

Berenschot



Flex-potentieel hybride
warmtepomp



• _____

Flex-potentieel hybride warmtepomp

Haalbaarheidsstudie Systeemintegratie

Berenschot

Bert den Ouden
Peter Graafland
Rutger Bianchi

BDH

Peter Wagener
Paul Friedel

DNV GL

Irin Bouwman
Jan Willem Turkstra
Han Lemmens

12 april 2016

Dit project is ondersteund vanuit een regeling in de Topsector Energie en door
Gasunie Transport Services

Berenschot





Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	7
Voorwoord	13
1. Inleiding	15
1.1 Afbakening	17
1.2 Leeswijzer	17
2. Het flexibiliteitspotentieel van hybride warmtepompen	19
2.1 Vormen van flexibiliteit	19
2.2 Het creëren van waarde uit flexibiliteit.....	21
3.1 Algemene uitgangspunten.....	23
3.2 Scope	24
3.3 Woningtypes	25
3.4 Systeemeigenschappen	28
3.5 Marktsignalen & scenario's	31
3.2 Aansturingsstrategieën.....	34
4. Resultaten	37
4.1 Overzicht uitkomsten en redeneerlijn	37
4.2 Aanstuurstrategieën en scenario's	38
4.3 Warmtepombron en stooklijn	40
4.4 Buitenluchthybride warmtepomp en buffer	41
4.5 Vergelijking geselecteerde configuraties	43
5. Economische waarde.....	45
5.1 Business case hybride warmtepomp.....	45
5.2 Systeemwaarde	46
6. Conclusies.....	49
7. Discussie	53
8. Aanbevelingen	55
Definitielijst.....	57
Literatuurlijst	58
Bijlage 1. Verdieping van resultaten simulaties.....	59



Managementsamenvatting

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische (in de meeste gevallen lucht/water) warmtepomp met een (groen)gasgestookte HR ketel en 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 – 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 – wanneer dit voor het totale energiesysteem voordelig is.

Hierbij is onderscheid gemaakt ten opzichte van de voordelen die een hybride warmtepomp al zonder meer heeft bij het faciliteren van de energietransitie in de gebouwde omgeving.

- In vergelijking met een gewone CV-ketel kan daar waar een hybride warmtepomp wordt toegepast tot mogelijk 100% CO₂-reductie worden bereikt mits de elektriciteitsinzet (die circa 80% van de jaarlijkse warmtevraag dekt) duurzaam wordt geproduceerd en de gasinzet (circa 20% van de warmtevraag) komt uit biomassa-reststromen (groen gas).
- In vergelijking met een volledig elektrische warmtepomp heeft de hybride warmtepomp diverse voordelen bij toepassing in bestaande woningen, omdat er minder aanpassingen nodig zijn. De totale investering is lager en de hybride warmtepomp heeft minder elektrisch piekvermogen, waardoor het elektriciteitsnet minder zwaar belast wordt en netverzwaring minder snel nodig is.

Voor het realiseren van deze voordelen is intelligente aansturing geen voorwaarde. Maar intelligente sturing kan wel extra voordelen brengen. De focus van deze studie ligt op het mobiliseren van deze aanvullende “verborgen talenten” van een hybride warmtepomp. Er is onderzocht wat de toegevoegde waarde is van slimme aansturing van hybride warmtepompen. In de studie hebben de auteurs stapsgewijs onderzocht welke aansturingsopties de beste resultaten bieden.

Hybride warmtepompen kunnen veelal worden toegepast zonder grote ingrepen in de woning; zo is er geen vloerverwarming noodzakelijk. Wel kan het wenselijk zijn om de oude radiatoren te vervangen door convectoren. 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.

Een randvoorwaarde voor het kunnen creëren van waarde met intelligente aansturing is het beschikbaar hebben van flexibiliteit. Met flexibiliteit wordt in deze studie bedoeld: "het vermogen van een partij om zijn of haar energievraag of -aanbod op afroep aan te kunnen passen." Intelligente aansturing kan waarde bieden wanneer actief ingespeeld kan worden op variaties in energie(gerelateerde) markten – zoals de elektriciteits-, de gas- en de CO₂-markt – waarbij de flexibiliteit in vraag en aanbod het mogelijk maakt om een positie in te nemen op de desbetreffende markt. Flexibiliteit geeft daarbij de noodzakelijke speelruimte om waarde te kunnen creëren met intelligente aansturing.

Hybride warmtepompen kunnen verschillende vormen van energieflexibiliteit bieden: tijdflexibiliteit, plaatsflexibiliteit (in geaggregeerde vorm), vraagelasticitet en brandstofflexibiliteit. Van deze vormen is brandstofflexibiliteit uniek voor hybride warmtepompen: de mogelijkheid om op afroep van energiedrager (gas of elektriciteit) te kunnen wisselen. Hiermee kan extra toegevoegde waarde aan het energiesysteem worden geleverd ten opzichte van verwarmingssystemen die slechts van één energiedrager gebruik maken. Om de potentiële waarde van de beschikbare flexibiliteit van hybride warmtepompen te kunnen ontsluiten, zijn energiewaardeproposities nodig.

In deze studie zijn de volgende vijf proposities onderzocht:

-  1. Traditionele aansturing op basis van vast schakelpunt voor COP.
-  2. Maximalisatie van de energetische autarkie van een woning.
-  3. Minimalisatie van de energiekosten voor verwarming.
-  4. Minimalisatie van congestie in het elektriciteitsnetwerk.
-  5. Minimalisatie van de CO₂-uitstoot afhankelijk van de actuele brandstofmix.

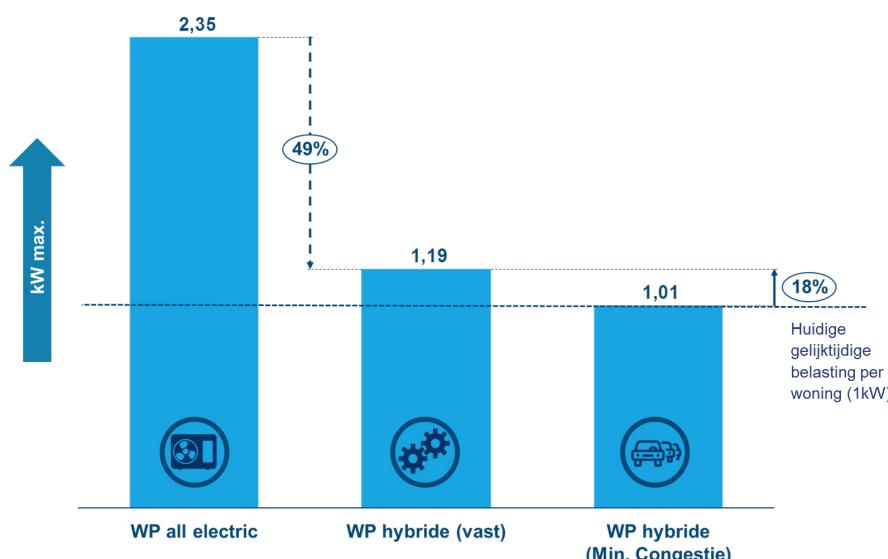
De maatschappelijke waarde die met deze vijf waardeproposities kan worden gecreëerd is afhankelijk van de technische uitvoering van een hybride warmtepompsysteem en de omgeving waar het systeem zich in bevindt.

Om de maatschappelijke waarde die uit de aanwezige flexibiliteit van hybride warmtepompen kan worden gecreëerd te kunnen bepalen, zijn diverse simulaties en analyses uitgevoerd. In deze simulaties hebben we vier toekomstscenario's, vijf aanstuurstrategieën (waardeproposities) en verschillende woningconfiguraties meegenomen. Er is een simulatiemodel toegepast dat op uurbasis de te creëren waarde maximaliseert op basis van de vijf geanalyseerde proposities. Het model reageert dynamisch op diverse signalen uit het energiesysteem, zoals energieprijzen, de actuele CO₂-uitstoot van de gebruikte energiedragers, congestie van het distributienetwerk (de mate waarin het netwerk belast wordt) en het momentane rendement van de warmtepomp.

Momenteel ontbreekt nog de infrastructuur voor een dergelijke dynamische inzet van warmtepompen, maar de auteurs gaan ervan uit dat deze mogelijkheden binnen afzienbare tijd beschikbaar zullen komen voor consumenten, hetgeen een van de aanbevelingen is in deze studie.

Het blijkt dat stuurstrategieën op basis van actuele energieprijzen of brandstofmix op zichzelf nauwelijks tot een andere inzet van de warmtepomp leiden dan een vaste aansturing. Dit komt omdat bij de huidige stand van de techniek warmtepompen het grootste deel van het jaar qua kosten en CO₂-uitstoot gunstig kunnen worden ingezet. Ook als er een expliciete keuzemogelijkheid op basis van actuele gegevens wordt geboden, zal de warmtepomp daardoor slechts zeer zelden worden uitgeschakeld. Het extra inschakelen van de warmtepomp is eveneens nauwelijks aan de orde. Zelfs in combinatie met grote warmtebuffers is de hoeveelheid warmte die aangegeven kan worden daarvoor niet groot genoeg.

Wanneer op minimale congestie van het netwerk wordt gestuurd, ontstaat er wel een duidelijk afwijkend gedrag van hybride warmtepompen. Dit heeft een positief effect op de netwerkbelasting. Het blijkt dat bij de gekozen uitgangspunten de maximale gelijktijdige belasting van het elektriciteitsnet zelfs gelijk kan blijven aan de huidige situatie.



Figuur 2: Het effect van het type warmtepomp en de aansturingsstrategie op de gelijktijdige piekbelasting van het elektriciteitsnet per woning.

Dit resultaat duidt er op dat hybride warmtepompen breed toepasbaar zijn binnen bestaande elektriciteitsnetten – mits deze hybride warmtepompen effectief worden aangestuurd op minimale congestie. Het inzetten van intelligente hybride warmtepompen die gestuurd worden op minimale congestie van het elektriciteitsnetwerk brengt bovendien slechts zeer beperkte extra kosten en CO₂-uitstoot (zie bijlage 2, figuur 2) teweeg.

De belangrijkste conclusie van deze studie is dat er met een propositie waarbij flexibiliteit wordt ingezet voor het verminderen van congestie in het elektriciteitsnetwerk (de mate waarin het netwerk belast wordt), significante waarde kan worden gecreëerd voor de maatschappij. Het benutten van de flexibiliteit van hybride warmtepompen is een effectieve methode om congestie in het elektriciteitsnet te verminderen; door slimme aansturing wordt in deze studie een reductie van de maximale gelijktijdige netbelasting van 18 % behaald ten opzichte van niet-intelligent aangestuurde hybride warmtepompen. De reductie ten opzichte van all-electric warmtepompen ligt in de door ons bekeken situaties op minimaal 60%.

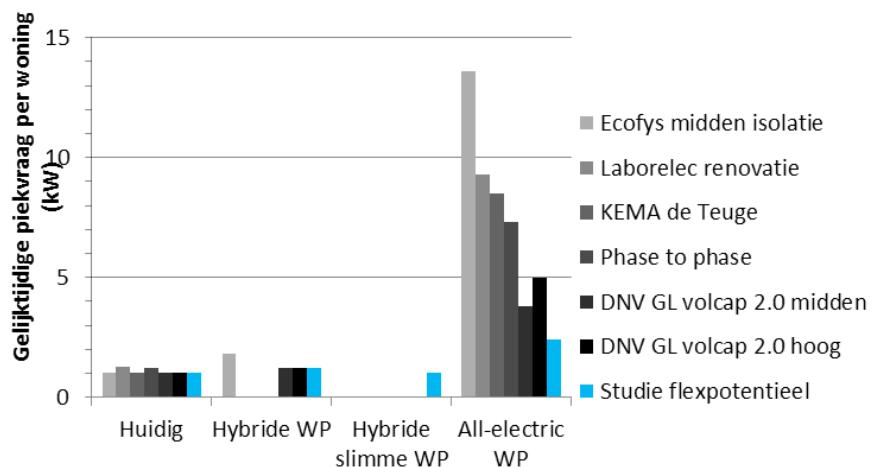
Daarmee kunnen slim aange-
stuurde hybride warmtepompen
als interessante optie worden
gezien voor het reduceren van de
 CO_2 -uitstoot van woningen tegen
minimale maatschappelijke kos-
ten: het hybride concept maakt
een kostenefficiënte verduurza-
ming van de warmtevraag van
de woningen mogelijk (Ecofys¹,
2015).

¹ Ecofys, "De systeemkosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

De verlaging van de netwerkbelasting komt in twee stappen tot stand. Allereerst zal bij een grote warmtevraag altijd gebruik gemaakt worden van bijstook. Het vermogen van de warmtepomp in het hybride systeem is beperkt en alleen daardoor is de netbelasting ook beperkt. Daarbovenop kan als tweede stap nog actief worden gestuurd op congestie, zodat de netbelasting verder kan dalen.

De overige drie proposities die geanalyseerd zijn, hebben slechts geringe invloed op de economische waarde die wordt gecreëerd uit het inzetten van flexibiliteit. Omgekeerd geldt echter ook dat sturen op autarkie en/of minimale CO_2 -uitstoot van een woning slechts beperkte meerkosten tot gevolg heeft. Dat kan ook praktisch werken: als de slimme sturingsmogelijkheid al tot stand komt vanwege de vermindering van netcongestie, kan deze desgewenst ook worden ingezet voor andere doeleinden op basis van bewonersvoorkeuren zoals de inzet van elektriciteit tegen laagste prijs of laagste CO_2 -emissies, zoals CO_2 -reductie vergroening of financiële optimalisatie. Dergelijke proposities kunnen daarmee tegen geringe meerkosten worden aangeboden.

Om de resultaten van deze studie in perspectief te plaatsen, is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerdere studies rond de netbelasting door (hybride) warmtepompen.



Figuur 3: Vergelijking van de gelijktijdige maximale belasting van het elektriciteitsnet per woning voor verschillende verwarmingsconcepten met andere studies.

In vergelijking met andere studies blijkt de gelijktijdige belasting van een all-electric systeem in deze studie zeer conservatief ingeschat. De auteurs hebben bewust gekozen voor een vergelijking tussen warmtepompsystemen die optimaal gedimensioneerd zijn en goed geïnstalleerd zijn in woningen waar eerst is nageïsoleerd. Indien een all-electric systeem in de praktijk minder optimaal wordt aangelegd dan in deze studie is aangenomen, zullen de voordelen van de keuze voor een hybride systeem nog positiever uitpakken dan in deze studie is berekend.

Intelligente aansturing van (hybride) warmtepompen evenals proposities die daar gebruik van maken zijn nog geen gemeengoed. Gezien de potentie hiervan voor het energiesysteem verdient het aanbeveling dergelijke systemen, diensten en de markten die deze diensten kunnen ontsluiten, verder te ontwikkelen. Daarvoor zouden (hybride) warmtepompen standaard uitgerust moeten worden met een sturings-interface zodat ze flexibel ingezet kunnen gaan worden zodra daar in de toekomst meer behoefte aan komt. Ook verdient het aanbeveling om nader te onderzoeken hoe woningen met hybride warmtepompen in geaggregeerde vorm kunnen worden ingezet als flexibele belasting voor het bewaken van de balans in het landelijke elektriciteitsnet, en voor het vermijden van congestie op lokaal niveau.

De huidige opbouw van de energiebelasting en netwerkkosten in Nederland heeft een sterk dempend effect op de meerwaarde die een woningeigenaar uit het flexibel inzetten van een (hybride) warmtepomp kan halen: de eindprijs bestaat immers voor het grootste deel uit belastingen, zodat een flexibele commodityprijs niet tot significante variatie in de consumentenprijs leidt. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken op welke manier de opbouw van energiebelasting en netwerkkosten kan worden aangepast om het gebruik van duurzame (CO_2 -arme) bronnen te stimuleren en de congestie in energienetwerken te minimaliseren.



Voorwoord

In ons huidige, op fossiele energie gebaseerde energiesysteem is de behoefte van eindgebruikers leidend. Met name kleingebruikers hebben veel vrijheid in wan-neer en hoe veel energie ze afnemen. Aan de productiekant wordt er voor gezorgd dat aan elke vraag wordt voldaan. Tot op heden is in deze behoefte altijd kunnen voorzien, omdat de elektriciteitsvraag van verschillende huishoudens een relatief lage gelijktijdigheid kende. De netbeheerder kon het elektriciteitsnet daardoor dimensioneren op het gelijktijdige gebruik van ‘verlichting en televisies’ tijdens de avonduren, waarbij individuele pieken in het gebruik in de ruis van de massa glad werden gestreken.

In tegenstelling tot de elektriciteitsvraag kende de gasvraag van woningen van oudsher wel een relatief hoge gelijktijdigheid, met een extreme piek die eens in de twintig tot vijftig jaar optreedt (voorbeelden zijn de winters van '63, '87, '96). Gas-transporteurs en distributeurs hebben het gasnet ontworpen voor deze piekvraag door voldoende transportcapaciteit aan te leggen en een aantal van onze kleine gasvelden om te bouwen tot “noodgasreserve”. Het resultaat is het energiesysteem wat we nu kennen: een systeem met een hoge mate van betrouwbaarheid, eenvou-dige regels en acceptabele tarieven voor de gebruikers ervan.

Een tekortkoming van ons huidige energiesysteem is echter dat de energieproductie in hoge mate gebaseerd is op fossiele energiebronnen. Wanneer we over willen stappen op duurzame energiebronnen, zijn zonne- en windenergie de meest voor de hand liggende alternatieve energiebronnen voor Nederland. Een sterke toename van het aanbod aan zonne- en windenergie zal leiden tot een aantal uitdagingen:

- Energieproductie uit wind- en zonne-energie is nauwelijks controleerbaar, in tegenstelling tot de huidige fossiele energiebronnen. Het gebrek aan flexibiliteit zal op andere plekken in het energiesysteem moeten worden gecompenseerd, onder andere aan de zijde van de afnemers van energie.
- Vanuit het oogpunt van de maatschappelijke kosten en baten moet er naar een optimale inzet van de bestaande energie-infrastructuur worden gezocht; wedden op één paard is daarbij niet automatisch de beste oplossing.

