen voor de twee grote tuinbouwgebieden, Westland (bron: RES Rotterdam-Den Haag / gemeente Westland) en Oostland (bron: WSO).

Mede door de vraag in de glastuinbouw is – afhankelijk van de ontwikkelingen – de potentiële behoefte aan restwarmte in het afzetgebied van WarmtelinQ groter dan wat met een DN700 leiding kan worden aangevoerd vanaf de Vondelingenplaat. Om in deze behoefte te voorzien zullen nieuwe bronnen ontsloten moeten worden met nieuwe transportleidingen.



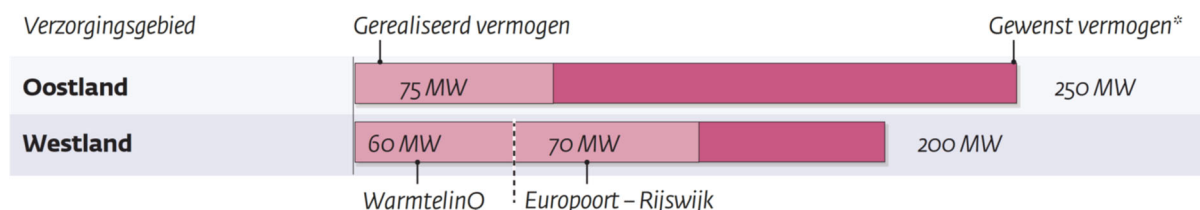
Figuur 32. Verdere uitbreidingen: Europoort / Maasvlakte, Westland en Oostland.

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

Vanwege de ligging en het potentieel aan bronnen is een leiding vanaf Europoort verder uitgewerkt. Deze ontsluit een gebied met (potentieel) veel warmtebronnen, kan warmte transporteren naar Westland en invoeden op WarmtelinQ op Knooppunt Rijswijk. Dit laatste biedt extra flexibiliteit in de aanvoer van warmte t.b.v. de leidingen naar Den Haag en Leiden en maakt bovendien mogelijk dat in Oostland een groot vermogen kan worden afgenomen zonder dat dit ten koste van afname in Delft en verder gaat.

In Figuur 32 zijn uitbreidingen t.b.v. glastuinbouw en de aanvoerleiding vanaf Europoort weergegeven, naast WarmtelinQ. De bestaande transportleidingen zijn niet weergegeven omdat deze in principe onafhankelijk van de getoonde leidingen kunnen opereren (en vice versa). In Tabel 10 wordt weergegeven welke vraag in tuinbouwgebieden hiermee kan worden belevend.

Tabel 10. Extra te beleveren vraag bij aanleg leiding Europoort – Rijswijk en aansluiting tuinbouwgebieden, inclusief aangelegde gebouwde omgeving



*Prognose o.b.v. aangeleverde gegevens Westland en WSO

Het getoonde ontwerp is gebaseerd op een DN800 leiding vanaf Europoort. Hiermee kan maximaal ca. 330 MW worden getransporteerd. Bij voldoende warmtebronnen betekent dit dat – naast de in Tabel 10 vermelde afname in de tuinbouw – extra afname elders in het WarmtelinQ systeem van 110 MW mogelijk is. Dit extra potentieel is meegenomen in de in Tabel 12 getoonde gegevens voor het hele systeem, die verderop wordt toegelicht.

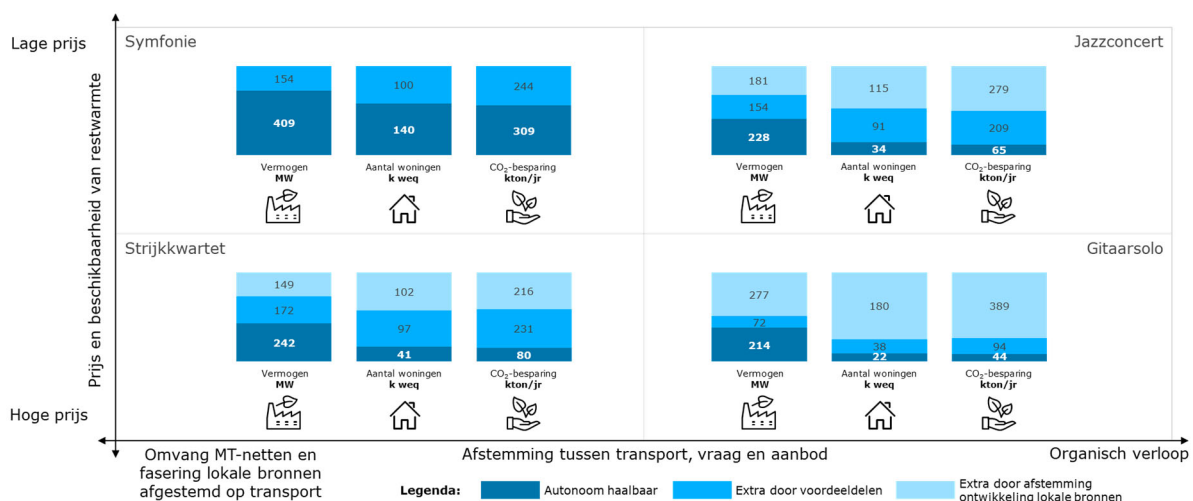
Tabel 11. Maximale benutting alle nieuwe transportleidingen per traject; bij afname conform Tabel 12

	Diameter	Gebruik t.b.v. groei in MW	Resterend (MW)	Max. vermogen
Europoort – Naaldwijk	DN800		318	332
Naaldwijk – 's Gravezande	DN300	30	31	
Naaldwijk – Honselersdijk	DN350	40	40	
Naaldwijk – knooppunt Rijswijk	DN700		248	248
Vondelingenplaat – Vlaardingen	DN700	93	153	248
Vlaardingen – Delft/Schipluiden	DN700	93	127	248
Delft/Schipluiden – Oostbuurt	DN450	60	17	77
Oostbuurt – de Lier N	DN300	30	31	
Oostbuurt – de Lier Z	DN300	30	31	
Delft/Schipluiden – Oostland	DN450	75		77
Delft/Schipluiden – Delft	DN700	85	163	248
Delft – knooppunt Rijswijk	DN700	25	223	248
knooppunt Rijswijk – Rijswijk	DN600	46	88	32
Rijswijk – Den Haag Zuid	DN600	46	116	4
Den Haag Z – Den Haag CR-plein	DN500	40	61	102
Knooppunt Rijswijk – Ypenburg	DN600	41	70	55
Ypenburg – Leiden	DN500	22	68	12

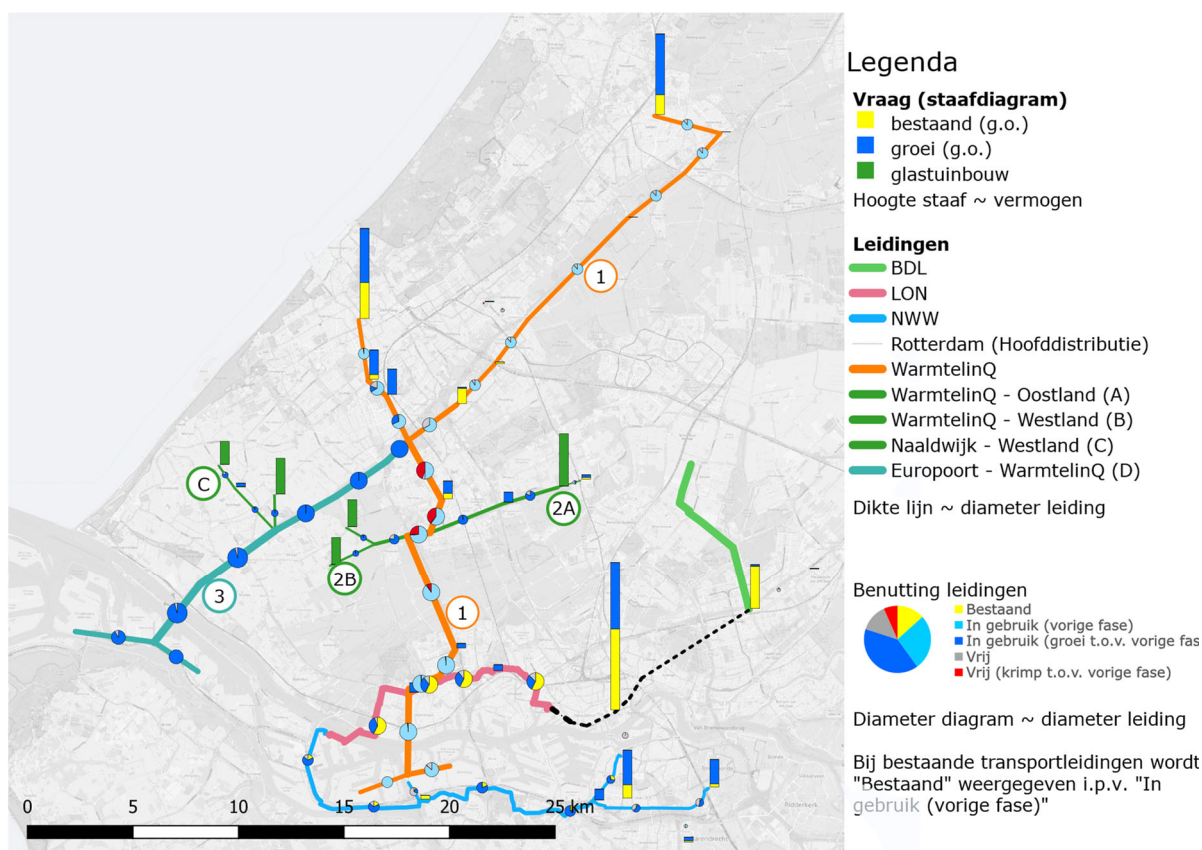
De benutting van alle nieuwe leidingen wordt in Tabel 11 weergegeven voor 'maximaal' gebruik met afname conform Tabel 12. De benuttingsgraad op de meeste trajecten neemt toe met de uitbreidingen. Uitzondering hierop is het traject vanaf Delft Zuid tot knooppunt Rijswijk. Dit is het gevolg van de hoge afname in Westland (de Lier) en Oostland.

In Figuur 33 wordt het verwachte gebruik van alle nieuwe leidingen in de vier scenario's getoond op dezelfde wijze als in Figuur 31. Er zijn enkele belangrijke verschillen zichtbaar. Allereerst zijn de verhoudingen anders tussen MW's enerzijds en WEQ's/kton CO₂ anderzijds. Dit komt doordat een deel van het vermogen wordt gebruikt door glastuinbouw; daarvoor konden geen WEQ's en kton CO₂ worden uitgerekend. Ten tweede valt op dat het Autonome vermogen structureel hoger is. Ook dit is een gevolg van het gebruik t.b.v. glastuinbouw; hiervoor is geen prijselasticiteit van de vraag bekend.

Integraal Ontwerp Warmtetransport Zuid-Holland



Figuur 33. Gebruik van alle nieuwe transportleidingen in de vier scenario's



Figuur 34. Totale transportsysteem.

