

Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in de bestaande woningbouw



Project in opdracht van:
SenterNovem, Alklima, Daalderop, Daikin, Inventum, Stiebel-Eltron,
Techneco, Vaillant, WAdus, Stichting Warmtepompen

Januari 2009

Robert Harmsen, Pieter van Breevoort - Ecofys
Wilko Planje - TNO
Ernst-Jan Bakker - ECN
Peter Wagener - BDH



Disclaimer

Scope van het rapport

- dit rapport beschouwt alleen hybride lucht/water warmtepompen. Het effect van concurrerende technologieën op de marktintroductie en het besparingspotentieel van de warmtepomp wordt buiten beschouwing gelaten. Wel wordt het effect van vraagreductie door na-isolatie geanalyseerd;
- het rapport betreft een studie naar het technisch potentieel voor de periode 2010-2030 waarbij het marktaandeel van de hybride lucht/water warmtepomp in de tijd groeit en rekening wordt gehouden met een technische levensduur van 15 jaar voor bestaande installaties. Marketing aspecten zijn niet specifiek beschouwd;
- de input voor deze studie is voor een groot deel gebaseerd op scenario's (o.a. voor ontwikkeling van woningvoorraad en energievraag, referentierendementen, gemiddelde afgiftetemperaturen in woningen, marktpenetratie en rendementontwikkeling hybride warmtepomp). Deze scenario's bevatten onzekerheden (die toenemen naarmate het zichtjaar verder weg ligt) en/of uitgangspunten waar verschillende opvattingen over kunnen bestaan.

Gehanteerde uitgangspunten

- in deze studie is zoveel mogelijk aangesloten bij de uitgangspunten zoals gekozen voor de recente potentieelstudie voor microWKK¹. Dit maakt het mogelijk de resultaten van beide studies met elkaar te vergelijken. Dit betreft:
 - o de twee scenario's voor de marktintroductie van de hybride warmtepomp;
 - o uitrol van de hybride warmtepompen in die woningsegmenten waar de grootste besparing mogelijk is;
 - o een aardgasgestookte Hr-ketel als referentie voor warmteopwekking;
 - o een aardgasgestookte STEG-centrale als referentie voor elektriciteitsopwekking;
 - o de ontwikkeling van de woningvoorraad en de warmtevraag conform het Global Economy (GE) scenario.
- voor de warmtepompndementen is gebruik gemaakt van prognoses, deels gebaseerd op metingen, deels op expertopinie. Deze prognoses bevatten een onzekerheid aangezien de technologie nog sterk in ontwikkeling is. Uitgangspunt voor de getallen zijn 'best practice' rendementen;
- hulpenergie (bijvoorbeeld voor circulatie of warmtepompbron) is meegenomen in de systeemprestatie van zowel hybride warmtepomp als referentietechnologie;
- aangenomen is dat de inzet van hybride warmtepompen gemaximaliseerd wordt door een slimme regeling. Ook warm tapwatervraag wordt (deels) door de warmtepomp gedekt middels een buffervat;
- het effect van groengas en groene elektriciteit op het reductiepotentieel is buiten beschouwing gelaten.

¹ Cogen Projects, ECN, TNO, Ecofys, Energie- en CO₂-besparingspotentieel van microWKK in Nederland (2010-2030), update 2008 (in opdracht van Werkgroep decentrale gastoeppassing, onderdeel van Platform Nieuw Gas).

Samenvatting & conclusies

Een hybride lucht/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt en in combinatie met een Hr-ketel of elektrische bijstook warmte levert aan woningen. De hybride lucht/water warmtepomp is één van de opties om de Hr-ketel te vervangen als dominante technologie voor de verwarming van bestaande woningen en op die manier een belangrijke rol te spelen in de energietransitie.

Twee introductiescenario's voor de hybride lucht/water warmtepomp

	Aantal geplaatste toestellen	
	Scenario 1	Scenario 2
2008-2010	18.000	10.000
2011-2015	340.000	182.000
2016-2020	1.000.000	535.000
2021-2030	2.980.000	1.479.400

Scenario 1 is een hoge groei scenario waarbij het marktaandeel van de hybride lucht/water warmtepomp groeit tot ca. driekwart van de vervangingsmarkt voor Hr-ketels die 350-400 duizend toestellen per jaar omvat. In Scenario 2 gaat de groei geleidelijker en is het uiteindelijke marktaandeel van de warmtepomp ca. 40% van de vervangingsmarkt.

Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel 2010-2030

In deze studie is het reductiepotentieel voor de periode 2010-2030 vastgesteld. Indien de hybride lucht/water warmtepomp de dominante rol van de Hr-ketel (deels) overneemt, kan in 2020 0,7 tot 1,3 Mton CO₂ per jaar bespaard worden. In 2030 kan dit oplopen van 1,6 tot 3,4 Mton CO₂-reductie per jaar.

Huishoudens zullen naar verwachting in 2020 ca. 9,7 miljard m³ gas voor verwarming verbruiken en in 2030 ca. 10 miljard m³. Dit komt overeen met respectievelijk 17,4 (2020) en 18,0 (2030) Mton directe CO₂-emissies. Door toepassing van de lucht/water warmtepomp kan dus 4 tot 7% (2020), respectievelijk 9 tot 19% (2030) van deze CO₂-emissies gereduceerd worden.

Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel 2010-2030

	CO ₂ -reductiepotentieel [Mton]	Energiebesparingpotentieel [PJ _{primair}]
2020	0,7 – 1,3	10,9 – 21,0
2030	1,6 – 3,4	27,9 – 64,0

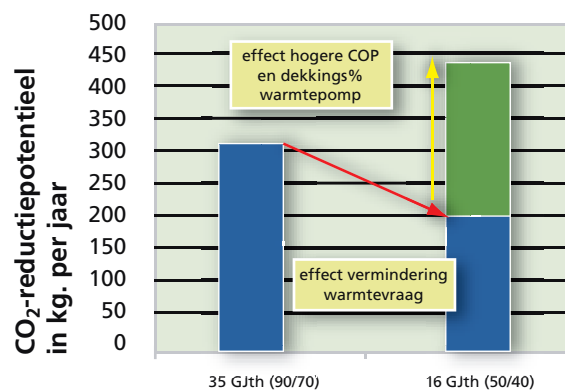
Besparingpotentieel woningbouwcorporaties 2010-2020

De woningbouwcorporaties beheren en verhuren ongeveer 35% van het Nederlandse woningbestand. Deze corporaties zijn actief betrokken in het beleid van het Rijk om het energieverbruik in woningen te verminderen. Het reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp in dit woningbestand bedraagt in 2020, bovenop het bestaande potentieel voor na-isolatie, 10 PJ en 0,6 Mton CO₂.

Effect van na-isolatie

De hybride lucht/water warmtepomp lijkt bij uitstek een technologie die in de brede energietransitie past. Na-isolatie van bestaande woningen leidt tot een betere prestatie van de warmtepomp indien woningen met een lagere temperatuur afgiftesysteem verwarmd kunnen worden. In een nageïsoleerde woning met een lagere warmtevraag kan zelfs meer CO₂ gereduceerd worden dan in dezelfde woning zonder na-isolatie.

Effect van na-isolatie op het CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp in een gemiddelde rijtjeswoning gebouwd in de periode 1960 - 1980.



De ruimteverwarmingvraag van deze woning bedraagt 35 GJ_{th} per jaar. Verondersteld wordt dat in deze woning al eerder enkele maatregelen zijn getroffen (zoals dubbel glas), maar dat de afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem (90-70°C) niet verlaagd kan worden. De woning wordt nu grondig aangepakt (HR++ glas, dak- en vloerisolatie) waardoor de warmtevraag daalt naar 16 GJ_{th}/jaar en vergelijkbaar is met een moderne woning. De radiatoren worden niet vervangen waardoor het nu mogelijk is de afgifte- en aanvoertemperatuur van het verwarmingssysteem te verlagen naar 50-40°C. De gekleurde lijnen in de figuur geven het effect van na-isolatie weer. Het gecombineerde effect van warmtevraagvermindering en verbeterde prestatie en dekkingsgraad van de warmtepomp leidt netto tot meer CO₂-reductie in de nageïsoleerde woning.

Effect van 'low carbon' elektriciteitsopwekking

Naast na-isolatie is ook de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening een belangrijk agendapunt van de energietransitie. De CO₂-prestatie van de elektrisch aangedreven lucht/water warmtepomp neemt toe wanneer de CO₂-emissiefactor van elektriciteit lager wordt. Deze studie laat zien dat in het hoge scenario (scenario 1) het CO₂-reductiepotentieel in 2030 stijgt van 3,4 Mton (zie tabel) tot 5,4 Mton indien uitgegaan wordt van een kolencentrale met CO₂-opslag in plaats van een aardgas-STEG centrale.

Effect op de energierekening

Of toepassing van de hybride lucht/water warmtepomp leidt tot een verlaging van de energierekening hangt af van de verhouding tussen de gas- en elektriciteitsprijs. Een hoge gasprijs en een lage elektriciteitsprijs zijn gunstig voor de rentabiliteit van het apparaat. De economische prestatie van de warmtepomp blijkt zeer gevoelig voor relatief kleine veranderingen in de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs. Algemeen geldt dat warmtepompen met hoge rendementen minder gevoelig zijn voor variaties in de elektriciteitsprijs omdat ze (voor dezelfde hoeveelheid warmte) minder elektriciteit verbruiken.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	9	
1.1	Waarom deze studie?	9
1.2	Wat is een lucht/water warmtepomp?	9
1.3	Opbouw van het rapport	10
2 Uitgangspunten potentiële schatting	11	
2.1	Bestaande woningbouw	11
2.2	Hybride lucht/water warmtepomp	17
2.3	Referentiekader	25
3 Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel	28	
3.1	Inleiding	28
3.2	Potentieel 2010-2030	28
3.3	Effect 'low-carbon' elektriciteitsopwekking	33
3.4	Effect van na-isolatie	33
3.5	Effect op lokale elektriciteitsnet	35
3.6	Hoe past de hybride lucht/water warmtepomp in de brede energietransitie?	35
4 Effect op de energierekening	36	
4.1	Inleiding	36
4.2	Prijsscenario	36
4.3	Investeringsruimte voor de hybride lucht/water warmtepomp	37
4.4	Effect van na-isolatie	39

1 Inleiding

1.1 Waarom deze studie?

De bestaande woningbouw is één van de sectoren die een forse bijdrage kan leveren aan de realisatie van de kabinetsdoelstellingen voor 2020 op het gebied van duurzame energie (20%), energiebesparing (2% per jaar) en CO₂-reductie (-30% t.o.v. 1990). Het convenant 'Meer met Minder' geeft bijvoorbeeld een plan van aanpak voor het realiseren van 78 PJ besparing in de bestaande woningbouw door toepassing van na-isolatie en efficiëntere installaties.

Hoewel warmtepompen in de bestaande bouw tot nu toe een bijrol hebben vervuld, wordt de hybride lucht/water warmtepomp inmiddels gezien als één van de opties die kan bijdragen aan een efficiëntere warmteproductie in woningen. Dit vormde voor een groep fabrikanten² en SenterNovem aanleiding een studie te laten uitvoeren met als doel het vaststellen van het energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp in de bestaande Nederlandse woningbouw.

In deze studie is zoveel mogelijk aangesloten bij de uitgangspunten zoals gekozen voor de recente potentieelstudie voor microWKK³. Dit maakt het mogelijk de resultaten van beide studies met elkaar te vergelijken.

1.2 Wat is een lucht/water warmtepomp?

Een lucht/water warmtepomp is een elektrisch aangedreven warmtepomp die buiten- en/of ventilatielucht als bron gebruikt. In combinatie met een Hr-ketel of elektrische bijstook kan de lucht/water warmtepomp worden toegepast in bestaande woningen voor ruimteverwarming en bereiding van warm tapwater. De warmtepomp voorziet in eerste instantie in het gevraagde vermogen, de Hr-ketel of elektrische bijstook springt bij indien nodig. Door combinatie van een lucht/water warmtepomp met gas- of elektrische bijstook is het niet noodzakelijk een lage temperatuur verwarmingssysteem (LTV) in de woning te hebben. Ook in woningen met een hoog temperatuursysteem (standaard in veel bestaande woningen) kan de warmtepomp toegepast worden. Wel geldt dat de prestatie en dekkingsgraad van de warmtepomp veel hoger is wanneer sprake is van een lage temperatuur systeem.

Momenteel zijn er verschillende typen lucht/water warmtepompen op de markt. In de 'Marktstudie lucht/water warmtepompen in de bestaande bouw' zijn de beschikbare technologieën in kaart gebracht⁴.

Als in dit rapport wordt gesproken over warmtepompen dan worden daarmee hybride lucht/water warmtepompen bedoeld die de buitenlucht en/of ventilatielucht als bron gebruiken en in combinatie met een Hr-ketel of elektrische bijstook warmte leveren aan woningen.

Warmtepomptechnologie kan naast warmte ook koude leveren. In de bestaande woningbouw is koeling nog relatief onbekend. Hoe de koudevraag in huishoudens zich gaat ontwikkelen is onzeker. In deze potentieelstudie wordt koeling buiten beschouwing gelaten.

1.3 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de uitgangspunten die in deze studie gehanteerd zijn. Dit omvat karakteristieken van de bestaande woningbouw en de hybride lucht/water warmtepomp, de introductiescenario's van de hybride lucht/water warmtepomp en de uitgangspunten met betrekking tot de referentiesituatie voor warmte en elektriciteit. Hoofdstuk 3 analyseert het energiebesparing- en CO₂ reductiepotentieel voor de periode 2010-2030. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in het potentieel voor ruimteverwarming en bereiding van warm tapwater. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk het effect van 'low carbon' elektriciteitsopwekking en na-isolatie bestudeerd. Hoofdstuk 4 gaat in op de effecten op de energierekening die toepassing van de hybride lucht/water warmtepomp met zich meebrengt.

² Alklima, Daalderop, Daikin, Inventum, Stiebel-Eltron, Techneco, Vaillant, WAdus. Stichting Warmtepompen treedt in deze studie als penvoerder van de fabrikanten op.

³ Cogen Projects, ECN, TNO, Ecofys, Energie- en CO₂-besparingspotentieel van microWKK in Nederland (2010-2030), update 2008 (in opdracht van de Werkgroep decentrale gastoevoeringen, onderdeel van Platform Nieuw Gas).

⁴ BDH, Marktstudie lucht/water warmtepompen in de bestaande bouw, 2008 (in opdracht van SenterNovem).

2 Uitgangspunten potentieelschatting

2.1 Bestaande woningbouw

2.1.1 Ontwikkeling woningbestand

Om het potentieel van een technologie voor de gebouwde omgeving te kunnen schatten, zijn gegevens nodig over de ontwikkeling van deze sector. Voor deze studie betreft dit de samenstelling en ontwikkeling van de woningvoorraad (aantallen, bouwperiode en type) en de warmtevraag voor verschillende zichtjaren (2010, 2015, 2020, 2030).

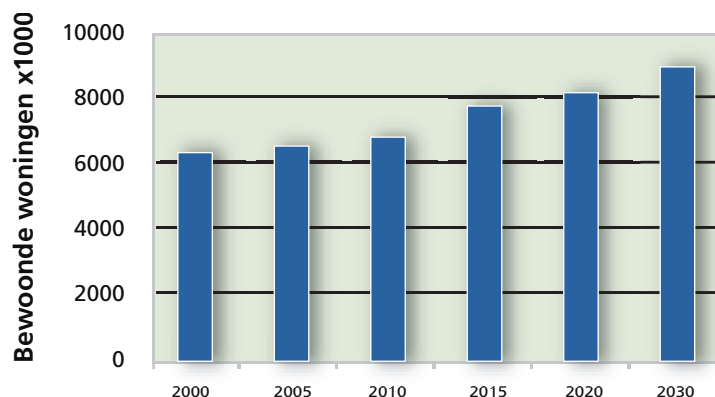
Voor de ontwikkeling van de woningvoorraad in Nederland is uitgegaan van beschikbare data zoals onder andere gebruikt in de 'Referentieraming energie en emissies 2005-2020'⁵. Deze data is afkomstig uit het SAWEC model⁶ waarin gedetailleerde gegevens over de sector huishoudens zijn opgenomen. Omdat SAWEC als tijdshorizon 2020 heeft, is voor zichtjaar 2030 data uit de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO)⁷ gebruikt. Het detailniveau in de WLO studie is lager dan in het SAWEC model. Er wordt bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt tussen woningtypen en voor de bouwperiode wordt uitsluitend onderscheid gemaakt in woningen gebouwd voor en na 2000.

De gehanteerde ontwikkeling van de sector huishoudens op basis van bovenstaande bronnen is dezelfde ontwikkeling als aangenomen in de recente potentieelstudie voor microWKK³.

Uit de verschillende beschikbare scenario's voor economische ontwikkeling is gekozen voor het Global Economy (GE) scenario⁵, een scenario met hoge bevolkingsgroei, hoge economische groei, lage energieprijzen en zonder CO₂-reductiedoelstelling. Het GE scenario moet gezien worden als een (worstcase) baseline waartegen het effect van nieuw beleid kan worden bepaald. Het is géén prognose van de meest plausibele ontwikkeling van het energieverbruik. Het GE scenario geeft dan ook geen goed beeld van de warmtevraagontwikkeling in woningen indien uitgegaan wordt van de huidige beleidsvoornemens.

Onderstaande figuur laat het aantal bewoonde woningen zien volgens het GE scenario: circa 6,5 miljoen in 2000 en naar verwachting bijna 8,9 miljoen in 2030 (leegstand wordt geschat op 1,3%). Naast een hoge bevolkingsgroei is de trend in het scenario dat het aantal personen per huishouden afneemt waardoor het aantal huishoudens stijgt.

Figuur 1 Ontwikkeling woningvoorraad in Nederland



⁵ ECN, Referentieramingen energie en emissies 2005-2020, 2005.

⁶ ECN, Een blik op de toekomst met SAWEC, 2005.

⁷ CPB, MNP en RPB Welvaart en Leefomgeving, Een scenariostudie voor Nederland in 2040, 2006.