- Klanten zijn gewend geraakt aan de betaalbaarheid en betrouwbaarheid van het bestaande energiesysteem – ook tijdens extreem koude winters – en willen of kunnen niet zomaar meer betalen dan nu het geval is;
- Naast veranderingen aan de aanbodzijde zal het karakter van de vraagzijde ook veranderen: elektrische mobiliteit en (elektrische) warmtepompen zijn in opkomst. Dit kan een grotere (gelijktijdige) belasting van het elektriciteitsnetwerk tot gevolg hebben.

Hoewel elektriciteit met behulp van warmtepompen efficiënt kan worden ingezet en de verwarmingsbehoefte lager zal worden door woningisolatie, zal het overnemen van deze energietransport-taken door het elektriciteitsnet een zeer serieuze uitdaging zijn, waarvoor transitiemaatregelen en nieuwe oplossingen nodig zijn.

Een belangrijk aspect van de uitdagingen rond de energietransitie is dat het elektriciteitsnetwerk in de komende decennia waarschijnlijk een groot gedeelte van de taken van het gasnetwerk over zal moeten nemen en aanvullend mogelijk nog een deel van de taken van de motorbrandstoffenmarkt. Het Nederlandse gasdistributienetwerk heeft echter een circa tien keer zo grote transportcapaciteit als het elektriciteitsnetwerk. De motorbrandstoffenmarkt is met circa 8 miljard liter brandstof per jaar qua energie-inhoud vergelijkbaar met de aardgasmarkt.

Dit is de achtergrond waartegen een hybride warmtepomp zich als oplossingsrichting presenteert. Een hybride warmtepomp combineert een elektrische warmtepomp voor de basislast met een HR-ketel voor pieklast en/of tapwaterproductie. Daardoor is het mogelijk om selectief te kiezen of aardgas of elektriciteit als energiedrager benut wordt. In deze studie wordt onderzocht welke toegevoegde waarde deze optie biedt op het gebied van netbelasting, kosten en CO₂-uitstoot.

1. Inleiding

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische (lucht/water) warmtepomp met een gasgestookte HR ketel en is goed toepasbaar in bestaande en nieuwe woningen. De flexibiliteit in de keuze van energiebron voor hybride warmtepompen maakt deze systemen bij uitstek geschikt voor het leveren van ondersteunende diensten voor het energiesysteem¹.

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden ten opzichte van de voordelen die een hybride warmtepomp al zonder meer heeft. Een hybride warmtepomp vormt op zichzelf al een goede oplossing voor het faciliteren van de energietransitie in de gebouwde omgeving.

- In vergelijking met een gewone CV-ketel kan de hybride warmtepomp mogelijk tot 100% CO₂-reductie in de gebouwde omgeving bereiken, als de elektriciteitsinzet (die circa 80% van de jaarlijkse warmtevraag dekt) duurzaam geproduceerd wordt en de gasinzet (circa 20% van de warmtevraag) komt uit biomassa-reststromen (groen gas).
- Met een CV-ketel kan dat niet omdat er (nu en in de toekomst) te weinig potentieel aan groen gas is om 100% van de warmtevraag in de gebouwde omgeving te dekken.
- In vergelijking met een volledig elektrische warmtepomp heeft de hybride warmtepomp diverse voordelen vooral bij toepassing in de bestaande woningvoorraad. Het warmtepompdeel is kleiner en er zijn minder aanpassingen aan de woning nodig, waardoor de totale investering lager is. Ook trekt de hybride warmtepomp minder elektrisch piekvermogen, waardoor het elektriciteitsnet minder zwaar belast wordt en netverzwarende minder snel nodig is. Tenslotte kan de hybride warmtepomp makkelijker 100% CO₂ reductie bereiken omdat in de winter gebruik kan worden gemaakt van opgeslagen groen gas. De elektrische warmtepomp moet in de winter en bij windstil weer terugvallen op elektriciteit uit centrales.

¹ Berenschot, CE Delft, Overview, 2015. De rol van de eindgebruiker in relatie tot systeeminTEGRATIE: Advies aan de Topsector Energie. Utrecht: Berenschot, maart 2015.

Dit project is echter gericht op het inzichtelijk maken en kwantificeren van de meerwaarde die ontsloten kan worden door het actief inzetten van de flexibiliteit van hybride warmtepompen, door slimme aansturing ten opzichte van een referentiesituatie zonder slimme aansturing². Het doel is om een integrale businesscase voor hybride warmtepompen te onderzoeken waarbij optimalisatie op zowel lokaal, regionaal als nationaal niveau plaatsvindt en waarbij gereageerd wordt op diverse stuursignalen uit het energiesysteem, zoals energieprijzen, CO₂-uitstoot en congestie van het distributienetwerk. De centrale vraag die in deze studie wordt beantwoord, is: “welke waarde kan in potentie ontsloten worden door het intelligent inzetten van de aanwezige flexibiliteit bij hybride warmtepompen in vergelijking met niet intelligente warmtepompsystemen?”

Hybride warmtepomp

Er bestaan verschillende technieken, die op korte termijn kunnen bijdragen aan de verduurzaming van de warmtevoorziening. Een klein deel van de te renoveren huizen en een groter aandeel nieuwbouw huizen kunnen van duurzame warmte worden voorzien via warmtenetten (restwarmte en geothermie). Voor de meeste (bestaande) huizen is een warmtepomp een optie voor duurzame warmte. 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 is een combinatie van een elektrische (lucht/water) warmtepomp met een gasgestookte HR ketel en is goed toepasbaar in bestaande en nieuwe woningen.

Deze combinatie is met name in de landen met een uitgebreide gas-infrastructuur (zoals Nederland) een interessante optie om op korte termijn het energieverbruik in woningen te verlagen. De elektrisch aangedreven warmtepomp zorgt voor het overgrote deel (ca. 80%) van het jaar voor de benodigde ruimteverwarming (centrale verwarming – CV) met als hernieuwbare energiebron buitenlucht of ventilatielucht.

Voor alleen de extreem koude dagen en het bij verwarmen van warm tapwater wordt de HR ketel nog ingeschakeld. Hiermee worden de sterke kanten van beide technologieën in één combinatie gebruikt en blijft comfort behouden. Door een slimme inzet van elektriciteit en gas bij een hybride warmtepomp kan de betaalbaarheid en betrouwbaarheid van een duurzame energievoorziening op een eenvoudige manier gewaarborgd worden. Daarnaast is het mogelijk om bij een grootschalige toepassing van hybride warmtepompen, grote en kostbare uitbreidings van elektriciteit netwerken te voorkomen.

De resultaten en conclusies van deze studie zijn bedoeld als leidraad voor de discussie over de maatschappelijk optimale inrichting van ons energiesysteem, ter ondersteuning van de energietransitie in de gebouwde omgeving in Nederland en voor het in kaart brengen van aandachtsgebieden die nader onderzoek verdienen.

1.1 Afbakening

Deze studie richt zich op hybride warmtepompen die ingezet worden voor ruimte- en tapwaterverwarming en die bestaan uit een combinatie van een elektrische warmtepomp gecombineerd met een gasgestookte HR-ketel. Er wordt uitgegaan van optimaal geconfigureerde systemen met buitenlucht als warmtebron voor de warmtepomp. Als referentiesysteem is een volledig elektrisch verwarmingssysteem op basis van een elektrische warmtepomp met elektrische bijstook gehanteerd. PV panelen en een waterbuffer voor thermische opslag zijn als opties meegenomen. Koeling, groen gas en elektrische opslag zijn buiten beschouwing gelaten.

De studie richt zich op het onderzoeken van de maatschappelijke waarde van flexibiliteit. Op welke wijze deze waarde kan worden ontsloten valt buiten de scope van deze studie. De studie heeft het karakter van een gevoeligheidsanalyse; het doel is om er achter te komen welke factoren in het energiesysteem het meest van invloed zijn op de waarde die uit de flexibiliteit van hybride warmtepompen kan worden ontsloten. Op basis van de kennis en ervaring van de betrokken experts is een inschatting gemaakt van reële minimale, maximale en gemiddelde scenario's voor de toekomstige inzet van (hybride) warmtepompsystemen in Nederland. Op basis van de resultaten kan vervolgonderzoek worden gedaan naar specifieke details.

1.2 Leeswijzer

Om de waarde die uit de flexibiliteit van hybride warmtepompsystemen kan worden ontsloten te kunnen kwalificeren en kwantificeren, wordt in deze studie allereerst de potentieel beschikbare flexibiliteit van hybride warmtepompen in kaart gebracht. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van het flexibiliteitspotentieel en verschillende mogelijkheden tot het creëren van waarde uit flexibiliteit.

De waarde die gecreëerd kan worden uit het flexibiliteitspotentieel van hybride warmtepompen is sterk afhankelijk van de omgeving waar de systemen zich in bevinden. Om een realistisch beeld te kunnen krijgen van de potentieel te ontsluiten waarde, wordt in deze studie gebruik gemaakt van een aantal toekomstscenario's en uitgangspunten uit eerder uitgevoerde studies³. De gehanteerde methoden en uitgangspunten worden in hoofdstuk 3 toegelicht.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de analyses gepresenteerd. Hierin wordt een beschouwing gegeven op de resultaten in relatie tot de gehanteerde omgevingscondities. Daarnaast wordt de gevoeligheid van de resultaten op diverse scenario's en externe signalen geanalyseerd.

In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de verschillende analyses doorgerekend in een businesscase van de hybride warmtepomp en wordt er een grove exercitie gemaakt van eventuele maatschappelijke waarde. Dit is aangevuld met een beschouwing op de waarde die uit verschillende vormen van aansturing kan worden bereikt, bij verschillende toekomstscenario's.

³ De toekomstscenario's zijn gebaseerd op ENTSO-E verkenningen voor 2030 en afkomstig uit de voor de Topsector Energie uitgevoerde systeemintegratiestudie Routekaart Energieopslag 2030 van 25 maart 2015.

Op basis van de verschillende analyses die in de voorgaande hoofdstukken zijn uitgevoerd worden in hoofdstuk 6 conclusies getrokken met betrekking tot de hoofdvraag van deze studie. Uit deze conclusies volgen adviezen over de potentie voor Nederland om hybride warmtepompen in te zetten voor het ondersteunen van de energietransitie tegen minimale maatschappelijke kosten.

Om de resultaten van deze studie in perspectief te kunnen plaatsen, is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerdere studies rond de netbelasting door (hybride) warmtepompen. In hoofdstuk 7 wordt een beschouwing gegeven op de belangrijkste verschillen in uitkomsten.

In deze studie is een aantal inzichten opgedaan waarvoor nader onderzoek gewenst is. In hoofdstuk 8 wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek naar deze vragen.

2. Het flexibiliteitspotentieel van hybride warmtepompen

Een hybride warmtepomp vormt op zichzelf al een intelligente oplossing voor het faciliteren van de energietransitie – hiervoor is intelligente aansturing geen voorwaarde. De focus van deze studie ligt echter op het mobiliseren van aanvullende “verborgen talenten” van een hybride warmtepomp. Er is onderzocht welke extra maatschappelijke waarde kan worden ontsloten indien hybride warmtepompen slim worden aangestuurd.

Een randvoorwaarde voor het kunnen creëren van waarde met intelligente aansturing is het beschikbaar hebben van flexibiliteit. Met flexibiliteit wordt in deze studie bedoeld: “het vermogen van een partij om zijn of haar energievraag of -aanbod op afroep aan te kunnen passen.” Intelligente aansturing kan waarde bieden wanneer actief ingespeeld kan worden op variaties in energie(gerelateerde) markten – zoals de elektriciteits-, de gas- en de CO₂-markt – waarbij de flexibiliteit in vraag en aanbod het mogelijk maakt om een positie in te nemen op de desbetreffende markt. Flexibiliteit geeft daarbij de noodzakelijke speelruimte om waarde te kunnen creëren met intelligente aansturing.

Om de waarde die uit de flexibiliteit van hybride warmtepompsystemen kan worden ontsloten te kunnen kwalificeren en kwantificeren, dient er eerst inzicht te zijn in de flexibiliteit die in potentie beschikbaar is bij hybride warmtepompsystemen. In dit hoofdstuk worden de verschillende vormen van flexibiliteit die hybride warmtepompen kunnen bieden toegelicht en wordt een aantal mogelijkheden geschatst waarmee waarde uit deze flexibiliteit kan worden gecreëerd.

2.1 Vormen van flexibiliteit

Flexibiliteit kan worden uitgedrukt in eenheden van tijd, vermogen of energie. Een hybride warmtepomp kan in potentie vier vormen van flexibiliteit bieden: tijdflexibiliteit, plaatsflexibiliteit, vraagelasticiteit en brandstofflexibiliteit. Van deze vormen is brandstofflexibiliteit uniek voor hybride warmtepompen: de mogelijkheid om op afroep van energiedrager (gas of elektriciteit) te kunnen wisselen. De brandstofflexibiliteit van een hybride warmtepomp heeft een wisselwerking met de andere drie vormen van flexibiliteit en vergroot het potentieel daarvan. Hiermee kan extra toegevoegde waarde aan het energiesysteem worden geleverd ten opzichte van verwarmingssystemen die slechts van één energiedrager gebruik maken.

De omvang van de flexibiliteit die door een hybride warmtepomp kan worden geboden is afhankelijk van de technische uitvoeringsvorm ervan en van de omgeving waarin het systeem zich bevindt. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de uitgangspunten die bij deze studie zijn gehanteerd.

In het onderstaand overzicht wordt een nadere toelichting gegeven op de vier vormen van flexibiliteit die geboden kunnen worden door een hybride warmtepomp.

De vier vormen van flexibiliteit van een hybride warmtepomp

1. Tijdflexibiliteit:

De mogelijkheid om de energievraag (gas of elektriciteit) in de tijd te kunnen verschuiven en om op een bepaald tijdstip gegarandeerd energie af te kunnen nemen. Voor hybride warmtepompen heeft deze vorm van flexibiliteit een ordegrootte van minuten tot uren; het betreft dus "intraday" flexibiliteit. De sleutel tot het creëren van tijdflexibiliteit is het vermogen om energie op te slaan. In de praktijk kan dit in thermische vorm (bijvoorbeeld een warmtebuffer of de thermische massa van een huis) of in elektrische vorm (bijvoorbeeld accu's).

2. Plaatsflexibiliteit:

De mogelijkheid om de energievraag van fysieke locatie te verplaatsen, met als doel de lokale energievraag te beperken. Dit kan bijvoorbeeld nuttig zijn om lokale congestie in het netwerk op te lossen. Deze vorm van flexibiliteit is niet beschikbaar voor een enkele hybride warmtepomp. Wanneer een grote, geografisch verspreide groep slim aan te sturen woningen wordt geaggregeerd binnen de klantengroep van één aanbieder, kan deze aanbieder wel variëren in locatie van de totale energievraag van de klantengroep door de energievraag van bepaalde woningen binnen het klantenbestand te verhogen of juist te verlagen.

3. Vraagelasticiteit:

De mogelijkheid en/of bereidheid van de gebruiker van een hybride warmtepomp om zijn of haar energievraag te onderbreken (een "interruptible load") en tijdelijk met minder energie genoegen te nemen. Voorbeeld: een huishouden accepteert dat de temperatuur overdag 20 in plaats van 21 graden is, als daar een bepaalde vergoeding tegenover staat.

4. Brandstofflexibiliteit:

Een hybride warmtepomp heeft de mogelijkheid om van energietype (gas of elektriciteit) te veranderen als daar behoefté aan is. Voorbeeld: het niet inschakelen van de elektrische warmtepomp op een moment dat elektriciteit (lokaal) schaars is en in plaats daarvan de gasgestookte HR-ketel inschakelen.

2.2 Het creëren van waarde uit flexibiliteit

Om de potentiële waarde van de beschikbare flexibiliteit van hybride warmtepompen te kunnen ontsluiten, zijn energiewaardeproposities nodig. In het hoofdstuk 3.6 worden aanstuurstrategieën voor het creëren van waarde uit de flexibiliteit van hybride warmtepompen beschreven. De aanstuurstrategieën zijn opgenomen in een simulatiemodel, dat gekoppeld is aan een aantal toekomstscenario's rond de ontwikkeling van de energemarkt en de energiemix in Nederland. In het volgende hoofdstuk wordende gehanteerde uitgangspunten toegelicht.



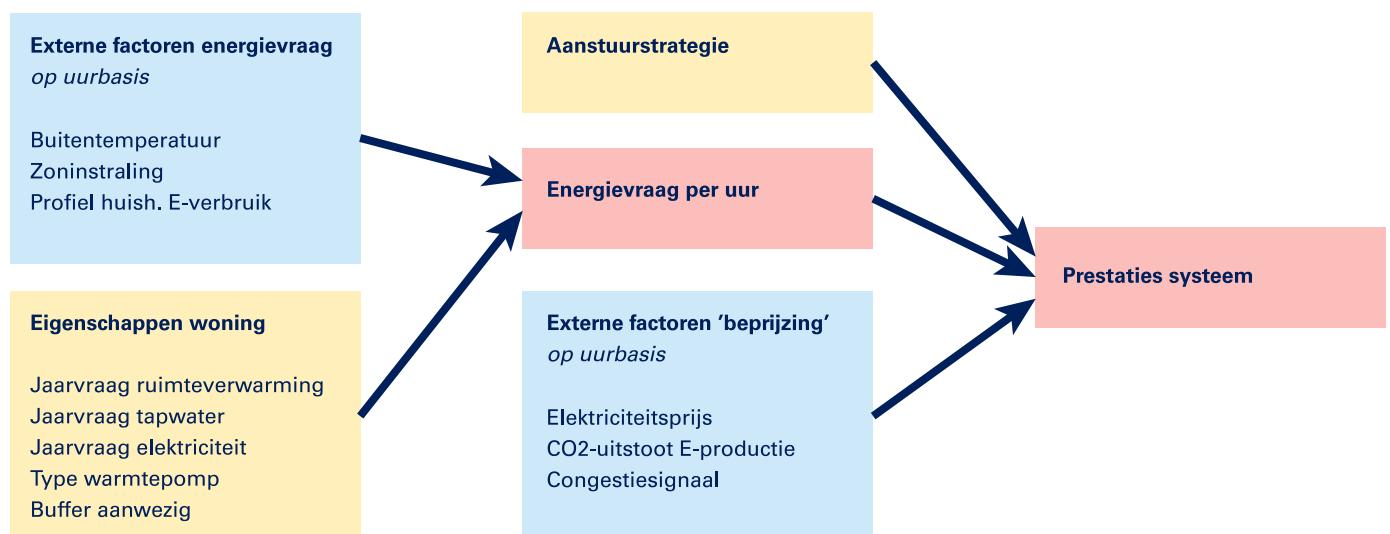
3. Uitgangspunten

3.1 Algemene uitgangspunten

Om de prestaties van hybride warmtepompen in verschillende situaties te bepalen, is gebruik gemaakt van een jaarsimulatie op uurbasis. Dat wil zeggen dat voor ieder uur van het jaar wordt bepaald wat de bijdrage van de warmtepomp en/of bijstook is aan de energievoorziening.