De B-driehoekleiding (BDL) is eigendom van Uniper; Leiding over Noord (LON) is eigendom van Eneco; De Nieuwe Warmteweg (DNWW) is eigendom van Warmtebedrijf Rotterdam

Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse
Kaart: OpenStreetMap

Met de toevoeging van de leiding van Europoort-Rijswijk ontstaat een transportsysteem zoals getoond in Figuur 34 dat, met het gebruik van huidige en de aanleg van toekomstige distributienetten, een significant deel van de warmteopgave van de verbonden gebieden kan faciliteren. In Tabel 12 wordt weergegeven wat dit systeem voor haar verzorgingsgebied kan betekenen. Dit is inclusief bestaande transportleidingen, maar bij het getoonde gebruik is geen sprake van warmte-uitwisseling tussen bestaande en nieuwe transportleidingen. In de laatste twee kolommen wordt de invulling van warmtevraag als basislast uit WarmtelinQ gepresenteerd, op basis van de totale woningvoorraad en in de laatste kolom de buurten waar een MT-warmtenet de goedkoopste optie is.

Tabel 12. Totaaloverzicht van mogelijke distributienetten voor de gebouwde omgeving en gebruik door glastuinbouw o.b.v. bestaande en nieuwe transportleidingen

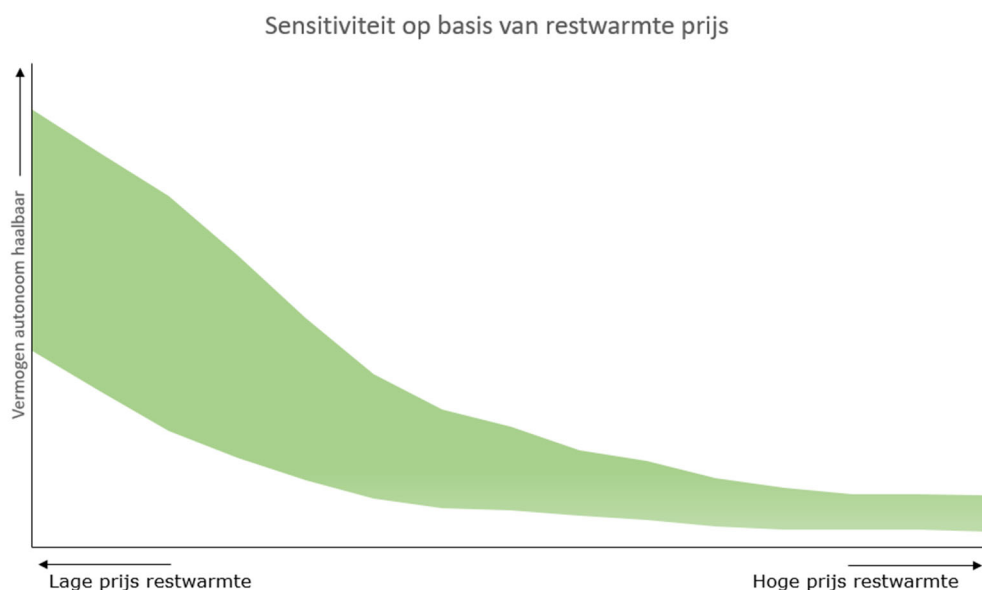
 Leiding Verzorgingsgebied	Kenmerken gebied (WEQ x 1000)		Potentie transportnetwerk	
	Alle objecten	Maximaal aandeel MT-netten	Woningen (WEQ x 1000)	Vermogen (MW)
Leiding over Noord (Eneco)	388	358	159	248
Vlaardingen LoN	42	36	9	11
Schiedam	46	42	11	15
Rotterdam Noord	252	241	128	204
Capelle a/d IJssel	37	32	11	17
Nieuwerkerk a/d IJssel e.o.	11	7	0	1
Nieuwe Warmteweg (WBR)	168	126	83	106
Rotterdam Zuid	143	118	79	98
Barendrecht	25	8	4	8
WarmtelinQ V-D	463	403	135	351
Westland (gtb, De Lier e.o.)				60
Oostland (gtb)				75
Delft	71	63	34	54
Den Haag (excl. Ypenburg)	304	274	81	135
Rijswijk	46	30	14	20
Vlaardingen	42	36	6	7
WarmtelinQ R-L	289	190	75	112
Ypenburg en Pijnacker-Nootdorp	30	17	14	22
Leidschendam e.o.	43	32	0	0
Leiden e.o.	216	141	61	90
Europoort – Rijswijk				70
Westland (gtb, Naaldwijk e.o.)				70
Totaal	1308	1077	452	887
Waarvan nieuwe transportleidingen	752	593	210	533

De B-driehoekleiding (Uniper) is niet in dit overzicht opgenomen. Bepaling van actueel gebruik en voor groei beschikbare ruimte was o.b.v. publiek beschikbare data niet mogelijk. Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse

5.4 Sensitiviteitsanalyses

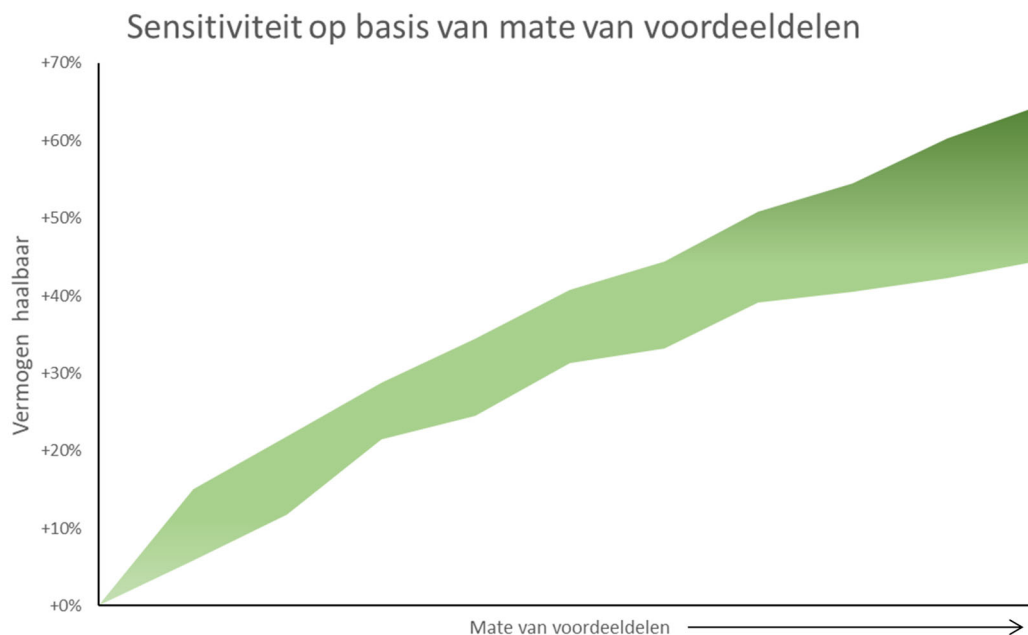
Uit de resultaten is gebleken dat de warmteprijs, de volloopsnelheid en de mate van voordeeldelen een grote impact hebben op de betaalbaarheid en dus de grootte van het optimale warmtetransportsysteem voor Zuid-Holland.

De gevoeligheid van warmteprijs en volloopsnelheid op de vraag is het sterkst zichtbaar aan de onderkant van de prijsrange, zoals te zien in Figuur 35. Dit betekent dat het verschil in vraag bij een warmteprijs tussen de 5,50 en 7,50 €/GJ niet groot is (stabiël), terwijl tussen de 4,50 en 5,50 €/GJ een grote variatie in transportbehoefte optreedt (volatiel). Naast het effect van warmteprijs geeft het groene vlak in Figuur 35 de spreiding aan tussen een korte en een lange vollooptijd. De bovenkant van het bereik is te behalen met een snelle volloopsnelheid, terwijl de onderkant van de reeks een langzame volloopsnelheid kent. Zo is ook te zien dat meer gebieden gunstiger worden om aan te sluiten op een transportnet, naarmate er een snellere volloop is, en dat dit effect vooral sterk is aan de onderkant van de prijsrange. Om het risico van over- of onder-dimensionering te beperken is het daarom van belang om nauwkeurige inschattingen te verkrijgen en te updaten over de verwachte warmtepreizen en de daarbij horende vollooptijden.



Figuur 35: De impact van de warmteprijs op het autonoom haalbare vermogen.

Een hogere mate van voordeeldelen zorgt voor schaalvoordeel, omdat er een hoger vermogen aangesloten kan worden, wat ervoor zorgt dat een groter transportnetwerk haalbaar wordt (zie Figuur 36). Echter, het netto voordeel per buurt neemt af door meer voordeeldelen toe te passen. Bij maximaal voordeeldelen blijft er een beperkt netto voordeel over, omdat er in dat geval ook buurten worden aangesloten waarvoor warmte uit een transportnetwerk niet per se de goedkoopste oplossing is (zie Figuur 15 in 3.2). Dit betekent dat de optimale mate van voordeeldelen gevonden kan worden door de juiste verhouding tussen groei in transportvermogen en afname van netto voordeel (zie Figuur 18: op punt C).



Figuur 36: De impact van de mate van voordeeldelen op het totale vermogen.

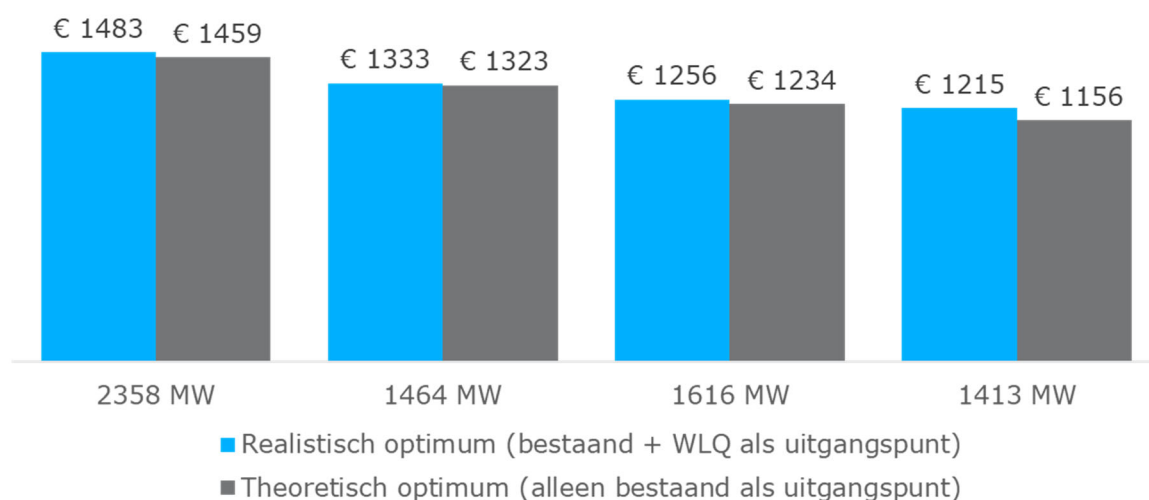
Uit deze sensitiviteitsanalyses volgt dat de grote schaalvoordelen van een warmtetransportsysteem extra versterkt kunnen worden door de warmteprijs bij de bronnen laag te houden, door bovenregionale samenwerking te bevorderen voor optimale vollooptijden en door de mate van voordeeldelen te optimaliseren middels een slimme selectie van warmtekavels.

