



Berenschot

ROUTEKAART

Hybride warmtepomp

7 maart 2017

Routekaart
Hybride warmtepomp

Berenschot
Bert den Ouden
Peter Graafland
Rutger Bianchi

BDH
Paul Friedel

7 maart 2017

Inhoud

Managementsamenvatting	6
1. Inleiding	10
1.1 Waarom een hybride warmtepomp?.....	11
1.2 Verduurzaming gebouwde omgeving	12
1.3 Verduurzamingsopties.....	12
1.4 Waarom een routekaart?	14
2. Potentieel hybride warmtepomp	16
2.1 Wat is een hybride warmtepomp?	18
2.2 Versnelling met de hybride warmtepomp	20
2.3 Energiekostenvergelijking.....	21
2.4 Flexibiliteitspotentieel	22
3. Toekomstbeelden verduurzaming gebouwde omgeving	24
3.1 Impact op de infrastructuur.....	25
3.2 Volledige verduurzaming met hybride warmtepompen	27
4. Impact hybride warmtepomp op het Energieakkoord	28
5. Routekaart	32
5.1 Barrières en kansen.....	33
5.2 Mogelijke oplossingsrichtingen	36
5.3 Impact van actoren op de routekaart.....	39
6. Conclusie	40
Bijlagen	44
Bijlage 1	45
Bijlage 2	46
Bijlage 3	49

Management- samenvatting

Voorwoord

Er is momenteel een sterke wens om de warmtevoorziening van woningen, nu vrijwel uitsluitend aardgas, meer te gaan baseren op elektriciteit. Dat kan met een warmtepomp op elektriciteit die duurzame buitenwarmte naar binnen pompt. In de praktijk zijn er daarbij twee mogelijkheden: een all-electric warmtepomp (zonder gasnet, waarbij alles elektrisch gaat) of een hybride warmtepomp (die is ook elektrisch, waarbij de gasketel soms nog meehelpt, bijvoorbeeld op de koudste dagen).



Waarom een routekaart hybride warmtepomp?

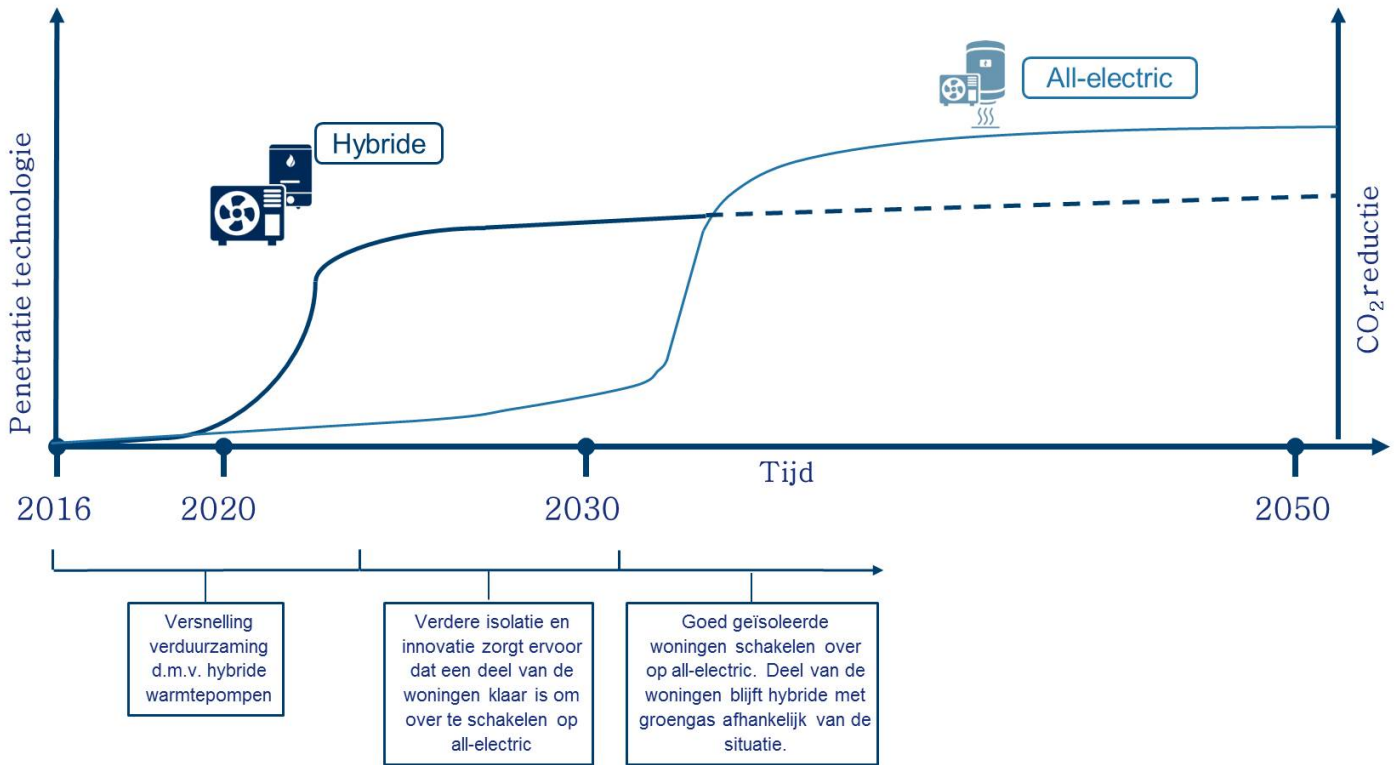
Het aantal hybride warmtepompen in Nederland is nu nog beperkt (+/- 20.000). Deze aantallen zijn klein in vergelijking met de verkoop van gasgestookte cv-ketels, waarvan er jaarlijks ongeveer 400.000 worden verkocht, grotendeels in de bestaande bouw. Veel van die situaties zijn heel goed geschikt voor de hybride warmtepomp. Het doel is om een steeds groter aandeel van die 400.000 te laten vervangen door hybride warmtepompen als de opvolger van de HR-ketel. Uiteindelijk moet het plaatsen van een mono-gasketel (zonder warmtepomp) een uitzondering worden. Om deze transitie te stimuleren is deze routekaart ontwikkeld.

“Hybride warmtepompen zullen naar verwachting een aanzienlijk deel van de warmte in bestaande woningen gaan leveren”, Warmtevisie minister Henk Kamp.

Versnelling van de energietransitie

Een volledig elektrische warmtepomp vereist vergaande isolatie en een verwarmingssysteem op lage temperatuur, zoals vloerverwarming. Dit betekent dat een all-electric warmtepomp prima in nieuwe woningen past waar dit meteen toepasbaar is zonder al te hoge kosten. (Ver)nieuwbouw zou standaard gasloos moeten zijn. In bestaande woningen is dat echter lastig, omdat dit dan een gedeeltelijke verbouwing vraagt die moeilijker toepasbaar en duur is, hetgeen in de praktijk niet vaak plaatsvindt. Dat vertraagt de elektrificatie en remt de vermindering van het gasverbruik. Bovendien zouden er bij grootschalige toepassing grote verzwaringen nodig zijn in elektriciteitsnetten en opwekvermogen (centrales).

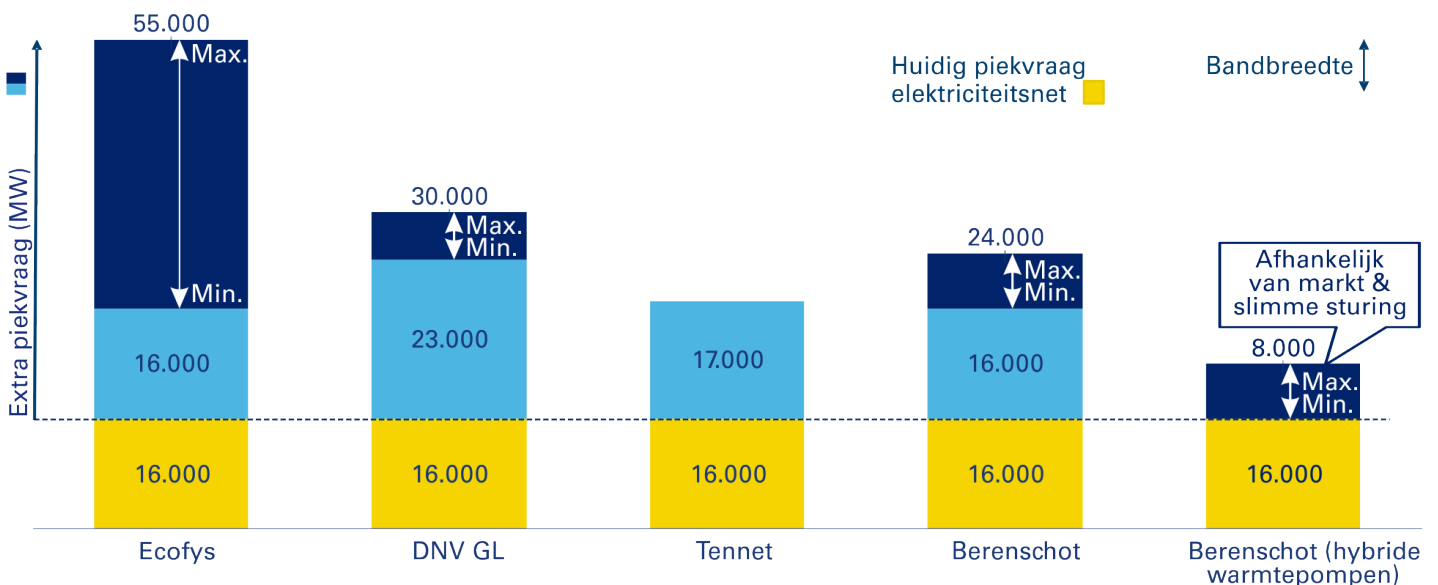
De hybride warmtepomp vermijdt deze problemen in de bestaande bouw. Net als all-electric draait deze op elektriciteit en duurzame buitenwarmte, maar de pieken worden gedekt met (groen) gas. Dat belast het elektriciteitsnet veel minder, zeker in combinatie met slimme sturing. Er is ook geen vloerverwarming of extreme isolatie nodig. Daardoor past het betaalbaar in bestaande woningen, als opvolger van de HR-ketel. Daarmee kunnen we nu een grote snelle slag maken naar verduurzaming voor alle woningen. Dat kan dan ook een goede opstap zijn naar all-electric naarmate verder onderzoek leidt tot goedkopere opslag en superisolatie in bestaande bouw.



Figuur 1: Abstracte weergave van het verduurzamingspotentieel en groeipad van verschillende opties.

Bij volledige elektrificatie zal er, afhankelijk van de warmtevraag, een grote elektriciteitspiek ontstaan op koude winterdagen, waarvoor het elektriciteitsnet toegerust moet zijn. Bovendien zijn er veel extra stuurbare (fossiele) centrales nodig (figuur 2) zolang er onvoldoende aanbod van altijd beschikbare duurzaam opgewekte elektriciteit is en/of er nog geen goede

seizoensopslagmogelijkheden voor elektriciteit zijn. Indien het elektriciteitsnet onvoldoende is gedimensioneerd voor grootschalige elektrificatie van warmte komt de voorzieningszekerheid van alle elektrische toepassingen in het geding. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in een koude windstille winterweek. Er is daarbij kans op issues in de voorzieningszekerheid.



Figuur 2: Het effect van 75% all-electric warmtepomp in de gebouwde omgeving op de elektrische piekvraag in Nederland bij een zeer koude winter

De hybride warmtepomp

De hybride warmtepomp is de oplossing voor deze problemen (figuur 1). Hybride warmtepompen vragen geen extreme isolatie, vloerverwarming, netwerkaanpassingen (verzwaring) en additioneel opwekvermogen. Daarmee kun je dus snel elektrificeren en het gasverbruik en CO₂-emissies terugdringen. Naast de elektriciteit als hoofdbron verbruikt een hybride warmtepomp nog wel wat gas, maar veel minder dan bij een CV-ketel. Het benodigde gas kan bovendien worden gedekt met groen gas uit duurzame bronnen.

Omdat de HR-ketel de piekvraag in de winter opvangt, zijn er ook geen grote netwerkuitbreidingen en/of extra elektriciteitscentrales nodig. Doordat de piekvraag naar elektriciteit hierdoor redelijk laag blijft is er meer flexibiliteit in het systeem ten bate van voorzieningszekerheid, betaalbaarheid en duurzaamheid.

Met hybride warmtepompen kan derhalve direct begonnen worden met verduurzaming, en zijn ingrijpende bouwkundige maatregelen niet meteen noodzakelijk. Als isolatiekwaliteit en energie-opslagmogelijkheden zich nog verder ontwikkelen kunnen goedkoper en makkelijke verdergaande maatregelen worden genomen, om uiteindelijk over te stappen naar een all-electric warmtepomp. De hybride optie brengt daarmee een “vliegende start” bij het plaatsen van warmtepompen in de Nederlandse woningen. Daarmee wordt niet alleen een fors deel van de besparing versneld gerealiseerd, maar is er ook de mogelijkheid om minder risicovol (met een HR-ketel als backup) ervaring op te doen met warmtepompen in bestaande woningen. Dit maakt de overstap naar all-electric eenvoudiger voor overheid, installateur en consument.

De vijf belangrijkste uitdagingen

Op 8 december 2016 zijn stakeholders uit alle warmtepompgerelateerde sectoren en beroepsgroepen bijeengekomen om te spreken over de mogelijkheden en uitdagingen voor hybride warmtepompen. Met behulp van de deelnemers zijn de belangrijkste knelpunten voor hybride warmtepompen in kaart gebracht. Daarnaast is ook een begin gemaakt met het formuleren van concrete oplossingen. Het is nadrukkelijk de bedoeling om samen met de stakeholders deze oplossingen verder uit te werken en te gaan implementeren.

De vijf belangrijkste uitdagingen zijn:

1. *Advies en kennisniveau consument*
Consumenten hebben in het algemeen relatief weinig kennis van energiesystemen. Het bewustzijn op gebied van de energievoorziening en in het bijzonder (hybride) warmtepompen is beperkt. Dit kan sterk worden verbeterd.
2. *Aanschafkosten*
De aanschafkosten van warmtepompen zijn fors hoger dan voor een HR-ketel. Door de ISDE-subsidie is de totale kostprijs van de warmtepomp over de levensduur meestal gunstig, maar desalniettemin moet de nieuwe installatie in eerste instantie wel door de bewoner gefinancierd kunnen worden.
3. *Standaardisering (plug and play)*
Hoewel warmtepompen als technisch product inmiddels zeer volwassen en betrouwbaar zijn, is de marktpenetratie nog gering. Mede daardoor is de inpassing van een warmtepomp nog geen standaardklus. Voor de HR-ketel hebben grootschalige projecten voor woningcorporaties ertoe geleid dat de installatieprocedures sneller en eenvoudiger geworden zijn. Deze ontwikkeling heeft voor (hybride)warmtepompen nog niet plaatsgevonden, maar kan wel in gang worden gezet.
4. *Verplichting en incentive voor de bestaande bouw*
Energiebesparing in bestaande woningen wordt nauwelijks wettelijk afgedwongen. Buiten de subsidie is er ook geen fiscale prikkel van toepassing op energiebesparing in de woning. Terwijl juist in de bestaande woningen de grootste besparing mogelijk en noodzakelijk is. Hier kunnen verschillende instrumenten worden overwogen.
5. *Kennisniveau en voorkeur installateurs*
Als gevolg van de bovenstaande punten is de vraag naar warmtepompen beperkt. De kennis van installateurs is overeenkomstig slecht ontwikkeld. De meeste klanten zullen niet naar warmtepompen vragen, of terugschrikken voor de (perceptie van) meerkosten. De installateurs zullen veel meer de noodzaak moeten ervaren om zich in warmtepompen te verdiepen.

"Het is van belang dat de aangewezen actoren actie ondernemen om knelpunten weg te nemen door samen aan oplossingsrichtingen te werken. In de routekaart worden de oplossingsrichtingen geformuleerd. Hierdoor kan een versneling plaatsvinden van de energietransitie zelfs al in de periode van het energieakkoord."

Inleiding

Hoofdstuk 1

De energietransitie is een grote maatschappelijke uitdaging met een grote impact, vrijwel iedereen in de maatschappij gaat er iets van merken. De energietransitie vraagt een gemeenschappelijke inspanning. We zullen alle mogelijkheden om te kunnen verduurzamen aan moeten grijpen. Bovendien is het van belang om daar waar dat kan snel te verduurzamen, CO₂ stapelt zich namelijk op.



Dit kan gezien worden als een badkuip die vol loopt, hoe meer en hoe eerder de CO₂ bespaard wordt hoe beter. Als je te lang wacht is de badkuip tenslotte al vol. Deze routekaart focust zich op een techniek die kan bijdragen aan een directe besparing van CO₂ in de gebouwde omgeving, namelijk de hybride warmtepomp.