Een deel van de Nederlandse woningen heeft een lokale of (klein-)collectieve warmtevoorziening en blijft daarmee buiten beschouwing in deze potentieelstudie, vanwege de focus op vervanging van individuele centrale verwarming. De trend is dat het aandeel woningen met individuele centrale verwarming stijgt als gevolg van het afnemen van het aandeel lokale verwarming door sloop of renovatie. Geschat wordt dat in 2030 circa 95% van het woningbestand individuele centrale verwarming heeft.

Op basis van SAWEC data worden tot en met 2020 17 woningsegmenten onderscheiden op basis van de volgende woningtype / bouwjaar combinaties:

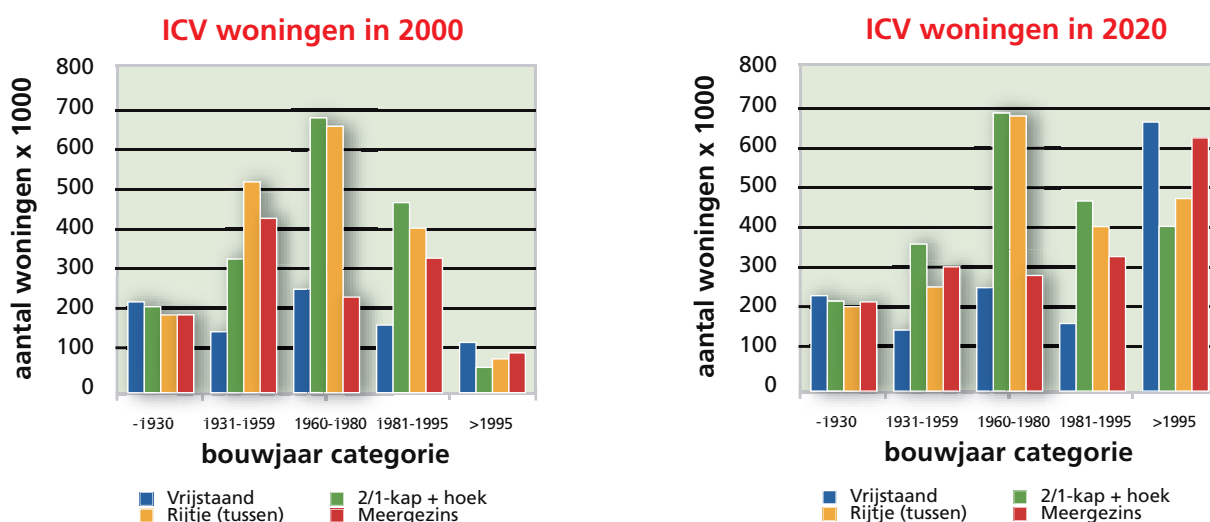
- 4 typen woningen: vrijstaand, 2 onder 1 kap + hoekwoning, rijtjeswoning en appartement;
- 4 bouwjaar categorieën: <1930, 1931-1959, 1960-1980, 1981-1995;
- (alle typen) nieuwbouwwoningen na 1995.

Voor het zichtjaar 2030 is alleen het onderscheid 'bouwjaar voor en na 2000' beschikbaar.

Er wordt geen onderscheid gemaakt naar eigendomsvorm, omdat dit geen rol speelt in de manier waarop in deze studie de lucht/water warmtepomp wordt verdeeld over de woningvoorraad.

Figuur 2 toont de ontwikkeling van het aantal woningen met individuele centrale verwarming (ICV), gebaseerd op SAWEC data (2000-2020). Hoewel het totaal aantal woningen van de bouwjaarcategorieën voor 1995 afneemt door sloop, neemt het aantal ICV woningen in deze categorieën licht toe omdat woningen met lokale verwarming overgaan op individuele centrale verwarming. Met de inschatting dat 95% van de woningen ICV hebben en 1,3% van de woningen leegstaat, geeft de WLO studie voor het zichtjaar 2030 ca. 5,3 miljoen bewoonde ICV woningen met bouwjaar < 2000 en ca. 3,1 miljoen met bouwjaar > 2000.

Figuur 2 Aantal woningen met individuele centrale verwarming (ICV) per woningsegment

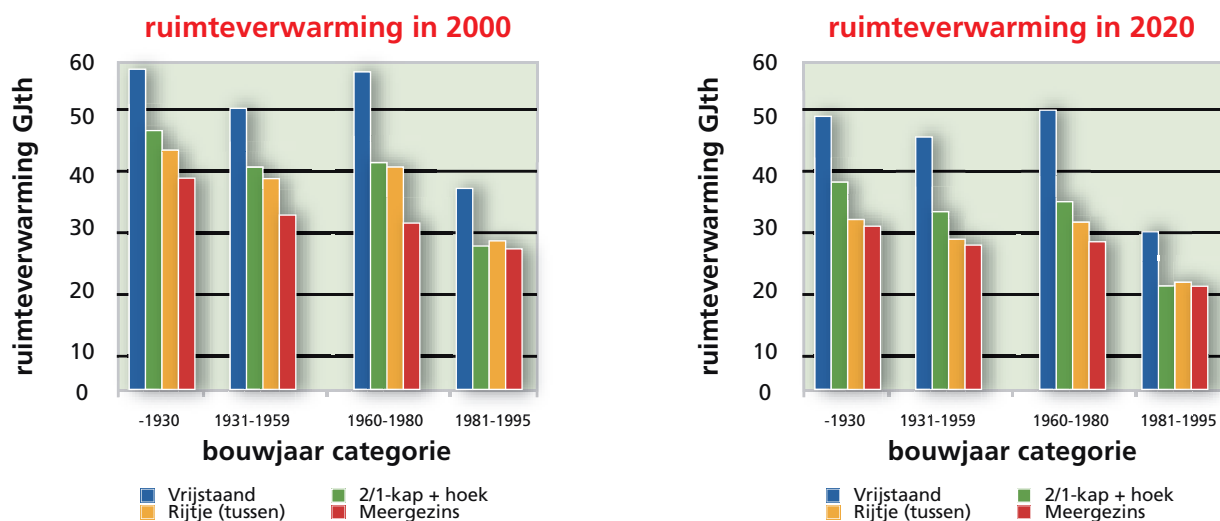


Zie bijlage A voor de gedetailleerde data over aantallen ICV woningen voor de periode 2000-2030.

2.1.2 Ontwikkeling energievraag Ruimteverwarming

Onderstaande figuren geven de ontwikkeling van energievraag volgens het eerder genoemde GE scenario op basis van SAWEC data (zie ook voorgaande paragraaf). Voor de woningen gebouwd na 1995, waarvoor geen indeling in woningtypen wordt gehanteerd, is de gemiddelde vraag naar ruimteverwarming 20 GJ_{th} in 2000 en 15 GJ_{th} in 2020.

Figuur 3 Ontwikkeling ruimteverwarmingvraag per woningsegment



Voor het zichtjaar 2030 is alleen het onderscheid 'bouwjaar voor en na 2000' beschikbaar. De WLO studie geeft een gemiddelde vraag naar ruimteverwarming van 28 GJ_{th} voor woningen met bouwjaar < 2000 en 17 GJ_{th} met bouwjaar > 2000 in het zichtjaar 2030.

Er is een duidelijke afname te zien in de vraag naar ruimteverwarming voor alle categorieën. Deze afname is het gevolg een toename van energiebesparende maatregelen zoals na-isolatie, en van een toename van de gemiddelde buitentemperatuur.

Zowel in het SAWEC model als in de WLO studie wordt gerekend met gemiddelden, wat betekent dat extreem hoge en lage waarden tegen elkaar wegvallen. Omdat vanaf 2020 de cijfers met een ander model zijn berekend, kunnen de getallen bij de aansluiting van de twee modellen iets van elkaar afwijken. Ten opzichte van het SAWEC model geeft de WLO studie een iets hogere warmtevraag.

Zie bijlage A voor de gedetailleerde data van de ruimteverwarmingvraag voor de periode 2000-2030.

Warm tapwater

Onderstaande tabel toont de ontwikkeling van het warm tapwaterverbruik in het GE scenario. De cijfers zijn gebaseerd op SAWEC en WLO data.

Tabel 1 Ontwikkeling van de warmtevraag voor warm water per huishouden

Gemiddelde warmtevraag voor warm water	2000	2010	2015	2020	2030
per woning [GJ _{th} per jaar]	9,0	8,6	8,5	8,3	8,1

Het gebruik van warm tapwater per persoon blijft naar verwachting de komende jaren min of meer gelijk⁵. Omdat de gemiddelde gezinsgrootte afneemt, daalt de gemiddelde warmtevraag voor warm tapwater per woning.

2.1.3 Aandeel woningen met mechanische ventilatie

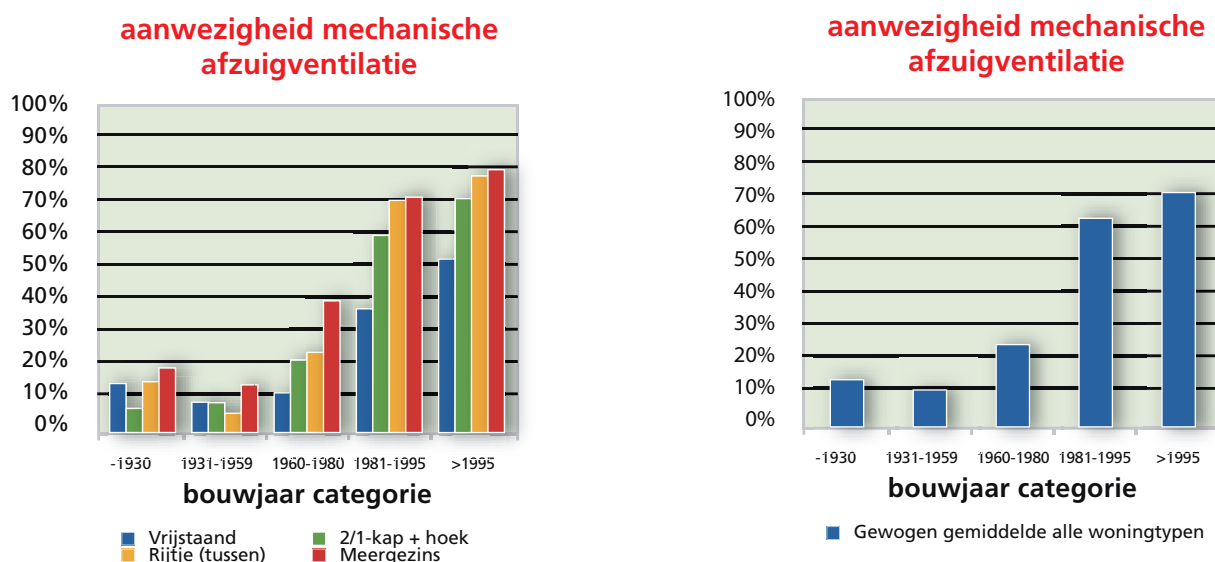
Naast buitenlucht kunnen warmtepompen ook ventilatielucht gebruiken als bron. Om ventilatielucht optimaal te kunnen gebruiken als bron is de aanwezigheid van centrale mechanische afzuiging een vereiste. Daarom is geanalyseerd hoeveel mechanische afzuiging er aanwezig is in de in paragraaf 2.1.1 gedefinieerde woningsegmenten (zie figuur 4).

De in figuur 4 gepresenteerde data heeft betrekking op de volledige woningvoorraad, dus niet alleen de woningen met individuele centrale verwarming. Er is in de loop van de bouwjaren een duidelijke toename te zien van het aandeel (centrale) mechanische afzuiging. Vooral het aandeel in de gestapelde bouw is relatief hoog. Het aandeel in de bouwjaren voor 1930 is naar verwachting mede het gevolg van inspanningen om deze woningen te verbeteren.

Behalve natuurlijke toevoer en mechanische afzuigingsystemen, komt ook mechanische afzuiging als onderdeel van balansventilatiesystemen voor in woningen. De huidige penetratie van balansventilatie is echter relatief gering: circa 3% van de woningen gebouwd na 1995. Gecombineerd met het feit dat ventilatielucht als warmtepompbron en warmteterugwinning (aanwezig in een deel van de balansventilatiesystemen) met elkaar concurreren, wordt woningen met balansventilatie hier buiten beschouwing gelaten voor warmtepompen met ventilatielucht als bron.

In de rechterhelft van de figuur wordt, gewogen naar aantallen per woningtype, de gemiddelde penetratie van mechanische afzuiging weergegeven. Hoewel het aandeel behoorlijk is gegroeid, heeft een significant deel van de woningen nog natuurlijke afvoer. Dit geldt ook voor woningen gebouwd na 1995.

Figuur 4 Aandeel centrale mechanische afzuiging in woningsegmenten op basis van WoOn2006



2.1.4 Aandeel woningen met na-isolatie

Een belangrijke randvoorwaarde bij toepassing van warmtepompen is de aanvoertemperatuur voor het CV-systeem. Hoe hoger deze temperatuur, hoe lager het rendement van de warmtepomp. Temperaturen boven de 60-65°C zijn niet haalbaar voor de hier beschouwde elektrische lucht/water warmtepompen. Voor een potentiële schatting is het dus van belang een beeld te hebben van gangbare temperatuurniveaus in afgiftesystemen in de Nederlandse woningbouw.

Traditioneel werd het afgiftesysteem uitgelegd op 90-70°C (aanvoer-retour). Door een sterk verbeterde gebouwschil kan de huidige nieuwbouwwoning echter met aanvoertemperaturen onder 55°C worden verwarmd (de grenswaarde voor zogenaamde lage temperatuurverwarming).

Van bestaande woningen wordt aangenomen dat het CV-systeem over het algemeen teveel capaciteit heeft ten opzichte van de werkelijke behoefte. Dit komt enerzijds doordat bij de aanleg ervan ruime marges gehanteerd zijn en anderzijds doordat de gebouwschil van de woningen in de loop van de tijd verbeterd is (dubbel glas, dakisolatie, vloerisolatie, etc.). Hoe groot deze overcapaciteit gemiddeld is, is niet bekend. Uit individuele voorbeelden kan worden opgemaakt dat dit om tientallen procenten kan gaan⁸. Daarnaast leidt de toenemende penetratie van modulerende Hr-ketels ertoe dat de gemiddelde jaarlijkse aanvoertemperaturen beduidend lager liggen dan de ontwerptemperaturen.

Voor deze potentieelstudie wordt op basis van de volgende uitgangspunten de verdeling in tabel 2 gehanteerd voor de in de woningvoorraad dominante afgiftetemperaturen:

- het kunnen verlagen van de aanvoertemperatuur wordt in belangrijke mate bepaald door de aanwezigheid van dubbel glas (comfortaspect). Volgens SAWEC⁹ heeft in 2000 circa 14% nog enkel glas op de begane grond en circa 55% op de eerste verdieping. In 2020 is dit gedaald naar 5% en 20% respectievelijk. Aangenomen wordt dat voor deze woningen de aanvoertemperaturen niet verlaagd kunnen worden (dus 90-70°C) onder de veronderstelling dat de aanwezigheid van enkel glas kan worden gezien als indicator dat de overige delen van de gebouwschil nog niet of nauwelijks zijn verbeterd;
- voor nieuwbouw woningen vanaf 2000 wordt verondersteld dat 50-40°C haalbaar is (eventueel met kleine aanpassingen). Door aanscherpingen in het Bouwbesluit zullen deze temperaturen de komende jaren verder dalen. Deze nieuwbouw woningen maken in 2020 circa 15 procent uit van de totale woningvoorraad (ruim 1 miljoen op in totaal 8 miljoen);
- zeer lage afgiftetemperaturen (40-30 / 30-25°C) zullen de komende jaren zeker gerealiseerd kunnen worden in nieuwbouwwoningen. Deze woningen zullen voor het reductiepotentieel voor hybride warmtepompen tot 2030 nauwelijks een rol spelen omdat installaties pas circa 15 jaar na oplevering vervangen worden.

Tabel 2 Veronderstelde ontwikkeling van dominante afgiftetemperaturen in de woningvoorraad

Verdeling afgiftesystemen	90-70	70-50	50-40	40-30	30-25
2010	45%	50%	5%		
2015	35%	55%	10%		
2020	20%	65%	15%		
2030		75%	15%	10%	

Voor het vaststellen van het energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp wordt uitgegaan van de afgiftetemperaturen die de bestaande woningen aankunnen zonder grote aanpassingen (na-isolatie) aan de woning. Het effect van na-isolatie op het reductiepotentieel wordt apart geanalyseerd (zie paragraaf 3.4).

⁸ Presentatie Toepassing Gas Warmtepomp, Gerard Bruijnse (Zon Energie), congres Gas Werkt, Arnhem 20 november 2008.

⁹ In aanvulling op de tabel: circa 88% van de ICV woningen beschikken over radiatoren als afgiftesysteem. Circa 9% beschikt over een combinatie van radiatoren en vloerverwarming. De resterende 3% wordt gevormd door luchtverwarming en vloer-/wandverwarming.

2.2 Hybride lucht/water warmtepomp

2.2.1 Karakteristieken

Ruimteverwarming

Het energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/waterpomp hangt af van het type woning, de (ontwikkeling van) de warmtevraag in die woning en de afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem. Tabel 3 geeft voor 2020 inzicht in de variatie van een aantal relevante systeemeigenschappen en prestaties.

De SPF (seasonal performance factor) voor ruimteverwarming is in dit rapport voor het gehele systeem¹⁰ gedefinieerd als de verhouding van de jaarlijks geleverde ruimteverwarming en de som van benodigde elektriciteit¹¹ en aardgas ten behoeve van de warmtepomp, de bijstook en de hulpenergie (cijfers op onderwaarde). Zie ook bijlage B.