Bij het kiezen van warmtekavels is het belangrijk om niet alleen gunstige buurten met elkaar te groeperen, omdat het gewenste schaalvoordeel van een transportnetwerk daarmee niet behaald wordt. Het loont om een aantal relatief moeilijk te transformeren buurten met autonoom haalbare buurten in een warmtekavel samen te voegen om schaalvoordeel te bereiken zodat het transportnet haalbaar wordt (ook voor de gunstige buurten). Andersom is het belangrijk om niet teveel 'ongunstige' buurten toe te voegen aan een warmtekavel, omdat alternatieve warmteoplossingen hiermee niet tot hun recht komen als warmte o.b.v. een transportnet niet de meest kosteneffectieve oplossing is.

Deze sensitiviteitsoverwegingen zijn relevant om mee te nemen bij het vormen van gemeentelijk beleid voor de ontwikkeling van aardgasvrije alternatieven voor de warmtevoorziening.

5.5 WarmtelinQ in relatie tot het economisch optimum

Om te kunnen beoordelen of WarmtelinQ een economisch optimale netwerkconfiguratie is, zijn de totale investeringskosten berekend voor twee varianten onder vier toekomstscenario's. De eerste variant wordt een realistisch optimum genoemd, waarbij de bestaande leidingen en het WarmtelinQ tracé als uitgangspunt worden meegenomen. In de tweede variant worden alleen bestaande leidingen als uitgangspunt genomen, en berekent het optimalisatiealgoritme wat de meest kostenefficiënte combinatie van leidingen in Zuid-Holland is om in 2050 alle vraag en aanbod met elkaar te verbinden. Dit wordt het theoretisch optimum genoemd, aangezien praktische haalbaarheidsfactoren hierin niet meegenomen worden.



Figuur 37: Verschil in kosten (in M€) tussen het realistisch optimum met WarmtelinQ als uitgangspunt, en het theoretisch optimum, voor vier verschillende toekomstscenario's.

Zoals te zien in Figuur 37, is het verschil in kosten tussen het realistisch optimum en theoretisch optimum vrij klein, met een gemiddeld verschil over de vier toekomstscenario's van ruim 2%, wat binnen de foutmarges van de berekeningen ligt. Zonder rekening te houden met haalbaarheidsfactoren, is er voor de vier toekomstscenario's dus een theoretisch optimaal warmtetransportnet te ontwerpen dat volgens het model marginaal goedkoper is dan het warmtetransportnet inclusief WarmtelinQ. In werkelijkheid zal deze kostenbesparing echter niet te realiseren zijn, enerzijds vanwege het ontbreken van draagvlak en voorbereidend werk voor de realisatie van alternatieve tracés dan het WarmtelinQ netwerk (wat extra kosten en tijd zou betekenen), en anderzijds vanwege de langere voltooptijd van deze alternatieve tracés die de totale transportkosten per MW doen toenemen. WarmtelinQ brengt dus geen onnodige aanvullende kosten met zich mee ten opzichte van het theoretisch optimum en wordt wel van het begin af aan gebruikt, wat WarmtelinQ een economisch optimale stap maakt.

6 Conclusie

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat is een integraal ontwerp opgesteld voor een warmtetransportsysteem in Zuid-Holland. Dit enerzijds om een toekomstperspectief te hebben voor de wijze waarop een warmtetransportsysteem kan bijdragen aan de energietransitie in Zuid-Holland, en anderzijds om te kunnen beoordelen of WarmtelinQ volgens de meest recente inzichten over vraag en aanbod een maatschappelijke optimale stap is. Op basis van de resultaten zoals besproken in hoofdstuk 5 kan een conclusie op beide vragen gegeven worden.

6.1 Toekomstperspectief

Het eerste doel van het integraal ontwerp is het schetsen van een toekomstperspectief voor de wijze waarop een warmtetransportsysteem kan bijdragen aan de energietransitie in Zuid-Holland.

Een provincie-dekkend transportsysteem dat in de totale toekomstige behoefte aan warmtetransport voorziet, kan niet in één keer worden aangelegd maar moet groeien. Helaas is het niet mogelijk om geleidelijk mee te groeien met de aanleg van nieuwe warmtenetten en het aansluiten van woningen. Je kunt een transportleiding nu eenmaal niet ieder jaar iets groter maken. Het groeien gebeurt dus in stappen. Voor iedere stap zal een investeringsbesluit moeten worden genomen, waarbij aan een aantal voorwaarden moet worden voldaan, waaronder voldoende benutting bij aanvang (bestaande netten) en genoeg perspectief op toenemend gebruik. Iedere stap op zich moet toegevoegde waarde hebben. Daarnaast is van belang dat de haalbaarheid/het rendement van iedere stap niet (te) afhankelijk is van een vervolgstap.

In de gemeentelijke sferen zullen ook keuzes gemaakt worden die richting zullen geven voor de haalbaarheid en betaalbaarheid van een regionaal transportnet. De keuze voor de warmtekavels spelen hier een rol in: grootschalig en slim geclusterd (o.b.v. voordeeldelen) maakt het aannemelijker dat een transportnet voordelig(er) uit zal komen. Voorspelbare groeikernen voor warmtenetten zijn immers nodig om een transportnet aan te leggen met een beperkt vollooprisico.

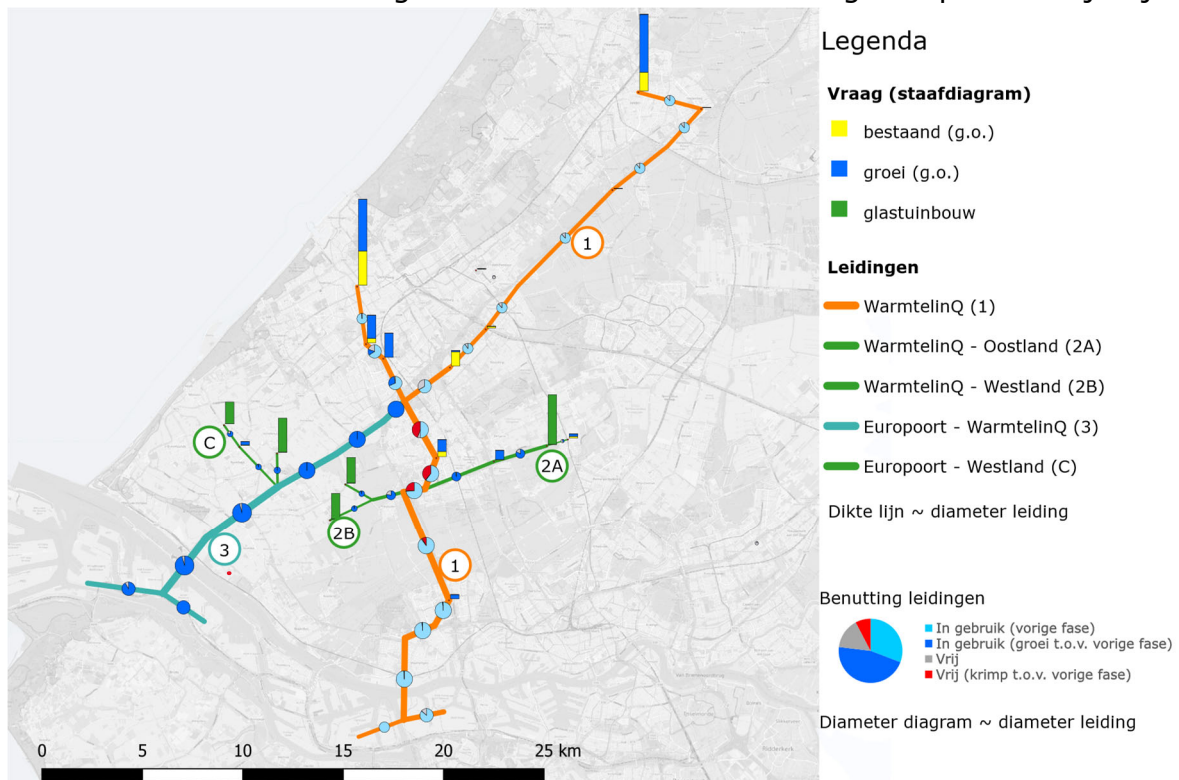
De haalbaarheid op buurtniveau hangt ook in sterke mate af van de warmteprijs. Vooral vlak ná de onderkant van de scenario-berekeningen neemt het autonoom haalbare vermogen sterk af. Monitoring en sturing op het beschikbaar stellen van goedkope warmte is een vereiste om het lange transport te verantwoorden.

Rekening houdend met deze overwegingen, volgen uit de resultaten van deze studie een aantal logische stappen voor de ontwikkeling van een warmtetransportsysteem in Zuid-Holland, te zien in Figuur 38. Deze stappen worden ook *stepping stones* genoemd en zijn de leidingtracés die in elk toekomstscenario als gunstige backbone leidingen naar voren komen, die grote clusters van vraag en aanbod met elkaar verbinden. Daarbij heeft de aanwezigheid van transportleidingen zelf invloed op de ontwikkeling van vraag en aanbod. De aanwezigheid van een transportleiding biedt immers zekerheid die de aanleg van distributienetten en het uitkoppelen van bronnen kan bespoedigen. Deze *stepping stones* zullen bestaande vraag en aanbod met

elkaar verbinden, maar ook als katalysator dienen voor de groei van vraag en aanbod langs de betreffende tracés.

Voor de ontwikkeling van het transportsysteem in Zuid-Holland worden de volgende stappen voorgesteld (Figuur 38):

0. Toewerken naar optimale benutting van bestaande transportleidingen met de uitbreiding van bestaande en aanleg van nieuwe distributienetten (de kaarten en tabellen in 5.3.1 tonen de potentie in detail)
1. De aanleg van WarmtelinQ
2. Aansluiting van glastuinbouwgebieden op WarmtelinQ:
 - A. Vanuit WarmtelinQ naar het westelijke deel van het Oostland
 - B. Vanuit WarmtelinQ naar het oostelijk deel van het Westland
3. Een verbinding vanuit Europoort met het WarmtelinQ tracé, op knooppunt Rijswijk
 - C. Een tracé richting Westland vanaf de verbinding Europoort – Rijswijk



Bronnen: Warmtetransitieatlas; Startanalyse 2020 (PBL); eigen analyse. Kaart: OpenStreetMap

Figuur 38: De stepping stones voor de ontwikkeling van een warmtetransportsysteem in Zuid-Holland.

Aan stap 1 wordt door alle betrokken partijen gewerkt. Naar verwachting draagt dit rapport bij aan deze ontwikkelingen door het potentieel³⁷ en belang hiervan te benadrukken. Om de warmtetransitie optimaal vorm te geven is het nodig om de ontwikkeling van de gehele warmteketen (distributienetten,

³⁷ Zoals elders aangegeven is het in dit rapport genoemde potentieel een inschatting o.b.v. uniforme uitgangspunten en publiek beschikbare data. Inzichten van direct betrokken partijen zijn mogelijk anders en accurater.

transportsysteem, (lokale) bronnen) goed op elkaar af te stemmen. Goede samenwerking tussen alle betrokken partijen is hiervoor van belang.

Zowel het optimaal gebruik van bestaande transportleidingen als de ontwikkeling van nieuwe transportleidingen zijn gebaat bij een duidelijker beeld van (in de toekomst) beschikbare warmtebronnen. Dit geldt niet alleen voor bronnen in het Rotterdamse havengebied. Het geldt ook voor (grote) bronnen in de gebieden met distributienetten, zoals de "stadscentrales" in Rotterdam - Capelle a/d IJssel (RoCa), Den Haag en Leiden. Het is van belang om te weten of in de toekomst warmtebronnen beschikbaar zullen zijn op deze locaties en – zo ja – met welk vermogen, duurzaamheid, kosten, etc.