Met deze routekaart worden knelpunten met oplossingsrichtingen gegeven om het potentieel van de hybridewarmtepomp te realiseren. Aanleidingen hiervoor zijn de klimaatdoelstellingen, de afspraken uit het energie akkoord en de aanzienlijke rol die hybride warmtepompen kunnen spelen bij de verduurzaming van de gebouwde omgeving. De werking, impact en mogelijke rol van de hybride warmtepomp wordt eerst uitgelicht (hoofdstuk 2-4) alvorens de resultaten van de routekaart worden gepresenteerd (hoofdstuk 5).

1.1 Waarom een hybride warmtepomp?

Een belangrijk verschil met andere verduurzamingsopties, op besparing na, is dat hybride warmtepompen nu direct al een aanzienlijke bijdrage kunnen leveren aan de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en hiermee een versnelling teweeg kunnen brengen die met andere verduurzamingsopties (warmtenetten en all-electric warmtepompen) waarschijnlijk niet haalbaar is. Het gebruik van de hybride warmtepomp kan parallel lopen aan de implementatie van all-electric en warmtenetten, waardoor stilstand voorkomen wordt en nu al een aanzienlijke CO₂ besparing mogelijk is. Het is belangrijk om te beseffen dat een initiële keuze voor een optie geen “lock-in”¹ betekent. Warmte-installaties gaan circa vijftien jaar mee en op een later moment kan altijd worden overgegaan op een andere verduurzamingsoptie zoals bijvoorbeeld all-electric warmtepompen.

¹ Lock in, in deze context suggereert dat een keuze voor een bepaalde technologie ervoor zorgt dat andere technologieën niet meer toepasbaar zijn omdat dit economisch gezien zeer nadelig is (vanwege de gedane investeringen in de technologie of infrastructuur keuze).

1.2 Verduurzaming gebouwde omgeving

Het grootste deel (80%) van onze energievraag in de gebouwde omgeving bestaat uit warmte.² Voor de verduurzaming van deze energievraag die nu hoofdzakelijk door gas wordt ingevuld, is een ingrijpende verandering noodzakelijk. Hiervoor zijn vier belangrijke opties beschikbaar:



All-electric warmtepompen

In het geval van all-electric dienen warmtepompen als vervanging van de huidige cv-ketels en gebruiken elektriciteit in plaats van gas voor de productie van warmte. De toepassing van de warmtepomp kan worden gezien als een vorm van duurzame energie, waarbij lage temperatuur omgevingswarmte uit de bodem of de lucht wordt gebruikt en wordt opgewerkt tot een hoger niveau voor verwarmingsdoeleinden. Warmtepompen vergen vergaand geïsoleerde woningen vanwege de lage-temperatuur-afgiftesystemen en zorgen voor een grotere elektriciteitsvraag, met bijbehorende transportkosten (zie bijlage 3, figuur 1). Ook ontstaat er een grote behoefte naar flexibiliteit op het elektriciteitsnetwerk om vraag en aanbod te kunnen matchen.



Hybride warmtepompen

Een hybride warmtepomp is hetzelfde als een elektrische warmtepomp met daarnaast als back-up een HR-ketel. Voor een groot deel van het jaar kan de warmtepomp buitenlucht of ventilatielucht gebruiken. In beide gevallen is er evenals bij de all-electric sprake van duurzame energie uit de lucht. Onder speciale omstandigheden zoals vrieskou of te grote netwerkbelasting kan er overgeschakeld worden naar een HR-ketel (eventueel op groen gas). Hierdoor hoeft een minder zware warmtepomp geïnstalleerd te worden, met daardoor minder belasting voor het elektriciteitsnet (zie figuur 10) en is verregaande isolatie geen directe vereiste. Op deze manier kan een duurzame warmtepomp makkelijk geplaatst worden in bestaande.



Warmtenetten

Bij warmtenetten wordt warmte op één centrale locatie geproduceerd en vervolgens door goed geïsoleerde buizen naar woningen getransporteerd. De warmteproductie kan komen uit verschillende bronnen zoals AVI's, restwarmte uit de industrie, geothermie en biomassa. Kleinschalige opties, waarbij de warmte duurzaam binnen de woonwijk wordt opgewekt, zijn ook mogelijk. Inzetten op deze optie vergt het aanleggen van warmtenetten en de zekerheid van de beschikbaarheid van bronnen. Voor onderhoud, piekvraag en leveringszekerheid zijn back-up ketels veelal noodzakelijk.



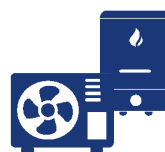
Energiebesparing

Het toepassen van technieken om de energievraag van de woning terug te dringen door middel van isolatie (HR++ glas, spouwmuur isolatie, vloerisolatie, dakisolatie) of warmterugwinning is de eerste stap naar verduurzaming. Ongeacht de warmtebron die het huishouden heeft (ketel, warmtepomp, hybride warmtepomp of warmtenet) is het terugdringen van de energievraag de eerste stap om CO₂-emissies te reduceren en de energierekening te verlagen.

De opties verschillen in potentieel als het gaat om CO₂-reductie en het versneld doorvoeren van verduurzaming (tabel 1en Ecofys 2015). Het is belangrijk om te beseffen dat een initiële keuze voor een optie hybride warmtepomp geen "lock-in" betekent. Er kan nu een grote verduurzamingsprong met hybride warmtepompen worden gemaakt uiteindelijk is het dan nog altijd mogelijk om op een all-electric of warmtenet of andere verduurzamingsoptie te eindigen.

1.3 Verduurzamingsopties

Elke vorm van verduurzaming heeft verschillende kenmerken (tabel 1). De belangrijkste kenmerken van de drie genoemde varianten zijn hieronder verder uitgewerkt, in vergelijking met een standaard HR-ketel.

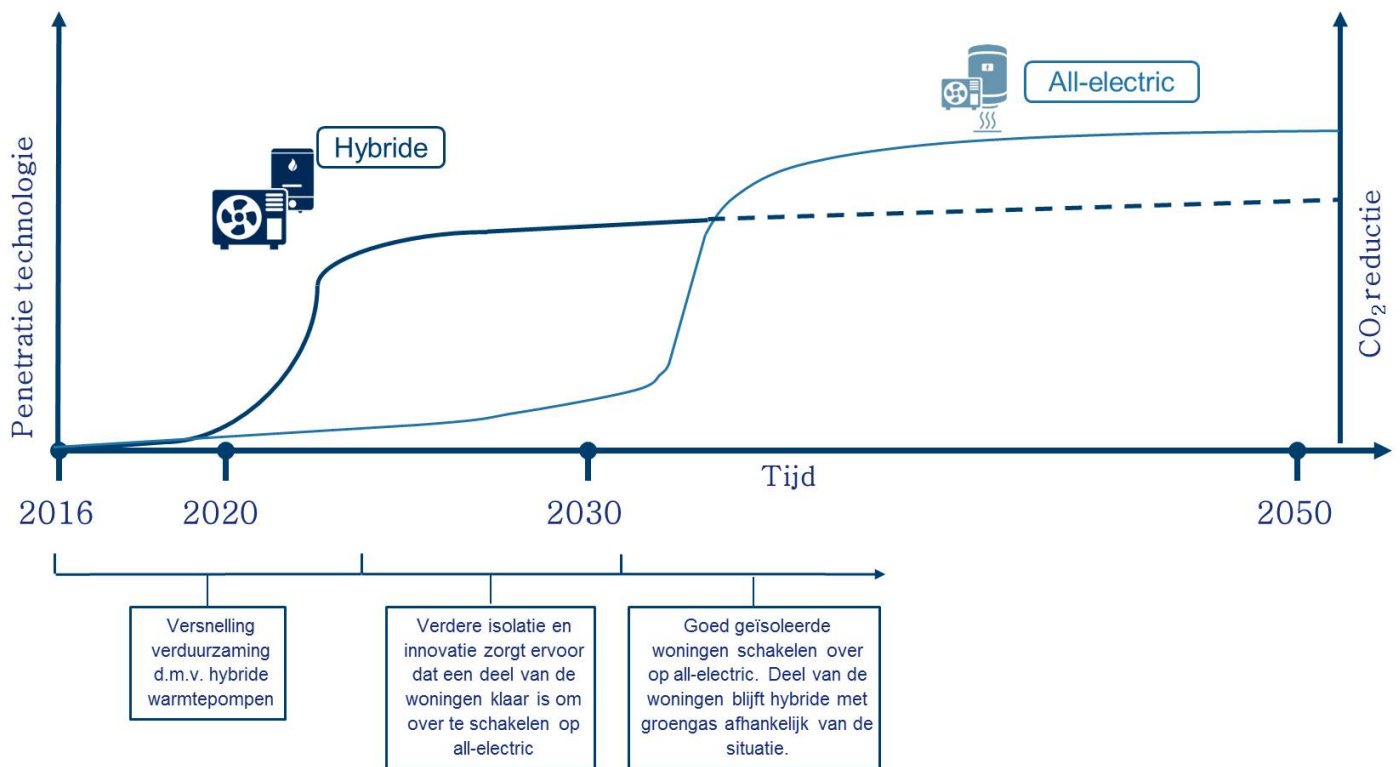
**All-electric****Warmtenetten****Hybride
warmtepomp****Gas CV**

Afgiftesysteem	Lage temperatuurverwarming voorwaarde	Geen aanpassing vereist	Hoge of lage temperatuurverwarming	Hoge temperatuurverwarming
Aandeel gas	Afhankelijke van brandstof voor elektriciteitscentrales	Afhankelijk van bijstook met gasketels	25-50% ¹	100%
Isolatie vereist	Voorwaarde	Geen vereiste	Geen vereiste	Geen vereiste
Jaarlijkse transportkosten	Hoog	Geen verandering	Geen verandering	Geen verandering
Energiekosten	Daling	Geen verandering (NMDA)	Daling	Geen verandering
Prijs technische installatie	Hoog	Hoog	Gemiddeld	Laag
CO₂ uitstoot	Afhankelijk elektriciteitsproductie park*	Afhankelijk van warmtebron, bijstookfactor en hulpwarmte	Afhankelijk van aandeel groengas	Hoog
Netinvestering	Hoog	Hoog (aanleg warmtenet)	Matig/geen	Geen
Piekvraag elektriciteitsnet	Hoog	Geen	Geen	Geen

Tabel 1: Kwalitatieve vergelijking verduurzamingsopties. * De CO₂ emissie die veroorzaakt wordt door het verbruiken van elektriciteit, is afhankelijk van het productiepark.

De hybride warmtepomp is de enige oplossing die de mogelijkheid biedt om nu direct een flinke besparing te realiseren, ook in woningen die niet zijn na-geïsoleerd en die niet over vloerverwarming beschikken (tabel 1). Bijkomend voordeel van deze optie is, dat de belasting van het elektriciteitsnetwerk bij de inzet van hybride warmtepompen flexibel kan worden geregeld³, mits afspraken worden gemaakt over de aansturing van de installaties. Door deze flexibiliteit kan netverzwaring worden voorkomen en kan de verduurzaming van de gebouwde omgeving sneller worden gerealiseerd. In bijlage 2 is een versimpelde korte beschrijving van de in deze studie meegenomen verduurzamingsopties weergegeven.

³ Bij dreigende congestie (door bijvoorbeeld elektrische auto's) kan immers snel worden overgeschakeld op aardgas als brandstof. Dit kost op jaarbasis een verwaarloosbare hoeveelheid extra aardgas, maar levert serieuze besparing in netwerkkosten en investeringen op, die kunnen worden aangewend voor verdergaande energiebesparing via andere maatregelen.



Figuur 1: Abstracte weergave van het verduurzamingspotentieel en groeipad van verschillende opties.

Door nu een keuze te maken voor hybride systemen kan de verduurzaming aanzienlijk versneld worden waarbij na verloop van tijd alsnog andere opties mogelijk zijn. Vanwege de ingrijpende veranderingen die nodig zijn ten opzichte van de huidige bouwkundige en infrastructurele situatie in Nederland (figuur 1) voor All-electric en warmtenetten gaat verduurzaming met deze technologieën vele malen langzamer.

1.4 Waarom een routekaart?

Hybride warmtepompen worden al ruim tien jaar toegepast in Nederlandse woningen. Naar schatting zijn er in deze periode circa 20.000 installaties verkocht (schatting DHPA). Het aantal leveranciers is in de afgelopen jaren flink gegroeid, zodat er voor de meeste bestaande woningen een passende oplossing is. Ook bij woningcorporaties zijn er verschillende succesvolle projecten met hybride warmtepompen uitgevoerd. Deze aantallen zijn klein vergeleken met de verkoop van gasgestookte cv-ketels, waarvan er zo'n 400.000 per jaar worden verkocht. Om het verduurzamingspotentieel van de hybride warmtepomp in de gebouwde omgeving te stimuleren is deze routekaart ontwikkeld.

De routekaart is in samenwerking met marktpartijen en andere belanghebbende actoren tot stand gekomen (figuur 2). De routekaart geeft duiding aan de verschillende barrières die uit de markt naar voren komen.



Figuur 2: Weergave geïdentificeerde actoren

Met deze routekaart proberen we een bijdrage te leveren aan de versnelling van verduurzaming in de gebouwde omgeving. Deze routekaart geeft ook invulling op een bevinding uit een recent gepubliceerd rapport in opdracht van RVO waarin staat dat er te weinig aandacht is voor (efficiënte en duurzame) toepassingen van gas is.⁴

Voor het identificeren van de knelpunten en oplossingsrichtingen zijn interviews gehouden, is deskresearch gedaan en zijn verschillende rekenexercities uitgevoerd. Vervolgens is de informatie gevalideerd en aangevuld in een bijeenkomst waar alle actoren zijn uitgenodigd (bijlage 1). Tijdens deze workshop is een prioritering gemaakt van de belangrijkste knelpunten met daarbij een aantal oplossingsrichtingen, te nemen stappen en de hierbij betrokken actoren.

⁴ EY, Rapport RVO Onderzoek Institutionele Belemmeringen - Lage Temperatuur. (2016)

Potentieel hybride warmtepomp

Hoofdstuk 2

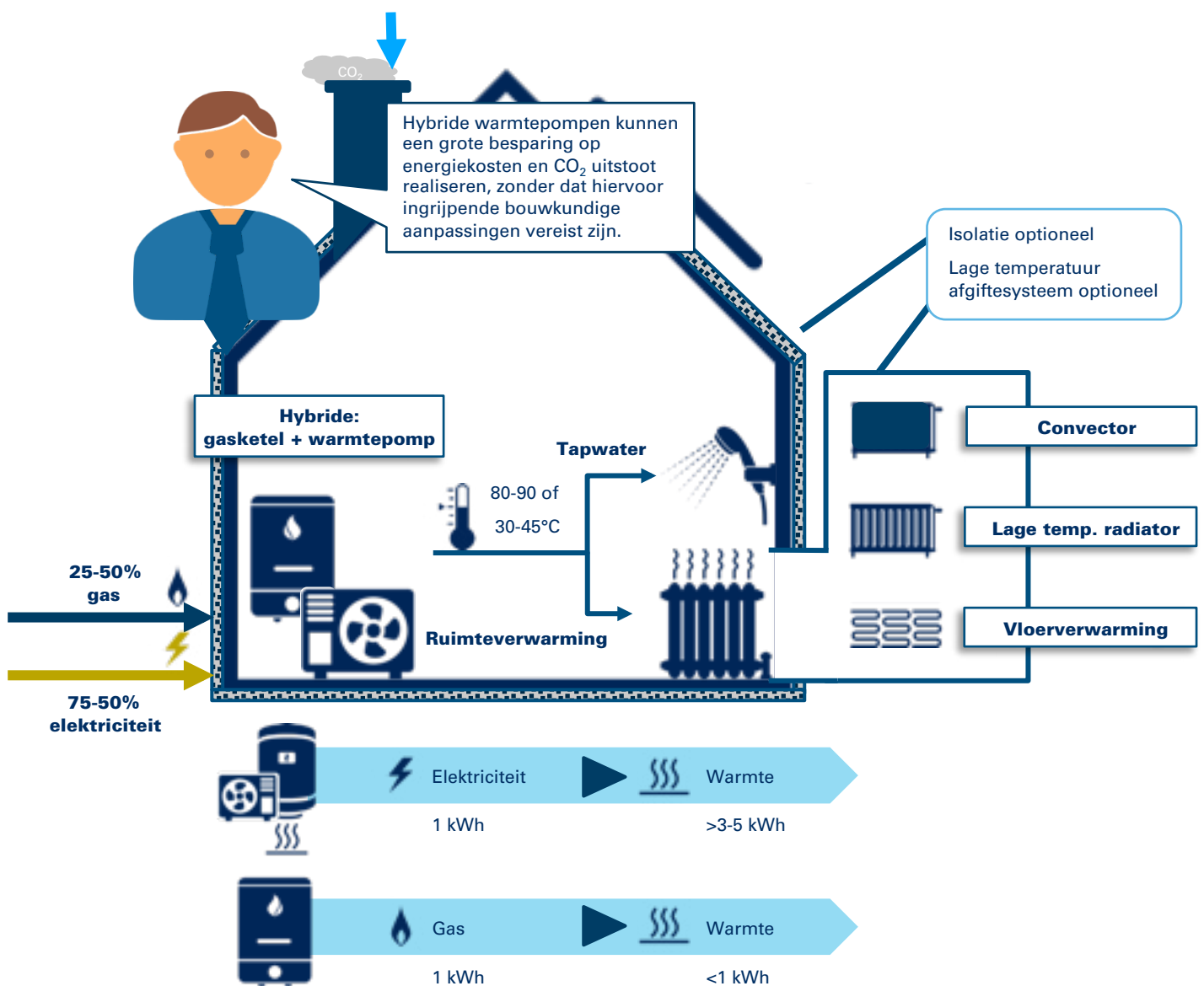
Uit de interviews bleek dat een gebrek aan kennis bij consumenten, installateurs en beleidsmakers een belangrijke reden is voor de lage penetratie van de hybride warmtepomp. In dit hoofdstuk wordt getracht meer uitleg te geven omtrent de werking, de versnelling en andere bijkomstige voordelen van de hybride warmtepomp.