Input voor deze afweging zijn externe factoren, zoals buitentemperatuur, zoninstraling, huishoudelijk elektriciteitsverbruik⁴, energieprijzen en uurlijkse CO₂-uitstoot van de landelijke elektriciteitsproductie.

Op basis van het gedrag van het systeem over het jaar, kan direct worden berekend wat de totale kosten, CO₂-uitstoot, buffer-inzet e.d. zijn.



Figuur 3.1 Opzet modelberekeningen. Geel=vrij te kiezen input; Blauw=externe (vaste) input; Rood=resultaten.

⁴ Dit verbruik wordt niet beïnvloed door de inzet van de warmtepomp en telt daarom mee als 'externe' factor. Omgekeerd kan de inzet van de warmtepomp wel beïnvloed worden door de hoogte van de eigen elektriciteitsvraag, bijvoorbeeld als (onvoordelige) export van PV-stroom dreigt.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende woningtypes en systemen (paragraaf 3.3 en 3.4), 4 verschillende prijs/CO₂-scenario's (paragraaf 3.5) en 5 verschillende aanstuurstrategieën (paragraaf 3.6). Al met al is er in potentie een grote en onoverzichtelijke hoeveelheid simulaties mogelijk. Daarom is in eerste instantie d.m.v. een *pilot simulatie* bepaald welke opties in het bijzonder aandacht verdienen. Bij de besprekking van de resultaten in paragraaf 4.2 zal de 'route' die de auteurs van deze studie door het optielandschap hebben aangelegd explicet worden aangegeven.

3.2 Scope

Wat wordt *wel* en *niet* in deze studie meegenomen? Hoofddoel van de studie is het in kaart brengen van de mogelijkheden die flexibele inzet van hybrides biedt. Om dit omvattend te doen, zijn de volgende zaken explicet meegenomen in de modelberekeningen:

Wel meegenomen

- Verschillende types warmtepomp:
 - hybride met buitenlucht als bron
 - hybride met ventilatielucht als bron
 - en ter vergelijking een *all-electric* warmtepomp met buitenlucht als bron
- Verschillende buffergroottes:
 - Geen buffer
 - Kleine buffer (voldoende voor tapwatergebruik)
 - Grote buffer (ruim voldoende om op dagbasis flexibele inzet van de warmteproductie ook voor ruimteverwarming mogelijk te maken)
- Verschillende aanstuurstrategieën
- Verschillende prijs- en CO₂-scenario's.

Gezien het enorme aantal opties, zullen niet alle combinaties van deze punten worden doorgerekend, maar zal selectief en gericht worden gezocht naar de belangrijkste effecten.

Niet meegenomen

- De vraag naar **koeling** is in de Nederlandse omstandigheden beperkt. Ook voor nieuwbouwwoningen.
Het 'koelseizoen' is kort, het temperatuurverschil tussen buitentemperatuur en gewenste binnentemperatuur is beperkt en tot slot is de COP waarmee koude eventueel wordt opgewekt zeer hoog (ruim boven 10 mogelijk met een goede warmtepomp).
Deze drie factoren zorgen ervoor dat het totale primaire energieverbruik voor koeling klein is en de impact van eventueel flexibele inzet is dan ook per definitie laag. Daarom wordt koeling niet meegenomen in de modelberekeningen.

- Elektrisch vervoer heeft – in potentie – een zeer grote impact op de energievraag in de woonomgeving. Desalniettemin wordt EV niet meegenomen in deze studie. De flexibiliteit die het op- en ontladen van EV kan bieden, is op zichzelf significant en een eigen studie waard. Deze studie wil bewust focussen op hybride warmtepompen alleén, zodat geen onduidelijkheid kan ontstaan over welk effect terug te voeren is op welke techniek. Zo wordt duidelijk welke stuurstategieën voor hybrides effectief zijn en is er een basis voor vervolgonderzoek naar een optimale combinatie van (hybride) warmtepompen en EV.
- In theorie is **weerstandsverwarming** een mogelijk nuttige toevoeging voor een hybride systeem. De weerstand kan worden ingezet in bijzondere omstandigheden (extreem lage prijs en/of CO₂-uitstoot voor elektriciteit). Voordeel boven het normale warmtepomp-mechanisme is dat de gloeispiraal een buffer gemakkelijk tot 90 °C kan verwarmen, om zo maximaal energie op te slaan.
In de praktijk beschikken hybrides echter niet over een weerstandselement (er is immers als een HR-ketel als backup) en is het niet te verwachten dat de condities regelmatig extreem genoeg zijn voor effectieve inzet van de weerstandsoptie. Dit zal dan ook niet meegenomen worden in de studie.

3.3 Woningtypes

De Nederlandse woningvoorraad wordt – in energie-opzicht – gedomineerd door enkele woningtypes. De woningen met het hoogste verbruik zijn oudere vrijstaande woningen en 2-onder-1-kapwoningen. Rijwoningen en meergezinswoningen tot ca. 1990 zijn qua aantallen de grootste types. De totale energievraag per woningtype voor heel Nederland is weergegeven in de onderstaande tabel.

Ruimteverwarming NL per woning [GJ]

Bouwperiode		Type woning				Gemiddeld
		Vrijstaand	2/1 kap	Rij	Meergezins	
	tot 1964	77	57	46	28	47
	1965 tot 1974	83	55	45	14	39
	1975 tot 1991	72	44	36	19	37
	1992 tot 2005	56	38	31	21	32
	2006 tot 2013	47	33	29	19	26
	Gemiddeld	72	46	40	22	40

Tabel 3.1 Energieverbruik van woningen in Nederland (per woning en totaal), gesommeerd per combinatie van woningtype en bouwjaar.

Oudere woningen, voornamelijk rijwoningen, vormen samen het grootste energieverbruik. Juist deze woningen zijn ook geschikt voor een ‘upgrade’ met een hybride warmtepomp, vooropgezet dat er na-isolatie wordt toegepast.

3.3.1 Beschikbare woning/systeem-combinaties voor simulaties

Voor het maken van de simulaties zijn de precieze eigenschappen van verschillende woningen niet relevant. Uiteindelijk is de energievraag op jaarbasis bepalend voor het gedrag van de installatie in de woning. In de simulatie wordt dan ook geen gebruik gemaakt van expliciet gedefinieerde woningen. Het is natuurlijk wel zo dat verschillende woningtypes een verschillende warmtevraag hebben en verschillende mogelijkheden bieden om installaties te plaatsen. De onderstaande figuur geeft een overzicht van de verschillende woningtypes en de daarbij horende eigenschappen en systeem-opties.

		Groot vrijstaand of 2/1-kap	Middel rijwoning	Modelwoningen		Collectief 10 appartementen	
Type WP	Ventilatie WP Buitelucht WP	■■■	■■■	■■■	■■■■■	■■■■■	
Buffer	Geen Klein (tapwater) Groot ("speelruimte")	■■■	■■■	■■■	■■■■■	■■■■■	
Tapwater	GJ (ca. 3 GJ per pers.)			Groot of klein huishouden			
Isolatie / ruimteverw.	slecht	GJ ruimteverw. Indicatie label Stooklijn (bij -10)	75	50	30	10 x 30	6+6+2+4=18 varianten
	redelijk	GJ ruimteverw. Indicatie label Stooklijn (bij -10)	60	40	20	10 x 20	
	goed	GJ ruimteverw. Indicatie label Stooklijn (bij -10)	35	30	15	10 x 15	2 varianten
Totaal 18 x 2 x 3 = 108 varianten							

Figuur 3.2 Mogelijke opties voor woningen en systemen.

De markt is te segregeren in vier woningtypes: groot, middel, klein en collectieve systemen voor appartementen. Voorts kan een indeling gemaakt worden naar isolatiegraad: slecht, redelijk of goed. Tezamen vormen deze 12 opties een goede doorsnede van de Nederlandse woningvoorraad. In de figuur is voor ieder woningtype een indicatie gegeven van het bijbehorende energielabel. Dit is uitsluitend illustratief om een gevoel te geven voor de energetische kwaliteit van de woning. Het jaarverbruik in GJ is uiteindelijk bepalend voor het gedrag van de woning.

Per woningtype is het vervolgens mogelijk om bepaalde systemen te plaatsen: buitenlucht-warmtepompen voor grote en middelgrote woningen en collectieve systemen, ventilatiewarmtepompen voor alle woningtypes. Daarnaast kan gekozen worden om al dan niet een buffer te plaatsen. De laatste invloedsfactor is de omvang van het huishouden, die direct de hoeveelheid warm tapwater bepaalt.

Alles tezamen zijn er zo'n 108 varianten denkbaar. Alle varianten kunnen in principe in 4 scenario's met 5 aanstuurstrategieën worden doorgerekend. Dat is te veel om zinvol te kunnen analyseren. Het aantal woning/WP-combinaties is daarom bewust teruggebracht tot de basis:

- collectieve systemen worden niet meegenomen
- slechts geïsoleerde woningen worden niet meegenomen
- de tapwatervraag wordt op 7 GJ per huishouden vastgelegd

De studie heeft een focus op de bestaande woningvoorraad en gaat dus uit van na-isolatie van oude woningen. De energievraag voor isolatiegraad ‘redelijk’ en ‘goed’ is kleiner dan voor een typische woning van dat type, maar de aanname is dat er geen vloerverwarming geplaatst wordt. Voor redelijk geïsoleerde woningen is een stooklijn van 60 °C bij buitentemperatuur -10 °C aangehouden (traditioneel afgifte systeem). Voor goed geïsoleerde woningen is de stooklijn 45 °C bij buiten-temperatuur -10 °C (Lage Temperatuur afgifte). Dat is met gewone radiatoren of eventueel convectoren goed haalbaar, mits de woning inderdaad van goede na-isolatie voorzien is.

3.3.2 Uiteindelijke keuze woning/systeem-combinaties

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de 28 woning/systeem-combinaties die uiteindelijk als basis voor het onderzoek gebruikt zijn. Omdat ook deze hoeveelheid woningen in combinatie met de aansturing en scenario’s nog onoverzichtelijk groot is, is er een eerste pilot gedaan voor woningtype 8. Dit woningtype is geselecteerd om het effect van flexibele inzet maximaal zichtbaar te maken: een vrij hoge warmtevraag met LT-afgifte, waarbij buitenlucht als bron gebruikt wordt. In die context zou de warmtepomp in potentie een groot deel (>80%) van de warmtevraag kunnen afdekken en is het effect van flexibele aansturing eveneens in potentie groot. In het hoofdstuk met resultaten wordt verder ingegaan op de simulaties die zijn uitgevoerd.

Woning	Afgifte	Energievraag			Type WP	Levering uit WP Ruimteverw.	Tapwater	Dimensionering		Stooklijn		Stookgrens Tbuiten eff. [°C]
		RV [GJ]	TW [GJ]	E [kWh]				WP [kWth]	Buffer [kWh]	Bij -10 °C	Bij 20 °C	
0 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	FALSE	4.2	0	60.0	20.0	12.6
1 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	4.2	8	60.0	20.0	12.6
2 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	4.2	32	60.0	20.0	12.6
3 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.5	0	60.0	20.0	12.6
4 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	8	60.0	20.0	12.6
5 Groot	Traditioneel	60	7	4 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	32	60.0	20.0	12.6
6 Groot	LT	35	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	FALSE	2.1	0	45.0	20.0	10.0
7 Groot	LT	35	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	2.1	8	45.0	20.0	10.0
8 Groot	LT	35	7	4 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	2.1	32	45.0	20.0	10.0
9 Groot	LT	35	7	4 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.5	0	45.0	20.0	10.0
10 Groot	LT	35	7	4 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	8	45.0	20.0	10.0
11 Groot	LT	35	7	4 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	32	45.0	20.0	10.0
12 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	FALSE	2.8	0	60.0	20.0	12.6
13 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	2.8	8	60.0	20.0	12.6
14 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	2.8	32	60.0	20.0	12.6
15 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.5	0	60.0	20.0	12.6
16 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	8	60.0	20.0	12.6
17 Middel	Traditioneel	40	7	3 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	32	60.0	20.0	12.6
18 Middel	LT	30	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	FALSE	1.8	0	45.0	20.0	10.0
19 Middel	LT	30	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	1.8	8	45.0	20.0	10.0
20 Middel	LT	30	7	3 000	Buitenklimaat	TRUE	TRUE	1.8	32	45.0	20.0	10.0
21 Middel	LT	30	7	3 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.5	0	45.0	20.0	10.0
22 Middel	LT	30	7	3 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	8	45.0	20.0	10.0
23 Middel	LT	30	7	3 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.5	32	45.0	20.0	10.0
24 Klein	Traditioneel	20	7	2 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.0	0	60.0	20.0	12.6
25 Klein	Traditioneel	20	7	2 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.0	8	60.0	20.0	12.6
26 Klein	LT	15	7	2 000	Ventilatie	TRUE	FALSE	1.0	0	45.0	20.0	10.0
27 Klein	LT	15	7	2 000	Ventilatie	TRUE	TRUE	1.0	8	45.0	20.0	10.0

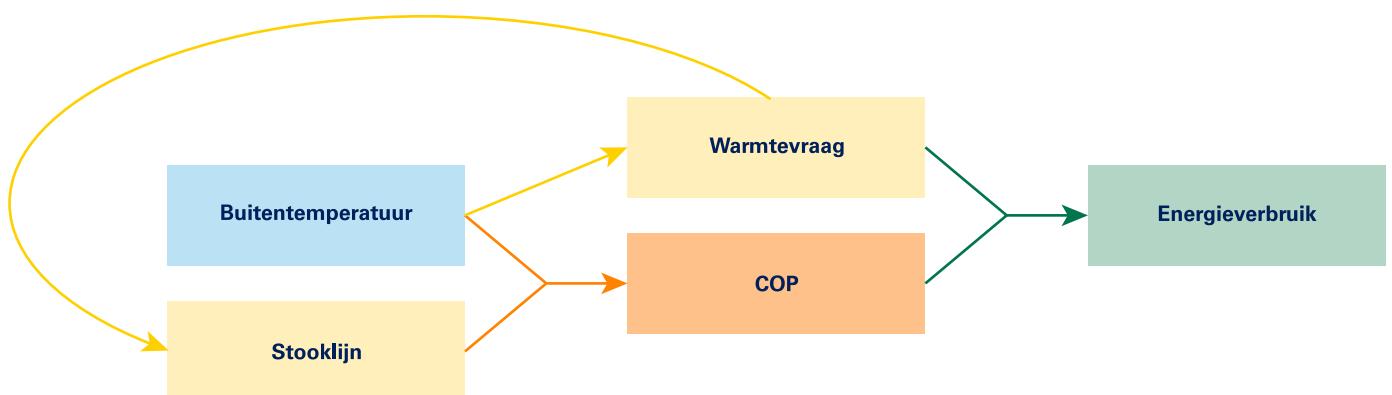
Tabel 3.3 Overzicht van woning/systeem-combinaties gebruikt in de modelberekeningen.

3.4 Systeemeigenschappen

3.4.1 Warmtepompen

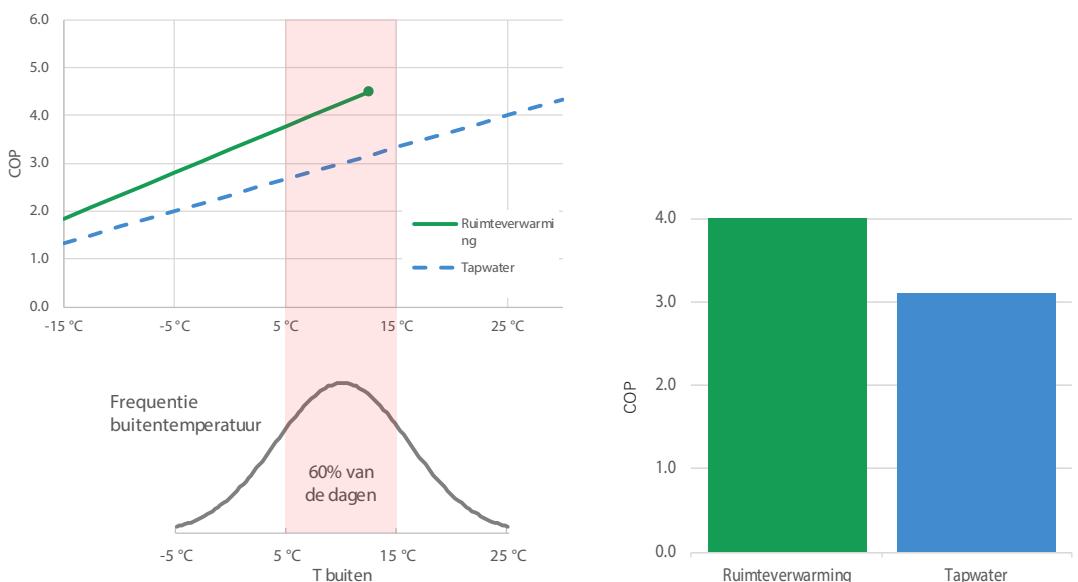
Buitenluchtwarmtepomp

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 3.2 Het effect van buitentemperatuur op de COP en daarmee de energievraag is tweeledig: de brontemperatuur (gelijk aan T_{buiten}) is lager, en de afgifte temperatuur is hoger (hogere stooktemperatuur 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.