Stap 1 is op dit moment in ontwikkeling. Op afzienbare termijn wordt een investeringsbesluit hierover verwacht. Stappen A en B worden op dit moment verkend door de betrokken partijen.

De haalbaarheid en optimale dimensionering van stappen 3 en daaropvolgend C zijn mede afhankelijk van de beschikbaarheid van (nieuw te ontwikkelen) distributienetten, bronnen in het Europoortgebied, het toekomstig gebruik van WarmtelinQ en daarmee het verdere verloop van de warmtetransitie als geheel in een groot deel van Zuid-Holland. Tegen de tijd dat hierover meer duidelijkheid is en er bovendien meer ervaring is met samenwerking en het 'programmeren' van projecten in de provincie kunnen deze stappen verder worden ontwikkeld. Bovendien kan dan ook een begin worden gemaakt met eventuele uitbreidingen op de stepping stones uit dit rapport, bijvoorbeeld naar Zoetermeer (incl. Waddinxveen en evt. Gouda), naar Ridderkerk e.o., naar Maassluis. Ook een verbinding tussen Rotterdam en het westelijke deel van de Drechtsteden zou dan onderzocht kunnen worden, evenals aanvullend transport naar glastuinbouwgebieden in Oostland en/of Westland.

6.2 Is WarmtelinQ een verstandige stap?

De vraag of WarmtelinQ een verstandige stap is kan worden opgedeeld in vier deelvragen, zoals te zien in de *issue tree* in Figuur 39.



Figuur 39: Onderbouwing van het antwoord op de vraag of WarmtelinQ een verstandige stap is.

Ten eerste laten de resultaten zien dat het aanleggen van het WarmtelinQ tracé een no-regret beslissing is aangezien het geen toekomstige beperkingen introduceert voor het verbinden van vraag en aanbod in Zuid-Holland. In zowel de toekomstconfiguraties zónder WarmtelinQ als mét WarmtelinQ kunnen alle beschouwde vraag/aanbod scenario's volledig worden vervuld.

Ten tweede volgt uit de werkwijze voor het bepalen van de nettovraag dat er economisch voordeel te halen is uit een warmtetransportsysteem. In deze werkwijze is de nettovraag namelijk een optelling van de benodigde basislastvoorziening voor de buurten waarin warmte uit een warmtetransportsysteem de voordeligste oplossing is voor een aardgasvrije warmtevoorziening. Met andere woorden: buurten die volgens het integraal ontwerp worden aangesloten op een warmtetransportsysteem, zijn hiermee beter af dan alle alternatieven.

Het antwoord op de derde deelvraag bevestigt dat de keuze voor de huidige ontwerpdiameters voor het WarmtelinQ tracé optimaal is. Een grotere diameter is niet te verantwoorden met de huidige verwachtingen over vollooppaden en bovendien fysiek niet mogelijk voor een groot deel van het tracé. Een kleinere diameter leidt tot te hoge kosten om te kunnen dienen als deel van de backbone voor basislastvoorziening in Zuid-Holland.

Tot slot volgt uit de resultaten dat de totale investeringen tot 2050 niet significant verschillen tussen het toekomstscenario waarin WarmtelinQ wordt aangelegd, en toekomstscenario's met alternatieve (theoretisch optimale) netwerkconfiguraties. Hoewel de topologieën soms sterk verschillen (de netwerken zien er anders uit) is het verschil in benodigde investeringen verwaarloosbaar klein: ongeveer 2%, kleiner dan de foutmarge (zie 5.5). WarmtelinQ brengt dus geen onnodige aanvullende kosten met zich mee ten opzichte van het theoretisch optimum, wat WarmtelinQ een economisch optimale stap maakt.

Tezamen leiden de antwoorden op deze vier subvragen tot de conclusie dat een regionaal warmtetransportsysteem baten oplevert voor de eindgebruikers (per definitie zoals gebruikt in het integraal ontwerp), dat het WarmtelinQ tracé niet duurder is dan CO₂-neutrale alternatieven, dat er geen beperkingen worden geïntroduceerd door dit tracé en dat de keuze voor de diameters optimaal is onder de huidige uitgangspunten. Deze conclusie bevestigt dat WarmtelinQ een verstandige stap is in de ontwikkeling van het warmtetransportsysteem voor Zuid-Holland.

7 Vervolg van het integraal ontwerp

7.1 Doelen van het integraal ontwerp vragen om updates

In dit rapport is een integraal ontwerp opgesteld dat invulling moet geven aan de volgende doelen:

- Het dient als toekomstperspectief voor de wijze waarop een warmtetransportsysteem kan bijdragen aan de energietransitie in Zuid-Holland.
- Het vormt de maatschappelijke toets op de aanleg van WarmtelinQ als eerste stap in de aanleg van dit warmtetransportsysteem in Zuid-Holland.
- Het dient als input voor de Transitievisies Warmte en de Regionale Energie Strategieën, die momenteel worden opgesteld.

In de toekomst zullen er veel activiteiten gaan plaatsvinden rondom de ontwikkeling van een duurzaam energiesysteem in Zuid-Holland. Aanbieders en afnemers van warmte hebben investeringsbesluiten te nemen, (regionale) overheden denken na over hoe ze hun transitiedoelstellingen kunnen halen en hoe zij de burgers goed kunnen betrekken, het havenbedrijf Rotterdam wil warmtenetwerken goed kunnen integreren in de overige infrastructuur in het gebied. Deze partijen hebben behoefte aan een goed onderbouwde, breed gedragen en up-to-date toekomstvisie van een warmtetransportsysteem in Zuid-Holland.

In het bijzonder zullen ook de Transitievisies Warmte en de Regionale Energie Strategieën inclusief de Regionale Structuren Warmte zich in de tijd verder ontwikkelen en behoefte hebben aan actuele inzichten in de mogelijkheden rondom warmtetransport. Het integraal ontwerp kan hierin nu én in de toekomst een rol vervullen.

De resultaten van het integraal ontwerp zijn gebaseerd op de meest recente inzichten over vraag en aanbod in de provincie Zuid-Holland. Deze inzichten zijn onderhevig aan verandering naar gelang beleid verandert, omstandigheden veranderen en/of andere nieuwe informatie beschikbaar komt. Daarom is het belangrijk om het toekomstperspectief over de wijze waarop een warmtetransportsysteem zich optimaal kan ontwikkelen periodiek bij te stellen. De tweejaarlijkse updates van de Regionale Energie Strategieën zijn een goede aanleiding voor updates, samen met andere aanleidingen voorzien we een jaarlijkse update van het IO.

7.2 Verwachte wettelijke taak voor de warmtetransportnetbeheerder

De consultatieversie van de Wet collectieve warmtevoorziening ('Warmtewet 2.0')³⁸ voorziet in diverse wettelijke taken voor de warmtetransportbeheerder. Taken die onder meer zien op de afstemming tussen (potentiële) bronnen en afnemers en het afstemmen van de ontwikkeling van het warmtetransportnet op

³⁸ Wet houdende regels omtrent productie, transport en levering van warmte (Wet collectieve warmtevoorziening), voorstel van wet, (22 juni 2020/internetconsultatie)
<https://www.internetconsultatie.nl/warmtewet2/document/5928>

vraag en aanbod in de regio. Warmtewet 2.0 verplicht de warmtetransportbeheerder ook om periodiek een investeringsplan op te stellen, met daarin voorziene noodzakelijke investeringen voor de aanleg en het onderhoud van het warmtetransportnet. De warmtetransportbeheerder moet daarbij toelichten hoe het investeringsplan past in de langetermijnplanning voor het warmtetransportnet. Warmte Transport Services (WTS), de nieuw op te richten warmtetransportbeheerder in Zuid-Holland, zal het integrale ontwerp als een instrument gebruiken ten behoeve van de uitvoering van haar hierboven genoemde wettelijke taken. Dit vereist een periodieke bijstelling van het integraal ontwerp.

7.3 Samenwerking van de regio continueren en verstevigen

Het is in het belang van aanbieders en afnemers van warmte, de betrokken overheden, het havenbedrijf en niet in laatste plaats voor WTS dat bij toekomstige versies van het integraal ontwerp informatie uit de omgeving meegenomen wordt. Hiervoor is samenwerking tussen WTS en partijen in de provincie zowel gewenst als noodzakelijk.

Het is duidelijk dat een modelmatige benadering van warmtetransport zonder verdere input vanuit de regio vrijwel zeker geen realistisch perspectief voor de ontwikkeling van de benodigde warmte-infrastructuur zal opleveren. Veel factoren die geen puur economisch karakter hebben spelen een rol bij de ontwikkeling van warmtenetten en -leidingen in Zuid-Holland. Gemeenten en RES-regio's maken hun eigen afwegingen over de rol die restwarmte en warmtenetten zullen spelen in de RESen en de warmtetransitievisies.

Een van de voornaamste doelen van de ontwikkeling van een warmtetransportnetwerk is het om energietransitie zo kostenefficiënt mogelijk te realiseren.

Voor de warmtetransportnetbeheerder is het belangrijk om tijdig goede informatie uit de regio beschikbaar te hebben. Zo kan hij doelmatig eraan werken om het warmtetransportnet zo te ontwikkelen dat het aansluit bij de behoefte van een doelmatige energietransitie.

Voor andere actoren, zoals de gemeenten, de RES regio's, aanbieders en vragers van warmte, zal een actueel Integraal Ontwerp waardevolle inzichten bieden in hoeverre er kansen zijn om efficiënt gebruik te maken van regionaal beschikbare warmtebronnen. WTS kan expertise bundelen en zo ook als kennis- en sparringspartner optreden voor gemeenten, de RES regio's, de provincie en andere stakeholders in Zuid-Holland. De wisselwerkingen tussen alle betrokkenen worden zo verstevigd en de condities gecreëerd om de warmtetransitie zo efficiënt mogelijk door te voeren.

De bij het huidige Integrale Ontwerp betrokken partijen zouden hun samenwerking moeten voortzetten in het belang van een efficiënte energietransitie. We zien een periodiek geactualiseerde versie van het integraal ontwerp zowel als een belangrijk product van de samenwerking als ook een factor die de samenwerking juist kan verstevigen.

Bijlagen

Bijlage A. Programma van eisen

Het programma van eisen is opgesteld als onderdeel van het plan van aanpak, zoals geaccordeerd door het bestuurlijk overleg.

Integraal Ontwerp

Het op te leveren Integraal Ontwerp omvat in ieder geval:

- Kaart(en) met stelsel van transportleidingen (print & GIS; eventueel met varianten).
- Tabellen met de belangrijkste parameters per tracédeel: diameter, debiet, temperatuurniveaus, vermogen; fasering; lengte, kosten.

Het Integraal Ontwerp moet in ieder geval:

- Kunnen dienen als richtinggevend kader voor uitwerking en realisatie van gemeentelijke warmteplannen;
- Ondersteunend zijn aan en zoveel mogelijk consistent zijn met de regionale energiestrategieën (RES-en) en de op te stellen gemeentelijke warmtetransitievisies (WTV's);
- Kunnen dienen als richtinggevend kader bij besluitvorming over initiatieven en projecten m.b.t. warmtetransport.