2.1 Wat is een hybride warmtepomp?

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische (in de meeste gevallen lucht/water) warmtepomp met een gasgestookte HR-ketel en is goed toepasbaar in bestaande en nieuwe woningen. Een hybride warmtepomp maakt daarmee de inzet van duurzame elektriciteit voor ruimteverwarming mogelijk en combineert dit met de mogelijkheid om de belasting van het elektriciteitsnetwerk te minimaliseren wanneer dit voor het totale energiesysteem voordelig is. Hetzij door de warmtepomp uit te schakelen of over te schakelen op gas wanneer er weinig elektriciteitsaanbod is of wanneer er congestie dreigt; hetzij door de warmtepomp juist in te schakelen indien er een groot elektriciteitsaanbod is.

Hybride warmtepompen kunnen veelal worden toegepast zonder grote ingrepen in de woning; zo is er bijvoorbeeld geen vloerverwarming noodzakelijk. Wel kan het wenselijk zijn om de oude radiatoren te vervangen door convectoren of lage temperatuur radiatoren. Deze kunnen (met beperkte aanpassingen) geplaatst worden op dezelfde plek als de oude radiatoren, bieden meer comfort en verdienen zichzelf in combinatie met een warmtepomp bovendien relatief snel terug. Dit omdat de efficiëntie van een warmtepomp bij een lagere afgiftetempe-
ratuur hoger is en het energieverlies minder (figuur 5; bijlage 2, figuur 1).



Figuur 3: Illustratie van de hybride warmtepomp

De elektrisch aangedreven warmtepomp zorgt in veel gevallen voor het overgrote deel (circa 75%) van het jaar voor de benodigde ruimteverwarming (centrale verwarming – CV) met als hernieuwbare energiebron buitenlucht of ventilatielucht.

Een warmtepomp is zeer efficiënt maar kan in het algemeen niet onder alle omstandigheden voldoende vermogen leveren. Aanvullend vermogen kan worden verzorgd door elektrische bijstook of door gas (hybride). Een hybride warmtepomp schakelt van de warmtepomp over naar de HR-ketel op de extreem koude dagen en voor het produceren van warm tapwater (afhankelijk van de aanwezigheid van een buffervat). Hiermee worden de sterke kanten van beide technologieën in één combinatie gebruikt en blijft comfort behouden. Er zijn twee hoofdvarianten van hybride warmtepompen te onderscheiden:

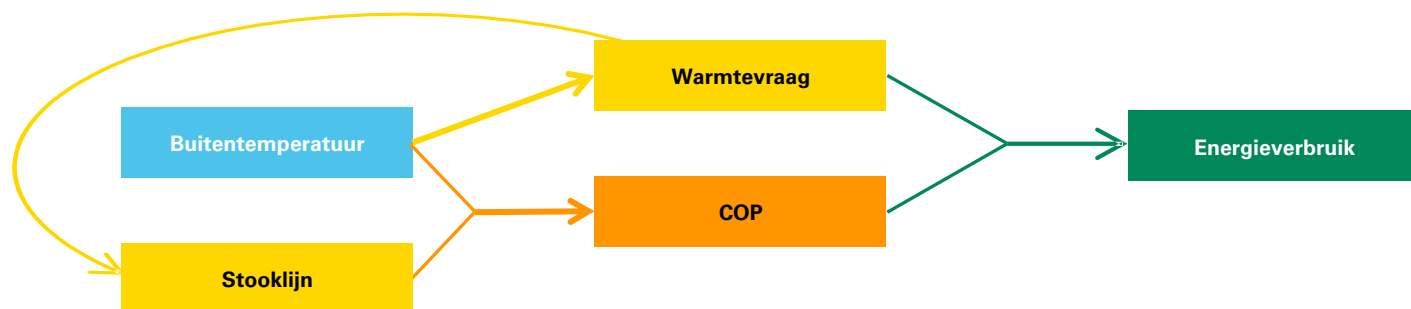
- Warmtepomp op buitenlucht + HR-ketel
- Warmtepomp op ventilatielucht + HR-ketel

Al naar gelang de situatie, kan de warmtepomp als add-on bij een bestaande ketel geplaatst worden, of wordt er een compleet geïntegreerd systeem geplaatst.

In de volgende paragrafen worden deze twee opties verder beschreven. Hybride warmtepompen kennen verschillende installatiemogelijkheden (bijlage 2, figuur 2).

2.1.1 Buitenluchtwarmtepomp

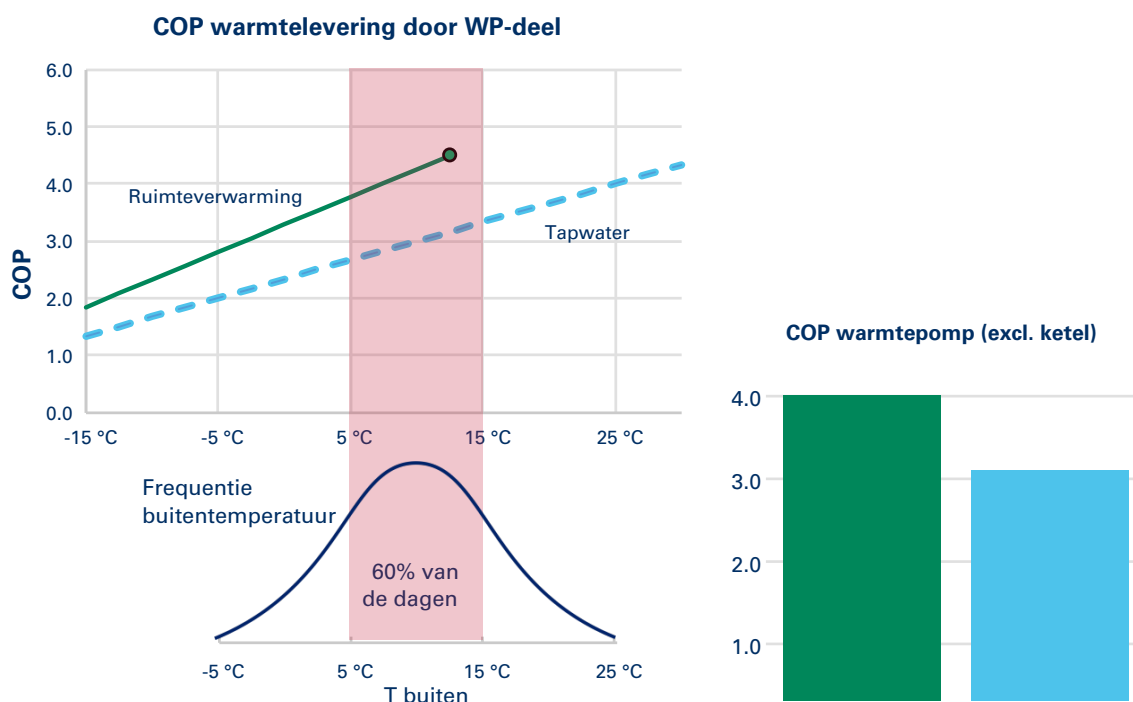
De COP van de warmtepomp voor ruimteverwarming wordt bepaald door de temperatuursprong, ofwel het verschil tussen stooktemperatuur en buitentemperatuur. Op koude dagen is de brontemperatuur lager, maar is ook de stooktemperatuur hoger, zodat de temperatuursprong extra groot wordt (figuur 4; bijlage 2, figuur 1).



Figuur 4: Het effect van buitentemperatuur op de COP

Het effect van buitentemperatuur op de COP en daarmee de energievraag is tweeledig: de brontemperatuur (gelijk aan buitentemperatuur) is lager, en de afgiftetemperatuur is hoger (hogere stook-

temperatuur nodig om gevraagde vermogen te kunnen afgeven in de woning). Het temperatuurverschil, dat bepalend is voor de COP, groeit dus versterkt bij een dalende buitentemperatuur.



Figuur 5: Het verband tussen COP voor ruimteverwarming en tapwater

De COP is het hoogst voor de temperaturen die binnen het stookseizoen het vaakst voorkomen. De jaarrond gemiddelde COP voor de warmtepomp ligt voor een traditioneel afgiftesysteem (dus geen vloerverwarming) bij circa 4. De COP voor tapwater ligt jaarrond rond de 3.

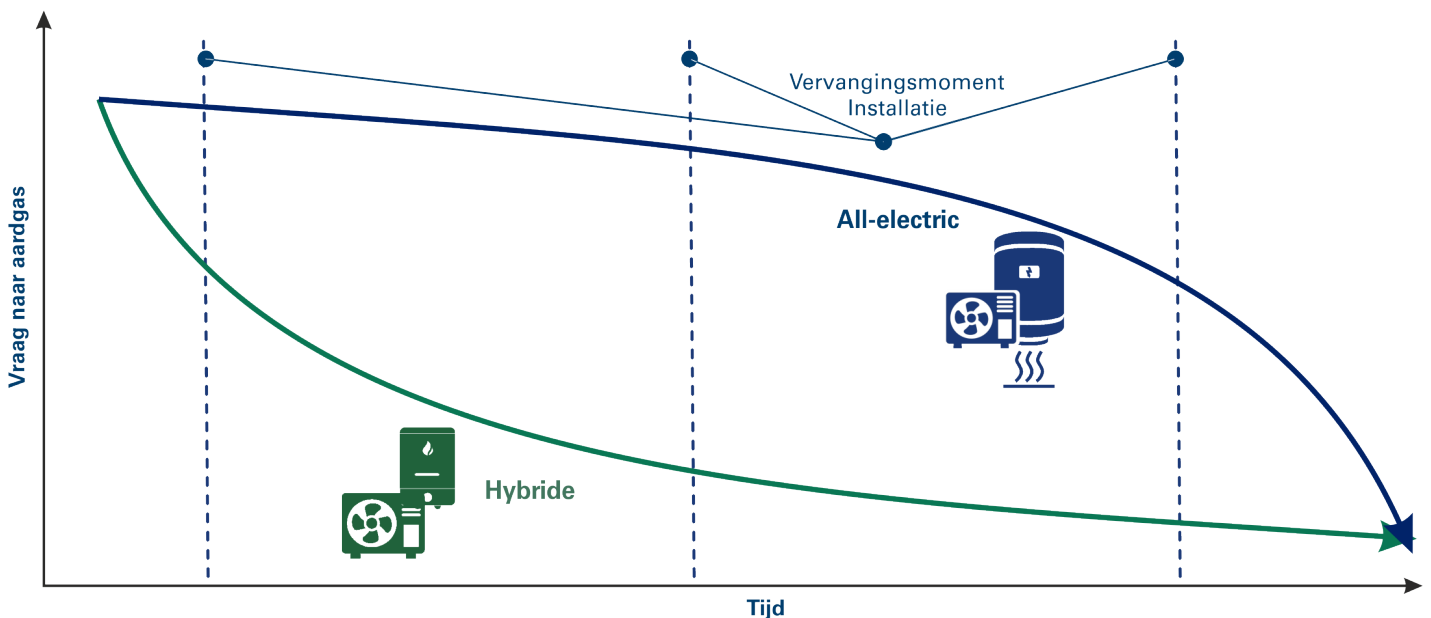
2.1.2 Ventilatieluchtwarmtepomp

De ventilatiwarmtepomp gebruikt afgezogen ventilatielucht als bron. De brontemperatuur varieert licht over de dag, met een gemiddelde van ca. 18 á 19 °C. De gemiddelde COP over het

stookseizoen kan tot ruim boven de 5 komen voor ruimteverwarming en ligt bij circa 3.5 voor tapwater.

De COP is hoger dan bij het gebruik van buitenlucht als bron. Daar staat tegenover dat de hoeveelheid warmte die geproduceerd wordt, wordt beperkt door de grootte van het huis en de gerelateerde ventilatiebehoefte. Hierdoor is een ventilatieluchtwarmtepomp in beginsel ontoereikend om een groot deel van de vraag naar ruimteverwarming te kunnen dekken.

2.2 Versnelling met de hybride warmtepomp



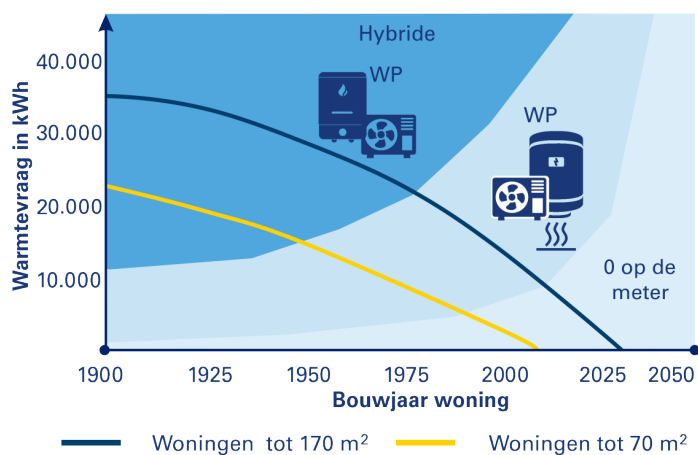
Figuur 6: Illustratie van de versnelling die mogelijk is met hybride warmtepompen ten opzichte van all-electric warmtepompen. Deze illustratie geeft goed de mogelijke impact weer, van hybride warmtepompen ten opzichte van all-electric op de verduurzamingsvisie voor lage temperatuur warmte geschetst door de RLI⁵.

Figuur 1 en 6 illustreren dat er nu direct een grote stap gemaakt kan worden in de verduurzaming van de bestaande bouw door het terugbrengen van de gasvraag gebruikmakend van de hybride warmtepompen. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- De investeringskosten van een hybride warmtepomp is een stuk lager vergeleken met een elektrische warmtepomp.
- Er zijn vrijwel geen bouwkundige aanpassingen vereist waardoor hybride systemen nu al geplaatst kunnen worden, daarentegen is het voor all-electric warmtepompen sterk aan te bevelen dat:
 - Woningen worden geïsoleerd;
 - Het afgiftesysteem wordt aangepast (vloerverwarming, convectoren of lage temperatuur radiatoren).
- Een grootschalige renovatie van een huis vindt slechts incidenteel plaats. Hierdoor is het natuurlijk moment voor een investering in isolatie en afgiftesystemen voor veel woningen nog lang niet aanwezig. Waardoor de mogelijkheid om all-electric te worden ook naar voren wordt geschoven.
- Het vervangen van een CV-ketel gebeurt gemiddeld eens in de 15 jaar, hierdoor is het natuurlijk moment om over te gaan op een hybridesysteem veel sneller aanwezig dan bij een volledig elektrisch systeem.

⁵ RLI, Rijk zonder CO2: naar een duurzame energievoorziening in 2050. (2015)

Vanwege deze redenen is het aantrekkelijk om nu hybride warmtepompen te plaatsen en ondertussen stap voor stap te gaan isoleren. Uiteindelijk kan worden overgegaan op een all-electric warmtepomp of hybride warmtepomp in combinatie met groengas.