Opgemerkt dient te worden dat niet alle systemen geschikt zijn voor alle woningen. Zo kunnen systemen die ventilatielucht (deels) als bron gebruiken alleen in woningen met centrale mechanische ventilatie toegepast worden. Voor individuele woningen kan de gegeven range in de tabel dus kleiner zijn. De ranges in de tabel kunnen als volgt geïnterpreteerd worden:

- nominaal thermisch vermogen van de warmtepomp: de lagere vermogens in de range zijn de systemen op binnenlucht (beperkt door het ventilatiedebiet, zie bijlage C), de hogere vermogens die op buitenlucht. De gecombineerde systemen die zowel op binnen- als buitenlucht werken vallen binnen deze range. Het gemiddeld elektrisch vermogen van de warmtepomp varieert tussen de 0,2 (binnenlucht) en 1,5 kWe (buitenlucht);
- dekkingsgraad warmtepomp: bij 90/70 verwarmingssystemen zijn de dekkingspercentages relatief laag (zie voor een toelichting bijlage C). Hoe lager de afgiftetemperatuur hoe groter de dekkingspercentages. Met buitenluchtsystemen kunnen de hoogste dekkingspercentages behaald worden omdat deze systemen qua vermogen niet beperkt worden;
- prestatie van het systeem (SPF-systeem): de systeemprestatie wordt bepaald door de prestatie en dekkingsgraad van de warmtepomp. Lagere afgiftetemperaturen zorgen voor een verbeterde systeemprestatie. Buitenluchtsystemen kunnen door de hoge dekkingspercentages van de warmtepomp de hoogste systeemprestaties realiseren (waarbij het hogere dekkingspercentage dus opweegt tegen het lagere rendement van de warmtepomp ten opzichte van binnenluchtsystemen).

¹⁰ Warmtepomp met gas- of elektrische bijstook.

¹¹ Elektriciteit wordt teruggerekend naar primaire energie met behulp van de referentierendementen zoals gedefinieerd in paragraaf 2.3.2.

Tabel 3 Eigenschappen van het lucht/water warmtepompsysteem in 2020 voor verschillende woningcategorieën en bouwperiodes (cijfers afgerond op 1 decimaal)

Bouwjaar		Vrijstaande woning	Twee onder een kap / hoekwoning	Rijtjeswoning	Meergezins/Appartement
-1930	Nominaal vermogen van de condensor (kW _{th})	1,0 – 4,0	1,0 – 3,3	1,0 – 2,6	1,0 – 2,6
-1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0,3 – 1,0	0,4 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
-1930	SPF-systeem	1,2 – 2,0	1,2 – 2,0	1,3 – 2,0	1,2 – 2,1
1931-1959	Nominaal vermogen van de condensor (kW _{th})	1,0 – 3,6	1,0 – 3,0	1,0 – 2,2	1,0 – 2,2
1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0,3 – 1,0	0,4 – 1,0	0,6 – 1,0	0,5 – 1,0
1931-1959	SPF-systeem	1,2 – 2,0	1,2 – 2,0	1,3 – 2,1	1,2 – 2,1
1960-1980	Nominaal vermogen van de condensor (kW _{th})	1,0 – 4,1	1,0 – 3,1	1,0 – 2,3	1,0 – 2,3
1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0,3 – 1,0	0,4 – 1,0	0,6 – 1,0	0,5 – 1,0
1960-1980	SPF-systeem	1,2 – 2,0	1,2 – 2,0	1,3 – 2,1	1,2 – 2,1
1981-1995	Nominaal vermogen van de condensor (kW _{th})	1,0 – 2,5	1,0 – 2,1	1,0 – 1,8	1,0 – 1,8
1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0,4 – 1,0	0,3 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
1981-1995	SPF-systeem	1,1 – 1,9	1,1 – 1,9	1,2 – 2,0	1,2 – 2,0
1995-	Nominaal vermogen van de condensor (kW _{th})	0,8 – 1,5			
1995-	Dekkingsgraad warmtepomp	0,6 – 1,0			
1995-	SPF-systeem	1,1 – 1,9			

Tabel 4 Eigenschappen van hybride lucht/water warmtepompen in 2030 voor een gemiddelde woning, gebouwd voor en na 2000 (cijfers afgerond op 1 decimaal)

Bouwjaar		Gemiddelde woning
-2000	Nom. vermogen Pcond. (kW _{th})	0,9 – 2,3
-2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0,3 – 1,0
-2000	SPF-systeem	1,2 – 2,4
> 2000	Nom. vermogen Pcond. (kW _{th})	0,9 – 1,8
> 2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0,3 – 1,0
> 2000	SPF-systeem	1,1 – 2,4

Tabel 4 geeft een overzicht van de eigenschappen van hybride lucht/water warmtepompen in 2030, voor een gemiddelde woning gebouwd voor 2000 en na 2000.

De SPF waarden in de twee bovenstaande tabellen zijn gebaseerd op bijstook met een Hr-ketel. De SPF waarden voor systemen met elektrische bijstook zijn vergelijkbaar met deze waarden indien het dekkingspercentage van de warmtepomp hoog is (> 95%). Bij een lager dekkingspercentage neemt de SPF in geval van elektrische bijstook snel af.¹²

Bijlage E geeft een gedetailleerd overzicht van bovengenoemde karakteristieken, ingedeeld per bouwjaar, woningcategorie, zichtjaar en systeemtype. In bijlage C wordt toegelicht hoe deze karakteristieken zijn bepaald.

Warm tapwater

Aangenomen wordt dat warm tapwater voorziening door de warmtepomp via een buffervat loopt. Voor buitenluchtsystemen wordt een SPF van 2,1 aangehouden en voor binnenluchtsystemen een SPF van 3,5. Beide inclusief ca. 11% boilerwaterverliezen. Buitenluchtsystemen kunnen 100% van de warm tapwatervraag dekken. Voor binnenluchtsystemen varieert de dekkinggraad van de warmtepomp tussen de 30 en 70% en is vooral afhankelijk van de hoogte van de ruimteverwarmingvraag in de woning (waarmee de tapwaterbereiding moet concurreren vanwege beperkingen in het ventilatiedebiet). Hoe lager de ruimteverwarmingvraag, des te hoger het percentage tapwaterlevering door de warmtepomp. Zie ook bijlage D.

¹² Gasgestookte bijstook met een Hr-ketel heeft een SPF van ca. 1 (gecorrigeerd voor hulpenergie), terwijl de SPF voor elektrische bijstook ca. 0,5 bijdraagt (uitgaande van 50,5% opwekkingsrendement voor elektriciteit, zie paragraaf 2.3.2).

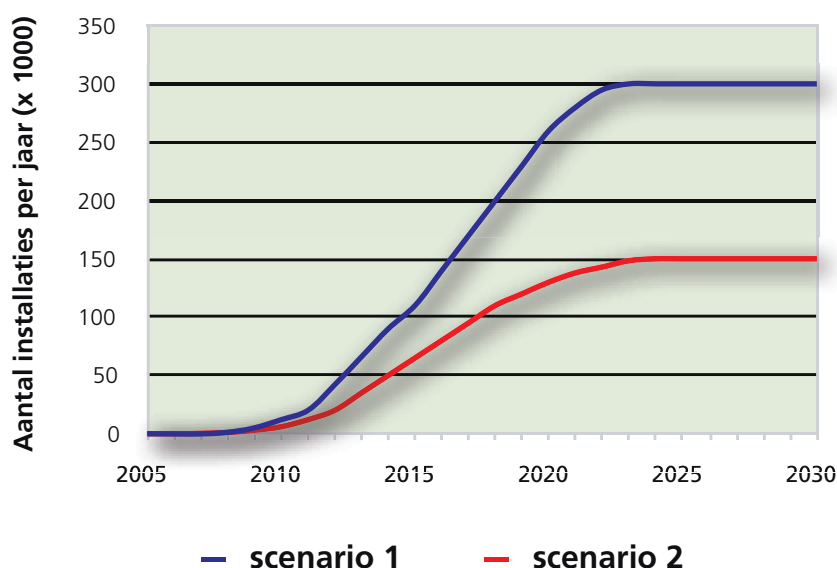
2.2.2 Introductiescenario's

De vervangingsmarkt voor gasgestookte ketels bedraagt ca. 350-400 duizend toestellen per jaar. Momenteel wordt de vervangingsmarkt gedomineerd door de Hr-ketel. Bij het bepalen van het energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp wordt verondersteld dat de hybride lucht/water warmtepomp de rol van de Hr-ketel als dominante technologie overneemt. Uitgegaan wordt van twee scenario's zoals weergegeven in Figuur 5.

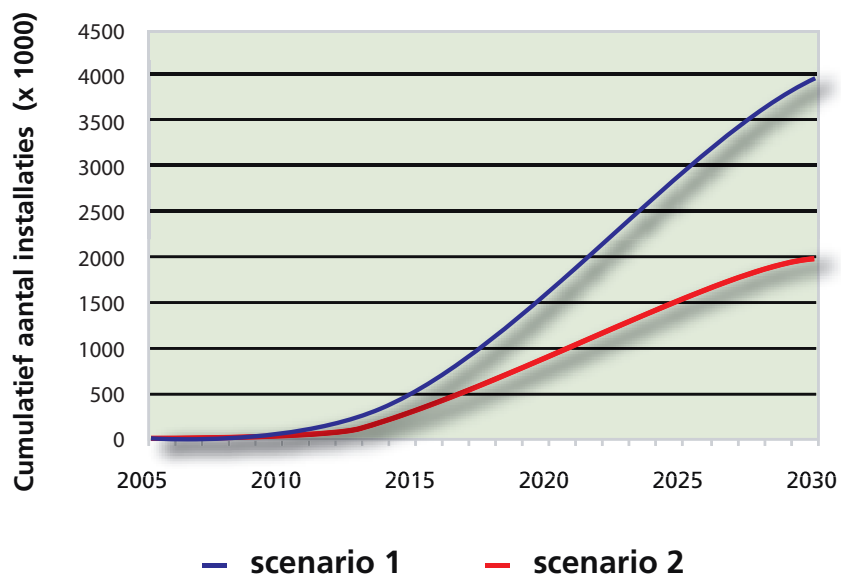
Scenario 1 is een hoge groei scenario dat door de fabrikanten van de lucht/water warmtepomp realistisch wordt geacht indien de condities gunstig zijn. Bijvoorbeeld een gunstige verhouding van gas- en elektriciteitsprijs, gemotiveerde eindverbruikers en waardering van de technologie in de energielabel van bestaande woningen. In dit scenario groeit het marktaandeel van de hybride lucht/water warmtepomp sterk tot circa driekwart van de vervangingsmarkt en wordt de technologie dominant voor verwarming van bestaande woningen.

Scenario 2 gaat uit van een matige groei, waarbij het marktaandeel minder snel toeneemt dan in het hoge scenario (bijvoorbeeld door concurrentie met andere opties) en uiteindelijk stabiliseert op ca. 40% van de vervangingsmarkt.

Figuur 5 Aantal geplaatste hybride lucht/water warmtepompen per jaar in de bestaande bouw



Figuur 6 Cumulatief aantal geplaatste hybride lucht/water warmtepompen in de bestaande bouw



Figuur 6 laat het cumulatief aantal geïnstalleerde toestellen zien. Bijna 4 miljoen in scenario 1 en ruim 2 miljoen in scenario 2. Aangenomen is dat de warmtepompen een technische levensduur van 15 jaar hebben. Dit betekent dat in 2030 alle installaties geplaatst vóór 2016 vervangen zijn door een nieuw exemplaar.

2.2.3 Introductiescenario per woningsegment

Tabel 5 geeft een overzicht van het aantal geplaatste lucht/water warmtepompsystemen in vier perioden. Deze aantallen zijn afgeleid van de introductiescenario's beschreven in de vorige paragraaf. Door de veronderstelde technische levensduur van 15 jaar is de som van de kolommen in onderstaande tabel hoger dan in figuur 6. Alle installaties geplaatst vóór 2016 zijn in 2030 vervangen door een nieuw exemplaar.

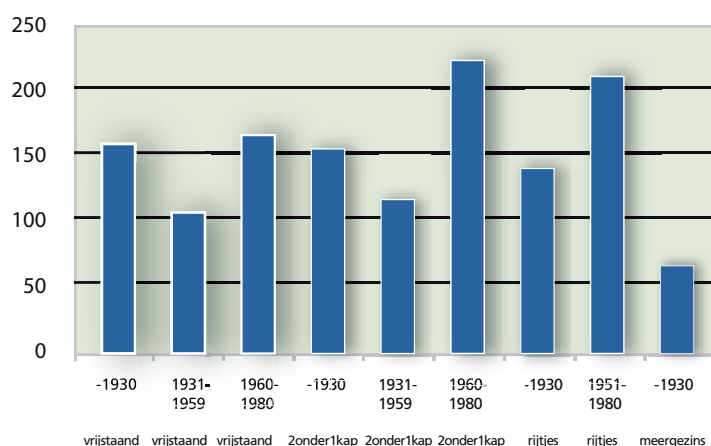
Tabel 5 Aantal geplaatste hybride lucht/water warmtepompen per periode

	Aantal geplaatste toestellen	
	Scenario 1	Scenario 2
2008-2010	18.000	10.000
2011-2015	340.000	182.000
2016-2020	1.000.000	535.000
2021-2030	2.980.000	1.479.400

Voor de bepaling van de energiebesparing- en CO₂-reductie van de warmtepomp wordt een uitrol methodiek gehanteerd die uitgaat van een maximalisatie van de besparing en de reductie. Dit betekent dat die woningsegmenten die de meeste besparing/reductie genereren het eerste gevuld worden.

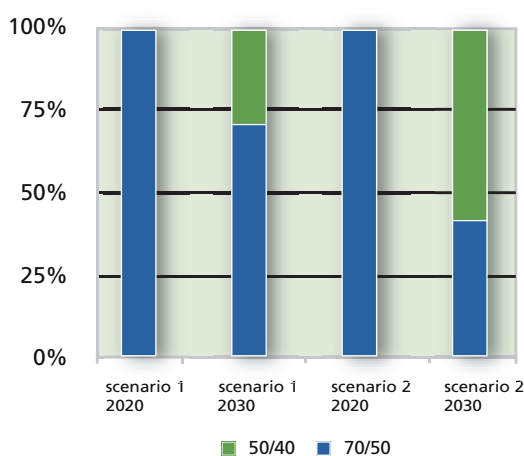
Figuur 7 laat zien dat dit vooral de woningen zijn met een hoge warmtevraag. Dat wil zeggen, de oudere vrijstaande- en 2 onder 1 kap woningen. In de praktijk zal de uitrol van de warmtepomp veel diffuser verlopen en zullen ook in andere typen woningen deze warmtepompen toegepast worden. Een potentiële markt vormt bijvoorbeeld de (sociale) huursector waar de technologie in combinatie met na-isolatie van de woningen technisch gezien in grote aantallen geplaatst kan worden door woningbouwcorporaties.

Figuur 7 Uitrol van de hybride lucht/water warmtepomp volgens scenario 1 (2008-2020)



In de periode 2020-2030 wordt in scenario 1 ruim 70% van de toestellen geplaatst in woningen gebouwd voor 2000 en 30% in woningen gebouwd na 2000. Voor scenario 2 ligt de verhouding precies andersom met percentages van respectievelijk 40% en 60% voor woningen gebouwd voor en na 2000. Woningen gebouwd na 2000 kunnen met geringe aanpassingen een 50/40 verwarmingssysteem aan (zie paragraaf 2.1.4) en kunnen daarmee relatief veel besparingen genereren ondanks de veel lagere warmtevraag in deze woningen.

Figuur 8 Aandeel 70/50 en 50/40 verwarmingssystemen in uitrol 2016-2020 en 2021-2030



Figuur 8 geeft de verhouding weer van het toegepaste verwarmingssysteem in de woningen waar de hybride lucht/water warmtepomp uitgerold wordt. Op basis van de tabel in paragraaf 2.1.4 kan afgeleid worden dat de vervangingsmarkt voor CV-installaties in '70/50 woningen' voldoende groot is om de hybride lucht/water warmtepomp toe te passen. Omdat deze woningen meer besparing genereren dan '90/70 woningen' (vanwege de hogere systeemprestatie), worden deze gekozen voor de eerste categorie om het potentieel te maximaliseren.

Ook hier geldt dat in de praktijk woningen met een 90/70 verwarmingsysteem de warmtepomp zullen toepassen. De '40/30 woningen' in tabel 2 zijn in 2030 nog niet aan vervanging van de bestaande installatie toe en zijn daarom niet meegenomen in de potentieelanalyse.

2.2.4 Technologische ontwikkeling warmtepomp

Het ligt in de lijn der verwachting dat door technologische ontwikkeling de COP (coëfficiënt of performance) van de warmtepomp in de loop van de tijd verbetert. Dit geldt zowel voor ruimteverwarming als voor verwarming van tapwater. In deze potentieelstudie wordt aangenomen dat de COP waarden op testcondities (EN14511) per zichtjaar toenemen zoals aangegeven met de factoren in tabel 6. Ten opzichte van de huidige situatie wordt dus een efficiency verbetering van 20% verwacht tot 2030.

Tabel 6 Geïndexeerde ontwikkeling COP-waarden voor ruimteverwarming en tapwater verwarming bij EN14511 testcondities

Jaartal	Factor
Huidige situatie	1.00
2010	1.05
2015	1.10
2020	1.15
2030	1.20

2.3 Referentiekader

2.3.1 Warmte

Om het besparingpotentieel te kunnen berekenen, wordt warmteopwekking door de lucht/water warmtepomp vergeleken met een referentietechnologie. Voor Nederlandse woningbouw is de Hr-(combi)ketel de meest gepaste referentie. De state-of-the-art in deze referentietechnologie is de Hr-107 combiketel. Het bijbehorende rendement wordt ontleend aan de nu geldende Energie Prestatie Normering NEN5128:2004¹³:

- ruimteverwarming 105% op onderwaarde (HT afgiftesysteem);
- warm tapwater 75% op onderwaarde (Hr ww label).

Gezien de geringe ruimte voor verbetering wordt het referentierendement voor ruimteverwarming constant gehouden voor de hele periode tot en met 2030.

Voor warm tapwater wordt wel rekening gehouden met een rendementsverbetering:

- 2010-2015 83% op onderwaarde;
- > 2015 89% op onderwaarde.

In de potentieelanalyse wordt zowel van de lucht/water warmtepomp als van de referentietechnologie de benodigde hulpenergie in beschouwing genomen.

Voor de Hr-ketel zijn deze gebaseerd op de forfaitaire waarden uit de NEN5128:2004:

- CV-ketel elektronica (0,88 x verwarmd gebruiksoppervlakte) kWh;
- CV-ketel ventilator (0,56 x verwarmd gebruiksoppervlakte) kWh;
- geregelde circulatiepomp (1,10 x verwarmd gebruiksoppervlakte) kWh.