De gebruikte ramingen van o.a. kosten en gebruik zullen voldoende nauwkeurig zijn om tot een integraal ontwerp te komen o.b.v. onderlinge vergelijking van alternatieven die op dezelfde wijze of met dezelfde (on)nauwkeurigheid zijn uitgewerkt. Zij zullen echter *niet* nauwkeurig genoeg zijn voor investeringsbesluiten of contracten.

Masterplan voor realisatie

Het op te leveren Masterplan omvat in ieder geval:

- Een opdeling van het transportsysteem in afzonderlijk aan te leggen delen;
- Een planning (volgorde en timing) voor de aanleg van afzonderlijke delen. De timing kan zowel worden uitgedrukt in termen van tijd (datum in bedrijf) als in termen van voorwaarden of omstandigheden (bijvoorbeeld: "traject Y wordt aangelegd als traject X voor meer dan 80% wordt benut");
- Belangrijkste kaders/randvoorwaarden voor leidingprojecten. Bijvoorbeeld: "bedrijfsvoering van alle leidingen als één geheel", "transporttarieven volgens structuur X";
- (On)mogelijkheden voor tussentijdse aanpassing van het integraal ontwerp, bijvoorbeeld o.b.v. voortschrijdend inzicht.

Het Masterplan moet in ieder geval:

- Robuust zijn. In ieder stadium moet sprake zijn van een goed functionerend transportsysteem en totstandkoming van het geheel moet ook mogelijk zijn als investeringsbeslissingen voor afzonderlijke delen worden genomen.

Documentatie en tussenresultaten

Na afronding van het project wordt in ieder geval de volgende documentatie opgeleverd:

- Een beschrijving van gehanteerde werkwijze;
- Een beschrijving van de belangrijkste tussenresultaten;
- Een beschrijving van gedurende het traject gemaakt keuzes en de onderbouwing hiervan;
- Uitgangspunten, basisgegevens en gehanteerde informatiebronnen, inclusief gegevens over vraag en aanbod;
- Een handreiking voor werkwijze en aandachtspunten t.b.v. aanpassen/actualiseren van integraal ontwerp en masterplan.

Bijlage B. Uitgangspunten

Tabel 13: De belangrijkste uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de methodiek van het Integraal Ontwerp.

Onderwerp	Aanname / Uitgangspunt	Uitleg
Warmteprijs	Onderwaarde – bovenwaarde: 4,50 €/GJ - 7,50 €/GJ	Dit zijn inschatting gebaseerd op ervaringsgetallen: Sommige bronnen zullen warmte nu lozen waar deze benut kunnen worden middels een regionaal transportnet tegen uitkoppelkosten voor de investering in een warmtewisselaar (circa 4,50 €/GJ). Andere bronnen produceren stoom waar enerzijds warmte of elektriciteit van kan worden gemaakt. Deze gedeelde elektriciteitsinkomsten zullen mogelijk leiden tot een hoge warmteprijs van circa 7,50 €/GJ.
Kostenbasis	Op basis van PBL methodiek nationale kosten in 2030, o.a. 3% nationaal rendement, geen belastingen en subsidies	Consistent met nationale kostenmethodiek van Startanalyse en VESTA MAIS model om appels met appels vergelijken. Zie toelichting werkwijze PBL op https://www.pbl.nl/modellen/vesta
Vergelijking met andere aardgasvrije strategieën	Waterstof niet meegenomen vanwege beperkt zicht op beschikbaarheid. Groen gas wél meegenomen o.b.v. beschikbaarheid 1,5 bcm in 2030	Geen schaarste opgegeven voor waterstof Startanalyse, zie onderbouwing PBL: https://www.pbl.nl/publicaties/waterstof-voor-de-gebouwde-omgeving-operationalisering-in-de-startanalyse-2020
Beschikbaarheid bronnen	O.b.v. PBL Startanalyse, Kolencentrales uitgefaseerd.	Kolencentrales uitfasering is beleid kabinet. RoCa centrale , Uniper CR en Leiden uit bedrijf(uitleg). Gevoeligheid

Integraal Ontwerp Warmtetransport Zuid-Holland

	RoCa centrale, Uniper CR en Leiden uit bedrijf	uitgevoerd o.b.v. bronnen beschikbaarheid duurzame brandstoffen.
Bestaande transportnetten en warmtenetten	Bestaande leidingen worden volledig meegenomen: in locatie, bestaande afname. Ook worden kosten volledig (CAPEX meegenomen alsof nieuw gelegd	CAPEX leidingen volledig meenemen geeft consistent beeld kosten infrastructuur per jaar ondanks 'sunk cost' principe in financiële Business Case. Bestaande warmtenetten worden grotendeels gevoed door fossiele bronnen die ook met een bovenregionaal transportnet gevoed kunnen worden.
Gebruik	2 jaar aanleg en 28 jaar gebruik	Consistent met PBL methodiek
Volloop (kostfactor)	Onderwaarde – bovenwaarde: 5 jaar (1.08) - 15 jaar (1.47)	Kostfactor op basis van opslag door leegstand. Lineair vollooppad in resp. 5 – 15 jaar van het totale netwerk.
Voordeeldelen	Voordeeldelen op wijkniveau (warmtekavel) en op gemeenteniveau	De mate van voordeeldelen kijkt naar of buurten binnen een wijk, of wijken binnen een gemeente, onderling coördineren om de schaalgroottesvoordelen van grotere leidingen te behalen, en zo warmteleidingen mogelijk te maken. Dit is een kostenverdelingsvraagstuk dat kan leiden tot een grotere strekking van de vraagclusters waarvoor warmte uit een transportnet gunstig is.
Haalbaarheid aftakkingen	Op basis van extra kosten aftakkingen en basiskosten 'backbone' afgezet tegenover batenvoordeel aftakking	Op basis van optimalisering nationale kosten (VESTA) en transportkosten (Eigen cijfers)
Glastuinbouw	Voor glastuinbouw wordt volledige vraag meegenomen ongeacht kosten. Geothermie wordt volledig ontwikkeld o.b.v. aangeleverde plannen	Geen kostprijs informatie bekend van andere duurzame alternatieven. Geen informatie over prijs elasticiteit i.r.t. afname warmte tuinders. Gevoeligheid uitgevoerd o.b.v. % gerekende afname
Lokale bronnen	Lokale bronstrategieën die voordeliger zijn dan warmte uit het hoofdtransportnet worden volledig ontwikkeld en gaan af van benodigd transportvermogen na bepaling brutovraag	Beperkt aangeleverde informatie beschikbaar over te ontwikkelen lokale bronnen. Gevoeligheid uitgevoerd o.b.v. % succesvolle bron ontwikkeling.
Fasering	Eerst naar bestaande vraagkernen (GTB en bestaande netten) met robuuste bronnenmix en nabijheid bronnen. Vervolgens naar	Op basis van inschatting gebaseerd op bestaande vraag, locatie t.o.v. andere vraagkernen, ontwikkelingen en afstand vanaf bronnen

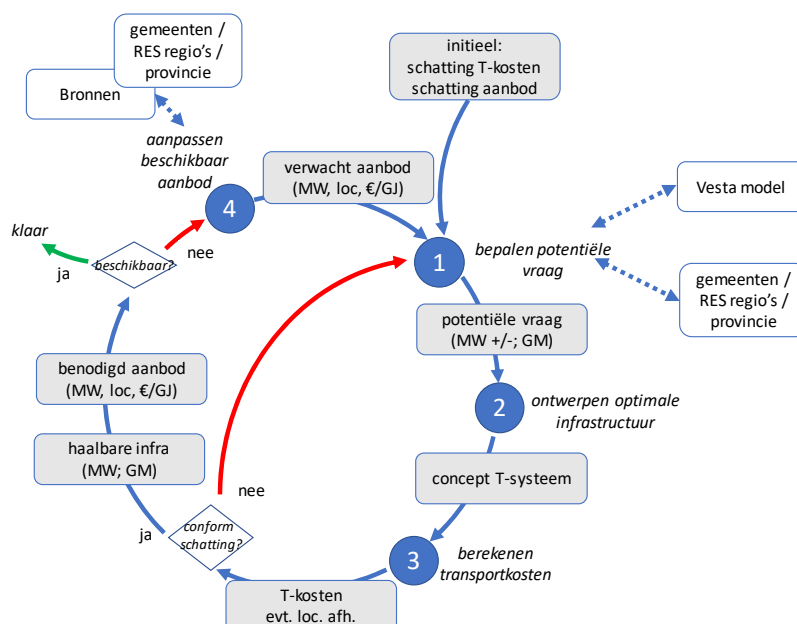
	kernen die groot genoeg zijn en vervolgroute zijn eerste fase.	
Gemeentelijke verrijkingen	Op basis van respons n.a.v. een uitvraag naar gemeenten wordt er afhankelijk van de beschikbaarheid van o.a. (concept) TVW's of ruimte in de ondergrond een afslag gemaakt van het vermogen, een buurt vastgezet op een warmtenet optie of totaal uitgesloten	Met deze verrijkingen wordt het beeld completer van de lokale situatie. Gemeenten hebben een beter beeld dan de landelijke uitgangspunten van het Vesta MAIS model.

Bijlage C. Stappen in iteratief ontwerp

Voor elk van de vier scenario's worden vier stappen iteratief doorerekend, zoals geïllustreerd in Figuur 40:

1. Wat is de potentiële vraag van warmte uit een warmtetransportnetwerk,
2. Wat is het optimale ontwerp (qua ligging en dimensionering) van zo'n netwerk,
3. Wat zijn de transportkosten,
4. Hoe kan de verwachte vraag geleverd worden door aanbieders van warmte.

Elke rekenstap wordt hieronder toegelicht, nadat is beschreven met welke aannames over aanbod en transportkosten de eerste iteratie gevoed wordt.



Figuur 40: De vier stappen in het iteratief ontwerp

Initiële schatting van warmte-aanbod en transportkosten (stap 0)

Om een eerste iteratie te kunnen doorlopen in het iteratief ontwerp, zijn initiële aannames nodig voor de restwarmte die aanwezig is in Zuid-Holland, en voor welke kosten deze getransporteerd kunnen worden middels een regionaal warmtetransportnetwerk.

Uit een selectie van rapporten volgen de warmteprijsen af-fabriek. In de rapporten wordt een bandbreedte voor de warmteprijs per GJ gegeven. Voor de bovenste twee scenario's is de laagste waarde genomen, voor de onderste twee scenario's de hoogste waarde.

De basis transportkosten worden berekend o.b.v. de werkwijze die voor de WarmtelinQ business case wordt gehanteerd, met een aantal gewijzigde uitgangspunten, w.o. het rekenen o.b.v. nationale kosten (dus zonder belasting, maatschappelijk rendement etc.). De kosten van de exit-WOS maken geen deel uit van de transportkosten; deze kosten zijn opgenomen in de distributiekosten per buurt (Vesta-MAIS, conform Startanalyse PBL). De kosten van de entry-WOS maken geen deel uit van de transportkosten maar worden gedekt met de GJ-prijs van de warmte.

In de volloopfactor (F_{volloop}) worden de kosten van leegstand tijdens de vollooperperiode verdisconteerd. Bij een F_{volloop} van 1 is geen sprake van leegstand. F_{volloop} verschilt per scenario, afhankelijk van de gekozen vollooperperiode in het scenario.

Beschikbaar vermogen

Het beschikbare vermogen is voor alle scenario's onbeperkt. Achterliggende gedachte: een eventuele beperking van vermogen (bovenop de autonome daling van potentiële vraag a.g.v. prijselasticiteit) in een later stadium toepassen als dit noodzakelijk blijkt te zijn.