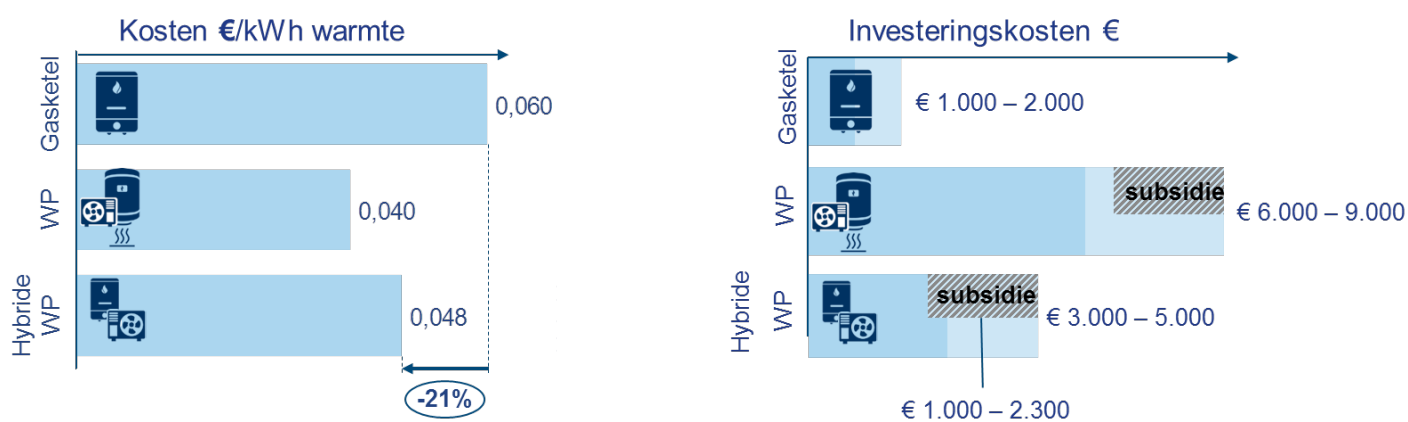


Figuur 7: Type verduurzamingsoptie die als eerste aanbod komt afhankelijk van woningomvang (70 – 170 m²), warmtevraag en het bouwjaar in Nederland (indicatie).

Voor wellicht tweederde van de woningvoorraad is de hybride warmtepomp op dit moment een mogelijke of zelfs voor de hand liggende keuze. Figuur 7 illustreert welke woningen het meest geschikt zijn voor een hybride systeem. Oude woningen, met een bouwjaar tot ca. 1950, hebben de hoogste warmtevraag en zijn lastig na te isoleren. Voor deze woningen kunnen hybride systemen ook op de lange termijn een oplossing bieden. Nieuwere woningen (bouwjaar grofweg tussen 1950 en 2000) kunnen direct van een hybride systeem worden voorzien en toekomstig overschakelen naar all-electric opties. Voor recent gebouwde woningen is NOM (nul op de meter) een toekomstige optie, waarbij de complete elektriciteitsbehoefte door woning gebonden productie kan worden ingevuld.

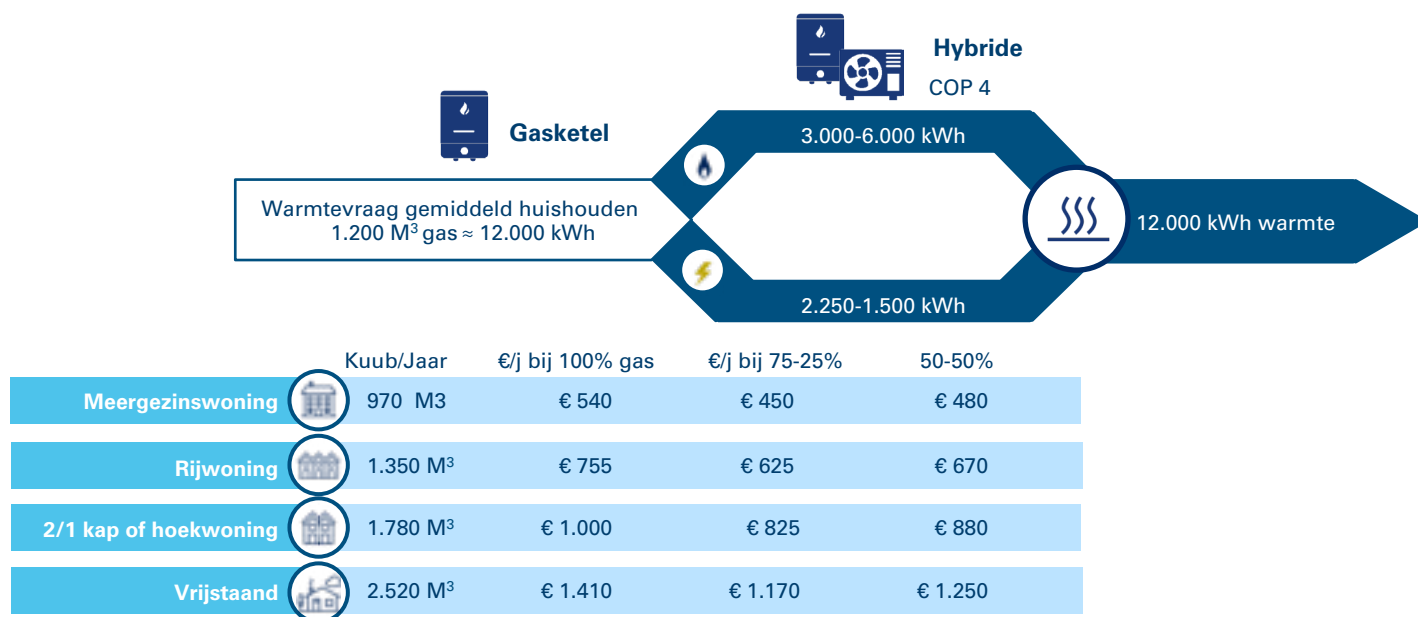
2.3 Energiekostenvergelijking

Figuur 8 en 9 laten de mogelijke besparing op de energiekosten (voor bestaande woningen) zien die te halen is met behulp van een warmtepomp, waarbij alle energie naar kWh is terug gebracht. De jaarlijkse besparing op de energierekening is sterk afhankelijk van de verhouding tussen de gas- en de elektriciteitsprijs.



Figuur 8: Vergelijking van energiekosten tussen gas en elektriciteit omgerekend naar warmte, voor een warmtepomp en een gasketel (Bron: www.energievergelijken.nl, belastingdienst.nl, investeringskosten inschatting BDH, zie bijlage 3, tabel 2)

Hoe groter het verschil tussen de gas- en de elektriciteitsprijs des te groter de jaarlijkse besparing. Ook het woningtype heeft een grote impact, hierin speelt naast isolatie en het afgiftesysteem zoals eerder behandeld, uiteraard ook de omvang van het gezin en daarmee de warmtebehoefte van de woning een rol. In alle gevallen bespaart een all-electric systeem (mits dit geplaatst kan worden in de woning) meer op de jaarlijkse kosten dan een hybride systeem.



Figuur 9: Gemiddelde kosten voor de warmtevraag per huishouden, woningtype en verwarmingsinstallatie (voor gebruikte energieprijzen zie bijlage 3, tabel 2).

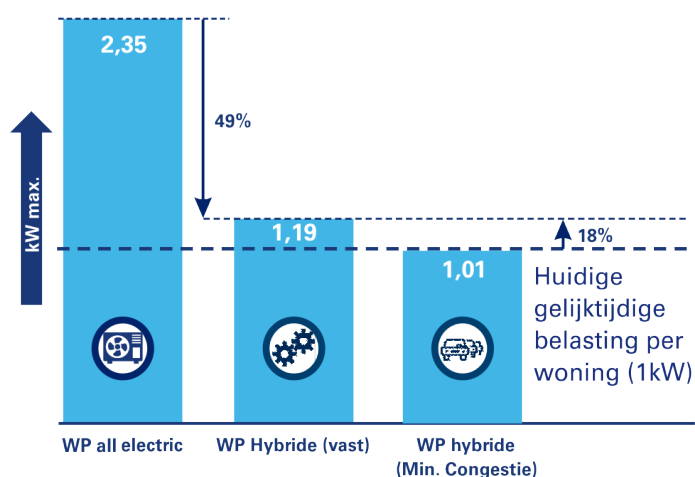
In de aanschaf is een hybride systeem echter twee tot drie keer voordeliger dan een all-electric warmtepomp. Om deze kosten meer in perspectief te plaatsen: een hybride warmtepomp kost tussen de circa € 3.000-5.000 (ISDE subsidie bedrag aan te vragen tussen de € 1.000-2.500) en een all-electric buitenlucht WP kost circa € 6.000-9.000 (ISDE subsidie bedrag aan te vragen tussen de € 2.000-2.500). Deze cijfers geven een brede indicatie van het spectrum, maar geven de orde grootte wel aan.

2.4 Flexibiliteitspotentieel

Een groot voordeel van hybride warmtepompen is het potentieel in termen van stuurbaarheid van de energievraag ofwel de flexibiliteit. In tegenstelling tot een volledig elektrische warmtepomp is een hybride warmtepomp zeer flexibel omdat deze ten allen tijde volledig te sturen is door op gas over te gaan. Een volledig elektrische warmtepomp is een groot deel van het jaar ook te sturen, afhankelijk van de momentane warmtevraag en de buffercapaciteit. De warmte in het huis en eventueel in een buffervat zorgen dat een volledig elektrisch systeem gestuurd kan worden door de mogelijkheid om terug te vallen op deze thermische massa. In het geval van een zeer koude winterweek/-dag is de thermische buffer van een all-electric woning echter snel uitgeput en moet de warmtepomp blijven draaien om de woning warm te houden. Hierdoor heeft een volledig elektrische woning op deze kritische momenten geen flexibiliteit wat kan leiden tot een hoge elektriciteitsvraag en daardoor een te hoge belasting op het elektriciteitsnet. Een dergelijk piekbelasting op het elektriciteitsnet zal vele malen hoger zijn dan de huidige piekbelasting, dit vergt vergaande netinvesteringen omdat ons huidige net hierop niet berekend is (bijlage 3, figuur 1)⁶. Een dergelijke piekbelasting kan ook leiden tot prijsspieken van de elektriciteitsprijs.

Hybride warmtepompen schakelen van nature sowieso al over op gasbedrijf bij lage buitentemperaturen (figuur 5). Op deze wijze treedt er in beginsel minder congestie op. Daarnaast is het mogelijk ook actief te sturen om pieken in de elektriciteitsvraag op andere momenten in het jaar (bijvoorbeeld door het laden van elektrische auto's) op te vangen.⁷

Intelligente aansturing van (hybride) warmtepompen is nu nog niet mogelijk. Met het oog op de toekomst, waarin die aansturing wellicht steeds belangrijker wordt, is het goed om de meerwaarde van flexibele hybride warmtepompen te benadrukken. Het energiesysteem is dan toegerust op een steeds groter wordende elektriciteitsvraag en een toenemende hoeveelheid van intermitterende energiebronnen. Figuur 10 illustreert de effectiviteit die te halen is uit het slim sturen van hybridewarmtepompen ten behoeve van het vermijden van congestie in het elektriciteitsnet. In figuur 10 is uit gegaan van conservatieve getallen in de praktijk kan de impact nog een stuk hoger uitvallen (bijlage 3, figuur 2).



Figuur 10: Het effect van het type warmtepomp en de aanstuurstrategie op de gelijktijdige piekbelasting van het elektriciteitsnet per woning.

Figuur 10 laat de gelijktijdige piekvraag van de warmtepomp voor één woning zien, dit houdt in dat er hierbij een gemiddelde piekvraag in een woonwijk is gesimuleerd. Oftewel de gelijktijdige piekvraag van alle warmtepompen in een woonwijk gedeeld door het aantal woningen. Uit het figuur wordt duidelijk dat bij een all-electric warmtepomp de piekvraag ver boven de huidige piekbelasting uitkomt (gestippelde lijn). Bij een hybride warmtepomp komt deze vraag nauwelijks boven de huidige piekbelasting uit terwijl de woning toch voor 75 procent van het jaar door de warmtepomp wordt verwarmd. Als deze hybride warmtepompcombinatie slim wordt gestuurd, waarbij er een congestiesignaal is die bij te hoge gelijktijdige piekvraag zorgt dat de warmtepompen uit schakelen en de gasketel invalt, dan geeft een hybridewarmtepomp combinatie geen verhoogde piekbelasting op het elektriciteitsnet. In bijlage 3 zijn twee grafieken opgenomen: figuur 1 en 2 waarin de resultaten van figuur 10 worden vergeleken met andere studieresultaten.

Uit een studie van Ecofys⁸ wordt duidelijk dat de jaarlijkse distributie en transmissie kosten in een scenario gefocust op volledig elektrische warmtepompen vele malen hoger zijn dan in een scenario met voornamelijk hybride warmtepompen. Dit terwijl dat de duurzaamheidswinst ten opzichte van hybride warmtepompen zeer klein is. Dit komt omdat de elektriciteit die de warmtepomp vraagt nog niet volledig duurzaam is. Onder de huidige geprognostiseerde groei van duurzame elektriciteitsopwekking is elektriciteit de komende jaren voor het overgrote deel niet duurzaam⁹.

7 Berenschot, BDH, DNV GL. Het flexibiliteitspotentieel van Hybride warmtepompen (2016)

8 Ecofys, De systeemkosten van warmte voor woningen (2015)

9 ECN, Nationale energieverkenning 2016. (2016)

Toekomstbeelden verduurzaming gebouwde omgeving

Hoofdstuk 3

In het vorige hoofdstuk is naar voren gekomen dat all-electric warmtepompen het elektriciteitsnet extra belasten met (minimaal) een verdubbeling van de huidige gelijktijdige piekbelasting. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de impact die de verduurzaming heeft op de infrastructuur en de rol die de hybride warmtepomp hierin kan vervullen.

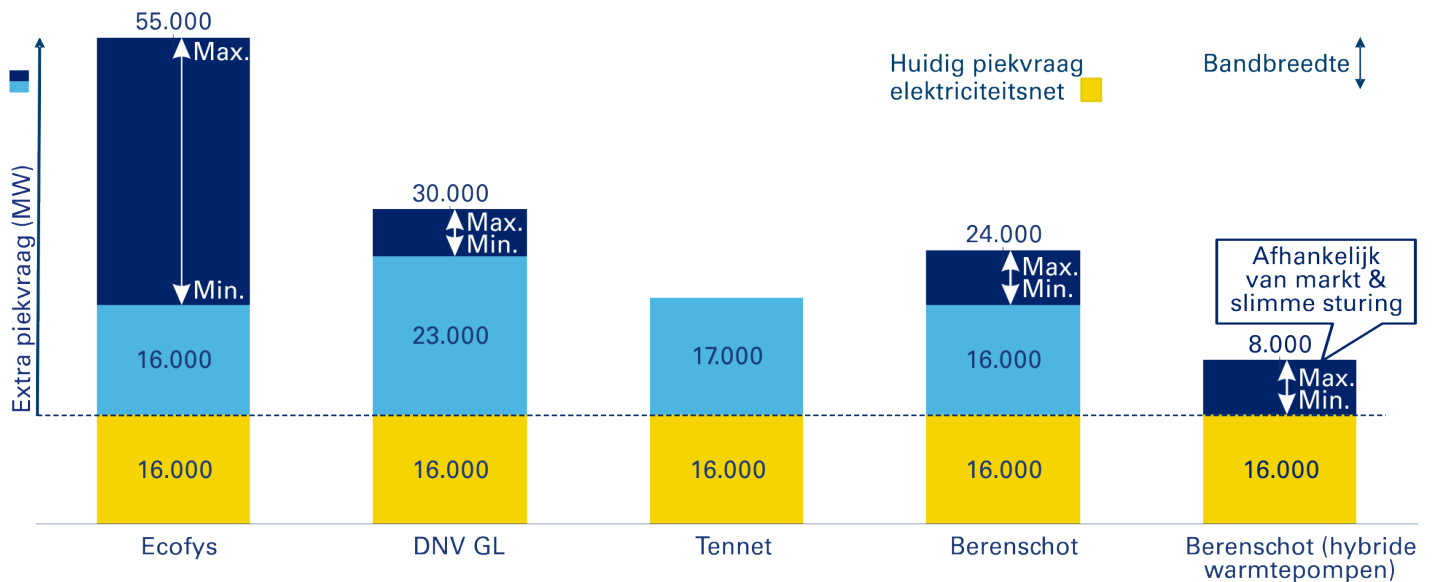


3.1 Impact op de infrastructuur

De visie van de overheid is om voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving, in de komende jaren over te gaan op een combinatie van voornamelijk all-electric warmtepompen en warmtenetten. Er wordt in de verhouding tussen deze twee opties uitgegaan van verschillende scenario's. Om de impact van de combinatie op de infrastructuur te laten zien is de piekvraag berekend. Voor de berekening is uitgegaan van een toekomstbeeld waarbij 75% van de huidige warmtevraag door all-electric warmtepompen wordt ingevuld en waarbij 25% door warmtenetten wordt ingevuld.

In de wintermaanden wanneer het langere tijd koud is en windstil (vrijwel geen windenergie), kampt Nederland met een zeer hoge elektriciteitsvraag. Om dit in perspectief te plaatsen met onze huidige piekvraag voor elektriciteit, heeft Berenschot alsmede andere partijen een dergelijk scenario in het slechtste en meest voordelige geval voor de toekomst doorgerekend.

Voor deze exercitie is alleen gekeken naar de impact van elektrificatie (warmtepompen) op de gebouwde omgeving, niet voor vervoer (elektrische auto's) en ook niet voor elektrificatie in de industrie. Figuur 11 laat zien dat de piekvraag in het meest voordelige geval verdubbelt dan wel verviervoudigt in het slechtste geval. Een dergelijke piekvraag komt maar zelden voor maar zal ten alle tijden moeten worden ingevuld.