De relatie tussen temperatuursprong is als benadering gegeven voor een typische warmtepomp:



Figuur 3.2bis - Het verband tussen COP ($COP = 6 - \Delta T/15$) voor ruimteverwarming en tapwater voor een lagetemperatuur afgiftesysteem. De COP is het hoogst voor de temperaturen die binnen het stookseizoen het vaakst voorkomen. De jaarrond gemiddelde COP voor de warmtepomp is ca. 4.0 voor ruimteverwarming en ca. 3.1 voor tapwater.

Ventilatiewarmtepomp

De ventilatiewarmtepomp gebruikt afgezogen ventilatielucht als bron. De brontemperatuur varieert licht over de dag, met een gemiddeld van 18.5 °C. De gemiddelde COP over het stookseizoen is ca. 5.2 (LT)/4.7 (Traditioneel) voor ruimteverwarming en 3.6 voor tapwater.

De COP is dus – uiteraard – hoger dan bij het gebruik van buitenlucht als bron. Daar staat tegenover dat de hoeveelheid warmte die geproduceerd kan worden i.h.a. ontoereikend is om een significant deel van de vraag naar ruimteverwarming te kunnen dekken.

3.4.2 Warmtebehoefte & buffers

Het overzicht in tabel 3.3 geeft de vraag naar ruimteverwarming en tapwater voor iedere modelsituatie. De bijbehorende buffergrootte is uit te drukken in kWh capaciteit. Er zijn drie opties:

- Geen buffer
- Kleine buffer voor tapwater
- Grote buffer voor (deel van de) ruimteverwarming

De bijbehorende omvang is vastgesteld op 0,8 en 32 kWh, ofwel 0, 150 en 600 l. De 600 l buffer is al fors, maar nog steeds niet voldoende om in grote vrijstaande huizen één of zelfs meerdere koude dagen te overbruggen. Toch is 32 kWh als maximale buffer gekozen. Een nog grotere buffer lijkt als uitgangspunt niet reëel.

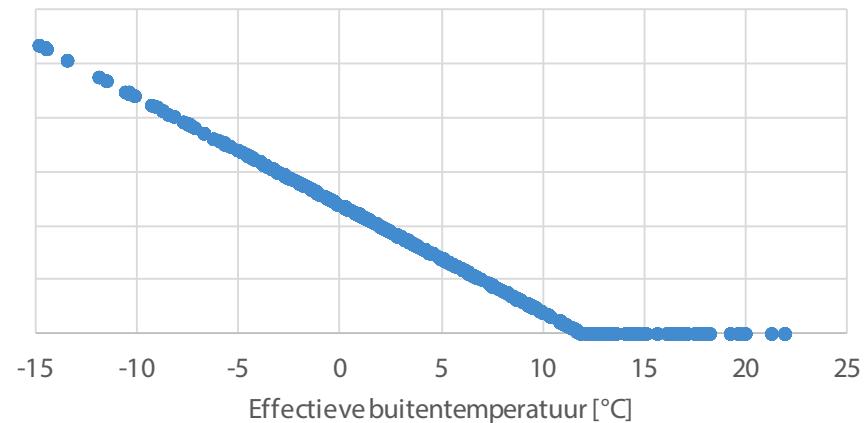
Voor grote en middelgrote woningen zijn alle drie de buffer-opties doorgerekend, voor kleine woningen is enkel met de opties 0 en 8 kWh gewerkt.

Vraagprofielen

Warmte

De warmtevraag wordt berekend⁵ op basis van de daggemiddelde effectieve buitentemperatuur. Voor iedere dag geeft het verschil tussen $T_{buiten,eff}$ en de stookgrens de relatieve warmtebehoefte op die dag. Hoe verder de buitentemperatuur onder de stookgrens zakt, hoe hoger de stookbehoefte. Deze warmtevraag wordt dan zodanig geschaald, dat het jaartotaal uitkomt op de gewenste waarde voor het huistype waaraan gerekend wordt.

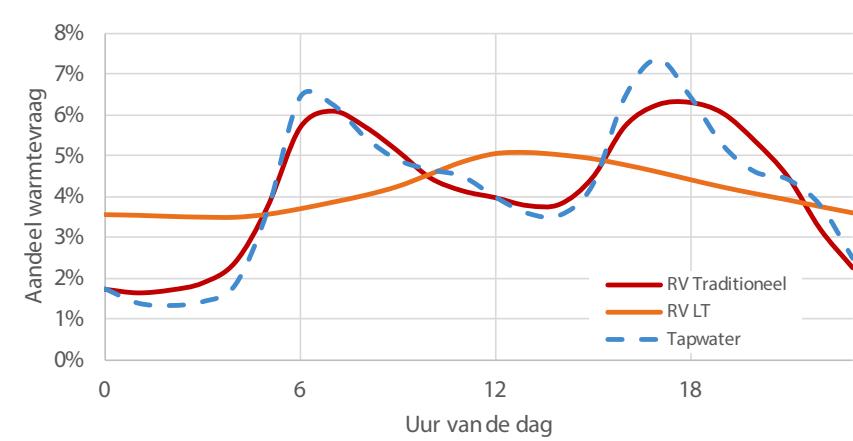
⁵ Dit is dezelfde methodiek die ook in de ScenarioTool op www.scenariotool.nl wordt gebruikt.



Figuur 3.3 Relatieve stookbehoefte versus buitentemperatuur. De eenheden op de y-as zijn niet relevant: de warmtebehoefte wordt uiteindelijk geschaald zodat het jaartotaal overeenkomt met de gewenste waarde.

De warmtevraag per dag wordt voorts opgedeeld in een warmtevraag per uur d.m.v. een vast dagprofiel, zoals hieronder weergegeven. Het dagprofiel voor LT-verwarming is een ‘uitgesmeerde’ versie van de traditionele afgifte, d.m.v. een voortschredend gemiddelde.

De vraag naar tapwater is gelijk verondersteld op iedere dag van het jaar. Binnen de dag varieert de vraag volgens een vast profiel, eveneens in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 3.4 Dagprofiel ruimteverwarming en tapwater. Het dagprofiel voor LT-afgifte is een ‘uitgesmeerde’ versie van het traditionele profiel.

Elektriciteit

Voor het huishoudelijk elektriciteitsgebruik is gebruik gemaakt van de profielen uit de ScenarioTool. Voor ieder uur van het jaar is een schatting van het elektriciteitsverbruik als fractie van het jaartotaal gegeven. De omvang van dit uurlijkse verbruik varieert licht over de seizoenen, maar is in het model niet afhankelijk van externe factoren zoals buitentemperatuur. De productie van PV-stroom wordt berekend aan de hand van de uurlijkse zoninstraling zoals opgegeven door het KNMI.

3.5 Marktsignalen & scenario's

De rekenscenario's zijn deels ontleend aan de ENTSO-E studie die Berenschot en DNV onlangs voor Netbeheer Nederland uitgevoerd hebben.⁶ Er is gebruik gemaakt van de twee meest extreme scenario's qua prijzen, zodat het potentieel effect van flexibele aansturing maximaal zichtbaar is. De gekozen scenario's zijn:

WKK hoog duurzaam 2030

Dit scenario (20 GW zon en wind) veronderstelt een teruglopend aandeel WKK, wat bovendien vrijwel volledig is geflexibiliseerd. De WKK is dan minder warmtevraagvolgend; op momenten van lage elektriciteitsprijs wordt de WKK teruggeregeld en wordt de warmtevraag anders opgewekt. Hierdoor is er relatief weinig must-run gasvermogen in het systeem en kan het fossiele park (inclusief WKK) vrij makkelijk worden teruggeregeld op momenten van veel duurzame energie.

Visie 4+ 2030

Dit bestaande scenario heeft een grotere hoeveelheid (30 GW) zon en wind in 2030. Verder heeft dit scenario een groot aandeel must-run gasvermogen: dit fossiele park levert veel opvang voor momenten zonder zon en wind, maar kan minder makkelijk worden terug geregeld op momenten van veel zon en wind.

Na de eerste berekeningen is gebleken dat het effect van prijs- en CO₂-sturing zeer klein is. Daarom is gekozen om nog twee extra scenario's door te rekenen, namelijk

2013 SPOT prijzen

Daadwerkelijk gerealiseerde prijzen in 2013.

2013 onbalans prijzen

Daadwerkelijk gerealiseerde prijzen in 2013.

Deze laatste beide scenario's geven een daadwerkelijk gerealiseerd prijsprofiel, zodat ook gezien kan worden hoe de systemen zich zouden gedragen in de huidige markt. Daarnaast zijn de prijsfluctuaties op de onbalansmarkt extremer dan in de twee ENTSO-E scenario's, wat de zichtbaarheid van de effecten nog eens vergroot.

3.5.1 Prijs

De uurlijkse elektriciteitsprijs is voor de ENTSO-E scenario's compleet doorgerekend. Deze reeks kan direct als input voor de berekeningen worden gebruikt. De uurlijkse prijzen voor 2013 zijn uiteraard eveneens bekend. De daadwerkelijke waarden zijn direct als input gebruikt, waarbij de onbalansprijzen van kwartierwaarden zijn uitgemiddeld naar uurwaarden. Om van de SPOT-prijs naar consumentenprijs te komen is een opslag van 12.5% gehanteerd. Daarnaast zijn de EB/ODE-tarieven en de BTW van 2016 gehanteerd.

Voor wat betreft eventuele teruglevering van PV-stroom is uitgaan van een scenario waarbij de salderingsregeling is afgeschaft: de bewoner krijgt slechts de kalle leveringsprijs terug van de leverancier en 'verliest' EB/ODE en BTW. De aardgasprijs is constant verondersteld in alle scenario's.

⁶ Berenschot, CE Delft, Overview, 2015. *De rol van de eindgebruiker in relatie tot systeeminTEGRATIE: Advies aan de Topsector Energie*. Utrecht: Berenschot, maart 2015

3.5.2 CO₂

De ENTSO-E studie heeft een complete analyse gemaakt van de elektriciteitsproductie voor ieder uur in 2030. Voor elk uur is bekend welke opwekkers worden ingezet, en hoeveel CO₂ iedere opwekker uitstoot. Zo is voor ieder uur een waarde voor kg CO₂ per kWh elektriciteit vast te stellen.

Voor de gerealiseerde gegevens van 2013 zijn helaas geen CO₂-data beschikbaar. Vanuit Entrance heeft Martien Visser echter wel een uitgebreide analyse gemaakt van de uurlijkse CO₂-uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsproductie in 2014. Deze waardes zijn gebruikt als model-input. De CO₂-uistoot van aardgas is constant verondersteld.

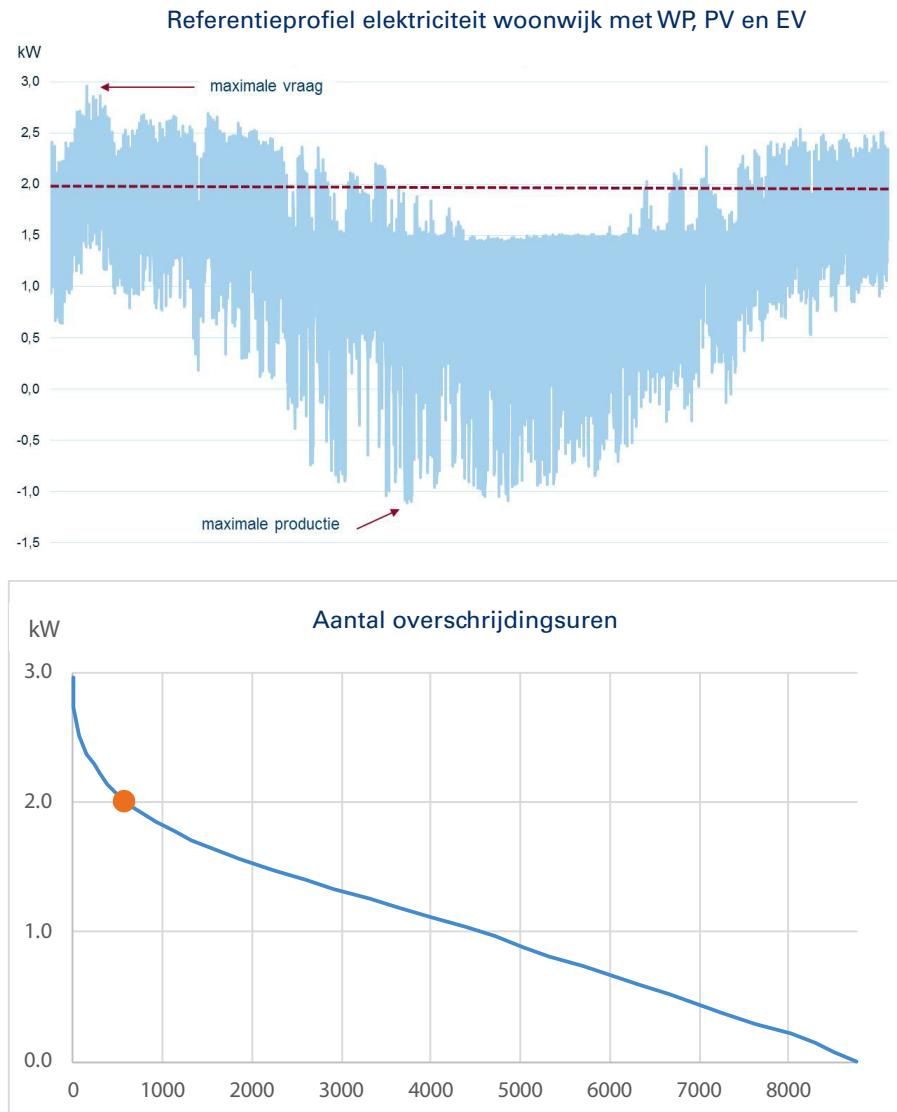
3.5.3 Congestie

Na overleg met Liander is gebleken dat er op dit moment nog geen duidelijke maat te geven is voor congestie in een reële wijksituatie. Bovendien zijn er grote verschillen tussen woonwijken. Het model heeft echter wel een referentiewaarde nodig om te bepalen of er in een gegeven uur sprake is van congestie of niet.

Daarom is gebruik gemaakt van een referentieprofiel dat het elektriciteitsverbruik van een Nederlandse wijk geeft als een flink aantal warmtepompen, PV-panelen en elektrische auto's aanwezig zijn. Dit profiel is berekend m.b.v. de ScenarioTool. Het referentieprofiel zal een per uur fluctuerende elektriciteitsvraag hebben die maximaal positief is bij inschakeling van alle warmtepompen en laadpalen, en maximaal negatief is bij hoge PV-productie en kleine overige elektriciteitsvraag. Dit profiel geeft dus een dynamische inschatting van de 'drukte' op het net. Bij veel vraag of productie kan mogelijk sprake zijn van congestie.

Dit referentieprofiel is weergegeven in figuur 3.5. De maximale netbelasting die (fictief) door de gebruikers in de wijk gevraagd wordt is 3 kW per woning. Zoals elders in dit rapport besproken, zal dit in veel wijken hoger zijn dan de duurbelasting op het netwerk mag zijn. We gaan hier uit van een maximaal toelaatbare belasting van 2 kW per woning. Dat wil zeggen dat er congestie optreedt op alle tijdstippen waarop de 'gewenste' netbelasting vanuit de wijk hierboven komt. Met deze uitgangspunten is er bij ongeveer 5% van de uren sprake van congestie. In deze uren zal de warmtepomp proberen zo min mogelijk elektriciteit te gebruiken (indien de totale wijkvraag hoog is) of juist proberen in te schakelen (indien de totale wijkproductie hoog is).

Het congestiesignaal dat op deze manier berekend is, is dus puur fictief. Desalniettemin is het signaal wel gebaseerd op een reële aannname over de opbouw van de elektriciteitsvraag in een woonwijk. In de praktijk zal natuurlijk wel verschillen hoe groot de vermogensvraag per woning is en – zeker zo belangrijk – hoe groot het maximaal te transporteren vermogen in het netwerk is. Deze twee factoren bepalen gezamenlijk wanneer congestie in de praktijk kan optreden. De auteurs van deze studie beschouwen de gekozen grenzen van 3 kW 'gewenst' versus 2 kW 'mogelijk' als een redelijke inschatting van de daadwerkelijke maximale netbelasting.



Figuur 3.5 Referentieprofiel voor congestie. Wanneer de referentiewaarde boven de 70% uitkomt, is er in het model sprake van congestie.

Gevoeligheidsanalyse

Het is in het algemeen niet te zeggen in welke wijken in Nederland congestie zal optreden, en welke belasting gevraagd en toelaatbaar is. De verhouding tussen deze twee waarden bepaalt echter hoe vaak congestie optreedt en is dus essentieel als input voor deze studie.

Bij de gekozen waarden is er enkele honderden uren per jaar sprake van congestie. De tweede grafiek in figuur 3.5 toont de belastingduirkromme van het ‘achtergrondprofiel’ van elektriciteitsvraag in de wijk. Door de inzet van warmtepompen en elektrische auto’s in de wijk ontstaat een flinke piek, die slechts een beperkt aantal uren per jaar optreedt. Doordat deze piek zo scherp is, maakt het niet veel uit hoe de congestieregels gekozen worden: als congestie bv. pas bij 2.5 kW optreedt, is er duidelijk minder congestie, maar nog altijd zeker 250 uren per jaar. Ook de inzet van de hybride in de oplossing van de congestie blijft daarmee in zo’n alternatief scenario vergelijkbaar.