Transportkosten

De totale transportkosten worden als volgt berekend:

$$\text{Basis transportkosten} \times F_{\text{afstand}} \times F_{\text{volloop}} \cdot$$

De Basis transportkosten en F_{afstand} verschillen niet per scenario.

De Basis transportkosten zijn herleid uit een WLQ BuCa tarief (datum/versie onbekend). Op het BuCa tarief zijn de kosten van de exit-WOS (niet gedocumenteerd) en de pompenergie in mindering gebracht. De pompenergie is opgenomen in de GJ-prijs. De kosten voor de Exit-WOS worden meegenomen in de Vesta berekeningen.

$$\underline{F_{\text{afstand}}} \text{ wordt als volgt berekend: } F_{\text{afstand}} = \max\left(\frac{\text{Afstand WOS-Vondelingenplaat}}{20 \text{ km}} \middle| 0.75\right).$$

De kosten zijn lager wanneer een exit-WOS dichterbij Vondelingenplaat ligt, waarbij 20km de referentieafstand is (en hoger bij een afstand verder dan 20 km). 20km correspondeert ongeveer met Den Haag-Zuid. De minimale waarde van $\underline{F_{\text{afstand}}}$ is 0.75 (arbitrair).

In de volloopfactor (F_{volloop}) worden de kosten van leegstand tijdens de vollooperperiode verdisconteerd. Bij een F_{volloop} van 1 is geen sprake van leegstand. F_{volloop} verschilt per scenario. In scenario's zonder programmering wordt een waarde van 1.47 gebruikt, wat overeenkomt met een vollooperperiode van 15 jaar tot 100% benutting. In scenario's met sterke programmering wordt een waarde van 1.08 gebruikt, wat overeenkomt met een vollooperperiode van 5 jaar tot 100% benutting.

Regionale bronnen goedkoop en in overvloed		
Sterke programmering	LB	RB
	Warmte-aanbod: <u>prijs: 4,50 €/GJ</u> vermogen: onbeperkt	Warmte-aanbod: <u>prijs: 4,50 €/GJ</u> vermogen: onbeperkt
	Transportkosten: Basis: .. k€/MW/jr <u>Volloopfactor: 1.08</u> Afstandsfactor: (afst. WOS-VP)/20 km; min. 0.75	Transportkosten: Basis: .. k€/MW/jr <u>Volloopfactor: 1.47</u> Afstandsfactor: (afst. WOS-VP)/20 km; min. 0.75
	Warmte-aanbod: <u>prijs: 7,50 €/GJ</u> vermogen: onbeperkt	Warmte-aanbod: <u>prijs: 7,50 €/GJ</u> vermogen: onbeperkt
	LO	RO
Regionale bronnen schaars en duur		

Bepalen van de potentiële vraag (stap 1)

In de eerste stap wordt bepaald in welke buurten in Zuid-Holland een aansluiting op een regionaal warmtetransportnet de meest kostenefficiënte wijze is om de buurt te verduurzamen tot een CO₂-neutrale warmtevoorziening. In elk van de vier scenario's leidt dit tot een verschillende set aan buurten, en een verschillende totale optelsom van warmtevraag uit een regionaal warmtetransportnetwerk.

Input:

- Gegevens uit de Startanalyse van PBL (2020) en de onderliggende invoerdata van het Vesta-MAIS model. Alle data per buurt op basis van CBS-buurtcode.
 - Statische data:
 - Aantal woningequivalenten (WEQ, uit CBS)
 - Warmtevraag per WEQ (GJ/WEQ/jaar)
 - Aansluitwaarde (piekvermogen) voor warmte (kW, uit Vesta-MAIS)

- Strategie-afhankelijke data (uit Vesta-MAIS):
 - Per strategie: nationale meerkosten voor een CO₂-neutrale warmtevoorziening
 - Per strategie: gebruik van groen gas (GJ/WEQ/jaar)
- De strategie met de laagste nationale kosten volgens de Startanalyse 2020 ('LN').
- Aanvullende invoerdata voor het Vesta-MAIS model:
 - Alternatief puntbronnenbestand; één puntbron per gemeente (Rotterdam: twee puntbronnen); Warmteprijs (€/GJ; ondergrens en bovengrens; uit stap 0)
- Transportkosten (uit stap 0 / stap 3)
 - Basiskosten
 - Volloopfactor per scenario
 - Formule voor afstandscorrectie

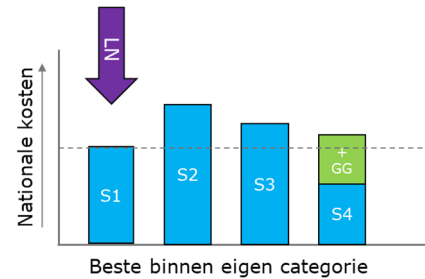
Proces:

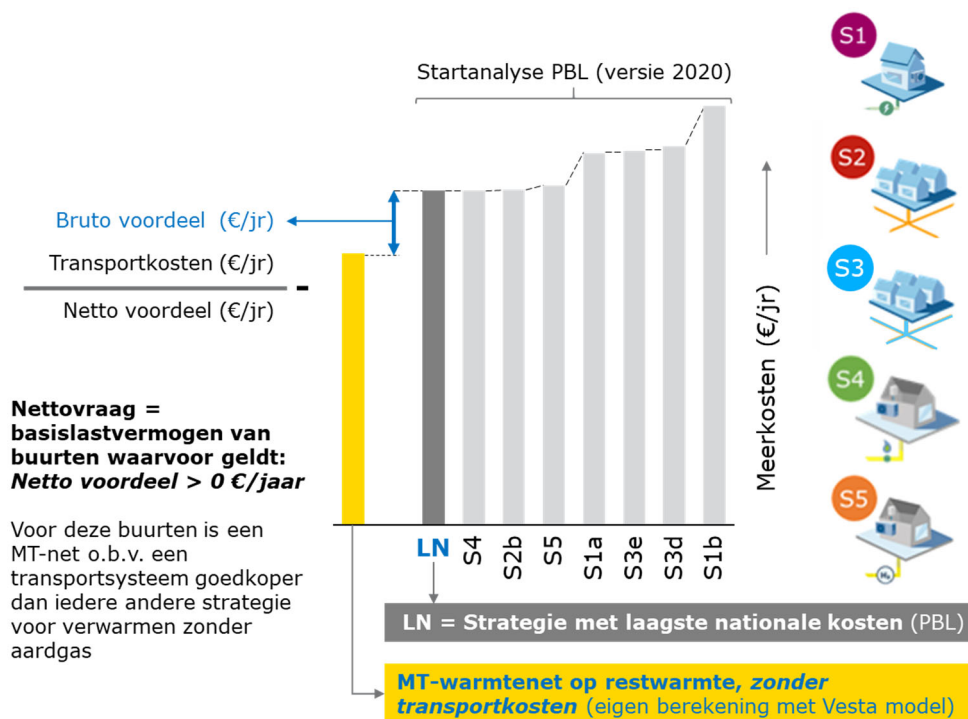
Het proces bestaat uit vijf stappen:

1. Extra strategie toevoegen aan de PBL strategieën: restwarmte uit een warmtetransportnet. Opnieuw de strategie met laagste nationale kosten bepalen.
 - a. Aansluitwaarde per buurt vertalen naar een basislast vermogen (vermenigvuldigen met 0,3)
 - b. Transportkosten voor dit basislast vermogen bepalen, inclusief afstandsfactor (twee varianten: hoge vs. lage regie)
 - c. Warmteprijs in Vesta model invoeren (twee varianten: ondergrens en bovengrens)
 - d. Correcties toepassen om de schaarste van groen gas mee te nemen in de analyse, zodat de strategie met de laagste nationale meerkosten voor een deelselectie van strategieën bepaald kan worden (e). PBL gebruikt voor groen gas een allocatiemethode op basis van een voor Nederland beschikbare hoeveelheid (1,5 bcm). Reproductie van deze methode (met een deelselectie van strategieën) kan alleen voor heel Nederland. Daarom is gebruik gemaakt van een correctie op de nationale kosten van groen gas strategieën. Deze correctie is gebaseerd op de meerwaarde van groen gas, zoals bepaald door PBL (0.0718 €/m³). Voor iedere buurt is voor de groen gas strategieën het correctiebedrag – op te tellen bij de nationale kosten – als volgt bepaald:
Waarde GG (€/jaar) = WEQ x H10 x P_{GG} x 1000 / LHV, waarbij
WEQ = aantal woningequivalenten;
H10 = het gebruik van groen gas in GJ/WEQ/jaar;
P_{GG} = schaarstepremie groen gas, 0.0718 €/m³;
LHV = onderste verbrandingswaarde groen gas, 31.65 MJ/m³.
De met deze methode bepaalde LN komt in ca 98% van de gevallen overeen met de strategie met de laagste nationale kosten volgens

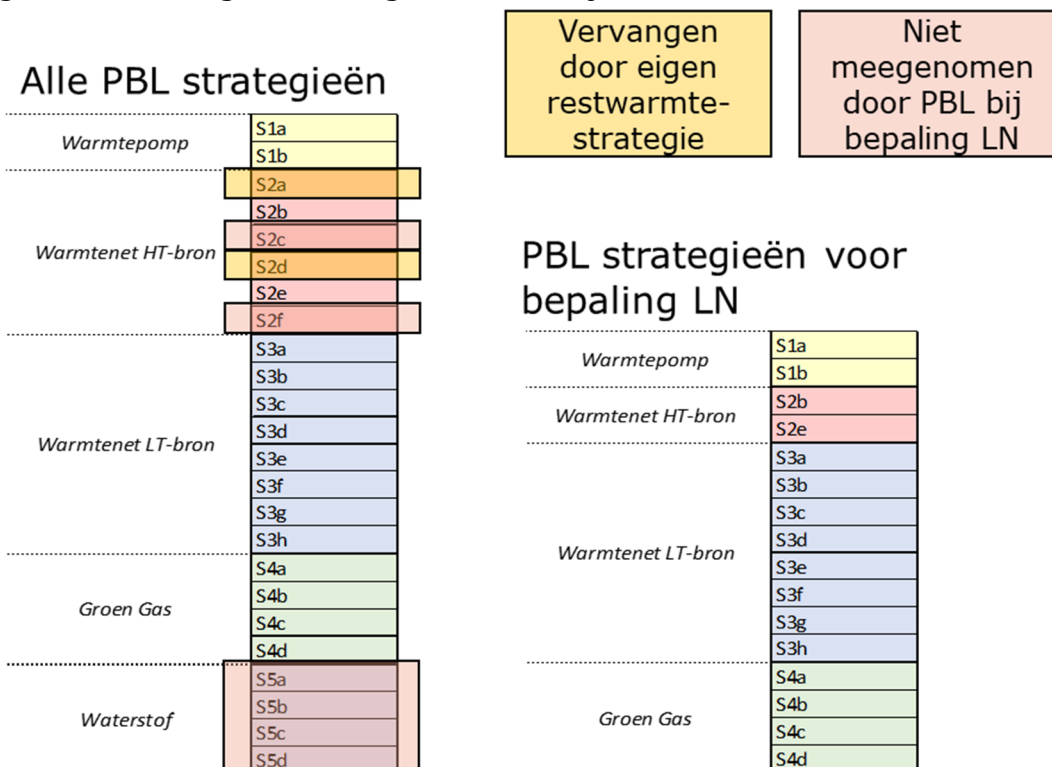
de Startanalyse, en leidt in de overige gevallen tot minimale kostenverschillen.