Figuur 11: Het effect van 75% warmtepomp en 25% warmtenetten op de piekvrage in Nederland bij een zeer koude winter, ten opzichte van de huidige piekvrage.^{10 11 12 13}

De invulling hiervan is beperkt te garanderen met intermitterend duurzame bronnen. Extra importen uit het buitenland kunnen de piekvrage ook niet afdekken want hier geldt een vergelijkbare situatie. De binnenlandse dekking moet in dat geval komen uit piekcentrales (waarschijnlijk vooral op gas omdat deze geschikt zijn voor dergelijke situaties). Opslag kan in dit geval ideaal zijn echter dit lijkt vooralsnog onpraktisch vanwege te lage energiedichtheid in verhouding tot beschikbaarheid van grondstoffen en energieverliezen over tijd, daarnaast is opslag nog te duur. Verder is er nog de mogelijkheid om een buffer in de huizen te plaatsen, bovendien heeft een woning zeer veel thermische massa, deze kunnen beiden voor de nodige flexibiliteit zorgen. Dit is voor het grootste deel van het jaar in de herfst en de lente ook het geval. Echter in de geschetste wintersituatie is een dergelijke buffer niet meer aan te spreken omdat de warmtepomp volop moet draaien om het huis überhaupt warm te houden.

Vandaar de conclusie dat er in een dergelijk scenario gerede kans is op issues in de voorzieningszekerheid. Bij hybride warmtepompen in plaats van all-electric warmtepompen blijft de piekvrage veel lager. Bovendien bieden hybride warmtepompen een grote vorm van opslag in de vorm van gas. Voor de implementatie van hybridewarmtepompen zijn verschillende scenario's denkbaar.

Een eerste scenario kan zijn dat alle huizen van voor 1991 voorzien van hybride warmtepompen (± vijf miljoen huishoudens CBS¹⁴). Wanneer deze huizen voldoende geïsoleerd zijn kan een groot deel worden vervangen door all-electric warmtepompen. Realistisch gezien zal er altijd een deel van de zeer oude en slecht geïsoleerde woningen hybride blijven vanwege de moeilijkheid om deze ver genoeg te isoleren om op all-electric over te kunnen stappen. Huizen die na 1991 zijn gebouwd, zijn voor een groot deel geschikt voor all-electric of vergen een niet al te grote investering in isolatie. Om dit te bereiken zijn relatief lage kosten en maatregelen nodig. Op de locaties waar warmtebronnen aanwezig zijn en een hoge concentratie huizen aanwezig is, is de aanleg van een warmtenet een goede optie.

Een ander scenario kan zijn om alle huizen van voor 1991 te voorzien van hybride warmtepompen en Warmtenetten en all-electric toe te passen daar waar dit mogelijk is. Maar in plaats van het uitfaseren van de hybridewarmtepompen wanneer huishoudens beter geïsoleerd zijn, is het ook mogelijk deze te verduurzamen met groengas. Het voordeel hiervan is met name de lagere piekvrage van de hybridesystemen en de flexibiliteit die deze systemen bieden ten behoeve van congestie-management (minder netverzwaring en bijbehorende kosten).

¹⁰ Ecofys: De systeemkosten van warmte voor woningen (2015)

¹¹ DNV GL: Capacity and volume development of natural gas and electricity in the NL residential market v2.0.

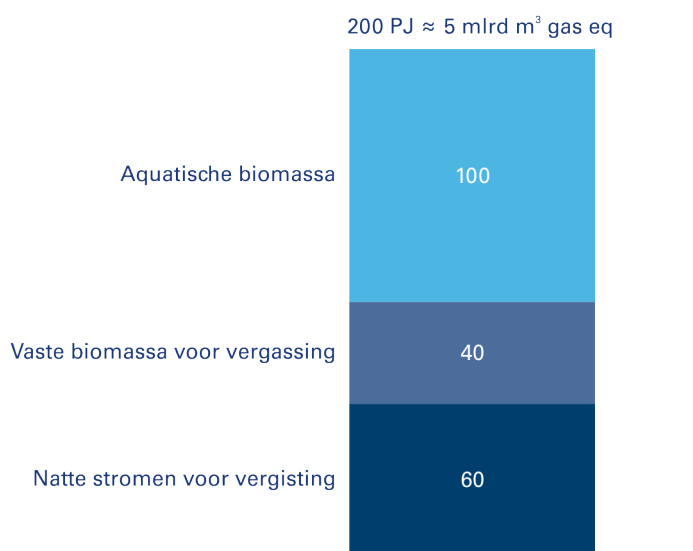
¹² TenneT: Uitdagingen voor de elektriciteitsvoorziening van 2050 (2016)

¹³ Berenschot: Het flexibiliteitspotentieel van Hybride warmtepompen (2016)

¹⁴ CBS, aantal huishoudens van voor 1991

3.2 Volledige verduurzaming met hybride warmtepompen

Hybride warmtepompen gebruiken gas en elektriciteit om warmte op te wekken. Beide energiedragers zijn duurzaam te maken. De beschikbaarheid van de duurzame bronnen, van conversie technologieën en van de vraag naar deze duurzame energie is echter belangrijk. Deze factoren samen zorgen voor een energiemix die ideaal is voor Nederland. Waarbij uit het oogpunt van duurzaamheid zoveel mogelijk wordt gestreefd naar het benutten van duurzame bronnen van eigen bodem en zo min mogelijk import. Import is in beginsel niet wenselijk, tenzij de opwekking van de energie geen negatieve duurzaamheidsgevolgen elders heeft. Dit is een van de redenen waarom de import van biomassa en dan voornamelijk droge biomassa niet wordt meegenomen in de beschikbare duurzame energie.

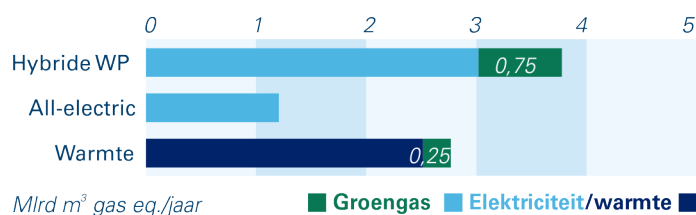


Figuur 12: Binnenlands biomassapotentieel 2050, uit de Verkenning CO₂-neutrale gastoekomst 2050.

Om te kunnen berekenen of de warmtevraag van de Nederlandse gebouwde omgeving duurzaam ingevuld kan worden met hybride warmtepompen heeft Berenschot in opdracht van Gasunie een berekening gedaan naar de beschikbare energie¹⁵ (figuur 12), de mogelijk toekomstige energiemix en de kosten hiervan. In deze energiemix is gekeken naar de beschikbaarheid van groengas oftewel gas dat voortkomt uit biomassa door middel van vergisting of vergassing. Dit groengas kan als duurzame energiedrager worden gebruikt voor de hybride warmtepomp. Uit de studie blijkt dat Nederland over ruim voldoende potentieel voor groengas beschikt om hybride warmtepompen volledig van groene energie te voorzien in de gebouwde omgeving. Figuur 13 is een voorbeeld van een scenario uit de Verkenning CO₂ – neutrale gastoekomst.¹⁶

¹⁵ Berenschot, Verkenning CO₂ – neutrale gastoekomst. (2016)

¹⁶ Dit rekenvoorbeeld is arbitrair en kan ook anders uitpakken afhankelijk van de lokale optimalisaties.



Figuur 13: Scenario voor mogelijk aandeel groengas voor de verduurzamingsopties in de gebouwde omgeving, meerdere scenario's zijn denkbaar. (dit scenario gaat uit van een zeer gunstige verhouding voor het gebruik van gas en elektriciteit voor de hybride warmtepomp)

Warmtenetten en all-electric worden gerealiseerd in de meest rendabele toepassingen, afhankelijk van lokale situaties. Voor de rest wordt overgegaan op de hybride warmtepomp met groen gas (geen losse HR-tetels meer). De totale benodigde hoeveelheid groen gas is dan circa 1 à 2 miljard m³ en is volledig CO₂-neutraal.

Een studie van CE Delft¹⁷ onderschrijft de noodzaak voor groengas in de energiemix voor de warmtevraag van de gebouwde omgeving in de toekomst. In deze studie zal groengas fossielgas vervangen op veel plekken waar geen warmtebronnen zijn en waar warmtenetten te kostbaar zijn. Aanpassingen naar een klimaat neutrale energievoorziening zullen lokaal bepaald moeten worden. Voor 2050 moeten verschillende energiebronnen gebruikt worden, geothermie, zonnewarmte, aardwarmte en groengas, dit zal ook verschillende infrastructuren vergen: gas, elektriciteit en warmte. Voor elke locatie zijn op maat gemaakte oplossingen noodzakelijk.

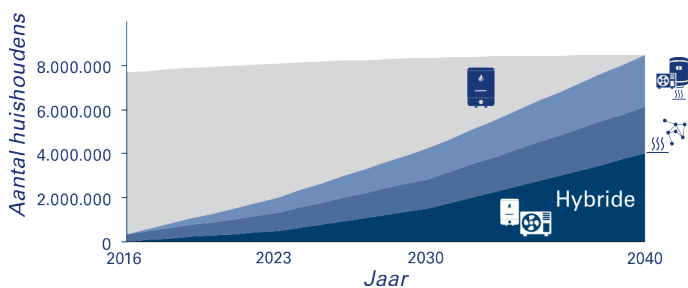
Uit de studie van CE Delft komt naar voren dat er in 2050 0,9 miljard kuub groen gas nodig is. In de geschetste situatie is dit een achtste van de energievraag. (7,7 miljard m³ gas eq.)

¹⁷ CE Delft. Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050. (2015)

Impact hybride warmtepomp op het Energie- akkoord

Hoofdstuk 4

Om te illustreren wat de hybride warmtepomp kan betekenen in termen van verduurzaming in relatie tot de verduurzamingsdoelstelling uit het Energieakkoord, hebben we in dit hoofdstuk een scenario uitgewerkt van de penetratie van de hybride warmtepomp (figuur 14).



Figuur 14: Scenario voor de penetratie van de hybride warmtepomp, warmtenetten en all-electric warmtepompen. Uitgaande van 25% warmtenetten, 4.000.000 hybride warmtepompen en het overige aandeel all-electric in 2040.

De hybride warmtepomp kan een significante bijdrage leveren aan CO₂-emissiereductie en de doelen van het Energieakkoord, in de gebouwde omgeving kan dit zelfs zonder de inzet van groengas (figuur 16). In de Nationale Energieverkenning en het Energieakkoord is het potentieel van de hybride warmtepomp echter niet meegenomen. In het groeiscenario van figuur 14 wordt er vanuit gegaan dat er in 2023 al 500.000 hybride warmtepompen zijn, dit betekent 80.000 hybride systemen per jaar tot aan 2023. Details over aannames zijn te vinden in bijlage 3, tabel 1. Voor de meeste input variabelen zijn recente cijfers uit de Nationale Energieverkenning 2016 en de CBS-database gebruikt.

Op huishoudelijk niveau de CO₂-emissie weergegeven voor een HR-gasketel en een hybride warmtepomp met daarbij aandeel CO₂-emissies door elektriciteit met grijze stroom en de emissies voor gas, voor een gemiddelde woning per jaar.

Kg CO₂ voor een gemiddelde woning per jaar voor warmte

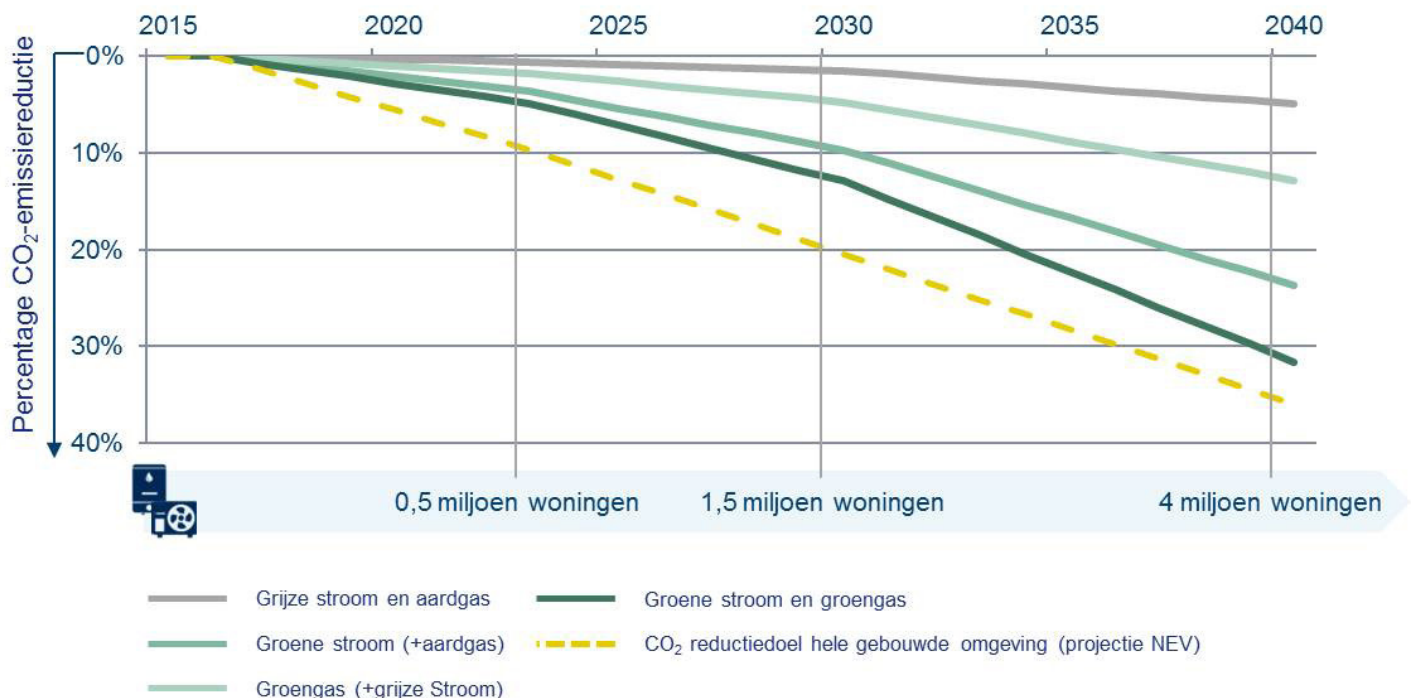


Figuur 15.

Waarbij de CO₂-prognose uit de Nationale Energieverkenning (NEV), gebaseerd op overheidsbeleid, met warmtenetten of all-electric warmtepompen moeilijk te realiseren is, is dit voor hybride systemen direct mogelijk met in verhouding beperkte kosten. Hybride systemen hebben voor de bestaande bouw minder verstreckende infrastructurele gevolgen en vereisen ook van de eindgebruiker minder investeringen en aanpassingen in de woning. Voor een groot deel van de bestaande bouw (hoofdstuk 2) is het mogelijk om een kleine warmtepomp als add-on te installeren op de huidige HR-ketel. Op deze manier is een snelle CO₂-reductie mogelijk (figuur 16).

De hybride warmtepomp is in alle gevallen duurzamer dan de huidige situatie echter het maakt wel uit of de warmtepomp van groene stroom, groengas dan wel beide wordt voorzien of niet. Dit komt met name doordat het Nederlandse productie park voor elektriciteit nog een hoge mate van CO₂-emissies heeft 0,66 kg CO₂/kWh (2016), in de berekening is de daling van deze emissies bij het huidige beleid meegenomen (Bijlage 3, tabel 1).

Figuur 16 laat zien dat in het geschetste scenario een CO₂-emissiereductie binnen de gebouwde omgeving te behalen is vergelijkbaar met de prognose, gemaakt op basis van huidig beleid (Nationale Energieverkenning 2016).



