



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Status rapportage warmtepompen

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal Ondernemen*



*Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland*

Status rapportage warmtepompen *technologie en markt in Nederland*



De norm is geen prestatie meer!

Onno Kleefkens

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Colofon

Disclaimer

The Netherlands as a guiding country

In the nineties, a competition was announced to develop a heat pump for the Dutch market, based on the idea that if you can develop a heat pump that is competitive on the Dutch market, you will have a world product. It took some time, but a presentation from a colleague at the last Chillventa acknowledged the fact that the Netherlands is one of the most successful countries in experimenting with new heat pump applications. As soon as this is drawn to your attention, you will start viewing 'ordinary' things happening in your own country in another perspective.

So what makes the Dutch heat pump market different? To name a few: hybrid, small domestic heat pumps for heating and cooling, and high-temperature DHW heat pumps. But that is 'just' technology. For me, as a policy-maker, it is important to look at market developments. In new domestic housing projects, heat pumps installed for heating, cooling and domestic hot water production are becoming standard reference technology for renewable energy in low-energy and zero-energy buildings.

On the negative side, failures in installation and maintenance in some projects were big news. The Netherlands is probably unique in its plans to rework a housing project with individual heat pumps, going back to conventional gas boilers! The reaction has resulted in suppliers focusing more on installation guidelines, certification and quality control of the building process. New strategies have been developed to make heat pumps acceptable and financially attractive to the end user. Adequate monitoring by built-in software in heating systems is the basis for these strategies. Used for on-line servicing, it is very effective, as I personally have noticed with my own heat pump. More than 8000 individual heat pumps are already serviced in this way.

Monitoring makes it possible to keep the heat pump system within the boundaries of efficient operation. A large step forward in the market, in a large project with zero-energy buildings, is the offer to the end user of a 25-year performance guarantee for the system, consisting of a ground-source heat pump and photovoltaic.

Is the Netherlands giving guidance with these developments?

The latest statistics on renewable heating and cooling in the Netherlands show that we are lagging behind in developments in the market. The world-wide economic crisis is to blame, as the building of new houses and large-scale building renovation projects have virtually come to a halt. In Europe, recent analysis by EREC in its '2020 – Keep on Track' project shows that this does not differ much from the rest of Europe. Policy discussions in Europe are now considering a '2030 policy framework after 2020', for which business as usual is not an option. However, it is my firm belief that, particularly for renewable heating and cooling, we can't wait until after 2020, as measures taken now will have a considerable effect on energy use in existing building stock in 2030 and 2050. I'm not sure whether the Netherlands can take the role of a 'guiding country' in this respect, but regarding market developments and technologies we are more than happy to share our experiences.

(O. Kleefkens - Editorial Heat Pump Centre Newsletter – June 2013)

Hoofdstukken

Leeswijzer

Dit document is een analyse van de state of the art van warmtepomptechnologieën en de flankerende ontwikkelingen rond energieneutraal bouwen, smart grids en warmtedistributie.

De rapportage wordt voorafgegaan door een managementsamenvatting. In hoofdstuk 2 worden de marktontwikkelingen beschreven aan zowel vraag als aanbodkant. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op technologietrends in Nederland en Europa op het gebied van warmtepompen, systemen en toepassingen. Separaat worden vervolgens in hoofdstukken 4 en 5 de ontwikkelingen op het gebied van energieneutrale woningen en energienotanul woningen beschreven en op het gebied van smart grids in relatie tot warmtepompen. Beide thema's de ene op het gebouwniveau het andere op gebiedsniveau hebben een sprong voorwaarts in de ontwikkeling kunnen doormaken door technologische innovaties van warmtepompen en systemen.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op een aantal onderzoeksprogramma's en wordt een overzicht gegeven van initiatieven en ideeën over de mogelijk ontwikkelingen om een aantal van 500.000 warmtepompen in 2020 te bereiken en het traject naar energieneutraliteit daarmee te kunnen aflopen.

De ISH 2013 in Frankfurt en de VSK-2014 in Utrecht hebben bijgedragen aan het inzicht in de technologische ontwikkelingen naast een uitgebreide lijst van rapporten en onderzoeken en onderzoek op internet.

In de onderliggende rapportage wordt voornamelijk ingegaan op de toepassing van warmtepompen in de bebouwde omgeving. Parallel hieraan is ook de rapportage 'Industrial Heat Pumps in the Netherlands' afgerond en verkrijgbaar.

[Disclaimer]

Dit rapport is 'work in progress'. Namen veranderen, technieken ontwikkelen en beleid is een continue proces. De digitale versie in PDF is de leidende en kan gevonden worden op de website van RVO. De rapportage is en blijft op het moment van publiceren onvolledig. Ook auteurs van andere teksten dan deze, te weten literatuur, stellen dat een tekst nooit klaar is. RVO heeft de moeite genomen om een zo goed mogelijk document op te leveren, er kunnen echter fouten voorkomen die RVO waar mogelijk zal corrigeren.

Hoofdstuk 1

Managementsamenvatting

De marktontwikkelingen aan de vraagzijde

In de vraagzijde van de markt is er vooral in de nieuwbouw sprake van een groeiend aandeel van warmtepompen zowel in de woningbouw als in de kantorensector. Dit heeft vooral te maken met de aangescherpte eisen in de **bouwregelgeving** voor de energieprestaties van gebouwen, maar ook met snel toepasbare technologische ontwikkelingen. Marktpartijen in de bouw zijn onafhankelijk van elkaar al veel verder dan de overheid in haar regelgeving met een visie dat de bouw van nu toekomstbestendig moet zijn over een periode van de levensfase van het gebouw.

Om in 2050 tot energieneutraal te komen in de gebouwde omgeving ligt de grootste uitdaging in de bestaande bouw. Er worden weliswaar meer warmtepompen toegepast bij renovatie van gebouwen, maar het tempo is momenteel te laag om de doelen te halen. Met een marktversnelling waarin integrale aandacht voor het renovatieconcept is ingebracht tot het maximaal haalbare, kan niet gewacht worden tot na 2020. Verbeteringen hebben een lange termijn effect en dienen daarom nu al afgestemd te zijn op die ambitie van **energieneutraal** in 2050, zeker als het gaat om 'onroerende zaken' zoals bouwkundige voorzieningen en de energie-infrastructuur buiten het gebouw.

In de bestaande woningbouw betreft een groot deel van de markt de individuele woningeigenaar. Het rapport '2050 Pathways for Domestic Heat' van Delta-ee [41] is daarover voor wat betreft het bereiken die doelgroep niet echt optimistisch. De consument en ook haar leverancier blijft altijd zoeken naar de meest eenvoudige oplossingen. In het 'Customer Choice scenario' voor de UK zijn in 2050 gasketels nog steeds in het grootste deel van de woningen in gebruik, zelfs met de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van 'low carbon' verwarmingstechnieken. In dit scenario, dat in Nederland niet veel anders zal zijn, zullen de CO₂-doelen en doelen op het gebied van hernieuwbare energie niet gerealiseerd worden. Een aansluiting op de traditionele gasmarkt met hernieuwbare technieken is gevonden met het op de markt komen van hybride concepten van de grote traditionele gasketelleveranciers. Een belangrijke marktbelemmering gesignaleerd in het Delta-ee rapport is hiermee 'weggevallen'.

Partijen die grootschalige renovatieopdrachten aankunnen, zoals woningcorporaties en overheden, zullen de komende decennia een belangrijke rol spelen bij het substantieel terugdringen van energieverbruik en het vergroten van het aandeel hernieuwbare energie. Door de economische crisis van de afgelopen periode zijn echter de middelen bij de corporaties te gering om structureel de renovatie aan te pakken. Een stapsgewijs gefaseerde aanpak in plaats van korte termijn successen te behalen in enkele projecten kan een oplossing bieden. Naast het algemene en brede covenant met de woningcorporaties is er specifiek 'De Stroomversnelling': 111.000 huurwoningen naar energienota=0', een initiatief van enkele bouwondernemingen en woningcorporaties. Warmtepompen in combinatie met zon-pv met prestatieafspraken vormen hiervoor de basis. Groot winstpunt daarbij is dat huurders van relatief slechte woningen met hoge energierekeningen een comfortabele en duurzame woning krijgen tegen dezelfde woonlasten. Het opdoemende spook van **Energiearmoede** kan hier ook mee afgewend worden.

In de nieuwbouw voor de utiliteitsbouw is de warmtepomp zowel met zowel lucht als bodem als bron stander techniek. Utiliteitsbouw is daarmee mogelijk een minder prioritair aandachtsgebied omdat hier de ontwikkelingen met begrippen als WKO voor investeerders een belangrijke waarde hebben voor hun imago. Het zal echter niet zo eenvoudig zijn vooral de bestaande utiliteitsbouw energieneutraal te maken. Het project 'Kantoor vol Energie' speelt in op verdere stappen naar energieneutraal hierin werken eigenaren, gebruikers, makers en bedenkers samen aan innovatieve oplossingen voor de renovatie van bestaande kantoren naar mooie, comfortabele en duurzame kantoren.

Omgevingsfactoren

De trend naar energieneutraal in de nieuwbouw en bestaande bouw op microniveau en van **smart grids** en de inpassing van duurzame elektriciteit op macroniveau is mogelijk en ook kosteneffectief door de technische ontwikkelingen op het gebied van software toegepast in warmtepompen. De warmtepomp is daarin, 'smart grid ready', onderdeel van een systeem binnen een gebouw maar ook van een groter geheel buiten het gebouw, de energie infrastructuur waarin marktomstandigheden de komende decennia snel veranderen. Het is belangrijk de synergiën te onderkennen tussen de productie, distributie en gebruik van hernieuwbare energie. Er komen nieuwe technieken op de markt en combinaties ervan om energie op kleine schaal te produceren (zonnestroom, groen gas, duurzame warmte), te verdelen ('slimme netten') en te gebruiken (warmtepompen, elektrische auto's). Vooral de combinatie van technieken als warmtepompen met zonnestroom is aantrekkelijk en biedt nieuwe perspectieven. Er dienen zich ook nieuwe spelers in de energiewereld aan: gemeenten (met een 'groen energiebedrijf'), gebruikersverenigingen, projectontwikkelaars, leveranciers van nieuwe technologie, ICT-dienstverleners en andere intermediairs

Om energieneutraliteit te bereiken is er in de bouw meer en meer sprake van een integrale benadering van concepten en **industrialisatie van het bouwproces**, waardoor delen van de traditionele bouwketen andere verantwoordelijkheden krijgen. Daarbij kan er veel meer op gebouwniveau opgelost worden dan menig ontwikkelaar denkt. De bouwindustrie zorgt er voor dat de warmtevraag van nieuwe gebouwen maar ook voor zowel bestaande gebouwen flink kan worden beperkt. Zij ontwikkelen daarvoor in rap tempo concepten die, ongebruikelijk in de bouw, steeds goedkoper uitgevoerd kunnen worden. Met dat gegeven is in principe iedere vorm van duurzame warmteopwekking op gebiedsniveau onrendabel vanwege de hoge investeringskosten in warmtenetwerken in relatie tot een lage warmtevraagdichtheid.

Toch zullen ook kleine **warmtenetten** in de toekomst nodig zijn, terwijl grotere bestaande netten verduurzaamd kunnen worden, goed passend in de smart grid filosofie. Breder dan de gebouw gebonden toepassingen bestaan er ook mogelijkheden voor toepassing van warmtepompen in (bestaande) systemen voor warmtedistributie, vanaf restwarmte tot geothermie. Daarbij ligt een focus op een integrale aanpak uitgaande van sterke vraagreductie in de gebouwen door 'deep renovation' en optimalisatie naar laag temperatuur distributie, die daarmee zowel de doelen van de EED (art 4.c) als van de RES nastreeft en kan combineren. In Nederland zijn daarvoor de eerste pilots in voorbereiding.

Technologische innovaties aan de aanbodzijde

In de transitie op de Europese verwarmingsmarkt is er sprake van een aantal nieuwe spelers uit andere marktsegmenten dat deze markt betreedt en hun kennis daar toepast. Dit proces heeft het afgelopen decennium autonoom tot grote technologische innovaties geleid op het gebied van warmtepompen voor de woningbouw en toont de dynamiek van een zich snel ontwikkelende, competitieve markt in Europa.

Er is een aantal trends in de markt te onderkennen:

1. - De ontwikkeling van de compacte hybride (lucht/water) warmtepomp (met gas bijstook) voor de renovatiemarkt, een 100% Nederlandse innovatie, zet zich door op de Europese markt als opvolger van de HR-ketel. De grote traditionele Nederlandse gasketelfabrikanten hebben de hybride als volwaardig alternatief in hun pakket opgenomen, waarbij de VSK-beurs van 2014 in Utrecht een doorbraak betekende in de presentatie van hun marktperspectief.
2. - De ontwikkeling van kleine individuele 'water-water warmtepomp' die gebruikt maakt van een laag temperatuur warmtedistributiesysteem tot een maximum van 40°C als bron is een 100% Nederlandse innovatie. Hiermee kunnen laagtemperatuur warmtenetten worden ingezet voor ruimteverwarming en tapwater.

3. - De ontwikkeling van een ventilatie warmtepomp die binnenlucht van woningen als bron gebruikt is een 100% Nederlandse innovatie. Dit type warmtepomp wordt als hybride ingezet.
4. - De nieuwste ontwikkelingen maken het mogelijk buitenlucht bij temperaturen van -20°C nog in te zetten als bron voor een warmtepomp met voldoende capaciteit en prestatie. Hierdoor valt er een verschuiving te verwachten van warmtepompen met de bodem als bron naar de inzet van lucht als bron van duurzame omgevingswarmte.
5. - De ontwikkeling van gestandaardiseerde plug&play installatieconcepten voor nieuwbouw en renovatie waarmee installaties eenvoudiger en goedkoper worden, er geen koeltechnische kennis wordt verwacht van de installateur en de acceptatiegraad in de markt groeit.
6. - In landen als Duitsland verdringen tapwater warmtepompen in combinatie met zon-pv, zon-thermische systemen uit de markt. Ook voor koeling lijkt zon-pv in combinatie met een warmtepomp geschikt.
7. - Warmtepompen kunnen meer en meer hoge temperaturen leveren en kunnen met buitenlucht als bron voldoen aan eisen met betrekking tot legionella voor tapwater. Ook kan daarmee de warmtepomp eenvoudiger in een centraal warmtedistributiesysteem in de bestaande bouw worden ingezet en nu al in grootschalige stadsverwarming op voorwaarde dat daar de distributie temperaturen verlaagd worden.
8. - De ontwikkeling van software op het apparaat maakt optimalisatie, onderhoud en monitoring op afstand mogelijk. Daarmee wordt ook voor de consument via een App bediening op afstand mogelijk via de smart phone en kunnen prestatiegaranties door leveranciers worden gegeven. De leukheidsfactor voor de consument neemt toe, naast het onderhoudsgemak voor de installateur.
9. - De doorontwikkeling van compacte gasgestookte sorptiewarmtepompen tot apparaten die als opvolger van de HR-ketel gezien kunnen worden.

Vrijwel alle ontwikkelingen zijn ‘toepassingsgericht’ op oplossingen gericht op acceptatie door de consument/klant.

Daarbij is warmtepomptechnologie de enige verwarmingstechnologie die energetische prestaties objectief en transparant (online monitoring!) kan tonen met hogere COP's dan in het verleden mogelijk was. Een probleem is wel dat normen en rekenmodellen ver achter lopen op de praktijk en daarmee qua besluitvorming door ontwerpers en investeerders een belangrijke ‘niet technische’ belemmering vormen. De brede uitrol in de markt is daarmee nog geen feit, zo zeer zelfs dat prijswinnende techniekinnovaties niet worden toegepast.

Veel van de technologieën die in het onderliggende rapport aan de orde komen, bevinden zich in de competitieve fase van toepassing en/of demonstratie. Hierin is de proces- en productinnovatie gericht op verbetering van bestaande producten en inpassing in systemen en concepten op basis van competitieve uitgangspunten qua kosten en prestaties. Daarin valt te verwachten dat in alle segmenten van de gebouwde omgeving lucht als bron de bovenliggende technologie kan worden. Het is verder opvallend dat warmtepomptechnologie steeds vaker in de markt wordt aangeboden en gerealiseerd in combinatie met zon-pv. De aanbieders hiervan garanderen de prestaties en rendementen van dergelijke kapitaalintensieve systemen veelal over een periode van 25 jaar.

Hiermee neemt de warmtepomp onder de verwarmingstechnieken een unieke plaats in.

Conclusies

De nodige ontwikkelingen in een transitie naar verduurzaming en het *afscheid van fossiel* in de gebouwde omgeving zijn haalbaar met een combinatie van bestaande technologieën. Warmtepompen spelen hierin als kerntechnologie een belangrijke rol.

Als er in Nederland voortvarend wordt ingezet op een relatief snelle energietransitie, kan dat voor extra banen zorgen [5]. In de TKI Switch2Smartgrids is de warmtepomp een 'kern'- technologie.

Uit de Positioning Paper Warmtepompen van DHPA [2], een studie in opdracht van RVO, komt een aantal conclusies:

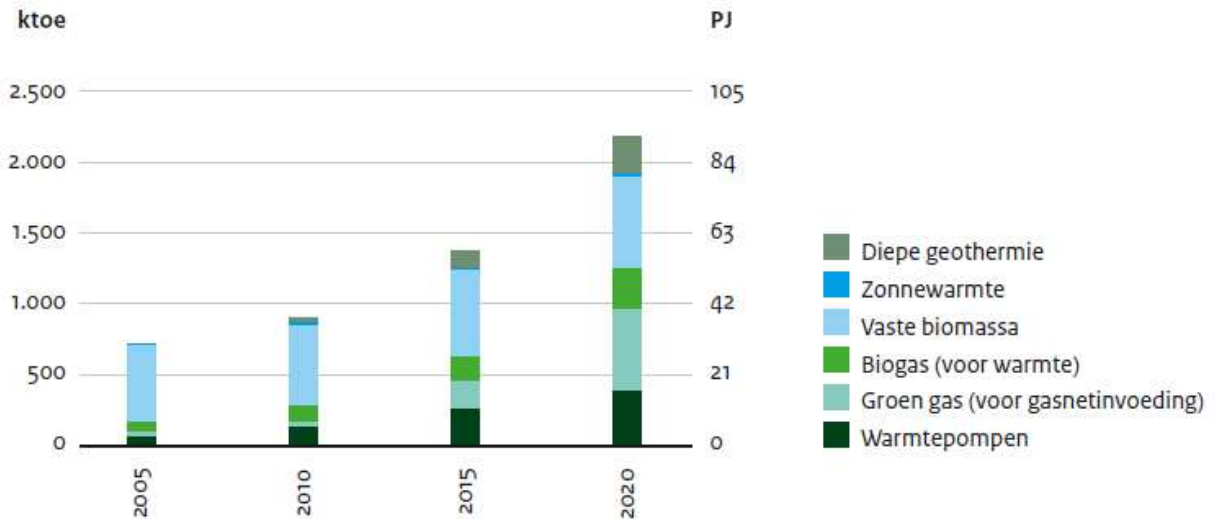
- Bij de Nederlandse producenten van warmtepompen (incl. supply chain effecten) en importeurs van in het buitenland geproduceerde warmtepompen er sprake is van een werkgelegenheid van ca. 1.700 mensjaren. Voor de installatie van de warmtepomp zonder de aanliggende installatiedelen als vloerverwarming etc. is de additionele werkgelegenheid binnen de installatiebedrijven berekend op ca. 3.200 mensjaren. Deze aanwinst in werkgelegenheid betreft directe montage uren zonder ondersteunende disciplines in de betreffende installatiebranche, en de positieve impuls in de distributieketen.
- De Nederlandse fabrikanten van warmtepompen vormen een maakindustrie met aanzienlijke potentie. De innovatie, die heeft plaatsgevonden, is vooral gericht op de toepassingsmogelijkheden in Nederland. Specifiek zijn de hybride warmtepomp en ventilatielucht warmtepompen, maar ook de tapwaterwarmtepompen. 100% Nederlandse innovaties, met voor ons land een significante industriële ontwikkeling. Een zwakte is dat Nederlandse bedrijven commercieel gesproken weinig profiteren van nieuwe markt kansen op Europees niveau. De inspanning van de Nederlandse overheid zou er op gericht kunnen zijn om een vraag te creëren, zodat Nederlandse bedrijven ervaring op kunnen doen, die ze later ook in het buitenland kunnen verkopen. Bij het succesvol realiseren van de doelstelling van 500.000 warmtepompen, zal zich een thuismarkt ontwikkelen, die de Nederlandse industrie in potentie een voorsprong biedt op de rest van Europa.

In aanvulling hierop kan gesteld worden dat de kansen op Europese markten, vooral Noord en Oost Europa, groot zijn, mede omdat de concurrerende, vooral Duitse leveranciers, zich voornamelijk richten op het bovenste deel van de markt van grotere woningen. Dit betekent dat het grote potentieel van renovatie in de sociale woningbouw (in Duitsland al >60% van de markt en in Oost Europa erg groot) niet bereikt wordt. Hier hebben oplossingen ontwikkeld in Nederland een goede kans.

Thomas Nowak (general Secratay EHPA) noemt 'lucht de energiebron van de toekomst' (11th IEA Heat Pump Conference – 2014)

Het potentieel

Het Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen [64] verwacht dat warmtepompen in 2020 een bijdrage leveren van 16 PJ. Deze bijdrage is opgebouwd uit 4,9 PJ aerothermisch, 10,1 PJ geothermisch en 0,5 PJ hydrothermisch.



Met een intensivering van beleid kan dit volgens de input op de warmtevisie geleverd door RVO [65] oplopen tot 28PJ in 2020.). Volgens de ramingen van Planbureau voor de Leefomgeving en ECN groeit de opbrengst van warmtepompen de komende 7 jaar fors. Om deze groei vanuit de branche gestalte te geven is door de Dutch Heat Pump Association (DHPA) de doelstelling geformuleerd om in 2020 een aantal van 500.000 warmtepompen te hebben geïnstalleerd in de woningbouw. Het technisch potentieel in penetratiegraad varieert per woningtype. Daarin wordt het potentieel voor in de meergezinswoning geraamd op ca. 50% van het areaal, oplopend tot ca. 95% voor de vrijstaande woningen. In totaal is het technisch potentieel voor toepassing van warmtepompen becijferd op ca. 5,4 miljoen woningen, overeenkomend met ca.74% van het totale woningbouwareaal [2].

De RVO rapportage Industrial Heat Pumps in the Netherlands [63], die parallel hieraan is geschreven stelt dat er nog een groot onbenut potentieel is in de industrie. Overal waar koeltorens staan, waar oppervlaktewater thermisch wordt belast en waar schoorstenen hete rookgassen in de atmosfeer brengen liggen mogelijkheden tot warmteterugwinning. Daarbij is het van groot belang dat de warmte eerst intern wordt ingezet en pas daarna wordt gekeken naar mogelijkheden van uitkoppeling naar de burens (Energy Matters). De warmtepomp in allerlei uitvoeringsvormen is hiervoor een beschikbare en bruikbare techniek. De potentiëlen met warmtepompen lopen hier op tot ruim 100 PJ. Alleen de toepassingen uit duurzame bronnen kunnen als hernieuwbaar worden gezien, zoals op bedrijventerreinen en in de agro sectoren. Vrijwel alle toepassingen in de procesindustrie zijn energiebesparing.

De onderliggende rapportage over de bebouwde omgeving gaat in op het hoe en de innovatieve kracht van de markt, een innovatie waarin Nederland op Europees niveau een belangrijke en toonaangevende rol speelt. De focus ligt op toepassing van warmtepompen en systemen voor gebouwen vanaf woningbouw tot kantoren en fabrieksgebouwen.

Hoofdstuk 2

Marktontwikkeling

Aan de vraagzijde van de markt is er vooral in de nieuwbouw sprake van een groeiend aandeel van warmtepompen zowel in de woningbouw als de kantorensector. Dit heeft onder andere te maken met de aangescherpte eisen ten aanzien van de energieprestaties van nieuwe gebouwen, maar ook met snel toepasbare technologische ontwikkelingen.

Het recent gepubliceerde CBS-rapport 'Hernieuwbare Energie in Nederland 2012' [1] laat zien dat er vanaf 2010 minder nieuwe woningen en kantoren zijn gebouwd dan in de paar jaar daarvoor. Omdat warmtepompen vaak in nieuwe gebouwen worden toegepast, zou het voor de hand liggen dat de afzet van warmtepompen ook gedaald zou zijn. Dat is slechts beperkt gebeurd. De afzet van warmtepompen (in termen van vermogen) die gebruik maken van bodemenergie is ongeveer gelijk gebleven, terwijl het gebruik van buitenluchtwarmte gestaag groeit. Dat kan betekenen dat het marktaandeel van deze warmtepompen in de energievoorziening van nieuwe gebouwen is toegenomen. Ook kunnen er meer warmtepompen toegepast zijn bij renovatie van gebouwen.

	Bijgeplaatst aantal installaties				Bijgeplaatst thermisch vermogen			
	2009	2010	2011	2012**	2009	2010	2011	2012**
	MW							
Open systemen (met onttrekking van grondwater)								
utiliteitsgebouwen en op landbouwbedrijven	583	380	402	398	50	54	62	58
Woningen, totaal	2 337	2 647	1 204	1 058	54	25	14	10
alleen ruimteverwarming	949	1 251	808	873	20	19	12	10
ruimteverwarming en tapwaterverwarming	1 388	1 396	396	185	34	6	2	1
totaal	2 720	5 027	1 606	1 456	84	79	75	68
Gesloten systemen (zonder onttrekking van grondwater)								
utiliteitsgebouwen en op landbouwbedrijven	366	255	567	545	15	18	15	16
Woningen, totaal	2 223	2 395	3 686	3 785	21	20	31	28
alleen ruimteverwarming	790	606	1 011	656	10	10	15	12
ruimteverwarming en tapwaterverwarming	1 433	1 787	2 675	3 129	11	10	15	16
totaal	2 589	2 646	4 255	4 330	36	38	46	45
Totaal	3 309	5 673	5 859	5 786	121	117	122	113

Bron: CBS.

	Bijgeplaatst aantal installaties				Bijgeplaatst thermisch vermogen			
	2009	2010	2011	2012**	2009	2010	2011	2012**
	MW							
Afgifte aan verwarmingssysteem op basis van lucht								
utiliteitsgebouwen en landbouwbedrijven	9 745	8 741	19 582	16 621	201	208	188	153
Woningen	424	951	9 547	11 004	4	10	43	45
totaal	10 169	9 672	28 929	27 625	204	218	231	198
Afgifte aan verwarmingssysteem op basis van water								
utiliteitsgebouwen en landbouwbedrijven	166	175	372	418	12	11	12	19
Woningen, totaal	3 274	2 429	3 102	2 806	9	10	18	13
ruimteverwarming met en zonder tapwater	2 592	1 862	2 526	2 556	8	9	17	12
alleen tapwaterverwarming	682	567	576	270	1	1	1	0
totaal	3 440	2 604	3 474	3 224	21	21	30	32
Totaal	13 609	12 276	32 403	30 849	226	239	260	230

Bron: CBS.

Fig. 1.1 Bijgeplaatste warmtepompen in 2012 [1]

CBS maakt in haar statistieken onderscheid in warmtepompen met bodem of met buitenlucht als bron.

In de kantorenmarkt werd in 2008 de penetratie van warmtepompen met bodem als bron geschat op 20 tot 30 procent van de totale nieuwbouw tegen een penetratie van 10 procent in de overige sectoren van de utiliteitsbouw. Sindsdien zijn die percentages gestegen, immers de nieuwbouw in omvang is afgenomen, terwijl het aantal geïnstalleerde systemen nagenoeg even groot is gebleven.

Anders dan in de rest van Europa worden de meeste bodemenergiesystemen in Nederland uitgerust met open bronnen. Uit de CBS-statistieken over 2011 blijkt een groeiend aantal projecten in de Utiliteit met gesloten bronnen te worden uitgevoerd. Op capaciteit blijken dit vooral de kleinere projecten te zijn, maar met groeiend marktvolume.

Buitenluchtwarmte is goed voor circa 3% van het eindverbruik van hernieuwbare energie in 2012. Het gebruik van buitenluchtwarmte groeit gestaag. De tijdreeks voor de afzet van lucht-lucht-warmtepompen is wel wat vertekend, omdat vanaf 2011 meer omkeerbare warmtepompen meetellen dan voorheen. De benutting van de buitenlucht voor verwarming gebeurt vooral in kantoorgebouwen. Het gaat dan vaak om omkeerbare warmtepompen, die in de zomer kunnen worden gebruikt als airco om te koelen, en in de winter om te verwarmen. De meerkosten van koelmachines die ook kunnen verwarmen zijn beperkt. Omkeerbare warmtepompen worden regelmatig alleen gebruikt voor koeling, als gewone airco, samen met bijvoorbeeld een gewone verwarmingsketel. Voor leveranciers is het erg lastig om te schatten welk deel van de omkeerbare warmtepompen daadwerkelijk wordt ingezet voor verwarming. Voor de statistiek is aangenomen dat alle omkeerbare lucht-lucht-warmtepompen met een vermogen tot 10 kW niet voor verwarming worden gebruikt.

In de **woningbouw** ligt het grote potentieel voor warmtepompen in de *bestaande bouw*, zoals met onderstaande figuur wordt geïllustreerd.

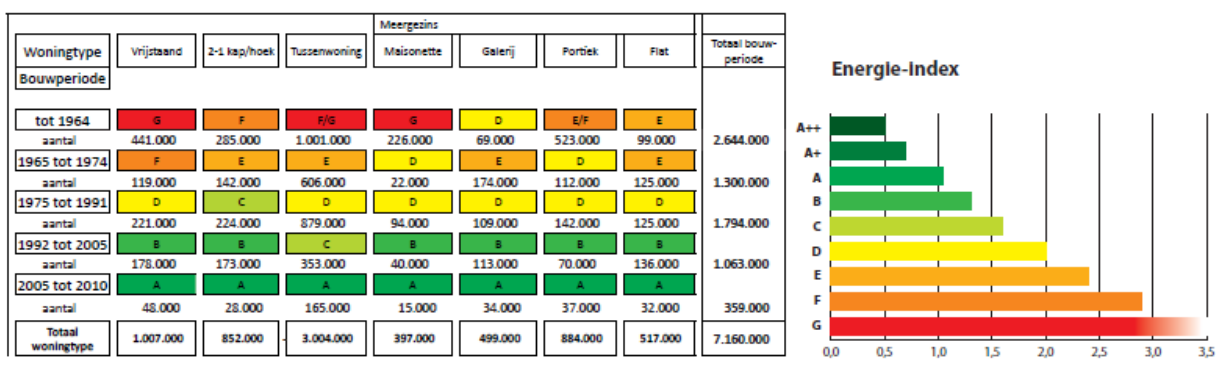


Fig. 1.2 Indeling bestaande woningbouw naar labelklassen [bron AgNL]

Voor het energieneutraal maken van de gebouwde omgeving voor 2050 ligt de grootste uitdaging op korte termijn dan ook in de bestaande bouw, omdat daarmee niet gewacht kan worden tot na 2020. De verwachting is dat in 2050 minimaal 90% van de huidige woningvoorraad nog in gebruik zal zijn. Verbeteringen die de komende jaren aangebracht worden, zeker als het gaat om ‘onroerende zaken’, zoals bouwkundige voorzieningen en de energie-infrastructuur in- en buiten de woning, dienen dan ook *nu al* afgestemd te zijn op die ambitie van energieneutraal in 2050. Concepten met warmtepompen, zon-thermische energie en/of een combinatie ervan liggen dan voor de hand. Dergelijke concepten betekenen voor de bewoners een grote verandering o.a. qua bewonersgedrag.

Comfortabeler en goedkoper wonen door verduurzaming

Een belangrijke ontwikkeling daarom is de deal ‘De Stroomversnelling: 111.000 huurwoningen naar energienota=0’, die enkele bouwers en woningcorporaties op 20 juni 2013 tekenden. Het reduceren van de energievraag en het efficiënt opwekken van energie wordt gedaan met een pakket van goede isolatie, zon-pv en warmtepompen. Momenteel zijn voor deze stroomversnelling zes corporaties verbonden met vier bouwondernemingen. Meer corporaties willen zich hierbij aansluiten.

Groot winstpunt van deze deal is dat huurders van relatief slechte woningen met hoge energierekeningen een comfortabele en duurzame woning krijgen tegen dezelfde woonlasten. De Positioning Paper 'Warmtepompen en Economie [2] ziet ook als een groot winstpunt dat dit daarnaast een aanvullende werkgelegenheid in een significante industriële ontwikkeling oplevert. -

Nederlandse woningbouwmarkt innovatief

De compacte hybride warmtepomp, zowel als de warmtepomp op ventilatielucht en de hoog temperatuur tapwaterwarmtepomp, warmtepomptypen ontwikkeld voor de renovatiemarkt zijn een 100% Nederlandse innovatie. De markt ervoor -specifiek bij woningcorporaties- is nog niet echt op gang gekomen omdat de markt in deze crisistijd sterk onder druk staat met grote onzekerheden. -

Door de toepassing van warmtepompen kan de Nederlandse woningbouwmarkt gezien worden als zeer innovatief, in vergelijking met de rest van Europa. Dit heeft naast de technische innovaties te maken met: -

1. - De projectomvang, die is veelal van meerdere woningen in een wijkontwikkeling in de koopsector (nieuwbouw) en ook in de sociale huursector (bestaand en nieuwbouw). Woningcorporaties, zoals Vestia, zijn actief in deze markt. Dit lijkt normaal, maar is zeker in landen als Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland niet het geval. Daar is de markt te vinden in het bovenste, duurere segment van koopwoningen. -
2. - De inzet van warmtepompen voor ruimteverwarming en koeling vaak ook gecombineerd met tapwater. In andere Europese landen komt de combinatie met koeling bijna niet voor. -
3. - De capaciteit van 5kW thermisch voor een gemiddelde woning en de daarmee samenhangende opslagvaten voor tapwater van circa 150 liter. Dit is fors kleiner dan in andere Europese landen. Daar zijn capaciteiten van 20 – 35kW en opslagvaten van 300 liter de standaard. -
4. - De aanzienlijk lagere kostprijs van systemen dan in andere Europese landen. Een onderzoek door Q+P in 2012 uitgevoerd in opdracht van AgNL [4] heeft de kostprijs van hernieuwbare energietechnieken in kaart gebracht. De informatie op het gebied van hernieuwbare energievoorzieningen die veelal in rekenmodellen, normen of haalbaarheidsonderzoeken wordt gebruikt, loopt meerdere jaren achter bij de marktontwikkelingen. Kostprijzen in haalbaarheidsonderzoeken worden bovendien vaak te hoog ingezet. De besluitvorming met betrekking tot hernieuwbare energievoorziening door ontwerpers en investeerders loopt hierdoor tegen een belangrijke "non-technical" hindernis aan. Als gevolg van deze achterhaalde informatie in rekenmodellen en normen kan de toepassing van hernieuwbare energie voor de energievoorziening van woningen worden geremd. Zie bijlage 1 voor verdere informatie. -

In de **utiliteitsbouw** is de warmtepomp zowel met lucht als bodem als bron stand der techniek. Het is vrij onwaarschijnlijk dat er bij een groot nieuwbouwproject geen warmtepomp komt. Opvallend is dat projecten met bodem als bron vaak geafficheerd worden als WKO en dat er momenteel tegenwind is door publicaties over tegenvallende resultaten en energieprestaties [6]. -

De utiliteitsbouw is een zeer heterogene sector met kantoren, scholen, winkels, bedrijfshallen, verzorgingshuizen en ziekenhuizen, variërend in grootte. Een trend is de afnemende warmtevraag, terwijl de behoefte aan koeling toeneemt. Tapwater is geen factor van betekenis. De geïnstalleerde capaciteit voor koeling overstijgt meer en meer die van verwarming, echter de totale seizoenvraag voor koeling is lager dan die voor verwarming. Voor de toepassing van warmtepompen met bodem als bron is er daarmee in de praktijk vaak geen thermische balans. -

Aanleiding hiervoor was een discussie met de Secretary General van de EHPA bij DUBO-techniek in Zaltbommel. Deze verbaasde zich erover dat DUBO tegen de aangegeven lage tarieven kon werken.

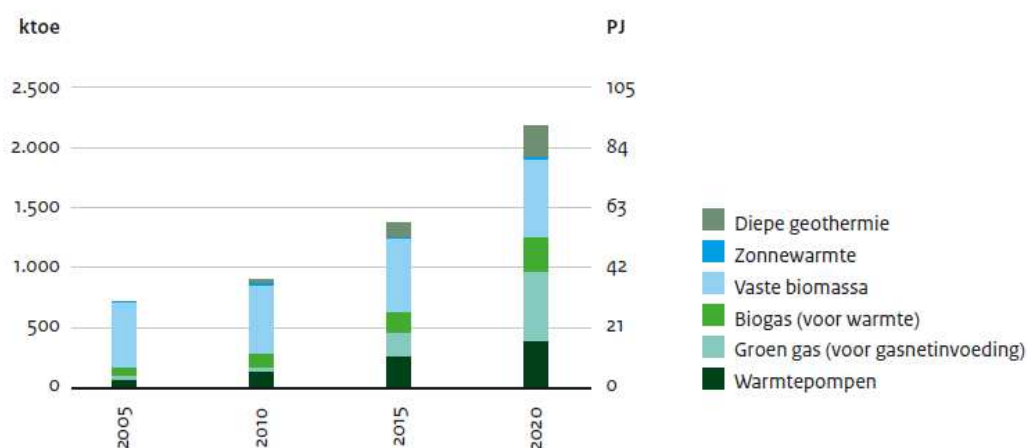
Daarbij zijn nog aangemerkt dat het onderzoek zich richtte op projectgrootten van 1 – 10 woningen. Het is meer dan waarschijnlijk dat de projectprijzen uit het rapport bij grotere projecten nog lager zijn en dat dit inmiddels 16 maanden na dato ook voor de beschouwde projectgrootte uit het rapport het geval zal zijn.

Toepassing van een warmtepomp met WKO heeft voor eindgebruikers een grote communicatieve waarde. Het imago van duurzame huisvesting is belangrijk, zeker bij overheidsinstellingen en grotere bedrijven, en WKO kan daarvan de vlaggendrager zijn. De Nederlandse Spoorwegen profileert zich hiermee waarbij op alle grote gerenoveerde stations WKO als technologie wordt geprofileerd. Ook theatermaker Van Den Ende profileert zich hiermee. Afhankelijk van het exploitatiemodel kan het ook tot kostenvoordelen voor de eindgebruiker leiden, al lijkt geld vaak niet de stuwende kracht te zijn. In het verlengde van wensen van de eindgebruikers zien beleggers duurzaamheid en daarbinnen de toepassing van een warmtepomp met WKO vaak als panacee om een gebouw voor langere tijd verhuurbaar te maken [25].

De meeste warmtepompprojecten in de utiliteit hebben lucht als bron [1].

Het potentieel voor hernieuwbare energie en besparing

Het Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen [64] verwacht dat warmtepompen in 2020 een bijdrage leveren van 16 PJ. Deze bijdrage is opgebouwd uit 4,9 PJ aerothermisch, 10,1 PJ geothermisch en 0,5 PJ hydrothermisch.



Met een intensivering van beleid kan dit volgens de input op de warmtevisie geleverd door RVO [65] oplopen tot 28PJ in 2020.). Volgens de ramingen van Planbureau voor de Leefomgeving en ECN groeit de opbrengst van warmtepompen de komende 7 jaar fors. Om deze groei vanuit de branche gestalte te geven is door de Dutch Heat Pump Association (DHPA) de doelstelling geformuleerd om in 2020 een aantal van 500.000 warmtepompen te hebben geïnstalleerd in de woningbouw. Het technisch potentieel in penetratiegraad varieert per woningtype. Daarin wordt het potentieel voor in de meergezinswoning geraamd op ca. 50% van het areaal, oplopend tot ca. 95% voor de vrijstaande woningen. In totaal is het technisch potentieel voor toepassing van warmtepompen becijferd op ca. 5,4 miljoen woningen, overeenkomend met ca.74% van het totale woningbouwareaal [2].

De RVO rapportage Industrial Heat Pumps in the Netherlands [63], die parallel hieraan is geschreven stelt dat er nog een groot onbenut besparingspotentieel is in de industrie en glastuinbouw. Overal waar koeltorens staan, waar oppervlaktewater thermisch wordt belast en waar schoorstenen hete rookgassen in de atmosfeer brengen liggen mogelijkheden tot warmteterugwinning. Daarbij is het van groot belang dat deze afval- of restwarmte eerst intern wordt ingezet en pas daarna wordt gekeken naar mogelijkheden van uitkoppeling naar de burens (Energy Matters). De warmtepomp in allerlei uitvoeringsvormen is hiervoor een beschikbare en bruikbare techniek. De inzet van dit type warmtepomp gericht op warmteterugwinning wordt niet gezien als hernieuwbare energie maar als energiebesparing.

De potentiëlen met warmtepompen zijn groot: -

- Chemische industrie in 35% van de reboilers is dat 850MW ofwel 28 PJ (bron ISPT)
- In de papierindustrie als goed alternatief en aanvulling op de WKK is het 8 PJ (bron ISPT)
- In de voedingsmiddelen industrie ca 14 PJ in de combinatie koeling en verwarming [66]
- Op bedrijventerreinen met een energiegebruik van 170 PJ ca 30% [66]
- Glastuinbouw in aanvulling op de WKK en voor verwarming en koeling, ca 20 PJ [68]

De laatste twee potentiëlen zijn veelal wel vormen van hernieuwbare energie.

In het advies van RVO ten behoeve van de Warmtevisie van het ministerie van economische Zaken staat aangegeven:

Ondiepe bodemenergie:

Maatregelen voor hoge potentieel

- Inzetten op energie neutrale gebouwen
- Op elkaar afstemmen huidige maatregelen
- Verbeteren imago
- Ontwikkelen van toepassingen in de agrosector
- Stimuleren van hoog niveau renovatie van bestaande gebouwen
- Waarderen van koeling met bodemenergie voor de EU.

Bijdrage 2012	2,9 PJ
Marktgroei	ca. 15%
BaU 2020	7 PJ
Intensivering 2020	15 PJ
Toepassing	Gebouwde omgeving
Subsidie	0 €/GJ (wel EIA)

Buitenlucht – warmtepompen met buitenlucht als bron

Maatregelen om het hoge potentieel te bereiken:

- Stimuleren hybride warmtepompen in bestaande woningbouw.
- Verlagen EPC
- Eisen stellen aan energieprestatie bestaande gebouwen.

Bijdrage 2012	2,7 PJ
Marktgroei	ca.10%
BaU 2020	5 PJ
Intensivering 2020	13 PJ
Toepassing	Vooraf Utiliteitsbouw
Subsidie	0 €/GJ (wel EIA)

Hoofdstuk 3

Technologie Trends

In de transitie van fossiel naar duurzaam is er in de verwarmingsmarkt sprake van een aantal nieuwe spelers uit andere marktsegmenten, dat deze markt betreedt en hun kennis daar toepassen. Daarnaast zijn er de toegenomen invloed en mogelijkheden vanuit de ICT en de druk vanuit het milieu die vragen om innovatie. Deze autonome marktgerichte innovatie is sterk vraaggestuurd en toont de dynamiek van een zich snel ontwikkelende Europese markt waarin het afgelopen decennium een ongekende vernieuwing heeft plaatsgevonden.