Voor vrijstaande woningen wordt een verwarmd gebruiksoppervlak van 200 m² aangehouden. Voor 2 onder 1 kap- en hoekwoningen 150 m². Voor rijtjeswoningen en appartementen 80 m².

¹³ NEN 5128:2004, *Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode, 2004.*

¹⁴ 35 GJ / (35 GJ / 105% + (0,88 + 0,56 + 1,10) x 80 m² * 3.6 / 1000 / 50,5%). Zie Bijlage B voor de definitie van de SPF en paragraaf 2.3.2 voor het elektrisch referentierendement.

De SPF van een Hr-ketel voor een rijtjeswoning met 35 GJ ruimteverwarmingvraag bedraagt inclusief hulpenergie 1,01 (onderwaarde)¹⁴. Deze waarde kan vergeleken worden met de systeem SPFs van de hybride lucht/water warmtepomp zoals gepresenteerd in Tabel 3 (paragraaf 2.2.1).

2.3.2 Elektriciteit

Om het besparingpotentieel te kunnen berekenen moet ook een referentie worden vastgesteld voor de opwekking van elektriciteit. Deze referentie is essentieel omdat bij de overstap van gasketels naar hybride lucht/water warmtepompen op woningniveau een significante verschuiving plaatsvindt van aardgas naar elektriciteit.

De grootschalige introductie van elektrische warmtepompen in de woningbouw heeft zowel een effect op het aantal draaiuren van het bestaande centrale elektriciteitspark (operational margin) en de noodzaak om nieuw vermogen bij te bouwen (build margin).

In de beginfase zal het bestaande centrale elektriciteitspark het extra vermogen leveren door bij te regelen. De prestatie van de warmtepomp wordt dan overwegend bepaald door eigenschappen van de centrale die het extra vermogen levert. Dit wordt de operational margin genoemd. Als de penetratiegraad van de warmtepomp boven een bepaalde drempel komt, is bijregelen alleen niet meer voldoende en zal extra vermogen bijgebouwd moeten worden. De prestatie van de warmtepomp wordt nu bepaald door de eigenschappen van deze nieuwe centrale, die de build margin wordt genoemd. Ook kan sprake zijn van een combinatie van nieuw vermogen bijbouwen en het aantal draaiuren van bestaand vermogen veranderen (dit kan zowel een toename als een afname zijn). Een vanuit beleidsperspectief gangbare methode om het effect van een (toekomstige) optie te bepalen is het vergelijken met de zogeheten Best Available Technology (BAT). Feitelijk betekent dit dat er met de build margin wordt gerekend. Vanuit het perspectief van de beleidsmaker, die voor de keuze staat welke van een portfolio aan innovaties te stimuleren, is dit een juiste vergelijkingsbasis. Voor het maken van een prognose van de reële emissiereductie ligt echter een benadering uitgaande van operational margin én build margin het meest voor de hand.

Wanneer het omslagpunt van de operational margin naar de build margin plaatsvindt, hangt af van hoeveelheid hybride lucht/water warmtepompen die op de markt komt en het bijbehorende elektrische vermogen. In paragraaf 2.2.2 worden de gehanteerde introductiescenario's voor de hybride lucht/water warmtepomp beschreven. Gegeven deze aantallen en een geschat typisch warmtepompvermogen van 0,2-1,5 kWe ligt het omslagpunt rond zichtjaar 2020.

Hoe de verhouding tussen operational en build margin in de praktijk ligt, is niet met zekerheid te voorspellen en is bovendien afhankelijk van het gekozen scenario. In deze studie is om wille van de transparantie gekozen voor operational margin tot en met 2020 en build margin voor 2030.

Het meest waarschijnlijk is dat de operational margin wordt bepaald door gasgestooktcentrales. Hierbij hoort een emissiefactor tussen de 325 en 430 gram CO₂ per kWh, met als middenwaarde 385 gram CO₂ / kWh bij een elektrisch rendement van 52,5% ofwel 50,5% (onderwaarde) bij de gebruiker, rekening houdend met 3,9% transport -en distributieverlies.

Voor de build margin wordt gekeken naar de BAT. Voor 2030 wordt voor de BAT een onderscheid gemaakt naar twee scenario's: een beperkte of ambitieuze CO₂-reductiedoelstelling. In beide gevallen wordt uitgegaan van regelbaar fossiel vermogen.

In een scenario met een beperkte reductiedoelstelling is de BAT een gasgestookte STEG-centrale. Dit type centrale heeft een emissiefactor tussen de 300 en 350 gr CO₂ / kWh met een middenwaarde van 325 gr CO₂ / kWh bij een rendement van 62% ofwel 59,6% (onderwaarde) bij de gebruiker, rekening houdend met 3,9% transport -en distributieverlies.

In een scenario met een ambitieuze reductiedoelstelling, zullen nieuwe fossiele centrales zijn voorzien van CCS (Carbon Capture & Storage)¹⁵. Gekozen is om als BAT een state-of-the-art kolengestookte centrale (Integrated Gasification Combined Cycle) te nemen voorzien van CO₂-afvang en -opslag (CCS). De emissiefactor van deze nieuwe centrale gebouwd rond 2030 ligt globaal tussen de 90 en 150 gr CO₂ / kWh met als middenwaarde 120 gr CO₂ / kWh bij een rendement van 43%¹⁶ ofwel 41,3% (onderwaarde) bij de gebruiker, rekening houdend met 3,9% transport -en distributieverlies. Onderstaande tabel geeft een samenvatting van bovenstaande referentiewaarden voor centrale elektriciteitsopwekking, uitgaande van rendementen 'bij gebruiker'.

Tabel 7 Referentiewaarden voor centrale elektriciteitsopwekking 'bij gebruiker'

	t/m 2020	2030, beperkte CO ₂ -doelstelling	2030, ambitieuze CO ₂ -doelstelling
Emissiefactor [gram CO ₂ / kWh]	385 (325-430)	325 (300-350)	120 (90-150)
Elektrisch rendement [% , onderwaarde]	50,5%	59,6%	41,3%

¹⁵ Technisch gezien is kolenvergassing met CCS eenvoudiger en daarmee eerder beschikbaar. Ook de huidige bewegingen in de markt zijn gericht op kolenvergassing. Daarnaast geldt dat de voorraden van kolen relatief groot zijn.

¹⁶ ECN, Impact of Carbon Capture and Storage on future electricity prices in North Western Europe - Results of a regional analysis 2010-2030 (in voorbereiding).

3 Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp geanalyseerd voor de periode 2010-2030 op basis van uitgangspunten zoals vastgelegd in hoofdstuk 2. De potentiëlen voor ruimteverwarming en warm tapwater worden apart gepresenteerd. Daarnaast wordt in paragraaf 3.3 het effect van 'low carbon' elektriciteitsopwekking op het CO₂-reductiepotentieel van de warmtepomp geanalyseerd en geeft paragraaf 3.4 inzicht in het effect van na-isolatie op het reductiepotentieel.

3.2 Potentieel 2010-2030

3.2.1 Ruimteverwarming

Figuur 9 en Figuur 10 laten de ontwikkeling van het energiebesparing- en CO₂ reductiepotentieel zien voor de periode 2010-2030. De omvang van het potentieel wordt door een aantal parameters bepaald:

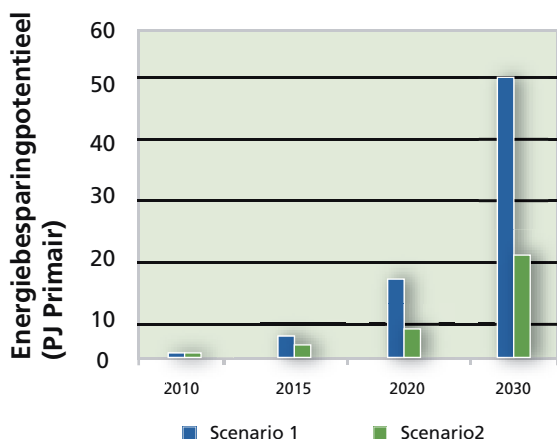
- het aantal geplaatste installaties;
- de ontwikkeling/reductie van de warmtevraag van de woningvoorraad;
- de verschuiving naar lagere afvoer- en aanvoertemperaturen (hogere SPF en hoger dekkingspercentage warmtepomp);
- de technologische ontwikkeling van de warmtepomp (hogere SPF);
- de ontwikkeling van de efficiency/ CO₂-emissiefactor van centrale elektriciteitproductie.

Hierbij geldt dat het effect van de eerste drie punten (2 en 3 gecombineerd) het grootst is. Het verschil tussen scenario 1 en 2 wordt voornamelijk bepaald door het verschil in aantal geplaatste installaties.

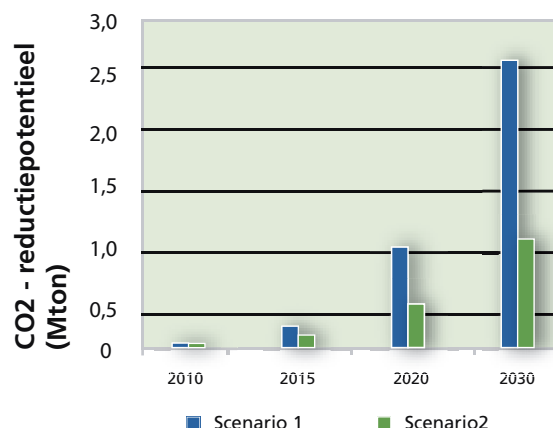
In 2020 wordt, afhankelijk van het scenario, 9 tot 18 PJ energie bespaard en bedraagt het CO₂-reductiepotentieel 0,6 tot 1,1 Mton. In 2030 groeien deze getallen aan tot respectievelijk 21 tot 50 PJ besparing en 1,2 tot 2,6 Mton CO₂-reductie. De sterke groei na 2020 wordt verklaard door de veronderstelde grote aantallen geplaatste installaties per jaar.

De cijfers houden geen rekening met additionele vermindering van de warmtevraag bovenop de al veronderstelde daling van de warmtevraag in het GE-scenario (zie bijlage A). In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de mogelijke effecten op het CO₂-reductiepotentieel van de warmtepomp door intensievere warmtevraagvermindering.

Figuur 9 Primaire energiebesparing hybride lucht/water warmtepomp voor ruimteverwarming



Figuur 10 CO₂-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp voor ruimteverwarming

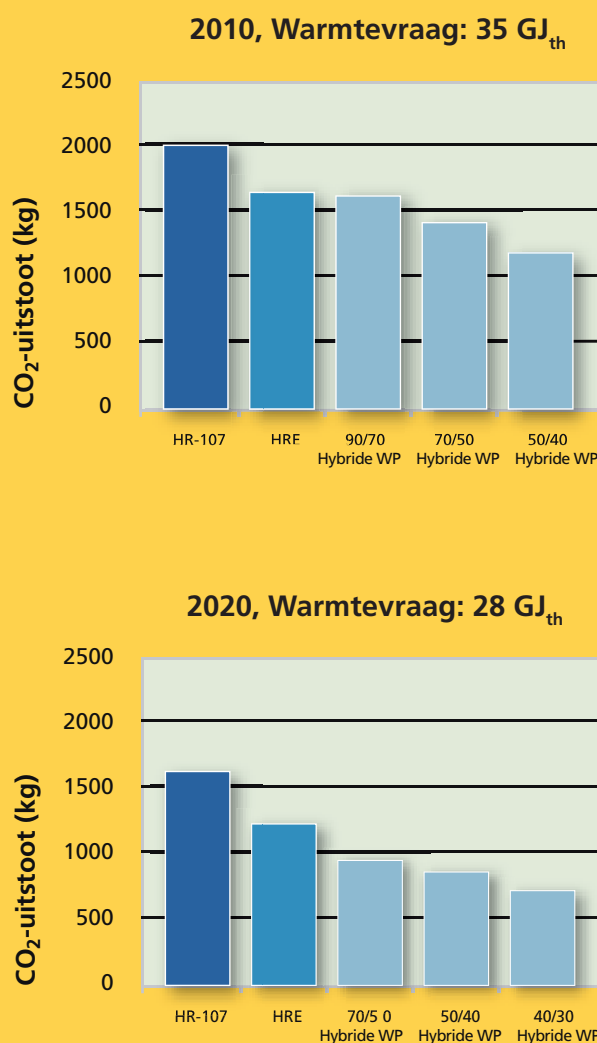


In het voorbeeld hieronder wordt de CO₂-uitstoot van de hybride lucht/water warmtepomp voor twee zichtjaren (2010, 2020) vergeleken met de uitstoot van een Hr-ketel en een HRE-ketel. De figuren in de tekstbox laten duidelijk zien dat de hybride warmtepomp sterk profiteert van lagere afgiftetemperaturen in de woning.

Voorbeeld case:

De rijtjeswoning gebouwd tussen 1960 en 1980 vormt met een aantal van bijna 700 duizend samen met de 2 onder 1 kap woning uit dezelfde bouwperiode het grootste woningsegment in Nederland. In figuur 11 wordt de totale CO₂-uitstoot van een hybride warmtepomp in dit type woning vergeleken met een Hr-107 ketel en een microWKK (HRE). Het gebruik van hulpenergie is bij alle systemen meegenomen in de berekening. In 2010 kan met een hybride warmtepomp op jaarbasis tussen 0,3 en 0,9 ton CO₂ vermeden worden (afhankelijk van de afgiftetemperatuur die in de woning gerealiseerd kan worden) ten opzichte van een HR-107 ketel, in 2020 kan dit voor individuele woningen oplopen tot een besparing van 0,7 tot 0,9 ton.

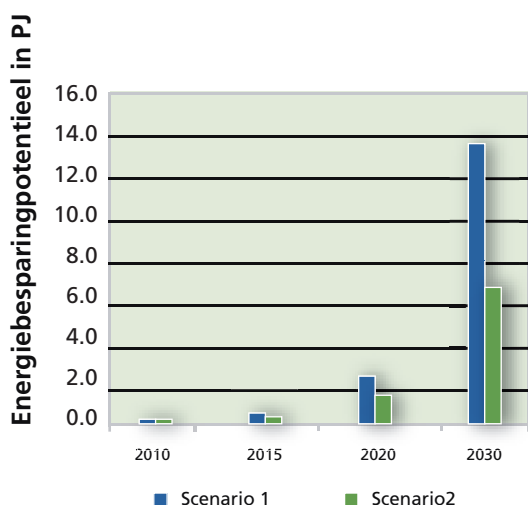
Figuur 11 De gemiddelde koolstofdioxide uitstoot van de hybride warmtepomp bij drie afgiftetemperaturen vergeleken met een HR-107 en een HRE, voor een rijtjeswoning gebouwd tussen 1960 en 1980



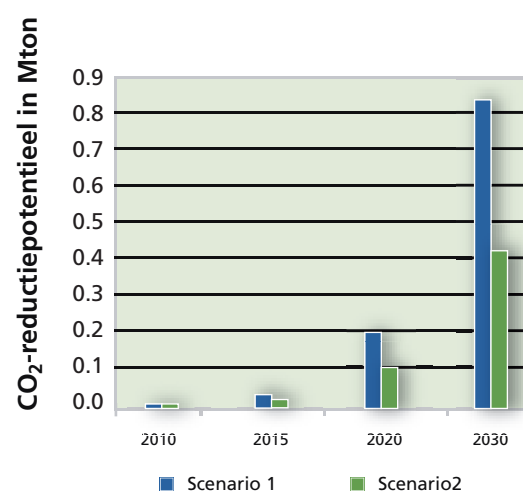
3.2.2 Warm tapwater

Figuur 12 laat de ontwikkeling van het energiebesparingpotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp zien voor de periode 2010-2030. Op basis van informatie van de fabrikanten wordt verondersteld dat na 2015 ook het warm tapwater (deels) door de warmtepomp wordt geproduceerd. In 2030 omvat het energiebesparingpotentieel 7 tot 14 PJ.

Figuur 12 Energiebesparingpotentieel lucht/water warmtepomp voor tapwater verwarming



Figuur 13 CO₂-reductiepotentieel van de lucht/water warmtepomp voor tapwater verwarming



Figuur 13 geeft het CO₂-reductiepotentieel voor tapwater verwarming. In 2030 bedraagt het reductiepotentieel in scenario 1 ruim 0,8 Mton en in scenario 2 meer dan 0,4 Mton.

3.2.3 Totaal potentieel

In scenario 1 zijn in 2020 ruim 1,3 miljoen en in 2030 bijna 4 miljoen hybride lucht/water warmtepompen geplaatst. In scenario 2 zijn dat er respectievelijk ruim 700 duizend (2020) en ruim 2 miljoen (2030). Onderstaande tabellen geven een overzicht van de energiebesparing en CO₂-reductie die met deze installaties gerealiseerd kan worden. De cijfers in de tabellen zijn gebaseerd op de ontwikkeling van de warmtevraag in het GE-scenario en houden geen rekening met het effect op na-isolatie (zie hiervoor paragraaf 3.4).

Tabel 8 Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in 2020

	Scenario 1		Scenario 2	
	Energiebesparing [PJ primair]	CO ₂ -reductie [Mton]	Energiebesparing [PJ primair]	CO ₂ -reductie [Mton]
Ruimteverwarming	18,0	1,1	9,3	0,6
Warm tapwater	3,0	0,2	1,6	0,1
Totaal	21,0	1,3	10,9	0,7

Tabel 9 Energiebesparing- en CO₂-reductiepotentieel hybride lucht/water warmtepomp in 2030

	Scenario 1		Scenario 2	
	Energiebesparing [PJ primair]	CO ₂ -reductie [Mton]	Energiebesparing [PJ primair]	CO ₂ -reductie [Mton]
Ruimteverwarming	50,3	2,6	21,0	1,2
Warm tapwater	13,7	0,8	6,9	0,4
Totaal	64,0	3,4	27,9	1,6

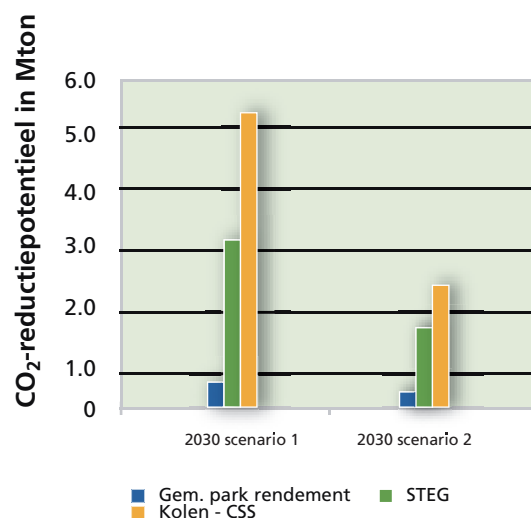
In 2020 kan dus 0,7-1,3 Mton CO₂ gereduceerd worden naast 11 tot 21 PJ energiebesparing. In 2030 lopen deze percentages op tot 1,6 tot 3,4 Mton CO₂ en 28-64 PJ energiebesparing.