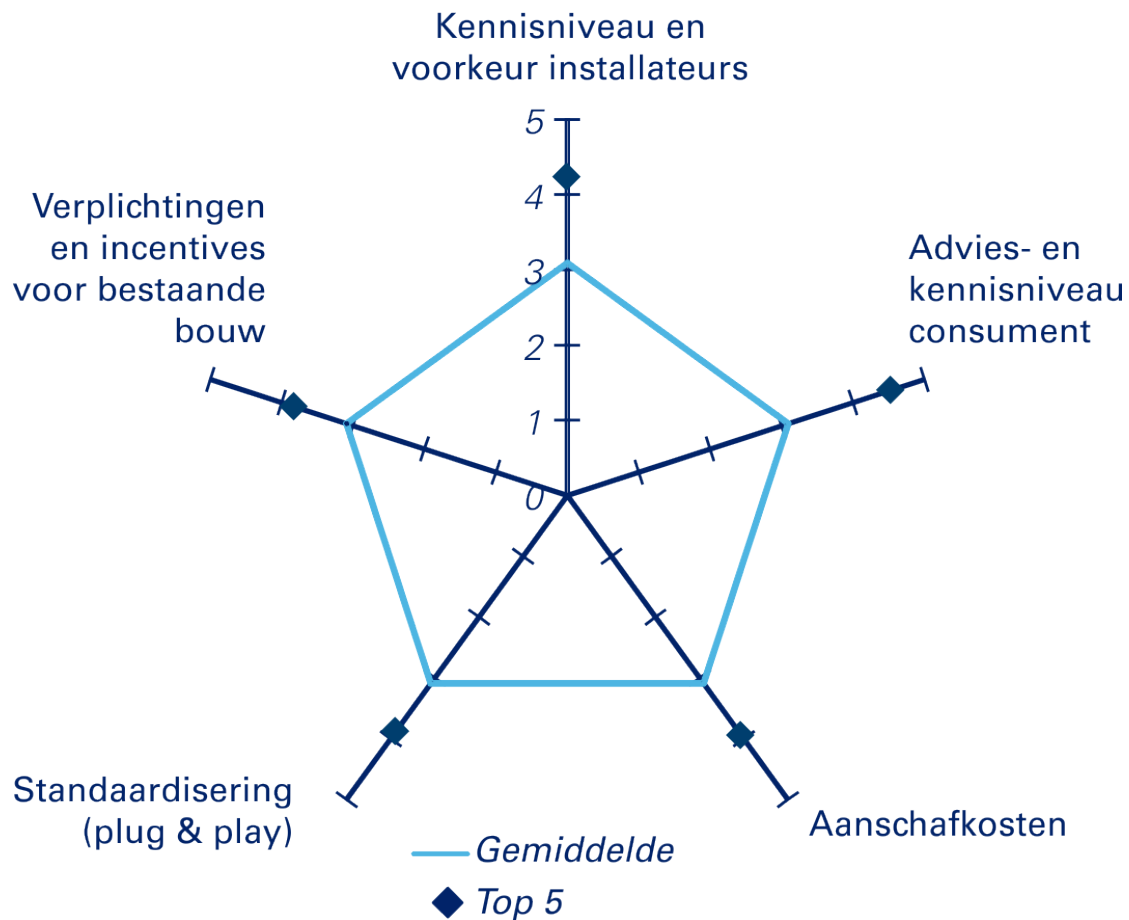
Figuur 16, weergave van de potentiële CO₂-besparing die haalbaar is door middel van hybride warmtepomp afhankelijk van de energiemix, ten opzichte van 2016 bij het geschetste scenario (figuur 14). De prognose is afkomstig uit de Nationale energieverkenning 2016 en bevat de hele gebouwde omgeving (exclusief ETS). De prognose is gemaakt op basis van de doelen in het energie akkoord en loopt in de NEV tot 2030, voor 2040 is deze lineair doorgetrokken.

Nadere kwantificering van het potentieel van de hybride warmtepomp is wenselijk. Dit hangt namelijk af van verschillende parameters. Bijvoorbeeld de verhouding tussen gas en elektriciteit van de hybride warmtepomp, er is nu gerekend met 75% elektriciteit en 25% gas.

Routekaart

Hoofdstuk 5

De knelpunten in de routekaart zijn tot stand gekomen door input vanuit interviews met verschillende actoren. De geïdentificeerde knelpunten zijn in een workshop met de actoren gevalideerd en aangevuld, vervolgens zijn de knelpunten door de aanwezige partijen gescoord op een schaal van 1-5 (figuur 17). De top vijf van knelpunten is nader uitgewerkt met oplossingsrichtingen en actoren die daar een rol in kunnen spelen.



Figuur 17: Door actoren gegeven scores van relevantie aan de top vijf onderwerpen, blauwe lijn geeft de gemiddelde score aan.

De volledige lijst van geïdentificeerde knelpunten is in de routekaart gerangschikt op de score (relevantie) die de actoren aan de knelpunten hebben toegekend. Bij de knelpunten zijn vervolgens door de actoren, aangevuld door Berenschot en BDH, oplossingsrichtingen geformuleerd en actoren geïdentificeerd die hier een rol in kunnen spelen. Geïdentificeerde knelpunten zijn gecategoriseerd in de volgende categorieën: economisch, sociaal, technisch en regulatorisch.

5.1 Barrières en kansen

Tabel 2 tabel de routekaart, knelpunten en oplossingen gekoppeld aan actoren, gerangschikt op gemiddelde score van 1 tot 5 en door deelnemers aan de workshop gescoord van 1 tot 5.

	Knelpunten	Oplossingsrichtingen
Economisch	Hoge aanschafkosten (bij kleine vermogens)	Vernieuwde business modellen WOZ/Meer hypotheek als je verduurzaamt/hogere subsidie Financiële plaatje inzichtelijk in beeld brengen (total cost of ownership/ terugverdientijd)
	Verhouding E en G prijs	Verschuiving belasting van elektriciteit naar gas
	Gebrek aan zekerheid op je investering	Realistische praktijkcijfers in breed spectrum representatief voor verschillende situaties.
	Slechte inzichtelijkheid van terugverdientijd voor consument	Onafhankelijke vergelijkingssites & calculators
	Urgentie voor consument om te verduurzamen mist, geld speelt grotere rol dan duurzaamheid	Voorlichting wat realistische verduurzamingsstappen zijn Bewustwording energieverbruik en mogelijkheden om energierekening te verminderen
	Te lage jaarlijkste oplage voor kostenreductie	Stimuleringsmaatregelen zoals ISDE of verplichting/stimulering van een hoog rendement (>100%) voor de warmtevoorziening in huis.
	Absolute prijs van gas	Belasten van CO2 emissies
	Afwezigheid van financiële prikkel voor flex (vanuit de netbeheerder)	Technisch mogelijk maken en in kaart brengen congestiepunten Netbeheerder toestaan waarde te geven aan flex
	Aanpassing overige binneninstallatie	Stimuleringsmaatregelen
	Handelsmogelijkheden/ infra, beurs voor flex	Prijzen per kwartierbasis bieden voor flexibiliteit
Sociaal	Capaciteitstarief	Variabel tarief instellen voor verbruik
	Beschikbaarheid van goed advies bij de consument + kennisniveau consumenten	Stimuleren bewustwording consument Overzichtelijke tool die m.b.v. beantwoorden vragen gunstige duurzaamheidsoptie aanwijst Onafhankelijk keurmerk voor overzicht consumenten
	Voorkeur installateurs (ketel advies)	Installateurs enthousiast maken en urgentie aangeven duurzame technologieën
	Doelgericht aanbod voor kansrijke combinaties ontbreekt	Meer samenwerking tussen aanbieders van energie oplossingen voor een integrale aanpak
	Praktijkprestaties zijn niet bekend (nog geen gegevens beschikbaar)	Starten en monitoren van pilots Vertouwen creëren door intrede van grote fabrikanten en realistische cijfers bieden
	Lange-termijn horizon, bijv. verlies van investering na verhuizing	Investering koppelen aan WOZ waarde (belastingkorting) Leaseconstructies aanbieden
	Attractiewaarde van hybride warmtepomp is laag	Meer aandacht voor design en prikkelende gadgets
	Prijsbegrip consument (stroom vs gas)	Voorlichting, 1 "taal" spreken dezelfde eenheden gebruiken
	Gebrek aan doelgroepenmarketing, marketing is nu erg technisch	Marketing campagnes met succesverhalen
	Weinig aandacht voor hybride oplossingen	De juiste kennis bij overheden introduceren Hogere prioriteit voor hybride oplossingen bij fabrikanten
	Perceptie lock-in door in stand houden gasinfrastructuur	Groen gas herkomst (certificaten) inzichtelijk maken
	Weerstand consument tegen nieuwe technieken	Afweging verduurzamingsoptie per gebied onder de aandacht brengen Voorlichting in eenvoudige taal, hogere attractie waarde creëren
	Foutieve veronderstelling t.a.v. temperatuurafgiftesystemen	Voorlichting
	Transparantie en relevantie van energielabel stappen	Verplichten energielabel
	Gebrek aan peer pressure	Inzicht in werkelijke besparing
	Overlast bij overstap op warmtepomp	Platform voor delen van ervaring
	Privacy issues van slimme sturing	Doorontwikkelen installatieproces en technische installatie Transparantie over gegevens en beveiliging gegevens

Installateurs	Producenten	Aggregators	Consumenten organisaties	Kennisinstututen / consultant	Branche organisaties	Energieleveranciers	Netbeheerders	Lokale overheden	Regionale overheden	Rijksoverheid	Europees	Financiële instellingen
X	X	X				X				X		X
X	X		X			X				X		
X	X		X	X								
			X	X	X							
X	X		X			X	X					
						X	X	X				
										X	X	
											X	
							X					
		X				X	X					
X	X		X		X	X	X	X	X	X		
X	X	X	X	X	X			X		X		
X	X	X	X	X	X			X		X		
	X				X							
X	X				X							
					X							
					X							
						X						
							X	X	X	X		
X	X											
X	X		X	X								
										X		
	X		X			X	X					
	X		X		X							
X	X											
	X	X				X	X			X		

	Knelpunten	Opllossingsrichtingen
Technisch	Kennis en kunde installateurs	Eigen installateurs in dienst nemen
	Standaardisering van installatie (plug and play)	Opleiden en training geven aan installateurs
	Integratie met andere technieken om slimme combinaties aan te bieden	Doorontwikkelen installatieproces en technische installatie
	Ruimtebeslag/geluid installatie	Innovatie en samenwerking
	Beschikbaarheid inzicht in verbruik voor consument	Bij product ontwerp meer focus op implementeerbaarheid in specifieke woningen (warmtepompen met weinig geluid)
	Onzekerheid over de werking	Stimulatie slimme meter en aanschaf dashboard
	Marktaanbod hybride warmtepompen (vermogens)	Realistische praktijkcijfers in breed spectrum representatief voor verschillende situaties
	Beschikbaarheid hard- en software voor flex	Variatie in verschillende vermogens
Regulator	Flexibiliteitsoptie hybride warmtepomp	Standaardisatie van hard- en software flexibeleit
	Geen verplichtingen of incentives voor bestaande bouw	Randvoorwaarden flexibiliteit opstellen
	Complexiteit markt en incentives voor consumenten	Technische voorwaarden flexibiliteit ontwikkelen
	Afwezigheid warmtepompen in verplichte erkenningsregeling cv-ketelinstallateurs	Aanwijzen maatschappelijk gewenste verduurzamingsoptie voor bepaald gebied
	Gebrek aan promotie door overheden voor CO2 reductie	Verplichting dat gebouwde omgeving een bepaald label moet hebben
	Bepaalde uitvoeringsmogelijkheden woningcorporaties	Aantal maatregelen terugbrengen en overzichtelijk maken
	Eisen aan vakmanschap installateur ontbreken	Invoeren verplichte erkenningsregeling
	Onzekerheid m.b.t. energiebelastingen	Specifiek toegewezen uitvoeringskracht in de regio op de realisatie van CO2 reductie
	Kennisniveau overheden	Verruiming van de regelgeving
	Geen verduurzamingsincentives of verplichting voor bestaande bouw	Verplichte kwalificatie eisen
	Onzekerheid beleid verduurzamingsopties	Consistent meerjarenbeleid
	Installatie eisen	Advies aan overheden over verschillende verduurzamingsopties
		Aanwijzen maatschappelijk gewenste verduurzamingsoptie voor bepaald gebied
		Verplichting dat gebouwde omgeving een bepaald label moet hebben
	Consistentie beleid: korte-, middellange- en langetermijn	
	Certificering installatie	

5.2 Mogelijke oplossingsrichtingen

Voor de vijf belangrijkste knelpunten worden in deze paragraaf de consequenties en oplossingsrichtingen verder toegelicht.

Voor elk knelpunt wordt een korte toelichting gegeven waarna verschillende oplossingsrichtingen en mogelijke vervolgstappen worden behandeld.

De top 5 knelpunten zijn:

1. Advies en kennisniveau consument
2. Aanschafkosten
3. Standaardisering (plug and play)
4. Verplichting en incentive voor de bestaande bouw
5. Kennisniveau en voorkeur installateurs

5.2.1 Advies en kennisniveau consument

Het kennisniveau bij consumenten met betrekking tot warmtepompen is beperkt. Eén van de oorzaken hiervoor is dat het voor consumenten moeilijk is om goed advies te krijgen. Iets wat tevens raakt aan een ander knelpunt met betrekking tot het kennisniveau van installateurs. Dit gebrek aan kennis en goed advies kan zich uiten in de volgende consequenties:

- Consumenten weten niet goed wat de impact is van hun gas-ketel op de CO2 uitstoot; gebrek aan kennis voor de bredere context van de energietransitie en de impact op het klimaat.
- Het bestaan, de mogelijkheden en de werking van warmtepompen is vaak onbekend

Installateurs	Producenten	Aggregators	Consumenten organisaties	Kennisinstututen / consultant	Branche organisaties	Energieleveranciers	Netbeheerders	Lokale overheden	Regionale overheden	Rijksoverheid	Europees	Financiële instellingen
	X											
X	X				X							
X	X											
	X				X	X						
	X											
						X	X					
X	X		X	X								
	X											
	X			X			X			X	X	
		X					X			X		
	X							X	X			
										X		
								X	X	X		
	X				X					X		
								X	X			
										X		
				X			X					
								X	X			
										X		
								X	X	X		
X	X									X		

- Het totale kostenplaatje is ondoorzichtig waardoor het niet altijd duidelijk wordt dat een warmtepomp zichzelf terug kan verdienen ten opzichte van een HR-ketel.
- Geen weet van beschikbare subsidies en de toegang daartoe.
- Angst voor moeilijkheden, ingrijpende veranderingen en risico's.

Oplossingsrichtingen:

- Gemeenschappelijke taal spreken: alle energieverbruik in kWh
- Onderwijs en voorlichting aan de consument
- Product vergelijkingen
 - Onafhankelijke testen
 - Voorlichting op een natuurlijk moment, bij vervanging ketel

- Beschikbaarheid tools voor vergelijken van warmte-opties¹⁸
- Webplatform met calculator voor verschillende situaties en advies van installateurs
- Reclame campagne
- Best practices uitlichten
- Productgaranties
- Garantierегeling voor de werking van het product indien door gecertificeerde installateurs geïnstalleerd. Publiceren van positieve praktijkvoorbeelden¹⁹

¹⁸ In opdracht van GTS werkt BDH reeds aan de ontwikkeling van verschillende tools op dit gebied.

¹⁹ De DHPA werkt momenteel aan de opzet van een set referentieprojecten.

5.2.2 Aanschafkosten

De aanschaf en installatie van een gasketel ligt tegenwoordig tussen de 1.000 en 2.000 euro. Voor een hybride warmtepomp komt hier nog eens tussen de 2.000 en 5.000 euro bovenop afhankelijk van de maatvoering. Dit is het veelvoudige van wat de consument momenteel hoeft te investeren in de warmtevoorziening van het huishouden. Logischerwijs zijn dergelijke bedragen voor veel mensen een drempel om te investeren. Sinds 2016 is er echter voor consumenten wel de mogelijkheid om voor de warmtepomp subsidie aan te vragen. Hierdoor worden de kosten van een hybride warmtepomp tussen de 1.000 en 2.300 euro lager. Dessel niettemin blijft de aanschafprijs een stuk hoger dan bij een HR-gasketel (figuur 8). De consequenties van de hoge aanschafkosten zijn:

- Te hoge financiële drempel voor consumenten om te investeren
- Lage afname waardoor warmtepompen een niche product blijven en er geen versnelling optreedt.

Oplossingsrichtingen:

- Aantallen omhoog (massaproductie): alle elementen moeten aanwezig zijn om de aantallen omhoog te krijgen.
- Total cost of ownership (TCO) aantrekkelijker maken
- Financieringsconstructies zoals lease
- Productieproces innovatie
- Innovatie leidend van kleinere en goedkopere componenten (zie TKI urban energy)
- Subsidies

5.2.3 Standaardisering (plug and play)

Voor hybride warmtepompen zijn er nog weinig standaarden bekend. Hierdoor is de installatie van hybride warmtepompen specialistisch werk. De consequenties hiervan zijn:

- Niet elke installateur kan elke warmtepomp installeren, het is specialistisch werk en daardoor vaak kostbaar.
- Installatie duurt relatief lang, waardoor het kostbaar wordt in arbeidsuren

Oplossingsrichtingen:

- Standaard concepten
- Verkoopproces
- Standaard componenten en aansluitingen (proces en fysiek product)
- Professioneel bureau verduurzaming gebouwde omgeving

5.2.4 Verplichting en incentive voor de bestaande bouw

Voor bestaande woningen zijn er geen verplichtingen omtrent verduurzaming, ook zijn er geen eisen voor de toekomst gesteld. Er zijn geen extra incentives gecreëerd voor de bestaande bouw. Consequenties hiervan kunnen zijn:

- Energie labels blijven laag en veranderen te langzaam
- Gebrek aan motivatie om te verduurzamen door afwezigheid van:
 - I. Winstprikkel
 - II. Hedonistische prikkel
 - III. Normatieve prikkel

Oplossingsrichtingen:

- Energielabel verplichting; beschikbaarheid van software (E-label) voor hybride warmtepompen geschikt maken.
- Er moet een duidelijk incentive komen voor bestaande bouw
 - I. WOZ koppeling aan E-label + % huurwaarde forfaitkoppelen aan inkomstenbelasting E-label
 - II. Het voorschrijven van ondergrens rendement (<100%)
 - III. Voorschrijven percentage duurzaam
 - IV. Verbieden van installeren mono CV ketel zonder duurzame adon wp of zonneboiler
- Voorkomen stijging WOZ (waarde vermeerdering vanwege aanschaf warmtepomp, zorgt voor hogere WOZ en meer belasting, dit werkt tegengesteld)
- Quickscan software
- Wijken blok-voor-blok aanpassen (zorgt voor installatie efficiëntie en lagere kosten)
- Inspelen op de juiste gedragsmatige prikkels

5.2.5 Kennisniveau en voorkeur installateurs

Het kennisniveau van installateurs voor het efficiënt en effectief installeren van hybride warmtepompen is bij een groot deel onvoldoende. Ook kennis over de impact voor verduurzaming en de mogelijkheden voor specifieke type woningen en huishoudens ontbreekt vaak waardoor consumenten onvolledig advies krijgen. Deze beide aspecten resulteren in een voorkeur van installateurs voor de installatie van HR-ketels, dit zijn ze namelijk gewend en kunnen ze goed. Voor installateurs is het afbreuk risico voor HR-ketels veel lager dan bij warmtepompen omdat deze installaties meer plug and play zijn.