De aanbodzijde van de markt van warmtepompen bestond lange tijd uit twee typen fabrikanten die ieder vanuit hun eigen achtergrond met de technologie werkten. Aan de ene kant stonden de fabrikanten van airconditioning, aan de andere kant de traditionele fabrikanten van CV ketels in de verwarmingsmarkt en een aantal koudetechnische leveranciers. Partijen uit de eerste groep zijn vooral van Aziatische en/of Amerikaanse herkomst, zoals Daikin, Mitsubishi Electric, Carrier, Trane, Panasonic, LG en Aisin-Toyota. De tweede groep is vooral Europees van oorsprong met merken als Stiebel Eltron, Vaillant, Bosch, Viessmann, NIBE en Alpha Innotec. Op de Europese markt voor de toepassing van warmtepompen in de woningbouw groeien deze twee groepen naar elkaar toe. Daarbij wordt de specifieke kennis van de marktsegmenten, die aanvankelijk een competitief voordeel in de markt betekende, over en weer gebruikt. Zo heeft Daikin een warmtepomp geïntroduceerd gecombineerd met een gasketel en werken Viessmann en NIBE met inverter geregelde warmtepompen.

In Nederland was er ruim een decennium sprake van een ontwikkeling waarin de voornaamste gasketelfabrikanten (Nefit, Remeha en Intergas) zich 'ver' hielden van warmtepompen. Boilerfabrikanten als Inventum en ITHO-Daalderop begaven zich naast Techneco op het warmtepomp pad naast importeurs zoals Nathan, Vaillant, NIBE en Duraklima die ieder hun eigen ontwikkelingen in voor de Nederlandse markt, relatief onafhankelijk van het moederbedrijf opzetten. Op de VSK 2014 presenteren Nefit, Intergas en Remeha de integratie van de traditionele gasketel op de warmtepomp, als hybride naast ook andere warmtepompen. Nu de grote traditionele Nederlandse gasketelfabrikanten de hybride als volwaardig alternatief in hun pakket hebben opgenomen betekent dit een doorbraak in de presentatie van hun marktperspectief en is er sprake van een revolutie in de marktontwikkeling die nog dit decennium zal plaatsvinden.

Daarbij voeren de meeste warmtepompfabrikanten, ook de Aziatische fabrikanten, zonne-energie, veelal thermisch, in hun pakket of hebben het minimaal als handelsproduct wanneer het zon-pv betreft. Voor partijen als Daikin, Mitsubishi Electric, Panasonic en LG is dat een logische uitbreiding omdat zij een volwaardige partner in de woningbouw willen zijn. In de Utiliteit zijn het de grote Aziatische en Amerikaanse leveranciers die de markt van airconditioning beheersen. Voor de toepassingen met bodembronnen spelen typisch leveranciers als Waterkotte, Viessmann, Lennox en Carrier een belangrijke rol. Nederlandse fabrikanten in deze sector zijn ETP, Greenco en Reduses.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijke innovaties en trends. Belangrijk in de beschouwing van de innovaties die in Nederland tot stand komen dat dit vrijwel altijd toepassingsgerichte innovatie is waarbij componenten worden gebruikt die internationaal verkrijgbaar zijn. Nederland kent behalve op gebied van industriële toepassingen en ICT geen fabrikanten op het gebied van componenten die in warmtepompen in koudemiddelkringloop worden gebruikt.

3.1 Hybride warmtepompen

De hybride warmtepomp is een 100% innovatie vanuit **Nederland** die voortkomt uit een opdracht die in 1998 verstrekt is door het toenmalige Novem aan Gastec. De hybride is een combinatie van een kleine lucht-water warmtepomp voor de basislast en een gasketel voor de pieklast en tapwater-bereiding. Hoewel tapwaterbereiding met opslag in een boiler een energetisch betere oplossing biedt kan bij de hybride de boiler in principe worden weggelaten wat ruimtewinst geeft en de acceptatie in de markt vergroot. De hybride is ook goed inpasbaar in bestaande Cv-systemen waardoor relatief eenvoudig twee energielabelsprongen in de bestaande bouw kan worden bereikt.

De eerste commerciële producten kwamen rond 2004/2005 op de markt van Techneco (ELGA) en Daalderop (CombinAir, opgevolgd door de HP-Cool Cube). Aansluitend daarop kwam de oprichting van de Smart Hybrid Foundation in 2006, als brancheorganisatie voor (hybride) lucht/water warmtepompen. Partijen als AWB en WADUS volgden snel en ook buitenlandse leveranciers met een sterke Nederlandse vestiging, zoals Alklima (Mitsubishi Electric), NIBE en Vaillant leveren inmiddels hybride warmtepompen. Belangrijke uitdaging is de 'communicatie' tussen gasketel en warmtepomp. Daalderop heeft met haar CombinAir vanaf het begin gekozen voor integratie van warmtepomp en Hr-ketel in één behuizing.



Fig. 3.1 ITHO-Daalderop CombinAir

Wanneer de warmtepompleverancier geen eigen ketel in het pakket heeft, dient de installateur met voldoende kennis van zaken de twee technieken aan elkaar te koppelen. Inmiddels is voor dit concept een ISSO-publicatie met ontwerprichtlijnen en zijn er opleidingen. Een algemeen knelpunt voor hernieuwbare energie overigens is dat zowel de consument als de installateur kiest voor de meest eenvoudige oplossing [45]. Onder andere Vaillant heeft daarom speciaal voor de Nederlandse markt een compacte hybride warmtepomp ontwikkeld die als plug&play pakket voor een zeer concurrerende prijs wordt aangeboden. De installateur plaatst de warmtepomp met ketel als het ware vanuit de achterbak van zijn Mercedes VITO-bus. Opvallend is dat deze hybride naast lucht als bron ook met de bodem als bron kan worden geleverd.



In 2013 is er sprake geweest van een grote Europese doorbraak wanneer op de ISH 2013 in Frankfurt blijkt dat er meerdere grote leveranciers zijn met hybride warmtepompen die geschikt zijn voor ketelvervanging in de bestaande bouw (retrofit). Er waren onder andere hybriden van Junkers (Bosch), Vaillant, Baxi (BDR Thermea), Daikin en Viessmann. Waar de meeste toestellen in Duitsland groter zijn dan de systemen gebruikelijk in Nederland, vallen Intergas en Daikin op door een compacte wand gemonteerde unit niet groter dan een Hr-ketel. Omdat de gasketel van Intergas het tapwater levert is er geen opslag nodig met als voordeel een forse ruimtebesparing en daarmee een betere inpassing in de standaard Nederlandse woning. Het product werd door Intergas op de VSK 2014 op de Nederlandse markt breed geïntroduceerd als een volwaardige opvolger van de HR-ketel. In Duitsland is Rotex de belangrijke vertegenwoordiger van het product.

Fig. 3.2 Intergas-Daikin Hybride



Fig. 3.3 Nefit Multi line hybride.

Nefit heeft met de MultiLine een hybride oplossing met lucht als bron waarbij twee regelingen vanuit de kamerthermostaat kunnen worden ingesteld. De kostenbesparende optie gaat uit van de actuele energieprijzen en berekent de regeling continu vanuit de meest kostenefficiënte balans tussen warmtepomp en HR-ketel. In de milieu optie berekent de regeling berekent continu welke manier van verwarmen op dat moment de laagste CO₂-uitstoot veroorzaakt. Daarbij wordt gekeken naar de hele keten, van energiecentrale tot eindgebruiker.

Een bijzondere hybride is de ventilatiewarmtepomp van Inventum. Als idee geboren in de jaren tachtig is dit rond 2006 volledig uitgewerkt. De Inventum Ecolution ventilatiewarmtepomp Combi 50 is een hybride warmtepomp die als bron

de ventilatielucht uit de woning gebruikt. Samen met een HR combiketel voorziet hij in het verwarmen van de woning en het leveren van warm water. De Ecolution komt in plaats van de mechanische ventilatiebox en vervult naast de warmtepompfunctie tevens het mechanisch afvoeren van de ventilatielucht.

De regeling van de Ecolution is autonoom en gebaseerd op de inkomende luchttemperatuur, dit systeem is vergelijkbaar met de werking van moderne ventilatiesystemen. Komt de luchttemperatuur boven de ingestelde waarde, dan wordt de warmtepomp voor ruimteverwarming uitgeschakeld. Ecolution aan de hand van metingen op de aanvoer en retour, het pompvermogen aangepast. De Ecolution kan deelnemen in ieder verwarming afgiftesysteem.

Omdat een groot deel van de woningen in Nederland een ventilatie-unit heeft is de ventilatiewarmtepomp hier goed inpasbaar, direct in te zetten en kunnen besparingen van ruim 40% op primaire energie gehaald worden. Ook in de nieuwbouw kan de ventilatiewarmtepomp goed worden toegepast. Nefit heeft dit type nu ook in het leveringspakket, evenals DUCO.

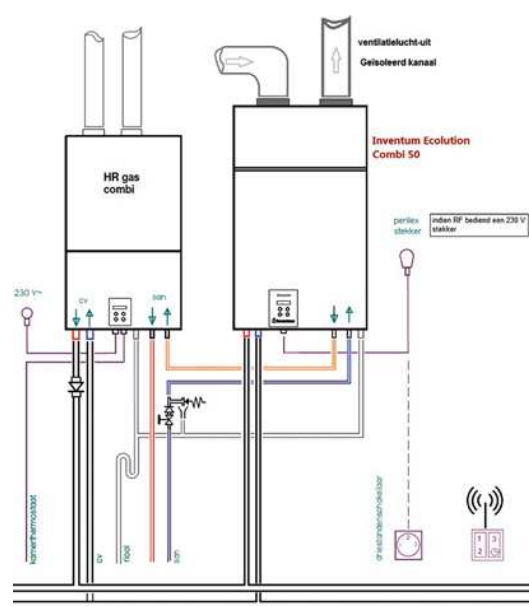


Fig. 3.4 Inventum Ecolution

Op de VSK 2014 presenteerde Remeha een prototype van de Tzerra Hybride, een combinatie van de Tzerra met een warmtepomp van 3 tot 5 kW. Vanaf eind 2014 is deze hybride leverbaar. De digitale regeling van deze combinatie maakt het mogelijk dat op basis van gas- en elektriciteitsstarief en de op dat moment haalbare COP wordt bepaald of de warmtepomp, de ketel of beiden warmte leveren.

Opvallend is de prijsstelling die de fabrikanten denken te gaan hanteren waarbij feitelijk ook sprake is van een doorbraak op dit gebied. In de studie van AgNL uit 2012 [4] bleek al dat warmtepompconcepten in Nederland aanzienlijk goedkoper aangeboden werden dan in andere Europese landen. Dit prijsniveau is nu verder en concurrerend naar omlaag bijgesteld.

In Nederland worden hybriden in de woningbouw standaard gekoppeld aan gasketels. In landen met olie gestookte ketels is de combinatie met een bio-pellet ketel, als vervanging van de olietketel, een ontwikkeling die gaande is. Partijen als Viessmann in Duitsland en Ochsner in Oostenrijk zijn hiermee actief.

3.2 Component ontwikkeling als basis voor een nieuwe generatie warmtepompen

De nieuwe generatie warmtepompen heeft een bredere inzetbaarheid door een aantal technische ontwikkelingen voortkomend uit klimaat- en koude technologie. Dit zijn:

- Flashinjectie van koudemiddelen in de compressor, waarmee lagere temperatuur bronnen zoals buitenlucht effectief kunnen worden ingezet. Voor grotere systemen is hiervoor de twee traps compressiecyclus geïntroduceerd.
- Inverter techniek, waarmee de warmtepomp traploos met gering rendementsverlies naar 10% van de capaciteit kan worden teruggeregeld. Hiermee kan een grotere capaciteit worden neergezet voor de pieklast en voor het tapwater, maar kan ook effectief de basislastcapaciteit worden bediend.

De technologie die voorheen alleen in grotere klimaatsystemen in de airconditioning voor kantoren werd gebruikt, is nu inzetbaar voor kleine warmtepompen in de woningbouw. De meeste leveranciers van warmtepompen hebben dit nu in het leveringspakket opgenomen.

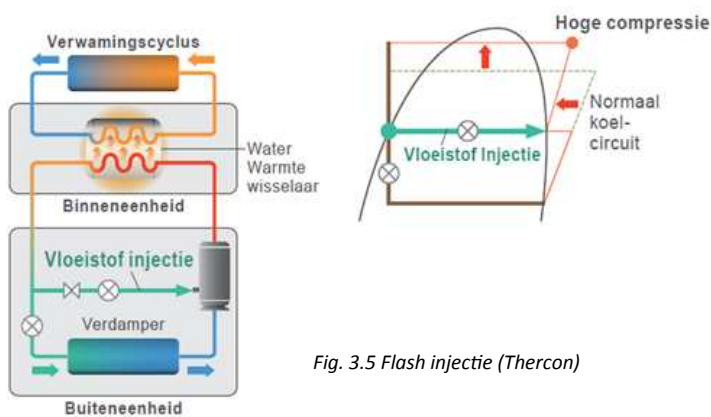


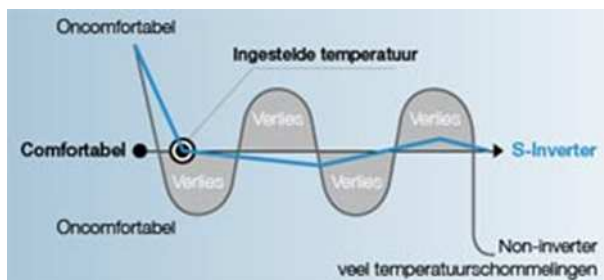
Fig. 3.5 Flash injectie (Thercon)

Mitsubishi Electric met haar [Zubadan](#) een belangrijke pionier op het gebied van **Flash-injectie** stelt op haar website dat dankzij de technologie er een constant verwarmingsvermogen wordt geleverd bij een buitentemperatuur van 7°C tot -15°C. Bij een klassiek systeem (zonder flashinjectie) daalt de capaciteit voor verwarming bij een lage buitentemperatuur. Dit is de meest kritieke periode omdat de verwarmingsvraag dan het hoogst is. Bijkomende voordelen van de 'flashinjectie' ten opzichte van standaard inverter systemen zijn: een kortere ontdooi-

cyclus met een lagere frequentie: het sneller (33%) bereiken van de verwarmingsmodus. Bovendien kan er een systeem geselecteerd worden met een lagere verwarmingscapaciteit omdat er geen capaciteitsverlies meer optreedt bij lagere buitentemperaturen.

De technologie van flashinjectie, bekend uit de koudetechniek, is in 2010 geïntroduceerd op kleine compressoren voor warmtepompen en wordt nu snel gevolgd door een groot aantal leveranciers, dat in de rij staat om het toe te passen. Leveranciers als Dutch Heat Pump Solutions (DHS), Viessmann, Stiebel Eltron, Mitsubishi Electric en Panasonic zijn met beide ontwikkelingen op de markt. Japanse leveranciers zijn hierin de voorlopers. Ook Carrier, Samsung, NIBE, Danfoss, Nefit, etc. introduceren deze technieken op de markt.

Met **inverter technologie** wordt de capaciteit van de warmtepomp traploos geregeld tot de gewenste ruimtetemperatuur bereikt is. In conventionele systemen met airconditioning werd de volle capaciteit ingezet en vond overshoot plaats omdat na het bereiken van de ingestelde temperatuur het verwarmingsapparaat doorverwarmt. Dit leidde tot onnodig start-/ stopgedrag en een slecht comfort voor het binnenklimaat. Met inverter technologie uitgeruste airco's monitoren voortdurend de binnen- en buitentemperatuur en stemmen daar hun levercapaciteit aan koeling of verwarming op af. Inverter technologie heeft een belangrijk voordeel ten opzichte van de vroegere 'aan of uit'-kasten: doordat een inverter snel kan schakelen, wordt de gewenste temperatuur heel snel bereikt, wat voor een prettiger binnenklimaat zorgt. Daarmee biedt een warmtepomp-airco een milieuvriendelijk en goedkoop alternatief voor verwarming via een cv-installatie.



Vrijwel alle airco's die tegenwoordig worden verkocht, zijn voorzien van inverter technologie die ervoor zorgt dat het apparaat snel reageert op veranderingen in het binnenklimaat.

Fig. 3.6 Effect van inverter op klimaat (Samsung)

Inverter technologie wordt nu ook ingezet voor allerlei typen warmtepompen omdat met de inzet van inverter techniek de capaciteit van de warmtepomp efficiënt zonder verliezen kan worden teruggeregeld. Hiermee kan de warmtepomp op pieklast worden gedimensioneerd in een systeem dat voor het grootste deel van het jaar in deellast draait. DE warmtepomp die met flash injectie een groter temperatuurbereik heeft kan daarmee monovalent worden ingezet en gedimensioneerd. Vooral bij systemen met lucht als bron biedt dit grote voordelen. Bij systemen met bodem als bron leidt dit mogelijk tot onevenredig grote dimensionering van de bodembronnen ter dekking van de piekvraag.

3.2.1 Lucht water warmtepompen



Fig. 3.7 Buitenunit van Mitsubishi werkt ook bij vrieskou

De oplossing met buitenlucht als bron had tot voor kort bij lage buitentemperaturen een matige energieprestatie en bovenal onvoldoende capaciteit om de piekvraag in koude periodes voldoende efficiënt te kunnen dekken. Een hybride warmtepomp bood hier een oplossing door bij lage buiten temperaturen terug te vallen op de ondersteuning van een gasketel. Ook kon hiermee de warmtepomp klein gedimensioneerd worden. Nu met de nieuwste ontwikkelingen lucht als bron bij

buitenlucht temperaturen van -20°C nog inzetbaar is, lijkt in feite de hybride oplossing in gematigde klimaat-zones, zoals Nederland, overbodig.

Vooral in de nieuwbouw heeft lucht al bron in de monovalente uitvoering perspectief. In de nieuwbouw kan door de goede isolatie de warmtevraag en daarmee de winterpiek laag worden gehouden. De prestaties van de warmtepomp met lucht als bron zijn weliswaar iets minder dan met de bodem als bron maar de investeringskosten zijn aanzienlijk lager. Over het gehele jaar met een kleine winterpiek scoort dit soort oplossingen op prijs-prestatie beter. Voor de kortstondige piek kan de lagere COP geaccepteerd worden, wanneer het elektriciteitsnet hierop aangelegd is.

In de afgelopen periode hebben vrijwel alle belangrijke spelers op de markt de innovaties in hun pakket opgenomen waarmee een gehele nieuwe markt is opgelegd die sterk gaat concurreren met warmtepompen op bodembronnen in de energieneutraal concepten voor de nieuwbouw. Er valt op korte termijn een verschuiving in de markt te verwachten van warmtepompen met de bodem als bron naar lucht als bron.

Fig. 3.9 Verschillende opstellingen



Ook in renovatie biedt de warmtepomp met lucht als bron kansen en kan de warmtepomp vrijwel monovalent worden bedreven. Overigens zal in bestaande bouw de hybride oplossing vooralsnog de voorkeur hebben omdat in de bestaande bouw de capaciteit van de piekvraag groter is dan in nieuwbouw. Dit betekent dat de warmtepomp het grootste deel van de warmtevraag op deellast zou moeten leveren en dat er een grote buffercapaciteit in het verwarmingssysteem zou moeten worden ingebouwd. Immers belangrijke voordelen die de hybride oplossing bieden:

- Geringe belasting van het elektriciteitsnet in periode van piekvraag, daarmee biedt de hybride een schakelmogelijkheid in smart grids door dual fuel optie
- Tapwater zonder opslag eenvoudig inpasbaar in bestaande situaties omdat de gasketel deze vraag dekt.
- Marktacceptatie aan de kant van klant en installateur

Daarbij is de volledige overgang naar een monovalente lucht-water warmtepompen in de bestaande als overgang van een concept met gas als energiebron naar een monovalente all-electric concept voor de marktacceptatie potentieel belemmerend.

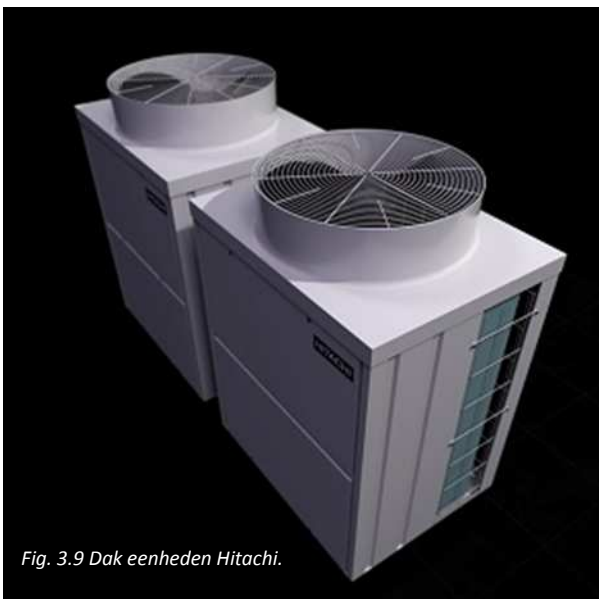


Fig. 3.9 Dak eenheden Hitachi.

De grotere systemen in de kantorenmarkt zijn vooral met lucht als afgifte, terwijl er een groeiend aandeel is met water als afgifte. Vooral bij renovatieprojecten in de utiliteitsbouw, waar het energielabel een economische waarde heeft, biedt dit alternatief veel kansen omdat het relatief eenvoudig te installeren is. Waarvoorheen de rendementen tegenvielen heeft de markt de laatste jaren het aanbod aanzienlijk verbeterd met nieuwe compressortechnologieën. Volgens de CBS statistiek is buitenluchtwarmte goed voor circa 3% van het eindverbruik van hernieuwbare energie in 2012. Hoewel deze statistiek vervuild is met kleine 'airco-systemen' die alleen maar koelen, blijkt na correctie hierop uit het totaal geïnstalleerde vermogen dat deze markt nog altijd groter is dan die van warmtepompen met de bodem

als bron. Met het van kracht worden van het ECO-label Lot 10 voor Airconditioning <12kW in 2013, verwacht de branche dat op korte termijn de prestaties van kleinere systemen aanzienlijk zullen verbeteren door het uitbannen van slechte toestellen [63]. In de kantorenwinkels voor koeling als lucht-lucht klimaatsysteem. mogelijk en al gerealiseerd (zie paragraaf 3.2.2).

markt komen dergelijk kleine systemen voor in - Ook hier is verbetering in de prestaties moge-

De ontwikkeling van de tweetraps compressor komt vooral voor bij grotere systemen. Samsung stelt dat hierdoor hogere temperatuursprongen kunnen worden bereikt voor toepassing in kantoren en ook stadsverwarming systemen met mogelijk ook buitenlucht als bron.

De tweetrapscompressor komt voor in grotere systemen (vanaf circa 100 kW) bij onder andere Carrier, Daikin, Mitsubishi en Hitachi.

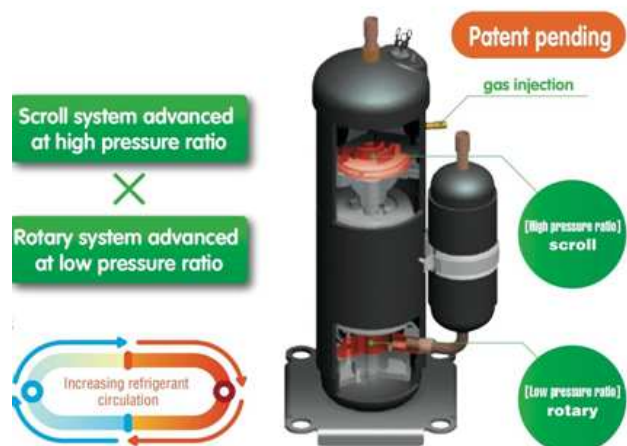


Fig. 3.10 Tweetraps compressiecyclus (Samsung)

3.2.2 Klimatisering

Klimatisering, ook wel airconditioning genoemd, is het verwarmen, koelen en be-/ontvochtigen van ruimten, dat moet leiden tot een aangenaam werkklimaat. Klimatisering gebruikelijk in utiliteitsbouw vindt plaats op basis van luchtbehandeling en ventilatie, veelal met omkeerbare lucht/lucht warmtepompen. De verwarming wordt vaak ondersteund met vloerverwarming of convectoren. In woningbouw is dit minder gebruikelijk en wordt airconditioning als een luxe gezien.

Wie het vroeger over een 'airco' had, dacht meestal aan een stroom slurpend apparaat dat ervoor zorgde dat het binnen ijskoud was terwijl buiten de zon scheen. Ook werden aircosystemen ingezet om allen te koelen en niet te verwarmen. Veel Europese overheden vinden dat dit leidt tot overbodig elektriciteitsgebruik en te vermijden pieken in de zomer. Het lijkt juist wanneer het gaat om luchtkoelers die 'gekocht worden bij een bouwmarkt', maar is voor een belangrijk deel onjuist wanneer ook de verwarmingsfunctie wordt gebruikt. Het CBS stelt dat omkeerbare warmtepompen regelmatig alleen gebruikt worden voor koeling, als gewone airco, samen met bijvoorbeeld een gewone verwarmingsketel. Voor leveranciers is het erg lastig om te schatten welk deel van de omkeerbare warmtepompen daadwerkelijk wordt ingezet voor verwarming.

Voor de statistiek is aangenomen dat alle omkeerbare lucht-lucht-warmtepompen met een vermogen tot 10 kW niet voor verwarming worden gebruikt.

Het effect van de Europese eisen voor toestellen, het [ECO-label](#) op de markt is groot. Op 01.01.2013 wordt de uitvoeringsverordening (EU) 206/2012 van kracht, waarin de eisen van de ErP-richtlijn 2009/125 EG voor airconditioners en lucht/lucht warmtepompen tot 12 kW koelvermogen worden omgezet. De EU wil hiermee het milieuvriendelijk ontwerpen van energieverbruiksrelevante producten bevorderen. Door middel van strenge eisen op het vlak van de energie-efficiëntie moet de de CO₂-emissie en het energieverbruik tegen het jaar 2020 met 20 % zijn verlaagd. Met het van kracht worden van het ECO-label Lot 10 verwacht de branche dat op korte termijn de prestaties van kleinere systemen aanzienlijk zullen verbeteren door het uitbannen van slechte toestellen [63].

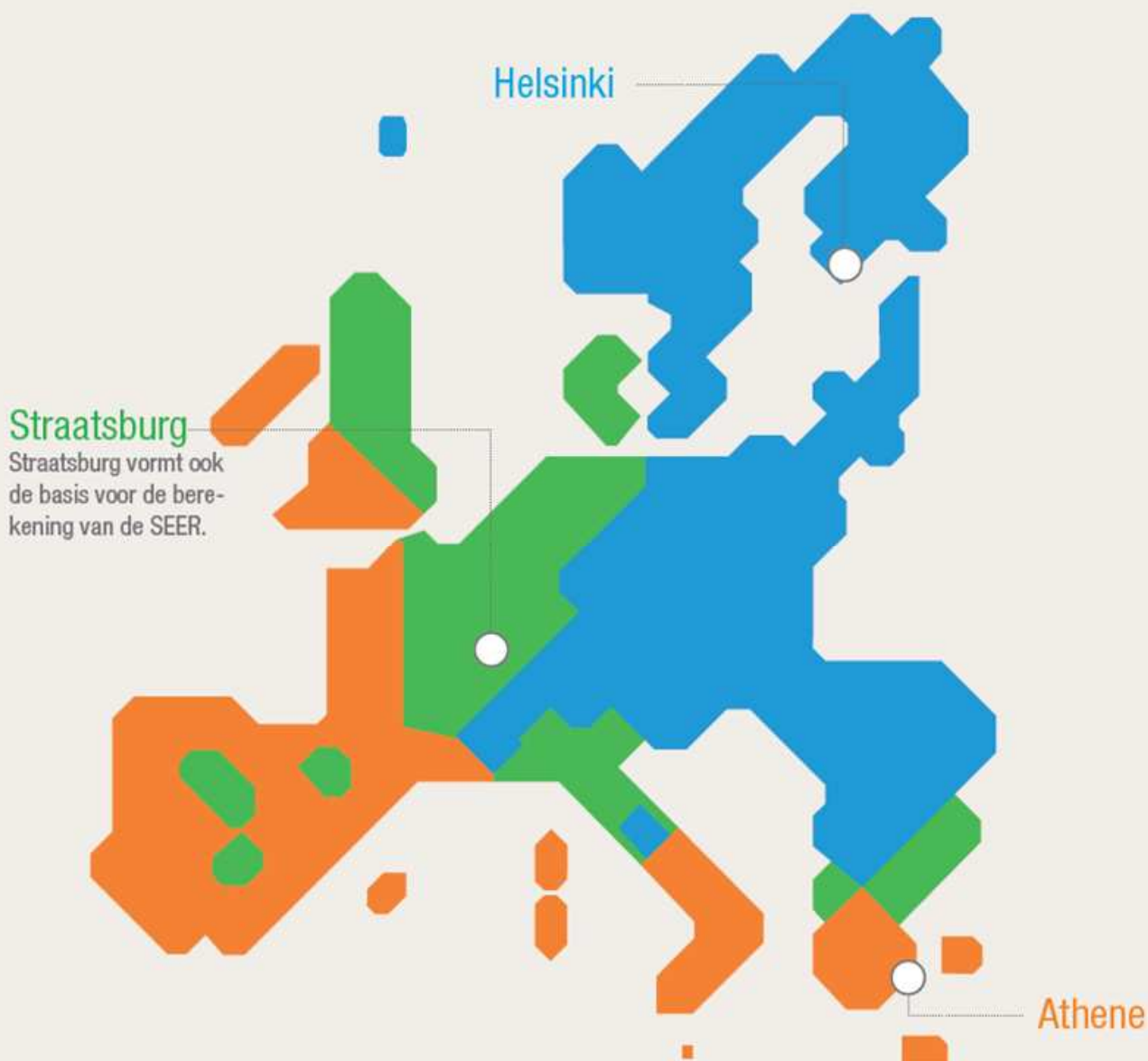
Fig. 3.11 Het ECO-label wordt op het toestel aangebracht.

Het ECO-label Lot 10 stelt voor kleinere lucht-lucht systemen eisen aan de prestaties voor koeling en verwarming, met voor koeling Energie-efficiëntieclassen D tot A+++; overeenkomend met een SEER van 3,6 tot 8,5 en voor verwarming Energie-efficiëntieclassen D tot A+++; overeenkomend met een SCOP van 2,5 tot 5,1. Bij verwarming wordt het EU-gebied onderverdeeld in drie klimaatzones voor berekening en indeling. Doel is de energie-efficiëntie te berekenen, rekening houdende met de reële regionale omgevingstemperaturen. De nieuwe seizoensgebonden meetprocedures voor koeling en verwarming houden rekening met vier jaargetijden, drie EU-klimaatzones bij verwarming, deellastmodus, verbruik bij thermostaat-off, stand-byverbruik, carterverwarming. Dit levert een beoordeling op van de energie-efficiëntie bij een realistisch, gemiddeld gebruik van een splitsysteem.

Toestellen die lager scoren dan klasse D mogen vanaf 2013 in Europa niet meer verkocht worden. In 2015 is het niveau al opgehoogd naar label B.

Klimaatreferentiewaarden voor drie zones bij berekening van de SCOP

Aangezien de klimaatomstandigheden grote invloed hebben op de werking van de warmtepompmodus, werden drie klimaatzones binnen de EU gevormd: **warm**, **mild**, **koud**. De meetpunten liggen uniform bij 12 °C, 7 °C, 2 °C en -7 °C.



Straatsburg

Straatsburg vormt ook de basis voor de berekening van de SEER.

Warm (Athene)				Mild (Straatsburg)				Koud (Helsinki)			
Deellast	Buiten		Binnen	Deellast	Buiten		Binnen	Deellast	Buiten		Binnen
	DB	WB	DB		DB	WB	DB		DB	WB	DB
–	–	–	20 °C	88%	-7 °C	-8 °C	20 °C	61%	-7 °C	-8 °C	20 °C
100%	2 °C	1 °C	20 °C	54%	2 °C	1 °C	20 °C	37%	2 °C	1 °C	20 °C
64%	7 °C	6 °C	20 °C	35%	7 °C	6 °C	20 °C	24%	7 °C	6 °C	20 °C
29%	12 °C	11 °C	20 °C	15%	12 °C	11 °C	20 °C	11%	12 °C	11 °C	20 °C

Leveranciers van luchtbehandelingsapparaten en airconditioning onderkennen dit probleem en verbeteren marktgericht op een innovatieve wijze hun concepten. De technische ontwikkeling van de afgelopen jaren heeft al duidelijke vooruitgang gebracht op het gebied van energie-efficiëntie, vooral bij de bekende merkfabrikanten. Het bestaande beeld van de airco-industrie is daarmee vrijwel volledig achterhaald.

De recente ontwikkelingen laten zien dat de traditionele airco-industrie de voor hen nieuwe markt betreedt van verwarming in de gebouwde omgeving met nieuwe concepten toegesneden op deze markt.

Daikin komt met een sterk geoptimaliseerd concept van een lucht/lucht warmtepomp die met een nieuw koude-middel tot zeer hoge prestaties komt voor zowel koeling als verwarming (volgens het ECO-label een SEER - 9,54 (A+++)) en SCOP - 5,9 (A+++)). In de integrale oplossing voor het binnenklimaat wordt bevochtiging, ontvochtiging, luchtzuivering en ventilatie in één toestel meegenomen voor toepassing in woningen. Afgeleid van de VRF-multi split uit de kantorenmarkt duikt de technologie van Daikin nu ook op de woningbouw. Met multi-splitsystemen waarbij één buitenunit is aangesloten op meerdere binnenunits kan ook in de renovatie in gestapelde bouw gewerkt worden, zie paragraaf 3.4.

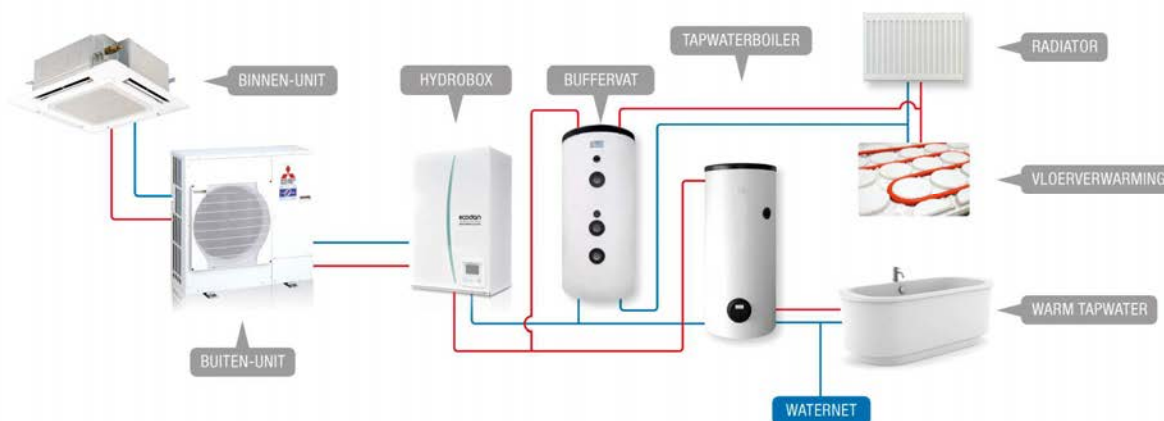


Fig. 3.13 Mit-

Mitsubishi combineert ook luchtverwarming met cv systeem en tapwater.

Mitsubishi levert de Zubadan technologie in een concept waarin vloer- en tapwaterverwarming wordt gecombineerd met luchtverwarming en koeling. Het bijzondere van dit systeem zit hem in de gelijktijdige aansluiting van lucht/lucht en lucht/water binnenunits aan één buitenunit. In het voor en het naseizoen wordt de installatie als lucht/lucht warmtepomp gebruikt opdat bij kortstondig dalende buitentemperaturen de ruimten snel kunnen worden verwarmd. Verwarming via de laag temperatuur vloerverwarming gaat aanzienlijk trager en minder efficiënt. In de zomer wordt de ruimte ontvochtigd en gekoeld. De verlaging van de ruimtetemperatuur door koeling is dan minder van belang omdat ontvochtigen, zeker in beter geïsoleerde laag-energie-woningen, sterk bijdraagt aan het creëren van een aangenaam binnenklimaat.



Fig. 3.14 Luchtgordijn Mitsubishi

Ervan uitgaande dat winkels een grote open entree hebben bespaard de toepassing van luchtgordijnen in winkels op zich al energie. De warme lucht wordt omlaag geblazen en onder afgezogen daarmee wordt het warm-interieur gescheiden van de koude buitenwereld. In de nieuwste type luchtgordijnen wordt de warmte lucht gemaakt met een warmtepomp. Mitsubishi zet hiervoor de Ecodan in met zeer hoge verwarmingsrendementen.

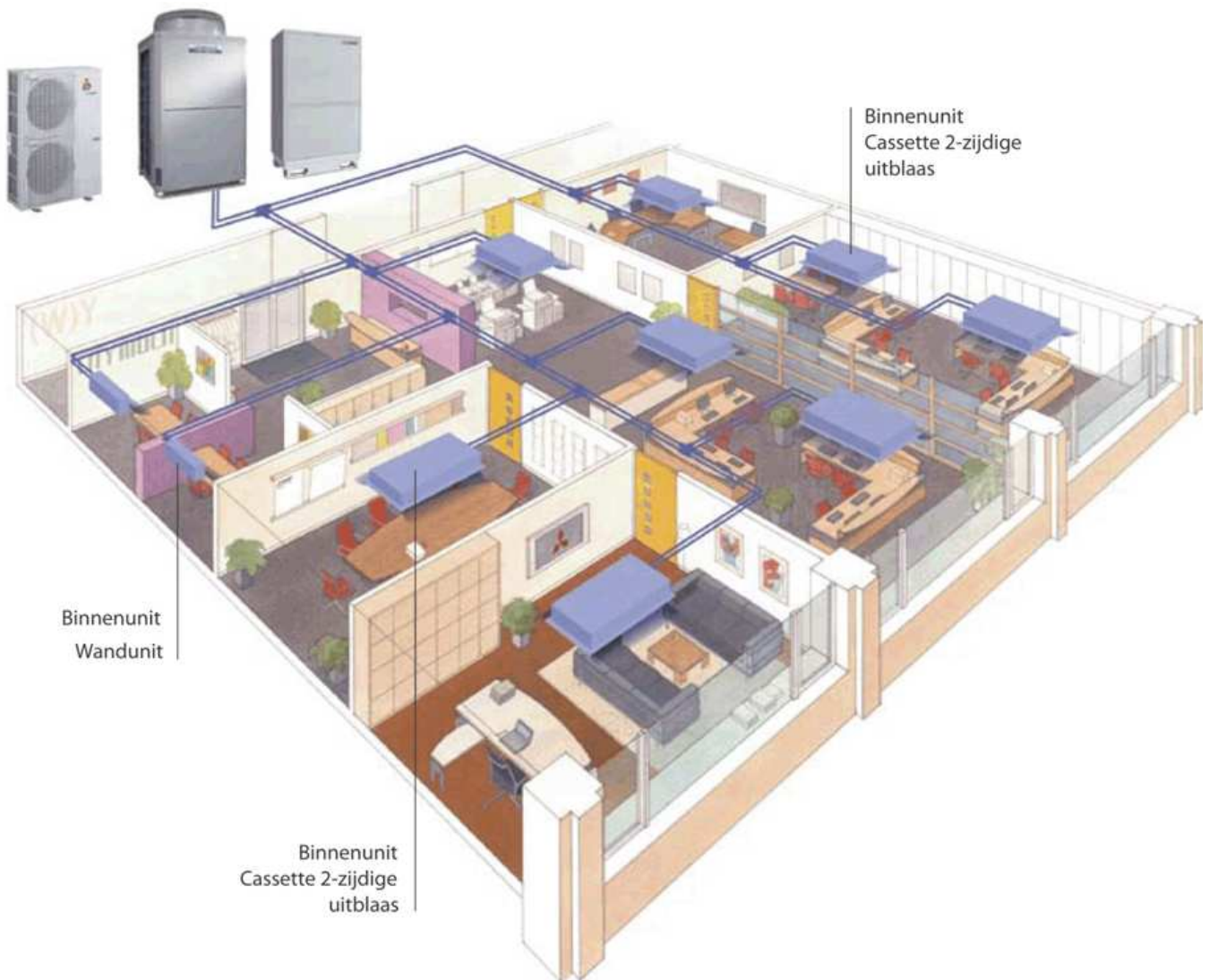


Fig. 3.15 Typisch VRF-systeem voor kantoren.

De grotere systemen in de kantorenmarkt zijn vooral met lucht als afgifte, terwijl er een groeiend aandeel is met water als afgifte. In het verleden werden er als lucht-lucht systemen al veelvuldig VRF-systemen geplaatst en nog steeds is deze toepassing populair. Bij een VRF-systeem worden meerdere airco binnendelen gekoppeld aan één centrale buitenunit. Dit systeem kan gelijktijdig koelen en verwarmen. VRF Systemen zijn modulair opgebouwd en toepasbaar op een groot aantal type binnendelen.

De grote VRF systemen zijn geschikt voor het koelen en verwarmen van grotere kantoren, hotels, winkelcentra, Door gecontroleerd beheer kan men van iedere gebruiker of ruimte zien wat de energiekosten zijn en kan men in iedere ruimte apart de temperatuur instellen koelen of verwarmen voor een aangenaam werkklimaat. Dit is vooral interessant in een complex met meerdere gebruikers en gebruikspatronen.

VRF systemen alweer 25 jaar op de markt, breed toegepast en zijn steeds verder verbeterd. Recente innovaties van Daikin zijn een variabele verdampingstemperatuur, continue verwarming met een warmtepomp – dus ook tijdens de ontdooicyclus – en een VRV-configurator die moet zorgen voor een eenvoudigere inbedrijfstelling. Dit zorgt voor een stijging van 25 procent in het seizoensrendement, doordat het systeem continu de verdampingstemperatuur aanpast aan de totale capaciteitsvraag en aan de weersomstandigheden. In het voor- of najaar, wanneer weinig koeling nodig is, ligt de ruimtetemperatuur bijvoorbeeld al dicht bij de ingestelde waarde.

3.3 Tapwaterconcepten

De marktgroei van warmtepompen in landen als Duitsland is vooral zichtbaar in de grotere aantallen tapwater warmtepompen die worden geplaatst in combinatie met zon-pv. Deze combinatie verdringt de zonnethermische systemen uit de markt. In de afgelopen twee jaar is de markt met ruim 30% gegroeid [17]. De grootste kansen voor tapwaterwarmtepompen op Europees niveau liggen bij:

- Nieuwbouw die moet voldoen aan aangescherpte bouwregelgeving
- Vervanging van elektrische waterverwarmers in bestaande bouw
- Vervanging van collectieve tapwatersystemen door individuele concepten

‘Smart-grid’ toepassingen waarin de opslagcapaciteit van tapwater wordt gebruikt voor het reguleren van de netbelasting.