Huishoudens zullen naar verwachting in 2020 ca. 9,7 miljard m³ gas voor verwarming verbruiken en in 2030 ca. 10 miljard m³.¹⁷ Dit komt overeen met respectievelijk 17,4 (2020) en 18,0 (2030) Mton directe CO₂-emissies. Door toepassing van de hybride lucht/water warmtepomp kan dus 4 tot 7% (2020), respectievelijk 9 tot 19% (2030) van deze CO₂-emissies gereduceerd worden.

3.3 Effect 'low-carbon' elektriciteitsopwekking

Omdat door toepassing van de hybride lucht/water warmtepomp een verschuiving plaatsvindt van aardgasverbruik naar elektriciteit heeft de CO₂-emissiefactor van elektriciteit grote invloed op het reductiepotentieel. Wanneer gerekend wordt met de emissiefactor van het huidige (fossiel gestookte) elektriciteitspark (ca. 600 gr CO₂/kWh), dan is het reductiepotentieel voor 2030 lager dan berekend in voorgaande paragrafen op basis van een efficiënte STEG centrale, zie figuur 14. Verduurzaming van het elektriciteitspark heeft daarentegen een positief effect op de CO₂-prestatie van de warmtepomp. Figuur 14 laat zien dat in het hoge scenario het 2030 CO₂-reductiepotentieel van de lucht/water warmtepomp stijgt van 3,4 Mton tot 5,4 Mton indien gerekend wordt met de emissie factor van een kolencentrale met CO₂-afvang en opslag (emissie factor 120 gr CO₂/kWh).

Figuur 14 Effect van de CO₂-emissiefactor voor elektriciteit op het CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp voor ruimteverwarming



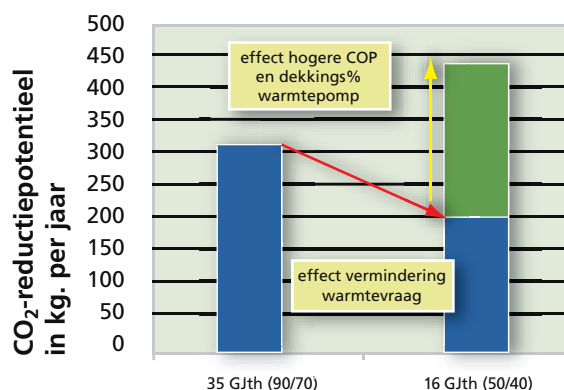
3.4 Effect van na-isolatie

Het toepassen van efficiëntere conversietechnologieën zoals de hybride lucht/water warmtepomp is een belangrijke stap om het energieverbruik van bestaande woningen terug te dringen.

Een net zo belangrijke stap is het verminderen van de warmtevraag zelf door middel van bijvoorbeeld na-isolatie en warmteterugwinning. Een vermindering van de warmtevraag zorgt dat er in absolute zin minder te besparen valt bij de productie van warmte. Echter, wanneer na-isolatie betekent dat de (ontwerp)afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem omlaag kan (dit is bijvoorbeeld mogelijk indien de radiatoren niet vervangen worden omdat deze dan overgedimensioneerd zijn), dan verbetert de relatieve prestatie van de warmtepomp (hogere COP) en neemt het dekkingspercentage toe.

In deze paragraaf onderzoeken we het effect van na-isolatie voor het CO₂-reductiepotentieel van een typische rijtjeswoning gebouwd in de periode 1960-1980. De ruimteverwarmingvraag van deze woning bedraagt gemiddeld 35 GJ_{th} per jaar. We veronderstellen dat in deze woning al eerder enkele maatregelen zijn getroffen (bijvoorbeeld dubbel glas), maar dat de afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem niet verlaagd kan worden (dus 90-70°C). De woning wordt nu grondig aangepakt (HR++ glas, dak- en vloerisolatie) waardoor de warmtevraag daalt naar 16 GJ_{th}/jaar en vergelijkbaar is met een moderne woning. De radiatoren worden niet vervangen waardoor het nu mogelijk is de afgifte- en aanvoertemperatuur van het verwarmingssysteem te verlagen naar 50-40°C. Het effect op het CO₂-reductiepotentieel wordt weergegeven in figuur 15.

Figuur 15 Effect van na-isolatie / verlaging afgifte/aanvoertemperatuur op het CO₂-reductiepotentieel van de hybride lucht/water warmtepomp (t.o.v. Hr-ketel) voor een gemiddelde rijtjeswoning gebouwd tussen 1960 en 1980



De figuur laat het effect zien van na-isolatie waardoor de warmtevraag in de woning daalt en als gevolg daarvan het reductiepotentieel afneemt (blauwe balken). Daarnaast laat de figuur zien dat door de hogere COP en het hogere dekkingspercentage van de warmtepomp (beide vanwege de verlaging van de afgifte- en aanvoertemperatuur) het totale CO₂-reductiepotentieel van de warmtepomp toch groeit (gcombineerde rode/blauwe balk).

In onderstaande tekstbox is het effect van na-isolatie op het besparingpotentieel van woningbouwcorporaties bepaald.

Besparingpotentieel woningbouwcorporaties 2010-2020

Het Rijk wil met het programma 'Meer met Minder' bereiken dat in 2020 2,4 miljoen woningen en kantoren minimaal energielabel B hebben, of dat deze twee energieklassen zijn gestegen. Verder hebben de twee ministers van VROM een convenant met de woningbouworganisaties ondertekend met, onder andere, als doel in de bestaande bouw 20 procent gas te besparen in de komende 10 jaar. De woningbouwcorporaties beheren en verhuren gezamenlijk ongeveer 35 procent van de woningvoorraad in Nederland. Na-isolatie van alle sociale huurwoningen gebouwd voor 1995* heeft een CO₂-reductiepotentieel van 1 tot 2 Mton (Ecofys 2005, Kosteneffectieve energiebesparing en klimaatbescherming). Als de woningbouwcorporaties ca. 80% van hun woningbestand met individuele centrale verwarming (dit is getalsmatig in lijn met scenario 1) na na-isolatie zouden uitrusten met een hybride lucht/water warmtepomp, kan in 2020 een extra (bovenop het na-isolatie potentieelbesparingpotentieel van 10 PJ en een CO₂-reductiepotentieel van 0,6 Mton worden gerealiseerd.

** Voornamelijk appartementen, meergezins-, rijtjes- en twee-onder-1-kapwoningen. Alleen woningen met een individuele centrale verwarming zijn meegenomen in deze analyse.*

3.5 Effect op lokale elektriciteitsnet

Inpassing van elektrische warmtepompen in een bestaande woning resulteert in een significante toename van het elektriciteitsverbruik ten opzichte van de referentiesituatie. Wanneer de warmtepomp grootschalig op wijkniveau ingepast wordt, leidt dit tot een sterke toename van de lokale elektriciteitsvraag. Door relatief hoge gelijktijdigheid van het in bedrijf komen van warmtepompen kan dit resulteren in sterke pieken in het net. In deze potentieelstudie is dit aspect (en mogelijke oplossingen als intelligente sturing van de warmtepomp, of combinatie van warmtepomp en microWKK in de wijk) niet onderzocht.

3.6 Hoe past de hybride lucht/water warmtepomp in de brede energietransitie?

Binnen de energietransitie wordt ingezet op verschillende paden om een verduurzaming van de energievoorziening te realiseren. De energietransitie in de bestaande bouw richt zich op twee belangrijke pijlers: warmtevraagreductie en efficiëntere omzetting. Daarnaast wordt ook gestreefd naar verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening. In de paragrafen 3.3 en 3.4 hebben we laten zien dat de prestatie van de hybride lucht/water warmtepomp versterkt wordt door ontwikkelingen op het gebied van na-isolatie en verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening. De hybride lucht/water warmtepomp lijkt daarmee een robuuste CO₂-reductieoptie voor de bestaande woningbouw.

4 Effect op de energierekening

4.1 Inleiding

Een belangrijk argument voor een consument om te investeren in een efficiënter verwarmingstoestel is de besparing op de energiekosten. Hoe groter de jaarlijkse besparing, hoe sneller een nieuw apparaat is terugverdiend. Bij een Hr-ketel is de som simpel: de rendementsverbetering van de nieuwe ketel vertaalt zich 1 op 1 door in een verlaging van de gasrekening. Een elektrisch aangedreven lucht/water warmtepomp vergt meer rekenwerk: de gasrekening wordt verlaagd doordat de warmtepomp een deel van de warmtelevering van de ketel overneemt. Tegelijkertijd wordt een hogere elektriciteitsrekening betaald omdat de warmtepomp zorgt voor extra elektriciteitsverbruik. Of deze som resulteert in een verlaging van de energierekening hangt af van twee belangrijke factoren (zie ook het rekenvoorbeeld):

- de COP van de compressor versus de efficiency van de referentieketel;
- de verhouding tussen de gas- en elektriciteitsprijs.

Rekenvoorbeeld 4.1:

1 m³ aardgas levert met een efficiënte Hr-ketel $1 \times 31,65 \times 105\% = 33,2$ MJ warmte. In 2008 (gemiddelde eerste drie kwartalen) was de aardgasprijs voor kleinverbruikers 70,4 ct/m³ en de elektriciteitsprijs 25,5 ct/m³ (inclusief BTW en energiebelasting, bron CBS) Uitgaande van gelijke energiekosten mag de warmtepomp maximaal 2,8 kWh gebruiken om de 33 MJ warmte op te wekken ($1 \text{ m}^3 \times 70,4 \text{ ct/m}^3 / 25,5 \text{ ct/kWh} = 2,8 \text{ kWh}$).

Dit betekent dat de COP van de warmtepompcompressor- in dit rekenvoorbeeld - minimaal 3,3 moet bedragen ($33 \text{ MJ} / 3,6 \text{ kWh/MJ} / 2,8 \text{ kWh} = 3,3$).

4.2 Prijsscenario

De kosten van energie variëren in de loop van de tijd. Gezien recente ontwikkelingen op de energiemarkt is door ECN eind 2008 een update gemaakt van de prijzen in het GE scenario. De geüpdate prijzen hebben voor de brandstofprijzen op de wereldmarkt het PRIMES scenario (ontwikkeld voor EU beleid) als uitgangspunt. Elektriciteitsprijzen zijn doorgerekend met nationale modellen (en zijn afhankelijk van het Nederlands productiepark, CO₂-prijzen en belastingen). Onderstaande tabel toont de prijzen voor kleingebruikers. Over de periode 2010-2030 bedraagt de gemiddelde gasprijs 67,4 ct/ m³ en de elektriciteitsprijs 27,1 ct/kWh.

In het prijsscenario op de volgende pagina wordt de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs iets ongunstiger dan deze in 2005 was, waarbij opgemerkt dat de verhouding momenteel (2008) met 2,76 nog gunstiger is. Dit laatste is het effect van de olieprijsstijging die in de zomer van 2008 recordhoogte bereikte. Dat de prijs voor elektriciteit in het scenario relatief harder stijgt dan gas komt door een veronderstelde stijging van de CO₂-prijs die door de energiebedrijven wordt doorberekend in de elektriciteitstarieven. Dit effect wordt deels gedempt door aanbouw van nieuw vermogen dat efficiënter kan produceren.

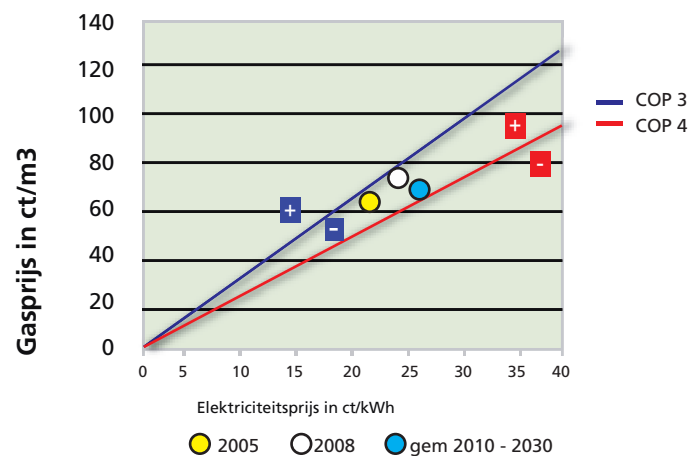
Tabel 10 Energieprijzen kleinverbruikers (in 2008 euro's, inclusief BTW) volgens 'update GE hoge prijs' scenario

	2005	2010	2015	2020	2030	Gem. 2010-2030
Aardgas [ct/m ³]	62,4	65,5	66,5	67,9	68,5	67,4
Elektriciteit [ct/kWh]	23,4	26,9	27,1	27,7	27,3	27,1
Verhouding gas-elektriciteit	2,67	2,43	2,45	2,45	2,51	2,58

4.3 Investeringsruimte voor de hybride lucht/water warmtepomp

Of de energierekening hoger of lager uitvalt dan in de referentiesituatie is dus enerzijds afhankelijk van de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs en anderzijds van de prestatie van de warmtepompcompressor. In figuur 16 is voor twee verschillende COPs een 'break-even lijn voor gelijke energiekosten' weergegeven. Iedere lijn geeft de verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs waarbij de energierekening voor verwarming gelijk is aan de referentiesituatie (verwarming met een Hr-ketel). Indien de werkelijke verhouding van de prijzen boven de desbetreffende lijn zit, dan is de energierekening bij die specifieke COP lager dan in de referentiesituatie. Omgekeerd betekent een ongunstige verhouding tussen gas- en elektriciteitsprijs dat de energierekening hoger uitvalt. In de figuur zijn de prijsratio's van gas- en elektriciteit voor 2005 en 2008 en de gemiddelde prijsratio voor de periode 2010-2030 opgenomen. Een warmtepomp met een compressor COP van 4 levert bij alle drie de prijsverhoudingen een lagere energierekening op ten opzichte van de referentiesituatie.¹⁷

Figuur 16 'Break-even lijn gelijke energiekosten' t.o.v. referentiesituatie (Hr-ketel) voor verschillende warmtepomp COPs

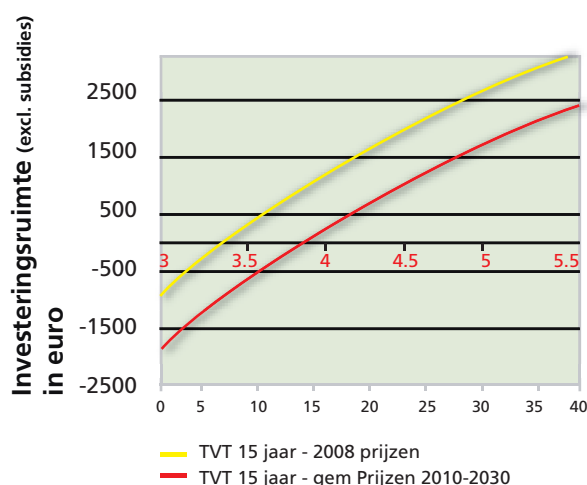


Wanneer kostenbesparing het argument is om te investeren in een hybride lucht/water warmtepomp is het zaak met de jaarlijkse besparing op de energierekening de meerinvestering in de warmtepomp (ten opzichte van de referentiesituatie) binnen een vastgestelde periode terug te verdienen. Is de jaarlijkse besparing op de energierekening bijvoorbeeld €50,- en de gewenste terugverdientijd 10 jaar¹⁸, dan is de maximale meerinvestering voor een hybride lucht/water warmtepomp €500,- ten opzichte van de referentiesituatie.¹⁹ De maximale meerinvestering wordt ook wel de investeringsruimte genoemd.

¹⁷ Bij 2005 prijzen ligt de break-even bij een COP van 3,5, bij 2008 prijzen bij een COP van 3,3 en bij de gemiddelde prijzen voor de periode 2010-2030 bij een COP van 3,7

Figuur 17 geeft voor een woning met 30 GJ ruimteverwarmingvraag, waarvan 80% gedekt door de warmtepomp en de overige 20% door een Hr-ketel²⁰, inzicht in de investeringsruimte bij de huidige energieprijzen (2008) en de gemiddelde energieprijs voor de periode 2010-2030. De figuur laat zien dat de investeringsruimte toeneemt naarmate de COP van de compressor toeneemt. De berekende investeringsruimte is exclusief de investeringssubsidie van €1000,- (maximaal) die momenteel via SenterNovem verkregen kan worden. Een investeringsruimte van € 500,- in de figuur betekent dus dat de additionele kosten van het systeem maximaal € 500,- exclusief subsidie en € 1500,- inclusief subsidie zouden mogen bedragen om een terugverdientijd van 15 jaar te realiseren. Een negatieve investeringsruimte betekent dat de warmtepomp niet binnen 15 jaar terug te verdienen is. De figuur laat zien dat de gemiddelde energieprijzen voor 2010-2030 ten opzichte van de huidige prijzen een ongunstig effect hebben op de beschikbare investeringsruimte van de warmtepomp.

Figuur 17 Investeringsruimte hybride lucht/water warmtepomp t.o.v. de referentiesituatie bij een ruimteverwarmingvraag van 30 GJ en 80% dekkingspercentage van de warmtepomp (excl. subsidie)



4.4 Effect van na-isolatie

De prestatie van de warmtepomp wordt beïnvloed door de afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem. Hoe beter een woning geïsoleerd is, hoe lager de afgiftetemperatuur kan zijn die nodig is om een woning comfortabel te verwarmen. De prestatie van hybride lucht/water warmtepompen in bestaande woningen wordt positief beïnvloed door na-isolatie (aangenomen dat de bestaande radiatoren niet vervangen worden). Het effect van na-isolatie is daardoor vierledig:

- een lagere warmtevraag;
- een hogere jaarprestatie van de warmtepomp;
- een hogere dekkingsgraad van de warmtepomp;
- een lager vermogen van de warmtepomp.