- Apparaten worden onjuist geïnstalleerd/ingesteld. Hierdoor worden niet de gewenste prestaties geleverd en zijn klanten teleurgesteld. Fabrikanten durven daarom geen prestatie garanties af te geven.
- Voorkeur voor HR-ketels. Dit kan er voor zorgen dat installateurs mensen niet voorlichten over andere mogelijkheden waardoor consumenten niet op een natuurlijk moment (bij vervanging) in aanraking komen met alternatieven.

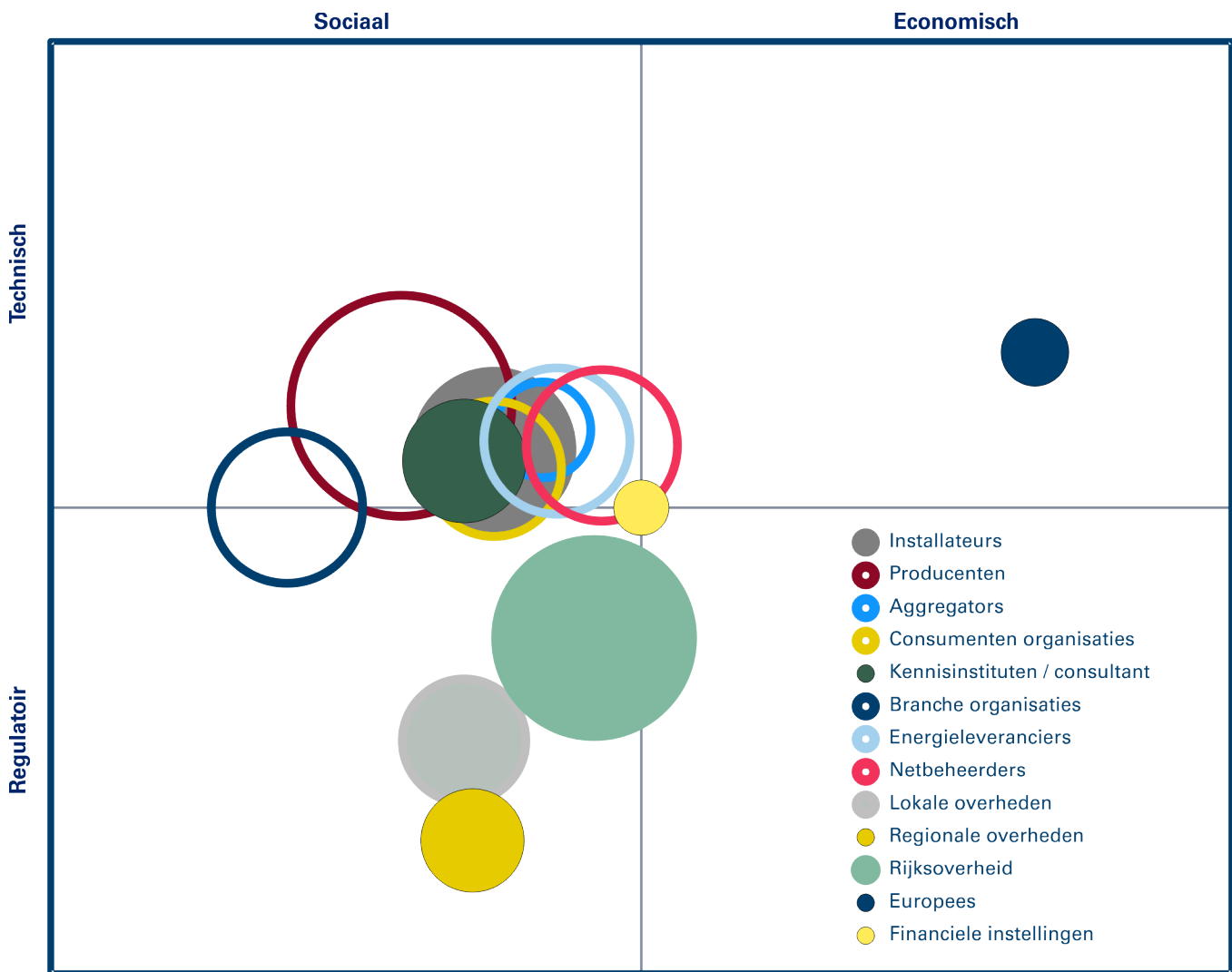
Oplossingsrichtingen:

- Goede voorlichting (toegankelijke informatie),
- Verplichte opleiding: opleiden van jonge mensen in opleidingscentra
- Samenwerking tussen installatiebranche, overheid en fabrikanten voor de juiste certificering en standaarden

Deze routekaart vormt de basis om de potentie van de hybride warmtepomp optimaal te kunnen benutten. De mogelijke oplossingen dienen verder uitgewerkt te worden in werkgroepen waar de belangrijkste partijen aan deelnemen.

5.3 Impact van actoren op de routekaart

Door middel van de routekaart is in perspectief geplaatst waar welke actoren invloed op hebben en dus een grote rol kunnen spelen. Figuur 18 geeft hier een grafische weergave van. De omvang van de bol geeft aan hoe groot de relatieve impact op de gehele routekaart is per actorgroep. De locatie van de bol laat zien in welk domein het zwaartepunt ligt per actorgroep.



Figuur 18: Visualisatie van actorgroepen en in welk domein het zwaartepunt ligt per actorgroep in de routekaart gebaseerd op tabel 2. De omvang van de bol geeft de impact op de totale routekaart weer en de locatie van de bol in welk domein deze actor voornamelijk een rol speelt. Dit betekent niet dat deze in de andere domeinen geen rol speelt.

Conclusie

Hoofdstuk 6

Stilstand is geen optie, de CO₂ stapelt zich op. Bereikbare CO₂-besparing, zoals met de hybride warmtepomp, kan en moet aangegrepen worden. Daarvoor is het van belang dat we samenwerken aan oplossingsrichtingen om knelpunten voor de hybride warmtepomp weg te nemen. Hybride warmtepompen vragen geen extreme isolatie of vloerverwarming. Er is dus geen grote verbouwing nodig. Daarmee kan er stapsgewijs worden overgegaan op elektrificatie.



Momenteel worden er jaarlijks nog ruim 400.000 HR-ketels geïnstalleerd. Nederland heeft de ambitie om volledig duurzaam te verwarmen in de gebouwde omgeving. De overheid heeft daarom de doelstelling om 75% CO₂-reductie te realiseren in 2030.

Verduurzamen kan op verschillende manieren. Er ligt op dit moment een grote focus op elektrisch verwarmen door middel van de all-electric warmtepomp. Maar voor veel woningen is een volledig elektrische warmte voorziening pas haalbaar na vergaande isolatie en aanpassing van het afgiftesysteem. Hybridewarmtepompen daarentegen vragen geen directe isolatie of aanpassing van het afgiftesysteem. Op een dergelijke manier kan direct door veel huishoudens worden verduurzaamt door bij de vervanging van de HR-gasketel te kiezen voor een hybridesysteem.

Een hybride warmtepomp biedt grote potentie om nu direct te verduurzamen zonder dat dit een lock-in betekent. Hybride warmtepompen kunnen een opstap zijn voor locaties waar all-electric een goede eind situatie is maar waar dit nu nog niet haalbaar is. Realistisch gezien zal er een deel van de zeer oude en slecht geïsoleerde woningen hybride blijven vanwege de moeilijkheid om deze ver genoeg te isoleren om op all-electric over te kunnen stappen.

Het aantal hybridewarmtepompen in Nederland is nog zeer klein (± 20.000 , BDH). Uit de routekaart is een top 5 aan onderwerpen naar voren gekomen om de implementatie van de hybride warmtepomp te stimuleren.

1. *Advies en kennisniveau consument*

Consumenten hebben in het algemeen relatief weinig kennis van energiesystemen. Het bewustzijn op gebied van de energievoorziening en in het bijzonder (hybride) warmtepompen is beperkt.

2. *Aanschafkosten*

De aanschafkosten van warmtepompen zijn fors hoger dan voor een HR-ketel. Door de ISDE-subsidie is de totale kostprijs van de warmtepomp over de levensduur meestal gunstig, maar desalniettemin moet de nieuwe installatie in eerste instantie wel door de bewoner gefinancierd kunnen worden.

3. *Standaardisering (plug and play)*

Hoewel warmtepompen als technisch product inmiddels zeer volwassen en betrouwbaar zijn, is de marktpenetratie nog gering. Mede daardoor is de inpassing van een warmtepomp nog geen standaardklus. Voor de HR-ketel hebben grootschalige projecten voor woningcorporaties ertoe geleid dat de installatieprocedures sneller en eenvoudiger geworden zijn. Deze ontwikkeling heeft voor warmtepompen nog niet plaatsgevonden.

4. *Verplichting en incentive voor de bestaande bouw*

Energiebesparing in bestaande woningen wordt nauwelijks wettelijk afgedwongen. Buiten de energiebesparing is er ook geen fiscale prikkel van toepassing op energiebesparing in de woning. Terwijl juist in de bestaande woningen de grootste besparing mogelijk en noodzakelijk is.

5. *Kennisniveau en voorkeur installateurs*

Voortvloeiend uit de bovenstaande punten is de vraag naar warmtepompen beperkt. De kennis van installateurs is overeenkomstig slecht ontwikkeld. De meeste klanten zullen niet naar warmtepompen vragen of terugschrikken voor de (perceptie van) meerkosten. In de praktijk blijkt dat veel installateurs daarom de noodzaak niet zien om zich in warmtepompen te verdiepen.

Het is van belang dat de aangewezen actoren actie ondernemen om knelpunten weg te nemen door samen aan, in de routekaart geformuleerde, oplossingsrichtingen te werken. Hierdoor kan een versnelling plaatsvinden van de energietransitie en levert de hybride warmtepomp een significante bijdrage aan de landelijke energiedoelstellingen. De uitdagingen uit de routekaart worden voor een deel al opgepakt door de belanghebbende partijen en een ander deel wordt nog nader verkend. Parrelel aan de routekaart wordt een actieplan ontwikkeld voor het verder oppakken van verschillende uitdagingen.

Bijlagen



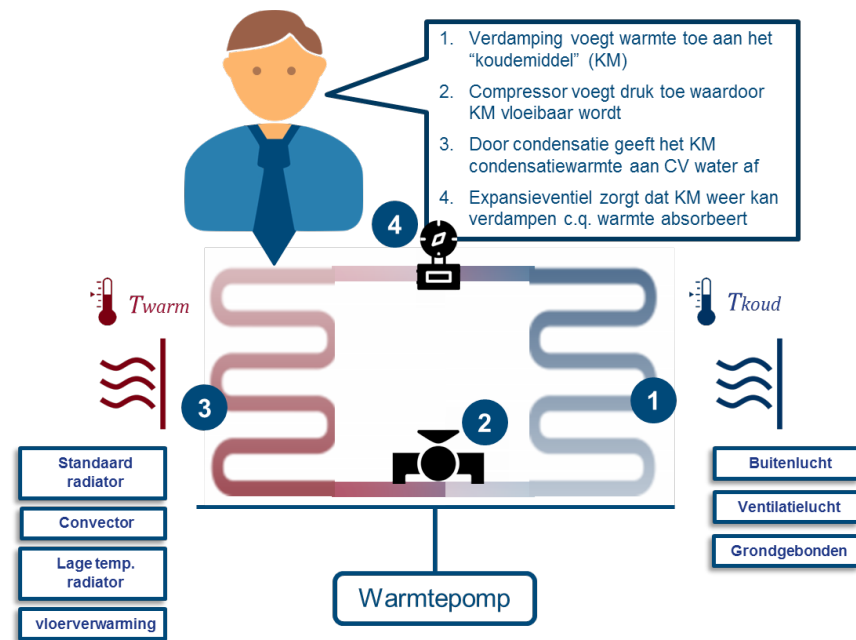
Bijlage 1

Lijst van geïnterviewde personen en deelnemers
workshop

Contactpersoon	Bedrijf	Interview	Workshop
Albert van de Molen	Stedin	X	
Bas Korte	Itho-Daalderop	X	
David Benjamin van der Woude	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties	X	
Dirk-Jan Middelkoop	Eneco innovation & ventures	X	
Felix Lacroix	RVO		X
Hindrik Aalders	Klimacom	X	X
Jan Flonk	Enexis	X	X
Jan Scheepers	Greenspread	X	X
Jan Tjemme van Wieringen	Milieu centraal	X	X
Jeroen Bode	USEF Foundation	X	
Léon Wijshoff	RVO		X
Lianda Sjerps	TKI Urban energy	X	X
Marijke Kellner	Gasunie		X
Martine Straver	Bosch / Nefit	X	X
Nicolien van der Sar	Gasunie		X
Peter de Jong	Natuur en milieu	X	
Peter van der Wilt	Consumentenbond	X	X
Peter Wagener	DHPA		X
Pieter van Alphen	Techneco	X	X
Richard Beekhuis	TNO	X	X
Rob Verbrugge	Iventum	X	X
Robert de Bruin	Mampaey		X
Theo Elfrink	Vereniging eigen huis	X	X
Tjalling de Vries	Ministerie van Economische Zaken	X	X

Bijlage 2

Grafische representatie en versimpelde uitleg van verwarmingsopties voor huishoudens die zijn meegenomen in deze studie.



Figuur 1: Illustratie van de werking van een warmtepomp

Door de verandering in druk wordt het kookpunt van het koudemiddel gemanipuleerd:

- door druk toe te voegen (figuur 1: 2) wordt het kookpunt verhoogd
- door de afname van de druk (figuur 1: 3) wordt het kookpunt verlaagd.