De mogelijkheden tot verlaging van de energievraag voor tapwater zijn in 2011 in opdracht van AgNL in kaart gebracht [3]. In bijlage 6 is een samenvatting gegeven van dit rapport. De resultaten van deze studie leiden tot een set van aandachtspunten voor zowel nieuwbouw als renovatie in de bestaande bouw:

- Bij duurzame opwekkers (zonneboiler, warmtepompboiler) is een tapvoorraad nodig; kies bij de selectie van voorraadvaten voor de goed geïsoleerde typen. Hierin is in de markt sprake van zeer grote verschillen te maken met de wijze van tappen, de plaatsing van de aansluitingen op het voorraadvat en de regelstrategie van het verwarmen. Deze hebben een grote invloed op de prestaties, vooral bij warmtepompen.
- De benodigde capaciteit voor verwarming van tapwater en ruimteverwarming gaan ver uit elkaar lopen door de afname van de warmtebehoefte op ruimteverwarming bij de ontwikkeling naar energie-neutraal. Een opwekker dient dan afgestemd te worden op de capaciteit voor ruimteverwarming met een goed geïsoleerde buffer voor het tapwater. De combi-warmtepomp is hiervan een voorbeeld, maar ook een klein gekozen HR-ketel met buffer kan hier een oplossing bieden.
- Een grote afstand van warmte-opwekker tot de tappunten geeft warmteverliezen. Zorg voor korte afstanden tot de tappunten. Daarbij dient vooral aandacht te zijn voor de afstand tot het tappunt in de keuken. Bij nieuwbouw dient dit in het woningontwerp meegenomen te worden door de opwekker direct naast de keuken te plaatsen. Hiermee wordt afgeweken van het traditionele Nederlandse concept van rijtjeshuizen met een warmte-opwekker op zolder. Bij grote afstanden tot de tappunten in de bestaande bouw kan een keuze voor gescheiden opwekkers van warm tapwater voor badkamer en keuken, met bijvoorbeeld een 10-liter elektrische keukenboiler, een oplossing bieden.
- In collectieve warmte-opties in bijvoorbeeld de gestapelde bouw en stadsverwarming, bepaalt de distributie van warm tapwater (>65°C) of de distributie van warmte (>70°C), nodig in verband met legionellapreventie, in hoge mate het totaalrendement van het systeem. Warmteverliezen tot 50% zijn niet ongebruikelijk. Distributie van warm tapwater of een distributiesysteem dat de vereiste temperatuur levert voor lokale opwekking van warm tapwater, dient daarom zoveel mogelijk te worden vermeden.

Het kiezen van een toestel met een hoog opwekrendement lijkt het uitgangspunt. Echter het optimaliseren op systeemrendement is een nog beter uitgangspunt, waarmee functionaliteit, economie en locatieafhankelijke factoren meespelen. Hierdoor zijn verschillende oplossingen mogelijk en is bijvoorbeeld het ECO-label Lot 2 die elektrische boilers uitfaseert een onjuiste insteek van de problematiek. Immers een tien-liter keukenboiler kan een uitstekende oplossing zijn.

Schijnbaar optimale oplossingen op toepassingsniveau kunnen in het grote geheel van de keten minder optimaal zijn omdat daarbij ook rekening gehouden wordt met de kwaliteit van de energiebron. Uit de analyse blijkt dat opwek- en systeemrendementen van de verschillende op de markt verkrijgbare en voorkomende concepten een factor vijf kunnen verschillen [3].

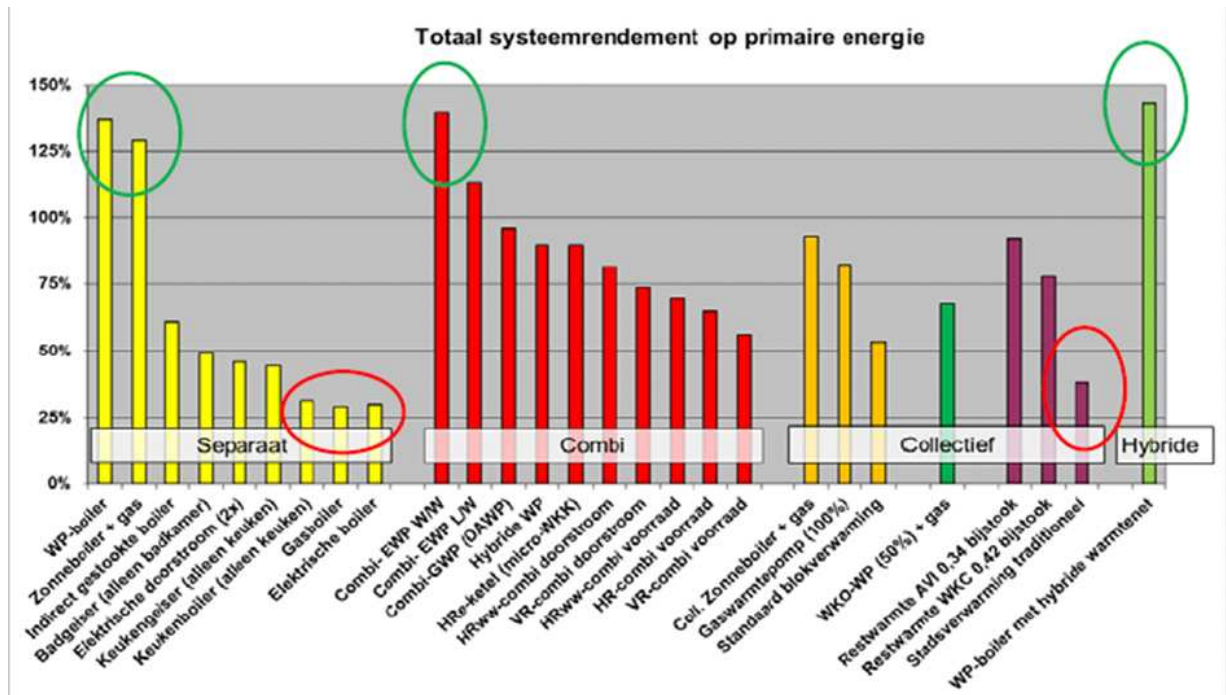


Fig.3.16 Ketenrendement van verschillende concepten bij een tapwatergebruik van 9GJ [3]

De oplossingen met warmtepompen en de zonneboilercombi scoren goed, terwijl daarbij nog is uitgegaan van gegevens uit de norm. Tapwaterwarmtepompen zijn daarin voorzien van boilerkasten van 150 – 300 liter en hebben een COP van 2,5. Dat kan aanzienlijk beter. Voor warmtapwater is opslag in boilerkasten nodig omdat de capaciteit van 4 – 8 kW voor ruimteverwarming te gering is om ‘direct’ tapwater te leveren (hiervoor is ca. 24 - 30kW nodig). In vergelijking met de standaardontwerpen in Europa zijn de boilerkasten in **Nederland** zeer compact met een maximum van 120 – 150 liter. In Duitsland is 300 liter de standaard. Daarnaast vallen de Nederlandse producten van Inventum en ITHO-Daalderop op door de uitstekende prestaties met zeer lage warmteverliezen en goede tapcurves. Deze boilers zijn ontwikkeld en gedimensioneerd op basis van de ervaring met



de ‘nachtstroom boilers’ uit de jaren vijftig van de vorige eeuw die waren beperkt op 80 – 100 liter. Dit was mogelijk door hoog temperatuur opslag in combinatie met uitstekende tapkarakteristieken. Bij de ontwikkeling van warmtepompboilers zijn deze concepten in de jaren tachtig van de vorige eeuw als uitgangspunt gebruikt. Door de lagere temperaturen is de grootte van de opslag toegenomen tot circa 150 liter. Door een goede vorm van warmteoverdracht buiten of in de boiler en een goede regelstrategie worden uitzonderlijke hoge SPF's bereikt voor tapwaterbereiding met warmtepompen. In de praktijk gemeten met SEPEMO zijn waarden van ruim 3,8, waarbij Duitse en Zweedse fabrikanten amper tot 2,5 komen [18].

In Nederland worden overigens anders dan in Duitsland weinig individuele tapwater warmtepompen geplaatst. Het tapwaterdeel maakt in Nederland meestal deel uit van de combi-warmtepomp.

Fig.3.17 IITHO-Daalderop Combi warmtepomp



Fig. 3.18 ECOON tapwater warmtepomp

In gestapelde bouw is er vaak een collectief ketelhuis aanwezig en kan de eerste grote besparing bij renovatie relatief eenvoudig worden bereikt door individueel verketelen en isolatie. Voor individuele oplossingen is echter vaak weinig ruimte per appartement waardoor er vaak toch gekozen wordt voor een centrale warmtedistributie of voor aansluiting op stadsverwarming. Stadsverwarming wordt vaak gemotiveerd op basis van de economie van de hoge warmtevraagdichtheid aan het afleverpunt in de gestapelde bouw waarbij de grote warmteverliezen in het gebouw, die veelal in de buurt liggen van 50%, voor de energetische rekensommetjes worden 'vergeten'.

In het renovatieproces wordt in de upgradings van het gebouw gewerkt aan levensduurverlenging en veelal gekozen voor een goede isolatie. Daarmee kan voor de ruimteverwarming worden volstaan met een laag temperatuur distributiesysteem. Er is dan alleen nog een hoge temperatuur nodig voor het aanmaken van tapwater in verband met de eisen voor legionella. Wanneer deze hoge temperatuur in het distributiesysteem hiertoe wordt gehandhaafd heeft dit grote warmteverliezen (>50%) tot gevolg omdat de temperatuur gedurende 8760 uur moet worden gehandhaafd [3]. Zie bijlage 6.

Het Nederlandse bedrijf Ecoon heeft specifiek voor dit marktsegment een kleine individuele 'water-water warmtepomp' ontwikkeld, die in combinatie met een boiler vat in staat is om legionella-veilig warmtapwater te maken in alle comfortklassen. De warmtepomp gebruikt een laag temperatuur warmtedistributiesysteem tot een maximum van 40°C als bron. Hiermee is het probleem van de laagtemperatuur warmtenetten (bijvoorbeeld voor de distributie van pure restwarmte), waarbij de systeem- of aanvoertemperatuur wel voldoende hoog is om woningen te verwarmen, maar te laag om veilig en comfortabel warmtapwater te maken, opgelost. Daarmee kan nu ook in een (bestaand) collectief net (centraal ketelhuis) centraal voor verwarming een elektrische warmtepomp worden ingezet en decentraal per appartement de 'micro-warmtepomp' zoals van Ecoon.

Ook Nederlandse vestigingen van Europese leveranciers als Danfoss, NIBE en Nathan hebben in navolging van ECOON producten hiervoor ontwikkeld.

Belangrijk bijkomend voordeel is dat de centrale warmtepomp op een zeer hoge COP draaien kan door de lage distributietemperaturen. Ook voor projecten met restwarmte, stadsverwarming en zonnepwarmte kan door de verlaging van de distributietemperaturen de efficiency aanzienlijk worden vergroot. Het concept vormt tevens een goed alternatief voor diepe geothermie omdat het kan volstaan met bronnen die maximaal 40°C leveren. Dit bespaart aanzienlijk op bronkosten en in het gebruik op pompenergie en warmteverliezen van de traditionele diepe geothermie.

Bij nieuwbouw is sprake van een 'groene weide' situatie waarbij bij het ontwerp van het gebouw waarbij direct rekening kan worden gehouden met het verlagen van de leidingverliezen. Een stap voor de Nederlandse markt is de ontwikkeling door Volker Wessels van gestandaardiseerde concepten waarin de opwekker van warm tapwater (een bodemgekoppelde warmtepomp) naast de keuken op de begane grond is geplaatst onder de badkamer. Dit maakt de leidingen naar de meest gebruikte tappunten erg kort dus de verliezen klein.

3.31 Efficiënte tapwater warmtepompen

Een belangrijk vraagstuk bij warmtepompen is de vraag naar veilig en comfortabel warmtapwater. Voor directe levering zonder buffer zoals met HR-ketels gebruikelijk in Nederland zijn hogere temperaturen (>55 - 65°C) en capaciteiten nodig dan mogelijk met de traditioneel beschikbare warmtepompen. Door de inzet van de innovaties met flash injectie en inverters kunnen hoge tapwatertemperaturen worden bereikt. Ook met lucht-water warmtepompen kan warm tapwater kan worden gemaakt bij een brontemperatuur van -15°C

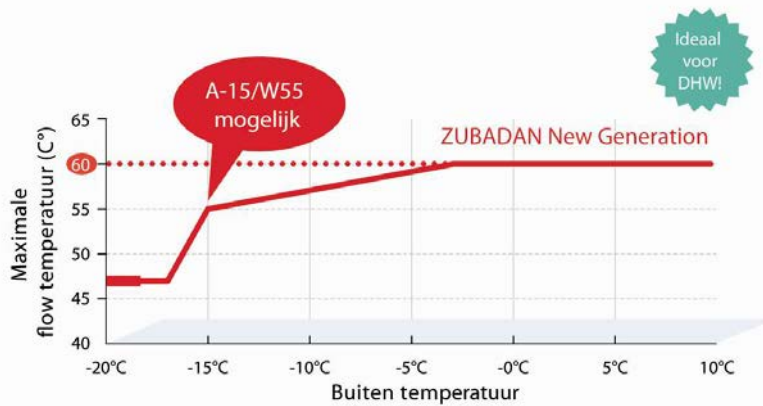
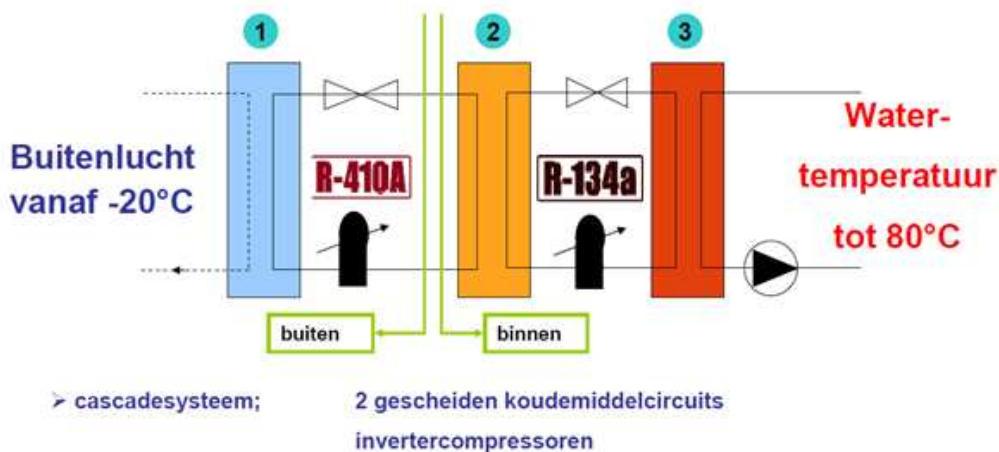


Fig. 3.21 Mitsubishi grafiek voor tapwater

Daarmee kunnen deze warmtepompen hoge tapwatertemperaturen leveren en kan er met buitenlucht als bron bijvoorbeeld worden voldaan aan eisen met betrekking tot legionella.

Naast flash-injectie komen er concepten voor met cascadering (Daikin en Samsung). Toepassing hiervan lijkt interessant in woningen die aangesloten zijn op een collectief warmte- en koudenet waarvan de geleverde water aanvoertemperatuur voldoende hoog is voor ruimteverwarming, maar te laag is voor het veilig (legionellavrij) maken van warmtapwater.

Fig. 3.22 Daikin Altherma Flex



3.4 Oplossingen bestaande bouw [7]

Veel van de in de vorige paragrafen besproken technische innovaties zijn gericht op het zoeken naar mogelijkheden in de bestaande bouw en gericht op de individuele consument. Daarbij gaat het veelal niet om grootschalige renovaties doch veeleer om vervanging van de bestaande HR-ketel. De ontwikkeling en marketing van de hybride warmtepomp is vooral hierop gericht. Een groot deel van de groei hierin zal moeten worden gerealiseerd in vrijstaande woningen, 2/1 kap, grotere hoek- en tussenwoningen [2]. Hier zit ook de grootste energievraag voor ruimteverwarming per woning en daarmee in absolute zin het grootste besparingspotentieel. Ook de studie van Delta-ee [37] onderkent deze mogelijk tot een grootschalige uitrol van hybride concepten. Voordeel van het Hybride-concept, vanuit het oogpunt van de bewoner/eigenaar, is dat het bestaande warmtedistributie- en -afgiftesysteem gehandhaafd kan blijven en dat het de warmtepomp zonder aanpassingen toegevoegd kan worden aan de bestaande (of de te vervangen) verwarmingsketel.

Voor de woningverhuurder is strategisch voorraadbeheer een belangrijk uitgangspunt waarmee vooral inzicht kan worden verkregen op welke wijze en hoelang de woonvoorraad moet worden door geëxploiteerd. Het resultaat van strategisch voorraadbeheer bepaald door het ambitieniveau, de wijze waarop en de mate waarin een wooncomplex wordt gerenoveerd, waardoor deze tevens bepalend is voor de keuze van een bepaalde renovatieoplossing. Concepten hiervoor zijn vaak ontwikkeld door adviseurs/ onderzoekers die een oplossing zoeken voor hun renovatieopdracht en een concept "als maatwerk" uitwerken waarna het plan wordt aanbesteed. De partij die de aanbesteding heeft gewonnen, vaak de laagst biedende, gaat op zoek naar aanbieders van componenten, veelal geselecteerd op laagste prijs. Daarna wordt alles op de bouwplaats gemonteerd en is men verbaasd dat niet alles direct functioneert en de prestaties achterblijven bij de verwachtingen. Een belangrijk selectiecriteria daarom is de mate waarin een leverancier een integrale renovatieoplossing aanbiedt en de wijze waarop deze betrokken en verantwoordelijk is/blijft gedurende het gehele proces. De goede werking en de uiteindelijke energieprestatie is afhankelijk van de mate waarin het bouwkundig en installatietechnisch ontwerp integraal tot stand is gekomen en de mate waarin de verschillende bouwkundige en installatietechnische maatregelen tijdens de realisatie op elkaar zijn afgestemd [7]. Gestandaardiseerde oplossingen met warmtepompen voor het renovatieproces zijn hierop volop in ontwikkeling en ook beschikbaar.

Gestapelde bouw

Oorspronkelijk werden galerijwoningen uit de periode 1965-1974 opgeleverd met een collectieve conventionele verwarmingsketel (VR-ketel). In circa 37% van de gevallen, is deze in de loop der tijd vervangen door individuele verwarming met lokale gasverwarming of individuele centrale verwarming in combinatie met een VR-ketel of HR-ketel. Circa 54% van deze galerijwoningen zijn nog voorzien van een collectief verwarmingsstelsel die zowel in de ruimteverwarming als de warmtapwaterbereiding levert.

Bij een collectief ketelhuis kan de eerste grote besparing bij renovatie relatief eenvoudig (en 'business as usual') worden bereikt door individueel verketelen en isolatie. Immers collectieve systemen geven grote distributieverliezen. Bij renovatie in gestapelde bouw met een bestaand centraal ketelhuis is er dan ook altijd de vraag van inpassing in bestaande gebouwen, infrastructuur, systemen, etc.. Komt er na de renovatie een collectief systeem of individuele systemen?

Voor de inzet van warmtepompen kan onderscheid worden gemaakt tussen een drietal varianten: individuele luchtwarmtepompen met collectieve buiten-unit, individuele warmtepompen in combinatie met collectieve bodemwarmtewisselaars of warmte/koudeopslag (WKO) en collectieve warmtepompen met bodemwarmtewisselaars of WKO. In het laatste geval is ondersteuning met individuele warmtepompen voor tapwater mogelijk. De optimale keuze tussen één van de varianten is afhankelijk van verschillende factoren.



Fig. 3.21 Schalkwijk 2 MW project

Voor individuele oplossingen is er vaak (te) weinig ruimte per appartement. Bij de collectieve oplossing met een warmtepomp wordt de bestaande ketel vervangen door een collectieve warmtepomp in combinatie met HR107-ketel(s). De warmtepomp dekt de basislast terwijl HR-ketel de pieklast dekt. Collectieve warmtepompen kunnen bodem of lucht als bron hebben elektrisch of gasgestookt zijn (absorptie of gasmotor). Het centrale verwarmingswater in het distributie systeem kan worden ingezet voor laag- of middentemperatuur ruimteverwarming of door de HR-ketels worden naverwarmd tot een hogere afgiftetemperatuur (circa 90°C). Ook

kan centraal tapwater worden gemaakt. Een alternatief is om warm tapwater individueel per woning op te wekken met bijvoorbeeld een warmtepompboiler die warmte onttrekt uit de retour van de ventilatielucht (bij mechanisch ventilatie) of uit de retour van het centrale verwarmingswater. Wanneer een centraal ketelhuis bij renovatie wordt gehandhaafd wordt het bij plaatsing van een warmtepomp de uitdaging de distributietemperatuur zo laag mogelijk te houden om de prestatie van de warmtepomp zo hoog mogelijk te houden. Gezien het legionella vraagstuk bij tapwater bleek lage temperatuur distributie in het verleden niet mogelijk. Met de komst van de ECOON-tapwaterwarmtepomp is dit vraagstuk opgelost (zie paragraaf 3.3). Voordeel van de collectieve oplossing is dat het bestaande warmtedistributiesysteem gehandhaafd kan blijven, waardoor er geen ingrijpende bouwkundige en installatietechnische werkzaamheden benodigd zijn. Nadeel van het concept is dat het vrijwel altijd hybride wordt uitgevoerd met een ondersteuning van een gasketel.

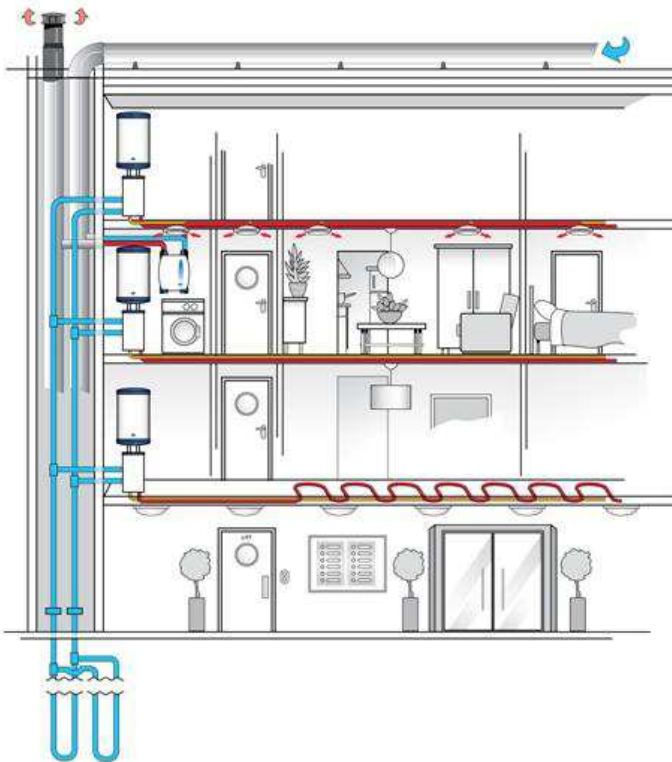


Fig. 3.22 De Tas Biddinghuizen

ITHO-Daolderop heeft een individueel concept ontwikkeld op basis van een collectieve gesloten bodembron. Belangrijk voordeel van dit concept is dat de grote warmteverliezen die optreden in een distributiesysteem niet optreden. Een eerste voorbeeld hiervan is de toepassing bij De Tas in Biddinghuizen. Omdat bij renovatie veelal sprake is van corporatieflats en huurwoningen is gewerkt naar een oplossing die eenvoudig te installeren en te onderhouden is, met zo min mogelijk verstoring van het wooncomfort van de aanwezige huurders/ bewoners.





De Flat Energy Cube is als concept ontwikkeld voor galerij- en portiekwoningen tot 65 m² verblijfsruimte oppervlakte. Omdat daarin vaak geringe ruimte is en de bereikbaarheid voor onderhoud 'moeizaam' verloopt is het concept 'plug and play' te installeren en van buitenaf (in het portiek) te onderhouden. Voordeel van dit concept is een verlaging van onderhoudskosten door een goede Bereikbaarheid vanaf de gevel/portiek. De Flat Energy Cube kan per vier bouwlagen volstaan met 3 gesloten bodemlussen van ca. 120 m diep.

ITHO Daalderop heeft hiervoor in 2011 de VSK-Innovatieprijs ontvangen. De brede toepassing ervan door woningcorporaties laat op zich wachten om verschillende niet technische redenen.

Fig. 3.23 ITHO Daalderop Flat Energy Cube

De individuele water/waterwarmtepomp bestaat uit een elektrische warmtepomp met collectieve bodemwarmtewisselaar. Elke warmtepomp heeft hierbij een eigen bronpomp waardoor deze onafhankelijk van elkaar kunnen worden geregeld. Het concept is speciaal ontwikkeld voor bestaande galerij- en portiekwoningen en is van buitenaf toegankelijk voor onderhoud en beheer. Doordat het een geïntegreerde installatiemodule betreft, kan deze standaard worden uitgebreid met een CO₂-gestuurd balansventilatiesysteem op basis van een centrale luchttoevoer en een douchewarmtewisselaar.

Met de nieuwst beschikbare technieken is voor warmtepompen een lage temperatuur distributie niet meer strikt noodzakelijk. ETP uit Dordrecht levert centrale warmtepompen met de bodem als bron die relatief eenvoudig met goede prestaties temperaturen tot 80°C kunnen leveren.

Het concept van Daikin dat in België is ontwikkeld kan hoge temperaturen leveren vanuit een centrale luchtbron en zowel een centraal distributiesysteem voeden als individuele units die per appartement zijn ingebouwd. In deze semicollectieve oplossing wordt uitgegaan van individuele warmtepompen op een collectieve bron. De directe besparing is ook hier dat er geen distributieverlies optreedt



3.24 Daikin Altherma

3.5 Bodem en luchtbronnen voor warmtepompen

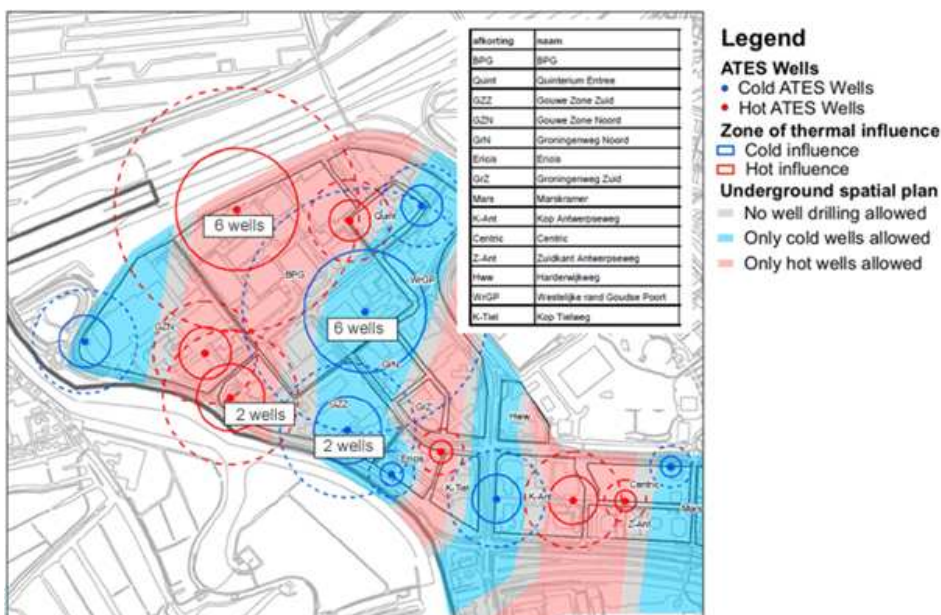
Drie vormen van bronnen voor warmtepompen worden conform de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie erkend, te weten: lucht; bodem; oppervlakte water. In de markt van bodembronnen is vooral in de woningbouw op basis van de ervaring en de innovatie die er plaatsvindt een verschuiving van collectieve open bodembronnen naar individuele gesloten bronnen [1]. Met de nieuwe technologische ontwikkelingen kan verwacht worden dat er een verschuiving zal plaatsvinden naar lucht als bron. Ook voor gesloten bronnen heeft er een technologische ontwikkeling plaatsgevonden waarmee de prestaties vanaf 2000 aanzienlijk zijn verbeterd.

Open bodembronnen

Vooral in de Utiliteit is het in Nederland bij grote projecten gebruikelijk een open bron in te zetten die standaard wordt gezien als WKO. Toch is er momenteel tegenwind door publicaties over tegenvallende resultaten en energieprestaties [6]. In 2006 werd nog geconcludeerd dat de techniek nog niet marktrijp genoeg was. De markt zelf erkent dit ook volmondig dat warmte en kou opslaan in de grond nog niet goed lukt. Een groot deel van de tot nog toe aangelegde 1.350 WKO-systemen werkt niet optimaal [24].

Veel aandacht vanuit de overheid is er voor de bescherming van de ondergrondse watervoerende lagen, de energiebalans in de bodem en het ordenen ondergrond voor een doelmatig gebruik. De overheid verplicht dat een systeem vanaf oplevering na vijf jaar en vervolgens elke drie jaar tenminste een keer in thermische balans is. Het probleem is dat de warmte en koudevraag van een gebouw niet in balans is (Marc Koenders - IF Technology). De juiste dimensionering van capaciteiten van systemen en bronnen voor utiliteit en woningbouw blijft een probleem, omdat veelal het energieverbruik van een gebouw onvoldoende bekend is of nauwkeurig te voorspellen. De koudevraag ook voor utiliteit is vaak veel lager dan gedimensioneerd. Overdimensionering komt dan voor bij het ontwerp van de bron waarmee ontwerpers aan de veilige kant zitten en de vergunning ruim voldoende is. Overdimensionering is overigens een standaard probleem.

Om een goede balans te krijgen is regeneratie essentieel door ofwel extra warmte of koude aan de bronnen toe te voegen. In de woningbouw in Nederland heeft dat geleid tot het aanbieden van passieve koeling in de zomer, na aanvankelijk thermische zonne-energie ingezet te hebben voor regeneratie. Een robuust systeem heeft overcapaciteit voor regeneratie, zodat bij wisselende vraag en wisselende weersomstandigheden, een balans in de bodem te realiseren is. Dit is een innovatie die uniek is in Europa.



Het ordenen van de bodem en doelmatig gebruik heeft geleid tot het concept van interferentiegebieden. Open bronsystemen in tegenstelling tot gesloten bronnen, hebben een omvang in de ondergrond die vaak veel groter dan het eigen perceel en daarmee een effect op andere bronnen in de omgeving

Fig. 3. 27 Aquifer Goudse Poort [63]

Door beleidsmakers en beheerders van bronsystemen wordt deze vorm van interferentie van systemen als onwenselijk gezien mogelijk leidend tot lagere rendementen. Vanuit de huidige praktijk bij de vergunningverlening is vooral de juridische vraag of de buurman het rendement verlaagt de belangrijkste vraag. Met een gering aantal systemen was dat tot voor kort geen probleem. Verwacht wordt echter dat interferentie in drukke gebieden al optreedt of anders bij een (grote) groei van het aantal systemen zal optreden. De vaststelling van interferentie en het effect op het rendement in de praktijk is lastig, in de praktijk hoeft het immers niet zo te zijn dat een systeem ook zelfstandig al het rendement haalt dat bij het ontwerp voorspeld is. Interferentie is dan namelijk niet de enige factor waardoor het (ondergrondse) rendement lager wordt [25].

De systemen bereiken niet de voor de vergunning vereiste energiebalans in de bodem, of het energetisch rendement valt tegen. Oorzaken liggen in een slecht ontwerp of verkeerde uitgangspunten, maar ook in de exploitatiefase zijn er risico's zoals een te grote warmtevraag ten opzichte van de koudevraag waardoor de systemen met warmte-koudeopslag in onbalans komen. Herhaaldelijk ontbreekt actief beheer op de installaties, waardoor falen niet of te laat wordt ontdekt. Verder wordt er doorgaans gewezen op de complexiteit van de installatie en het gebrek aan kennis bij de installateurs. Soms is dat ook zo. Maar adviseurs willen ook wel eens een te rooskleurig beeld voorspiegelen. Hoewel dezelfde problemen zich ook voordoen bij de 'conventionele' installaties, valt het daar minder op omdat de verwachtingen niet zo hoog liggen.

De branche heeft op dit alles gereageerd met het vastleggen van de uitgangspunten van open bodembronnen in een radicale update van de ISSO-richtlijnen en het inzetten van een traject van opleidingen en certificatie van ontwerp, installatie en beheer. Vooral ook een beter beheer zou een belangrijk deel van de problematiek met bodembronnen moeten oplossen. Gezamenlijk met de overheid die op een traject zat van vereenvoudigen en harmoniseren om daarmee de vergunningsprocedures te verkorten, ter stimulering van de markt is gekozen voor een traject van certificatie voor bedrijven die WKO-systemen willen ontwerpen, aanleggen of beheren [24]. De tijd zal leren of dit zal leiden tot verbetering van systemen.

Innovatie heeft vooral plaatsgevonden in de combinatie met andere waterbeheerfuncties, waarbij bodemsanering voortgekomen uit het project Park Strijp in Eindhoven, internationaal veel aandacht heeft.

Een belangrijke technische innovatie die het effect van het minder functioneren van bronnen op de warmtepomp vermindert, is het inbrengen van een buffer tussen warmtepomp bodembron. Hoewel al decennia bekend is dit in de combinatie bodembron en warmtepomp zelden toegepast. Met een buffer worden vraag en aanbod ontkoppeld en kan de uittrede temperatuur naar de warmtepomp beheerst worden. Doorgeest Koeltechniek heeft hiermee een probleem van een slecht functionerend systeem in Raalte opgelost en kwam daarmee in aanmerking voor de NVKL-innovatietrofee in 2011. Ook Colt heeft overigens deze aanpak met buffers. Belangrijk is dat met deze opzet pieklasten worden opgevangen en de benodigde capaciteit van de bodembron is gehalveerd. Het is dan niet nodig om voor een kleine energievraag meteen de bron- en warmtepomp in te schakelen. Tijdens een gemiddelde energievraag wordt de buffer geladen, pieken in levering van de bron aan de warmtepomp worden afgevlakt en door een bijstook op hernieuwbare energie kan de brontemperatuur voor de warmtepomp worden gehandhaafd op een hoog niveau. Een goed voorbeeld van deze innovatie in een slimme combinatie van bekende technieken is de nieuwbouw van het HOF theater in Raalte. Een bio-pellet ketel zorgt hier voor de bijstook, vergelijkbaar overigens met het ook door Doorgeest Koudetechniek gerealiseerde project bij Sigarenfabriek De Olifant in Kampen.

Monobron met ondergrondse warmtewisselaar

Een innovatie van alweer enige tijd geleden is de monobron met ondergrondse warmtewisselaar ontwikkeld en gepatenteerd door Installect uit Nijkerk. Bij dit energiesysteem voor warmte-koudeopslag wordt de opslag en het gebruik van warmte en koude in de bodem via één enkele buis geregeld. De koude en warmte worden in twee bronnen boven elkaar in de bodem opgeslagen en via een warmtewisselaar uitgewisseld.

Voordeel van dit systeem is naast het kostenaspect (er hoeft maar een boring te worden gedaan in plaats van twee) dat er minder ruimte nodig is en de bron ook altijd dichtbij de eindgebruiker kan worden aangelegd. Dit systeem is gestandaardiseerd en wordt al jaren met succes toegepast.

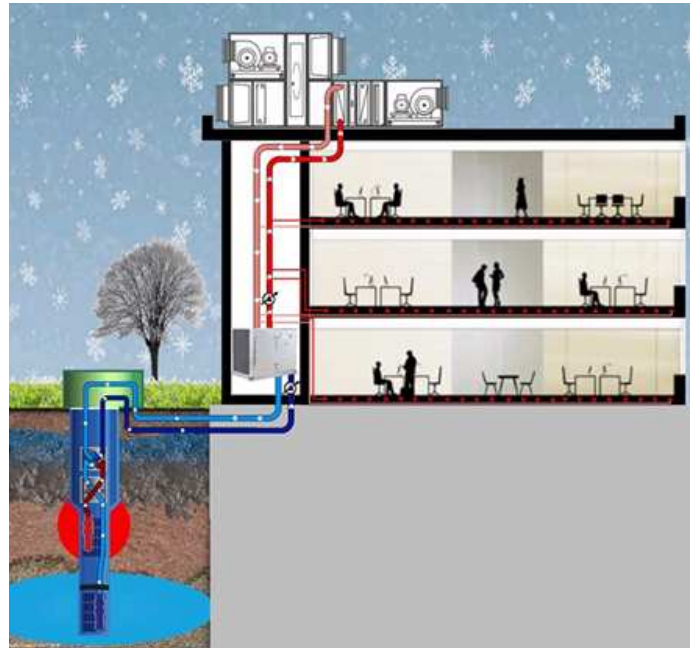


Fig. 3.26 Installect monobronconcept

Waar in nieuwbouw de omgeving minder wordt beïnvloed door onder het gebouw een veld van gesloten bodemwisselaars aan te leggen kan dit niet in de bestaande bouw. Een monobron is hiervoor een goed alternatief dat vooral in binnenstedelijke gebieden met hoge bouwdichtheid kan worden toegepast. De interferentie en het grote ruimtebeslag van open bronnen met twee doubletten wordt daarmee voorkomen.

Een goed voorbeeld van een dergelijke aanpak is de toepassing bij de renovatie van het De La Mar theater in Amsterdam waar een combinatie met een warmtepomp en sprinklersuppletie via de bron werd gerealiseerd. Ook het Circustheater in Scheveningen, het Beatrixtheater in Utrecht, Theater De Vest in Alkmaar en Theater Markant in Uden zijn met dergelijke installaties gerenoveerd.

De niet al meer recente innovatie vormt toch een uniek product met goede exportkansen. Er zijn in China al ruim 300 van dergelijke bronsystemen geplaatst. Belangrijk is dat Installect ook de gasgedreven Reduces warmtepomp heeft ontwikkeld. In binnenstedelijke locaties levert dat de mogelijkheid op om de bodembron nog compacter uit te voeren, maar maakt het een goede netinpassing mogelijk bij een zwakke elektrische infrastructuur.



Fig. 3.27 De nieuwe De La Mar in Amsterdam

Andere leveranciers in de markt zoals ETP uit Dordrecht en Unica leveren ook monobronnen.

Gesloten bodembronnen

Anders dan in Nederland worden er in de andere Europese landen en ook wereldwijd vrijwel alleen maar gesloten bodembronnen gebruikt voor warmtepompen. Een belangrijk bezwaar vanuit het beheer van grondwater is dat gesloten bodembronnen veelal dieper zijn aangebracht en daarmee meerdere waterlagen kunnen doorboren. Dit probleem komt ook voor bij open bronnen en is daarmee feitelijk geen onderscheidende kwaliteit.

Veel van de gesignaleerde technische problemen met open bronnen komen bij gesloten bronnen niet voor. Aan de bodemzijdige kant van het systeem is er sprake van een zeer lange levensduur en zeer lage onderhoudskosten. Het is wat dat betreft interessant om in de markt het verschil in de garantietermijn te bekijken die bronboorders geven (www.duratherm.nl) op een open bron versus een gesloten bron. Bronboorders in Nederland geven zonder onderhoud 25 jaar garantie op dergelijke bronnen.

Mits goed ontworpen en goed geïnstalleerd zijn warmtepompen in combinatie met een gesloten bronsysteem zeer energie-efficiënt. In de berekeningsmodellen die gehanteerd worden door instituten bij gelijkwaardigheidsverklaringen, maar ook door adviesbureaus komt de open bron er op prestatie vaak beter uit.



Deze modellen zijn echter gebaseerd op theorie niet op de praktijk. Goede resultaten in monitoringprojecten onder SEPEMO, maar ook gepubliceerd op de [website](#) van Nathan weerspreken de theorie [32]. De trend van toepassingen in de woningbouw laat over de afgelopen jaren zien dat gesloten bodembronnen terrein winnen ten opzichte van open bronsystemen [1].

Fig. 3.28 One New Change in London

Ook in de utiliteitsbouw vinden gesloten systemen een bredere toepassing, hoewel dit in Nederland voornamelijk kleinere systemen betreft. Een breed verspreide misvatting in de markt is dat gesloten systemen niet kunnen voor projecten met een capaciteit groter dan 70kW. Ervaringen in Duitsland en Engeland logenstraffen dit. Het project One New Change in London toont dat met 'Energy Piles' in een compact gebouwd stadscentrum met gesloten wisselaars grote capaciteiten kunnen worden geplaatst. [27].

In Nederland is ervaring met grotere projecten vrijwel niet aanwezig, wel is er bij de bedrijven en adviseurs die zich er wel mee bezighouden, veel expertise aanwezig. Deze bedrijven zijn vooral actief in andere Europese landen. Zo bestaat het portofolio van een partij als [Groen Holland](#) voornamelijk projecten in de UK, vanaf het Parlementsgebouw in Wales tot Queen Mary Universiteit in London.

Interferentie met gesloten bronnen is bij een goed ontwerp en uitvoering in een veel mindere mate aanwezig dan bij open bronnen. Daarmee zijn gesloten wisselaars voor grote systemen geschikt voor dichtbebouwde gebieden. In Nederland lijkt het zinvol hier meer ervaring mee op te gaan doen.

Innovaties in Europa richten zich voornamelijk in het daadwerkelijk leveren van "turn key" concepten. Daarbij is sprake van innovatie in het proces (ontwerp / bouw) maar ook in de concepten (energiecentrale) en besturingssoftware. In het Europese Groundmed project laat zien dat deze ontwikkelingen zich op Europees niveau doorzetten met technisch verbeterde rendementen (o.a. Universiteit van Padova, Dublin, KTH Stockholm en Valencia) maar ook bv innovatie bij optimalisatie en inregelen van warmtepomp-gebouwsysteem (Valencia).

Een vaak gesignaleerd en sterk overschat probleem is de uitkoeling van de bodem door onttrekking van warmte met als gevolg bevroeringsgevaar. Veel milieu-instanties en provinciale vrezen deze situatie omdat ervan uitgegaan wordt dat bevroering wordt tegengegaan door antivries middelen in de bodemwisselaar te mengen. Dit zou bij lekkage in het grondwater kunnen komen. Ook hier is al voldoende ervaring opgedaan zodat met goed en zorgvuldig ontwerp van het systeem geen bevroering meer kan voorkomen. Ook al omdat injectietemperatuur niet lager mag zijn dan $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan er geen bevroering optreden. Daardoor zit er in de meeste gevallen geen antivries middel meer in de bodemwisselaar. In welk deel dat nu al het geval is, is momenteel onbekend.