Door een woning na te isoleren daalt de warmtevraag en dus de energierekening. Voor de Hr-ketel en HRE-ketel betekent een lagere warmtevraag een verslechterde economie van het apparaat omdat het steeds moeilijker wordt de meerinvestering terug te verdienen. Voor de warmtepomp is dit niet per definitie het geval als gevolg van bovenstaande effecten. Het kan zelfs zo zijn dat de economie van de warmtepomp verbetert door toepassing van na-isolatie (zie rekenvoorbeeld op de volgende pagina).

¹⁸ Dit is de zogenaamde simpele terugverdientijd waarbij geen rekening wordt gehouden met rentepercentages.

¹⁹ Voor systemen met elektrische bijstook is de investeringsruimte € 500 + de prijs van een Hr-ketel omdat in dit geval geen Hr-ketel aangeschaft hoeft te worden.

²⁰ In deze situatie ligt elektrische bijstook vanuit energetisch oogpunt niet voor de hand.

Rekenvoorbeeld 4.2:

Een typische rijtjeswoning gebouwd tussen 1960 en 1980 heeft een gemiddelde ruimteverwarmingvraag van $35 \text{ GJ}_{\text{th}}$ in 2010 (zie ook rekenvoorbeeld in paragraaf 3.4). Verondersteld wordt dat de afgiftetemperatuur in de woning niet verlaagd kan worden bij toepassing van een lucht/waterwarmtepomp in combinatie met een Hr-ketel (dus $90/70^\circ\text{C}$). Door een grondige aanpak van de woning (HR++ glas, dak- en vloerisolatie) daalt de warmtevraag naar $16 \text{ GJ}_{\text{th}}$. De radiatoren worden niet vervangen waardoor de woning lage temperatuurverwarming ($50/40^\circ\text{C}$) aankan. De jaarprestatie van het systeem (warmtepomp + ketel) stijgt van 1,2 naar 1,5, waardoor het systeem een additionele gasbesparing realiseert van 50 m^3 per jaar en per saldo bijna 70 kWh minder elektriciteit verbruikt.

Bij 2008 gas- en elektriciteitsprijzen van $70,4 \text{ ct/m}^3$ en $25,5 \text{ ct/kWh}$ is de energierekening voor deze woning in 2010 € 8,- per jaar lager dan in de referentiesituatie. Als gevolg van de na-isolatie (en daardoor de betere prestatie en hogere dekkingsgraad van de warmtepomp) wordt nu € 56,- per jaar bespaard. Per saldo profiteert de economie van de warmtepomp dus van het na-isoleren van de woning.

Bijlage A Ontwikkeling woningbestand en ruimteverwarmingvraag

Tabel 12 Aantallen woningen (per type en bouwjaar) en bijbehorende ruimteverwarmingvraag voor de periode 2000 tot en met 2030

2000	Vrijstaande woning		2o1 kap woning		Rijtjes woning		Meergezins woning		Totaal
	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	GJ _{th}
-1930	212	59	208	45	179	44	180	38	46,8
1931-1959	148	51	328	40	207	37	207	32	39,3
1960-1980	245	58	684	41	657	40	245	33	41,6
1981-1995	164	34	468	26	404	27	343	26	27,2
>1995	103		63		73		89		20

2010	Vrijstaande woning		2o1 kap woning		Rijtjes woning		Meergezins woning		Totaal
	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	GJ _{th}
-1930	233	54	226	40	204	37	221	35	41,8
1931-1959	156	47	355	37	236	32	269	30	35,4
1960-1980	252	54	694	38	682	35	274	30	38,0
1981-1995	164	33	467	25	404	25	335	24	25,7
>1995	343		206		237		326		16

2015	Vrijstaande woning		2o1 kap woning		Rijtjes woning		Meergezins woning		Totaal
	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	GJ _{th}
-1930	236	51	229	38	209	35	225	34	39,8
1931-1959	157	46	359	35	242	31	285	29	33,8
1960-1980	253	52	694	36	686	34	279	29	36,4
1981-1995	164	32	467	24	403	24	330	23	24,5
>1995	514		307		353		477		15

2020	Vrijstaande woning		2o1 kap woning		Rijtjes woning		Meergezins woning		Totaal
	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	x1000	GJ _{th}	GJ _{th}
-1930	238	49	230	36	213	32	224	32	37,9
1931-1959	157	44	359	34	245	27	295	27	32,4
1960-1980	253	50	693	35	688	28	281	28	34,8
1981-1995	163	30	466	23	403	22	326	22	23,6
>1995	667		399		459		620		15

Voor 2030 is alleen het onderscheid "bouwjaar voor en na 2000" beschikbaar (WLO studie):

2030	Gemiddelde woning	
	x1000	GJ _{th}
-2000	5288	28
>2000	3130	17

Bijlage B Definitie SPF

De SPF (seasonal performance factor) voor ruimteverwarming is in dit rapport voor het hele systeem (warmtepomp en gas- of elektrische bijstook) gedefinieerd als de verhouding van de jaarlijks geleverde ruimteverwarming en de som van benodigde elektriciteit en aardgas ten behoeve van de warmtepomp, de bijstook en de hulpenergie.

In formulevorm:

$$\text{SPF} = \frac{Q_{rv}}{Q_{\text{elektrisch}} + Q_{\text{aardgas}}}$$

met hierin Q_{rv} de jaarlijks geleverde ruimteverwarming, $Q_{\text{elektrisch}}$ de jaarlijks aangevoerde elektriciteit ten behoeve van verwarmen, comprimeren, pompen, schakelen etc. en Q_{aardgas} de jaarlijks aangeleverde hoeveelheid energie aan aardgas, waarbij in dit rapport is aangehouden dat 1 m³ NL aardgas = 31,65 MJ. $Q_{\text{elektrisch}}$ wordt teruggerekend naar primaire energie op basis van het veronderstelde referentierendement voor elektriciteit (zie paragraaf 2.3.2). De warmte onttrokken uit de lucht via de warmtepomp is (uiteraard) niet meegenomen in de formule en beschouwd als de 'gratis' warmte.

De SPF voor de warmtepomp is berekend op basis van de benodigde compressorenergie inclusief ventilatorenergie voor luchtverplaatsing over de verdamper, elektronica-energie en de distributiepompenergie aan de afgiftezijde (zowel distributie door de condensor als het afgiftesysteem in de woning). Hierbij zijn de elektronica-energie, compressorenergie en ventilatorenergie bepaald op basis van de gegeven COP-waarden bij bepaalde bedrijfscondities via gegevens van fabrikanten op basis van EN14511 en EN255 metingen. De distributiepompenergie is bepaald op de aangegeven waarde distributiepompenergie in de NEN5128 : $Q_{\text{distributiepomp}}$ [kWh] = 1,1 x Ag [m²]. Hierbij is deze energiepost naar rato van de totale geleverde energie verdeeld over de warmtepomp en het bijstookelement (Hr-ketel of elektrische heater).

De SPF voor de Hr-ketel is berekend aan de hand van de hoeveelheid jaarlijks geleverde aardgas voor verbranding inclusief de benodigde jaarlijkse elektrische energie voor de ventilator bij de verbrander, elektronica-energie en distributiepompenergie (zie ook alinea hierboven). Hierbij is een ketel verondersteld met een vast rendement ($\eta \equiv (Q_{rv} / Q_{\text{aardgas}})$) van 105% op onderwaarde van gas voor zowel LTV als HTV systemen.

De SPF voor de elektrische heater is bepaald op basis van de toegevoerde elektrische energie voor verwarming via elektrische heaters inclusief de noodzakelijk distributiepompenergie aan de afgiftezijde (bepaald op basis van de aangegeven waarden in de NEN5128).

Bijlage C Ruimteverwarming met lucht/water warmtepompen

Voor deze studie zijn een aantal typen lucht/water warmtepompen voor ruimteverwarming beschouwd voorzien van een bijstookelement. De bijstook kan verzorgd worden door een Hr-ketel (systeem A, B, C, D), dan wel een elektrische verwarmingsunit (systeem E, F, G, H). Het debiet over het afgiftesysteem is, in geval van bedrijf, constant en niet-modulerend. De warmtepomp voorziet in eerste instantie in het gevraagde vermogen, de Hr-ketel dan wel de elektrische verwarmingsunit springt bij indien nodig. De verwarmingsvraag start (m.u.v. de maanden juni/juli/augustus) bij buitentemperaturen lager dan 17°C. Het vermogen wordt berekend op basis van de graaduren methode van het jaar 1964-1965 en de gegeven jaarwarmtevraag voor de woning. Hierbij is in alle gevallen verondersteld dat het afgiftesysteem 20% hogere afgiftevermogens heeft dan het benodigde berekende vermogen bij $T_{\text{buiten}} = -10^{\circ}\text{C}$ in het jaar 2000. Dit type afgiftesysteem wordt in de tijd gelijk verondersteld.

De (geregelde) circulatiepomp voor het afgiftesysteem functioneert voor beide verwarmers (WP en bijstook). Het elektrisch jaarverbruik wordt voor deze studie bepaald op basis van de in de NEN5128 gestelde rekenregel van $1,1 \times A_g$ [kWh] met A_g het gebruikersoppervlak in [m²] van de verwarmde zone. Hierbij wordt, afhankelijk van de geleverde warmte per jaar de circulatiepompenergie aan de afgiftezijde toegekend aan de warmtepomp en Hr-ketel. Oftewel: in geval van een dekkingsgraad van 90% wordt $90\% \times (1,1 \times A_g)$ [kWh] toegekend aan de warmtepomp voor het deel circulatiepomp, de resterende 10% komt op conto van de ketel. De elektronica voor de Hr-ketel wordt niet als afschakelend beschouwd in het systeem en wordt dan ook berekend op basis van $0,88 \times A_g$ [kWh]. De ventilatorenergie van de ketel wordt wel naar rato van de warmtelevering door de ketel berekend, oftewel: bij een dekkingsgraad door WP van 75%, zal de bijdrage aan ketelventilatorenergie bedragen: $(100\% - 75\%) \times 0,56 \times A_g$ [kWh]. In geval van elektrische bijstook worden geen andere hulpenergieën toegekend dan de eerder genoemde circulatiepompenergie.

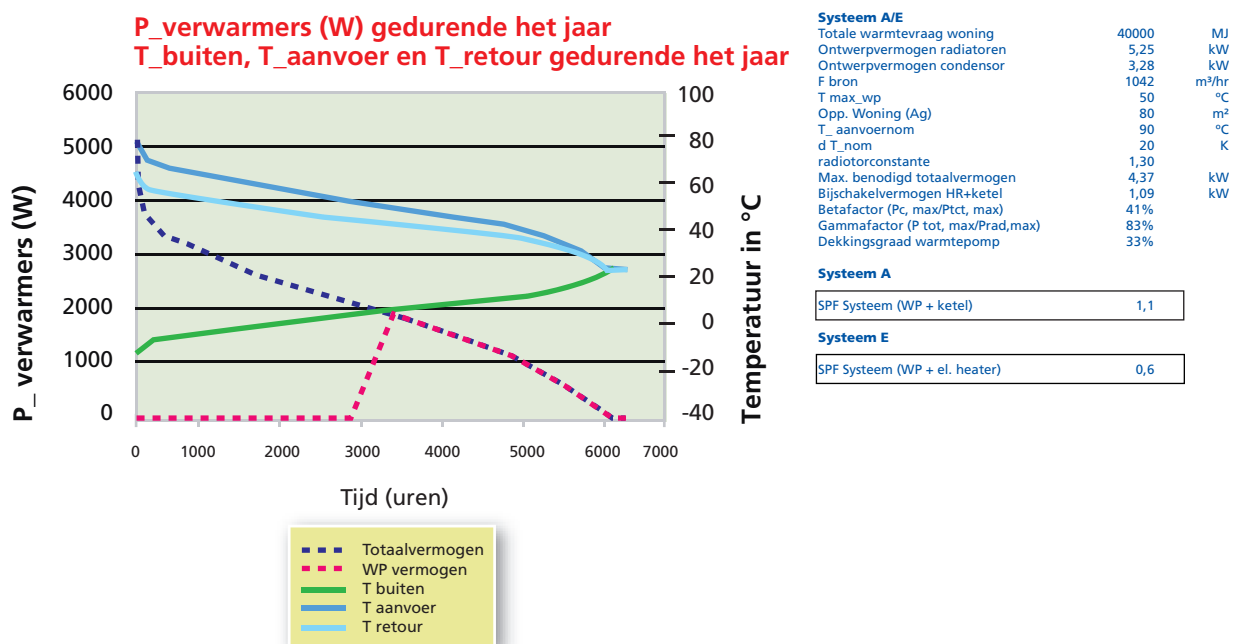
Voor de vrijstaande woning is de verwarmde zone gelijk gesteld op 200 m², voor de 2 onder 1 kap op 150 m² en voor de tussenwoning en het appartement op 80 m². Voor de periode 2020-2030 zijn de woningtypen niet nader gespecificeerd (gebouwd voor 2000 en na 2000) en is er gerekend met een gemiddelde verwarmde zone van 130 m².

In het geval dat mechanische ventilatielucht als warmtebron wordt beschouwd (systeem C/G en D/H), wordt voor alle woningtypen het minimaal vereiste debiet van 150 m³/uur aangehouden.

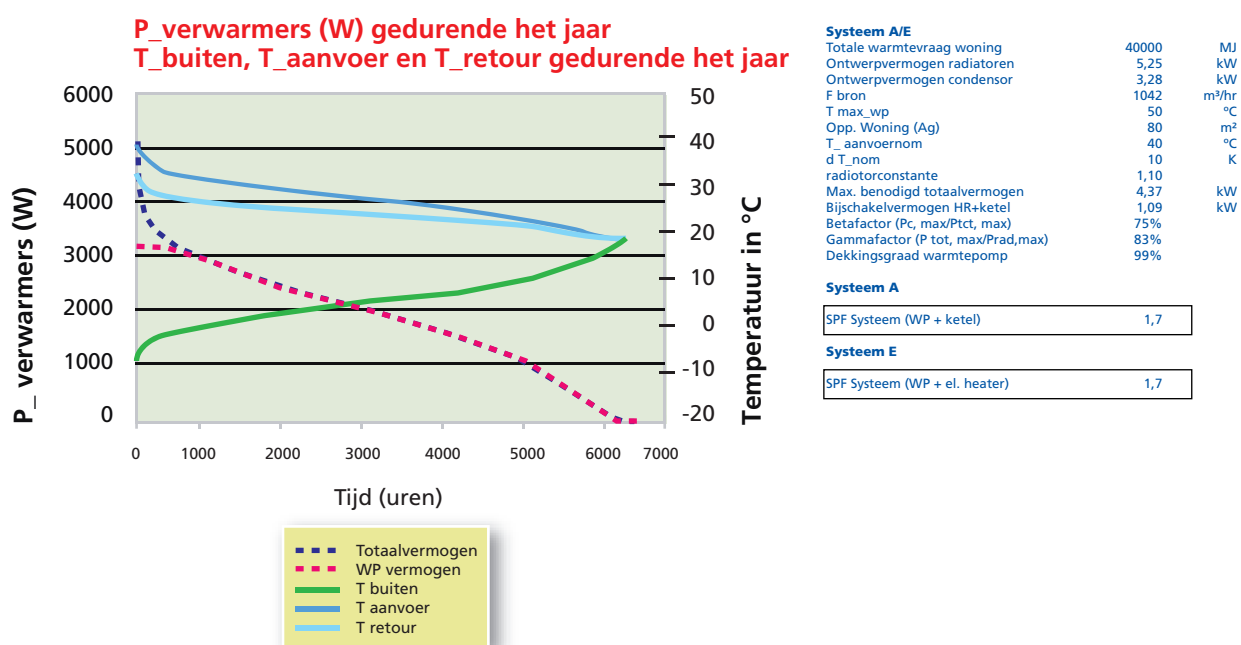
Lucht/water warmtepomp type A / E karakteriseert zich door volledig op de buitenlucht te opereren bij zelfs temperaturen lager dan -10°C. Type A vertegenwoordigt hierbij het systeem met gasbijstook en type E het systeem met elektrische bijstook. Type A en E slaan af bij aanvoertemperaturen (na de warmtepomp) hoger dan 50°C. Het maximale condensorvermogen wordt dusdanig vastgesteld dat een β -factor (verhouding tussen het maximale condensorvermogen en benodigd vermogen bij $T_{\text{buiten}} = -10^{\circ}\text{C}$) van 0,75 wordt gekregen indien een LTV systeem wordt toegepast. Hetzelfde condensorvermogen wordt aangehouden indien de warmtepomp wordt toegepast in een HTV systeem (in geval van een HTV systeem kan het maximale vermogen mogelijk onder het maximale LTV condensorvermogen blijven vanwege de begrenzing van een te hoog uitgaande condensortemperatuur, de compressor redt het dan eenvoudigweg niet).

In figuur 18 is de situatie gegeven voor HTV systeem 90/70. In Figuur 19 is een vergelijkbaar systeem getoond, maar dan voor een LTV systeem 40/30.