Concluderend stellen we dat de exacte keuze voor de congestiegrens niet doorslaggevend is in deze studie.

3.5.4 Overzicht scenario's

Voor alle scenario's zijn nu prijzen, CO₂-waarden en een congestieprofiel beschikbaar. Daarnaast zijn de KNMI-gegevens voor 2013 gebruikt om waardes te geven voor buitentemperatuur en zoninstraling. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's.

Scenario	Prijzen			CO ₂ [kg/kWh]			
	Aardgas [€/m ³] Levering	EB	Elektriciteit [€/kWh] Levering	EB	BTW	Aardgas	Elektriciteit
0 WKK hoog duurzaam	€ 0.2900	€ 0.2517	€ 0.0600	€ 0.1063	21%	0.182	0.341
1 Visie 4+	€ 0.2900	€ 0.2517	€ 0.0268	€ 0.1063	21%	0.182	0.303
2 2013 SPOT	€ 0.2900	€ 0.2517	€ 0.0584	€ 0.1063	21%	0.182	0.432
3 2013 onbalans	€ 0.2900	€ 0.2517	€ 0.0687	€ 0.1063	21%	0.182	0.432

Tabel 3.4 Overzicht van de gebruikte scenario's.

3.2 Aansturingsstrategieën

Zoals eerder beschreven in hoofdstuk 2 zijn er verschillende aanstuurstrategieën doorgerekend:



1. Vast

Bij deze strategie worden prijs en CO₂-uitstoot als constant verondersteld. Er is dan een eenduidige en constante COP waarbij inzet van de warmtepomp gunstig is. Bij een slechtere COP, zal de ketel inschakelen.

De strategie bepaalt dus voor ieder uur de actuele COP (op basis van buitentemperatuur en stooklijn) en schakelt 'dom' tussen WP en ketel.



2. Autarkie

Deze strategie is in basis gelijk aan de vaste strategie, maar daarnaast wordt zo veel mogelijk voorkomen dat er PV-productie teruggeleverd wordt aan het net. Zodra de PV-productie groter is dan de huishoudelijke energievraag, zal de WP naar mogelijkheid aangeschakeld worden.



3. Prijs

Bij deze strategie wordt op ieder uur van het jaar bekeken welke techniek (WP of ketel) op dat moment de laagste totale kosten heeft, op basis van de prijsinput van het gekozen scenario. De goedkoopste techniek wordt op dat uur ingezet.



4. Congestie

Deze strategie is in basis gelijk aan de vaste strategie. Daarnaast wordt echter ingegrepen als er congestie ontstaat. Zodra het congestiesignaal boven de grenswaarde komt, wordt de warmtepomp afgeschakeld. Als het congestiesignaal juist bij de negatieve grenswaarde komt (er is dan heel veel productie van elektriciteit in de wijk), zal de warmtepomp naar mogelijkheid worden aangezet.

Het congestiesignaal is een *puur externe* input voor het model en geeft een indicatie van de drukte op het netwerk in de wijk. Er is dus geen relatie met het energieverbruik dat in de modelwoning zelf van toepassing is.

5. CO₂

Deze strategie bekijkt op ieder uur welke optie (WP of ketel) de laagste totale CO₂-uitstoot heeft, op basis van de CO₂-waarde voor elektriciteit van het gekozen scenario. De meest duurzame techniek worden op dat uur ingezet.





4. Resultaten

4.1 Overzicht uitkomsten en redeneerlijn

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de simulaties gepresenteerd die zijn gebaseerd op de uitgangspunten en systeemconfiguraties zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk. In dit hoofdstuk komen eerst de resultaten van alle scenario's en strategieën aan bod, om vervolgens door afgewogen keuzes te divergeren naar de meest opvallende uitkomsten. Hieronder een schematische weergave van de redeneerlijn die is gehanteerd tijdens de analyse:



Figuur 4.1 Schematische weergave afwegingstrechter

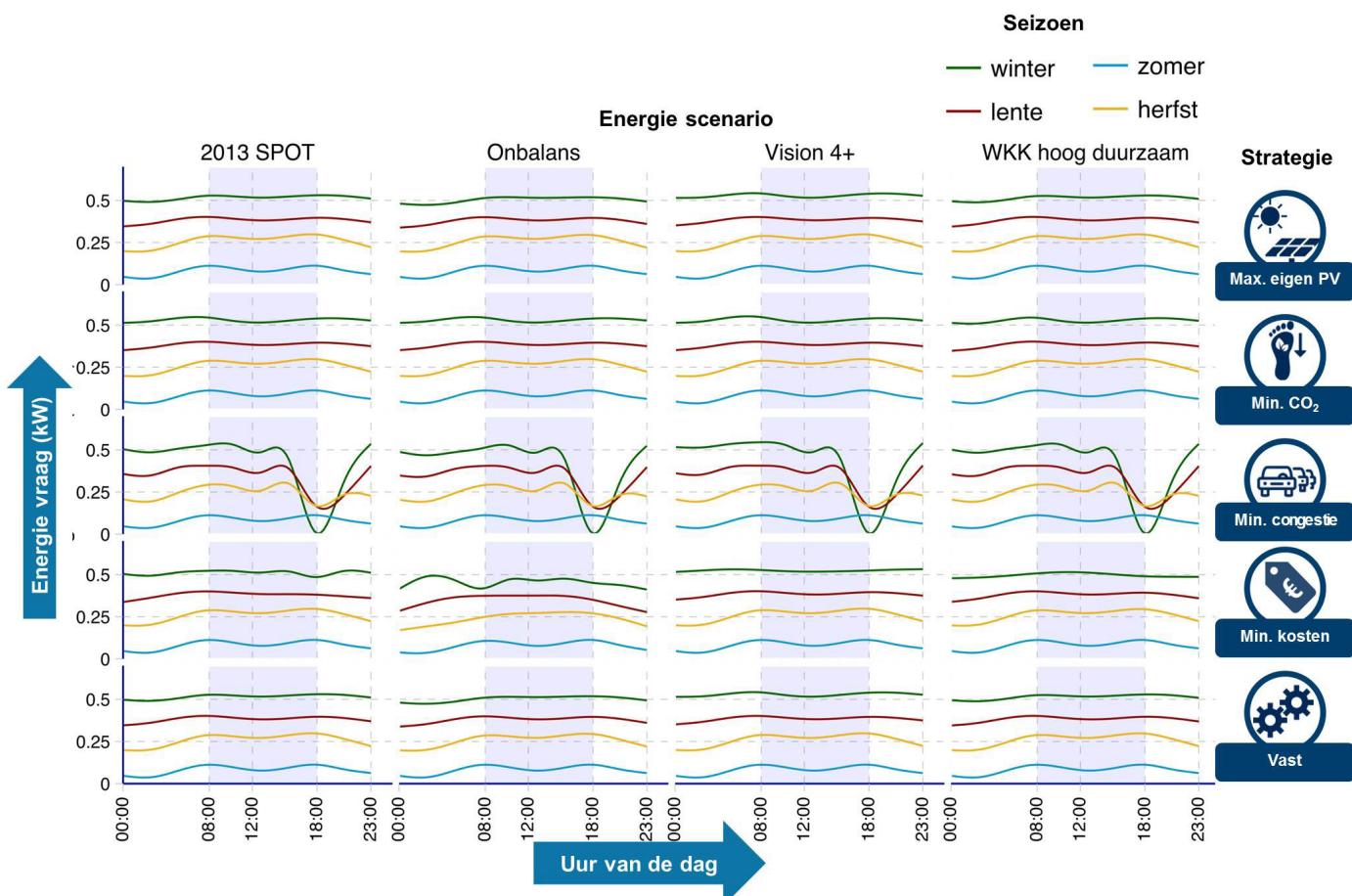
Allereerst hebben we gekeken naar de effecten in de sturing van de warmtepomp voor zowel verschillende aanstuurstrategieën alsmede voor verschillende energiescenario's. Vervolgens zijn de strategieën en scenario's waarbij geen verbijzonderingen optradën uit de analyse gehaald. De interessante aanstuurstrategieën die naar voren komen zijn "vast" en "congestie". Als scenario is 2013 SPOT geselecteerd omdat er nauwelijks verschillen tussen de scenario's waarneembaar zijn.

Hierop volgend is er gekeken naar de verschillende warmtepomp configuraties. Allereerst is er een vergelijk gemaakt tussen de buitenlucht warmtepomp en de ventilatielucht warmtepomp. Daarna is er gekeken naar de uitwerking van de traditionele stooklijn ten opzicht van een lage temperatuur stooklijn op de energievraag en is de werking van een buffer ten opzichte van geen buffer bekeken. Dit allemaal voor een woningtype 8 (de verschillende configuraties zijn terug te zien in tabel 3.3).

Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in een eindanalyse voor een gemiddelde woning (wamtevraag 30 GJ, tapwatervraag 7 GJ) met een buitenlucht warmtepomp, lage-temperatuurstooklijn (45°C bij -10°C buitentemperatuur) en een kleine buffer. Voor deze configuratie is verder ingezoomd op seisoensvariaties tussen dagprofielen van de warmtepomp en ketel, waarbij de vergelijking tussen de all electric warmtepomp en de hybride warmtepomp “vast” en “congestie” is gemaakt. Deze vergelijking is vervolgens ook verder uitgewerkt in de economische analyse. In de volgende paragrafen worden de resultaten verder toegelicht.

4.2 Aanstuurstrategieën en scenario's

Om te bepalen welke aanstuurstrategieën en scenario's relevant zijn voor nadere analyse zijn deze in een totaaloverzicht hieronder verwerkt.



Figuur 4.2 Aanstuurstrategieën per seizoen van de vier scenario's

Figuur 4.2. laat een matrix zien van dagprofielen over de vier scenario's, met van links naar rechts: 2013 SPOT, onbalans, Vision 4+ en WKK hoog duurzaam. Van boven naar beneden zijn verschillende aanstuurstrategieën voor de hybride warmtepomp te zien. Binnen de scenario's en aanstuurstrategieën is op de X-as een *gemiddelde dag* te zien met de tijd van de dag in uren. Op de Y-as is de kW vraag te zien⁷. De gekleurde lijnen geven de energievraag van de hybride warmtepomp weer in combinatie met een groot woningtype (woningtype 8, zie tabel 3.3) onderverdeeld voor de verschillende seizoenen⁸. Zoals in paragraaf 3.3.2. beschreven is er een keuze gemaakt voor woningtype 8. Deze woning is geselecteerd om het effect van flexibele inzet maximaal zichtbaar te maken.

De belangrijkste observaties van figuur 4.2:

- Er is weinig verschil zichtbaar tussen de verschillende energiescenario's ongeacht de aansturingsstrategieën, *behalve voor sturing op minimale congestie*.
- De seizoenvariaties zijn duidelijk zichtbaar (zie de gekleurde lijnen).
- In de winter is er een minimaal verschil zichtbaar voor de aansturingsstrategie minimale kosten bij sturing op de onbalans markt.

Uit de observaties kan worden geconcludeerd dat de verschillende energiescenario's met betrekking tot de aansturing vrijwel geen effect hebben op de dagprofielen van de hybride warmtepomp, deze zijn dus minder relevant voor een uitgebreidere analyse van flexibiliteit. Ook wat betreft kosten en CO₂ uitstoot zijn er bijna geen verschillen tussen de aanstuurstrategieën binnen de energiescenario's (bijlage 2, figuur 2). In de volgende paragraaf zal daarom enkel worden uitgegaan van de SPOT prijsreeks uit 2013. Daarnaast zal er verder worden ingegaan op sturing minimale congestie ten opzichte van vaste sturing.

⁷ Voor de vergelijking is de gasvraag van de ketel ook in kWh uitgedrukt

⁸ Op basis van de metrologische seizoenen in het jaar 2013

Wat zijn de mechanismen die de effecten van verschillende aansturingen verklaren?

De resultaten laten zien dat enkel het sturen op congestie een duidelijk effect heeft op de vraagprofielen van de warmtepomp. De verklaring is als volgt:

Prijssturing

Er is nauwelijks effect van prijssturing door twee separate oorzaken.

1. Het effect van prijsfluctuaties wordt sterk gedempt door de energiebelasting en BTW. Omdat belastingen ca. 2/3 van de prijs bepalen, leidt een verandering van 50% in de verkoopprijs slechts tot een effect van 20% in de totale consumentenprijs.
2. De gemiddelde prijsverhouding tussen E & G is zodanig dat een warmtepomp in bijna alle gevallen ruimschoots rendabel is. De totale elektriciteitsprijs moet dus fors stijgen voordat de WP wordt uitgeschakeld. In de simulaties treedt dit – ook bij gebruik van SPOT-prijzen en onbalansprijzen – nauwelijks op.

CO₂-sturing

Voor CO₂-sturing geldt een vergelijkbare redenering als voor prijssturing. Doordat een WP ruimschoots beter presteert dan een ketel, moet de CO₂-score van elektriciteit veel lager zijn dan gemiddeld voordat de WP moet worden uitgeschakeld. Dit blijkt in de inputreeksen nauwelijks voor te komen.

Congestiemanager

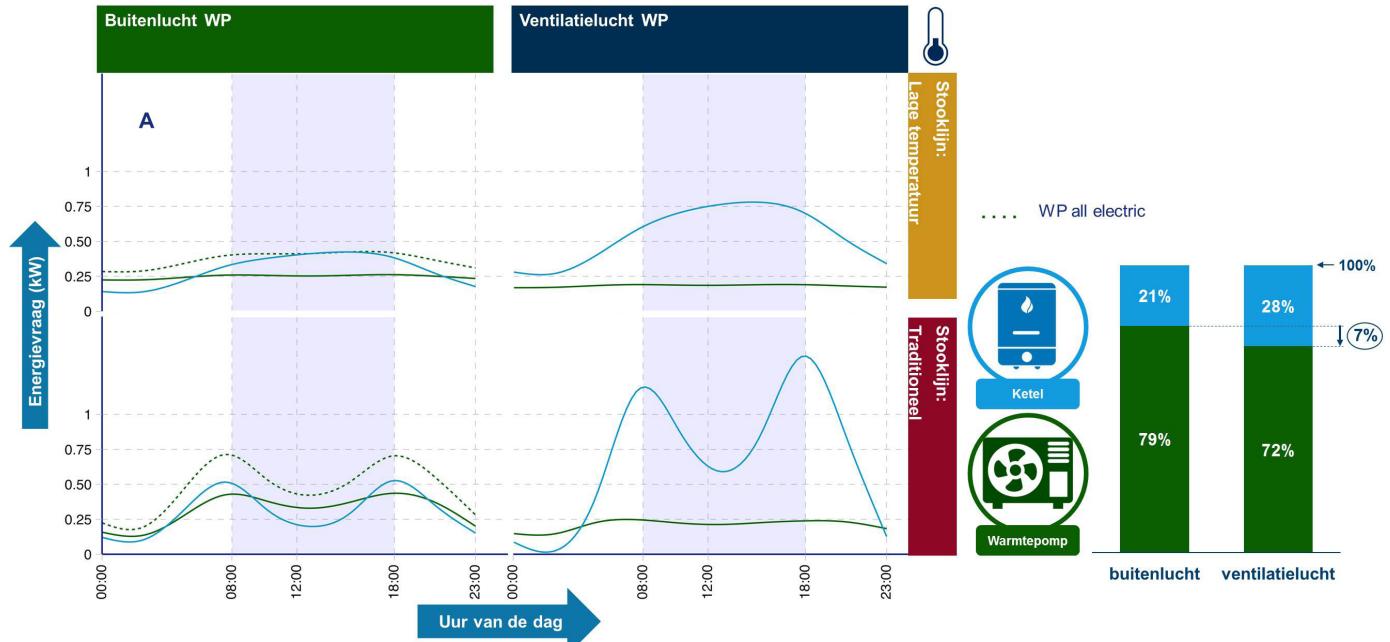
Het sterke effect van congestiemanager is eenvoudig te begrijpen.

Zodra er een congestiesignaal is, wordt de WP zonder pardon uitgeschakeld. Door de keuze van het '70% criterium' in de uitgangspunten treedt deze situatie per definitie regelmatig op en is er dus regelmatig (in de winter bijna dagelijks) een dip in de elektriciteitsvraag in het begin van de avond.

4.3 Warmtepompbron en stooklijn

Belangrijke aspecten van de (hybride) warmtepomp zijn de aanvoer- en afgifte-temperaturen. De aanvoertemperatuur wordt bepaald door de bron (ventilatie of buitenlucht). De afgiftetemperatuur (stooklijn) wordt bepaald door het afgiftesteem waar de woning mee wordt verwarmd. Dit kan door middel van een lage of hoge temperatuur (LT of HT).

Onderstaande figuur laat de energievraag over de gemiddelde dag (van het jaar) voor verschillende configuraties zien. Op de X-as is per seizoen een gemiddelde dag te zien met de tijd van de dag in uren, op de Y-as is de energievraag (kW) te zien, hierbij is de gasvraag van de ketel voor de vergelijking ook in kW uitgedrukt. De blauwe lijn geeft de energievraag van de ketel weer, de groene lijn die van de warmtepomp en de gestippelde lijn die van een all-electric geschaalde warmtepomp.



Figuur 4.3 Energievraag over een gemiddelde dag voor verschillende configuratie met daarnaast de warmte output verhouding tussen de ketel en de warmtepomp.

De belangrijkste observaties van figuur 4.3:

- Er is een duidelijk waarneembaar verschil tussen de HT-stooklijn en LT-stooklijn.
- Bij de HT-stooklijn zijn de kamelenbulten duidelijk te herkennen als gevolg van pieken in de energievraag
- De LT-stooklijn zorgt voor een gelijkmatiger profiel voor vrijwel alle opties inclusief de all-electric warmtepomp.