Voor het ontwerp van systemen is Europees het Earth Energy Design model ontwikkeld dat goed bruikbare resultaten oplevert in de Nederlandse situatie. Uit metingen in Etten Leur door Groen Holland is gebleken dat er binnen het hele gebied met individuele bodemwisselaars na 5 jaar geen grote temperatuurtrends als gevolg van bodemenergie gemeten worden. Dat betekent dat de systemen "conform ontwerp/uitgangspunten" functioneren. Ook ITHO-Daalderop heeft dezelfde ervaring in dichte bebouwing.

De innovatie in Nederland heeft zich gericht op individuele concepten voor de woningbouw waarmee de warmteoverdracht in de wisselaar wordt verbeterd of het aanbrengen van de wisselaar eenvoudiger en goedkoper is. De Energiepaal van Betonson is een betonnen heipaal met een kunststof element waarin water circuleert dat op temperatuur wordt gebracht. Energiepalen voorzien van dit nieuwe dubbelwandige buissysteem brengen de warmte beter over opmerkelijk goed over. Grootschalige toepassing op kantoren zoals met de Energy Piles Engeland komen in Nederland nog niet voor.

In 2008 ontvingen Reijer en Jacob Lehmann van Demar Heiwerken de Herman Wijffels Innovatieprijs voor een innovatieve gesloten bodemwarmtewisselaar. Met Jean Heybroek B.V. te Houten werd een samenwerking opgezet onder Geothex B.V. voor de definitieve ontwikkeling van een bodemwarmtewisselaar.



Fig. 3.29 Geothex bodemwisselaar

Vijf mythes over gesloten systemen ontkracht

In 2009 stelde de Technische Commissie Bodem (TCB) in een advies aan de minister van het toenmalige VROM "gesloten systemen niet als duurzaam voor de bodem" te zien. Deze mening was gebaseerd op de destijds bij de Commissie beschikbare kennis en een interpretatie van beschikbare feiten. Vijf jaar later blijkt dit standpunt nog steeds op allerlei beleidsniveaus te worden herhaald. Tijd om met nieuwe kennis over gesloten bodembronnen een nieuw pad in te slaan.

De toepassing van open bodemsystemen is - met name in de utiliteit—enorm populair. Toch blijkt dat de prestaties van open systemen vaak tegenvallen [6]. In 2006 werd geconcludeerd dat de techniek 'nog niet marktrijp genoeg' was, en acht jaar later moet nog steeds worden erkend dat het in de bodem opslaan van warmte en koude op problemen stuit. Een groot deel van de 1.350 wko-systemen in Nederland werkt niet optimaal [24]. Dat plaatst de populariteit van open systemen in een merkwaardig daglicht, zeker gezien het feit dat een gesloten bron in veel gevallen een prima alternatief is dat regelmatig op argwaan stuit. Recent onderzoek van KWR Watercycle Research Institute, IF Technology en Groen Holland laat zien dat dit onterecht is, en gebaseerd op vijf 'mythes' over gesloten vs open systemen.

Interferentie

De thermische effecten van naast elkaar gelegen open en gesloten systemen zijn minimaal, waardoor ze vaak zonder problemen naast elkaar kunnen worden geplaatst. Het huidige beleid schrijft voor dat schadelijke interferentie tussen verschillende bodemenergiesystemen verboden is. Uit onderzoek [66] blijkt dat de invloed van een gesloten systeem op een open systeem verwaarloosbaar is; deze invloed hoeft daarmee feitelijk niet door het bevoegd gezag te worden getoetst. Omgekeerd kan een open systeem wel negatieve interferentie veroorzaken bij een gesloten systeem. Open systemen hebben in tegenstelling tot gesloten bronnen een omvang die vaak veel groter is dan het eigen perceel. Wanneer een naburig gesloten bodemsysteem in de warme open bron ligt, kan de relatief hoge temperatuur daarvan de levering van directe koeling beperken. In dat geval zou de mate van beïnvloeding moeten worden gekwantificeerd. Als het gesloten systeem in de koude bron van het open systeem ligt, is de invloed op de lange termijn klein en geen aanvullende analyse nodig. Dit blijkt ook uit ervaring in andere Europese landen.

Aantasting van grondlagen

Anders dan in Nederland worden in het buitenland vrijwel uitsluitend gesloten bodembronnen gebruikt. Een belangrijk bezwaar vanuit grondwaterbeheer is dat gesloten bodembronnen vaak dieper zijn aangebracht en meerdere waterlagen doorboren. Dit laatste komt echter ook voor bij open bronnen. Het onttrekken en weer injecteren van grondwater, zoals bij open bronnen gebeurt, kan behoorlijke hydro(geo)logische gevolgen hebben: het kan het ondergrondse evenwicht verstoren. Naast thermische is er ook hydraulische interferentie. Een wko-systeem leidt soms tot verlaging van de grondwaterstand, een fenomeen dat wordt versterkt als meerdere systemen bij elkaar zijn aangelegd. Vooral in historische binnensteden kan dit tot aantasting van funderingen leiden. Wanneer in meerdere systemen water wordt geïnfiltrated, gaat de grondwaterstand juist aanzienlijk omhoog. Daardoor ontstaat drukverlies of drukvermeerdering. Door drukverschillen kunnen verschillende wko's elkaar negatief beïnvloeden [6]. Het grote aantal boringen dat voor een gesloten systeem wordt uitgevoerd door afsluitende kleilagen is volgens de TCB een punt van zorg. Studie van KWR ('Technisch Onderzoek Gesloten Bodemenergiesystemen') toont echter dat bij gesloten systemen, ook bij grote aantallen boringen en in extreme situaties (verschil in stijghoogte tussen watervoerende lagen) het effect van kortsluiting tussen watervoerende lagen verwaarloosbaar is [67].

Lekkages

Om bevriezing van water in de warmtepomp te voorkomen, wordt in een gesloten bodemenergiesysteem veelal (mono) propyleenglycol als antivriesmiddel toegevoegd. TCB geeft aan dat de potentiële bedreiging van de kwaliteit van het grondwater bij lekkages met antivriesmiddel een punt van zorg is. Uit een recent KWR-rapport [67] blijkt dat er inderdaad sprake kan zijn van mogelijke lekkage; bij de grootschalige inzet van technische installaties is falen onvermijdelijk. Propyleenglycol kan zich bij lekkage eenvoudig naar het grondwater verplaatsen, maar is biologisch afbreekbaar. Bij de afbraak in aerob water kan zuurstoftekort ontstaan, maar dit is pas relevant als een grote hoeveelheid propyleenglycol in een relatief klein zuurstofarm waterlichaam terechtkomt. Van die situatie is bij lekkage vanuit een gesloten bodemenergiesysteem naar grondwater niet snel sprake. In zure bodemmilieus breekt propyleenglycol soms slechter af en zijn leidingwater of water met kaliumcarbonaat alternatieven. Vooral additieven in voorgemengde antivriesmiddelen, zoals corrosie-inhibitoren als benzotriazool, vormen een gevaar voor de bodem, het grondwater en de drinkwaterproductie. Om het risico van vervuiling te minimaliseren, wordt geadviseerd om leidingwater, of water met puur glycol of kaliumcarbonaat als circulatievloeistof te gebruiken, en geen voorgemengde antivriesmiddelen met additieven waarvan de samenstelling niet exact bekend is. Het gebruik van leidingwater is uiteraard de meest veilige keuze. Als bij een goed ontworpen systeem de bodemtemperaturen beheersbaar zijn, is er geen antivriesmiddel nodig.

Levensduur en onderhoud

De garantietermijn op het functioneren van een open systeem is standaard één jaar na oplevering, een termijn die bijvoorbeeld bij Duratherm optioneel kan worden verlengd tot vijf jaar. Bij gesloten bronsystemen is de garantie standaard veelal 25 jaar. De duurzame werking voor de langere termijn kan middels simulatieprogramma's worden aangetoond. De garantie op montage en materiaal bedraagt één jaar. Als het om levensduur gaat, wordt het argument gebruikt dat het onrealistisch is dat de apparatuur van een gesloten systeem langer dan 25 jaar meegaat. Als je alleen naar de ondergrondse delen van een gesloten systeem kijkt, is een levensduur van meer dan 25 jaar echter wel degelijk realistisch. Als open systemen met gesloten systemen worden vergeleken op kosten en economie, maar vooral ook op milieueffecten, moet rekening worden gehouden met de verschillen in de levensduur van de bron. Bij grote verschillen in levensduur van de diverse onderdelen moet dit worden uitgesplitst. Als wordt uitgegaan van de levensduur van een gebouw (50 - 70 jaar) en wordt doorberekend hoe vaak alles vervangen wordt, kom je - rekening houdend met de levensduur van alle componenten, uit op:

- Vervanging van de open bron-installatie 3 - 4 x (uitgaande van een levensduurverwachting van 15 jaar)
- Vervanging van de open bron 2 - 3 x (uitgaan van 25 jaar)
- Vervanging van de gesloten bron 0 - 1 x (uitgaan van 50 jaar)

Vooraf bij open bronnen is de levensduurverwachting sterk afhankelijk van de kwaliteit van de ondergrond en van de wijze van onderhoud. Het warmtepompproject in de Teuge is een dramatisch voorbeeld van hoe het op dit aspect mis kan gaan [69].

Temperatuurbalans

De Technische Commissie Bodem vindt de relatief lage temperatuur van grondwater een basiswaarde die behouden moet worden om ook in de toekomst te kunnen blijven koelen [70]. De overheid schenkt daarom veel aandacht aan de energiebalans in de bodem en aan ordening van de ondergrond voor doelmatig gebruik van bodemenergie. In dat kader is wettelijk bepaald dat een systeem binnen vijf jaar na oplevering, en vervolgens binnen elke drie jaar, tenminste een keer in balans moet zijn. De TCB stelt dat in de utiliteitsbouw de grootte van de koudevraag maatgevend is bij het ontwerp van wko-installaties. Doordat die warmte niet wordt gebruikt in de winter stijgt de temperatuur van het grondwater en kan dat steeds minder efficiënt worden ingezet voor koeling. Bij dit uitgangspunt kunnen vraagtekens worden gezet. De warmtevraag is in vrijwel alle gevallen immers groter - vaak veel groter - dan de koudevraag, waardoor er eerder risico bestaat op afkoeling van de ondergrond dan op opwarming. Bij het nieuwe Stadskantoor in Utrecht wordt de jaarlijkse warmtevraag geschat op circa 1000 GJ en de koudevraag op 500 GJ. Daarmee is er geen sprake van opwarming maar van afkoeling van de ondergrond. Dit betekent een afname van het rendement van de warmtepomp; het is daarom van belang dat er extra warmte wordt geladen. In grote utiliteitsgebouwen worden daarom droge koelers geïnstalleerd om de bron te regenereren, en er zijn innovaties om ook zonne-energie voor dat doel in te zetten.

Het probleem is dat de warmte- en koudevraag van een gebouw meestal niet in balans is. Daardoor is de juiste dimensionering van systeemcapaciteiten en bronnen problematisch. De koudevraag is vaak veel lager dan waarop wordt gedimensioneerd. Met overdimensionering gaan ontwerpers aan 'de veilige kant' zitten, met als gevolg dat vergunningen worden aangevraagd die 'groter' zijn dan nodig. Dit leidt tot alarmerende rapportages over wko's die niet functioneren volgens hun ontwerp [71]. Onderzoek aan gesloten bodembronnen [72] toont dat volledige regeneratie niet nodig is om tot een optimaal rendement te komen. Hoe beter de energiebalans, hoe groter de investering in het collectorsysteem dat de warmte moet leveren. Voor een klein project bedragen de kosten voor het realiseren van een gebouwszijdige balans van 30 % (bodemszijdige energiebalans 40 %) circa 20 % van de investering voor het gesloten bodemenergiesysteem inclusief de warmtepomp.

CONCLUSIES

De Zutphense wijk 'De Teuge' is jarenlang in het nieuws geweest door bewonersklachten over het warmtepompsysteem. Analyse van metingen in deze wijk toont aan dat de individuele warmtepompen goed presteren, maar dat in combinatie met het collectief (open) bronsysteem geen sprake is van energiebesparing [69]. Dit heeft diverse oorzaken, zoals een te kleine bron met een te lage regeneratie in de zomer en een verkeerd gekozen afgiftesysteem.

Lucht als bron

Van warmtepompen met lucht als bron wordt een groeiend markt aandeel verwacht in de woningbouw. Dit heeft naast de marktpenetratie met hybriden ook te maken met de verbeteringen in systemen zoals besproken in paragraaf 3.2, waardoor een monovalente toepassing voor nieuwbouw een interessant kosteneffectief alternatief is voor de bodem als bron.



Er dient dan waarschijnlijk wel een goed esthetische oplossing te komen voor de verdamer op het dak van de woningen. Hiervoor zijn al verschillende oplossingen bedacht, zoals het inbouwen in een kooi onder een schuin dak wat leidt tot minder gewenst ruimte verlies voor de bewoner eigenaar, of plaatsing van de verdamer in de binnenruimte met aan- en afvoer van buitenlucht via een schoorsteen (Vaillant)

Ook zijn er oplossingen voor gestapelde bouw waarbij de verdamer als integraal onderdeel van het balkonhek wordt ontworpen.

De kwaliteit van de lucht als bron kan verbeterd worden door de lucht voor te verwarmen. Ventilatielucht in een aantal passief huis concepten en bij een aantal leveranciers wordt voorverwarmd/gekoeld met een bodembuis die kan worden aangebracht onder de woning. Stork Air heeft daar in passiefhuistoepassingen ervaring mee. Het voordeel voor lucht water warmtepompen is het vergroten van het werkgebied en de hogere COP.

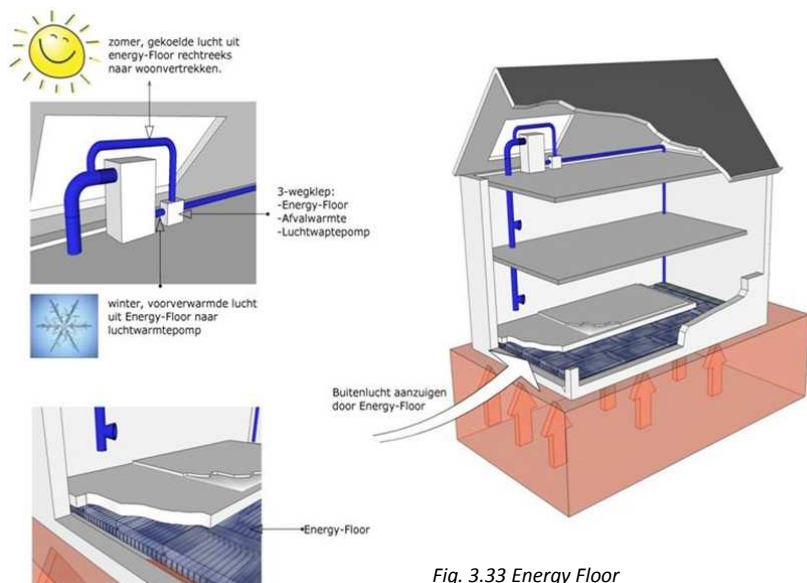


Fig. 3.33 Energy Floor

Innovatief is de Energy Floor dat voorgesteld wordt door C- Idea bv uit Boekel.

Onder de woning wordt in de kruipruimte of direct op het zandpakket en of onder de constructievloer isolatie aangebracht. Energy-Floor combineert een isolatiepakket bestaande uit een pakket polystyreen waarvan de onderzijde voorzien is van een kanalenstructuur in de profilering. Gescheiden door folie maakt lucht die hierdoor wordt aangezogen voor de lucht-water warmtepomp contact met het verdicht zandpakket. Er ontstaat hierdoor warmte en/of koude uitwisseling met het pakket en daarmee voorverwarming of koeling van de bron voor de warmtepomp of de ventilatielucht. Tussen de Energy Floor isolatieplaten en het zandbed bevindt zich een dampdichte folie, dat ervoor zorgt dat er geen gassen vanuit de bodem vermengd worden met de ventilatielucht. Simulatiemodellen ontwikkeld door Infinitus tonen dat dit concept, afhankelijk van de capaciteiten in staat energie te absorberen tot op een diepte van 3 meter uit de bodem met een gemiddelde temperatuur van 11°C.

Lucht water warmtepompen krijgen hiermee tussen 5 – 7K hogere brontemperatuur waarmee de COP hoger is en het bereik tot -25°C op monovalente toepassing kan worden ingezet.

3.6 Gasgestookte warmtepompen

Een uitgebreide beschrijving van diverse concepten met gasgedreven warmtepompen wordt gegeven in de publicatie van Gasterra 'Gaswarmtepompen, efficiënt verwarmen en koelen met gas' uit 2010 [8]. Het belang van gasgedreven warmtepompen is dat de vraag in bestaande bouw/omgeving eenvoudig door het gasnet kan worden opgevangen, daar waar de elektrische infrastructuur dat minder goed kan. Belangrijk is ook dat gasgestookte warmtepompen een kleinere bron nodig hebben dan een elektrische warmtepomp. In binnen-

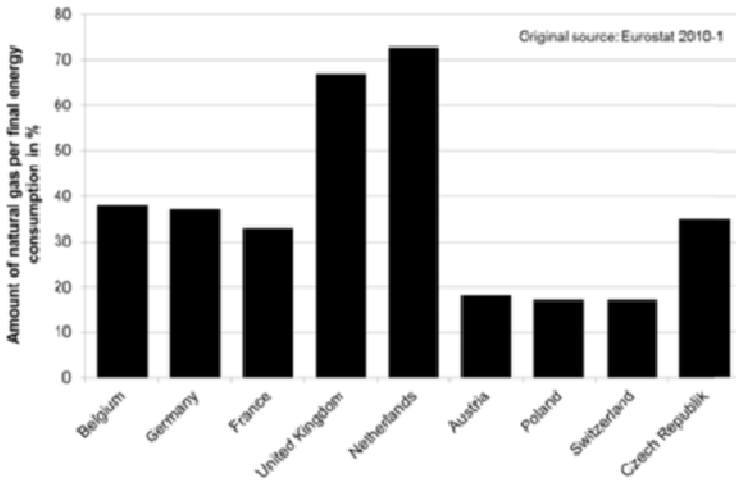


Fig. 3.33 Aandeel gasgebruik in finaal energiegebruik

stedelijke locaties met geringe capaciteit voor bodembronnen kan de gasgestookte warmtepomp goed passen.

De gasgestookte warmtepomp is kansrijk in landen met een hoge gasdichtheid. Daarmee zijn landen als Nederland en Engeland belangrijke potentiële markten [9].

De toepassing van dergelijke systemen is ook populair in Zuid Europa omdat de belasting van het elektriciteitsnet laag is met koeling in de zomer en ook in

landen met een laag opwekkingsrendement voor elektriciteit biedt de gasgestookte warmtepomp een goed alternatief voor de elektrische versie.

Onder het Heat Pump Program van de IEA is in 2013 een Annex 43 (Fuel driven heat pumps for residential - and small scale commercial heating applications) opgestart als vervolg op eerder werk. -

Voor grotere capaciteiten in de utiliteit kan naast de gasabsorptie warmtepomp een gasmotor gedreven compressie een goede oplossing zijn. Voor kleinere capaciteiten moet gedacht worden aan absorptie of adsorptie warmtepompen. In Nederland is sinds enige tijd een Stichting actief geweest onder de naam Smart Cooling Foundation (www.scf-online.nl) waarin leveranciers van gasgestookte warmtepompen vooral in de utiliteitsbouw zich hebben verenigd. De activiteiten van SCF worden nu voortgezet als Working Group Gas Driven Heat Pumps onder de European Heat Pump Association onder voorzitterschap van Peter Wagener (eveneens vz DHPA).

Woningbouw

Traditioneel worden gas gedreven warmtepompen toegepast in grotere systemen vanaf ca. 50 – 75kW. De innovatie-inspanning in de markt is de afgelopen periode vooral gericht op de kleine ab-/adsorptie-warmtepomp voor woningen. In Duitsland en UK is al enige tijd een ontwikkeling gaande van kleinere absorptiewarmtepompen op basis van een sterke kennisstructuur bij Fraunhofer, TU-Berlin en TU-München en de University of Warwick in UK.

Partijen als Viessmann en Vaillant hebben concepten op basis van zeoliet tot marktrijpe producten uitontwikkeld in de capaciteiten van 2 -10 kW. Zeoliet-watersystemen bieden een aantal voordelen. Er bestaan verschillende soorten zeolieten, elk met hun eigen karakteristiek. Hierdoor kan het zeoliet goed worden afgestemd op de toepassing. Zeolieten zijn veelal bestand tegen hoge temperaturen, in tegenstelling tot silica-gel dat zijn structuur verliest boven 150 °C. Dit maakt zeolieten geschikt voor aandrijving met behulp van directe gasverwarming of verwarming door middel van hete rookgassen.



Fig. 3.36 Viessmann VISOTORP 300

De systemen die commercieel nu op de markt komen gebruiken een enkelvoudige zeolietmodule. Dit betekent dat het warmtepompproces periodiek verloopt. Door de combinatie van een zeoliet-warmtepomp met een modulerende HR-ketel ontstaat een hybride systeem. Interessant is dat Viessmann de zeoliet-warmtepomp voor m.n. de Duitse markt combineert met een olie gestookte ketel, geïntegreerd in dezelfde behuizing.

In 2006 presenteerde Honda de eerste prototypes van een kleinere absorptiewarmtepomp voor de woningbouw. Honda werkt hierin met nieuwe stoffenparen (TFE en DMI). Met inzet van KIWA-Gastec, ECN en op basis van adviezen van AgNL heeft Honda het concept doorontwikkeld voor de Nederlandse/Europese markt tot een compacte warmtepomp die als een HR-wandketel kan worden ingebouwd. De inzet van AgNL was erop gericht de warmtepomp in Nederland geproduceerd te krijgen.

Viessmann heeft een vergelijkbaar concept waarbij de compacte warmtepomp geïntegreerd met een HR-gasketel voor pieklastvraag en daarmee feitelijk een hybride warmtepomp. Met een traploos modulatiebereik van 1,6 – 16kW kan dit type flexibel ingezet worden en kan ook voor tapwater volstaan worden met een klein opslagvat. Men claimt een rendement van 145% (conform VDI 4650-2). Marktintroductie wordt voorzien in 2014 [10].

De ontwikkeling van de carbon-ammonia adsorptie warmtepomp bij Warwick University lijkt na enige jaren onderzoek uit te lopen op een werkbaar productiemodel. In 2013 wordt van de unit van Warwick University het commercieel haalbare compacte product verwacht [11].

Vanuit verschillende onderzoeken zijn varianten op dit concept voorgesteld.

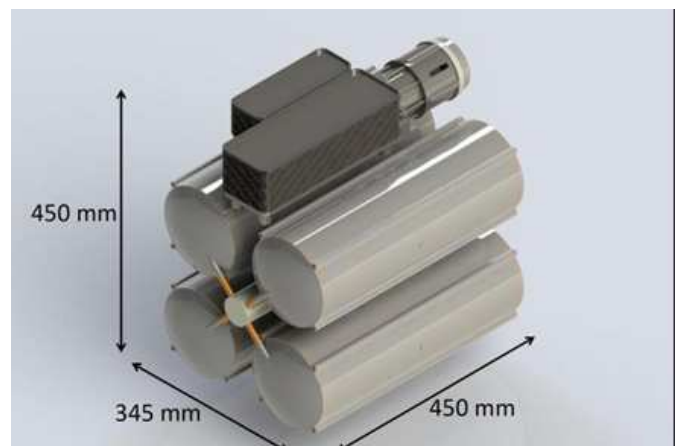


Fig. 3.35 Generator adsorptie wp 7 kW

Nieuw op de markt is [E-Sorp](#) uit Oostenrijk met een vergelijkbare ontwikkeling in het stadium van prototype .

In **Nederland** zijn vooral RTB-De Beijer, Cool Sustainable Energy Solutions en ECN actief op het gebied van kleine ab-/adsorptie-concepten. Daarin is de eerste focus op koeling uit warmte geweest. De ontwikkelingen van De Beijer RTB betreffen SWEAT en Solabcool. Het SWEAT (Salt Water Energy Accumulation and Transformation) systeem is in samenwerking met NUON en ECN samengebracht in de joint-venture [SWEAT B.V.](#) in Dui-ven. SWEAT is een vaste stof absorptiewarmtepomp voor koeling en verwarming. Het unieke aan dit systeem is de extreem efficiënte energieopslagcapaciteit. Met aanvoertemperaturen van 95° C kan het compacte systeem 's nachts geladen worden om woningen, kantoren en industriële processen overdag van koeling te voorzien.



Fig. 3.36 Dak opstelling Robur warmtepomp

[Cooll Sustainable Energy Solutions](#) ontwikkelt een compacte warmtepomp gebaseerd op de carbon-ammonia adsorptiecyclus. Dit project wordt ondersteund vanuit EOS [13] en leidt tot een product dat kan worden toegepast voor koeling en/of verwarming. Het Carnot rendement van Cooll's carbon-ammonia adsorptiecyclus is vrijwel onafhankelijk van de drie systeemtemperaturen (aandrijf, recool en koeling). Hierdoor is de cyclus breed inzetbaar voor zowel gasgestookte warmtepomptoepassingen als zon-thermisch aangedreven koelingstoepassingen.

Utiliteitsbouw

In **Nederland** is in de periode vanaf 1992 veel aandacht geweest voor de ontwikkelingen van de Absorptie warmtepomp van [Colibri](#). De ervaring in twee proefprojecten bij het CBS in Heerlen en het Gouvernement in Maastricht hebben er bij Colibri toe geleid zich te concentreren op koeling voor de industrie. Daar zijn zij momenteel een belangrijke Europese speler.

Eén van de eerste commerciële toepassingen van een grotere absorptie warmtepomp in Nederland is in het 2 MW project uit 2004 in Schalkwijk te Haarlem. Hier zijn gasgestookte absorptie warmtepompen geleverd door ROBUR (Italië). Op basis van die ervaring heeft ROBUR met ondersteuning van Gasterra en Novem de ontwikkeling voortgezet. In Nederland leverde aanvankelijk alleen [Techneco](#). Momenteel levert ook REMEHA de ROBUR warmtepompen onder Remeha label. Speciaal hiervoor is de Remeha [Gaswarmtepomp Configurator](#) beschikbaar op de website .

Reduses uit Nijkerk heeft een gasmotor gedreven, volledig modulerende water-water warmtepomp voor de gebouwde omgeving ontwikkeld. In dit innovatieve concept wordt een zuiggaswisselaar toegepast, waardoor het rendement van de verdampers verbetert. Het verdampingsniveau is altijd boven de 0°C, waardoor er geen invriesgevaar bestaat. De kleinere compressieverhouding leidt tot een hogere COP. Het product kan gelijktijdig verwarmen en koelen en heeft een flexibel inzetbereik met betrekking tot watertemperaturen, er is een hoogwaardige warmtelevering beschikbaar tot een temperatuur >70°C. De gasmotor gedreven warmtepomp (plug & play) heeft een kleiner bron nodig en heeft met een PER van 2,1 een hoger primair energierendement dan de huidige elektrische warmtepompen in deze capaciteitsgrootten.

Andere leveranciers in het segment van gasgedreven warmtepompen zijn: [Aisin/Toyota](#), Panasonic, Mitsubishi Heavy Industries en [Yanmar](#) ().



Fig. 3.37 Gasmotor warmtepomp Reduses

3.7 Geïntegreerde combinatie met zon systemen

Warmtepompen laten zich uitstekend combineren met andere hernieuwbare energie-opwekkers in systemen in de gebouwde omgeving, de glastuinbouw en industrie.

Voor de gebouwde omgeving lijken zon-thermisch en zon-pv de meest logische combinaties. Maar ook combinaties met bio-pellet gestookte ketels komen voor.

Zon-thermisch

De meeste fabrikanten van warmtepompen hebben zon-thermische systemen in hun productiepakketten. Er zijn verschillende concepten die warmtepompen met zon-thermisch combineren op de Nederlandse markt. De eerste combinaties die breder zijn toegepast in het afgelopen decennium, zijn van ITHO-Daalderop. In deze toepassingen was zon-thermische energie vooral gericht op regeneratie van de bodembron voor de warmtepomp.

Opvallend zijn de verschillende invalshoeken van leveranciers. Nederlandse leveranciers zien zon-thermische energie vooral als ondersteuning van de warmtepompfunctie. Hiermee wijkt de aanpak sterk af van leveranciers die samenwerken in de IEA-Annex 38 van het Heat Pump Program, waar de warmtepomp wordt gezien als ondersteuning van zon-thermisch. Vanuit deze verschillende invalshoeken blijkt dat de partijen onder de Annex uitgaan van boilervaten van meer dan 1000 liter daar waar in Nederland 200 liter al een groot formaat is.

In het systeemconcept van Techneco is de warmtepomp geschikt gemaakt voor een combinatie met zon-thermische energie. De warmte uit de collector kan ingezet worden op het tapwatervat van de warmtepomp, de verdamper van de warmtepomp of voor regeneratie. Wanneer de zon-thermische warmte naar de verdamper gaat bepaalt de 'slimme' regeling afhankelijk van de beschikbaarheid en behoefte de meest optimale inzet in ruimteverwarming of voor tapwater. In de winter wanneer de warmte uit zon-thermische



Fig. 3.38 Systeemconcept Techneco

energie vaak niet hoger is dan 30°C gaat de energie direct naar de bron of verdamper. In de zomer wordt de warmte voor tapwater ingezet. De 'overall' COP van tapwater maakt daarmee een grote sprong [57].

De meerwaarde van zon-thermische energie bij de toepassing van warmtepompen wordt daarmee vooral gezien in de mogelijkheden voor bronregeneratie, ruimteverwarming

Rendement of NEN 7120	HR-ketel	Warmtepomp	SCOP	WP + Zon-thermisch	SCOP
Ruimte Verwarming	95%	18,4%	4,7	198% (7% aandeel zon)	5,1
Tapwater	80%	97%	2,5	230% (45% aandeel zon)	5,9
Koelen	97%	390%	10	390%	10
Totaal gebruik (MJ)	16,86 GJ	10,25 GJ (61%)		6,64 GJ (39%)	

Tabel: bron Techneco VSK 2014

in tussenseizoenen en tapwaterverwarming in de zomer.

Techneco berekent hiervoor bij een laag energiewoning, dat met een geringe oppervlakte zon-thermisch door grote besparing op het eindgebruik van de woning, minder zon-pv nodig is om tot energieneutraal te komen. Aan optimalisatie van de toepassing wordt nog verder gewerkt.

In **Nederland** werken warmtepompleveranciers als ITHO-Daalderop, Techneco, Inventum, NIBE, Danfoss en Alpha-Innotec samen in een landelijke werkgroep waarin parallel aan de IEA – SHC Task 44 / HPP Annex 38 ‘Solar and Heat Pump Systems’ wordt gewerkt aan een rekenmodel dat gericht is op optimalisatie van de combinatie. In overleg met de leveranciers zijn verschillende archetypes gedefinieerd op basis waarvan de berekeningen worden gemaakt om de meerwaarde van de combinatie vast te stellen. Voorlopige conclusies van dit onderzoek zijn [32]:

- Optimaal in de Nederlandse situatie zijn kleine systemen van Solar 2,5m² met een buffer van 150 liter.
- Zon PV lijkt een beter alternatief bij geringe dakruimte waarbij 20 m² geëigend lijkt.
- Zon thermisch kan een belangrijke bijdrage leveren voor regeneratie van de bodem, afhankelijk van de bodemgesteldheid.

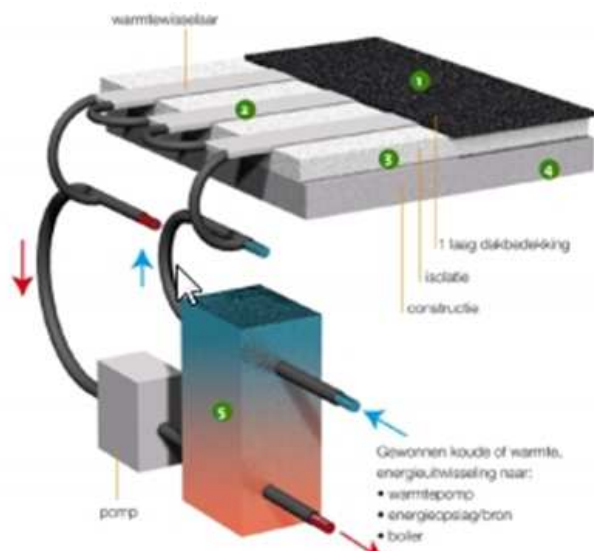


Fig. 3.39 Zon-thermisch dakelement

Een belangrijke variant op de opslag in een boiler is het zon-thermische dak. Het absorberend element in het dak neemt zonne-energie op en geeft die door aan het onderliggende leidingensysteem waarbij de leidingen in of op het isolatiemateriaal van het dak zijn aangebracht. Een zon-thermisch dak wordt vaak gebruikt voor de opwaardering van een open of gesloten bronsysteem. Daarnaast kan het dienst doen als voorverwarming van warm tapwater of voor de verwarming van een zwembad. In sommige systemen is een zon-thermisch dak gecombineerd met PV-panelen. Het zon-thermisch dak doet dan vooral dienst om de panelen te koelen, waardoor deze een hoger rendement geven.

De toepassingsmogelijkheden van een zon-thermisch dak zijn heel divers. Bovendien zijn er verschillende systemen op de markt van diverse producenten en leveranciers. In **Nederland** zijn leveranciers als Daklab, Oranjedak, Triple Solar en Solartech International actief op deze markt. RVO heeft recent hierover in samenwerking met de leveranciers een informatieve brochure uitgegeven [20].

Zon-pv

De marktgroei van warmtepompen in landen als Duitsland vooral zichtbaar is in de grotere aantallen tapwater warmtepompen die worden geplaatst in combinatie met zon-pv. Deze combinatie verdringt de zon-thermische systemen uit de markt. Voordeel van deze combinatie ten opzichte van zon-thermische systemen is dat wanneer het voorraadvat volledig vol is, de door de zonnecellen geproduceerde elektriciteit aan het net kan worden geleverd. Bij gangbare zon-thermische systemen gaat het overschot aan energie bij een vol voorraadvat verloren tenzij gebruikt voor regeneratie van de bodem. Elektrische warmtepompen waarvoor de stroom door de eindgebruikers zélf met zonnecellen wordt opgewekt, bieden in potentie een snelle marsroute naar energieneutrale woningen: elke kWh opgewekte duurzame elektriciteit wordt door de warmtepompen in duurzame warmte. En op het moment dat er geen warmtevraag (en/of elektriciteitsvraag) (meer) is leveren de zonnecellen de duurzame stroom terug aan het net. In perioden dat er onvoldoende zon is (en bij het ontbreken van een elektriciteitsopslag) zullen de warmtepompen de benodigde stroom alsnog uit het net moeten betrekken. Zolang de hoeveelheid kWh in deze zon-arme perioden geringer is dan het aantal kWh in de zon-rijke perioden kan de woning per saldo als energieneutraal worden aangemerkt (zie verder hoofdstuk 4). Daar moet bij het dimensioneren van zowel de warmtepomp als het vermogen van de zonnecellen rekening mee worden gehouden.

In de trend naar energieneutraal vormt de combinatie de basis en meer en meer leveranciers van warmtepompen hebben zon-pv in hun basis leveringspakket. Een van huis uit traditionele leverancier van airco systemen als Daikin is daarvan het voorbeeld.

De oplossingen worden niet alleen aangeboden vanuit de leveranciers van warmtepompen maar ook duidelijk in de markt 'gezien' door partijen die zich bezighouden met de advisering en plaatsing van zonnepanelen. De meeste woningen met zon-pv in de Solartours georganiseerd door AgNL hadden naast zon-pv een warmtepomp voor de verwarmings- en koelfuncties. Op weg naar energieneutraal lijkt dit de meest logische combinatie.

Een interessante toepassing is de uitvoering van Dutch Heatpump Solutions die de pv-panelen plaatst rond de platte dakverdampers van de luchtwater warmtepomp. Dak inbouw lucht/water warmtepomp. De warmtepomp wordt een onderdeel van een totaalconcept met rendementsverhoging waarin de pv-panelen worden gekoeld en de lucht bron voor de warmtepomp wordt voorverwarmd.



Fig. 3.40 DHS innovatieve combinatie van zon-pv en verdampers van lucht water warmtepomp

Koelen met zonne energie

Naast de concepten voor tapwaterverwarming zijn er ook concepten met solar thermal cooling. In Nederland is vooral RTB-De Beijer actief op dit gebied met kleine ab-/adsorptie-concepten. Daarin is met SWEAT de eerste focus op koeling uit warmte geweest. Solabcool is hiervan een voortzetting waarin met een vaste stof absorptiekoelmachine kan worden gekoeld met warmte van 65-90° C afkomstig uit thermische zonne-energie of restwarmte [12].

In Japan en Canada lopen er ontwikkelingen met thermisch gedreven ejectors als aandrijving voor het koelsysteem. Voor grotere systemen kan dit aantrekkelijk zijn voor kleinere is dit vooral in landen met koelbehoefte als de belangrijkste energievraag. Onder de IEA Implementing Agreement Solar Heating and Cooling wordt in 2014 een taak opgestart om de combinatie van zon-pv met kleinere op air conditioning gebaseerde koelsystemen en warmtepompen in kaart te brengen.

3.8 Smart warmtepomp, software en apps

Eén van de meest prominente features op ISH 2013 en de VSK 2014 was het grote aantal online tools, software en mobile apps dat getoond werd, waarmee de eindgebruiker bedieningsgemak wordt geboden en aansturing op afstand mogelijk is. Qua marketing tool draagt deze ontwikkeling bij aan de acceptatie van



Fig. 3.41 Smart applicatie (Samsung)

warmtepompconcepten in de markt omdat het bijdraagt aan de ‘funfactor’ van de technologie.

Een warmtepomp (met bijbehorende bron en afgiftesysteem) functioneert optimaal als hij gelijkmatig werkt. Dat valt niet te controleren door eenmalig bij oplevering het systeem even goed op te stoken. De kwaliteit van een installatie met warmtepomp bewijst zich pas in de loop der tijd. Dan zal blijken of de bron goed is gedimensioneerd en of de kwaliteit van de woning ook in de praktijk past bij de gekozen warmtepomp. Het is daarom van belang gedurende de opstartperiode van minimaal een half jaar de installatie te volgen en mogelijk opnieuw in te regelen en individueel gedurende meerdere jaren te volgen via remote monitoring. De ontwikkeling met software biedt de mogelijkheid van online/’remote’ inregelen en onderhoud door de leverancier/installateur.

In **Nederland** zijn Doorgeest Koudetechniek en ITHO-Daalderop pioniers op dit gebied. [Wadus](#) monitort hiermee alle door hen geplaatste kleinere en grote installaties.

In **Nederland** zijn Doorgeest Koudetechniek en ITHO-Daalderop pioniers op dit gebied. [Wadus](#) monitort hiermee alle door hen geplaatste kleinere en grote installaties.

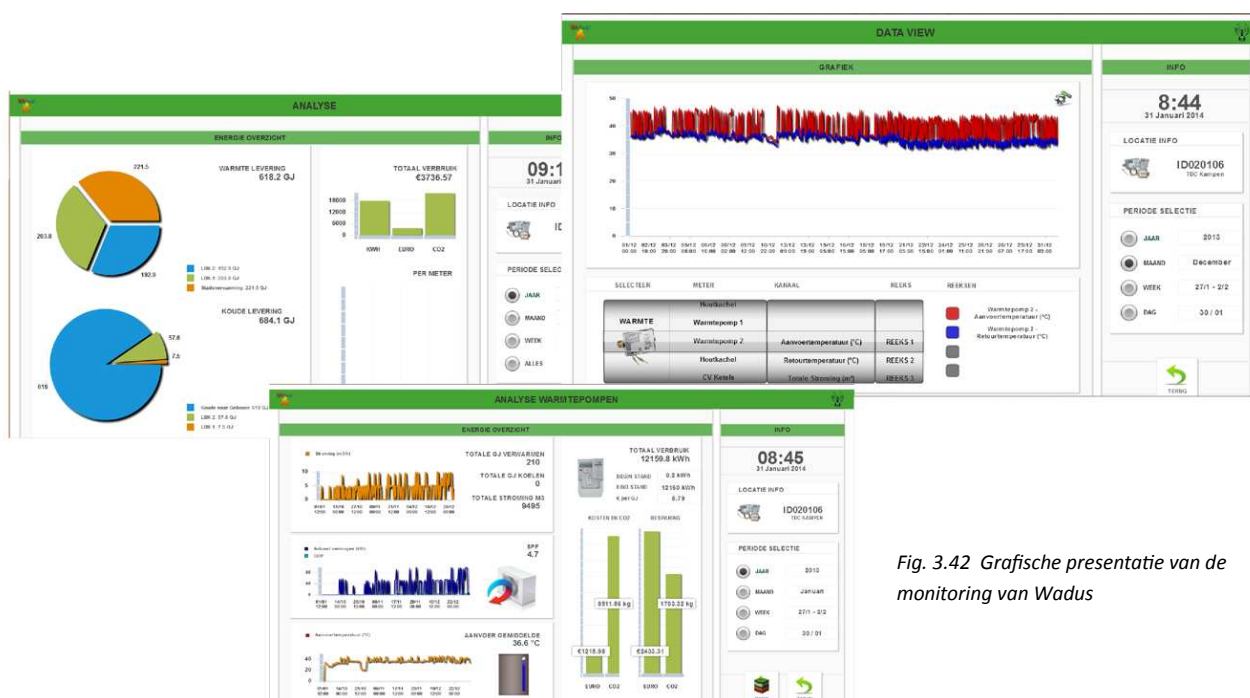


Fig. 3.42 Grafische presentatie van de monitoring van Wadus

Tegen geringe extra kosten geeft men op basis hiervan een onderhoudscontract en prestatiegarantie op warmtepompsystemen.

ITHO-Daalderop hanteert de filosofie dat ‘Instandhouden van warmtepompsystemen zonder monitoring in feite niet goed mogelijk is’. De risico’s op afwijkingen (o.a. als gevolg van gebruikersgedrag!) bij warmtepompsystemen zijn zo veel groter dan bij traditionele gas CV systemen dat monitoring nodig is [14].

ITHO-Daalderop heeft op die wijze ruim 6000 warmtepompen geleverd. Het bewonersgedrag en de prestatie van de woning wordt ermee inzichtelijk gemaakt. Hierdoor is men in staat storingen snel te signaleren en te verhelpen en wordt de bewoners inzicht geboden in onduidelijke klachten. Deze ontwikkeling heeft uiteindelijk geleid tot een traject waarin partijen prestatiegaranties geven op het functioneren en op het energiegebruik. In de marketing stelt men: *“Een warmtepomp die gedurende een periode van 25 jaar gegarandeerd een blijvend hoog rendement geeft. Dat kan voortaan met een warmtepomp van IthoDaalderop met ingebouwde RF-print: een communicatiemodule die van afstand de prestaties constant in de gaten houdt. Voor de ingebouwde RF-print bij warmtepompen ontving het projectteam een subsidie uit de regeling UKP (Unieke kansenprogramma) Verduurzaming Warmte en Koude”*.

Een project als Rijswijk Buiten is hiervan een voorbeeld [15]. In hoofdstuk 4 wordt nader op ingegaan op de mogelijkheden die dit biedt.