- e. De strategie uit de Startanalyse met de laagste nationale kosten wordt opnieuw uitgerekend na het uitsluiten van de "MT-net op basis van restwarmte" strategieën (S2a en S2d).
- f. Nationale meerkosten per buurt berekenen voor de restwarmte-transport-strategie (autonoom haalbaar), voor 4 varianten (die verwijzen naar de 4 scenario's zoals geïntroduceerd in 4.2.1):
 - Lage warmteprijs
 - Lage transportkosten (symfonie)
 - Hoge transportkosten (jazzconcert)
 - Hoge warmteprijs
 - Lage transportkosten (strijkkwartet)
 - Hoge transportkosten (gitaarsolo)
- g. Bepalen voor welke buurten de restwarmte-transport-strategie (autonoom haalbaar) goedkoper is dan de strategie met de laagste nationale kosten, voor alle 4 varianten.
- h. Bepalen voor welke buurten de restwarmte-transport-strategie goedkoper is wanneer twee verschillende methodes van voordeeldelen worden toegepast: voordeeldelen op wijkniveau en voordeeldelen op gemeenteniveau. Het resultaat is voor 8 varianten een lijst met buurten waarvoor de restwarmte-transport-strategie de voorkeursstrategie is:
 - Lage warmteprijs
 - Lage transportkosten (symfonie)
 - Autonoom haalbaar
 - Voordeeldelen op gemeenteniveau
 - Hoge transportkosten (jazzconcert)
 - Autonoom haalbaar
 - Voordeeldelen op wijkniveau
 - Hoge warmteprijs
 - Lage transportkosten (strijkkwartet)
 - Autonoom haalbaar
 - Voordeeldelen op gemeenteniveau
 - Hoge transportkosten (gitaarsolo)
 - Autonoom haalbaar
 - Voordeeldelen op wijkniveau



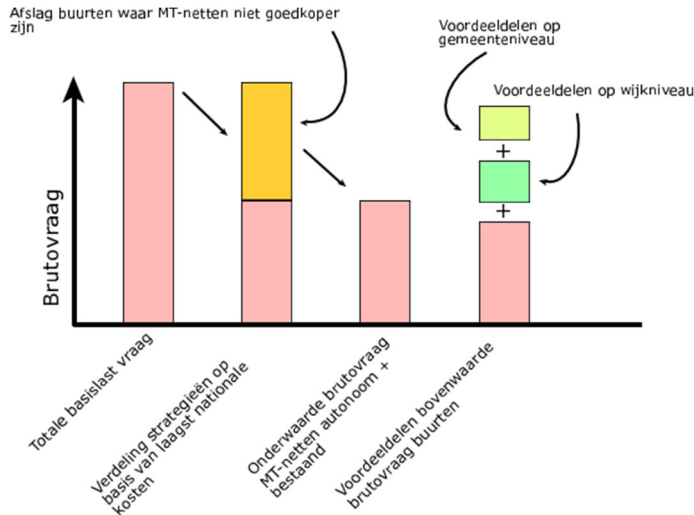


2. Strategieën uitsluiten: S2a en S2d omdat deze hetzelfde karakter hebben als de restwarmte-transport-strategie; S2c en S2f omdat deze in geen geval de strategie met laagste kosten zijn.

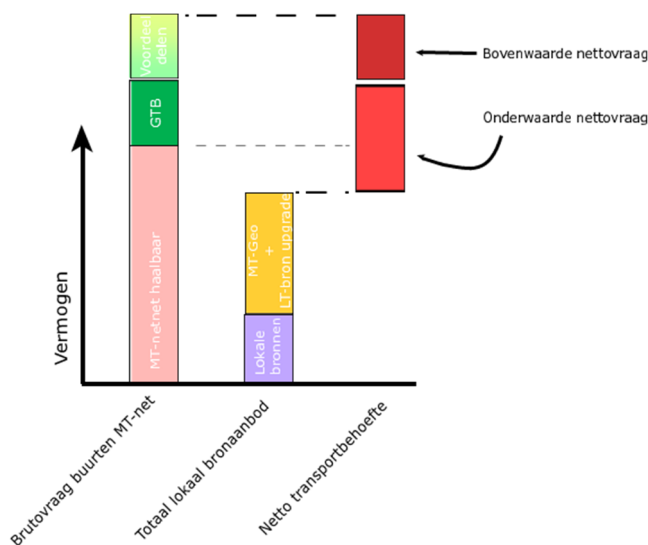


3. Warmtevraag bepalen waarvoor een MT warmtenetten strategie de laagste nationale meerkosten betekent. Er worden twee ranges van warmtevraag bepaald, voor elk van de twee uitersten op de schaal van 'mate waarin de ontwikkeling van MT-netten, lokale bronnen en het

transportsysteem op elkaar worden afgestemd'. Bij lage afstemming wordt geen voordeelden (onderwaarde) tot voordeelden op wijkniveau (bovenwaarde) toegepast. Bij hoge afstemming wordt geen voordeelden (onderwaarde) tot voordeelden op gemeenteniveau (bovenwaarde) toegepast.



4. Lokale MT-warmtebronnen in kaart brengen en toewijzen aan buurten. Hierbij wordt gekeken naar bestaande bronnen en naar nog te realiseren bronnen zoals geothermie en geüpgradede lage-temperatuur bronnen. Hiervoor is het essentieel om te bepalen wat de kans van slagen is voor alle nog te realiseren bronnen.
5. Berekening van netto warmtevraag per WOS op gemeenteniveau (door de warmtevraag per buurt binnen elke gemeente te aggregeren) met inachtneming van lokale bronnen die aangesloten worden op de lokale distributienetten. De netto transportbehoefte wordt dus bepaald door de brutovraag naar warmte uit MT-netten te verminderen met het totale lokale warmteaanbod (inclusief verwacht toekomstig aanbod).



Output, voor elk van de vier scenario's:

- Capaciteit van een WOS (in MW) per gemeente: Lijst met geografische punten (plaatsnaam, coördinaten) met MW vraag per punt.
 - Onderwaarde nettovraag MW_{min} per gemeente
 - Bovenwaarde nettovraag MW_{max} per gemeente

Ontwerpen van transportinfrastructuur (stap 2)

Deze stap bepaalt de topologie en de benodigde CAPEX investering voor aanleg van het optimale netwerk, per scenario (met eventueel enkele alternatieven per scenario). Fasering van aanleg transportsysteem is relevant bij dit vraagstuk, maar dit is nog buiten scope in de eerste iteratie.

Input:

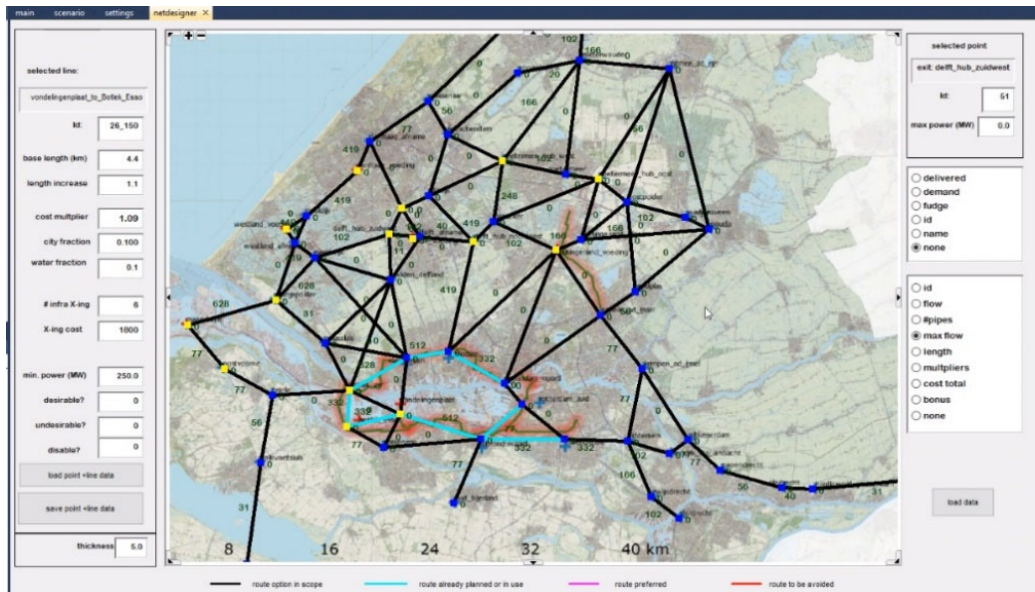
- Vraag/aanbod gegevens, voor elk van de vier scenario's:
 - Lijst met geografische punten (plaatsnaam, coördinaten) met MW aanbod per punt (uit stap 0 / stap 4).
 - Lijst met geografische punten (plaatsnaam, coördinaten) met MW vraag per punt (uit stap 1).
 - Eventueel meerdere vraag/aanbod scenario's, waarbij het netwerk alle combinaties van vraag/aanbod moet kunnen transporteren.
- Generieke leidinggegevens (uit de WarmtelinQ business case): voor elke mogelijke leidingdiameter het te transporteren vermogen in MW en de prijs in duizenden euro's per km leiding.

The screenshot displays a software interface with several panels for configuring the transport infrastructure design.

- run settings:** Includes fields for 'balance entries (1) or exits (0) ?' (set to 1), 'enforce min. power demand?' (set to 1), 'enforce given pipe diameter' (set to 0.50), 'bonus/malus' factor (set to 1), and 'use GIS coordinates' (set to 1).
- exit unit interrupt cost:** A table with columns 'LB_2' and 'value', showing a value of 50.00 for LB_2.
- entry extra supply cost:** A table with columns 'LB_2' and 'value', showing a value of 10 for LB_2.
- demand fudge margin:** A table with columns 'LB_2' and 'value', showing a value of 0.04 for LB_2.
- build cost extra factors:** Includes fields for 'meander factor land' (1.10), 'meander factor city' (1.35), 'city cost factor' (1.36), 'water cost factor' (1.50), 'infracrossing unit cost' (300), 'not used:', and 'industrial area factor' (1.20).
- pipe options:** Two tables side-by-side.

max power MW		build cost Meuro/km	
pipe capacity		pipe var pipe cost	
none	11	none	1500
1x200mm	20	1x200mm	1875
1x250mm	31	1x250mm	2250
1x300mm	40	1x300mm	2625
1x350mm	56	1x400mm	3000
1x400mm	77	1x450mm	3375
1x450mm	102	1x500mm	3750
1x500mm	166	1x600mm	4500
1x600mm	248	1x700mm	5250
1x700mm	332	1x800mm	6000
1x800mm	419	1x900mm	6750
1x900mm	512	1x1000mm	7500
1x1000mm	628	1x1100mm	8250
2x800mm	664	2x800mm	10500
2x900mm	850	2x900mm	12000
2x1100mm	1270	2x1100mm	15750
3x1100mm	1905	3x1100mm	23250
4x1100mm	2540	4x1100mm	30750
5x1100mm	3175	5x1100mm	38250
6x1100mm	3810	6x1100mm	45750
7x1100mm	4445	7x1100mm	53250
- node names:** A list of 150 nodes, including 'alphen_ad_rijn', 'leiden', 'oegsteeste', 'zoeterwoude', 'gouda', 'delft_afname', 'leidschendam', 'pijnacker', 'rijswijk', 'den Haag_afname', 'poedijk', 'zoetermeer', 'albrandswaard', 'barendrecht', 'capelle_ad_ijssel', 'krinpen_ad_ijssel', 'lansingerland_afna', 'ridderkerk', 'rotterdam_noord', 'schiedam', 'vlaardingen', 'westland_afname', 'oostpolder', 'orangevolder', 'naaldwijk', 'spijkensse', 'rotterdam_zuid', 'delft_hub_zuidwest', 'delft_hub_noord', 'zoetermeer_hub_w', 'leiderdorp', 'delft_hub_noordwe', 'alblasdendam', 'brielle', 'dordrecht', 'gorinchem', 'hardinxveld_giesse', 'halbevoetsla', 'hendrik_ido_ambac', 'maassluis', 'midden_delfland', 'oostvoorne', 'oud_bijerland', 'papendrecht', 'slidrecht', 'voorschoten', 'waddinxveen', 'wassenaar', 'zuidplas', 'zwijndrecht', 'middelhamis', 'Botlek_AVR', 'vondelingenplaat', 'maasvlakte', 'delft_voeding', 'den Haag_voeding', 'lansingerland_voed', 'westland_voeding', 'Botlek_Esso'.
- scenario selected:** A list of scenarios: RO_1, LO_1, RB_1, LB_1, RB_2, LB_2, LO_2. A red 'x' is next to LB_2.
- save data:** A button at the bottom.