Figuur 18 Lucht/water warmtepompsysteem type A en E voor een 90/70 systeem en een warmtevraag van 59 GJ



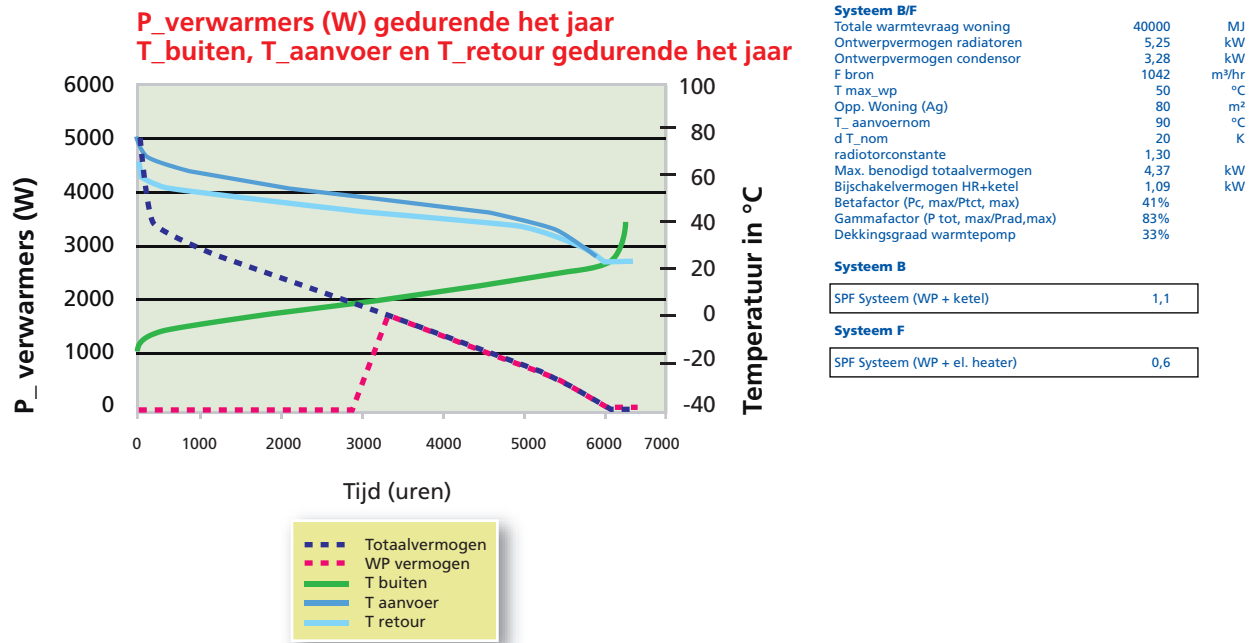
Figuur 19 Lucht/water warmtepompsysteem type A en E + Hr-107 voor een 40/30 systeem en een warmtevraag van 59 GJ.



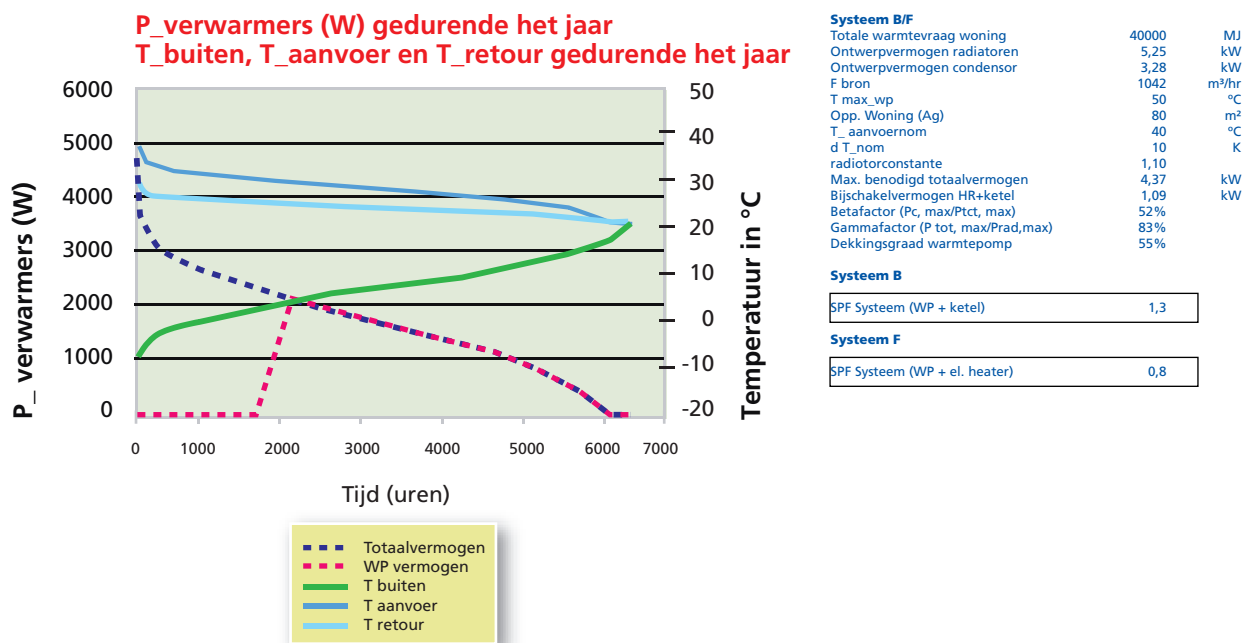
Lucht/water warmtepomp type B / F is een warmtepompvariant gelijk aan die van A / E met het verschil dat bij $T_{buiten} < 2^{\circ} C$ deze niet meer operationeel is ter voorkoming van bevriezing van de verdampers. Een voordeel van dit systeem is dat een complexe regeling m.b.t. ontdooicycli wordt voorkomen.

Echter, de consequentie van deze vereenvoudigde strategie is dat de Hr-ketel dan wel elektrische verwarmers een groter verwarmingsaandeel heeft in dat jaar met als gevolg dat de SPF van het systeem daalt. Het luchtdebiet over de verdampers, behorend bij het maximale condensorvermogen zoals berekend bij systeem A en E, wordt 1 op 1 gekopieerd naar systeem B en F. Figuur 3 en 4 lichten toe hoe systemen B en F opereren voor een HTV (90/70) en een LTV (40/30) systeem bij een woning met een warmtevraag van 59 GJ. Figuur 18 en Figuur 20 zijn gelijk, omdat de $T_{\text{condensator}}$ de 55°C overschrijdt voordat de buitentemperatuur onder de 2°C komt. Echter, het verschil tussen systeem A/E en B/F komt duidelijk naar voren door Figuur 19 en Figuur 21 met elkaar te vergelijken.

Figuur 20 Luchtwater warmtepompsysteem type B en F voor een 90/70 systeem en een warmtevraag van 59 GJ

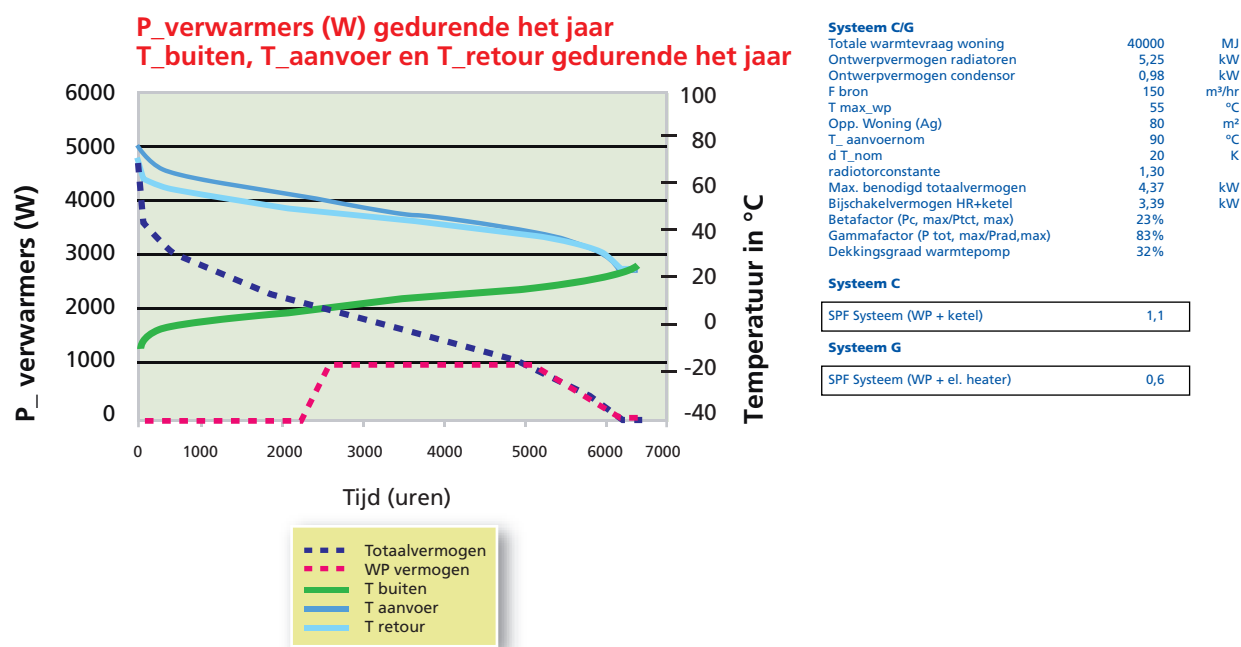


Figuur 21 Luchtwater warmtepompsysteem type B en F voor een 40/30 systeem en een warmtevraag van 59 GJ

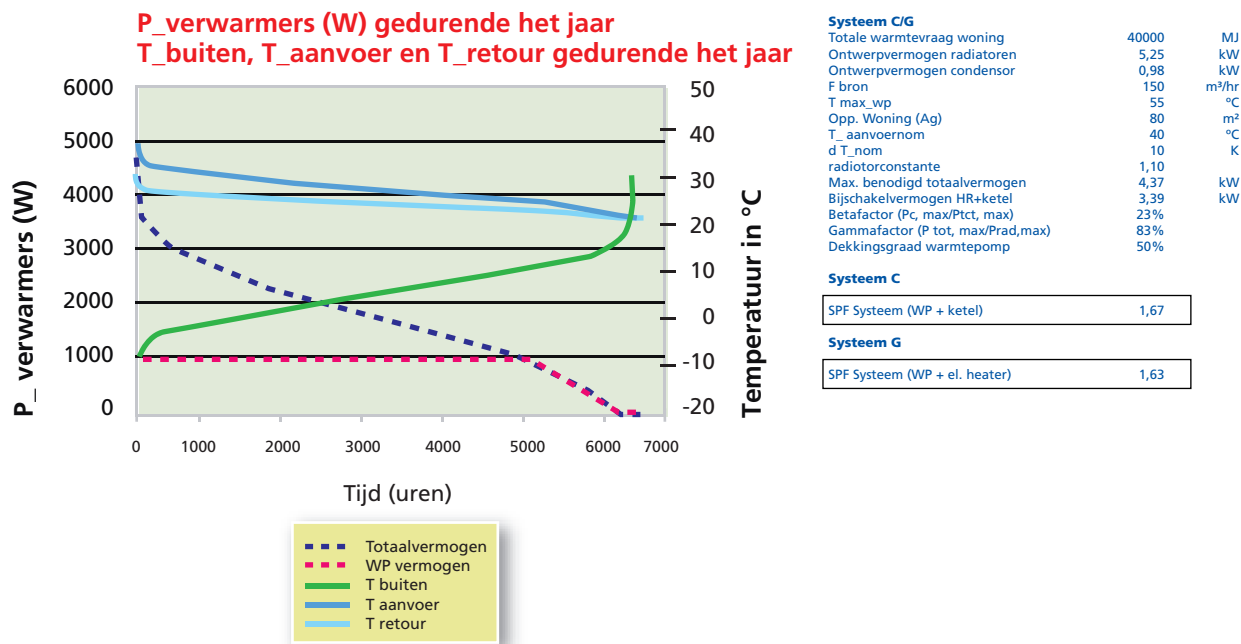


Lucht/water warmtepomp C / G heeft duidelijk een minder vermogen vanwege het beperkte debiet van de ventilatie. Deze is vastgesteld op 150 m³/uur voor alle typen woningen. Tegenover het beperkte debiet (ten opzicht van buitenluchtsystemen) staat een gunstigere COP vanwege de hogere luchttemperatuur van deze warmtebron. Door gebruik te maken van de ventilatielucht is warmteterugwinning uit de ventilatielucht niet meer mogelijk in de woning. In de simulatie is deze warmtepomp in staat temperaturen te leveren tot 55°C. Figuur 22 en figuur 23 tonen de resultaten voor dit systeem.

Figuur 22 Lucht/water warmtepompsysteem type C en G voor een 90/70 systeem en een warmtevraag van 59 GJ

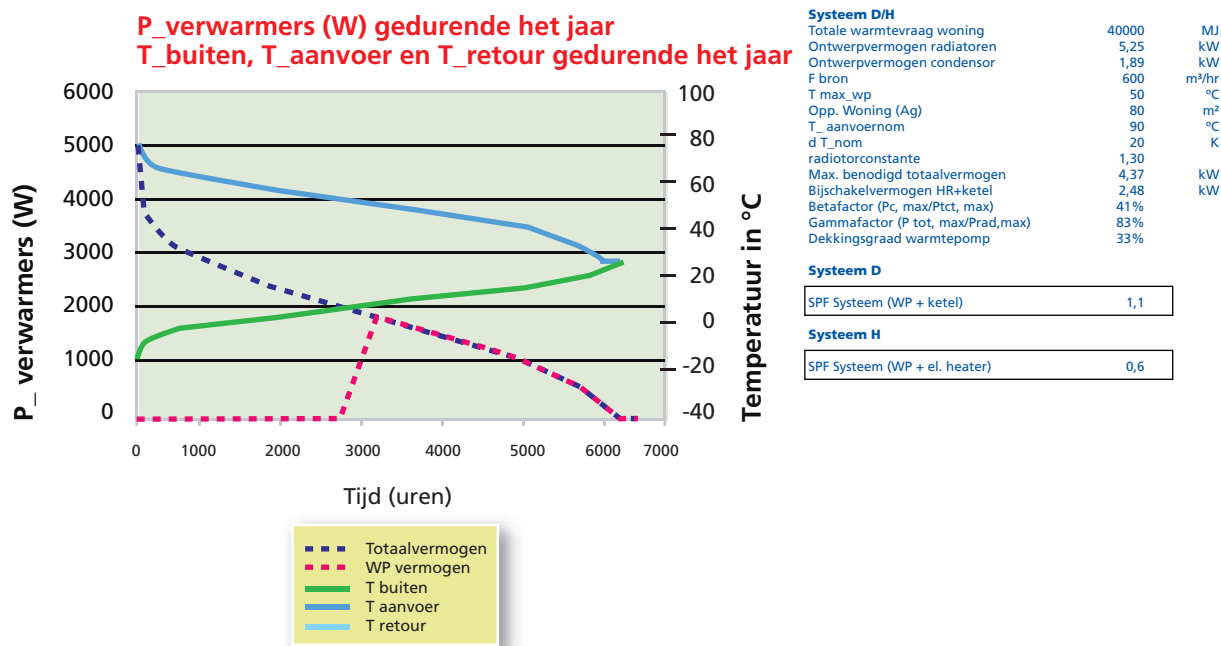


Figuur 23 Lucht/water warmtepompsysteem type C en G voor een 40/30 systeem en een warmtevraag van 59 GJ

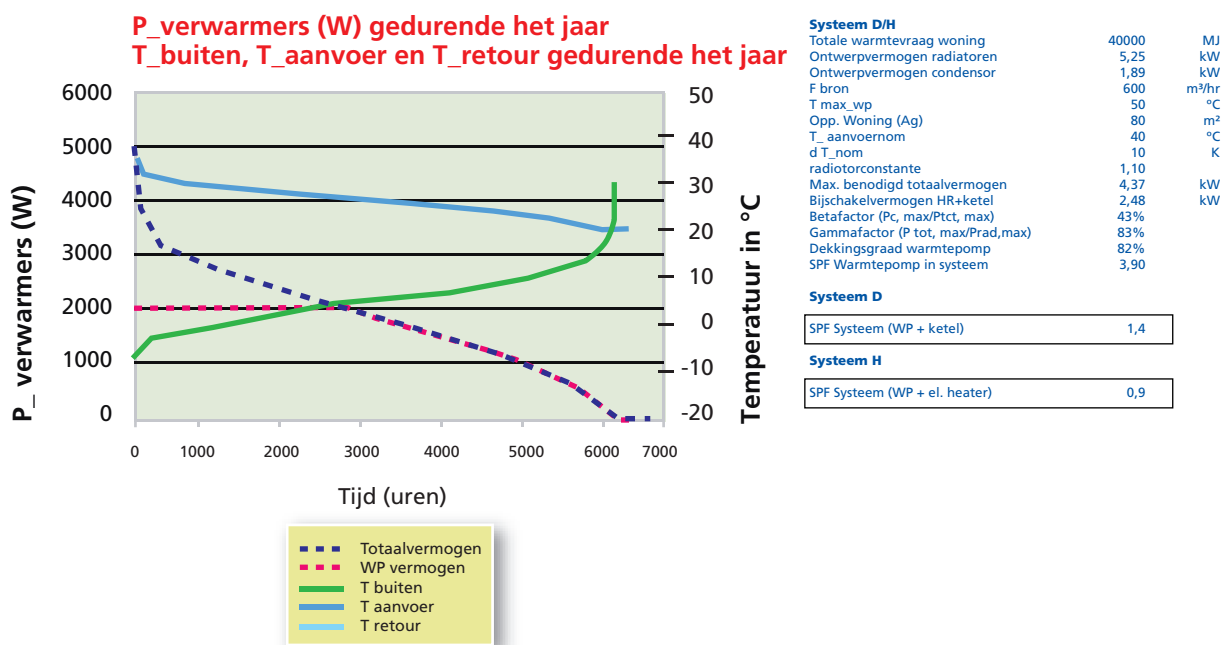


Lucht/water warmtepomp D / H heeft een hoger vermogen dan systeem C / G omdat het deels op de buitenlucht (3/4) en deels op de ventilatielucht (1/4) opereert. Systeem D / H heeft hiermee de mogelijkheid om zowel gebruik te maken van de relatief hoge ventilatietemperatuur (dit betekent dat ook hier warmteterugwinning niet meer mogelijk is). Het debiet over de verdampertemperatuur wordt op 600 m³/uur vastgezet, waarbij binnenlucht en buitenlucht mengen en daarmee de verdampertemperatuur vastleggen. Op basis van de mengtemperatuur kan de COP per bedrijfsconditie bepaald worden. De maximale condensortemperatuur is gesteld op 50°C. Figuur 7 en figuur 8 geven aan hoe het systeem presteert bij een 59 GJ ruimteverwarming in geval van een HTV en een LTV systeem.

Figuur 24 Lucht/water warmtepompsysteem D / H voor een 90/70 systeem en een warmtevraag van 59 GJ



Figuur 25 Lucht/water warmtepomp D + Hr-107 voor een 40/30 systeem en een warmtevraag van 59 GJ



Voor ieder woningsegment is voor de beschreven lucht/water warmtepompsystemen en 5 afgiftesystemen die gekarakteriseerd zijn op basis van $T_{\text{aanvoer}} [^{\circ}\text{C}] / T_{\text{retour}} [^{\circ}\text{C}]$ radiatorconstante (90/70/1,3, 70/50/1,3, 50/40/1,1, 40/30/1,1 en 30/25/1,05), het energieverbruik berekend bij gegeven warmtevraag voor de verschillende woningtypen en zichtjaren.