Fig. 3.43 Display van Alvarium

Voor grotere systemen heeft Insted uit Nijkerk Alvarium ontwikkeld. Hiermee wordt in ruim 300 projecten met warmtepompen en bodembronnen op een geautomatiseerde wijze data binnengehaald en verwerkt. Deze data kunnen op een eenvoudige en goed toegankelijke wijze gepresenteerd worden om energiebeheer van de aangesloten gebouwen te realiseren.

In haar marketing van [Alvarium](#) stelt Insted dat: Ondermaatse prestaties komen snel aan het licht. Hierdoor kan er eerder ingegrepen worden. Dit is een groot verschil met de huidige situatie waarbij men zaken vaak pas tegenkomt na klachten of een toevalstreffer. Trends kunnen nu inzichtelijk worden gemaakt, wat meer inzichten in een project geeft. Het unieke is dat projectbeheerders hun gegevens onderling kunnen vergelijken hierdoor wordt het eenvoudiger om van een ander project te leren. De focus van serviceverlening zal voortaan niet alleen op probleemoplossing liggen, maar deels verschuiven naar prestatieverbetering. “Redelijk” functionerende systemen kunnen daarmee goed functionerende systemen worden.



Netwerkbedrijven en duurzame energie opwekkers hebben belang bij inzicht in de energievraagverdeling over hun gebied als gevolg van de inzet van warmtepompen, zodat zij op basis daarvan een optimale energie afname- en afschakelstrategie kunnen opstellen. Belangrijk voordeel van de ingebouwde software is de inpassing in en communicatie met Smart Grids. Specifiek in Duitsland, maar ook in andere Europese landen wordt dit potentieel onderkend. Op de ISH-2013 heeft de Duitse Bundesverband Wärmepumpen als brancheorganisatie als politiek statement het label ‘Smart Grid Ready’ geïntroduceerd.

Fig. 3.44 Logo Smart Grid Ready

Warmtepompfabrikanten die in Duitsland hun label ‘Smart Grid Ready’ voeren zetten de komende periode in op:

- Specificatie van normen voor het regelen en faciliteren van de communicatie.
- Het ontwikkelen van richtlijnen voor het gebruik van grid-ondersteunende warmtepompsystemen, afhankelijk van de thermische opslagcapaciteit van het gebouw.

De landelijke en Europese overheden dienen hiervoor een level playing field te creëren voor warmtepompen.

3.9 Plug & Play oplossingen

Plug and Play oplossingen in de woningbouw zijn ontstaan vanuit drie invalshoeken:

- Kostenreductie bij installatie door het installatieproces vergelijkbaar te maken met het traditionele installatieproces.
- Reductie van systeem en ontwerpfouten door een hoge mate van voor monteren bij de leverancier conform beheersbare fabrieksprocessen
- Vereenvoudiging van onderhoud door hoge mate van bereikbaarheid van kwetsbare onderdelen.
- Reductie van werken met koudemiddelen op de projectlocatie en het daarmee vanuit de leverancier/fabrikant voorgevuld afleveren van het koudemiddelcircuit.

Plug & Play is wel een typische ontwikkeling in Nederland. Belangrijke leveranciers/fabrikanten als DHS, Techneco en Stork-Zehnder houden zich hiermee bezig, maar ook fabrikanten met ster Nederlandse vestigingen, zoals Vaillant. Omdat de verwarmingsbranche 'onbekend' is met het omgaan met koudemiddelen is gezocht naar methodes om het koudemiddelcircuit los te koppelen van het verwarmingsdeel.



Fig. 3.45 Hydrotop binnen inbouw (DHS)

De [Hydrotop](#) is een lucht/water-warmtepomp die de benodigde energie uit de buitenlucht haalt. Opvallend aan deze installatie is dat de binnen- en buitenunit in één toestel zijn samengebracht. De installatie wordt in principe op zolder achter een schuin dak geplaatst, waarbij de buitenunit een kleine 20 centimeter door het schuine dak uitsteekt. Aan de binnenzijde bevindt zich de binnenunit die de energie uit de buitenlucht aan het afgiftesysteem en eventueel een tapwaterboiler afgeeft. Op die manier zijn voor de Hydrotop geen losse buitenunit – en dus ook geen aparte aansluitleidingen tussen de buiten- en binnenunit – nodig. De integrale combinatie wordt, alsof het een dakraam is, via een opening in het dak op zolder geplaatst.

De Hydrotop kan zowel bivalent, dus in combinatie met een nieuwe of bestaande hr-ketel, functioneren, maar ook monovalent. In dat laatste geval is een tapwaterboiler onmisbaar om een zo hoog mogelijk rendement te realiseren. De Hydrotop is verkrijgbaar in twee varianten; een toestel met een verwarmingscapaciteit van 4,2 kW en een variant met een capaciteit van 7 kW. In de zomer kan de bewoner de Hydrotop, mits het afgiftesysteem geschikt is - bijvoorbeeld via ventilatieconvectoren - ook voor koeling gebruiken. De koelcapaciteit van de kleine uitvoering is 3,6 kW, die van de grote uitvoering 6 kW.

Techneco heeft in de nieuwe TOROS warmtepomp dit bereikt door de warmtepomp gestandaardiseerd in een kleine omkasting in te bouwen. Deze eenheid in capaciteiten van 2 – 12 kW kan op de fabriek compleet samengesteld en koudetechnisch afgevuld en getest worden. Ook kan ter plekke de eenheid vervangen worden door een variant met een andere capaciteit. Voorheen werd ook de warmtepomp van TOROS integraal met een tapwaterbuffer geleverd, deze is nu losgekoppeld en wordt naast de warmtepomp geplaatst. Hiermee is flexibiliteit in grootte afhankelijk van de tapwaterbehoefte bereikt.

Fig.3.46 TOROS van Techneco





Fig. 3.47 Zehnder en ZEN Compact

Twee ontwikkelingen voor laag energiewoningen en energieneutraal concepten zijn van ZEN-Nilan en Zehnder-StorkAir die beide een integrale unit hebben ontwikkeld waarin tapwater, ruimteverwarming en ventilatie zijn verenigd.

In de ZEN Compact zit passieve en actieve warmteterugwinning van de ventilatielucht, een warmtepompboiler en een tweede warmtepomp (!) voor de vloerverwarming. Twee warmtepompen zijn toegepast omdat de temperatuurniveaus en capaciteiten voor laag temperatuur ruimteverwarming en tapwater zo ver uit elkaar liggen dat hiervoor in feite een ander koelmiddel of een andere vulgraad in het koelmiddelcircuit nodig is om optimaal te kunnen draaien.

In de meeste combi-warmtepompen is hiervoor een keuze gemaakt om te optimaliseren op één van de functies. De tweede ingebouwde warmtepomp kan zowel de buitenlucht als een verticale bodemwarmtewisselaar als bron gebruiken. Het 180 liter tapwatervat kan ook van een extra warmtewisselaar voor gebruik van zonnewarmte met een collector op het dak worden voorzien.

Zehnder-StorkAir heeft voor energieneutraal en passiefhuis de ComfoBox ontwikkeld. Dit is een warmtepomp en ventilatie-unit in één en combineert alle technische voorzieningen voor de woning, te weten ruimteverwarming, koeling, ventilatie en warmtapwater.

Maar ook in de utiliteit dringt dit door via leveranciers als ETP en DUBO.

Bij het hoofdkantoor van Scania Benelux heeft Dubotechniek Bedrijven in opdracht van BVR Groep de Own New Energy (ONE) in één dag geïnstalleerd. De ONE is een innovatie van Dubotechniek Bedrijven, onderdeel

van VolkerWessels. Het gaat om een kant en klare duurzame energie-installatie die direct in een pand wordt aangesloten. Dit systeem, dat uniek is in Nederland, zorgt voor een eenvoudige en snelle installatie en voorkomt faalkosten.

De ONE wordt kant-en-klaar afgeleverd, het systeem is volledig in de werkplaats van Dubotechniek gemaakt hierdoor kan het concept binnen een dag worden aangesloten. Dit scheelt aanzienlijk

in de kosten. De bij Scania geïnstalleerde ONE kan bij Dubotechniek op afstand worden bewaakt en aangestuurd.

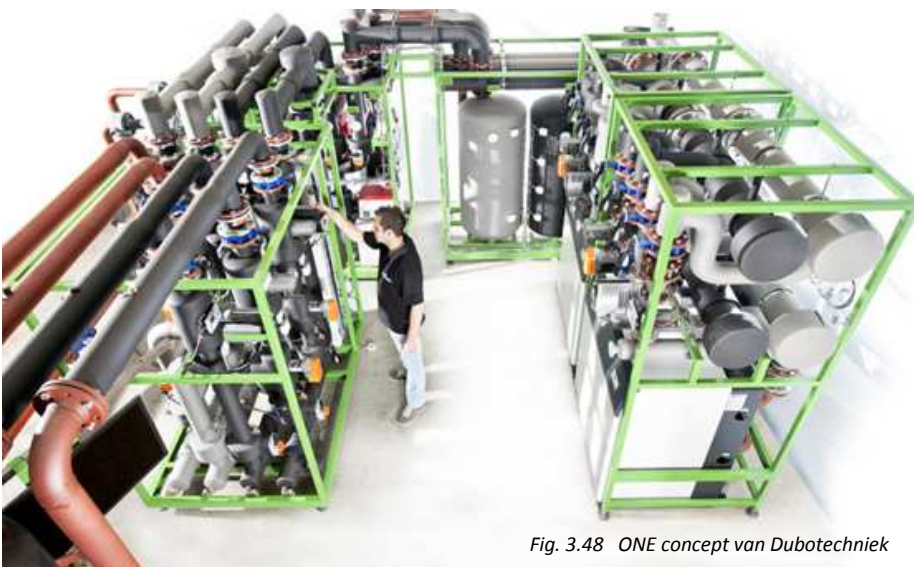


Fig. 3.48 ONE concept van Dubotechniek

Energie Totaal Projecten is ontwerper en systeemleverancier voor duurzame energiesystemen aan installateurs, projectontwikkelaars en gebouw- of bedrijfseigenaren. Voor diverse toepassingen in de utiliteitsbouw, industrie en glastuinbouw heeft Energie Totaal Projecten eigen specifieke standaard modules ontwikkeld tot 3.5 MW. Traditionele energie-installaties worden op de plek waar die komen te staan gebouwd en aangesloten. Dit leidt vaak tot faalkosten.

De systemen van [Energie Totaal Projecten](#) zijn opgebouwd uit standaard modules die speciaal zijn ontwikkeld voor de betreffende toepassing. Door deze standaardisatie kunnen systemen veel sneller en eenvoudiger worden gerealiseerd en tegen beduidend lagere kosten. Doordat de verschillende modules vanuit één ontwerpfilosofie op elkaar zijn afgestemd, is de bedrijfszekerheid van het totale systeem gegarandeerd omdat componenten niet in het ontwerp per project zijn gekoppeld. De ETP-RCE-40 tot -140 is ontwikkeld als standaard oplossing voor woon- en woon-zorgcomplexen. Met de hoog-temperatuur warmtepomp kan water tot 80°C worden geproduceerd, waardoor hoog temperatuur warmte kan worden gedistribueerd voor ruimteverwarming en tapwaterlevering.

De warmtepompcentrale bevat naast de warmtepomp alle hydraulische schakelingen, warmtewisselaar, elektrische verbindingen en aansluitingen. In hoofdstuk 8 staan verschillende projecten van ETP beschreven



Fig. 3.49 Warmtepomp ETP

3.10 Koudemiddelen

Hoewel het onderwerp koudemiddelen geen innovatieve trend of ontwikkeling is zoals in de voorgaande negen paragrafen is het wel op Europees niveau een trending topic in de discussies onder experts. Een forse aanscherping van de Europese F-gassenverordening kan de doodsteek zijn voor de warmtepompindustrie en daagt de markt uit tot vernieuwing en innovatie.

De warmtepompindustrie maakt op grote schaal gebruik van F-gassen, koudemiddelen die geen last hebben van de tekortkomingen van sommige natuurlijke middelen, zoals hoge giftigheid of het risico op brand- of explosiegevaar. Aan F-gassen hangt maar één echt bezwaar, te weten het hoge Global Warming Potential (GWP) en daarmee een relatief forse bijdrage aan het broeikaseffect, ook in kleine lekkage hoeveelheden. Reden voor de EU om in het kader van het Kyoto-verdrag een verordening in het leven te roepen die tot doel heeft de uitstoot van F-gassen te beperken. In deze zogenaamde F-gassenverordening staan onder andere voorschriften voor het tegengaan van lekkage en een certificeringsplicht voor installateurs die met F-gassen werken. Deze verordening heeft volgens de Europese Commissie nog niet het gewenste effect, immers de uitstoot van F-gassen is toegenomen. Die toename is niet alleen op het conto van de verwarmings- en koelindustrie toe te schrijven; ook andere sectoren dragen er aan bij. De Milieucommissie van het Europees Parlement (ENVI) heeft daarom eind 2012 een aanvullend wetsvoorstel opgesteld waarmee de emissie van F-gassen moet worden aangepakt. Planning nieuwe EU F-gas Directive in voorjaar 2014.

In haar standpunt geeft de Europese organisatie van warmtepompfabrikanten EHPA aan dat zij niet tegen de uitfasering is van de F-gassen. EHPA kan zich echter niet vinden in het voorstel van uitwerking van het beleid van de ENVI-commissie. De Nederlandse brancheorganisaties DHPA, NVKL en VERAC ondersteunen in grote lijnen dit standpunt

Alternatieven

De Commissie stelt dat er voldoende alternatieven zijn voor de gebruikelijke koudemiddelen. Warmtepompen in een brede range van toepassingen ingezet met verschillende koudemiddelen. Voor warmtepompen in de woningbouw komen R134A, R407C maar vooral ook R410A voor. Propanaan en butaan zijn geschikte koudemiddelen, maar hebben als nadeel dat ze brandbaar zijn. Dit levert vervolgens garantieproblemen op bij bijvoorbeeld compressorfabrikanten. Hierdoor worden deze 'natuurlijke koudemiddelen' nog niet grootschalig toegepast in warmtepompen. Een eerste ontwikkeling is het gebruik van butaan in de warmtepompen door Alpha Innotec. In de toekomst met de verdere uitfasering van de F-gassen zal hier waarschijnlijk verandering in komen.

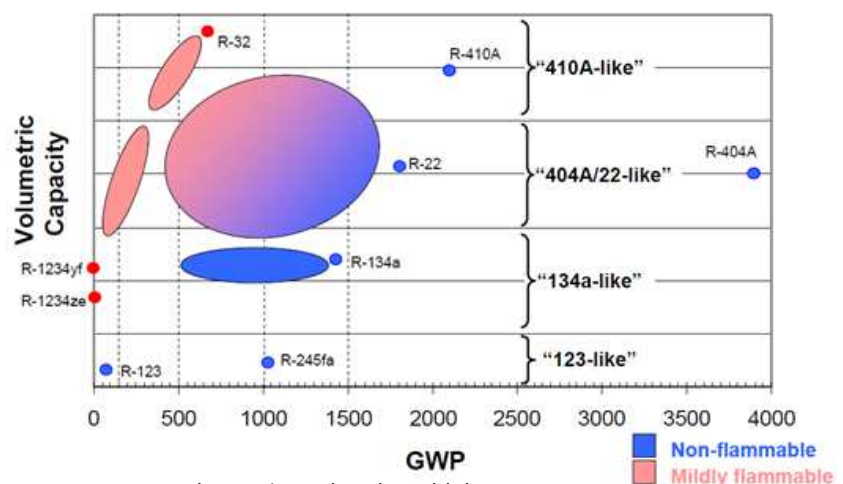


Fig. 3.50 Alternatieve koudemiddelen

Volgens het Duitse Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik is het aantal toepassingen waarbij een natuurlijk koudemiddel kan worden gebruikt beperkt.

In koelkasten is Propaan/Propeen een standaardproduct. Ook HFO1234yf valt onder de groep brandbare koudemiddelen. Ook het gebruik van R32 door Daikin in de nieuwe generatie split airco units, een HFK-koudemiddel met een relatief lage GWP, is een indicatie dat er iets in beweging is in de industrie.

CO₂ als koudemiddel (R744) wordt vaak opgevoerd als alternatief voor de huidige koudemiddelen in warmtepompen. Dit is echter geen volwaardig alternatief. Zowel de industrie als diverse onderzoeksinstituten hebben studies uitgevoerd met betrekking tot het gebruik van omkeerbare lucht/lucht-warmtepompen met CO₂ als koudemiddel.

Waterverwarmers met warmtepomp, die meestal worden gebruikt om tapwater te verwarmen van 10 tot 65°C, zijn zeer geschikt voor de transkritische CO₂-cyclus (Nekså, 1998a). Na de eerste ontwikkelingsfase van 1990-98 bracht Japan deze waterverwarmers vanaf 2001 met succes op de markt. Het was mede mogelijk dankzij de steun van de overheid, die voor het verwarmen van water warmtepompen wilde gaan inzetten in plaats van fossiele brandstoffen. Tussen 2001 en 2008 werden ongeveer 1,7 miljoen units geïnstalleerd. Gestreefd wordt naar 5,2 miljoen units in 2010. Hierdoor zou de CO₂-emissie in Japan met ongeveer 2,9 Mt-CO₂/jaar afnemen. Sinds de marktintroductie in 2001 is het systeem overigens aanzienlijk verbeterd, waardoor de efficiëntie nu nog groter is (Hashimoto, 2006). Er zijn ook in Europa al diverse systemen op de markt voor huishoudelijk, commercieel en industrieel gebruik. Gezien het toenemende belang van tapwaterverwarming als gevolg van de verminderde warmtevraag in energiezuinige gebouwen, zijn de vooruitzichten voor deze technologie bijzonder gunstig.

Als transkritisch koudemiddel is CO₂ gevoeliger voor omgevingstemperatuur dan HC of HFK systemen. Voor ruimteverwarming is het daarmee vrijwel onmogelijk een efficiënt systeem te ontwikkelen omdat het temperatuurverschil in de 'heat sink' te gering is. In vergelijking met andere koelmiddelen scoort CO₂ echter zeer goed en het kan worden ingezet voor toepassingen binnen een temperatuurgebied van min 40 tot 160 °C. Grote temperatuurverschillen zijn de grote troef. Ongeacht of 10 °C of 40 °C binnenkomt, de uittreedtemperatuur moet minimaal 50 Kelvin hoger liggen. De CO₂-warmtepomp kan daarmee goed worden ingezet voor koeling in supermarkten of om aan een grote warm tapwater-behoefte te voldoen. Zelfs heet water tot 90 °C met desinfecterende werking, bv. voor de levensmiddelensector, is geen probleem.

Kleine warmtepomp systemen zijn veelal volledig hermetisch gesloten hierdoor is er geen periodieke controle nodig op lektheid van het systeem in de gebruikersfase. Na de gebruikersfase kan het koudemiddel gecontroleerd afgevangen worden. De koudemiddelen in dit soort systemen blijven altijd ook binnen de behuizing van de warmtepomp waarbij zij worden afgevuld op de fabriek. Dit vormt dan ook in de discussie tussen de markt en de Commissie het meest omstreden onderdeel, omdat de Commissie een pre-charge ban wil opleggen dat aanvullen op de fabriek verbiedt. De fabrikanten stellen echter dat de emissies van F-gassen juist toenemen door het vullen van warmtepompen buiten de 'defined factory environment'. Verder kan door onzorgvuldig vullen van de warmtepomp de prestatie van systeem minder zijn met mogelijk aanzienlijk minder reductie op CO₂-emissies in het gebruik van de warmtepomp. In alle gevallen is dit tegen de markttrends in waar een warmtepomp 'plug and play' wordt geleverd getest op kwaliteit, opdat de installatiekosten bij toepassing zo laag mogelijk blijven.

Belangrijke ontwikkelingen op het gebied van HFK/HFO koudemiddelen met een laag GWP zijn er te melden van grote leveranciers als Honeywell, Siemens en Dupont. Het betreft hier vooral koudemiddelen met een uiterst lage GWP in de industriële toepassing sfeer met hoge condensatietemperaturen. Veelal bevinden deze koudemiddelen zich nog in de fase van ontwikkeling en eerste toepassingen.

Een interessant beeld toont de ontwikkeling van LG6 van Siemens waarbij bij een temperatuursprong van 50K nog COP's gehaald worden van 4,8.

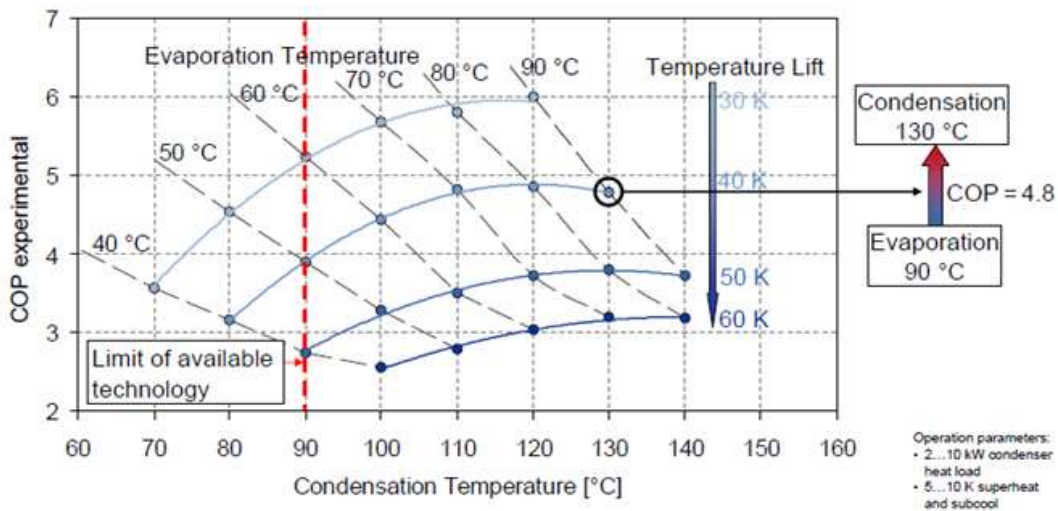


Fig. 3.54 LG6 van Siemens

DR-2 van Dupont toont nog betere resultaten:

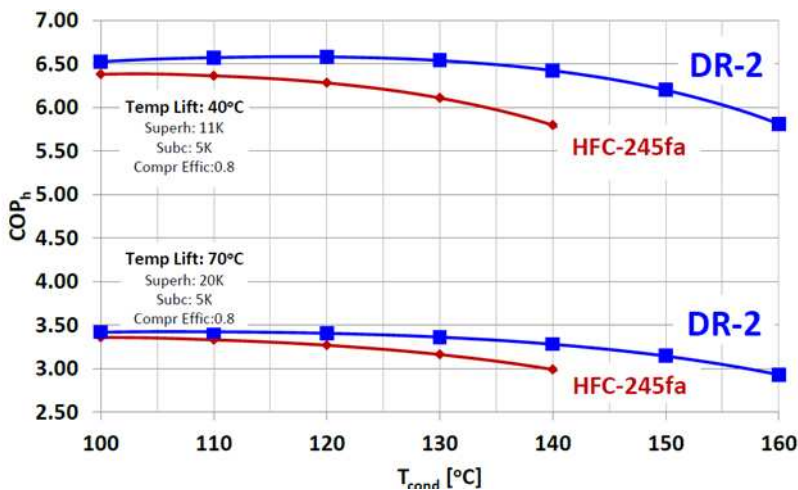


Fig. 3.55 DR-2 Dupont

Solstice™ L41 van Honeywell is een op R32 gebaseerd koudemiddel dat als alternatief van R410a door verschillende fabrikanten is opgepakt. De grootste toepassing ervan is door FrioTherm in de stadsverwarming van Oslo.

R-410A Alternatives

Refrigerant Supplier	Designation	Composition	(Mass%)	GWP	ASHRAE Class	Thermo Performance* Capacity	Efficiency
Arkema	ARM-70a	R-32/R-134a/R-1234yf	(50/10/40)	482	A2L	-15%	3%
Daikin	D2Y-60	R-32/R-1234yf	(40/60)	272	A2L	-20%	2%
DuPont	DR-5	R-32/R-1234yf	(72.5/27.5)	490	A2L	0%	1%
Honeywell	L-41a	R-32/R-1234yf/R-1234ze(E)	(73/15/12)	494	A2L	-6%	2%
Honeywell	L-41b	R-32/R-1234ze(E)	(73/27)	494	A2L	-9%	2%
Mexichem	HPR1D	R-32/R-744/R-1234ze(E)	(60/6/34)	407	A2L	-1%	0%
Daikin/National	R-32	R-32	(100)	675	A2L	8%	1%
National	R-32/R-134a	R-32/R-134a	(95/5)	713	A2L	5%	1%
National	R-32/R-152a	R-32/R-152a	(95/5)	647	A2L	3%	1%

* Relative to R-410A 4C ET / 38C CT

ETP is een van de eerste gebruikers van koudemiddelen als



Hoofdstuk 4
Energieneutraal
naar EPC=0

Conform de Europese Richtlijn EPBD zal tegen 2020 Energieneutraal moeten worden gebouwd (Recast of the Energy Performance Building Directive (EPBD)). Energieneutraal is een relatief eenvoudig concept gebaseerd op de juiste bouwfysica in combinatie met hernieuwbare energie. Eenvoudig wanneer de technologieën hiervoor beschikbaar en in hun samenhang bewezen zijn. De rapportage onder IEA Annex 32 [21] gaf al aan dat Nederland op het gebied van energieneutraal behoorlijke stappen heeft gemaakt met een ontwikkeling in de richting van industrialisatie van het bouwproces voor laag energiewoningen. Daarmee is een belangrijke voorwaarde vervuld in de kwalitatieve beheersing van het bouw- en installatieproces die wordt gezien als een basis randvoorwaarde om te voldoen aan de eis van energieneutraal in 2020. Nederland loopt daarin in de schaalgrootte van de aanpak voorop in Europa, zoals in de projectvoorbeelden te zien is in Hoofdstuk 8.

De grootste uitdaging is de concepten voor energieneutraal economisch aantrekkelijk en betaalbaar te maken, ook voor de renovatiemarkt. Belangrijke trajecten om dat te realiseren zijn:

- Lagere kostprijs van componenten voor hernieuwbare energie;
- Optimalisatie en industrialisatie van het bouwproces;
- Standaardisatie van integrale bouwcomponenten en oplossingen voor de bestaande bouw.

De marktontwikkeling van energieneutraal zou volgens experts worden belemmerd door de meerkosten.

[Onno Dwars](#) van VolkerWessels is echter de mening toegedaan dat de 'Energienot nul woning' over 5 jaar de standaard is. 'Energienot nul woningen is daarin een stap verder in het marktdenken over energieneutraal. Het idee achter de Energienot nul woning is zo eenvoudig, dat het aan iedere consument valt uit te leggen en heeft het EPC-denken achter zich gelaten. Een woning zonder energierekening begrijpt iedereen.

Voor de nieuwbouw vormt financiering weinig of geen probleem. Naar de huidige inzichten kost een nieuwe energieneutraal woning ca. €12.000 euro meer dan een woning met EPC=0,6, de huidige standaard. Naast recente technologie ontwikkelingen heeft er ook een doorontwikkeling plaatsgevonden in het bouwproces. Voorheen werden de energiesystemen aan elkaar geknoopt, nu zijn de systemen integraal verwerkt in het bouwconcept en op elkaar afgestemd. Voorwaarde is dat de gehele keten van het bouwproces van het begin betrokken is bij de ontwikkelingen en ook op elkaar ingewerkt is. Concepten waren voorheen voornamelijk gebaseerd op warmtepompen met de bodem als bron, met de nieuwste ontwikkelingen wordt de voorkeur gegeven aan de lucht als bron. Wanneer de EPC in 2015 naar 0,4 gaat, worden de meerkosten ten opzichte van de norm nog minder. Gecombineerd met het verder optimaliseren van het bouwconcept en het verlagen van de prijs van de luchtwarmtepomp en zonnepanelen dalen de meerkosten tot onder €5.000 [32]. Koplopers in de markt wachten de aanscherpingen van de EPC niet meer af omdat zij vinden dat zij toekomstbestendig moeten bouwen met een lange termijn visie over 30 jaar.

In de folder 'Ik heb een idee, energienota=nul woningconcepten' [22] geeft het innovatieprogramma Energiesprong van Platform31 een reeks voorbeelden van momenteel bestaande woningconcepten met een beloofde energiejaarrekening van nul. De verzameling concepten is tot stand gekomen door een oproep in het netwerk van Energiesprong, en via social media. Sommige concepten zijn bekend en bewezen, anderen liggen klaar om uitgevoerd te worden. De aangeleverde concepten maakt zichtbaar dat er sprake is van een serieuze trend. Betaalbare Energienota=nul woningen, dat lijkt toekomstmuziek, maar dat is het niet. Deze trend van energienota=nul woningconcepten kan de woningbouwsector op zijn kop zetten: (eindelijk) meer kwaliteit voor lagere prijzen, interessante financiële mogelijkheden omdat energiekosten vervallen, grote verandering in de verhouding tussen corporatie en bouwpartij, mogelijkheid tot forse besparingen op de totale stichtingskosten etc. In vrijwel alle gepresenteerde concepten vormt de warmtepomp, lucht-water of bodemgekoppeld, de kern-technologie van het energiesysteem ondersteund met zon-pv om te komen tot energieneutraal.

Overzicht Energiemeta = 0 - woningen					
	naam	onderneming	elektr	soort warmtepomp	Website
Nieuwbouw	Ontwikkewiz	Reinbouw bv	pv	vert bodembron	www.ontwikkewiz.nl
	HUISVANU	Plegt-Vos Wonen	pv	Lucht-water	www.hethuisvanu.nl
	GO woning	Goldewijk	pv	hybride	www.goldewijk.nl
	Center4Energy	In2Ecobuildings	pv	collectief per blok	www.energienul73.nl
	PLUSWonen	Volker Wessels	pv	verschillende types	www.energienotalozewoning.nl
					www.myourownhome.nl
	E-Neutrale nieuwb	Van Wijnen/Seinen	pv	nieuwe generatie?	www.vanwijnen.nl
	LEKKEREIGENHUIS	TBI-Koopmans	pv	optioneel	www.lekkereigenhuis.nl
	Energienotaloos	Trebbe Groep	pv	optioneel	www.trebbe.nl
	FLEX-HOME	Flex-Home	pv	comb met zon-th	www.flex-home.nl
	CASAVITA Notanul	Klaassen Groep	pv	Lucht-water	www.klaassen.com
	IDENTIS	Roosdom Tijhuis	pv	vert bodembron	www.identis.nl
	HSC	Huybregts	pv	Lucht-water	www.huybregts-systeembouw.nl
	OPTIO	Van Wanrooij	pv	wp	www.vanwanrooij.nl/optio
	WEBUILDHOMES	Webuildhomes	pv	bodem of lucht	www.webuildhomes.nl
	YOU-ID	Novum Network	pv	182,5% rendement	www.novumnetwork.nl
	OPTIMUM+ EGW	Van Campen Bouwgroep	pv	vert bodembron	www.optimumplus.nl
	GIESBERS Huislabel	Giesbers Wijchen	pv	ventil lucht	www.giesbershuislabel.nl
	Concipere Domus	WBC	pv	optie	www.wbc.nl
	Heijmans Zero Ready	Heijmans	pv	?	
ENERGIEPLUS	Energy 2020	pv	keuzeopties	www.energie2020.nl	
ALL-Electric 0.0	BAM	pv	Lucht-water	www.bamwoningbouw.nl	
START Passief	MARKU Bouw bv	pv	vert bodembron	www.marku.nl	

Tabel 4.1 Overzicht van Energiemeta nul concepten voor nieuwbouw

Twee voorbeelden worden gegeven die wereldwijd een unieke innovatieve stap voorwaarts betekenen in een verduurzaming van de bebouwde omgeving.

[Rijswijk Buiten](#) is de allereerste wijk van Nederland waar op deze schaal (3500) dergelijke woningen met een



Fig. 4.1 Rijswijk Buiten (nieuwbouw) [15]

worden gebouwd. De eerste 32 energieneutrale woningen (EPC=0) in RijswijkBuiten zullen vanaf oktober 2013 worden opgeleverd. Inmiddels is ook al gestart met de bouw van de volgende 44 woningen, is reeds 70 procent van de woningen van de derde tranche verkocht en zal de verkoop van de vierde tranche woningen op korte termijn worden gestart. Alle woningen zullen hierbij energieneutraal (EPC=0) worden gerealiseerd. In de nabije toekomst zal worden ingezet op volledig energieneutrale woningen (waarbij naast het gebouwgebonden ook het gebruikersgebonden energiegebruik over een jaar gezien nul is) en zelfs energieleverende woningen.

In de informatie-brochure van Rijswijk Buiten stelt men dat het technisch gezien het niet zo ingewikkeld is om in nieuwbouw tot die EPC van nul te komen. De conceptwoning van Dura Vermeer was al een eind op weg. De eerste fase (250 energieneutrale woningen) wordt gerealiseerd door bouwend ontwikkelaar Dura Vermeer. De energievoorziening (warmtepomp, zonnepanelen, etc.) van deze woningen wordt ontwikkeld en geëxploiteerd door KlimaatGarant. KlimaatGarant garandeert de kopers 25 jaar lang de goede werking van deze installaties. Ook garandeert het dat de energieopwekking door de zonnepanelen (circa 20 m² per woning) hoger zal zijn dan het energiegebruik voor koeling, verwarming, warmtapwater en ventilatie. Een eventueel hoger energiegebruik wordt door KlimaatGarant gecompenseerd. De bewoner betaalt hiervoor een vergoeding van ongeveer € 100,- per maand, die lager uitvalt dan de energiekosten voor een woning die voldoet aan het bouwbesluit en is voorzien van een gasketel. Met de Vereniging Eigen Huis is men hiervoor tot een sluitende contractvorm gekomen.

Voor nieuwbouw is energieneutraal schijnbaar eenvoudig en de combinatie van warmtepomp, zon-pv met industrieel bouwen de meest logische weg. Voor bestaande bouw ligt dit anders. De aantallen 'rijp' voor ketelvervanging en/of renovatie en/of verdergaande upgradings zijn groot en de markt divers. Toch heeft de grondgebonden bouw in Nederland wel een aantal basiskenmerken waarmee standaardisatie van oplossingen mogelijk is.

Voorbeeld 2: Poorters van Montfoort en de energienotuloze woning van de "Stroomversnelling" (bestaande bouw)

Uitgangspunt is Trias Energetica en ook in haar modelberekeningen laat bijv. ITHO-Daalderop dat altijd zien, ondanks dat zij een apparaat-leverancier zijn. Hoe ver kan de renovatie gaan? Vestia geeft daarvan een goed voorbeeld in de aanpak van hun concept Active House.



Fig. 4.2 De Poorters van Montfoort. (bron Velux)

De [Poorters van Montfoort](#) is een voorbeeld van Active House renovatie door Velux dat in Nederland in grote aantallen toepasbaar is. Naast de technische renovatie gaat het hier voor de huiseigenaren vooral om levensduurverlenging en upgradings naar een moderne woning met hoog comfort.

Overzicht Energieneuta = 0 - woningen					
	naam	onderneming	elektr	soort warmtepomp	Website
Bestaande bouw					
<i>Gestapelde bouw</i>	ENDIS Partiekflatrenovatie	Endis	pv	ind wp	www.endis.nl
	VOR	Consortium	pv	lucht-water/vent	www.smitsvastgoedzorg.nl
	Ontwikkelwiz	Reinbouw bv	pv	lucht-water/vent	www.ontwikkelwiz.nl
	Van Duurzaam naar Huurzaam	INNAX	pv	bodembron	www.facebook.com/VanDuurzaamNaarHuurzaam
<i>Grondgebonden</i>	Ergieneutrale renovatie	Van Wijnen	pv	nieuwe generatie?	www.seinenprojectontwikkeling.nl
	BESTE Renovatieconcept	Landstra	pv	keuzeoptie	www.landstra.nl
	Energie Nota 0	BAM Woningbouw	pv	lucht-water/vent	www.bamwoningbouw.nl
	Evolutiewoningen	Renoveerkracht	pv	lucht-water/vent	www.renoveerkracht.nl
	IDENTIS	Roosdom Tijhuis	pv	vert bodembron	www.identis.nl
	Scoop	Hemubo	pv	?	www.facebook.com/scoop.krimpen
	CASAVITA	Klaassen Groep	pv	Lucht-water	www.klaassen.com
	MULTIMUUR	Multimuur	pv	Lucht-water	www.multimuur.nl
	Zorgelooswonen	Consortium	pv	optie	www.consortiumzorgelooswonen.nl
	Goed & Langdurig	Schilders De Vries	pv	?	www.schildersdevries.nl

Tabel 4.2 Overzicht van Energieneutanul concepten voor renovatie in de bestaande bouw

Verschillende concepten voor renovatie tot energieneutraal zijn uitgewerkt, waarin levensduurverlenging voor de woning voorop staat en concepten die leiden tot zo min mogelijk overlast voor bewoners met bijv. een z.g. flitsrenovatieproces. Zeker voor woningcorporaties is het van belang dat zij in het proces alle bewoners 'meekrijgen'.

Realisatie in de praktijk

De realisatie van Energienotanal woningen in de nieuwbouw lijkt een gelopen race. Voor de bestaande bouw is er het Koepelconvenant Energiebesparing Gebouwde Omgeving met de overheid. Hierin hebben de woningcorporaties de 'verplichting' voor tot verbetering van twee labelstappen. Verder tekende Aedes twee deelconvenanten: het Convenant Energiebesparing Corporatiesector en het Lenteakkoord Energiezuinige Nieuwbouw. Als de convenanten zijn uitgevoerd, hebben de 2,4 miljoen corporatiewoningen in 2021 gemiddeld energielabel B. Dat komt neer op een energiebesparing tussen 2008 en 2021 van 33 procent. In de uitvoering van het convenant is het van belang 'no-regret' opties uit te werken waarin geen belemmeringen worden gelegd voor stappen naar energieneutraal. Belangrijk is, naast het convenant met de woningcorporaties, de deal 'De Stroomversnelling: 111.000 huurwoningen naar energienota=0', die enkele bouwers en woningcorporaties op 20 juni 2013 tekenden. Warmtepompen in combinatie met zon-pv met prestatieafspraken vormen in deze deal de basis. Ook zijn er mogelijkheden van kleinschalige warmtenetten.

In hoofdstuk 8 staan meerdere voorbeelden van nieuwbouw en renovatie bij zowel woningbouw als in de utiliteitsbouw.

De Hydrotop van Dutch Heatpump Solutions is de spil in de [Energienotaloze](#) woningd\ die de Woningcorporatie Portaal in Nijmegen laat bouwen. Het betreft hier een serie energienotaloze woningen waarvan er zeven zijn uitgerust met de bijna onzichtbare, integrale Hydrotop van DHS, die de warmte voor de luchtverwarming en het tapwater levert. De benodigde elektrische energie wordt volledig opgewekt door de 21 zonnepanelen op het dak van elke woning.

De zeven 'niaNesto' woningen die de Klaassen Groep voor Portaal realiseert, zijn in een recordtijd van ruim drie maanden gebouwd



Fig. 4.2 Portaal project in Nijmegen

The background of the page is a complex network diagram. It consists of numerous nodes, represented by small circles, connected by thin lines. The nodes are arranged in a somewhat circular pattern, with some nodes being more prominent than others. The lines connecting the nodes are of varying thickness and opacity, creating a sense of depth and connectivity. The overall color palette is muted, with shades of grey, blue, and orange, giving it a technical and modern appearance.

Hoofdstuk 5
Smart grids and cities

“Customers must have confidence that their data are secure, in order to engage with new demand response services” [44].

Het huidige elektriciteitsgebruik van Nederlandse huishoudens groeide tot voor kort gestaag door de toename van het aantal elektrische huishoudelijke apparaten. Naar verwachting zet deze groei zich ook in de toekomst voort, onder andere door de elektrificatie van mobiliteit (elektrische fietsen, scooters en auto's), de elektrificatie van verwarmingssystemen en de toename aan ICT en gamingapparaten.

Daar komt bij dat het aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsproductie in 2020 volgens voorlopige schattingen minstens 35 procent bedragen. Het grootste deel hiervan is afkomstig van sterk fluctuerende energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie. Naast de centrale opwekking van duurzaam opgewekte elektriciteit neemt ook de levering vanuit lokale duurzame opwekking toe in betekenis. Door deze decentrale opwekking gaat elektriciteit niet meer alleen vanuit de energiecentrale van hoogspanning uiteindelijk naar laagspanning, maar deels ook vice versa. Deze trends kunnen leiden tot overbelasting van regionale en lokale elektriciteitsnetten, waardoor nieuwe ontwikkelingen in de infrastructuur en gedecentraliseerde oplossingen voor 'load balancing' en 'peak shaving' nodig zijn. Daarom is er in de energiesector een paradigmaverschuiving zichtbaar: van het algemene principe om centraal te produceren op basis van de vraag naar elektriciteit, naar een toekomst waarin het verbruik wordt afgestemd op het moment van elektriciteitsproductie. De individuele opwekking van elektriciteit met pv-panelen maakt dat er nu al sprake is van een tweerichtingsverkeer over het netwerk.

Om het systeem beheersbaar, betrouwbaar en betaalbaar te houden, zijn installaties die in staat zijn om elektrische energie om te zetten in warmte en koude en vervolgens op te slaan steeds interessanter. Energieopslag hoeft niet te worden beperken tot bijvoorbeeld batterijen of wateropslag in reservoirs, het kan worden uitgebreid tot het gebruik van thermische opslagsystemen, via elektrische warmtepompen voor ruimteverwarming en warmtapwaterbereiding. De elektrisch gedreven warmtepomp kan worden ingezet zonder dat er grote aanpassingen aan de infrastructuur nodig zijn. Op nieuwbouwlocaties kan volstaan worden met een elektrische infrastructuur. Andere vormen van warmtevoorziening (collectieve verwarmingssystemen, stadsverwarming, HR of HRe) vereisen extra infrastructuur in de vorm van warmte- of gasnetten. Energiebesparingsmaatregelen zorgen voor een steeds lagere warmtevraag van toekomstige gebouwen. Het exploiteren van warmte- of gasnetten wordt daardoor steeds minder rendabel in vergelijking met het relatief goedkope alternatief van de warmtepomp [41].

Warmtepompsystemen bieden veel mogelijkheden voor load management in smart grids. In 2020 in Nederland, uitgaande van circa 500.000 geïnstalleerde warmtepompen van gemiddeld ongeveer 3 kilowatt aansluitwaarde, hebben netwerkbeheerders theoretisch een regelbare belasting ter grootte van circa 1.500 MW elektrisch ter beschikking. Warmtepompen die zijn voorzien van een voorraadvat of boiler kunnen een overschot aan elektriciteit, bijvoorbeeld 's nachts geproduceerd door windmolens, omzetten in opgeslagen warmte voor gebruik overdag. De extra kosten hiervoor zijn relatief laag. Andersom kunnen gedurende de ochtendpiek in de elektriciteitsvraag de warmtepompen die voorzien zijn van een voorraadvat uitgeschakeld blijven, wat van grote waarde kan zijn voor het managen van het netwerk. Warmtepompen bieden een eenvoudige en effectieve manier om netbelastingen te spreiden en te managen [2] en bieden interessante perspectieven voor netbeheerders. Als regelbaar en controleerbaar systeem kunnen warmtepompen daarmee pieken gladstrijken in de energieopwekking, die optreden als gevolg van hoge elektriciteitsproductie uit wind- en zonne-energie. Op die manier kan meer elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen effectief worden gebruikt, en de rol van de warmtepomp als regenerator worden versterkt. De efficiëntie van de elektriciteitsproductie kan dus worden vergroot, bij een lagere CO₂-uitstoot. Bovendien maken warmtepompen als instrument in smart grids dat er minder investeringen in de uitbreiding van het netwerk noodzakelijk zijn.