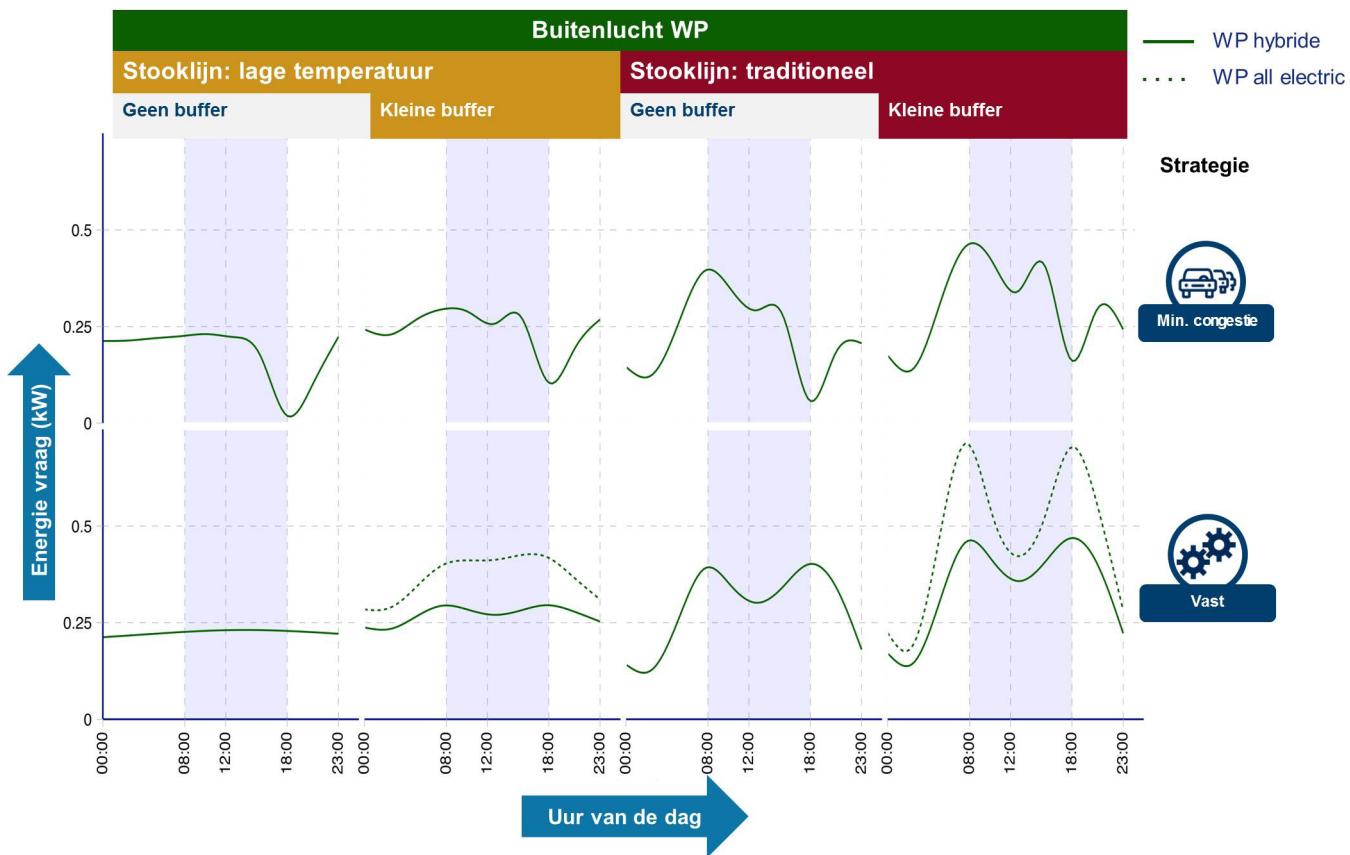
Geconcludeerd kan worden dat zowel voor de ventilatie- als voor de buitenlucht configuratie de belasting veel gelijkmatiger is bij een LT-afgiftesysteem. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat in deze studie bij een LT-systeem de afgiftetemperatuur bij -10 °C nog steeds 45 °C is.

Om de potentiële opbrengst van flexibele inzet zo zichtbaar mogelijk te maken, zullen we in het vervolg van dit hoofdstuk enkel nog naar de buitenluchthybride kijken. Een ventilatiesysteem is beperkt qua vermogen en zal uiteindelijk minder winst opleveren bij flexibele inzet. De inzet van een buffer kan de potentiele opbrengt van flexibele inzet wellicht nog zichtbaarder maken.

4.4 Buitenluchthybride warmtepomp en buffer

De volgende matrix aan lijngrafieken (figuur 4.4) laat de gemiddelde dagprofielen zien voor verschillende configuraties van de warmtepomp (LT/HT stooklijn en wel of geen kleine buffer) en van de twee meest interessante aansturingstrategieën: minimale congestie en vast. Voor een woning van gemiddelde bouw is de omvang van de buffer vastgesteld op 8 kWh en daarmee 150 liter. Een grotere buffer voor dit type woning zal naar alle waarschijnlijkheid in de realiteit niet vaak voorkomen. Bij een nog kleinere buffer zal het effect ervan nihil zijn, daarom is er in de simulatie voor de 150 liter variant gekozen.

Er is geen vloerverwarming noodzakelijk om dergelijke afgiftetemperaturen te realiseren. Wel zullen normale radiatoren vervangen moeten worden door convectoren. Deze kunnen (met beperkte overlast) geplaatst worden op dezelfde plek als de oude radiatoren, bieden meer comfort en verdienen zichzelf in combinatie met een warmtepomp bovendien relatief snel terug. We gaan er daarom vanuit dat de meest logische systeemkeuze bestaat uit LT-afgifte, bij een goede isolatiestand.



Figuur 4.4 Gemiddelde dagprofielen elektriciteitsverbruik van een buitenlucht- en hybride warmtepomp in verschillende configuraties. Een all-electric warmtepomp kan alleen in combinatie met een buffer voor tapwater en met een vaste aansturing worden toegepast. De kleine tapwaterbuffer laat sturen op congestie niet toe.

Op de X-as is per seizoen een gemiddelde dag te zien met de tijd van de dag in uren, op de Y-as is de energievraag in kW te zien. De groene lijn geeft de energievraag van de hybride warmtepomp weer en de gestippelde lijn die van een all-electric warmtepomp. De all-electric warmtepomp is zodanig gedimensioneerd dat er nooit elektrische bijstook nodig is.

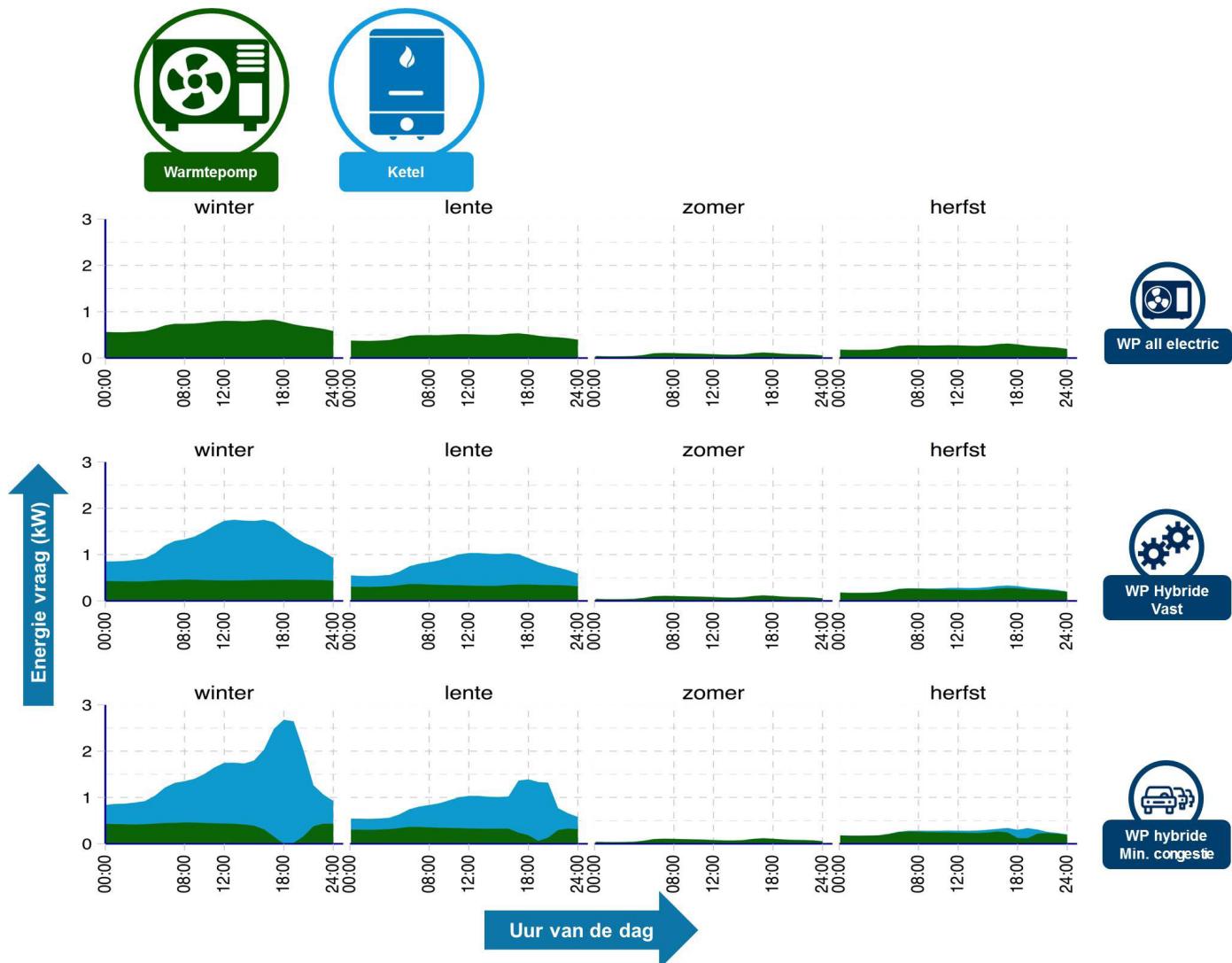
De belangrijkste observaties van figuur 4.4:

- Het gebruik van een buffer geeft meer mogelijkheid tot flexibiliteit en laat een gereduceerde totale energievraag zien voor de hybride warmtepomp, door een verschuiving van ketel naar warmtepomp (figuur 3 in bijlage 2 geeft meer inzicht in de energievraag omdat de ketel daarin visueel is meegenomen).
- Aansturingsstrategie minimale congestie blijft duidelijk zichtbaar .

Zoals in de vorige paragraaf al duidelijk werd heeft een LT-aftitesysteem een lager en gelijkmatiger profiel dan de een HT-aftitesysteem en zal de geprefereerde optie zijn voor een huishouden. Het gebruik van een kleine buffer zorgt voor een hogere benutting van de warmtepomp en biedt een energetisch voordeel alsmede meer flexibiliteit en zal daarom verder ook worden meegenomen.

4.5 Vergelijking geselecteerde configuraties

In de volgende figuur is de dagelijkse energievraag van de warmtepomp weergegeven over de seizoenen heen.



Figuur 4.5 Energievraag warmtepompconfiguraties over de dag door de seizoenen heen

Op de X-as is per sezon een gemiddelde dag te zien met de tijd van de dag in uren, op de Y-as is de energievraag in kW te zien. In groen is de energievraag van de warmtepomp weergegeven (elektriciteitsvraag) en in blauw die van de ketel (gasvraag). Voor een middelgrote woning met een buitenluchtwarmtepomp, lage temperatuur stooklijn en een kleine buffer.

De belangrijkste observaties van figuur 4.5:

- WP All-electric heeft een hogere vaste elektriciteitsvraag.
- WP hybride (Min. Congestie) vlakt de 6 uurs piek af, deze wordt ingevuld door de ketel.
- In de winter en de lente schakelt de hybride warmtepomp het meest.

Hieruit kan worden opgemaakt dat sturing op minimale congestie met een hybride warmtepomp de elektriciteitsvraag goed af kan scheren. Bovendien is de basislast van de all-electric warmtepomp een stuk hoger dan die van de hybride warmtepomp.

De netwerkbelasting voor een hybride systeem wordt beperkt in twee stappen. Allereerst schakelt de hybride bij grote warmtevraag over op bijstook, zodat de elektrische netbelasting alleen daardoor al beperkt blijft. Vervolgens kan door actieve sturing de belasting van de warmtepomp zelfs naar nul worden gebracht, zodat op het netwerk ruimte ontstaat voor andere piekgebruikers, zoals elektrisch vervoer of warmtepompen van andere buurtbewoners.

Deze fenomenen zijn het best waarneembaar in de winter en in bovenstaand figuur ook in de lente, dit geldt voor het jaar 2013 waarop deze simulatie is gebaseerd; een ander jaar kan andere seizoensvariaties met zich meebrengen.

De algehele conclusie uit deze analyse is dat de enige aanstuurstrategie die een significant effect laat zien, sturing op congestie is, ongeacht het energiescenario. We verwachten dat de effecten die hier zijn gevonden niet alleen nu gelden maar mogelijk ook voor 2030. Daarom zal in de economische analyse verder worden gekeken naar de kosten die verbonden zijn met de drie verschillende alternatieven namelijk:

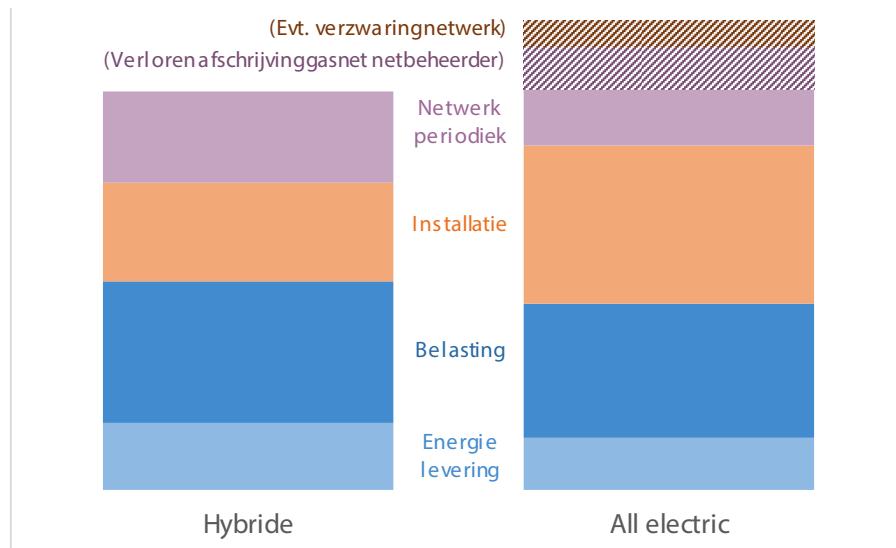
- All-electric warmtepomp
- Hybride warmtepomp met vaste sturing
- Hybride warmtepomp met sturing op minimale congestie

Daarnaast zal dieper worden ingegaan op het effect van sturing op congestie door het vermijden van de (gemiddelde) piekvraag van een huishouden in een typische woonwijk.

5. Economische waarde

In dit hoofdstuk worden verschillende resultaten naar aanleiding van de analyse gebruikt als input voor de business case van de hybride warmtepomp ten opzichte van de all-electric warmtepomp. Daarna zal er een grove exercitie worden gemaakt van eventuele maatschappelijke waarde die de hybride warmtepomp kan leveren.

5.1 Business case hybride warmtepomp



Figuur 5.1 Indicatieve weergave van de Total Cost of Ownership voor een hybride system versus een all-electric buitenlucht warmtepomp.

In figuur 5.1 zijn alle kosten/afschrijving op jaarbasis gemiddeld voor een enkele woning weergegeven. Deze inschatting – voor een typische Nederlandse woning – is gemaakt aan de hand van verschillende berekeningen en rapportages, maar is bewust ‘getalloos’ gelaten. Per individuele situatie kunnen de verschillen in de posten groot zijn en een volledige vergelijking van hybride en all-electric zou een eigen studie vergen.

Algemene tendensen zijn: 1) All-electric en hybride zijn voor de gebruiker nagenoeg even duur. Tegenover hogere installatiekosten, staat een besparing op periodieke netwerkkosten.

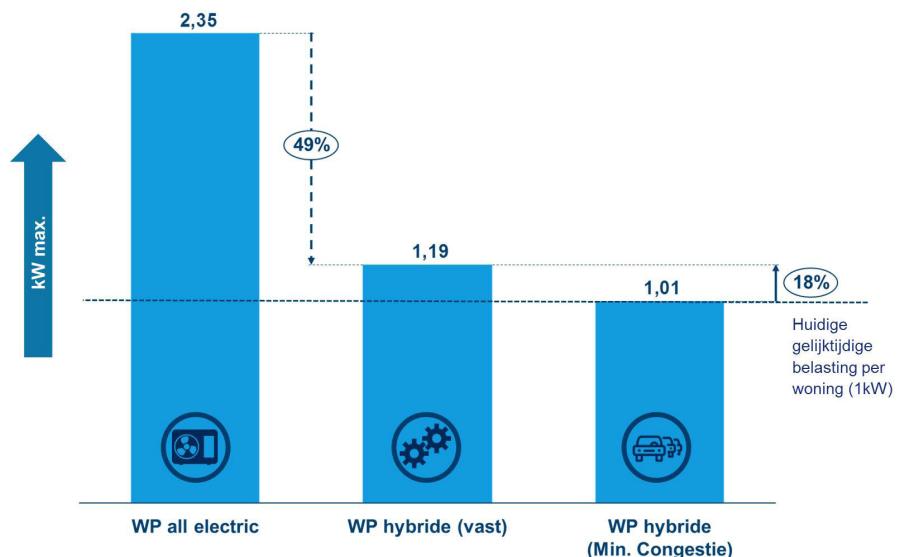
2) All-electric kan onder omstandigheden een netverzwareing noodzakelijk maken. Daarnaast betaalt een gebruiker geen netbijdrage voor aardgas, maar loopt de eventuele afschrijving voor de netbeheerder voor het leidingnet wel gewoon door. Verder moet er ook worden betaald voor een verwijderingsbijdrage van het gasnet. Deze kostenposten worden in de huidige tariefstructuur via de netbeheerder gesocialiseerd. Uiteindelijk maakt dit een all-electric systeem op jaarbasis voor de maatschappij iets duurder.