Bijlage D Tapwater verwarming met lucht/water warmtepompen

Systemen van type A/E en C/G worden momenteel inclusief levering van warm tapwater aan de markt geleverd. Verondersteld wordt dat een Hr-ketel dan wel elektrisch bijstookelement als extra vermogen ingezet wordt om het tapwater op de gewenste temperatuur van 60°C te brengen.

Voor type A/E is er momenteel geen goede status weergegeven voor tapwaterverwarming door de fabrikanten. Ondanks deze afwezigheid aan gegevens kan op basis van de NEN5128:2004, bijlage C, p156 een goede schatting gemaakt worden wat luchtwarmtepompen in EPN kunnen gaan scoren.

Voor type A/E systemen is verondersteld dat er voldoende warmtepompvermogen is toegevoegd aan het ruimteverwarmingssysteem zodat aan de warm tapwatervraag kan worden voldaan zonder in te leveren aan ruimteverwarmingcapaciteit. Op deze wijze beschouwd kunnen we dit extra aandeel aan warmtevraag bezien als een aparte warmteboiler.

Uit de bijlage C van NEN5128:2004 is af te lezen dat SPF_{stelsel} -waarden voor warmtepompen voor tapwaterverwarming worden bepaald door de prestaties te testen bij brontemperaturen bij 5°C met de bodem als bron, 10°C met grondwater als bron en 7°C met de buitenlucht als bron. Aan de afgiftezijde wordt een tapwaterpatroon geëist conform de aangegeven tabellen, afhankelijk van de geëiste CW klasse.

Op basis van deze aangereikte meetmethode kan worden vastgesteld dat de SPF_{stelsel} waarden voor een lucht/water warmtepomp voor tapwaterverwarming ligt tussen die van een warmtepompboiler met een bodembron en een grondwaterbron. Indien we het energieverbruik per opgenomen energie-eenheid over de verdampers voor de luchtbron gelijk veronderstellen als die voor een water- dan wel bodembron dan kunnen de lucht/water warmtepompboiler benaderen door lineaire interpolatie als: $SPF_{\text{stelsel, bodem}} + (2/5) * [SPF_{\text{stelsel, grondwater}} - SPF_{\text{stelsel, bodem}}]$.

Omdat voor veel warmtepompboilers de SPF_{stelsel} waarden bepaald zijn in geval van bodem dan wel grondwater is af te schatten dat de SPF_{stelsel} -waarden van de lucht/water warmtepompboiler gemiddeld 2,1 bedraagt.

Het verloop in de jaren van deze SPF_{stelsel} waarden is gelijk als aangegeven in tabel 6 (zie paragraaf 2.2.4).

Voor systeem C/G is de situatie ingewikkelder. Hierbij wordt ventilatielucht ingezet om het boiler vat te verwarmen. In geval er voldoende ventilatielucht voorradig is, is het mogelijk om met een SPF van 3,5 het boiler vat te voorzien van verwarmd tapwater. Echter de ventilatielucht is vastgezet op 150 m³/uur voor alle woningtypen. Omdat er voorrang verleend wordt aan de inzet van deze ventilatielucht voor ruimteverwarming (gunstigere COP bij LTV) moet er gekeken worden in welke mate de Hr-ketel extra bij moet springen om het tapwater op juiste temperatuur te brengen.

Tabel 11 geeft aan in welke mate het bijstookelement de tapwaterverwarming verzorgd afhankelijk van de warmtevraag van de woning. Deze berekening is bepaald op basis van een CW4 klasse. In geval van elektrische bijstook wordt gerekend met een opwekkingsrendement van 100%, voor gasbijstook wordt gerekend met de waarden zoals aangegeven in paragraaf 2.3.1. Voor het warmtepomp deel kan gerekend worden met een SPF_{stelsel} voor tapwaterverwarming van 3,5. Deze SPF_{stelsel} waarde verandert in de loop der jaren volgens de in tabel 9 (zie paragraaf 2.2.4) aangegeven percentages.

Tabel 11 Mate van inzet van alleen de Hr- ketel / elektrische bijstook voor tapwatervoorziening (CW4 klasse) in % van de tapwaterbehoefte op jaarbasis.

Jaarlijkse ruimtewarmtevraag (GJ)	Systeem C/G, 90/70, n = 1,3	Systeem C/G, 70/50, n = 1,3	Systeem C/G, 50/40, n = 1,1	Systeem C/G, 40/30, n = 1,1	Systeem C/G, 30/25, n = 1,05
60	45%	65%	69%	69%	69%
50	45%	65%	68%	68%	68%
40	44%	64%	68%	68%	68%
30	43%	64%	67%	67%	67%
20	41%	62%	65%	65%	65%
10	33%	53%	57%	57%	57%

De tabel betreft de situatie voor een type C/G systeem, waarbij ventilatielucht wordt ingezet als bron.

Bijlage E Karakteristieken hybride lucht/water warmtepomp voor verschillende woningsegmenten en zichtjaren

Op de volgende pagina's wordt per woningtype, bouwjaarperiode en zichtjaar een overzicht gegeven van de belangrijkste karakteristieken van de hybride lucht/water warmtepomp. Voor de verschillende typen lucht/water warmtepompen, type A, B, C, D met gasbijstook en type E, F, G, H met elektrische bijstook (zie Bijlage C), en de 5 afgiftesystemen (90/70, 70/50, 50/40, 40/30, 30/25). Deze belangrijkste karakteristieken zijn:

- het thermisch vermogen van de warmtepomp;
- de dekkingsgraad van de warmtepomp;
- de SPF van het systeem (WP + bijstook, eveneens incl. hulpenergie; cijfers op onderwaarde).

Eigenschappen van de lucht/water warmtepomp in combinatie met Hr-ketel (type A, B, C, D) of elektrische bijstook (type E,F,G,H) in vrijstaande woningen

Zichtjaar	Bouwjaar	Systeme:	Type: A		Type: B		Type: C		Type: D		Type: E		Type: F		Type: G		Type: H						
			90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	
2010 -1930	2010 -1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
2010 -1930	2010 -1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0.41	0.30	0.99	0.99	0.99	0.99	0.41	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2010 -1930	2010 -1930	SPE systeem	1.14	1.34	1.61	1.76	1.87	1.94	1.26	1.33	1.36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
2010 1931-1959	2010 1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
2010 1931-1959	2010 1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0.41	0.80	0.99	0.99	0.99	0.41	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
2010 1931-1959	2010 1931-1959	SPE systeem	1.13	1.32	1.59	1.74	1.84	1.93	1.24	1.31	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
2010 1960-1980	2010 1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
2010 1960-1980	2010 1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0.41	0.80	0.99	0.99	0.99	0.41	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2010 1960-1980	2010 1960-1980	SPE systeem	1.14	1.33	1.61	1.76	1.87	1.94	1.26	1.33	1.36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
2010 1981-1995	2010 1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
2010 1981-1995	2010 1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.33	0.74	0.99	0.99	0.99	0.33	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2010 1981-1995	2010 1981-1995	SPE systeem	1.07	1.25	1.51	1.65	1.76	1.87	1.19	1.28	1.29	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
2020 -1930	2020 -1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
2020 -1930	2020 -1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0.47	0.90	0.99	0.99	0.99	0.47	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
2020 -1930	2020 -1930	SPE systeem	0.90	1.07	1.33	1.48	1.58	1.65	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
2020 1931-1959	2020 1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
2020 1931-1959	2020 1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0.47	0.90	0.99	0.99	0.99	0.47	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
2020 1931-1959	2020 1931-1959	SPE systeem	0.74	1.31	1.79	1.99	2.06	2.14	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
2020 1960-1980	2020 1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
2020 1960-1980	2020 1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0.47	0.90	0.99	0.99	0.99	0.47	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
2020 1960-1980	2020 1960-1980	SPE systeem	0.74	1.32	1.80	1.96	2.08	2.14	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
2020 1981-1995	2020 1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
2020 1981-1995	2020 1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.41	0.87	0.99	0.99	0.99	0.41	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
2020 1981-1995	2020 1981-1995	SPE systeem	0.69	1.21	1.73	1.88	1.99	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06

Eigenschappen van de lucht/water warmtepomp in combinatie Hr-ketel (type A, B, C, D) of elektrische bijstook (type E,F,G,H) in 2 onder 1 kapwoningen

Zichtjaar	Bouwjaar	Systeme:	Type:														
			A	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D	D	
			90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05	90/70, n = 1,3	70/50, n = 1,3	50/40, n = 1,1	40/30, n = 1,1	30/25, n = 1,05
2010-1930	2010-1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28
2010-1930	2010-1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,87	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,37	0,49	0,49	0,49	0,81
2010-1930	2010-1930	SPE systeem	1,14	1,35	1,62	1,77	1,87	1,14	1,26	1,33	1,36	1,31	1,18	1,30	1,34	1,35	1,36
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,80	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,37	0,52	0,53	0,53	0,84
2010-1931-1959	2010-1931-1959	SPE systeem	1,13	1,32	1,60	1,74	1,85	1,13	1,25	1,32	1,35	1,37	1,17	1,31	1,36	1,38	1,39
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,80	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,36	0,50	0,52	0,52	0,83
2010-1960-1980	2010-1960-1980	SPE systeem	1,14	1,33	1,60	1,75	1,86	1,14	1,25	1,32	1,35	1,37	1,17	1,30	1,35	1,37	1,38
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0,33	0,74	0,99	0,99	0,99	0,33	0,55	0,55	0,55	0,55	0,48	0,70	0,72	0,72	0,98
2010-1981-1995	2010-1981-1995	SPE systeem	1,07	1,25	1,52	1,66	1,76	1,07	1,20	1,26	1,29	1,31	1,19	1,41	1,51	1,54	1,57
2010-1930	2010-1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
2010-1930	2010-1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0,55	0,94	0,99	0,99	0,99	0,55	0,95	0,95	0,95	0,95	0,44	0,53	0,53	0,53	0,84
2010-1930	2010-1930	SPE systeem	1,23	1,49	1,78	1,91	2,01	1,23	1,30	1,36	1,39	1,40	1,25	1,36	1,40	1,41	1,42
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0,47	0,90	0,99	0,99	0,99	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,44	0,55	0,56	0,56	0,86
2010-1931-1959	2010-1931-1959	SPE systeem	1,19	1,45	1,75	1,89	1,99	1,19	1,29	1,35	1,38	1,39	1,24	1,37	1,42	1,44	1,45
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0,47	0,90	0,99	0,99	0,99	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,40	0,54	0,54	0,54	0,85
2010-1960-1980	2010-1960-1980	SPE systeem	1,19	1,45	1,75	1,89	2,00	1,19	1,29	1,36	1,38	1,41	1,43	1,44	1,44	1,44	1,44
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,87	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,74	0,75	0,75	0,98
2010-1981-1995	2010-1981-1995	SPE systeem	1,11	1,37	1,65	1,78	1,88	1,11	1,23	1,29	1,32	1,33	1,26	1,51	1,60	1,64	1,66
2010-1930	2010-1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28
2010-1930	2010-1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,87	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,37	0,49	0,49	0,49	0,81
2010-1930	2010-1930	SPE systeem	0,69	1,18	1,66	1,81	1,92	0,69	0,81	0,84	0,85	0,86	0,88	0,79	0,81	0,81	0,82
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,80	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,37	0,52	0,53	0,53	0,84
2010-1931-1959	2010-1931-1959	SPE systeem	0,69	1,07	1,64	1,79	1,91	0,69	0,81	0,84	0,85	0,86	0,88	0,81	0,84	0,85	0,85
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,80	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,36	0,50	0,52	0,52	0,83
2010-1960-1980	2010-1960-1980	SPE systeem	0,69	1,07	1,64	1,79	1,91	0,69	0,81	0,84	0,85	0,86	0,88	0,81	0,84	0,85	0,85
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0,33	0,74	0,99	0,99	0,99	0,33	0,55	0,55	0,55	0,55	0,48	0,70	0,72	0,72	0,98
2010-1981-1995	2010-1981-1995	SPE systeem	0,64	0,98	1,58	1,74	1,85	0,64	0,80	0,83	0,84	0,85	0,86	0,78	1,02	1,10	1,12
2010-1930	2010-1930	Nom. vermogen Pecond.(kW)	0,55	0,54	0,94	0,99	0,99	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,44	0,53	0,53	0,53	0,84
2010-1930	2010-1930	Dekkingsgraad warmtepomp	0,80	1,41	1,83	1,97	2,08	0,80	0,83	0,86	0,87	0,87	0,75	0,84	0,86	0,86	0,87
2010-1930	2010-1930	SPE systeem	0,80	1,41	1,83	1,97	2,08	0,80	0,83	0,86	0,87	0,87	0,75	0,84	0,86	0,86	0,87
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79	2,79
2010-1931-1959	2010-1931-1959	Dekkingsgraad warmtepomp	0,47	0,90	0,99	0,99	0,99	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,48	0,70	0,72	0,72	0,98
2010-1931-1959	2010-1931-1959	SPE systeem	0,74	1,32	1,80	1,99	2,06	0,74	0,83	0,86	0,86	0,87	0,74	0,87	0,89	0,90	0,90
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Nom. vermogen Pecond.(kW)	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87
2010-1960-1980	2010-1960-1980	Dekkingsgraad warmtepomp	0,47	0,90	0,99	0,99	0,99	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,40	0,54	0,54	0,54	0,85
2010-1960-1980	2010-1960-1980	SPE systeem	0,74	1,32	1,80	1,96	2,07	0,74	0,83	0,86	0,87	0,87	0,72	0,85	0,87	0,88	0,88
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Nom. vermogen Pecond.(kW)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
2010-1981-1995	2010-1981-1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0,41	0,87	0,99	0,99	0,99	0,41	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,74	0,75	0,75	0,98
2010-1981-1995	2010-1981-1995	SPE systeem	0,69	1,21	1,73	1,88	1,99	0,69	0,82	0,84	0,85	0,86	0,83	1,13	1,20	1,22	1,23

Eigenschappen van de lucht/water warmtepomp in combinatie met Hr-ketel (type A, B, C, D) of elektrische bijstook (type E,F,G,H) in gemiddelde woningen gebouwd voor en na 2000 en gemiddelde woningen t.b.v. 2020 - 2030 analyse

Zichtjaar	Bouwjaar	System: Type:	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D			
2010 > 1995	2010 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31		
2010 > 1995	2010 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.55	0.94	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.55	0.55	0.55	0.55	0.70	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	
2010 > 1995	2010 > 1995	SPF systeem	1.10	1.28	1.50	1.61	1.68	1.70	1.72	1.24	1.26	1.30	1.34	1.54	1.64	1.68	1.72	1.74	1.39	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.81
2015 > 1995	2015 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
2015 > 1995	2015 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.55	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00
2015 > 1995	2015 > 1995	SPF systeem	1.12	1.34	1.56	1.66	1.73	1.73	1.73	1.42	1.42	1.23	1.25	1.28	1.37	1.60	1.70	1.75	1.46	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.85
2020 > 1995	2020 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
2020 > 1995	2020 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.55	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
2020 > 1995	2020 > 1995	SPF systeem	1.14	1.39	1.61	1.71	1.79	1.79	1.79	1.44	1.44	1.25	1.28	1.40	1.64	1.74	1.78	1.82	1.47	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.92
2030 > 2000	2030 > 2000	Nom. vermogen Pcond (KW)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
2030 > 2000	2030 > 2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0.33	0.74	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.33	0.55	0.55	0.55	0.55	0.40	0.61	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.93
2030 > 2000	2030 > 2000	SPF systeem	1.18	1.53	2.05	2.25	2.40	2.40	2.40	1.78	1.38	1.45	1.47	1.49	1.27	1.55	1.66	1.69	1.71	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	2.33
2030 > 2000	2030 > 2000	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.75
2030 > 2000	2030 > 2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0.33	0.74	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.33	0.55	0.55	0.55	0.55	0.47	0.83	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00
2030 > 2000	2030 > 2000	SPF systeem	1.12	1.45	1.91	2.08	2.21	2.21	2.21	1.42	1.31	1.37	1.39	1.41	1.27	1.50	2.05	2.12	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	2.38
2010 > 1995	2010 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.60
2010 > 1995	2010 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.55	0.94	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.55	0.55	0.55	0.55	0.70	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	1.00
2010 > 1995	2010 > 1995	SPF systeem	0.76	1.26	1.60	1.72	1.81	1.81	1.81	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.98
2015 > 1995	2015 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.57
2015 > 1995	2015 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.35	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.35	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00
2015 > 1995	2015 > 1995	SPF systeem	0.77	1.37	1.69	1.78	1.87	1.87	1.87	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	2.06
2020 > 1995	2020 > 1995	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.54
2020 > 1995	2020 > 1995	Dekkingsgraad warmtepomp	0.55	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
2020 > 1995	2020 > 1995	SPF systeem	0.77	1.42	1.73	1.85	1.94	1.94	1.94	1.77	1.80	1.82	1.83	1.84	1.09	1.47	1.56	1.59	1.62	0.79	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	2.14
2030 > 2000	2030 > 2000	Nom. vermogen Pcond (KW)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.75
2030 > 2000	2030 > 2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0.33	0.74	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.33	0.55	0.55	0.55	0.55	0.40	0.61	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.93
2030 > 2000	2030 > 2000	SPF systeem	0.77	1.23	2.12	2.34	2.50	2.50	2.50	1.98	1.01	1.02	1.03	0.84	1.11	1.21	1.22	1.23	0.77	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2.21
2030 > 2000	2030 > 2000	Nom. vermogen Pcond (KW)	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.75
2030 > 2000	2030 > 2000	Dekkingsgraad warmtepomp	0.33	0.74	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.33	0.55	0.55	0.55	0.55	0.47	0.83	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1.00
2030 > 2000	2030 > 2000	SPF systeem	0.76	1.20	2.04	2.24	2.38	2.38	2.38	0.76	0.96	0.99	1.00	1.01	0.90	1.57	1.90	1.96	2.00	0.76	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	2.63