Het is duidelijk dat load management achter de trafo de beheerskosten en investeringen in het LS-net reduceert. Omdat het aanbod aan duurzaam opgewekte elektriciteit snel gaat toenemen met daarbij de opdracht aan de netwerkbeheerder deze toenemende productie te faciliteren, zal in toenemende mate gebruik op het moment van productie gerealiseerd moet gaan worden. Load management met warmtepompen en thermische buffers kan fors bijdragen aan het beheersbaar houden van de kosten van netwerkexploitatie en het verwerken van duurzaam opgewekte elektriciteit. De benodigde techniek in de vorm van direct toepasbare producten is anno 2013 beschikbaar. De installatiebranche biedt een compleet pallet aan uiteenlopende typen warmtepompen. De huidige 'installed base' van circa 70.000 warmtepompen in de woningbouw biedt al een interessant potentieel voor het ontwikkelen en testen van smart grid-oplossingen.

Het grootste potentieel van de warmtepomp ligt momenteel op het gebied van verwarming, en dat valt samen met het seizoensgebonden gebruik. Het produceren van warmtapwater kan gedurende het gehele jaar worden gebruikt voor load balancing. In de nieuwbouw bepaalt de productie van warmtapwater een steeds groter deel van het energiegebruik. Daarnaast kunnen omkeerbare warmtepompen koeling bieden, waarbij het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp samenvalt met elektriciteit uit de productie van pv-panelen, die in de zomer op zijn hoogst is.

Naast het schakelen en regelen bieden de 'hybride' (gasgestookte cv-ketel en warmtepomp gecombineerd, al dan niet in één behuizing) warmtepompen in de Nederlandse situatie (Maar ook in nader landen als Duitsland, UK en Italië) de mogelijkheid om naast netbelastingen te sturen, ook te kunnen wisselen van energiedrager.

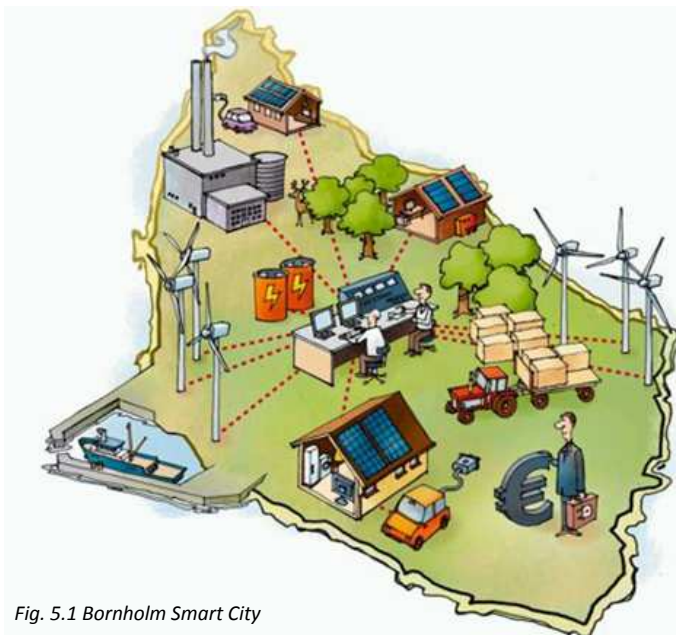


Fig. 5.1 Bornholm Smart City

Gezien de fijnmazige gasinfrastructuur in Nederland ligt hier een volledig onontgonnen regelpotentieel voor de netbeheerders. Door deze optie nader te verkennen en ook daadwerkelijk te ontwikkelen, wordt van zowel het elektriciteitsnet als het gasnet slimmer gebruikgemaakt.

Niet onvermeld mag ook blijven dat al in 2011 het eiland Bornholm de award 'Heat Pump City of the Year' kreeg uitgereikt, omdat Bornholm verschillende duurzame energietechnieken combineert tot een smart grid met daarin de warmtepomp als 'key-technology'. De plaats en de functie van de warmtepomp binnen het concept smart grid is de reden van het hernieuwde lidmaatschap van Denemarken aan het IEA-werk op het gebied van warmtepompen [16].

De projectgroep [Smart Grids](#) binnen Netbeheer NL heeft een inventarisatie laten maken van warmtepompmetingen en ervaringen met warmtepomp projecten. Naast de inventarisatie is een warmtepomp model gemaakt inclusief simulaties van dit model in representatieve Nederlandse LS-netten [70. 71]. De volgende paragrafen zijn gebaseerd op management samenvatting van deze rapporten.

In Alliander gebied ligt de wijk 'De Teuge', een wijk met warmtepompen te Zutphen. Deze wijk is in het nieuws geweest vanwege klachten van bewoners over hun warmtepompsysteem. Analyse van de metingen in 'De Teuge' tonen aan dat de individuele warmtepompen goed presteren maar dat in combinatie met het collectief bronsysteem er geen sprake is van energiebesparing. Dit heeft diverse oorzaken, zoals een te kleine bron met een te lage regeneratie in de zomer en een verkeerd gekozen afgiftesysteem. Dergelijke problemen zorgen voor een hoge rekening voor de bewoners, ondanks de belofte dat een energiezuinige woning aangekocht was.

Ook andere WP- projecten meteen collectieve bron laten een gemengd beeld zien, de individuele pompen presteren goed terwijl het systeemrendement ondermaats is en dus de rekening voor de bewoners hoog. Deze ongewenste publiciteit kan voorkomen worden door vóór implementatie al te kiezen voor een integrale aanpak. Deze aanpak zorgt voor het optimaliseren van het gehele systeem, de bron, de warmtepomp, het afgifte-systeem, de regeling en het onderhoud. Op dit moment heeft de installatiewereld het onderhoud/inregelen van de WP'en nog niet goed genoeg in de vingers.

Ook metingen in het Vlaamse WP- direct programma tonen aan dat warmtepompen zorgen voor energiebesparing, met name bodem- en watergekoppelde systemen leveren een goede prestatie. Luchtgekoppelde systemen, goedkoper en makkelijker implementeerbaar dan grond- of watergekoppelde systemen, leveren een lagere besparing maar halen een voldoende hoge SPF om van besparing te spreken tov een HR- ketel.

Naast de prestaties van diverse warmtepompsystemen is uitgebreid aandacht besteed aan de impact van warmtepompsystemen op de elektriciteitsnetten. De warmtepomp is namelijk een relatief grote belasting op het elektriciteitsnet vergeleken met andere residentiële belastingen. Het typische aan/uit karakter van een warmtepomp maakt een analyse van de impact lastig. De impact wordt namelijk bepaald door de gelijktijdigheid en niet alleen door het vermogen van de warmtepomp. Daarnaast worden veel warmtepompen uitgerust met een bijverwarming die enkele uren per jaar nodig kan zijn in zeer koude periodes of tijdens calamiteiten.

Analyse van de metingen aan warmtepompen in 'De Teuge' laat duidelijk zien dat de bijverwarming nauwelijks nodig was in 2010 en 2011. Door een correlatie te maken met de buitentemperatuur is een gelijktijdigheid berekend van 80% bij -8°C , terwijl extrapolatie een 100% gelijktijdigheid bij -15°C laat zien. Ook bij hogere temperaturen kan 100% gelijktijdigheid optreden, meestal voor kortere duur. Metingen, die gebeurd zijn in februari 2012, moeten aantonen hoeveel de gelijktijdigheid exact was en hoeveel de bijverwarming nodig was (hier geldt een speciale instelling van de bijverwarming die in die periode zeker gerespecteerd is geweest). Gelijktijdigheid van de productie van SWW moet worden voorkomen door een random programmering van dit programma tijdens de nacht. Metingen in WP- direct waren gefocust op de prestatie, analyse van de elektrische metingen voor het bepalen van de impact was daardoor niet mogelijk op deze dataset.

Analyse van warmtepompmetingen van Stedin heeft veel inzicht opgeleverd over de impact van warmtepompen tijdens zeer koude periodes, zoals in februari 2012. Eerdere analyses resulteerden al in een te verwachte gelijktijdigheid van 100% bij -10°C en lager. Metingen tijdens de zeer koude periode in februari 2012 laten zien dat de bijverwarming noodzakelijk was. Voor de metingen in Duindorp was bijverwarming ($>1\text{h}$) nodig bij een enkele woning bij een buitentemperatuur van -9°C . In Boxtel, waar gemeten wordt aan zeer goed geïsoleerde woningen, is de bijverwarming pas nodig bij temperaturen $< -15^{\circ}\text{C}$.

Bij het ontwerpen van LS- netten voor nieuwe wijken met warmtepompen, is het dus noodzakelijk rekening te houden met de bijverwarming (mits aanwezig). Op dit moment wordt veelal ontworpen rekening houdend met 100% gelijktijdigheid van de bijverwarming, worst case dus. Dit is terecht in het geval bij calamiteiten niet gestuurd kan worden. Als gestuurd kan worden is rekenen met een gelijktijdigheid van 100% niet nodig, op basis van de metingen is het niet te verwachten dat door koude alleen de bijverwarming van alle pompen nodig is. Voorwaarde is wel dat het warmtepomp systeem op de juiste manier is geïmplementeerd:

- Correct gedimensioneerd en geëxploiteerd (collectief) bronsysteem;
- Verwarmingssysteem incl. bijbehorende WP correct gedimensioneerd en ingeregeld;
- Voldoende lage EPC om warmtevraag bij zeer lage temperatuur te dekken zonder bijverwarming;
- De komst van warmtepompen draagt bij aan het verminderen van het energiegebruik voor verwarming van gebouwen. Voor het slagen van de doorbraak van warmtepompen is het van belang dat alle partijen samenwerken om klachten of negatieve publiciteit te voorkomen.

De simulaties van de integratie van warmtepompen in bestaande netten leiden tot de conclusie dat:

- Een thermisch buffer van 400 liter kan op huisniveau de bijstook voor 2 tot 3 dagen vervangen, daarna is de bijstook nodig om comfortverlies te voorkomen
- Bij het sturen van de buffers kan het net zeer beperkt kleiner gedimensioneerd worden. Lege buffers kunnen namelijk niet bijgeladen kunnen worden tijdens zeer koude periodes (de compressor staat 24/7 aan voor verwarming) waardoor na een aantal dagen van flinke koude alsnog de bijstook nodig wordt.
- Elektrische opslag ten behoeve van de bijstook is economisch niet haalbaar.
- Hoge temperatuur L/W warmtepompen vragen een hoog vermogen door de lagere gemiddelde COP, dit beperkt de mogelijke integratie in bestaande netten tot 5% - 30% afhankelijk van de wijk.
- Hybride warmtepompen zijn een interessante optie, een gasnet is vaak in bestaande wijken aanwezig. De mogelijke integratie van warmtepompen wordt hierdoor verhoogd tot 17% - 67% in de gesimuleerde wijken.

De simulaties leiden voor nieuwe wijken tot de volgende conclusies:

- Mits woning/warmtepompsysteem/warmte- afgiftesysteem optimaal op elkaar afgestemd zijn, kan voor zeer goed geïsoleerde woningen volstaan worden met een warmtepomp van 3-6 kWth.
- Een bijstook van ongeveer 3 kWe is nodig voor zeer koude periodes en om voldoende warm tapwater te kunnen maken.
- Voor rijwoningen kan volstaan worden met een totaal vermogen van 4 kVA, voor vrijstaande woningen is dit ongeveer 6 kVA (incl. elektrisch koken en groei).
- Dit is alleen geldig als de woningen zeer goed geïsoleerd zijn en bij calamiteiten de bijstook (als aanwezig) geblokkeerd kan worden.

Aanbevelingen

Om te voorkomen dat wijken met warmtepompen met of zonder collectief bronsysteem negatief in het nieuws komen is het aanbevolen dat de:

- Ontwikkelaars voldoende aandacht besteden aan isolatie en het afgiftesysteem;
- De warmtepomp en de bron correct gedimensioneerd wordt;
- De installateur voldoende kennis heeft om warmtepompen correct in te regelen en te onderhouden;
- De netbeheerders het elektriciteitsnet aanpassen bij de aanwezigheid van warmtepompen.

Om dit mogelijk te maken dient een integrale aanpak gehanteerd te worden waarbij alle partijen vanaf het begin meewerken aan het (nieuwbouw) project. Bij een correcte implementatie leveren warmtepompen een duidelijke besparing van energie op ten opzichte van moderne HR ketels.

Hybride warmtepompen worden nog nauwelijks toegepast maar kunnen een effectieve oplossing zijn om in bestaande netten een hogere penetratie toe te laten. Meer onderzoek naar hybride warmtepompen om dit te bevestigen is daarvoor noodzakelijk. Nieuwbouw woningen hebben steeds minder warmtevraag voor ruimteverwarming. Hierdoor kan met kleine warmtepompen worden volstaan. Toch dient voldoende warm tapwater gemaakt te kunnen worden. Onderzoek naar de ideale grootte van warmtepompen in nieuwbouw woningen met $EPC < 0.4$ is nodig.

Sturing van de warmtepomp en/of de bijstook, eventueel met toegelaten comfortverlies, moet (meer) onderzocht worden in de relatie met intelligente netten en de technische oplossingen die hiervoor geschikt zouden zijn.

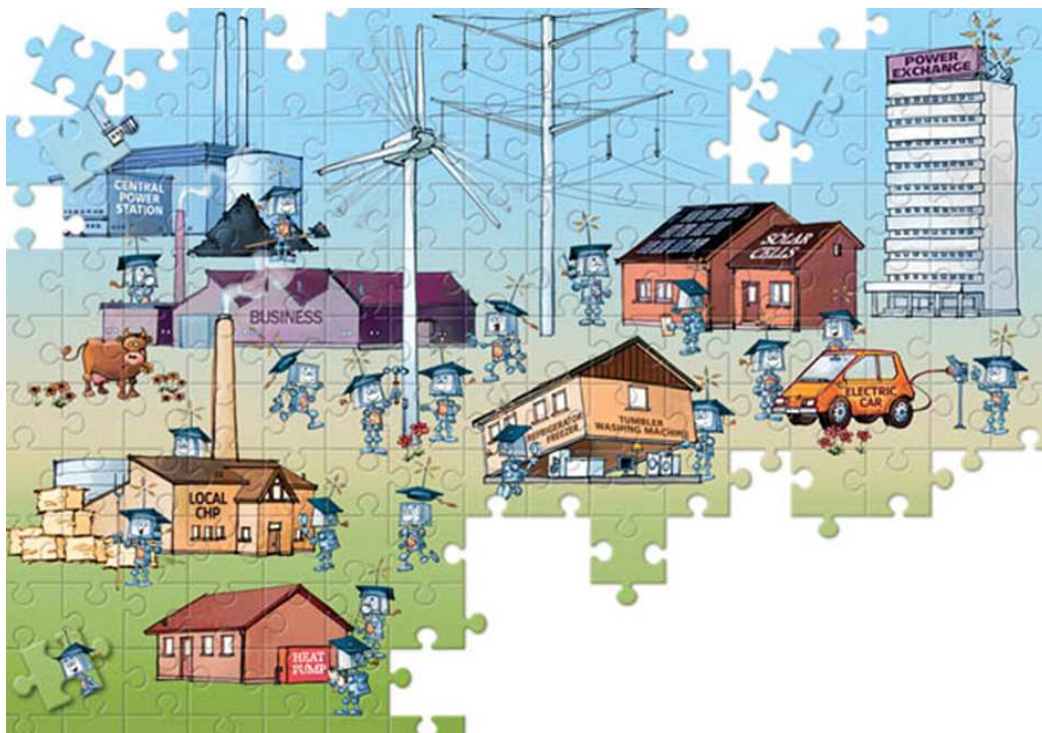
Internationaal

Internationaal is Nederland één van de voorlopers in het onderzoek en heeft zich een goede uitgangspositie verworven, mede dankzij de activiteiten van de Taskforce Intelligente Netten die het ministerie van Economische Zaken in 2010 heeft ingesteld. Ook de eerder genoemde veelheid aan initiatieven en proeftuinen bieden een aantrekkelijk perspectief voor bedrijven en kennisinstellingen. Dit geldt vooral voor partijen in de ICT sector en consumentenelektronica die zowel aan de thuismarkt maar, dankzij ervaringen uit de proeftuinen, ook op de internationale markt hun producten en diensten zullen aanbieden. Dat leidt tot een versterking van de Nederlandse positie, zowel voor de kennisinstellingen als voor het bedrijfsleven: meer omzet en meer banen [39]. Onder het Heat Pump Program van de IEA is op initiatief van Nederland Annex 42 gestart onder titel 'Heat pumps in smart energy grids for sustainable cities'.

Een 'intelligent net' ontstaat door informatietechnologie aan energie-infrastructuur te koppelen. Dit is nodig omdat energie steeds meer tweerichtingsverkeer wordt. Het stroomt niet alleen meer van producent naar consument, maar ook andersom en tussen gebruikers onderling. Slimme sturing maakt het mogelijk een afgestemde hoeveelheid elektriciteit, gas of warmte op een bepaald moment een bepaalde kant op te sturen. Zo kunnen pieken en onbalans in de belasting op het net voorkomen worden. Veel toepassingen zijn op zeer kleine schaal al getest, maar nog niet op grotere schaal.

Ontwikkelingen

De huidige initiatieven vullen elkaar niet per definitie aan. Dit geldt voor de verschillende standaarden die op deelonderwerpen van Smart Grids (inter-)nationaal worden ontwikkeld. Daardoor is het moeilijk, zo niet onmogelijk, om snel voldoende partijen op een gezamenlijk Smart Grid aangesloten te krijgen: er ontstaan nu eilanden van Smart Grid benaderingen, die allen een beperkte schaalgrootte kennen. De grote aantallen die bijvoorbeeld nodig zijn voor het kunnen inpassen van duurzaam opgewerkte elektriciteit (e.g. zon en wind) worden daardoor niet gehaald. Kritische massa van het aantal aangesloten kan nu niet snel genoeg worden behaald.



Hoofdstuk 6

Warmtedistributie en stadsverwarming

Warmtepompen en stadsverwarming lijken in eerste opzicht niet met elkaar te rijmen net als WKK en warmtepompen. Warmtedistributie vormt in het geheel van de toekomstige energievoorziening echter een logisch onderdeel van de toekomstige infrastructuur. Gebiedsgerichte collectieve oplossingen voor de opwekking van duurzame elektriciteit naast warmtedistributie en opslag passen goed binnen de filosofie van smart grids. De TKI-EnerGo heeft dit als één van de prioriteiten specifiek gericht op thermische energie (warmte/koude)-duurzame opwekking, opslag, distributie en regeling om met opslag van warmte en koude en integrale aanpak tot energieneutraliteit te komen op gebiedsniveau. Dit zijn de zogenaamde 'thermisch autarkische gebieden', waar binnen de grenzen van een gebied (schaalgrootte ca. 4-5000 woningen/gebouwen) op ieder moment in het jaar dekking is van de warmte- en koude-behoefte uit duurzame bronnen. Het lijkt goed mogelijk dit soort concepten in de groene weide op te zetten. Hierin concurreren dergelijke collectieve concepten echter voor nieuwbouw met all-electric en energieneutraal op gebouwniveau.

Voor het algemene begrippenkader is het belangrijk om bij warmtedistributie onderscheid te maken tussen:

- Traditionele, grootschalige systemen op hoge temperatuurniveaus (90/70 graden of hoger)
- Moderne vormen van warmtedistributie die kleinschaliger zijn en met lagere temperaturen werken (70/40 graden en lager)
- Klein-collectieve systemen die nog kleinschaliger zijn en met nog lagere temperaturen werken (40/25)

Voor nieuwbouw is het niet verstandig om per definitie te kiezen voor de traditionele, grootschalige warmtedistributie. De sterke absolute daling van de warmtevraag zet de mogelijke milieuwinst en de betaalbaarheid van warmtedistributie en andere (grote) collectieve systemen sterk onder druk. Door een lager warmteverbruik nemen de distributieverliezen relatief toe. Bovendien blijft er ontwikkeling in duurzame energietechnieken plaatsvinden, die in vergelijking met traditionele stadsverwarming milieukundig en economisch uiteindelijk beter scoren.

Voor bestaande bouw en in gebieden met reeds bestaande warmtenetten ligt dit mogelijk anders. TKI-EnerGO stelt dat voor bestaande bouw door hoogwaardige isolatie en efficiënte warmte/koude-terugwinning de vraag naar warmte en koude drastisch dient te worden beperkt. Dat is ook gesteld in het SER-Energieakkoord. Daardoor kan er voor (traditionele) warmtedistributie eenzelfde situatie ontstaan als bij nieuwbouw. Er wordt echter in deze visies voorbij gegaan aan het feit dat al veel woningen behoorlijk geïsoleerd zijn. Bij de reductie van de energievraag voor ruimteverwarming is de afgelopen jaren gestaag voortgang geboekt. Dit betekent dat het 'laaghangende fruit', de gemakkelijk realiseerbare besparingen, voor een groot deel al zijn verzilverd.

Hoewel het te vroeg is om te concluderen dat het verbeterpotentieel van de schil is uitgeput, zal er dan ook naast vraagreductie daadwerkelijk het systeemrendement van de opwekking verbeterd moeten worden [2]. Warmtedistributie is voor bestaande bouw daarom een goede optie die op basis van hernieuwbare bronnen kan leiden tot de gewenste 'low carbon society' in 2050.

Penetratiegraad van isolatiemaatregelen

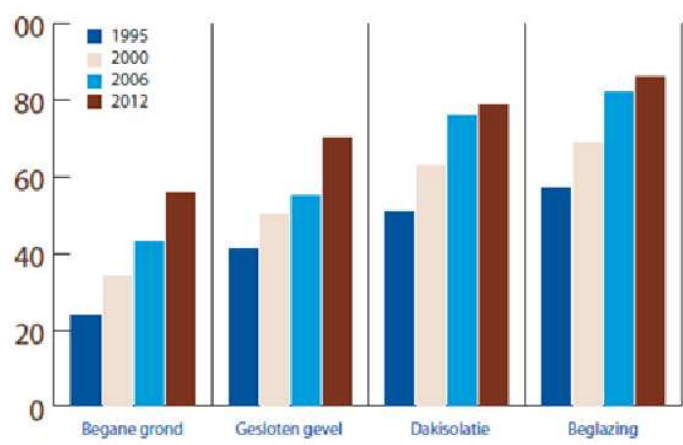


Fig. 6.1 Penetratiegraad isolatie [2]

Conform art 4 van de European Energy Efficiency Directive [58] dient er te worden gewerkt aan diepe renovatie. Article 4 zegt hierover: "Member States shall establish a long-term strategy for mobilising investment in the renovation of the national stock of residential and commercial buildings, both public and private." Aspecten daarin zijn: "identification of cost-effective approaches to renovations relevant to the building type and climatic zone; policies and measures to stimulate cost-effective deep renovations of buildings, including staged deep renovations."

Nieuwe distributienetten, maar ook bestaande, dienen zo spoedig mogelijk robuust en toekomstbestendig ingericht te worden, zodanig dat ze nog voldoende levensvatbaar, duurzaam en rendabel zijn ook in de tweede helft van de 21^e eeuw. Dergelijke systemen worden steeds minder en zijn uiteindelijk helemaal niet meer afhankelijk van het verstoken van fossiele brandstoffen in centrales of het verbranden van recyclebaar afval. De vraag welke technologieën er hiervoor beschikbaar en nodig zijn, zal moeten worden vastgesteld op basis van de verwachtingen van het energielandschap van die periode.

Voor een eindscenario kunnen de volgende beelden gehanteerd worden:

- Er is voldoende danwel zelfs momentaan sprake van overschotten van duurzame elektriciteit beschikbaar uit windmolens, PV, getijdenergie, waterkracht etc.
- Het gebruik van brandstoffen zal plaatsvinden in de vorm van biobrandstoffen (en kernenergie?). Gas en kolen zijn nu al transitiebrandstoffen en zullen, net als olie worden ingezet als feedstock voor de industrie.
- Afvalverbranding zal tot het absolute minimum beperkt worden, omdat recycling prioriteit heeft. Dit is nu al zichtbaar in de overcapaciteiten op de afvalmarkt.
- Industrie zal altijd restwarmte produceren, maar dit zal op een steeds lagere temperatuur (40 – 45°C) zijn, omdat er steeds meer wordt hergebruikt in de processen.

In de toekomst zal bij een fors toegenomen elektriciteitsaanbod uit wind- en zonne-energie het aanbod niet meer zo gemakkelijk de vraag kunnen volgen en is opslag van energie dan wel meer flexibiliteit in de vraag nodig. Lokale opslag en het meer flexibel maken van de vraag naar energie lijken wel mogelijkheden te bieden om te reageren op pieken in het aanbod. Efficiënte buffertechnologie op gebouwniveau is hier de *'game changer'* in de markt. Naast oplossingen op gebouwniveau met warmtebuffers biedt warmtedistributie ook een grote buffermogelijkheid. In beide gevallen is een belangrijk voorwaarde dat de warmte met duurzame elektriciteit is opgewekt om in de smart grid omgeving van waarde te zijn. Op basis van deze uitgangspunten vormen warmtepompen een kerntechnologie zowel in oplossingen op gebouwniveau als in warmtedistributiesystemen. Diverse andere vormen van hernieuwbare bronnen/technieken komen in aanmerking als voeding voor het warmtenet, zoals (ondiepe) geothermie, bio-energie en zon-thermische energie. Gekoppeld aan warmtepompen kan hiermee maximale flexibiliteit worden bereikt en leveringszekerheid. Dit is bijvoorbeeld nu al te zien in de glastuinbouw.

Bestaande warmtenetten

Grootschalige, traditionele stadsverwarming is onvoldoende 'toekomstbestendig', omdat er nog steeds veel fossiele brandstoffen verstoekt moeten worden om dit te laten werken. Daarnaast hebben dergelijke grote bestaande warmtedistributiesystemen matige energetische prestaties en zijn vooral de systemen op basis van WKK en elektriciteitscentrales economisch onaantrekkelijk voor de grote energiebedrijven door de verhouding in energietarieven. De afgelopen decennia is relatief weinig gedaan aan de verliezen die leiden tot de slechte prestaties:

- Warmteverlies 30-40%
- Bijstookfactor afhankelijk van het landelijk rendement
- Pompenergie 300 – 800 kWh elektriciteit per afnamepunt
- Hulpketel inzet tussen 10 – 40% van totale warmtelevering

Bestaande warmtedistributienetten zullen in het licht van energieneutraal moeten worden verduurzaamd, waarbij de bestaande verliezen sterk dienen te worden gereduceerd. Gezien de vaak hoge distributietemperaturen is het niet eenvoudig hiervoor geschikte duurzame bronnen te vinden anders dan biomassa. Momenteel is diepe geothermie op 90°C onvoldoende als feed in voor bestaande stadsverwarming.

Er zal flink moeten worden geïnoveerd en geïnvesteerd om de afgiftetemperaturen te verlagen, om daarmee te kunnen werken met laag temperatuur bronnen en daarmee verduurzaming mogelijk te maken. Met een verlaging van distributietemperaturen kunnen tevens de warmteverliezen fors verlaagd worden. Dit is des te meer van belang als de warmtebehoefte op gebouwniveau drastisch verder daalt, zoals beleidsmatig is voorgenomen. Dit alles kan alleen maar als daarmee aan vraagzijde aan de warmte- en comfortbehoefte kan worden voldaan. Het niveau van verwarming in de woningbouw en ook in de glastuinbouw ligt op 40-45°C wanneer er sprake is van nieuwbouw of vergaande renovatie die naar het niveau van nieuwbouw gaat. Optimalisatie en integrale aanpak uitgaande van sterke vraagreductie in de gebouwen door 'deep renovation' en optimalisatie naar laag temperatuur distributie (40-45°C), die daarmee zowel de doelen van de EED (art 4.c) als die

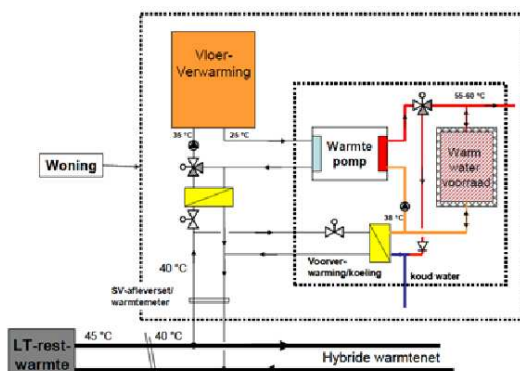


Fig 6.2 LT –warmtedistributie

van de RES nastreeft en kan combineren. Op plekken waar alsnog hoge temperaturen nodig zijn voor gebouwen een ook voor tapwater kunnen warmtepompen worden ingezet voor de laatste 'temperatuursprong'. De nieuwe generatie tapwater warmtepompen van ECOON en andere leveranciers (par. 3.3) kunnen met een hoge brontemperatuur tot een maximum van 40 °C worden gevoed. Daarmee is de warmtepomp geschikt om aangesloten te worden op een lage temperatuur warmte-distributie (40-45°C) het bereiden van warm tapwater

In een dergelijk opzet is het een optie om een systeem op te splitsen in kleinere subsystemen waarin met lage temperaturen naar een onderstation wordt gegaan en lokaal op wijkniveau met een warmtepomp de temperaturen in de koude periode verhoogd worden tot 65 – 90°C.

Voor het warmtedistributiesysteem kan laagwaardige restwarmte worden ingezet uit de industrie, maar ook uit ondiepe geothermie (tot maximaal 40°C), thermische zonne- energie of uit een elektrisch gedreven warmtepomp. In alle gevallen heeft het een groot effect op het distributieverlies dat verminderd wordt ten opzichte van de conventionele hoog temperatuur distributie. In het zomerseizoen kan het collectieve systeem bovendien zelfs geheel buiten bedrijf omdat de warmte voor het tapwater door middel van een kleine warmtepomp dan aan de woning kan worden onttrokken en een bijdrage levert als ruimtekoeling (zie concept onder par 3.2.2).

Belangrijk aandachtspunt in grote bestaande warmtedistributiesystemen is de kwaliteit van de onderstations en de daarin geplaatste warmtewisselaars. Renovatie op dat gebied kan de efficiency van het totale systeem aanzienlijk verhogen door betere warmteoverdracht en daarmee samenhangende lagere systeemtemperaturen. Wanneer om technische redenen geen grote verlaging van de distributietemperaturen mogelijk is, kan ook nog het gehele systeem worden gevoed met grote warmtepompen die hoge temperaturen leveren.

Van belang is te onderkennen dat hier dan ook de smart grid gedachte is ingezet omdat warmtepompen op basis van elektriciteit kunnen draaien, maar ook op gas. In de centrale opwekking en/of in de onderstations zou in die situatie een opwekcombinatie kunnen worden opgesteld van elektrische en gasgestookte warmtepompen (ordegrootte meerdere tot tientallen MWth).

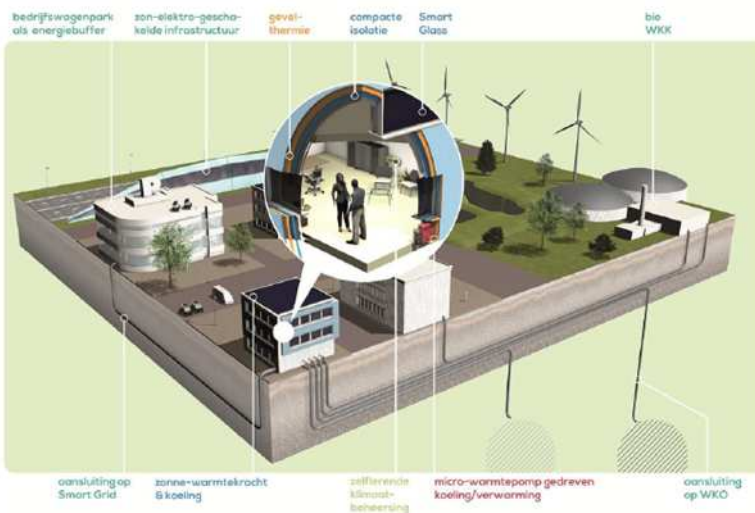
Ook voor de in potentieel bredere inzet van geothermie is het van belang te onderkennen dat in de meeste toepassingen in de bouw en glastuinbouw hoge temperaturen voor verwarming niet nodig zijn. Een mogelijk alternatief zijn middentemperatuur bronnen.

Nieuw netten en lokale energie [40]

Lokale energie is een bijzondere vorm van decentrale energie. Het gaat om de combinatie van duurzame energieproductie met energiegebruik in de nabijheid (wijk en dorpsniveau). Lokale energieprojecten worden daarnaast vaak gekenmerkt door afwijkende organisatievormen:

- Zeggenschap: gezamenlijk eigendom en beheer door producenten en gebruikers
- Rolverdeling: ruimte voor andere spelers dan tot nu toe gebruikelijk in de energievoorziening.

Deze afbakening van lokale energie doet recht aan de maatschappelijke ontwikkelingen en politieke discussie [40].



Een steeds groter deel van de mensen keert zich af van grootschalige, complexe en in hun ogen anonieme bedrijven en systemen en kiezen voor de 'menselijke maat'. Slimme meters en slimme energienetten maken een 'slimme energiemarkt' mogelijk waarin door nieuw beschikbare informatie (Apps!) energiegebruik 'real time' kan worden afgestemd op het (wisselende) aanbod. Gebruikers kunnen hierdoor ook steeds gemakkelijker hun energie tegen momentane prijzen inkopen. Energieconsumenten worden zelf ook energieproducent ('prosumers') naar

mate kleinschalige systemen economisch aantrekkelijker worden. Klein collectieve systemen zoals aangegeven in EnerGo op basis van hernieuwbare energie passen goed in dit beeld. Anders dan de smart grid op basis van elektriciteit is hier sprake van een thermische smart grid met een grote thermische buffercapaciteit.

De opbouw van nieuwe lokale systemen verloopt vaak parallel aan andere gebiedsgerichte investeringen (nieuwbouw, herstructurering (diepe renovatie), aanleg van bedrijfsterreinen).

Van Wind naar warmte [[Warmtenetwerk](#)]

Denemarken is met zijn vele windparken en biomassa centrales een van de voorlopers in Europa op het gebied van duurzame elektriciteitsproductie. De huidige marktoverschotten zorgen ervoor dat de Denen ook voorlopen met warmtepompen voor warmtenetten. Zonnewarmte is een specialiteit van het warmtebedrijf van Braedstrup. Recent verdubbelde dit bedrijf het collectoroppervlak naar 18.600 m². Tegelijkertijd zijn er investeringen gedaan om ook in de perioden dat de zon niet schijnt warmte te produceren. Daarbij is ingespeeld op de ontwikkelingen op de elektriciteitsmarkt. De toename van de elektriciteitsproductie met wind en zon zorgt in Denemarken evenals in Duitsland voor sterk fluctuerende prijzen met af en toe zelfs negatieve stroomprijzen op de spotmarkt. Tot voor kort konden de Denen nog veel stroom exporteren bij harde wind, maar dat wordt steeds moeilijker. De nieuwe internationale verbindingen tussen de stroomnetten van verschillende landen zijn vergeleken bij de groei van windvermogen bij lange na niet toereikend om het probleem op te vangen. Investeren in warmtepompen lijkt dan ook een goede optie.

Het warmtenet voor de nieuwe woonwijk Harnaschpolder in Delft is het eerste warmtenet in Nederland dat gebruik maakt van een warmtepomp voor hoge temperatuur. Omdat het hier gaat om een modern warmtenet is er geen extreem hoge temperatuur nodig; 70 °C volstaat. Lange tijd was het grote potentieel aan restwarmte op 30 tot 50 °C daarom niet goed te benutten. Een nieuwe generatie warmtepompen met een breed werkingsgebied kan uitkomst bieden. Het gezuiverde water (effluent) van de rioolwaterzuivering Harnaschpolder dient daarvoor als warmtebron. Naast de warmtepomp is ook een WKK geplaatst. De warmtepomp heeft een vermogen van 1.200 kW en is gebouwd door het Deense Sabroe, een onderdeel van Johnson Controls. De WKK levert 1.800 kW elektrisch vermogen en is gebouwd door Lek/Habo te Bodegraven. De marktkansen die deze wiselende installatie biedt en de goede praktijkervaring met warmtepompen in de industrie en bij warmtenetten in het buitenland voorspellen in ieder geval een goede toekomst voor de hogetemperatuur-warmtepomp. De nieuwe technieken kunnen bovendien het benutbaar potentieel aan restwarmte sterk doen groeien.

Warmtepomp zorgt voor rendementsverbetering wkk

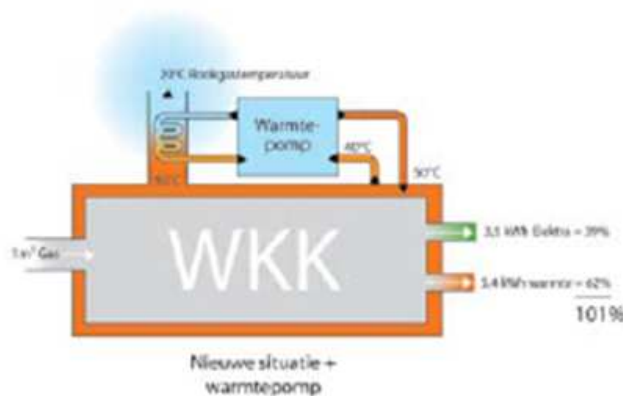
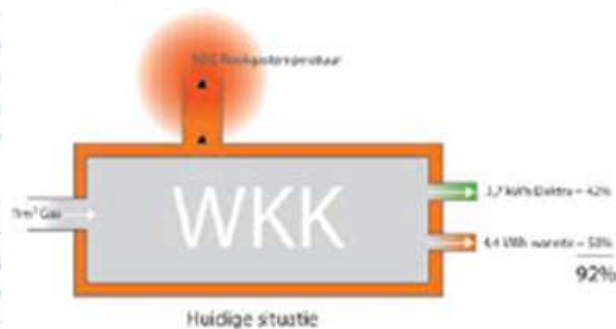
Hoge gasprijzen en een lage vergoeding voor teruggeleverde elektriciteit maken het financiële rendement van warmtekrachtkoppeling-techniek in de tuinbouw op de lange termijn onzeker. Adviesorganisatie Flynth uit Naaldwijk heeft samen met een paprikawecker een innovatie ontwikkeld die voor een aanzienlijke verhoging van de energieoutput van de wkk-installatie zorgt.

Het idee achter deze innovatie is dat uit de rookgassen van bestaande wkk's veel warmte is terug te winnen. In vergelijking met een conventionele ketel wordt bij een wkk een veel grotere luchtvermaat gebruikt. Dat is weliswaar nodig voor een optimale gasverbranding, maar het zorgt er tegelijk voor dat het condensatiepunt van de rookgassen lager wordt. Door rookgassen verder terug te koelen en te laten condenseren, is nog ruim 20 % extra warmte uit elke kubieke meter gas te winnen.

LAGERE ROOKGASTEMPERATUREN

Bij bestaande wkk-installaties is het rookgas circa 50 °C als het de schoorsteen verlaat. Bij een experiment bij paprikateler Leo Hoogweg is een warmtepomp van Carrier geplaatst en de temperatuur van het rookgas teruggebracht naar 20 °C. De energie die eerder verloren

ging, wordt door de warmtepomp gebruikt om het retourwater uit de kas op te warmen van 40 naar 50 °C. Het opgewarmde water van 50 °C wordt direct in de wkk gebruikt als opwarming van het motorkoelwater, waarna het met



95 °C de wkk weer verlaat.

Met een simpele aanpassing is een rendementsverbetering van 9 % behaald. Buiten de toevoeging van een warmtepomp, een tweede rookgascondensator, enkele leidingen, kleppen en een klein buffervat is er niets veranderd aan de bestaande verwarmingsinstal-

latie. Doordat warmtepompen in allerlei vermogens beschikbaar zijn, is het project uitermate interessant voor de meeste tuinbouwbedrijven met wkk's. Het gasverbruik op jaarbasis daalt met ruim 10 %: daar zit vooral de financiële winst. Dankzij de warmtepomp hoeft de tuinder minder te stoken met de verwarmingsketel en kan de wkk worden uitgeschakeld tijdens onrendabele uren. De warmtepomp gebruikt elektriciteit om aan de ene kant de rookgassen af te koelen en aan de andere kant water op te warmen.

SPARKSPREAD

De 'sparkspread' – de wkk-verhouding tussen opbrengst van de opgewekte stroom en kosten van het voor die opwekking gebruikte gas – heeft invloed op de rentabiliteit van de warmtepomp. Hoe gunstiger de sparkspread, hoe langer de terugverdientijd van de ingebouwde warmtepomp. Toch verwacht adviesbedrijf Flynt, dat een en ander heeft doorberekend, dat de warmtepomp zichzelf 'dubbel en dwars' terugverdient tijdens de levensduur van een wkk-installatie.

Dat is ook een kwestie van economisch denken voor het bedrijf waar de installatie staat: "In periodes dat de prijs van elektriciteit stijgt en de stroom beter duur kan worden verkocht, kan de warmtepomp gewoon worden uitgezet".



Distribution of the securities market key players

H 7

Onderzoeksprogramma's en Marktinnovatie



Distribution of the securities market key players

Changes in the activity of the active and passive market is uncertain. Established positive trends in various market segments.

Changes in the activity of the active and passive market is uncertain. Established positive trends in various market segments.

7.1 Onderzoeksprogramma's

Op het gebied van warmtepompen specifiek lopen er bij instituten onderzoeksprogramma's in landen als Oostenrijk en Zwitserland, terwijl er vanuit het European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling prioriteiten zijn aangegeven voor een Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating and Cooling [55] en voor Geothermal Technology [56]. Parallel daaraan lopen er onder de IEA Implementing Agreement Heat Pumping Technologies en andere Implementing Agreements taken onder Annexen en zijn er initiatieven voor nieuwe taken.

In Nederland bestaat er geen samenhangend onderzoeksprogramma voor warmtepompen en komt warmtepomptechnologie terug onder deelgebieden van de Topsector Energie: TKI-EnerGo, TKI Switch2Smartgrids en ISPT (Institute for Sustainable Process technology). Het laatste deelgebied richt zich onder andere op warmtepompen in de industrie (www.ispt.eu). In de TKI Switch2Smartgrids vormen warmtepompen een belangrijke basistechnologie zonder dat daar binnen de TKI specifieke activiteiten voor worden ingericht.