5.2 Systeemwaarde

Figuur 5.2 laat het berekende effect zien van het type warmtepomp (all-electric of hybride) en de aansturingsstrategie op de gelijktijdige maximale belasting op transformatorniveau in een woonwijk. Van links naar rechts: all-electric warmtepomp, hybride warmtepomp met vaste aansturing, hybride warmtepomp met congesiemanagement.

De getallen geven een duidelijke trend aan: door het toepassen van een hybride systeem, wordt automatisch een flinke *peak shaving* gerealiseerd. Het is voor een hybride systeem onmogelijk om een grote piekbelasting te veroorzaken: het vermogen is immers begrensd en een elektrische bijstook is niet aanwezig.

Bovenop dit grote effect, kan de hybride nog flexibel worden aangestuurd voor congesiemanagement. In dat geval kan het maximale vermogen nog iets lager worden, maar, en dat is van groter belang, er kan dan ook rekening worden gehouden met de mogelijke overbelasting veroorzaakt door andere systemen, zoals elektrisch vervoer of warmtepompen elders in de woonwijk. Zo is het mogelijk een bijdrage te leveren aan het opvangen van mogelijke toekomstige belastingspieken in woonwijken.



Figuur 5.2 Het effect van het type warmtepomp en de aansturingsstrategie op de gelijktijdige maximale belasting van een woning op wijkniveau (transformatorniveau).

Transformatorstations van bestaande laagspanningsnetten zijn gewoonlijk uitgelegd op een maximale gelijktijdige belasting van circa 1 - 1,2 kW per woning^{9, 10, 11, 12}. Deze belasting gaat uit van een continue vraag. Bij kortstondige vraag- of productiepieken kan ook wel tot 2 kW vermogen geleverd worden. Deze huidige, maximale belasting wordt door middel van de stippellijn weergegeven in figuur 5.2.

De huidige maximale *gelijktijdige* belasting door meerdere woningen (1 kilowatt per woning) is relatief laag ten opzichte van de huidige piekbelasting van *individuele* woningen (tot 6 - 8 kilowatt per woning). Dit komt doordat het elektriciteitsgebruik een stochastische verdeling heeft; de gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag van de verschillende woningen is relatief laag.

Wanneer de woningen warmtepompen voor verwarming inzetten, verandert dit verhaal echter. De elektriciteitsvraag van warmtepompen kent namelijk een grote gelijktijdigheid: tijdens koude dagen zullen alle woningen tegelijk de warmtepomp inschakelen. Hierdoor is het effect van de inzet van warmtepompen op de maximale gelijktijdige belasting van het laagspanningsnet groot; dit kan oplopen tot 100% gelijktijdigheid. Het vermogen dat benodigd is voor de warmtepompen inclusief bijstook heeft dus een direct effect op het benodigde vermogen in het laagspanningsnet.

Wat in figuur 5.2 het meest in het oog springt, is de belasting die een all-electric warmtepompsysteem veroorzaakt. Door gebruik van elektrische bijstook met een hoge gelijktijdigheid is de belasting van het laagspanningsnet volgens de berekeningen in deze studie een factor 2,35 van waar het net op dit moment op is uitgelegd. Het elektriciteitsnet zal in veel gevallen verzwaard moeten worden om een dergelijke hoge belasting aan te kunnen.

In een recent rapport van Ecofys¹³ worden de kosten die met een dergelijke netverzwaring gemoeid zijn, toegelicht. Voor het laagspanningsnet variëren deze van 1.600 – 3.400 euro per kilowatt additioneel vermogen. De studie toont aan dat het grootschalig toepassen van elektrische warmtepompen zonder afdoende isolatie de infrastructuurkosten in Nederland tot een factor 10 kan laten stijgen. De studie geeft aan dat zelfs met een hoog isolatienniveau de netwerkkosten voor elektriciteit tot een factor drie zullen stijgen ten opzichte van de huidige situatie.

Het is belangrijk om expliciet te maken welke aannames schuil gaan onder de resultaten van figuur 5.2.

1. Allereerst gaan we in deze studie uit van een optimale plaatsing van warmtepompen. Zowel voor all-electric als voor de hybride situatie is er eerst een isolatieslag gemaakt en wordt gebruik gemaakt van een LT-afgiftesysteem. Zonder deze aanpassingen aan de woning, zou het elektriciteitsverbruik van een all-electric oplossing veel hoger uitkomen. Bij de gekozen isolatie en LT-verwarming kan ook bij lage buitentemperaturen nog met een beperkt vermogen en redelijke COP (ca. 2.0) verwarmd worden.

De auteurs achten het niet realistisch om uit te gaan van de massale toepassing van all-electric oplossingen in niet-geïsoleerde woningen en zonder dat minimaal convectoren geplaatst worden.

2. De berekeningen zijn gedaan voor een gemiddelde woning met een warmtevraag van 30 GJ per jaar. Als zodanig zijn ze typisch voor een Nederlandse woning, maar zeker niet representatief voor de gehele woningvoorraad. Andere situaties zullen tot sterk verschillende antwoorden leiden.

3. De resultaten gelden voor een gemiddeld huis in een woonwijk. Een eventueel belastingsprobleem op het netwerk treedt pas op indien een significant deel van de wijkbewoners overschakelt op warmtepompen/elektrisch vervoer/zon PV.

⁹ Presentatie Phase to phase, "Duwen en trekken aan het distributienet", 15 december 2010.

¹⁰ Eneco netbeheer Zuid-Kennemerland, "Capaciteitsplan elektriciteit 2002 – 2009", 28 november 2002.

¹¹ Laborelec, "Analyse van verschillende studies naar de impact van DCO en nieuwe belastingen op het MS- en LS- net", 29 oktober 2012.

¹² KEMA Nederland B.V., "Impact van warmtepompen op het elektriciteitsnetwerk", 7 juni 2010.

¹³ Ecofys, "De systeekosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

Figuur 5.2 laat zien dat met de inzet van hybride warmtepompen de extra belasting van het elektriciteitsnet zeer sterk kan worden gereduceerd ten opzichte van de inzet van all-electric warmtepompen, met dito reductie van de benodigde investeringen in het elektriciteitsnet. Op basis van de gekozen uitgangspunten ligt de maximale gelijktijdige belasting met 1,2 kW circa 20% hoger dan in een conventionele situatie met HR-ketel. Een dergelijke beperkte verhoging past gewoonlijk binnen de reserves van het huidige netwerk^{14,15}.

Een interessant aspect hierbij is dat – afhankelijk van de elektriciteitsmix die wordt gebruikt – de CO₂-uitstoot van het hybride warmtepompsysteem in de praktijk zelfs lage kan uitvallen dan bij het gebruik van een all-electric systeem. De CO₂-uitstoot voor het leveren van 10 kWh warmte via elektrische bijstook met een rendement van 100% tijdens koude dagen in de winter ligt immers rond de 5 kg, terwijl de CO₂-uitstoot voor het leveren van dezelfde 10 kWh warmte via een HR-ketel met 95% rendement rond de 2 kg ligt. Zelfs indien warm tapwater wordt geleverd tegen 60% rendement ligt de CO₂-uitstoot van de HR-ketel dan nog op 3 kg. Een keuze voor een all-electric warmtepomp staat dus niet per definitie garant voor de laagste CO₂ uitstoot; een hybride warmtepomp kan tijdens momenten van piekvraag beter presteren op dit vlak.

Hierbij moet wel expliciet worden aangetekend dat de onzekerheden in de simulaties groot zijn: de uitgangspunten bepalen voor een groot deel de resultaten. Het effect dat we zien in deze studie is voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de keuze voor een bepaalde referentiewoning.

De inzet van slim aangestuurde hybride warmtepompen kan daarmee als interessante optie worden gezien voor het reduceren van de CO₂-uitstoot van woningen tegen minimale maatschappelijke kosten: het hybride concept maakt een kostenefficiënte verduurzaming van de warmtevraag van de woningen mogelijk (Ecofys¹, 2015), en de slimme aansturing van het systeem zorgt ervoor dat het concept breed toegepast kan worden in Nederland.

Wanneer aanvullend intelligente aansturing gericht op het minimaliseren van netwerkcongestie wordt toegepast, blijkt uit de analyses van deze studie dat de maximale gelijktijdige belasting zelfs gelijk kan blijven aan de huidige situatie (geen verhoging). Dit resultaat duidt er op dat hybride warmtepompen in bestaande elektriciteitsnetten zijn in te passen – mits deze hybride warmtepompen effectief worden aangestuurd op minimale congestie. Dit resultaat wordt veroorzaakt door het feit dat een hybride warmtepomp altijd op het gebruik van gas over kan stappen indien dit uit congestieoverwegingen in het elektriciteitsnet noodzakelijk is.

Uit figuur 3 in de bijlage van deze studie is bovendien gebleken dat het sturen op congestie slechts zeer minimale gevolgen heeft voor de extra CO₂-uitstoot van het systeem op jaarrbasis. Dit komt omdat de piekvraag slechts een klein aandeel vormt van de totale warmtevraag. Vanuit het oogpunt van de inpasbaarheid in bestaande situaties is dit een zeer interessant resultaat: een hybride warmtepomp gecombineerd met intelligente aansturing gericht op minimalisatie van de congestie in het elektriciteitsnetwerk in goed geïsoleerde woningen is dus algemeen toepasbaar zonder een extra gelijktijdige belasting voor het elektriciteitsnetwerk te vormen. Hiermee blijven de voordelen van het gebruik van een warmtepomp op het gebied van CO₂ uitstootreductie van toepassing, maar kunnen de nadelen van de benodigde extra investeringen in het elektriciteitsnet van een factor 3 tot 10 worden vermeden⁵. Deze investeringen kunnen vervolgens in andere duurzame maatregelen worden gestoken, waarmee de CO₂ uitstootreductie per geïnvesteerde euro voor de Nederlandse maatschappij gemaximaliseerd kan worden.

¹ Ecofys, "De systeemkosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

¹⁴ Laborelec, rapport "Analyse van verschillende studies naar de impact van DCO en nieuwe belastingen op het MS- en LS- net", 29 oktober 2012.

¹⁵ Phase to phase, presentatie "Duwen en trekken aan het distributionenet", 15 december 2010.

6. Conclusies

In deze studie is onderzocht welke maatschappelijke waarde voor het energiesysteem van Nederland kan worden ontsloten door het intelligent inzetten van de flexibiliteit van hybride warmtepompen in woningen.

Hierbij is onderscheid gemaakt ten opzichte van de voordelen die een hybride warmtepomp al zonder meer heeft. In vergelijking met een gewone CV-ketel kan de hybride warmtepomp tot mogelijk 100% CO₂-reductie in de gebouwde omgeving bereiken en in vergelijking met een volledig elektrische warmtepomp heeft de hybride warmtepomp diverse voordelen leidend tot aanzienlijk lagere kosten, vooral in de bestaande woningvoorraad, alsmede een lagere belasting van het elektriciteitsnet.

Voor het realiseren van deze voordelen is intelligente aansturing geen voorwaarde. Maar intelligente sturing kan wel extra voordelen brengen. De focus van deze studie ligt op het mobiliseren van deze aanvullende “verborgen talenten” van een hybride warmtepomp. Er is onderzocht wat de toegevoegde waarde is van slimme aansturing van hybride warmtepompen. In de studie hebben de auteurs stapsgewijs onderzocht welke aansturingsopties de beste resultaten bieden, volgens de volgende proposities:

1. Traditionele aansturing op basis van vast schakelpunt voor COP.
2. Maximalisatie van de energetische autarkie van een woning.
3. Minimalisatie van de energiekosten voor verwarming.
4. Minimalisatie van congestie in het elektriciteitsnetwerk.
5. Minimalisatie van de CO₂-uitstoot afhankelijk van de actuele brandstofmix.

De belangrijkste conclusie van deze studie is dat op basis van de gehanteerde uitgangspunten en toekomstscenario's er met de vierde propositie, waarbij de flexibiliteit van een hybride warmtepomp wordt ingezet voor het verminderen van congestie in het elektriciteitsnetwerk, significante waarde kan worden gecreëerd voor de maatschappij.

In figuur 5.2 is het effect van intelligent aangestuurde hybride warmtepompen op de gelijktijdige elektrische piekvraag van woningen vergeleken met een niet-intelligent aangestuurde hybride warmtepomp en met een situatie waarin een volledig elektrische warmtepomp wordt toegepast.

In deze studie is voor de situatie met een all-electric warmtepomp de meest optimale configuratie gekozen vanuit het oogpunt van netbelasting, met een zeer ruim gedimensioneerde warmtepomp en zeer beperkte elektrische bijstook. Zelfs met deze – vanuit het oogpunt van het netwerk – zeer optimale configuratie leidt de all-electric variant nog altijd tot een gelijktijdige belasting van minimaal 235% van de huidige ontwerpcapaciteit van het laagspanningsnet. Om deze extra belasting in te kunnen passen in het energiesysteem zal verzwaring van het elektriciteitsnet noodzakelijk zijn. In een recent rapport van Ecofys¹⁶ zijn de kosten die met een dergelijke netverzwaring gemoeid zijn, geraamd op 1.600 – 3.400 euro per kilowatt additioneel benodigd vermogen.

Uit de analyses blijkt dat de keuze voor een hybride warmtepomp in plaats van een all-electric warmtepomp de maximale gelijktijdige belasting van het elektriciteitsnet sterk verlaagt (zie figuur 2). Op basis van de gekozen uitgangspunten ligt de maximale gelijktijdige belasting met 1,2 kW circa 20% hoger dan in de huidige situatie. Een dergelijke beperkte verhoging past gewoonlijk binnen de reserves van het huidige netwerk^{17, 18}.

Wanneer intelligente aansturing gericht op het minimaliseren van netwerkcongestie wordt toegepast, blijkt uit de analyses van deze studie dat de maximale gelijktijdige belasting zelfs gelijk kan blijven aan de huidige situatie (geen verhoging). Dit resultaat duidt er op dat hybride warmtepompen in bestaande elektriciteitsnetten zijn in te passen – mits deze hybride warmtepompen effectief worden aangestuurd op minimale congestie. Dit resultaat wordt veroorzaakt door het feit dat een hybride warmtepomp altijd op het gebruik van gas over kan stappen indien dit uit congestieoverwegingen in het elektriciteitsnet noodzakelijk is.

De inzet van slim aangestuurde hybride warmtepompen kan daarmee als interessante optie worden gezien voor het reduceren van de CO₂-uitstoot van woningen tegen minimale maatschappelijke kosten: het hybride concept maakt een kostenefficiënte verduurzaming van de warmtevraag van de woningen mogelijk (Ecofys1, 2015), en de slimme aansturing van het systeem zorgt ervoor dat het concept breed toegepast kan worden in Nederland.

1 Ecofys, "De systeemkosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

Het benutten van de brandstofflexibiliteit van hybride warmtepompen in combinatie met intelligente aansturing gericht op minimale congestie van het netwerk blijkt dus een effectieve methode om congestie in het elektriciteitsnet te minimaliseren. Wanneer op deze wijze gestuurd wordt, brengt dit slechts zeer beperkte extra kosten en CO₂ (zie bijlage 2, figuur 2) uitstoot teweeg ten opzichte van de waarde die kan worden gecreëerd.

16 Ecofys, rapport "De systeemkosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

17 Laborelec, rapport "Analyse van verschillende studies naar de impact van DCO en nieuwe belastingen op het MS- en LS- net", 29 oktober 2012.

18 Phase to phase, presentatie "Duwen en trekken aan het distributienet", 15 december 2010.

De overige drie proposities die geanalyseerd zijn, hebben slechts zeer geringe invloed op de monetaire waarde die wordt gecreëerd uit het inzetten van flexibiliteit. Hier voor is een aantal oorzaken aan te wijzen:

- In de gehanteerde toekomstscenario's valt het moment van warmtevraag in de woningen regelmatig samen met momenten van lage prijzen op de spotmarkt voor elektriciteit gecombineerd met een lage momentane CO₂ uitstoot voor elektriciteit. In die gevallen is het voor de eerste drie proposities aantrekkelijk om zo veel mogelijk op de warmtepomp te draaien; er valt dan weinig voordeel te behalen uit flexibiliteit ten opzichte van een all-electric systeem.
- De huidige opbouw van energiebelasting en netwerk kosten heeft een dempend effect op de waarde die uit de flexibiliteit van hybride warmtepompsystemen in woningen kan worden behaald. Variaties in spotprijzen hebben relatief weinig effect op de totale energiekosten.
- Het maximaliseren van de autarkie van een woning en/of het minimaliseren van de CO₂ uitstoot kan een emotionele waarde hebben voor de gebruiker van deze propositie. Deze emotionele waarde is niet in geld uitgedrukt in deze studie, maar kan voor bepaalde groepen wel degelijk van waarde zijn.

Op basis van het bovenstaande geldt omgekeerd echter ook dat sturen op autarkie en/of minimale CO₂ uitstoot van een woning slechts minimale meerkosten tot gevolg heeft. Dergelijke proposities kunnen daarmee tegen geringe meerkosten worden aangeboden aan doelgroepen die deze behoefte hebben.

Om de resultaten van deze studie in perspectief te plaatsen, is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerdere studies rond de netbelasting door (hybride) warmtepompen. In vergelijking met andere studies blijkt de gelijktijdige belasting van een all-electric systeem in deze studie zeer conservatief ingeschat. Indien een all-electric systeem in de praktijk minder optimaal wordt aangelegd dan in deze studie is aangenomen, zullen de voordelen van de keuze voor een hybride systeem nog positiever uitpakken dan in deze studie is berekend.