- Raamwerk van transportnetwerk (afgestemd met RES werkgroepen): alle mogelijke routes / leidingdelen die in scope zijn voor Zuid-Holland, met begin- en eindcoördinaten en lengte voor elk leidingdeel.



- Optimalisatie variabelen:
 - Netwerk kosten (CAPEX):
 - Extra kostenverhogende factoren per leidingdeel. Een leidingdeel is bijvoorbeeld ~30% langer dan hemelsbreed door het meanderen (kronkelen) van de leiding.
 - Demand fudge margin (huidige waarde 4%): de mate waarin het aangesloten vermogen verminderd mag worden, zodat een kleinere leiding ook volstaat (wat leidt tot een CAPEX besparing).
 - Supply fines:
 - Exit unit interrupt cost: een boete die gerekend wordt voor het niet verbinden van een afnemer met het netwerk
 - Entry extra supply cost: de kosten voor een verhoogde productie van een producent, die boven het opgegeven vermogen aan aanbod stijgt
 - Bonus/malus voor bepaalde routes: desirable/nondesirable kosten per leidingdeel om een voorkeur voor bepaalde leidingdelen op te kunnen geven. Deze optie staat nu uitgeschakeld.
 - Flow running cost: de kosten per km per MW voor warmtetransport, om een proxy te kunnen geven van de OPEX kosten voor pompenergie / warmteverlies.

Proces:

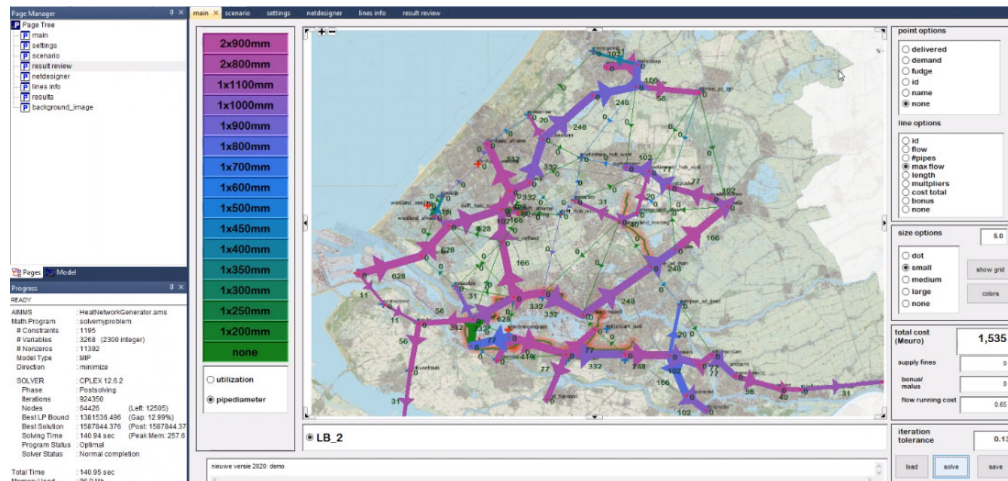
De CPLEX solver in AIMMS optimaliseert op *Minimum total cost*, bestaande uit:

- Netwerk kosten (CAPEX)
- Supply fines
- Bonus/malus voor bepaalde routes

- Flow running cost

Output:

- Per scenario een netwerkmodel dat het vraag-aanbod voor de laagste kosten kan transporteren. Voor iedere mogelijke route is bepaald of er een leiding aangelegd gaat worden. Per aangelegd leidingdeel is gespecificeerd: diameter, lengte en getransporteerd vermogen.



Berekenen van transportkosten (stap 3)

Deze doet een nauwkeuriger bepaling van de benodigde CAPEX investering voor de optimale netwerken voor elk scenario, zoals bepaald in stap 2. Daarnaast worden inschattingen gedaan van de OPEX kosten voor het opereren van elk netwerk. Samen met een rendementseis tellen deze kosten op tot de basis transportkosten.

Input:

- Netwerkmodel per scenario: diameter, lengte en getransporteerd vermogen per leidingdeel
- Volloopfactor per scenario: factor om te vermenigvuldigen met basis transportkosten onder verschillende vollooppaden (5 jaar vs. 15 jaar)
- Rendementseis 3%
- CAPEX kentallen
- OPEX kentallen

Proces per scenario:

- Nauwkeuriger bepaling van CAPEX
- OPEX bepalen
- Transportkosten bepalen (€/MW)

Output per scenario:

- Basis transportkosten o.b.v. postzegelmethode (€/MW)
- Afstandsfactor per afnemer

Tijdens de eerste iteratie wordt in stap 1 een schatting van de transportkosten gebruikt, zoals beschreven in stap 0. Na voltooien van stap 3 wordt

gecontroleerd of de berekende transportkosten grofweg overeenkomt met deze initiële schatting. Mochten beide transporttarieven sterk van elkaar verschillen, dan wordt stap 1 van het iteratief ontwerp opnieuw uitgevoerd, met de nauwkeurigere inzichten over transporttarieven zoals hierboven als output beschreven.

Verificatie van warmte-aanbod (stap 4)

Nadat de vraag voor warmte uit een regionaal warmtetransportnetwerk berekend is in elk van de vier scenario's, inclusief een initiële inschatting van de bronnen waar deze warmte vandaan komt, is het nodig om te verifiëren dat het benodigde warmte-aanbod ook daadwerkelijk geleverd kan worden door restwarmtebronnen in Zuid-Holland, en voor welke prijs per GJ.

In de verkennende fase is dit slechts beperkt gedaan. Voor de Stepping Stones is de verwachting dat er voldoende vermogen beschikbaar zal zijn.

Bijlage D. RES, RSW en TVW

Binnen deze appendix wordt uitgeweid over de beleidsprocessen die binnen Nederlandse regio's spelen rondom de warmtetransitie. Hierin worden de volgende processen behandeld: De Regionale Energie Strategieën (RES), Regionale Structuur Warmte (RSW), Transitievisies Warmte (TVW). Hiernaast wordt kort gekeken naar de Warmtewet 2, omgevingswet en de regelgeving rondom het 'Niet-meer-dan-anders-tarief' (NMDA).

Transitievisie Warmte

Binnen deze documenten wordt in de Transitievisies Warmte door de gemeenten uitwerkt hoe deze de buurten binnen hun gemeente op het vlak warmte willen gaan verduurzamen. In dit document geven de gemeenten een tijdspad weer voor het aardgasvrij maken van hun gebied, in de vorm van een 'Buurt Uitvoeringsplan Aardgasvrij'. Per buurt wordt gekeken naar de meeste geschikte warmte-alternatieven, waarbij het laag houden van de kosten voor de omgeving een grote rol speelt. Ook wordt onder andere gekeken naar het tempo van verduurzaming, het creëren van voldoende draagvlak en de schaalbaarheid van de oplossingen. Voorbeelden van oplossingen zijn een warmtenet voor een buurt, of een buurt verwarmen met elektrische oplossingen (warmtepompen).

De Regionale Structuur Warmte

De Regionale Structuur Warmte geeft een inschatting van huidige en toekomstige cruciale knelpunten en/of kansen voor ontwikkeling van warmteoplossingen op regionaal niveau. Deze inzichten zijn nodig om tot een logische inzet en verdeling van warmtebronnen voor de gebouwde omgeving te komen. Als hiervoor een nieuwe warmte-infrastructuur nodig is, wordt er ook gekeken of en op welke termijn deze ruimtelijk ingepast zou kunnen worden.

Daarnaast biedt het regionale schaalniveau de mogelijkheid om ook de warmtevraag en het warmteaanbod van andere sectoren te bezien. Daarbij kan verkend worden wat de potentie is voor de bovengemeentelijke warmte-infrastructuur. Het is dus niet de bedoeling dat de RSW dubbelt met de TVW's maar juist helpt in de verbinding tussen sectoren en gemeenten (*Handreiking NP-RES*).

Proces tot vaststelling TVW en RES'en

De RES'en zullen in de tweede helft van 2021 vastgesteld worden door gemeenteraden, de Provinciale State en de Algemene Besturen van de betrokken waterschappen. De transitievisies warmte zullen eind 2021 vastgesteld worden door de gemeenteraden. De buurt-/wijkuitvoeringsplannen van de wijken die voor 2030 van het aardgas gehaald worden zullen hier ook in beschreven moeten worden.

In het figuur hieronder is de relatie tussen de RES, RSW, TVW en buurt uitvoeringsplannen schematisch weergegeven.

Wet- en regelgeving omtrent de warmtetransitie

In de aankomende jaren zijn er twee wet- en regelgevingsveranderingen die een grote impact zullen hebben op de warmtetransitie; De invoer van de nieuwe warmtewet (Warmtewet 2) en de invoer van de (nieuwe) omgevingswet.

Bij invoering van de Warmtewet 2 staan belangrijke veranderingen in de sector van warmtelevering op de agenda (van met name warmte die is bedoeld voor kleinverbruikers, ruimteverwarming en warm tapwater). Zo is in de consultatieversie beschreven dat onder meer (i) de gemeente een regierol krijgen en warmtekavels moeten aanwijzen, (ii) de momenteel toepasselijke en veelbesproken 'niet-meer-dan-anders'-tariefregulering (de 'gasreferentie') worden losgelaten, en (iii) verplichtingen worden ingevoerd voor het verduurzamen van warmtesystemen. De Warmtewet 2 is nu in procedure, waardoor de uiteindelijke uitkomsten en inwerkingtreding van de wet nog niet vaststaan.

De resultaten van de transitievisies warmte en RES'en zullen lokaal geborgd worden in de gemeentelijke omgevingsvisie middels de nader in te voeren omgevingswet (2022). Deze nieuwe omgevingswet bundelt een grote hoeveelheid omgeving gerelateerde wet- en regelgeving in een wetgevingskader.