Tabel 7.1 Penetratie Smart Grid gerelateerde technologieën (bron Switch2Smartgrids)

Jaar	2010	2020	2030	2050
Enabling bijdrage voor inpassing duurzame opwekking, warmtepompen & elektrisch vervoer				
Uitgangswaarden TKI S2SG				
Wind off shore vermogen (MW)	228	6.000	8.000	20.000
Wind on shore vermogen (MW)	1.993	6.000	9.000	10.000
Zon PV (MWp)	90	4.000	6.000	15.000
Micro WKK (aantal)	500	80.000	150.000	200.000
Warmtepompen (aantal)	50.000	500.000	1.000.000	2.000.000
EV's (aantal)	600	20.000	1.000.000	2.000.000
Enabling bijdrage in PJ/jaar primaire energie	0	182	337	742
Enabling bijdrage in Mton CO ₂ per jaar	0	10	19	42
Bijdrage SG aan energiebesparing				
In PJ/jaar primaire energie	0	10	35	56
In Mton CO ₂ per jaar	0	1	2	3
Totale ambities SG voor bijdrage aan duurzame energievoorziening				
In PJ/jaar primaire energie	0	192	372	798
In Mton CO ₂ per jaar	0	11	21	45

De TKI-EnerGo richt zich op innovatie op het gebied van warmtepompen en systemen op:

- Hybride systemen (bijv. warmtepompen met geïntegreerde opslag)
- Nieuwe materialen en koudemiddelen (bijv. composieten, nano fluids)
- Nieuwe en verkleinde componenten (bijv. warmtewisselaars van andere materialen of andere geometrie)
- Warmtepompen met deels nieuwe principes (bijv. torsion compressor, twee fasen expander)
- Warmtepomp op basis van totaal nieuwe principes (bijv. magnetocalorisch).

Geconstateerd kan worden dat in de afgelopen periode de Nederlandse maakindustrie vrijwel niet betrokken is geweest bij de ontwikkeling van TKI-EnerGo en ook in de tenders geen rol van betekenis speelt. Ook in Europa werd ditzelfde fenomeen geconstateerd voor Renewable Heating and Cooling. In 2008 heeft dit geleid tot het opzetten van het European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RCH-platform) en een Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating and Cooling [55] en voor Geothermal Technology [56].

In de keuze van prioriteiten betekent dit een focus op:

- CCT.1 Cost competitive heat pump kit for houses with existing boiler
- CCT.2 Optimisation of thermally driven heat pumps and their integration in the boundary system
- CCT.3 Automation, control and long term reliability assessment
- CCT.6 Next generation of Sensible Thermal Energy Storages
- CCT.9 High capacity heat pump for simultaneous production of cold and hot water for heating/cooling the building
- CCT.10 Integration, automation and control of large scale hybrid systems for non-residential buildings
- CCT.17 Large scale demonstration of Smart Thermal Grids
- CCT.18 Booster Heat Pump for District Heating
- GEO.1 Optimisation of ground-coupling technology (i.e. technology to exchange heat with the ground in an optimal way)
- GEO.4 System concepts and applications for geothermal cooling in warm climates
- GEO.2 Improving the understanding of the shallow geothermal reservoir
- GEO.5 Development of ground coupling technologies and installation techniques for high capacities

Dit advies is als voorgelegd aan de Commissie voor opname in het programma en het vrijmaken van middelen hiervoor voor 2020 en verder.

De onderzoeksprogramma's aan de instituten in Zwitserland en Oostenrijk is door een grote betrokkenheid vanuit de apparaat en in die landen aanwezige componenten industrie sterk toepassingsgericht. In Japan werkt de Waseda University vanuit sterk praktisch gerichte opdrachten vanuit grote industrieën. De geconstateerde problemen van TKI-EnerGo en vanuit de Europese Commissie zijn hier kennelijk niet aanwezig.

De Implementing Agreement on Heat Pumping Technologies voert als samenwerkingsovereenkomst tussen een aantal IEA-landen gezamenlijk onderzoek in Annexen op een aantal werkgebieden. Na een periode van geringe deelname, neemt Nederland momenteel deel aan zes Annexen terwijl er potentieel belangstelling vanuit de markt bestaat voor deelname in drie nieuwe Annexen (gearceerde zijn met NL deelname/interesse):

<i>Industrial Heat Pumps (DE)</i>	Fault detection
<i>Solar Thermal and Heat Pumps (CH)</i>	<i>Seasonal Performance (S)</i>
<i>nZEB (CH)</i>	Cold Climate Heat Pumps
<i>Heat Pumps in Smart Grids (NL)</i>	Fuel Driven Heat Pumps (DE)
Supermarket Refrigeration (NL) -	Hybrid Heat Pumps (NL)
Heat Pumps in District Heating (DK) -	Domestic Hot Water Heat Pumps (NL)

7.2 SWOT van de Nederlandse industrie

Er zijn in Nederland geen serieuze producenten van componenten als compressoren, expansieventielen en koudemiddelen. Dat lijkt ook niet nodig want in tegenstelling tot wat vaak gedacht wordt is de technologie in de vorm van basiscomponenten zoals compressoren etc. meestal wel beschikbaar (zie ook hoofdstuk 3). Er zijn voldoende innovatieve bedrijven, die met producten en systemen zullen komen, als er maar vraag is. De meest vooruitstrevende bedrijven die warmtepompen ontwikkelen en leveren, weten goed hoe hun apparaten efficiënter te maken en hoe speciale warmtepompen voor bepaalde toepassingen en markten ontwikkeld moeten worden. Het is hun core business waar dagelijks aan gewerkt wordt.

De Nederlandse fabrikanten van warmtepompen vormen daarin een maakindustrie met aanzienlijke potentie. De innovatie die heeft plaatsgevonden is vooral gericht op de toepassingsmogelijkheden in Nederland. Specifiek zijn de hybride warmtepomp en ventilatielucht warmtepompen, maar ook de tapwaterwarmtepompen. 100% Nederlandse innovaties, met voor ons land een significante industriële ontwikkeling. Een zwakte is dat Nederlandse bedrijven commercieel gesproken weinig profiteren van nieuwe markt kansen op Europees niveau. De inspanning van de Nederlandse overheid zou er op gericht kunnen zijn om een vraag te creëren, zodat Nederlandse bedrijven ervaring op kunnen doen, die ze later ook in het buitenland kunnen verkopen. Bij het succesvol realiseren van de doelstelling van 500.000 warmtepompen, zal zich een thuismarkt ontwikkelen, die de Nederlandse industrie in potentie een voorsprong biedt op de rest van Europa [2].

Van veel van de getoonde innovaties moeten zich echter nog grootschalig bewijzen om de mogelijkheden van opschaling binnen Nederland te benutten. Daarin dient gekeken te worden naar maakbaarheid en competitief voordeel om Nederlandse bedrijven ook op de Europese markt een kans te geven. In de analyse van de warmtepomp trends is gesteld dat Nederland in de ontwikkelingen innovatief is op toepassingsgebieden waarin overige Europese landen het laten afweten. De kansen op Europese markten, vooral Noord en Oost Europa, zijn groot, mede omdat de concurrerende, vooral Duitse leveranciers, zich voornamelijk richten op het bovenste deel van de markt van grotere woningen. Dit betekent dat het grote potentieel van renovatie in de sociale woningbouw niet bereikt wordt. In Duitsland is dit >60% van de markt, terwijl in landen als Polen, Estland en Hongarije hier ook een zeer grote markt open ligt. Hier hebben oplossingen ontwikkeld in Nederland een goede kans.

De bedreiging is dat de grote Europese en Aziatische producenten in de markt het kunstje snel geleerd hebben. Hoewel het signaal op de laatste ISH-beurs nog was dat de systemen die momenteel geleverd naar het voorbeeld van de Nederlandse ontwikkelingen nog groot zijn.

Bij de Nederlandse producenten van warmtepompen (incl. supply chain effecten) en importeurs van in het buitenland geproduceerde warmtepompen is sprake van een werkgelegenheid van ca. 1.700 Fte's. Voor de installatie van de warmtepomp zonder de aanliggende installatiedelen als vloerverwarming etc. is de additionele werkgelegenheid binnen de installatiebedrijven berekend op ca. 3.200 manjaren. Deze aanwinst in werkgelegenheid betreft directe montage uren zonder ondersteunende disciplines in de betreffende installatiebranche, en de positieve impuls in de distributieketen [2].

Ook op andere gebieden zijn Nederlandse toepassingsinnovaties aan te wijzen zoals op gebied van monitoring en daaraan gerelateerde diensten, industrialisering van het bouwproces en smart grids.

7.3 Toekomstige ontwikkelingen

De gebouwde omgeving kent een breed scala van spelers vanaf woningbouw tot utiliteit en bedrijventerreinen. In dit speelveld zal een gedifferentieerde maatgesneden aanpak nodig zijn om de innovaties, zowel voor gebouwconcepten als in energiesystemen en de infrastructuur, breed toepasbaar te krijgen.

Utiliteitsbouw is mogelijk een minder prioritair aandachtsgebied omdat hier de ontwikkelingen met begrippen als WKO voor investeerders een belangrijke waarde hebben voor hun imago. Hier is veel meer aandacht voor optimalisatie van systemen. Het zal echter niet zo eenvoudig zijn utiliteitsbouw energieneutraal te maken. Het project 'Kantoor vol Energie' speelt hierop in (zie <http://www.kantoorvolenergie.nl/>). Energiesprong als initiatiefnemer meldt hierover dat eigenaren, gebruikers, makers en bedenkers hier samenwerken aan innovatieve oplossingen voor de renovatie van bestaande kantoren naar mooie, comfortabele en duurzame kantoren, nu en in de toekomst. Kantoren vernieuwen naar energieneutraal is een innovatieprogramma met een energiebesparing van minimaal 60%.



Fig. 7.1 Reclame voor WKO op centraal station Utrecht

In de **woningbouw** lijkt het streven naar energieneutraal in 2020 voor nieuwbouw een 'gelopen race'. Technisch is het haalbaar en de regelgeving vanuit het bouwbesluit koerst voor 2020 op energieneutraal. De concepten hiervoor zijn in ontwikkeling en worden al gebouwd. Overigens moeten zij zich nog wel bewijzen om grootschalig te kunnen worden uitgerold.

De bestaande bouw is de grootste uitdaging. De European Energy Efficiency Directive [58] in Article 4 zegt hierover: *Member States shall establish a long-term strategy for mobilising investment in the renovation of the national stock of residential and commercial buildings, both public and private. Aspecten daarin zijn: identification of cost-effective approaches to renovations relevant to the building type and climatic zone; policies and measures to stimulate cost-effective deep renovations of buildings, including staged deep renovations.*

Alleen grootschalige renovatie kan leiden tot energieneutraliteit. De vorm wet en regelgeving naar energieneutraliteit via het bouwbesluit is er voor bestaande bouw in mindere mate via de energielabels aanwezig. Voor woningen in eigendom van woningcorporaties is grootschalige renovatie haalbaar, voor particuliere eigenaren ligt dit minder eenvoudig.

Bij *woningen in particulier eigendom* vinden vrijwel alleen energiemaatregelen plaats in de vorm van het aanbrengen van dubbele beglazing en het vervangen van oude verwarmingsketels of tapwaterapparaten. Grootschalige renovatie vindt slechts incidenteel plaats. Dit segment is nog steeds goed voor een vervangingsmarkt van 400.000 gasketels per jaar. In de ontwikkeling van de markt naar hernieuwbare energie zal hier meer aandacht moeten zijn voor een techniek die verwarmingsketels vervangt. Zelfs dan lijkt het moeizaam in deze markt te penetreren. In haar studie '2050 Pathways for Domestic Heat' [42] geeft Delta-ee voor de UK aan in drie scenario's dat wanneer 'customers choice' prefereert, in 2050 nog steeds de gasgestookte HR-ketel de markt zal beheersen. Daarmee worden de beleidsdoelen van de UK voor energieneutraal in 2050 in de gehele gebouwde omgeving niet gehaald. Voor de consument is er een aantal filters in de besluitvorming bij de keuze van het verwarmingssysteem. Of de technologie past binnen de woning of het gebouw is de eerste zorg. In Nederland leidt dit tot compacte concepten en een 'afkeer' van opslag in de vorm van boilers. De tweede zorg is de 'up front' investeringskosten, waarbij niet rationeel wordt gekozen op 'life-cycle' kosten. Het derde keuzefilter is of de consument het product aantrekkelijk vindt. De aaibaarheidsfactor van zon-pv is hoog en een warmtepomp op zolder niet.

De twee andere scenario's in het rapport van Delta-ee zijn 'Electrification and Heat Networks' en 'Balanced Transition'. Welk scenario gevolgd wordt is een politieke keuze. 'Balanced Transition' lijkt de gulden middenweg tussen stick and carrot. Het gaat uit van 'low carbon gas appliances' op basis van biogas, warmtedistributie en All Electric. Dit gaat uit van gedeeltelijk 'verplichtingen' maar ook van beloning en stimulering via bijv. tarieven en subsidies. Doelen worden voor 90 – 95% gehaald.

Grootschalige renovatie komt vrijwel alleen voor bij *woningen in collectief bezit*. Afhankelijk van de labelklasse loopt dit vanaf volledige afbraak (vernieuwbouw) tot ketelvervanging. Er is hierin een glijdend scala van renovatieconcepten te onderkennen waarin op allerlei plekken concepten met hernieuwbare energie passen. Daarin wordt onderscheid gemaakt naar gestapelde bouw, met veelal collectieve systemen, en grondgebonden bouw, met veelal individuele systemen. Voor de bestaande bouw is er het Koepelconvenant Energiebesparing Gebouwde Omgeving met de overheden recent het convenant met de woningcorporaties.

De deal 'De Stroomversnelling: 111.000 huurwoningen naar energieneutraliteit', die enkele bouwers en woningcorporaties op 20 juni 2013 tekenden. Dit leidt er toe dat hernieuwbare energie grootschalig in de markt kan penetreren vanuit de collectieve gestapelde bouw, beheerd door corporaties naar individuele corporatieve bestaande bouw. De technische concepten kunnen dan in een proeftuin tot wasdom komen in een 'beschermd' omgeving, waarin op basis van andere economische overwegingen vanuit strategische woningconcepten de huursector wordt verduurzaamd.

Toch zal alle renovatie niet direct tot energieneutraal leiden en zal er sprake zijn van gedeeltelijke of stapsgewijze renovatie.

Gebiedsgerichte collectieve oplossingen voor de opwekking van duurzame elektriciteit naast warmtedistributie en opslag passend vormt ook binnen de filosofie van Smart Grids een kansrijke richting. Verbetering van het systeemrendement van opwekking wanneer niet op gebouwniveau mogelijk heeft dan een duidelijk collectieve gebiedscomponent nodig. Voor herstructurering van de infrastructuur voor de bestaande bouw is deze gebiedsaanpak waarschijnlijk een voorwaarde voor energieneutraliteit. Verduurzaamde warmtedistributie vormt in het geheel van de toekomstige energievoorziening daarom een logisch onderdeel.

7.4 Randvoorwaarden

Vraagreductie is vaak blijvend voor de resterende levensduur van de woning of het gebouw. De meest duurzame energie is de energie die we niet gebruiken. Primair dienen ontwikkelingen gericht zijn op het realiseren van de doelstellingen 2020/2030 (zie ook Horizon 2020). In alle scenario's dragen warmtepompen hier in Nederland met grote aantallen in voornamelijk de bestaande bouw aan bij. Met 500.000 stuks zoals voorzien in meerdere studies voor 2020 is dat het zeventvoudige van wat er in 2013 is geïnstalleerd.

In opdracht van RVO heeft de Dutch Heat Pump Association de Positioning paper 'Warmtepompen en economie' [2] geschreven. Daarin wordt gesteld dat een fiscaal stimulerende instrumenten anders dan investeringsubsidies sterk de voorkeur verdient. Vanuit het idee dat 'business as usual' geen optie is, is er een aantal mogelijke beleidsinstrumenten beschreven:

- Herzien het bestaande wettelijke kader om diverse fiscale en regelgevingstechnische instrumenten mogelijk te maken.
- Creëer wettelijke mogelijkheden voort het aanpassen van de heffingskorting in de energiebelasting.
- Creëer een level playing field voor warmtepompen door:
 - Een aanpassing van de energiebelasting, waarmee de onevenredige toename van de jaarlijkse energiebelasting per huishouden bij toepassing van een warmtepomp wordt voorkomen. Dit instrument kan mogelijk budgetneutraal worden ingezet.
 - Een aanpassing van de opzet voor de BTW, waarmee de onevenredige toename van de BTW bij de aanschaf van een warmtepomp wordt voorkomen.
 - Koppel het eigenwoningforfait gebaseerd op de WOZ-waarde van de woning gedifferentieerd aan het energielabel.
- Neem een voortrekkersrol bij de bestrijding van energiearmoede door woonlastenbeheersing, zonder subsidie-instrumenten in te zetten, maar door binnen een taskforce naar structurele oplossingen te zoeken voor langere termijn.

In de uitwerking van het SER-akkoord wordt een aantal van deze aanbevelingen meegenomen.

In de brief van 19 oktober 2013 kondigt het ministerie BZK het voornemen tot het oprichten van de stichting Nationaal Energiebespaarfonds (NEF) [62]. De tenderprocedure voor het werven van private cofinanciers is afgerond op 16 oktober 2013. Het Rijk draagt 75 miljoen euro bij aan de financiering van het fonds.

De Rabobank en de ASN Bank zullen optreden als private cofinanciers. Zij dragen respectievelijk 175 miljoen euro en 50 miljoen bij aan de financiering van het fonds. De volgende voorwaarden gelden voor de leningen:

- Het fonds zal laagrentende leningen verstrekken aan eigenaar-bewoners voor de financiering van energiebesparende maatregelen aan hun woning. Eigenaar-bewoners van woningen met een monumentenstatus komen ook voor een lening in aanmerking.
- Leningen kunnen worden aangevraagd voor bedragen van 2.500 tot 25.000 euro.
- De looptijd van de leningen is 7 of 10 jaar, afhankelijk van de hoogte van de lening.
- De maatregelen waarvoor de leningen kunnen worden benut zijn: dak-, gevel- en vloerisolatie, hoog rendement (HR++) beglazing, energiezuinige kozijnen, deuren en gevelpanelen, warmtepompen, zonneboilers, zonnepanelen (voor een maximum percentage van het totale leningsbedrag), installaties voor warmteterugwinning, gelijkstroompompen, gelijkstroomventilatoren, vraaggestuurde ventilatie, HR-e ketels, (micro) warmtekrachtkoppelingen, en hoog rendementsketels.
- Ook de kosten van een maatwerkadvies voor energiebesparing kunnen in de lening worden meegenomen.
- De rente die de consument zal betalen voor de lening is afhankelijk van de renteschommelingen op de markt. Op basis van het huidige rentepeil zou de rente voor eigenaar-bewoners op leningen van het fonds tussen de 3 procent en 3,5 procent per jaar bedragen.

De fondsmanager wordt het Stimuleringsfonds Volkshuisvesting Nederland (SVN).

Er is meer nodig en in feite is dat ook traditioneel een taak waar RVO al actief is in de verschillende programma's met bestaande instrumenten. In alle deeltrajecten gericht op marktontwikkeling van hernieuwbare energietechnieken is er aandacht voor voorbeelden waarin aangetoond wordt voor de eindgebruiker dat het 'kan', voldoet aan de verwachtingen en kosteneffectief is. Bestaande instrumenten van RVO en ook Europese projecten dragen daaraan bij:

- Marktpartijen aan de vraagkant zijn slecht op de hoogte van de vele mogelijkheden. Voorop lopen heeft het imago van duur en risicovol. Informatiebrochures en factsheets over toepassingsmogelijkheden worden hiervoor voorbereid.
- Normen voor energieprestatie en rekenmodellen lopen achter op de innovatie in de markt. Bij elke ontwikkeling/toepassing van nieuwe systemen wordt dan ook gewerkt aan
 - Het goed waarderen van het systeem of concept in EPC/EMG en ook Europese normen
 - Het ontwikkelen en invoeren van objectieve test methoden t.b.v. rendementen (modelwoningen, test- en meetmethoden, classificatie) die op Europees niveau gestandaardiseerd zijn.

Hierin wordt door RVO samengewerkt met de warmtepompbranche, installatiebedrijven, belangenorganisaties (VEH, Woonbond, Consumentenbond), aannemersbedrijven en overheden.

De innovatie in energiesysteem en gebouwconcepten bevindt zich in verschillende fasen van ontwikkeling. Ontwikkelingen in de innovatiecyclus kunnen gekenmerkt worden op vier niveaus met daarin een aantal stappen

Innovatie cyclus	Niveau	Beschrijving
Discovery (Research)	1	Intellectueel gedreven onderzoek zonder uitzicht op directe toepassing
	2	Onderzoek binnen vastgestelde disciplines
	3	Onderzoek binnen bestaande technologie grenzen met praktische toepassing als doel
Development	4	Onderzoek gericht op praktische toepassing van innovatie
	5	Samenwerkingsonderzoek met bestaande industrie om de volgende generatie technologie te produceren
	6	Technologie ontwikkeling van producten die een lange termijn strategie volgen
Demonstration	7	Demonstratie van een nieuwe generatie producten die een substantiële verandering vertegenwoordigen
	8	Proces en productinnovatie die gericht zijn op verbetering van bestaande producten
	9	Proces innovatie gericht op betere competitieve uitgangspunten op kosten en prestaties
Deployment	10	Investeringen in onderhoud van het product en productie

Een belangrijk aspect waar rekening mee gehouden wordt is dat de Nederlandse maakindustrie voor de componenten voor een techniek als warmtepompen altijd afhankelijk is van het buitenland. Er zijn immers geen fabrikanten van componenten in Nederland, behalve Grenco voor de grotere industriële toepassingen. Op IEA en Europees niveau wordt daaraan gewerkt.

Onderwerpen voor de korte termijn zijn:

- **Kosteneffectieve hybride systemen.** Zowel in het advies van het RCH-platform als in de IEA Heat Pumping Technologies wordt hybride technologie een belangrijke rol toegedicht in het bereiken van de duurzaamheidsdoelen in de bestaande bouw. Nederland heeft hier een voorsprong en kan dit verder uitbouwen, door:
 - Versterking van de thuismarkt (zie Position paper [2])
 - Ontwikkeling van exportmarkten binnen Europa.
- **Booster warmtepomp in laag temperatuur distributienetten in gestapelde bouw.** Een nieuwe generatie tapwaterwarmtepompen kan met een hoge bron temperatuur tot een maximum van 40°C worden gevoed. Daarmee is de warmtepomp geschikt om aangesloten te worden op een lage temperatuur warmtedistributie (40-45°C) het bereiden van warm tapwater. Nederland heeft hier een voorsprong en kan dit verder uitbouwen, door:
 - Versterking van de thuismarkt
 - Ontwikkeling van exportmarkten binnen Europa.

- **Meet en regeltechniek voor onderhoud en consumenteninformatie.** Deze relatief autonome markt ontwikkeling dient gebaseerd te worden op gestandaardiseerde uitgangspunten. Hierin speelt op Europees niveau de overheid gezamenlijk met de markt een belangrijke rol. Het IEA HPP project Heat Pumps in Smart Grids kan hierin een belangrijke rol spelen en ook het RCH-platform ziet dit als prioriteit.
- **Energienotatul woningen voor renovatie in de huursector.** Lopend traject onder Energiesprong waarin het belangrijk is de juiste randvoorwaarden en objectieve informatie uit de projecten te genereren.
- **Ventilatie warmtepomp in renovatie** Een Nederlandse innovatie die onvoldoende aandacht heeft.
- **Grootschalige toepassing warmtepompen met opslag in smart grids.** De verdere ontwikkeling in energieopslag en datacommunicatie jaagt de ontwikkeling van warmtepompen als regelinstrument verder aan. Warmtepompen in combinatie met compacte opslag is de 'game changer' in het concept voor smart grids.
- **Verduurzaming bestaande warmtenetten met warmtepompen en andere hernieuwbare opties.** Onderwerp dat zowel aandacht heeft vanuit het RCH-platform als vanuit de IEA-HPP in een nieuw Annex voorstel.
- **Grote capaciteit gesloten bodemwisselaars.** Zowel dit onderwerp als de toepassing van monobronnen is van belang omdat er met de grote dichtheid van bebouwing interferentie van systemen aandacht vraagt waarbij gesloten systemen speciaal voor de nieuwbouw van belang zijn en *Monobronnen* voor renovatie in binnenstedelijke gebieden grote kansen biedt. Aandacht hiervoor is gericht op optimalisatie van de toepassing en zorgvuldig gebruik van de ondergrond.

Marktontwikkeling / Deployment 2014 - 2016

	Prioriteiten Onderzoek en ontwikkeling	Technologie focus	Toepassingsgebied
	Kosteneffectieve hybride systemen	Hybride systemen	Woningbouw
	Meet en regeltechniek voor onderhoud en consumenteninformatie (fun factor - apps)	Regeltechniek	Woningbouw
	Booster warmtepomp in laag temperatuur distributienetten in gestapelde bouw	Tapwater	Woningbouw
	Energienotatul woningen voor renovatie in de huursector	Energienotatul	Woningbouw
	Ventilatie warmtepomp in renovatie	Ventilatiesystemen	Woningbouw
	Grootschalige toepassing warmtepompen met opslag in smart grids	Smart Grids	All
	Verduurzaming bestaande warmtenetten met warmtepompen en andere hernieuwbare opties	Warmtedistributie	All
	Grote capaciteit gesloten bodemwisselaars	Bodembronnen	Utiliteitsbouw
	Monobronnen voor renovatie in binnenstedelijke gebieden	Bodembronnen	Utiliteitsbouw

Voor de langere termijn en demonstratie in de periode 2016 – 2018 zijn van belang -

	Prioriteiten Onderzoek en ontwikkeling	Technologie focus	Toepassingsgebied
	Kleine sorptie warmtepompen in de bestaande bouw	Warmtepomp	Woningbouw
	Energienotanul woningen voor renovatie in de koopsector	Energienotanul	Woningbouw
	Groot vermogen (>100kW) warmtepomp voor gelijktijdige koeling en verwarming	Warmtepomp	Utiliteitsbouw
	Integratie, automatisering en regeltechniek voor grootschalige hybride systemen in de utiliteit	Hybride systemen	Utiliteitsbouw
	Midden temperatuur geothermie met booster warmtepomp	Geothermie	All
	Introductie van kleinschalige laag temperatuur warmtenetten	Warmtedistributie	
	Verbeterde warmtedichtheid van thermische opslag in PCM en TCM	Energieopslag	Woningbouw

Ontwikkeling / Development voor de periode 2018 - 2020 -

	Prioriteiten Onderzoek en ontwikkeling	Technologie focus	Toepassingsgebied
	Ontwikkeling van warmtepompen voor Nearly Zero Energy Buildings	Warmtepomp	Woningbouw
	Nieuwe generatie compacte hybride systemen	Hybride systemen	Woningbouw
	Verbeterde eigenschappen van warmteopslag en overdracht	Energieopslag	Woningbouw
	Optimale inpassing van hernieuwbare energie in warmtedistributie en verbetering van opslagsystemen	Energieopslag / Warmtedistributie	All

**Voorbeeldprojecten
Warmtepompen
en
WKO**



8.1 Inleiding

Hoewel het aandeel hernieuwbare energie met warmtepompen en WKO volgens de laatste cijfers van CBS al groter is dan van foto-voltaïsche zonne energie [1] en hoewel volgens de verschillende scenario's warmtepompen de kerntechnologie van de toekomstige infrastructuur [38] zal worden, staat de warmtepomp bij velen niet scherp op het netvlies. Dat het begrip Warmte en Koudeopslag het communicatief beter doet, heeft waarschijnlijk te maken met negatieve publiciteit over warmtepompen in enkele woningbouwprojecten. Ook heeft het te maken de grote verscheidenheid waarin warmtepompen voorkomen en het brede toepassingsgebied. Daardoor is het begrip warmtepomp anders dan een zonnepaneel of een windturbine niet eenduidig duidelijk als techniek en daarmee voor velen ongrijpbaar. Qua communicatie trekken ook de SolarTours en conferenties over bio-energie of wind veel meer deelnemers dan de conferenties over warmtepompen. Dit is niet alleen het geval in Nederland maar ook internationaal herkenbaar.

Wel komt de warmtepomp in het nieuws wanneer er iets misgaat. Zo worden nog steeds het project de Teuge in Zutphen breed uitgemeten in de pers, maar er wordt over het 'falen van WKO' bericht. Het goede nieuws komt niet in de algemene pers want 'uitvoeren zoals het hoort is toch geen nieuws' meldde een journalist eens. Verschillende vakbladen vullen dit gat met positieve kritische nieuws en beschouwingen over de lopende ontwikkelingen in de markt met betrekking tot markt- en technologieontwikkelingen, beleid en regelgeving en ook onderzoek en ontwikkeling, zoals:

- Vakblad Warmtepompen: <http://vakbladwarmtepompen.nl/>
- RCCK&L: www.koudeenluchtbehandeling.nl/
- EHPA Newsletter: www.ehpa.org/about/media-library/newsletter/
- Heat Pump Centre Newsletter: www.heatpumpcentre.org

Ook in andere sector gerichte vakbladen en publicaties komt de warmtepomp, zij het vaak als WKO, vaker terug.

In alle sectoren zijn goede voorbeelden te vinden en veel informatie is naast de informatie van RVO, te vinden op websites van leveranciers en adviseurs. Een kort niet uitputtend overzicht van websites:

- Het [Kennishuis](#) van RVO geeft een overzicht van projecten in de nieuwbouw en renovatie met energie besparende en hernieuwbare technieken in een groot aantal gevallen leidend tot energieneutraal. Veel projecten zijn uitgevoerd met warmtepompen/WKO.
- [Energie neutraal Bouwen](#) staat op de website van RVO met veel links naar projecten met warmtepompen als basistechnologie van energie neutraliteit.
- [Solar Tours 2014](#) zijn reizende congressen in Nederland gericht op kennisuitwisseling gedurende bezoeken aan projecten in de praktijk. De website toont talloze combinaties van zonne-energie met warmtepompen.
- Het Europese project [SEPOMO](#) heeft een methodiek van monitoring van de SPF van systemen ontwikkeld en in de praktijk toegepast. Naast een groot aantal Europese projecten, is ook een aantal Nederlandse projecten gemeten.

Leveranciers, fabrikanten

- [Techneco](#) is fabrikant van de Toros warmtepomp en de eerst hybride warmtepomp, de ELGA. Daarnaast ook leverancier van ROBUG gas absorptie systemen
- [Live Heat Pump](#) van [General](#) monitort live 12 warmtepomp projecten met lucht water warmtepompen in Nederland en België.

- [Dubotechniek](#) b.v. Comfortsystemen realiseert en beheert duurzame energiesystemen in zowel grote als kleine projecten in de utiliteit en woningbouw met op de website veel project informatie.
- [ZON-Energie](#) stelt op hun website dat zij als EsCo langjarig collectieve duurzame energieinstallaties in de gebouwde omgeving ontwikkelt, realiseert, financiert en exploiteert. Op de website staan meerdere voorbeelden met warmtepompen in de vorm van factsheets.
- [Nathan Group](#) is importeur van onder andere warmtepompen. Op de site staan voorbeelden in de vorm van factsheets.
- [KODI](#) is naast adviseur ook uitvoerder en beheerder van projecten met warmtepompen in middelgrote toepassingen voor kantoren en bedrijven. Hiervoor heeft KODI een eigen warmtepomp ontwikkeld.
- [Techniplan](#), is als adviseur betrokken bij grootschalige projecten in de utiliteit. Op de site staan meerdere voorbeelden.
- [Installect](#), is een groep bedrijven dat een breed portofolio heeft in meerdere marktsegmenten.
- [Energiedak](#)

In dit rapport met voorbeelden wordt een aantal voorbeelden getoond in verschillende markten.

8.2 Voorbeelden

In deze paragraaf wordt een aantal voorbeelden getoond in verschillende markten. De doorsnede die gekozen is, is toepassingen bij, in, door:

- Koplopers
- Kantoren
- Woningbouw
- Energieneutraal
- Stadsverwarming
- Bedrijventerreinen
- Glastuinbouw

In een separate publicatie zullen de voorbeelden nader beschreven worden.

8.2.1 Koplopers

In de markt komen meerdere koplopers voor die in hun aanpak een goed voorbeeld vormen van anderen in en buiten hun branche in Nederland en Europa. In deze paragraaf worden er zes kort besproken te weten: Overheid, Pro-Rail, Lidl, Theaterproducties, Vestia Energie.

Bij al deze koplopers vormen warmtepompen op basis van WKO, veelal gecombineerd met zon-pv de kern-technologieën in hun traject naar energieneutraal. Hoewel besparing op energiekosten en economie belangrijke motieven zijn, zijn het vaak niet de belangrijkste motieven die als startpunt worden genomen om te beginnen. Dat de overheid een voorbeeldfunctie heeft en moet hebben is duidelijk, maar Marcel Ganzeboom (Lidl) en Mohammed Bahri (Vestia) noemen ook duidelijk andere motieven voor de verdergaande verduurzaming van hun ondernemingen.



8.2.1.1 Overheid

Vanaf 2019 wordt in heel Europa en dus ook in Nederland nieuwbouw van overheden bijna energieneutraal. De verplichting voor de overheid loopt 2 jaar voor op eenzelfde verplichting voor de private markt, per 1 januari 2021. De energie die nog nodig is, moet in belangrijke mate afkomstig zijn uit hernieuwbare bronnen. Dit is vastgelegd in de herziene Europese richtlijn EPBD uit 2010. Conform de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie

Duurzaamheid met aandacht voor WKO speelt inmiddels een belangrijke rol bij het aanbestedingsbeleid van de overheden. Zo heeft de RGD een uitvoeringsplan Energieambitie Rijksoverheid 2020 gemaakt; waarin de paragraaf duurzaam inkopen zorgt voor criteria voor energieverbruik bij aankoop, inhuur en voor de bestaande voorraad. Doelstelling tot 2020 is om 2.000.000m² Rijkshuisvesting van WKO te gaan voorzien. De RGD heeft ook het initiatief genomen voor een model- en systeemontwikkeling ten behoeve van aanbestedingen door de rijksoverheid waar WKO deel van uitmaakt. Dit zou op termijn ook beschikbaar kunnen komen voor andere overheden. (bron Samenwerkingsprogramma Warmte Koude Opslag (SWKO))

Inspanningen RGD De Rijksgebouwendienst (RGD) wil WKO de komende jaren zoveel mogelijk toepassen in haar gebouwen. Zo'n 10 tot 20 per jaar (bron Techniplan).

Niet alleen de Rijksoverheid is actief met hernieuwbare energie ook de provinciale en stedelijke overheden pakken het op bij nieuwbouw en renovatie. Enkele voorbeelden van de toepassing van warmtepompen met WKO als bron zijn:

- Renovatie van het ministerie van Economische Zaken (voormalige LNV-gebouw)
- Ministeries van Veiligheid en Justitie (VenJ) en Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) is opgeleverd.
- Stadskantoor Utrecht
- Paleis van Justitie Amsterdam
- [Gemeentehuis Hardenberg](#)
- [Kantoor Rijkswaterstaat](#)



Het Paleis van Justitie is onderdeel van het nieuwbouwproject IJDock in Amsterdam.

8.2.1.2 ProRail

ProRail koopt zo veel mogelijk van haar energie duurzaam in, om zo de CO₂-voetafdruk te verkleinen. In 2013 kocht men 110 miljoen kWh duurzaam opgewekte elektriciteit. Dat was een belangrijke stap op weg naar de volledige verduurzaming van het elektriciteitsverbruik van ProRail.



Fig 8.3 NS Station Utrecht

Naast het feit dat veel van de overkappingen van de station zon-pv krijgen of hebben geregen wordt grootschalig geïnvesteerd in verwarming en koeling met bodembronnen (WKO). Halverwege 2013 zijn we op het nieuwe station Breda Centraal begonnen met de aanleg van ondergrondse leidingen voor een WarmteKoude-Opslag (WKO). Ook de stations van Rotterdam, Den Haag Centraal, Arnhem en Utrecht zijn of worden hiermee uitgerust.

NS heeft vijf WKO's in exploitatie in 2013: Gouda, Utrecht, Hengelo, Arnhem en Rotterdam. Daarnaast zijn WKO installaties in aanbouw voor Amsterdam Centraal station, Breda en Eindhoven.

Stations en stationsgebieden zijn per definitie duurzame locaties: gelegen in binnensteden en goed bereikbaar per openbaar vervoer, fiets en auto. Reizen met de trein wordt door zuinig rijden van machinisten, nieuwe treinen en bijvoorbeeld het zuiniger opstellen van treinen steeds schoner en steeds groener.

8.2.2.3 Lidl

"Ons motto is de hoogste kwaliteit voor de laagste prijs. Dat gaat heel goed samen met duurzaam ondernemen", vertelt [Marcel Ganzeboom](#), hoofd bouwzaken bij Lidl Nederland. "Wij zijn bijvoorbeeld van nature al zuinig met grondstoffen." Zo bouwt Lidl alle nieuwe supermarkten volgens de maatlat 'zeer duurzame utiliteitsbouw' van RVO.nl.

Wij vinden continuïteit belangrijk. Dus zijn we zuinig op de toekomst – zowel maatschappelijk als bedrijfseconomisch. Daarom is verantwoord ondernemen voor ons een gegeven, dat in onze grondbeginselen staat.

Bovendien past het goed bij het feit dat we een discounter zijn. Want vaak is duurzaam helemaal niet duurder. Je bespaart er juist kosten mee. Het komt in alle facetten van onze bedrijfsvoering terug, van onze producten tot onze filialen. In de koeling en diepvries vind je bijvoorbeeld alleen wild gevangen vis met het MSC-keurmerk voor duurzame visvangst. En we gebruiken bij de bouw van filialen al acht jaar warmtepompen in plaats van gas. Ook bouwen we alle nieuwe winkels op een duurzame manier, met FSC-gecertificeerd hout en groene energie. Sinds 2011 doen we dit standaard volgens de maatlat voor zeer duurzame utiliteitsbouw van RVO.nl. In 2013 openden we zelfs het meest duurzame distributiecentrum van Nederland.

8.2.1.4 Theaterproducties



De eigenaars van de Ziggo Dome streven juist naar een zo klein mogelijke CO₂-voetafdruk. Duurzame energievoorziening is dan vanzelfsprekend. Voor verwarming en koeling van het complex is warmte-koudeopslag in de bodem aangelegd. Wat verder aan energie nodig is, komt van Nederlandse windmolens. De Ziggo Dome gebruikt 100% duurzame energie door middel van Warmte Koude Opslag, een warmtepomp en groene stroom van Essent (Windkracht 220).

In opdracht van Warmtebouw te Utrecht heeft GeoComfort hier één van de grootste WKO met warmtepompinstallaties van Nederland gerealiseerd. Het WKO systeem bestaat uit een GeoDoublet van 240 m³/h. In combinatie met het GeoWP-SKID levert het energiesysteem 1880 kW verwarmingsvermogen met de warmtepomp en ca. 4300 kW koelvermogen. Installect adviseerde de engineering van het gehele energiesysteem. In-sted wordt ingeschakeld voor energiebeheer en instandhouding.

8.2.1.5 Vestia Energie

Binnen woningcorporatie Vestia verschuift het accent van nieuwbouw naar verduurzaming van de bestaande woningvoorraad. Het ontwikkelen en exploiteren van duurzame-installatieconcepten wordt verzorgd door Vestia Energie BV.

Vestia besteedt aandacht aan alle woonthema's. Speerpunten zijn woonruimte bieden aan sociaal zwakkeren en zorgen voor zorgbehoevenden. De laatste jaren zet de woningcorporatie ook sterk in op woonlastenbeheersing. Daarnaast is er steeds meer aandacht voor CO₂-reductie en energiebesparing. De corporatie heeft inmiddels een mooie portfolio opgebouwd.

In 2006 kreeg Vestia zelfs een prijs voor haar 'oeuvre', alle projecten die op een of andere manier met duurzaamheid te maken hebben. "In het verleden hebben we veel geëxperimenteerd, dat ging met vallen en opstaan", vertelt Mohammed Bachri, Technisch Projectleider bij Vestia Energie. "Maar we hebben er lering uit getrokken. Zo kiezen we als het om het toepassen van warmtepompen gaat, in principe alleen nog maar voor gesloten bronsystemen.

Gesloten bronsystemen zijn minder storingsgevoelig, eenvoudiger te onderhouden en ook goedkoper in onderhoud dan open systemen. Ook combineren we deze bronnen bij voorkeur met individuele warmtepompen. Dan kun je meer maatwerk leveren. Een andere strategische keuze die we gemaakt hebben, is die voor balansventilatie met warmteterugwinning, ondanks alle negatieve publiciteit. Naar onze mening is dat de beste keuze bij het gebruik van warmtepompen. En al helemaal als het gaat om lage-temperatuursystemen.

[Meander Zorgcentrum](#) in Nieuwerkerk aan den IJssel. Vestia realiseerde voor (onder andere) zorginstelling De Zellingen en Gemiva-SVG-groep een multifunctioneel woon- en zorgcentrum in het centrum van Nieuwerkerk aan den IJssel. Opvallend zijn de duurzame uitgangspunten en installaties die zijn opgenomen in het complex. In dit ambitieuze multifunctionele woon- en zorgcentrum, wordt gebruik gemaakt van onder andere warmte-koudeopslag, zonne-energie en interessante materialen om zuiniger met energie om te kunnen gaan.

8.3 Kantoren

In het kantorenssegment wordt veel geïnstalleerd onder het kopje WKO. Er is hier in marketing termen sprake van een volwassen markt waarbij grote projecten worden gerealiseerd. Het [Platform Duurzame Huisvesting](#) geeft op haar site een interessant overzicht van tien grotere WKO projecten met warmtepompen:

- [project Vitens](#)
- [Provinciehuis Overijssel](#)
- [De EDGE](#)
- [Hotel Casa 400](#)
- [Hoofdkantoor ENECO](#)
- [Ijdok Amsterdam](#)
- [Crystallic Energiekas](#)
- [Science Park Amsterdam](#)
- [Villa Rusthoek](#) in Baarn
- [Jeroen Bosch Ziekenhuis](#)

Een interessant voorbeeld is [The Edge](#) in Amsterdam. Eind 2014 verrijst aan de Zuidas het nieuwe kantoor van Deloitte/AKD. De accountants zetten gelijk hoog in: het moet het meest duurzame gebouw van dit zakendistrict worden. Met The Edge, de naam van het kantoor, zochten ontwikkelaar OVG Real Estate en bouwer G&S Bouw de grenzen van bouwen en duurzaamheid op. Die inspanningen zijn beloond met een BREEAM-NL Outstanding: het hoogste duurzaamheidscertificaat dat te behalen is. De combinatie van zonnepanelen met een WKO levert een maximaal duurzame klimaatbeheersing en past dan ook perfect bij de wens een zo'n duurzaam mogelijk gebouw te realiseren. Een aantal feiten op een rij :

- De klimaatvoorziening is geschikt om circa 40.000 m² bruto vloeroppervlak te verwarmen en te koelen
- De installatie bestaat uit een warmtepompsysteem (aangesloten op een bronnensysteem) met aansluiting op de stadsverwarming
- De warmte-koudeopslag (WKO) bestaat uit 1 doublet (1 warme en 1 koude bron) op een diepte van 150 meter
- De aansluiting op de stadsverwarming heeft een vermogen van 600 kW
- Het opgesteld verwarmingsvermogen (warmtepomp 1.460 kW + stadsverwarming 600 kW) bedraagt 2.060 kW Het maximaal gevraagd warmtevermogen bedraagt 1800 kW
- Het opgesteld koudevermogen bedraagt circa 2.500 kW. Het maximaal gevraagd koudevermogen bedraagt 2.500 kW

Oplevering van het gebouw is in de herfst 2014. Eneco neemt op eigen risico de exploitatie van de WKO op zich en zorgt 15 jaar voor de exploitatie van de WKO.