7. Discussie

Om de resultaten van deze studie in perspectief te plaatsen, is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerdere studies rond de netbelasting door (hybride) warmtepompen. Het resultaat is samengevat in tabel 7.1 en figuur 7.1. In vergelijking met de andere studies blijkt de gelijktijdige belasting van een all-electric systeem in deze studie zeer conservatief ingeschat (tot een factor 5 lager).

Indien een all-electric systeem in de praktijk minder optimaal wordt aangelegd dan in deze studie is aangenomen, zullen de voordelen van de keuze voor een hybride systeem nog positiever uitpakken dan berekend.

GELIJKTIJDIGE PIEKBELASTING (KWE)	HR KETEL/ HUIDIG	HYBRIDE WARMTE- POMP	HYBRIDE WP INTELLIGENT	ALL-ELEC- TRIC WP
Studie flexpotentieel	1	1,2	1	2,4
Ecofys 2015 midden isolatie ¹	1	1,8	-	13,6
Ecofys 2015 hoge isolatie ¹⁶	1	1,5	-	3,3
Laborelec 2012 renovatie ²	0,6 – 1,9	-	-	9,3
Laborelec 2012 nieuwbouw ¹⁷	0,6 – 1,9	-	-	4 – 5
KEMA 2010 ³	1	-	-	6 – 11
Phase to phase ⁴	1,2	-	-	5,2 – 9,4
DNV GL 2015 VolCap studie midden ⁵	1	1,2	-	3,8
DNV GL 2015 VolCap studie hoog ⁶	1	1,2	-	5

Tabel 7.1 Vergelijking van de gelijktijdige maximale belasting van het elektriciteitsnet per woning voor verschillende verwarmingsconcepten met andere studies.

¹ Ecofys, rapport "De systeekosten van warmte voor woningen", 11 november 2015.

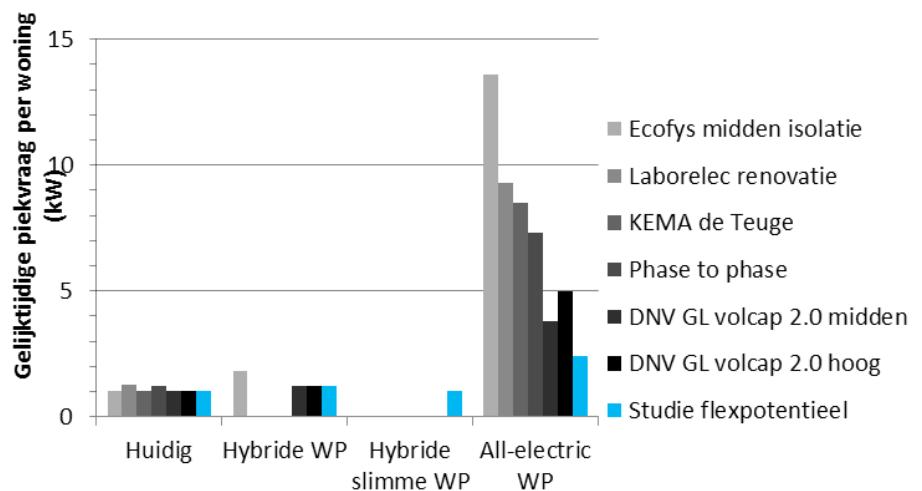
² Laborelec, rapport "Analyse van verschillende studies naar de impact van DCO en nieuwe belastingen op het MS- en LS- net", 29 oktober 2012.

³ KEMA (DNV GL), rapport "Impact van warmtepompen op het elektriciteitsnetwerk", 7 juni 2010.

⁴ Phase to phase, presentatie "Duwen en trekken aan het distributienet", 15 december 2010.

⁵ DNV GL, presentatie "Capacity and volume development of natural gas and electricity in the NL residential market v2.0", 18 februari 2015.

⁶ DNV GL, presentatie "Capacity and volume development of natural gas and electricity in the NL residential market v2.0", 18 februari 2015.



Figuur 7.1 Vergelijking van de gelijktijdige maximale belasting van het elektriciteitsnet per woning voor verschillende verwarmingsconcepten met andere studies.

8. Aanbevelingen

Uit de resultaten van deze studie blijkt dat het inzetten van intelligente hybride warmtepompen die gestuurd worden op minimale congestie van het elektriciteitsnetwerk een interessante optie is met significante meerwaarde, waardoor verzwa ring van het elektriciteitsnetwerk niet nodig is bij toepassing van warmtepompen in de bestaande woningvoorraad.

Daarnaast kan deze slimme sturing desgewenst ook gebruikt worden voor het bereiken voor andere doelen bijvoorbeeld bewonersvoorkeuren zoals de inzet van elektriciteit tegen laagste prijs of laagste CO₂-emissies.

Om de mogelijkheden hiertoe optimaal te kunnen benutten, worden de volgende aanbevelingen gegeven voor vervolgonderzoek:

- Uit deze studie blijkt dat het inzetten van de flexibiliteit van huishoudens met hybride warmtepompen een significant effect kan hebben op de belasting van het elektriciteitsnetwerk. Het verdient daarom aanbeveling om te nader onderzoeken hoe dergelijke huishoudens in geaggregeerde vorm kunnen worden ingezet als flexibele belasting voor het vermijden van congestie in lokale netten en het helpen bij de balans in het elektriciteitsnet of voor andere systeemdiensten.
- Intelligente aansturing van (hybride) warmtepompen is nog geen gemeengoed. Met het oog op de toekomst, waarin die aansturing steeds belangrijker wordt, geven wij als advies om elke (hybride) warmtepomp nu al te voorzien van een slimme sturingsinterface. Zo wordt voorkomen dat we investeren in inflexibele apparaten en wordt gegarandeerd dat de transitie-investeringen a priori flexibel zijn, hetgeen altijd aangewend kan worden voor flexibiliteitsproblemen ook als die eventueel pas later ontstaan.
- Ook proposities die gebruik maken van slimme aansturing zijn nog geen gemeengoed. Gezien de potentie hiervan voor het energiesysteem verdient het aanbeveling om systemen, diensten en de markten die deze diensten kunnen ontsluiten verder te ontwikkelen.

- De huidige opbouw van de energiebelasting en netwerkkosten in Nederland heeft een sterk dempend effect op de meerwaarde die een woningeigenaar uit het flexibel inzetten van een (hybride) warmtepomp kan halen. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken op welke manier de opbouw van energiebelasting en netwerkkosten kan worden aangepast om het gebruik van duurzame (CO₂-arme) bronnen te stimuleren en de congestie in energienetwerken te minimaliseren.

Definitielijst

All-electric	All-electric houdt voor de gebouwde omgeving in dat er elektrisch wordt verwarmd door middel van elektrische technologieën zoals een warmtepomp met aanvullende elektrische weerstandsverwarming i.p.v. met andere energiedragers zoals aardgas.
COP	Coefficient of Performance, geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid per tijdseenheid opgenomen energie en de resultante nuttige energie.
Congestie	De mate waarin een netwerk belast wordt ten opzichte van de maximale belasting die dat netwerk volgens ontwerpcondities mag verdragen.
Spotmarkt	De voornaamste handelsmarkt (beurs) voor elektriciteit, voor levering de volgende dag. Heet ook wel spotmarkt. In Nederland verzorgt APX deze markt.
Dual fuel	Het kunnen gebruik maken van meerdere bronnen. Bij commodities/roerende goederen zijn dan twee leveranciers aanwezig; de totale behoefte wordt gedeeld en toegewezen aan deze twee leveranciers.. In energie-context verwant met hybride.
Gelyktijdigheid	De mate waarin de vermogensvraag van verschillende afnemers in de tijd samenvalt, uitgedrukt in een factor tussen de 0 en de 1.
Systeem-integratie	De integratie van deelsystemen in een overkoepelend systeem. In de context van het onderzoeksprogramma van de Topsector Energie de vraag of de energietransitie kan worden versterkt en versneld door op het niveau van het hele energiesysteem interacties en te zoeken naar integrale oplossingen.
Peak-sheaving	Afvlakken van de piekvraagcapaciteit op een bepaald moment
Volatiliteit	Mate van beweeglijkheid van een marktprijs.

Literatuurlijst

Berenschot, CE Delft, Overview, 2015. De rol van de eindgebruiker in relatie tot systeemintegratie: Advies aan de Topsector Energie. Utrecht: Berenschot, maart 2015

DNV GL, presentatie “Capacity and volume development of natural gas and electricity in the NL residential market v2.0”, 18 februari 2015

Ecofys: “De systeemkosten van warmte voor woningen”, 11 november 2015

Eneco netbeheer Zuid-Kennemerland, “Capaciteitsplan elektriciteit 2002 – 2009”, 28 november 2002.

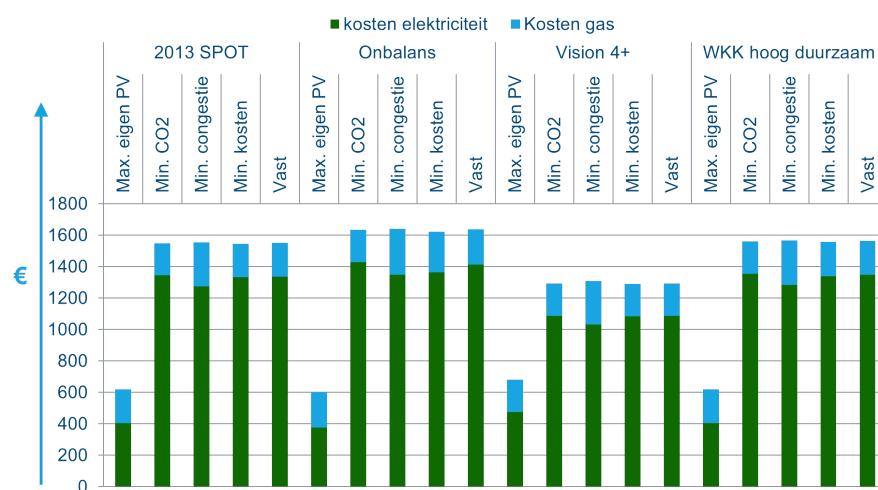
KEMA Nederland B.V., “Impact van warmtepompen op het elektriciteitsnetwerk”, 7 juni 2010

Laborelec, “Analyse van verschillende studies naar de impact van DCO en nieuwe belastingen op het MS- en LS- net”, 29 oktober 2012.

BDH: ScenarioTool, online beschikbaar op www.ScenarioTool.nl

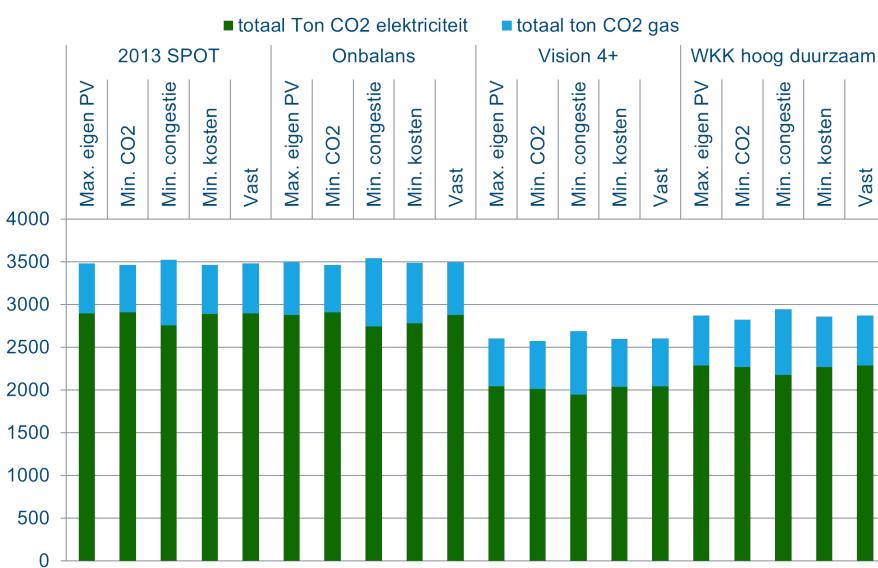
Presentatie Phase to phase, “Duwen en trekken aan het distributienet”, 15 december 2010.

Bijlage 1. Verdieping van resultaten simulaties



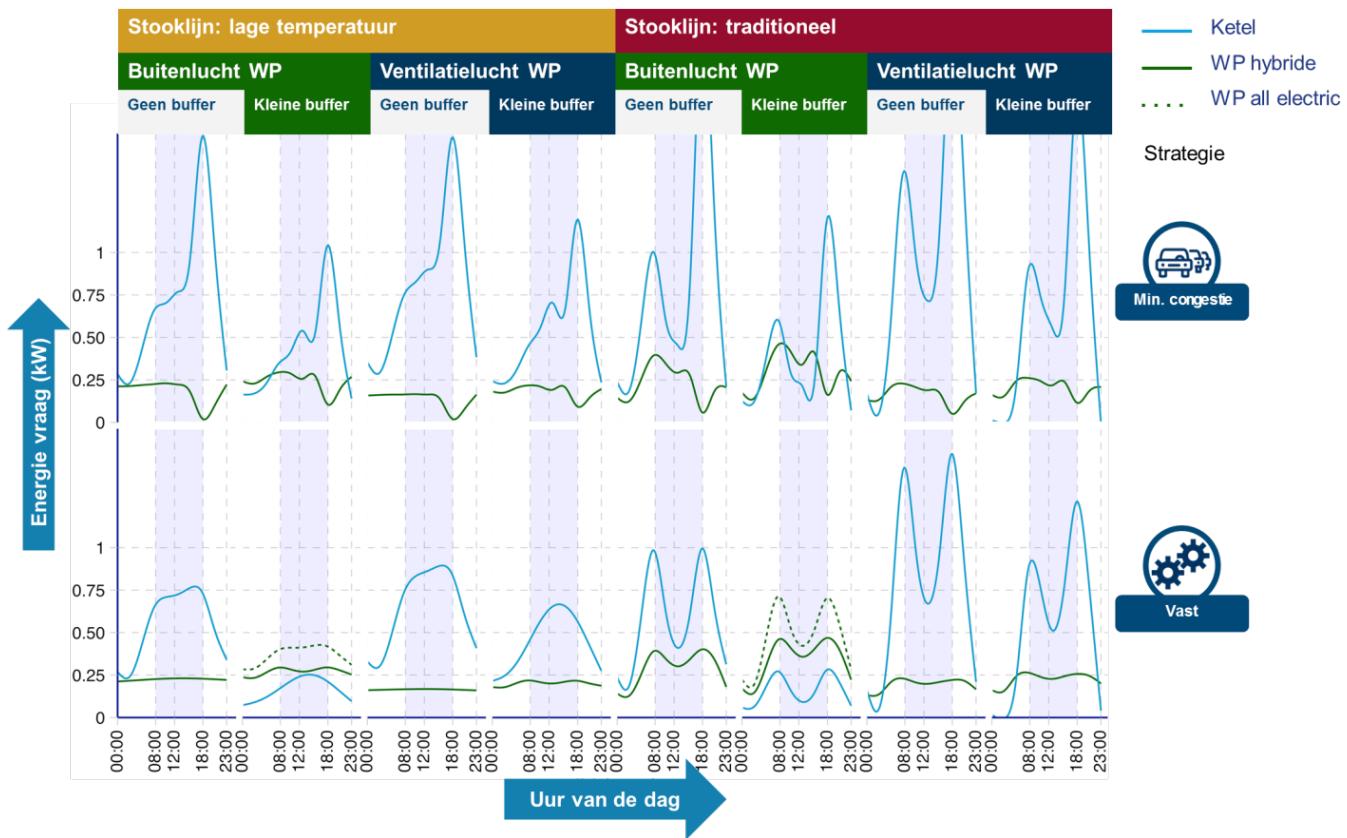
Figuur 1 Totale energiekosten voor de eindgebruiker met een grote woning (warmtevraag 35 GJ) voor verschillende scenario's en aanstuurstrategieën.

Bovenstaand figuur laat de energiekosten zien van een grote woning voor verschillende scenario's en aanstuurstrategieën. Maximale benutting van eigen PV heeft hier de laagste energiekosten, dit komt omdat de gebruiker hier gebruik maakt van eigen zonne-stroom. Verder zijn de verschillen tussen de strategieën verwaarloosbaar. Er zijn wel duidelijke verschillen tussen de energiescenario's, dit komt doordat er verschillende energieprijzen zijn verwerkt in de scenario's als gevolg van aannames over het productie park in 2030 (zie hoofdstuk 3).



Figuur 2 Cumulatieve CO2 uitstoot voor verschillende scenario's en aanstuur strategieën.

Het effect van CO₂ sturing is maar minimaal te zien bij strategie minimale CO₂ uitstoot, ook is er een zeer lichte stijging van de CO₂ uitstoot te zien bij minimale congestie sturing. Dit is het gevolg van een grotere gasvraag, zoals ook terug te zien is in figuur 3. Verschillen voor energiescenario's hebben te maken met aannames over het productie park 2013 (zie hoofdstuk 3).



Figuur 3 Verschillende hybride warmtepomp configuraties

De traditionele stooklijn ten opzichte van de lage temperatuur stooklijn laat zowel een grilliger warmtepomp als ketel profiel zien. De buitenlucht configuratie ten opzichte van de ventilatielucht laat niet zozeer een verschil zien in energieprofiel maar meer een verschuiving van warmtepomp naar ketel. Dit geldt voor de ventilatieluchtwarmtepomp ten opzichte van de buitenlucht warmtepomp. Verder laat het gebruik van een buffer betere benutting van de warmtepomp zien wat resulteert in een lagere energievraag.

Berenschot Groep B.V.
Europalaan 40, 3526 KS Utrecht
Postbus 8039, 3503 RA Utrecht
T 030 2 916 916
E contact@berenschot.nl
www.berenschot.nl

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 werkterrein 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. Daarnaast is Berenschot lid van de Raad voor Organisatie-Adviesbureaus (ROA) en hanteert de ROA-gedragscode.