De warmtepomp haalt dus warmte uit de buiten- of binnenlucht. De efficiëntie hiervan hangt af van de buiten (of binnen) temperatuur en de afgiftemtemperatuur. Het maximaal haalbare theoretische rendement (COP, coëfficiënt of performance) wordt berekend door de volgende formule:

$$\text{COP(Rendement)} = \frac{T_{\text{warm}}}{T_{\text{warm}} - T_{\text{koud}}}$$

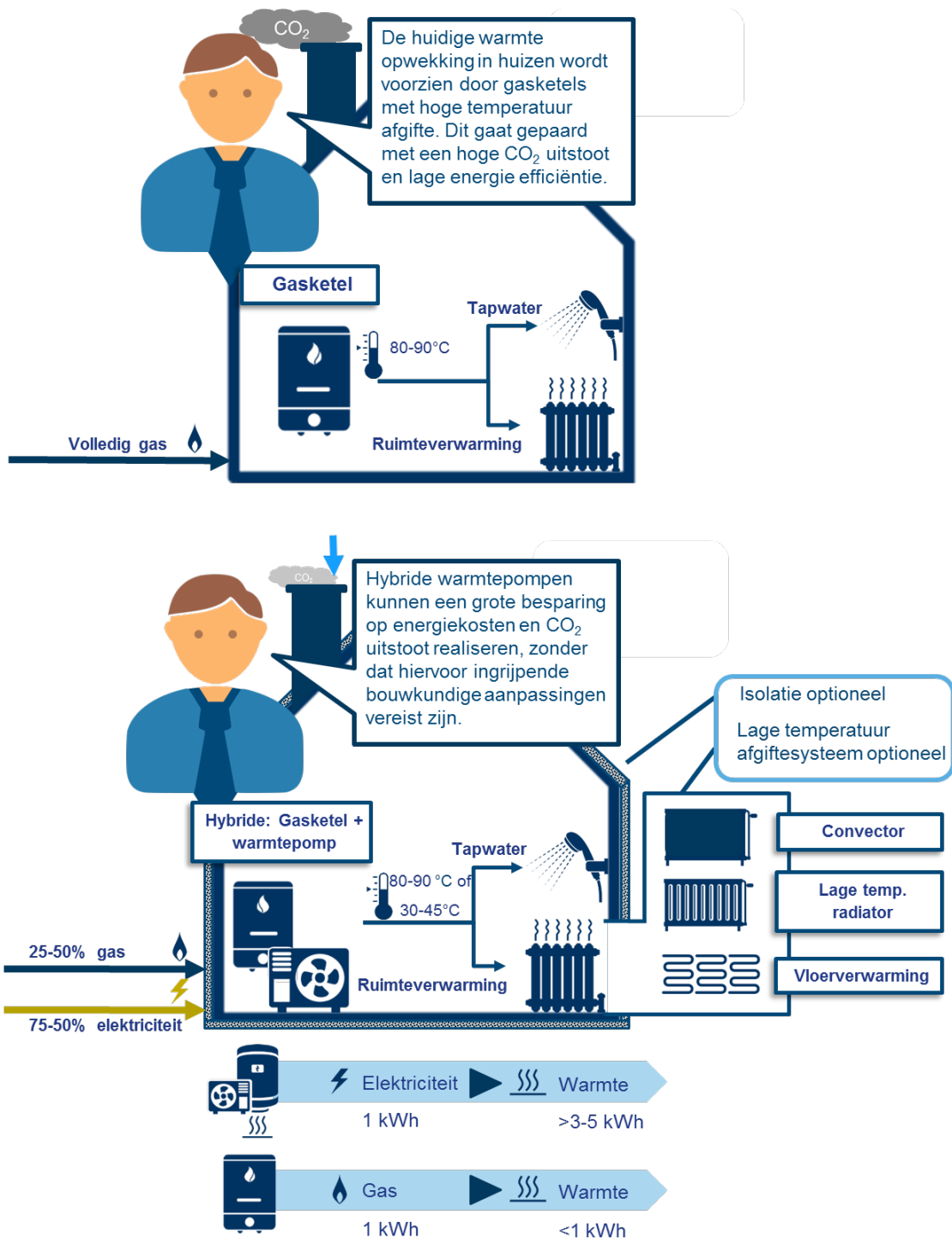
Uit bovenstaande formule kan opgemaakt worden dat wanneer de buitentemperatuur hoger is oftewel T_{koud} , het rendement omhoog gaat. Dit gebeurt ook als T_{warm} lager is, oftewel de afgifte temperatuur c.q. het CV water.

Hoe werkt een warmtepomp?

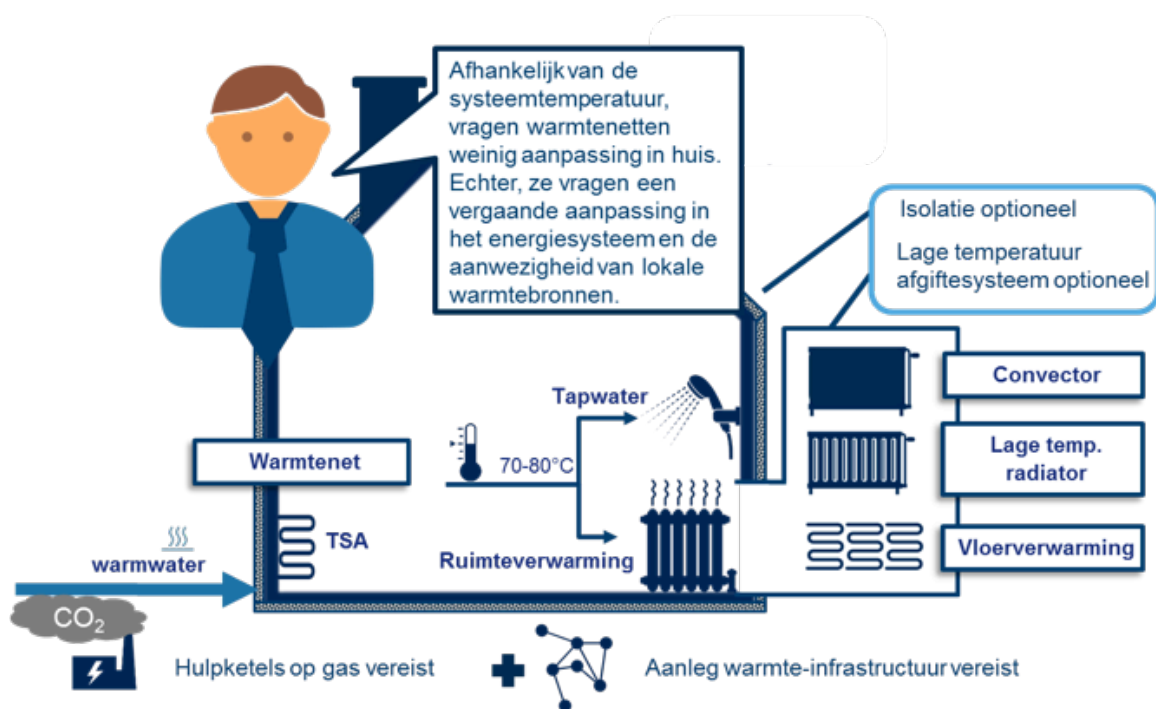
Een warmtepomp haalt warmte van plek A, voegt hier extra energie aan toe middels een compressor en transporteert deze naar plek B. In het geval van de hybride warmtepomp gaat het veelal om buitenlucht of ventilatielucht waaraan warmte wordt onttrokken. Een vloeistof wordt bij lage temperatuur verdampt en de damp wordt bij hoge temperatuur gecondenseerd. De warmte die hierbij uit de buitenlucht wordt gehaald kan als duurzame warmte worden gezien.

Werking: een warmtepomp laat een speciale stof, ook wel koudemiddel genoemd, door een warmtewisselaar in de buitenlucht gaan. Door middel van verdamping onttrekt het koudemiddel warmte uit de buitenlucht. Vervolgens gaat de stof naar de warmtewisselaar die in contact staat met het CV water, maar eerst wordt er door middel van een compressor druk op het koudemiddel gezet. Door deze druk wordt het koudemiddel vloeibaar en condenseert in de warmtewisselaar die in verbinding staat met het CV water. Door deze condensatie ontstaat condensatiewarmte die wordt afgegeven aan het CV water. Vervolgens gaat het koudemiddel door een expansieventiel, waardoor het weer verdampt in de warmtewisselaar en in contact komt met de buitenlucht en hier weer warmte onttrekt.

In hoofdstuk 2 figuur 6 is dit rendement weergegeven ten opzichte van de temperatuur verdeling in Nederland door het jaar heen, voor ruimteverwarming en tapwater. Logischerwijs is het rendement voor tapwater dus altijd lager dan voor ruimteverwarming omdat voor tapwater een hogere afgifte temperatuur vereist is. De warmte uitwisseling met de buitenlucht of een andere bron is mogelijk dankzij de speciale eigenschappen van het koudemiddel. Het koudemiddel wordt geselecteerd op het drukafhankelijke kookpunt. Belangrijk is dat het kookpunt bij een lage druk lager is dan de temperatuur van de plek waaraan warmte onttrokken moet worden (in dit geval de buitenlucht). Bij hoge druk moet het kookpunt juist hoger zijn dan de temperatuur waaraan warmte moet worden afgegeven oftewel het CV water.



Figuur 2, grafische representatie 1,bovenste figuur) van een huis in de huidige situatie met een HR- gasketel (boven) en een traditioneel afgifte systeem met radiatoren die een hoge temperatuur nodig hebben om voldoende stralingswarmte aan de omgeving af te kunnen geven. 2, onderste figuur) een woning met een hybride combinatie van een HR- gasketel met daarbij een kleine warmtepomp (ventilatielucht of buitenlucht) met over het algemeen een vermogen tussen de 1-5 kW. Door de toevoeging van de warmtepomp wordt met behulp van de buitenlucht (duurzame bron) 3-5 keer zoveel warmte gecreëerd dan er in gestopt wordt aan elektriciteit. Door de woning extra te isoleren en/of door het afgiftesysteem aan te passen kan extra efficiëntie en besparing gerealiseerd worden. Dit is echter voor een dergelijk hybridesysteem niet noodzakelijk. Hierdoor kunnen consumenten zonder directe ingrijpende veranderingen al een groot aandeel duurzaamheidswinst behalen.



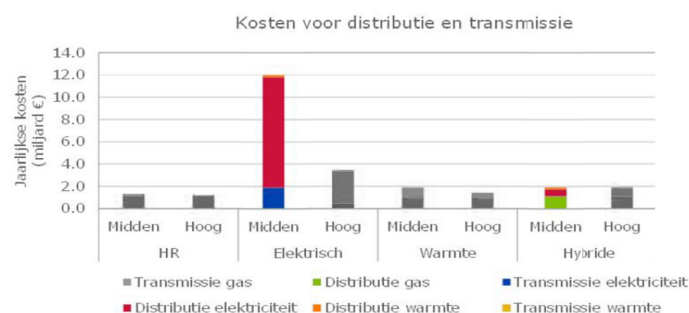
Figuur 3. Bovenste figuur. Grafische representatie van een woning die volledig door de warmtepomp wordt verwarmd. Dit is, zoals in figuur 2 geïllustreerd, een veel duurzamere optie dan een HR-gasketel. Echter vanwege het ontbreken van de gasketel is in een dergelijke woning extra isolatie en een ander afgiftesysteem vereist. Dit omdat, zoals in figuur 1 geïllustreerd, de efficiëntie van de warmtepomp alleen werkt wanneer de afgifte temperatuur maximaal 45° Celsius is (hoe lager hoe beter). De extra isolatie is, afhankelijk van de woning (mate van isolatie, bouwstandaarden). Warmteverliezen kunnen er voor zorgen dat het systeem te weinig capaciteit heeft om de woning warm te krijgen.

2, onderste figuur) een woning met een TSA (tegenstroomprincipe) aangesloten op een warmtenet die warm water aanvoert naar de woning die vervolgens wordt overgedragen op het water in de woning. De meeste warmtenetten in Nederland hebben een hoge temperatuur. Hierdoor is geen isolatie of aanpassing van het afgiftesysteem vereist. Dit is uiteraard nog wel aan te bevelen vanuit het oogpunt van energiebesparing. Het is echter ook voor warmtenetten efficiënter om een lagere temperatuur te handhaven. Dit vermindert verliezen in de leidingen en draagt bij aan de efficiëntie voor sommige centrales vanwege de lagere retour temperatuur.

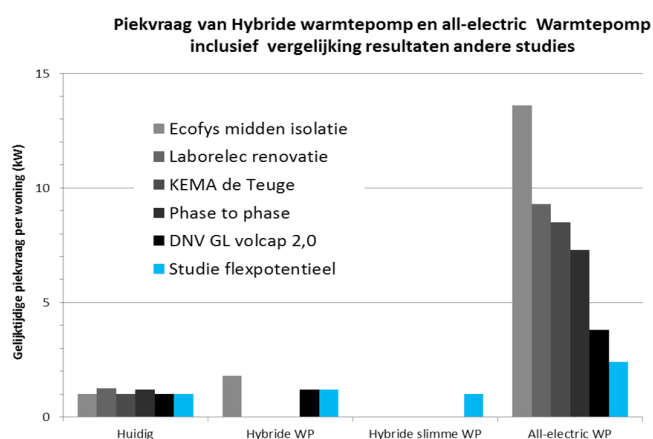
Bijlage 3

Het flexibiliteitspotentieel van de hybridewarmtepomp en de implicaties van all-electric.

Onderstaand figuur laat de jaarlijkse kosten voor distributie en transmissie zien voor verschillende scenario's in 2050 door Ecofys doorgerekend. Wij hebben er hiervan twee uitgelicht: het scenario dat vooral steunt op all-electric warmtepompen en het scenario met hybride warmtepompen. De op de X-as weergegeven uitsplitsing van midden en hoog geeft een aanduiding voor de mate van isolatie waar Ecofys voor 2050 van uit is gegaan. Duidelijk zichtbaar wordt dat de jaarlijkse kosten in het volledig elektrische scenario vele malen hoger zijn. Dit terwijl de duurzaamheidswinst ten opzichte van hybride warmtepompen zeer klein is en deze wanneer voor het kleine deel gasketel gebruik wordt gemaakt van groen gas, zelfs nul is.



Figuur1 Jaarlijkse kosten voor distributie en transmissie (2050 voor verschillende scenario's) Ecofys 2015, De systeemkosten van warmte voor woningen.



Figuur 2. Vergelijking van de gelijktijdige maximale belasting van het elektriciteitsnet per woning voor verschillende verwarmingsconcepten met andere studies.

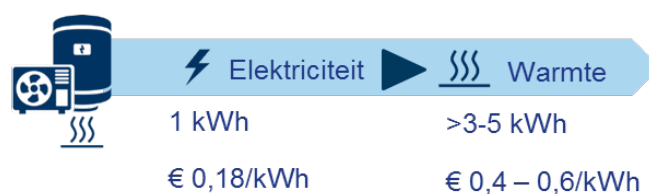
Tabel 1. Input factoren en aannames bij figuur 14 & 15, hoofdstuk 4.
 * eigen aannames en extrapolaties ** Lopend gemiddelde op basis van CBS cijfers (2010 t/m 2015). Input factoren zonder asterisk zijn op basis van gegevens uit de nationale energie verkenning 2016. Voor de hybride warmtepomp is een gemiddelde COP van 4 en een verhouding gas elektriciteit van 75% Elektriciteit en 25% gas aangenomen. Voor de uitstoot van gas is uit gegaan van 1,788 kg CO₂/kuub gas (bron: Ecofys, Systeemkosten van warmte voor woningen. (2015)). Voor het rendement van elektriciteitsopwekking is van 50,7% uitgegaan, CBS. Berekening van de CO₂-emissies, het primair fossiel energiegebruik en het rendement van elektriciteit in Nederland. (2012)

INPUT		REF 2016	2023	2030	2040
Aantal hybride warmtepompen		20.000*	500.000*	1.500.000*	4.000.000*
kg CO ₂ /kWh (emissie afhankelijk van prod. park)		0,66	0,62	0,62	0,58*
Energieverbruik Nederland in Petajoule		3110	3054	2986	2900*
Uitstoot gebouwde omgeving kilo ton CO ₂		23600	22500	19800	15900*
Warmtevraag gemiddelde woning		1475**	1350	1200	1100*
% besparing t.o.v. lopendgemiddelde tot 2015			8,5%	18,6%	25,4%
OUTPUT					
Kilo ton CO ₂ -emissie reductie dankzij hybride warmtepompen	Grijze stroom (afhankelijk van prod. park)		138	369	1225
	Groene stroom		905	2414	5900
	Groen gas		440	1174	3192
	Groene stroom & groengas		1207	3218	7866
Duurzame energie realisatie in PJ			8,90	23,74	58,03
Duurzame energie % t.ov. Totaal verbruik Nederland			0,29%	0,80%	2,00%
Percentage CO ₂ -emissiereductie dankzij hybride warmtepompen ten opzichte van totaal gebouwde omgeving 2016 (niet-ETS)	Grijze stroom (afhankelijk van prod. park)		1%	2%	5%
	Groene stroom		4%	10%	25%
	Groen gas		2%	5%	14%
	Groene- stroom & gas		5%	14%	33%

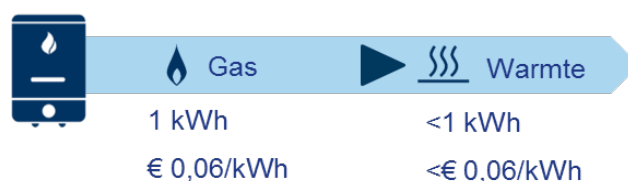
Tarieven 2016	Gas €/M ³	Gas €/kWh	Elektriciteit €/kWh
Levering*	€ 0,2000	€ 0,0205	0,0400
Energiebelasting	€ 0,2517	€ 0,0258	€ 0,1007
ODE**	€ 0,0113	€ 0,0012	€ 0,0056
BTW (21%)	€ 0,0972	€ 0,0100	€ 0,0307
Totaal	€ 0,5602	€ 0,0573	€ 0,1770

* Verschilt per energieleverancier

** Opslag duurzame energie



Tabel 2. Linker tabel energiekosten voor gas en elektriciteit. Bron: www.energievergelijken.nl, belastingdienst.nl, investeringskosten inschatting BDH. Rechter figuur geeft de impact van de energiekosten weer in termen van warmte productie door een gasketel of door een warmtepomp.



OPMERKELIJKE INZICHTEN, OPMERKELIJKE RESULTATEN

Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al bijna 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke en private sector met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkerrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. En zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

Berenschot is aangesloten bij de E-I Consulting Group, een Europees samenwerkingsverband van toonaangevende bureaus.

Berenschot Groep B.V.

Europalaan 40, 3526 KL Utrecht
Postbus 8039, 3503 RA Utrecht
030 2 916 916
www.berenschot.nl
@berenschot_nl