Bij het hoofdkantoor van ENECO stelt men dat “Met name de installaties voor zonne-energie en de WKO-installaties zijn op uitdrukkelijke wens van Eneco tot stand gekomen.” Opvallend detail is dat energieconcurrent E.ON restwarmte levert aan de stadsverwarming binnen het gebied Alexanderpolder, waar het pand van Eneco is gevestigd.

Eneco is verder betrokken bij een aantal grotere nieuwbouwprojecten zoals het Internationale Strafhof in Den Haag waar “Geheel in de geest van het groene ont-

werp is gekozen voor warmte-koudeopslag (wko). Verwarmen met gas was gewoon geen optie”, zegt Jan-Paul Poldervaart, commercieel manager bij Eneco. Eneco treedt in dit project zowel als ontwikkelaar op als als exploitant van de wko. Het energiebedrijf heeft Energie Totaal Projecten (ETP) opdracht gegeven de wko te bouwen.

Utrecht maakt steeds meer gebruik van warmte- en koudeopslag (WKO). De afgelopen vier jaar realiseerde Utrecht tien nieuwe WKO systemen. In totaal telt Utrecht nu ongeveer 60 WKO systemen. De Jaarbeurs en de Rabobank hebben nu een WKO-systeem, NS realiseert er zeker twee. De gemeente realiseerde zelf een WKO bij het nieuwe Tivoli/Vredenburg

Tijdens de Dutch Green Building Week van 22 t/m 26 september 2014 stelt Unica samen met de gebouweigenaren 10 duurzame panden open voor publiek. Het gaat om gebouwen die voorzien zijn van innovatieve duurzame technologieën en duurzaam in gebruik zijn. De Dutch Green Building Week wordt georganiseerd door de Dutch Green Building Council (DGBC) en heeft als centraal thema Green Results. Gedurende de week worden in Nederland diverse activiteiten georganiseerd door de leden van de DGBC rondom de verduurzaming van de gebouwde omgeving.



Fig. 8.6 Het nieuwe Stadskantoor van Utrecht

- Amsterdam - [gerenoveerd monumentaal pand Tramremise De Hallen](#)
- Groningen - [Centrum voor Levenswetenschappen - Linnaeusborg | RUG](#)
- Hoewelaken - [hoofdkantoor Unica Groep](#)
- Nijmegen - [nieuwbouw Faculteit Educatie - I/O gebouw Hogeschool Arnhem Nijmegen](#)
- Oosterhout - [regiokantoor Unica](#)
- Rotterdam - [regiokantoor Unica](#)
- Venlo - [Innovatoren en C2C ExpoLAB op het Floriadeterrein](#)
- Venlo - [gerenoveerd monumentaal pand Nedinsco](#)
- Zwolle - [duurzaam gerenoveerde Rembrandtflat](#)
- Zwolle - [houtenergiecentrale woonwijk Breecamp](#)

Maar WKO met warmtepompen komt niet alleen in grotere projecten als optie voor. De RVO site van het [Kennishuis](#) en [Solar Tours 2014](#) toont voor kleinere nieuwbouw, renovatie en bij scholen meerdere voorbeelden:

Kantoren

- Adviescentrum en hoofdkantoor Rabobank Alkmaar
- [Aramis](#) in Roosendal
- [Bedrijfsgebouw Kwakernaak](#)
- CBW-Mitex [hoofdkantoor](#) te Zeist
- [De Tempel](#) monumentaal kantoorgebouw in Den Haag
- [DHV Hoofdkantoor](#) te Amersfoort
- [Gemeentehuis Hardenberg](#)
- [Invent kantoorgebouw](#) in Beilen
- [Kantoor Rijkswaterstaat](#)
- [Kempkensberg DUO](#) en Belastingdienst in Groningen
- [Leeuwarden, UPC kantoor en callcenter](#) en als RVO Factsheet [Praktijkvoorbeelden Utiliteit](#)
- [Eersel, Venco Campus](#) en informatie in [Venco Campus](#)

- [Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed](#) in Amersfoort
- [Wageningen, FrieslandCampina Innovation Centre](#) en [Friesland Campina Innovation Centre](#)

Scholen

- Basisschool in [Hart van Oijen](#)
- [Haagse Hogeschool](#)
- [MFC Westergeest-Triemen](#) in Kollummerland
- [OBS De Wilgenstam](#) te Rotterdam renovatie

8.4 Woningen

De ontwikkeling van de markt voor warmtepompen in de woningbouw heeft tegen gezeten door de negatieve berichten over het project in de Zutphense wijk De Teuge. Dat dit niet ligt aan de warmtepomp zelf maar eerder aan het gebrek aan integraal denken bij het ontwerp, uitvoering en beheer tonen het [rapport](#) van Liandon hierover.

Dit incident staat niet alleen en heeft alles te maken met onervarenheid met warmtepompconcepten en systemen van een groot aantal marktpartijen. Het was tevens aanleiding voor RVO om op internationaal niveau te werken aan de ontwikkeling van een methodiek voor het uniform vastleggen van prestaties van warmtepompsystemen (<http://www.sepemo.eu/deliverables/wp4/>).

Inmiddels heeft de markt meer ervaring en zijn projecten als in Etten Leur internationaal bekend door de grootschalige toepassing van individuele warmtepompen met bodemlussen.

Een aantal andere voorbeelden:

- [Berkelbosch](#) Eindhoven
- [Charivarius](#) / Poort van Noord in Haarlem
- [Oostereeweg](#) op Schiermonnikoog
- [Wageningen, nieuwbouwwoningen Nieuw Kortenoord](#) [Artikel](#) tekst opnemen in rapport
- [Amersfoort, Energiebalanswoningen](#)
- [Amsterdam, Steigereiland 2.0](#)
- [Boxtel, De Kantelen \(in goede aarde\)](#)
- [Montferland, Energiesprong Montferland](#) en [Zeddam Delweg](#)

- [Schagen, HofPark](#)
- [Ulft, Biezenakker](#)
- [Wognum, Kreekrand](#)
- [Zwaagwesteinde, Project “Helianthus” Zwaagwesteinde](#)
- De [Elementen](#) / Terras aan de Maas in Spijkernisse
- Woonwijk [Velmolen Buiten](#)
- [Etten-Leur](#) - in De Keen zijn de woningen voorzien van een individuele elektrische warmtepomp; in deelproject A wordt de bodem als individuele bron gebruikt.
- [Leeuwarden](#) - iedere woning in de Vegelinbuurt heeft een individuele elektrische warmtepomp op de begane grond. In de tuin bevindt zich de individuele (gesloten) bodemwarmtewisselaar.

Dillenburgh betreft een transformatie van naoorlogse gebouwen in plaats van sloop-nieuwbouw. Door oudbouw aan te vullen en op te waarderen, wint een relatief monotone buurt als de Prinsenhof aan gelaagdheid en identiteit.

Het project Dillenburgh bestaat uit 71 levensloopbestendige appartementen (renovatie), 69 levensloopbestendige appartementen en zorgwoningen (nieuwbouw) en 655 m2 zorgvoorzieningen.



Fig 8.9 Dillenburgh te Leidschendam

Een van de wooncomplexen is rigoureus getransformeerd door Heren 5. De bestaande galerijflat is gestript en opnieuw ingevuld, met nieuwe plattegronden en hedendaags comfort. Over het blok heen is hoogbouw geplaatst en een nieuw laagbouwblok zorgt voor een levendiger straatbeeld.

Duurzaamheid is niet een aspect dat is ingezet om alleen in de kosten te snijden of het milieu te sparen, maar vooral ook om het leefklimaat in de appartementen te verbeteren. Het complex heeft daarom een gezamenlijk ketelhuis op het dak waarin zich de installaties bevinden voor de warmte-koude opslag (WKO). De woningen hebben vloerverwarming en mechanische afzuiging. Gevelpuien en vloeren zijn geïsoleerd en zo voldoet het wonen in een naoorlogse flat weer helemaal aan hedendaagse comforteisen.

8.5 Naar Energieneutraal

Het beleid van de Rijksoverheid is erop gericht dat nieuwe woningen na 2020 (bijna) energieneutraal zijn. Om dit doel te bereiken, is het van belang dat er goede en aansprekende voorbeelden zijn van woningen die deze ambitie nu al realiseren of belangrijke stappen die richting op zetten. Daarom heeft RVO een database opgezet met daarin voorbeelden van energiezuinige projecten: www.agentschapNL.nl/energiezuiniggebouwd. Voor het vullen van deze database heeft moBius consult opdracht van Kennishuis Energie Gebouwde Omgeving gekregen om 30 projecten onder de loep te nemen. Dit zijn 30 projecten die tot de energiezuinigste woningen van Nederland behoren. De oudste van de projecten is uit 2002, de nieuwste uit 2013. Het betreft verschillende soorten woningen, van appartementencomplexen tot villa's, van sociale huur tot eigenaar-bewoners. Voor al deze projecten is een nieuwe EPC-berekening gemaakt, conform de NEN 7120. Hierdoor ontstaat een actuele benchmark, die ook in de toekomst toepasbaar is.

Een randvoorwaarde om de woning in de database op te nemen, is dat de originele EPC-berekening minder is dan 0,4. Dit betekent dat de EPC van de meeste projecten bij realisatie meer dan 50% onder de wettelijke eis lag. Voor veel projecten lag deze nog veel lager. Voor meer dan de helft van de woningen ligt de herberekenende EPC onder de 0,1. Bij drie projecten kan op basis van de EPC gesteld worden dat ook (een groot deel) van de gebruikersgebonden energie wordt gecompenseerd, zodat daadwerkelijk 0 op de meter zal worden gerealiseerd.

De 30 projecten vertonen een grote variatie aan oplossingsrichtingen. Een vastgelegd concept om tot energieneutraliteit te komen is er niet. Dat is een positief gegeven. Verschillende voorkeuren blijken tot het beoogde resultaat te kunnen leiden. Binnen de variaties komen bepaalde maatregelen wel veelvuldig voor. Deze kunnen beschouwd worden als logische elementen om te komen tot een energieneutrale woning. Hieronder staan de meest voorkomende maatregelen omschreven.

In bijna driekwart van de projecten is een warmtepomp toegepast. Meestal is dit uitgevoerd in combinatie met een gesloten systeem van warmtekoudeopslag. In twee gevallen is een collectief open systeem toegepast. Met warmte-koudeopslag en een warmtepomp kan met een hoog rendement worden verwarmd en zeer energiezuinig worden gekoeld. Het comfort is dus vaak hoog.

De woningen met een warmtepomp zijn all-electric. De enige energiedrager is elektriciteit, zodat de woning geen gasaansluiting meer nodig heeft. Een nadeel op dit moment is dat elektriciteit relatief duur is in vergelijking met gas, waardoor de besparing in primaire energie niet leidt tot een evenredige besparing op de energierekening. Daarbij moet goed worden gemonitord of het systeem in de praktijk op de juiste wijze functioneert.

In enkele projecten is een warmtepomp toegepast zonder warmtekoudeopslag. Als bron van warmte wordt dan de (afvoer)lucht gebruikt. Er is in die situatie geen koeling in de zomersituatie.

Combinatie van pv +wp is een natuurlijke immers elke woning gebruikt energie. Om uiteindelijk energieneutraal te worden is het noodzakelijk om lokaal energie op te wekken. In 80% van de projecten worden hiervoor zonnecellen toegepast. De hoeveelheid zonnecellen en het type varieert sterk alsmede het vermogen. Gemiddeld wordt in de projecten door de toepassing van zonnecellen de EPC met meer dan 0,3 verlaagd.

Interessante voorbeeldprojecten die tonen dat de ontwikkelingen snel gaan zijn er in: -

- [Bakkersland](#) Grijpskerke en [Energie neutrale straat](#) en [Grijpskerke WoonEco](#)
- [Biezenakker](#)
- [Brabantwoningen](#) in St Oedenrode Ventilatie wp [De Brabant Woning](#)
- [De Kopstukken](#) Amstelveen
- [Meulenspie](#) in Breda
- [Nulwoning](#) Groenlo
- [Grijpskerke, WoonEco Nimmerdor](#) en
- [Heinkenszand, 16 CO2-neutrale woningen Heinkenszand](#)
- [Haaren, EPC nul recreatiewoning](#)
- [Ootmarsum, geen-energierekening-meer](#) [Kriegsman Ootmarsum](#)
- [Montfoort, De Poorters van Montfoort](#) en [De Poorters van Montfoort](#)

Een belangrijke ontwikkeling is te vinden in de industrialisatie en/of standaardisatie van het bouwproces. [Onno Dwars](#), de manager duurzaamheid bij Volker Wessels Vastgoed, gelooft sterk dat energienulwoningen het gaan maken, omdat de meerkosten razendsnel omlaag gaan en het concept makkelijk uit te leggen is aan consumenten. “Het gaat sneller dan menigeen denkt.” Een voorbeeld daarvan is het concept Climate Ready (www.pluswonen.nl). Een eerste serie woningen staat in [Huis ter Heide](#).

Maar ook andere bouwondernemingen zijn actief op dit gebied.

Ook voor renovatie wordt gestreefd naar energieneutraal. Vier bouwers en zes woningcorporaties tekenden 20 juni 2013, in het bijzijn van minister Stef Blok voor Wonen & Rijksdienst, de deal ‘Stroomversnelling’ om 11.000 woningen te renoveren tot een nul-op-de-energiemeter woning. Deze 11.000 woningen vormen de opmaat voor nog eens 100.000 woningen. Een hoog niveau renovatie, terwijl voor huurders de woonkosten (huur + energie) in de meeste gevallen gelijk kunnen blijven.

Voorbeelden hiervan zijn : De Koningsvrouwen van Landlust en de Rembrandttoren in Zwolle



Fig. 8.10 De Koningsvrouwen van Landlust is een renovatie- en restauratieproject in de Amsterdamse wijk Bos en Lommer.

Een uitdaging is bestaande kantoorpanden. Hier zijn voorbeelden van te vinden, zoals: -

- [Christiaan Huygens College](#) in Eindhoven is energieneutraal
- Campina in Amersfoort

Fig. 8.11 Campina in Amersfoort



8.6 Warmtedistributie en WKK

Warmtepompen en stadsverwarming lijken in eerste opzicht niet met elkaar te rijmen net als WKK en warmtepompen.

Dat is echter onterecht. De in Nederland ontwikkelde Booster warmtepomp kan in warmtedistributie juist zorgen voor optimalisatie van het gehele systeem en het verduurzamen omdat er bij toepassing ervan lagere distributie temperaturen kunnen worden gebruikt en daarmee lagere warmteverliezen. Ook kan hiermee de warmtepomp aan de opwekkingskant van de distributie beter uit de voeten. Laag temperatuur distributie en warmtepompen vormen de kern van de oplossing in een dergelijk smart systeem.

8.6.1 Warmtedistributie en warmtepompen

Het project van Vestia in Duindorp is een eerste voorbeeld in de woningbouw van warmtedistributie op basis van warmtepompen. Maar er zijn al meer voorbeelden te vinden in Nederland.

Arnhem Centraal: Een dichte concentratie van bouwmassa's is kenmerkend voor het vernieuwde Arnhem Centraal. Voor de opbouw in meerdere lagen, met parkeergarages, kantoortorens, woningen, stationsfuncties, horeca etc. was de bestaande gasinfrastructuur ontoereikend. Er is hiervoor een collectief infrastructuur energie systeem in het stationsgebied ontwikkeld. Hierdoor is het mogelijk om de gebouwen op een energiezuinige en milieuvriendelijke wijze te verwarmen met behulp van warmtepompen en te koelen met koude vanuit de centrale energieopslag in de bodem. Voor de verwarming van de aangesloten gebouwen is geen gasaansluiting meer gepresenteerd.

EnergieRijk Den Haag: Doel van het project is de realisatie van een goedkopere en schonere energievoorziening voor de Haagse km² rond station Den Haag CS.



EnergieRijk Den Haag betreft in eerste instantie de Haagse km² rond station Den Haag CS. Het gebied bevat diverse kantoren, grotendeels van Rijk en gemeente Den Haag. Daarnaast zijn er woningen, parkeergarages en recreatieve voorzieningen zoals theaters. Er wordt uitgegaan van een groeimodel; indien nuttig kan het gebied worden vergroot. De kantoren met een oppervlakte van in totaal zo'n 1.000.000 m² hebben jaarlijks een gemiddeld energieverbruik van 5,5 miljoen m³ gas/warmte en 100 GWh elektriciteit. Binnen de Haagse km² bevindt zich onder de helft van de panden WKO met warmtepompen. Deze bronnen moeten geherstructureerd worden, waardoor het aantal m² BVO van de kantoren dat op WKO wordt aangesloten kan toenemen. Daarnaast is er een stadsverwarmingnet, waarop het merendeel van de kantoren is aangesloten. Een deel van de Rijkskantoren zal op korte termijn worden gerenoveerd, deze panden zullen als eerste aansluiten. De andere panden sluiten aan op logische momenten van, bijvoorbeeld, onderhoud of afschrijving.

De [ASN Bank](#) verhuist op 31 maart 2012 naar een volledig duurzaam gerenoveerd kantoorgebouw aan de Bezuidenhoutseweg in Den Haag. De bank kiest vanuit haar duurzame missie voor de koop en renovatie van een bestaand, leegstaand kantoor-gebouw in plaats van nieuwbouw. Dankzij de renovatie gaat het nieuwe gebouw van energielabel G naar B. In de toekomst is energielabel A haalbaar als de bank de aangevraagde vergunning voor warmte-koudeopslag (wko) krijgt. Het pand is nu aangesloten op de stadsverwarming. De ASN Bank heeft besloten de levensduur van deze installatie uit te dienen voordat zij overstapt op wko.

8.6.2 WKK en warmtepompen

Hoge gasprijzen en een lage vergoeding voor teruggeleverde elektriciteit aan het elektriciteitsnet geven een negatieve spark spread. Daarmee is het financiële rendement van WKK over de volle breedte op de lange termijn onzeker. Door in projecten met een warmtepomp, die uit de rookgassen van bestaande WKK's warmte terugwint, wordt de in de WKK opgewekte elektriciteit gebruikt om de warmteopbrengst te vergroten. In de glastuinbouw kan dit een belangrijke oplossing zijn om de rentabiliteit van de systemen te vergroten.

Flexibilisering van het net kan oplossingen bieden. Het Magazine [Warmtenetwerk](#) meldde recent dat als een van de eersten het warmtebedrijf van Delft gebruik maakt van industriële warmtepompen om warmte op hogere temperatuur te leveren. De Delftse warmtepomp is gebouwd in Denemarken en dat is geen toeval: de Deense warmtebedrijven zetten tegenwoordig warmtepompen in om de prestaties van hun warmtecentrales te verbeteren. De ontwikkelingen op de elektriciteitsmarkt stimuleren die trend. De lage elektriciteitsprijzen zijn gunstig voor elektrisch aangedreven

8.7 Bedrijventerreinen.

Het [potentieel](#) van de toepassing van warmtepompen op bedrijventerreinen is groot. Een goed voorbeeld is de Ecofactorij bij Apeldoorn waar in de tweede helft van de jaren negentig de ruimtelijke visie is vastgelegd. Hoofddoelstelling daarbij was de ontwikkeling van een hoogwaardig duurzaam en grootschalig bedrijventerrein. Inmiddels is de ontwikkeling van de Ecofactorij grotendeels afgerond. Bedrijven die zich wilden vestigen op De Ecofactorij, waren verplicht tot het nemen van een aantal maatregelen. Met deze aanvullende maatregelen kon men maximaal 150 punten verdienen wat een korting van 10% op de grondprijs gaf. Met energiebesparing waren 65 punten te verdienen. Inkoop van groene stroom viel onder de vestigingsmaatregelen als verplicht.

Op het bedrijventerrein Ecofactorij zijn warmtepompen geïnstalleerd bij onder andere onderstaande grote bedrijven:

- Huisman van de Scheur Logistiek
- ITB-Kwadraat Apeldoorn, Ecofactorij
- VDL Weweler
- Grolleman Coldstore
- Sandd Hoofdkantoor Hoofdkantoor en Centrale Sorteeral Sandd



Op het bedrijventerrein Ecofactorij is er ondanks de vrij sterke grondwaterstroom nog geen probleem met onderlinge beïnvloeding van bronnen. Bij een nieuwe bron is er vanwege de korte lijnen tussen de bedrijven informatie-uitwisseling.

Momenteel werkt het bedrijventerrein aan Smart Grid toepassing. Het elektranet en het glasvezelnet zijn in eigen beheer van de bedrijven. De warmtepompen zijn uitermate geschikt voor om op onbalans te regelen.

Maar ook op andere bedrijventerreinen komen goede voorbeelden voor van geïnstalleerde warmtepompen op bedrijfspanden:

- [Inventum](#) warmtepomp fabriek te Houten
- [Bert Jansen Minicars](#) in Goor
- [Distributiecentrum Lidl](#) Nederland
- Bedrijfsgebouw [Kwakernaak](#) in Groot Ammers
- Distributiecentrum [TNT](#) in Veenendaal
- [Auto- & Truckschade](#) Maasland
- Gemeente en betrokken partijen willen van [Distriport](#) het meest duurzame bedrijventerrein van NL maken.
- Het [ECOmunitypark](#) in Appelscha wordt een werklandschap voor nationale, regionale en lokale bedrijven en organisaties, die duurzaam ondernemen hoog in het vaandel hebben. Van het ECOMunitypark wil men een duurzaam bedrijvenpark maken, waarin milieu, innovatie, en kennisoverdracht centraal staan.



Het magazijn en hoofdkantoor van schoenenketen Bovendeert in Boxtel bevat, naast duizenden kleurrijke schoendozen, ook installatietechnische hoogstandjes. Door met hulp van de internationale automatiseringsstandaard KNX een innovatief en energiebesparend airco-systeem van LG te koppelen aan een geavanceerd bestuurd elektrotechnische installatie, ontstond een duurzaam en comfortabel installatieconcept. Het toegepaste Multi V Heat Recovery systeem van LG speelt een belangrijke rol in het concept. Het is een drie-pijps warmtepompsysteem dat gelijktijdig kan koelen en verwarmen in verschillende ruimtes. De warmte die uit een ruimte wordt onttrokken in de koelmodus, is rechtstreeks te gebruiken voor ruimtes met warmtevraag en dus inpandig te verplaatsen. Van het Multi V systeem zijn op het dak vier buitendelen geplaatst die tot één installatie zijn gekoppeld.



8.3 AGRO sector

Een heel breed toepassingsgebied is de Agro Sector waar het Innovatie Netwerk actie betrokken is (www.innovatienetwerk.org). Glastuinbouw is in dit segment veruit de grootste energiegebruiker waari warmtepompen eind jaren negentig opnieuw werden geïntroduceerd. Maar ook andere sectoren, zoals de varkenshouderij, de melkveehouderij, champignoncultuur, etc kennen toepassingen met warmtepompen.

8.3.1 Glastuinbouw

Eén van de mogelijkheden om de doelen van het programma “Kas als energiebron” te bereiken is het toepassen van warmte-koude-opslag (WKO)-systemen in combinatie met warmtepompen. Om de toepassing van –onder meer- dergelijke systemen te stimuleren is met ingang van 2007 de MEI-regeling in het leven geroepen. De MEI-regeling is het operationele stimuleringsinstrument van het programma Kas als Energiebron, dat door de overheid en het bedrijfsleven is opgezet.

Sinds de start van de MEI-regeling in 2007 is al bij circa 40 tuinders (en dan met name bij gekoelde teelten) WKO toegepast.

Voor het jaarprogramma van 2013 is een van de doelstellingen om te achterhalen wat de werkelijke (energetische) prestaties van WKO-systemen in de glastuinbouw zijn en welke (technische en organisatorische) problemen eventueel optreden bij de praktische toepassing van WKO. Achterliggende gedachte is dat er uit een andere sector (de utiliteit) waar WKO al veel langer wordt toegepast signalen zijn over slecht functionerende systemen.

- Het kleinste bedrijf had een areaal van 7.300 m² (Dendrobium) en het grootste bedrijf van 78.800 m² (orchideeën)
- 15 tuinders passen (veel) belichting toe, 2 gebruiken weinig licht en 4 tuinders belichten in het geheel niet. De overige tuinders hebben dit aspect niet gespecificeerd.
- De periode waarin de WKO's zijn gerealiseerd loopt van 2003 t/m 2010
- 18 tuinders passen luchtbehandelingskasten toe, 9 HD-bevochtiging, 5 grond-/ vloerkoeling en 1 'luchtbuizen' (diverse tuinders passen meerdere opties toe)
- tuinders gebruiken hun WKO om te verwarmen én te koelen, 8 tuinders daarnaast voor ontvochtigen en 1 tuinder gebruikt de WKO naast verwarmen/koelen ook om zijn LED's te koelen én warmte uit oppervlaktewater te oogsten en in de bodem op te slaan
- Als back up voor verwarming en/of koeling geven de tuinders aan de volgende opties te hebben: 9x ketel, 8x WKK, 2x koeltoren, 2x warmtepomp, 1x koelmachine in combinatie met buitenschermen, 1x elektrische boiler, 1x koeling oppervlaktewater.

Uit het onderzoek blijkt dat meer dan 2/3 van de tuinders volledig tevreden is over de keuze voor en de toepassing van hun WKO-installaties en nog eens een kwart is tevreden met een kanttekening. De kanttekeningen hebben onder meer betrekking op de organisatorische aspecten en technische details. Deze worden hierna bij de “lessons learned” aangegeven. 9% van de tuinders geeft aan ontevreden te zijn over hun WKO-installatie.

Opvallende verschillen met de systemen die in de utiliteit worden toegepast zijn de specifieke kosten: het realiseren van WKO-systemen in de glastuinbouw kost bij dezelfde broncapaciteit beduidend minder dan in de utiliteit. Daarnaast zijn de geïnstalleerde broncapaciteiten in de glastuinbouw per MW warmtepompvermogen structureel lager dan in de utiliteit. Dit komt door de hogere temperatuurverschillen waarop de bron-systemen in de glastuinbouw worden ontworpen.

Een derde aspect betreft het verschil in marktstructuur en onderlinge relaties. In de utiliteit is er een grote (organisatorische) afstand tussen installateur en eindgebruiker, terwijl die in glastuinbouw vrijwel steeds zeer direct is (bijna overal 1 op 1). Daarbij is er in de glastuinbouw een zeer sterke band tussen opdrachtgever en installateur omdat de installateur meestal in dezelfde regio is gevestigd en ook vaak zijn roots heeft in de glastuinbouwsector.

Maar weinig tuinders zijn zich bewust van de impact die het toepassen van WKO heeft op het totale teeltsysteem. Vaak wordt WKO nog gezien als een “utility” die gewoon warmte en koude moet leveren. Daarbij wordt uit het oog verloren dat een integrale aanpak van bron-opwekking-afgifte-teeltsysteem noodzakelijk is om tot een voldoende mate van energiebesparing en rentabiliteit te komen.

8.3.2 Overige agro sectoren

Het doel van de zuivelsector is ambitieus vastgesteld als energieneutraal ‘Van koe tot eindgebruiker’. Warmtepomptechnologie speelt hier een cruciale rol in: [Zuivelsector energieneutraal](#)

De zuivelketen wil in 2020 energieneutraal zijn. concrete mogelijkheden zijn groot. Eén daarvan is ECO200. Het streven naar een energie neutrale zuivelketen is nauw verbonden met (internationale) ontwikkelingen op het gebied van duurzaamheid. Een energieneutrale ‘footprint’ is een maatschappelijke eis aan het worden (partijen als AH en Unilever vertalen dit door naar hun leveranciers). Een agrarisch ondernemer heeft beperkte mogelijkheden om energieneutraliteit na te streven. Wind- en zonne-energie blijken bij nadere beschouwing slechts deeloplossingen en een ontwikkeling als bio-raffinage is voorlopig een te dure oplossing om in de praktijk een hoofdrol te spelen.



ECO200 benut de energie (warmte) die vrijkomt uit het koelproces. Via een koelbuffer wordt de melk afgekoeld tot 4° C, direct na het melken van de koe. De vrijgekomen warmte komt vrij voor gebruik op het bedrijf en in de woning. De gemiddelde omvang van de Nederlandse bedrijven zorgt ervoor dat er een zeer hoog percentage van de warmte ook effectief kan worden benut.

Melkveehouders zitten op het eind van het netwerk. Dat betekent dat zij de eventuele tekortkomingen aan het netwerk, het eerst merken. Alle melkveehouders melken rond dezelfde tijd en nemen tegelijkertijd stroom af. Dit geldt ook voor de koeling. 's Morgens springen min of meer tegelijk alle koelmachines aan. Je ziet dan dat de lampen in de koelruimte vaak knipperen. Dit is een teken dat het netwerk het maar net aan kan. ECO200 verdeelt de afname van koelenergie over veel meer uren dan traditionele koelmachines. Bovendien ook met een veel lagere belasting. Gemiddelde piekbelasting voor koelenergie zal op 1,8 – 3,0 kW liggen.

Smart Grid: Omdat de koudebuffer van ECO200 voldoende capaciteit heeft om de hele melkbeurt te koelen, heeft ze vervolgens tot de volgende melkbeurt (8-10 uur) de tijd om deze warmte af te geven en dus weer koelcapaciteit op te bouwen. Dit levert flexibiliteit op omdat ECO200 gemiddeld voor dit proces niet meer dan 3-5 uur nodig heeft. ECO200 kan bijvoorbeeld starten als de zon gaat schijnen, of tijdens de nachtelijke uren. Alles moet wel binnen de grenzen van de warmtevraag in de woning blijven.

Enige praktijk voorbeelden van R&R Systems:

- Melkveebedrijf MTS [Molenaar-Breedveld](#)
- Maatschap [van den Breemer](#) in Soest

[Beersenbos van Acht](#) Varkenshouderij

[Maatschap Heijmans](#) in Elsendorp

[Mts Coopmans-Slangen](#)

Pluimveehouder Maatschap [Witlox Pulles](#)



9. Conclusies



In mei 2014 werd de 11^e IEA Heat Pump Conference gehouden. Kwamen wij in 1990 bij de derde IEA Heat Pump Conference nog om te leren en keken wij onze ogen nog uit, in 2014 hebben wij een boodschap voor de wereld. Zes sprekers uit Nederland waren er aanwezig terwijl er ook nog twee workshops door Nederlandse deelnemers werden gehouden. Nederland als innovatie land loopt met Europa voorop op zowel toepassing in de industrie als in de utiliteit en woningbouw.

Nederland innovatief

Technische innovaties op het gebied van warmtepompen hebben geleid tot een betere prestatie en een robuuster functioneren in complexe systemen. Dit gezet naast het inzicht bij projectontwikkelaars en bouwondernemingen dat ook het gebouw van goede kwaliteit moet zijn geeft het vertrouwen dat voor nieuwbouw de fouten uit het verleden ook echt verleden zijn.

De technologische innovaties in de markt zijn sterk vraaggestuurd en tonen de dynamiek van een zich snel ontwikkelende markt in Europa. Vrijwel alle ontwikkelingen zijn 'toepassingsgericht' op oplossingen in lijn met problematiek van marktacceptatie door de consument. Nederland is één van de meest succesvolle landen in het experimenteren en ontwikkelen van nieuwe warmtepomp toepassingen in de gebouwde omgeving. Ook op andere gebieden zijn toepassingsinnovaties aan te wijzen zoals op gebied van monitoring en daaraan gerelateerde diensten, industrialisering van het bouwproces en smart grids. Dat vooral ook in Nederland innovatieve oplossingen mogelijk zijn en ook voorkomen heeft alles te maken met de kosten gedreven markt waarin duurzaam zich moet ontwikkelen. Zowel de hybride warmtepomp als de gasgestookte sorptiewarmtepomp zijn plaatsvervangers/opvolgers van de HR-ketel. Deze ontwikkelingen vanuit de fabrikanten zelf geeft ook aan dat de markt zich naar een zekere mate van volwassenheid heeft ontwikkeld waarin concurrentie aanleiding is voor productverbetering.

A close-up photograph of a person's hand with light pink nail polish holding a black, textured book cover. The book is being held in front of a library shelf filled with books. The background is softly blurred, showing the spines of many books and warm, ambient lighting. The word "Literatuur" is printed in white, bold, sans-serif font across the black cover of the book.

Literatuur

1. - Hernieuwbare energie in Nederland 2012 – CBS rapport augustus 2013
2. - Positioning paper 'Warmtepompen en economie' - Peter Wagener, Dennis Mosterd MSc. – Harderwijk juli 2013, rapportage in opdracht van AgNL.
3. - Rendement van tapwatersystemen: blijven evalueren of duurzaam evolueren? – Charles Geelen, Tjeerd Manussen, Krijn Braber – BuildDesk/Infinitus – Arnhem 04-10-2012, rapportage in opdracht van AgNL.
4. - Geïnstalleerde kosten voor woninggebonden hernieuwbare energievoorzieningen in kleinschalige nieuwbouw en renovatie projecten – Q+P, S.J. Koster, Renkum 21-07-2012, rapportage in opdracht van AgNL.
5. - Energieakkoord voor duurzame groei – SER – 28 augustus 2013
6. - Bronproblemen, 70 % van de warmte-/koudeoplagsystemen functioneert slecht, Armand van Wijck MSc., De Ingenieur 2 nov 2012
7. - Integrale renovatieoplossingen (voor verwarming, koeling, ventilatie en warm tapwater) in de bestaande bouw, 18 oktober 2013, Projectnr: 1180 Merosch Bodegraven in opdracht van AgentschapNL
8. - Gaswarmtepompen, efficiënt verwarmen en koelen met gas, Peter Wagener, Business Development Holland b.v. Harderwijk, 2010.
9. - Annex 34 Thermally Driven Heat Pumps - final report – Fraunhofer Institute for Solar Energy – Freiburg – oktober 2012
10. - Viessmann Gas Driven Sorption Heat Pumps, Dr. Belal Dawoud, Gas Heat Pumps Workshop, 01st & 02nd December 2011 – Saint-Denis/Paris
11. - Development of a carbon-ammonia adsorption gas heat pump, prof. Robert Critoph, IEA Heat Pump Workshop, London, 13th November, 2012
12. - Solabcool, get the best comfort with pure energy, Henk de Beijer, presentatie
13. - KTOT03057 website AgNL
14. - Ketendoorbraak door duurzame COP garantie van WP installaties, UKP 1034, W.T. van den Bogerd - ITHO-Daalderop
15. - Dossier 2 Rijswijk Buiten, Praktijkleerstoel Gebiedsontwikkeling TU Delft, Programmabureau RijswijkBuiten, Deloitte Real Estate Advisory en Dura Vermeer Bouw Zuid West bv, april 2013
16. - Smart Grid to Smart Cities Island of Bornholm, presentation at European Heat Pump City of the Year Event, Brussels 2011 - Anders Troi – Henrik Bindner
17. - Domestic Hot Water Heat Pumps, Delta-ee Heat Pump Research Service, London, August 2013
18. - Housing project Meerpolder, Berkel en Rodenrijs - SEPEMO Factsheet 10 NL -
19. - Altherma Flex presentatie DAIKIN
20. - Zon Thermische daken, DWA installatie- en energieadvies, in opdracht van AgentschapNL 2NECW1201, november 2012.
21. - Emerging concepts for low energy houses in the Netherlands, Prepared for ANNEX 32 of the IEA Heat Pump Program, ir. S.J. Koster, Q+P, in opdracht van AgentschapNL Mei 2010
22. - Ik heb een idee, Energienota=0 Woningen, folder uitgegeven door Platform31, juni 2013.
23. - Warmtenetwerk Magazine nr 19 Lente 2014 – verschillende artikelen

24. - Warmte en kou opslaan in de grond lukt nog niet goed, artikel NRC 02-08-2011
25. - Meer met Bodemenergie, Interferentie, Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving – modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden, MMB 26.234/59108/MaK, Deltares in opdracht van SKB duurzame ontwikkeling ondergrond, 29 juni 2012, Gouda
26. - Energierendement bodemenergiesysteem, Wet milieubeheer, artikel “WKO, waar voor je geld!”, E.G.M. Lambregts, P.O.M. Teunissen, E. Beukenhorst, Dossiernummer: ZOD000017, Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied, Amsterdam, januari 2013
27. - Energy Piles, Renewable Energy from Foundation, Peter Smith, Sanska, Presentation at IEA workshop November 2012
28. - NRW presentatie
29. - Actualisering Innovatie-agenda TKI-EnerGO - Gezamenlijk programma Zonne energie in Gebouwde Omgeving TKI's Solar + EnerGO – 30 maart 2013
30. - Strategic Research Priorities for Cross-cutting Technology - European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling - April 2012, Brussels, © European Union, 2012
31. - Überblicksbericht 2012: Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte – Bundesamt für Energie – 2012 – Bern.
32. - Joint Government & Industry project: Solar Thermal Heat Pump Systems, 26 augustus 2013, Dr. Ir J. Van Berkel, Entry Technology Support bv in opdracht van AgentschapNL, Utrecht.
33. - Monitoring project de Elzenbrink in Ede, Klein Poelhuis Installatietechniek, maart 2013
34. - Vakblad Wärmepumpen Jaargang 5 nummer 2, april 2012.
35. - Vakblad Wärmepumpen Jaargang 5 nummer 2, april 2012.
36. - De do's-and-don'ts voor ontwikkelaars, warmtepompen in de utiliteitsbouw, Henk Bouwmeester i.o.v. Lenteakkoord, april 2012
37. - 2050 Pathways for Domestic Heat, Delta Energy & Environment Ltd, Edinburgh, 16th October 2012
38. - TKI Switch to Smart Grids, vooruitblik 2014, 27 september 2013
39. - Innovation Contract Smart Grids, Headlines of a public private partnership, Top Team Energie, August 20th 2012.
40. - Visie lokale energie, bijlage bij brief DGETM-ED / 13052596 van de minister van Economische Zaken aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal van 8 november 2013.
41. - Wärmepumpen in de transitie naar een duurzame warmtevoorziening, 02-02-2007
42. - Projecten TKI Switch2SmartGrids 2012, TKI en AgNL 10.04.2012
43. - Eurelectric views on Demand-Side Participation, EURELECTRIC Renewables Action Plan, Brussels, december 2012
44. - EHPA Newsletter, Brussels, june 2011.
45. - Energieneutrale Gebiedsontwikkeling, Pieter Hameetman, BAM, 23 mei 2013.
46. - Gebouwen Bewegen, Jasper van den Munckhof, Programmaregisseur EnergieSprong, ISBN 978-94-6104-024-4, mei 2012
47. - Energieneutrale scholen en kantoren, juli 2012 - Publicatie/nr. 2FLOK1205 AgentschapNL – Utrecht
48. - Als energie goedkoop is krijg je idiote consumptie – Interview Noé van Hulst – De Volkskrant Economie bijlage – 1 oktober 2013

49. - Een woning met 'Nul op de meter' is niet duur, Netwerk Conceptueel Bouwen, brochure 2013
50. - Ground source heating system at One New Change, Impact, January/February 2011
51. - Qualicert, Quality certification & accreditation for installers of small-scale renewable energy systems, Project supported by Intelligent Energy Europe (ALTENER), Brussels 2012.
52. - Inventarisatie zonthermische systemen, in opdracht van Stichting Zonne-energie Wageningen, ir. F.T.S. Zegers - E4S Consult B.V., mei 2013
53. - Solar Thermal Heat Pump Systems, a joint Government & Industry project, Dr. Ir J. Van Berkel, Entry Technology Support BV, 26 August 2013.
54. - De rol van thermische systemen en thermische opslag in intelligente gebouwen, Johan Van Bael, VITO, 23/11/2012
55. - Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating & Cooling, European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling, March 2013, Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-30657-0
56. - Strategic Research Priorities for Geothermal Technology, European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling, Brussels, April 2012,
57. - Woningeigenaar wil zien wat investering oplevert, interview met Pieter van Alphen – Techneco, K&S, oktober 2013
58. - EED - Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Energy Efficiency Directive
59. - Couperus Smart Grid flyer uitgegeven door AgentschapNL, 2013, <http://www.agentschapnl.nl/subsidies-regelingen/intelligente-netten/publicaties/factsheets-2013>
60. - Positioning paper: Warmtepompen & load management, BDH; Peter Wagener en Dennis Mosterd (MSc), december 2013, Harderwijk.
61. - Stand van zaken revolverend fonds energiebesparing en oprichting stichting Nationaal Energiebespaarfonds, brief van minister aan TK, dd 19 oktober 2013, kenmerk 2013-0000649101
62. - Europese wetgeving maakt warmtepompen nog beter betaalbaar en inzetbaar, presentatie Henk Kranenberg (Daikin Europa) op NPW congres te Utrecht, 2014-02-05
63. - Industrial Heat Pumps in the Netherlands, Onno Kleefkens – RVO, Utrecht 2014
64. - Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen, Richtlijn 2009/28/EG – Ministerie van Economische Zaken – 2009
65. - Input ten behoeve van Warmtevisie EZ - Lex Bosselaar, Ruud van Mossevelde, RVO Utrecht, januari 2014
66. - Onderzoek naar interferentie tussen open en gesloten bodemenergiesystemen. IF Technology, rapportnummer 62226/SB/20130911, september 2013
67. - Effecten en risico's van gesloten bodemenergiesystemen. KWR, rapportnummer BTO 2013.036, augustus 2013
68. - Simulaties warmtepomp model in bestaande netten, voor Projectgroep Smart Grids binnen Netbeheer NL, Michiel van Lumig, Hendrik Nolens (Laborelec), rapport nummer LBE02695283 - 2.0 30/10/2012
69. - Inventarisatie warmtepompmetingen WP1, voor Projectgroep Smart Grids binnen Netbeheer NL, Michiel van Lumig, (Laborelec), rapport nummer LBE02355884, dd 12/05/2012

70. - Aanbieding advies Duurzaam gebruik van de bodem voor warmte- koudeopslag door de Technische Commissie - Bodem aan de Minister van VROM. Den Haag, 6 oktober 2009 -
71. - Grootschalige monitoring van collectieve WKO installaties. Cauberg Huygen, rapportnummer 20101032-03, 5 - maart 2012 -
72. - Samenvatting van het ' Technisch onderzoek naar Gesloten bodemenergiesystemen' uitgevoerd door IF Technology, GroenHolland Geo-Energiesystemen en KWR Watercycle Research Institute, september 2013



Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht

Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht

T +31 (0) 88 042 42 42

F +31 (0) 88 602 90 23

E klantcontact@rvo.nl

www.rvo.nl/

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | november 2014

Publicatienummer: RVO-092-1401/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.