

De invloed van warmtepompen op het broeikas effect

6468

The impact of heat pumps on the greenhouse effect



J.W.J. Bouma*

Inleiding

Het IEA Warmtepompencentrum (HPC) beoogt de penetratie van warmtepompen in alle marktsectoren te versnellen en hoopt dit te bewerkstelligen door middel van het aanbieden van informatie over warmtepompen, het doorgeven van relevante kennis en het analyseren van geselecteerde onderwerpen die met warmtepompen te maken hebben. Het werkterrein van het HPC beslaat aspecten op het gebied van techniek, markt, regelgeving en het milieu. Warmtepompen leveren voordelen op voor het milieu doordat ze energie besparen en daarmee de uitstoot van het broeikasgas CO₂ verminderen door natuurlijke warmte als warmtebron te gebruiken en de behoefte aan grondwater als koelmiddel in de industrie te verminderen.

Begin 1992 werd de analyse onder de titel "De Invloed van Warmtepompen op het Broeikas effect" afgerond. In het eindrapport worden de verrichte analyse en de voorlopige resultaten besproken. De analyse is onder contract verricht door ARGE Wärmtetechnik uit Oostenrijk.

scheppen over de manier waarop en de mate waarin warmtepompen kunnen helpen bij het terugbrengen van de uitstoot van broeikasgassen. Studies over de invloed van warmtepompen op de uitstoot van broeikasgassen vormen een nieuw onderzoeksterrein waarvan de

Samenvatting

Er is een analyse gemaakt over de invloed van warmtepompen op het broeikas effect. De analyse had tot doel duidelijkheid te scheppen over de mate waarin warmtepompen kunnen helpen bij het terugbrengen van de uitstoot van gassen die het broeikas effect veroorzaken. De analyse omvat studies en bronnen uit vrij toegankelijke literatuur in IEA-landen en relevante internationale organisaties. De voornaamste conclusie van de analyse is dat de bestaande warmtepompen, reeds een aanzienlijke bijdrage leveren aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen.

Summary

An analysis on the impact of Heat pumps on the greenhouse effect has been conducted. The purpose of the Analysis was to clarify to what extent heat pumps can contribute on a reduction of greenhouse gas emissions. The scope of the analysis includes studies and sources from open literature in IEA countries and relevant international organizations.

The main conclusion of the analysis is that existing heat pumps, already contribute considerable to a reduced emission of greenhouse gases.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFK	H ₂ O
Natuurlijk (30K)	23	2	2	3	-	70
Door de mens geproduceerd (1-2K)	52	22	16	2	8	-
Directe stijging:						
- jaar 1987	50	18	5	8	19	-
- jaar 2000 M	58	20	5	9	8	-
- jaar 2000 L	62	22	6	10	0	-

M: Protocol van Montreal; L: Akkoord van Londen

Tabel 1. Verwarmingspotentieel van de aarde in %.

Broeikasgassen dragen bij aan het door de mens veroorzaakte broeikas effect, waardoor de aarde warmer wordt. Tabel 1 toont het aandeel van de betreffende broeikasgassen in het verwarmingspotentieel van de aarde (GWP) [1]. De tabel geeft het volgende aan:

- natuurlijke concentratie spoorgassen (30K);
- concentraties ten gevolge van menselijke activiteiten (1-2K);
- verhoogde concentraties gemeten in 1987;
- CFK-bepanking volgens Protocol van Montreal;
- CFK-bepanking volgens Akkoord van Londen.

Analyseproject

Doelstellingen/gebied

De analyse had tot doel duidelijkheid te

* IEA Heat Pump Centre, Sittard

ontginning een paar jaar geleden is begonnen.

De analyse heeft betrekking op recentelijk afgeronde en nog in gang zijnde studies in IEA-landen. Daarnaast heeft de analyse betrekking op relevante onderzoeken uitgevoerd door internationale organisaties. Omdat warmtepompen op verschillende manieren invloed hebben op het broeikas effect, zijn de studies in drie categorieën ondergebracht:

- a. De relatie tussen het inzetten van warmtepompen en de uitstoot van de broeikasgassen CO₂, CFK en CH₄.
- b. Besparing van elektriciteit en/of fossiele brandstoffen door warmtepompen.
- c. De effecten van alternatieve technologieën op het energiegebruik van warmtepompen en/of de uitstoot van broeikasgassen.

Het onderzoek werd in twee stappen uitgevoerd: een inventarisatie van de aangetroffen studies en de feitelijke analyse. Hierbij gaat het om volledige studies

waarvan definitieve of samenvattende rapporten beschikbaar zijn en om relevante publikaties over dit onderwerp.

Overzicht

Tabel 2 geeft een onderverdeling van de studies naar land van herkomst en categorie. Het merendeel van de studies betreft "warmtepompen en de uitstoot van broeikasgassen" (categorie a). Van de 31 onderzoeken uit de IEA-landen waarnaar wordt verwezen, zijn er veertien (45%) afkomstig uit Duitsland. Acht van de Duitse referentie-onderzoeken zijn uit de notulen gelicht van een conferentie die in oktober 1992 in Mainz werd gehouden [2]. Twee van de vijf Oostenrijkse referentie-onderzoeken zijn verkorte en gemoderniseerde versies van een eerdere studie en zijn daarom niet tot in het kleinste detail bekeken. Het totale aantal onderzoeken waaraan wordt gerefereerd, geeft aan dat men zich bewust is van de mogelijkheden van warmtepompen als een milieuvriendelijke technologie in IEA-landen. Er zijn acht referentie-onderzoeken achterhaald over "de besparing van primaire energie en warmtepompen" (categorie b) en slechts één (Noorwegen) betreffende "alternatieven voor warmtepompen" (categorie c). Tabel 3 laat zien dat 5 referentie-onderzoeken van internationale organisaties afkomstig zijn. Deze referentie-onderzoeken vallen in categorie a. Twee van de 3 referentie-onderzoeken van de Wereldenergieraad waren afgeleid van eerdere studies. Eén van de bronnen (Europese Gemeenschappen) waarnaar

Land	Categorie		
	a	b	c
Oostenrijk	5*		
Canada	1	2	
Duitsland	14		
Japan	4		
Noorwegen		3	1
Zweden	2		
Zwitserland		1	
VS	5	2**	
Totaal	31	8	1

* Waaronder 2 aan de herziene studies
** Waaronder 2 samenvattingen

Tabel 2. Aantal onderzochte studies (IEA-landen)

wordt verwezen, biedt een algemeen overzicht van de voordelen van warmtepompen (voor het milieu). Het overzicht van de referentie-onderzoeken geeft aan dat er niet veel studies zijn uitgevoerd naar CFK's en het broeikas effect in relatie tot warmtepompen. Er zijn weinig studies die betrekking hebben op CH₄ uit aardgas als een broeikasgas. De meeste studies zijn gericht op de vermindering van de uitstoot van CO₂ dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. In het merendeel van de onderzoeken wordt aandacht besteed aan elektrische warmtepompen waarbij de omgevingslucht de warmtebron vormt. Absorptiewarmtepompen, warmtepompen aangedreven door verbrandingsmotoren en industriële warmtepompen komen slechts in een klein

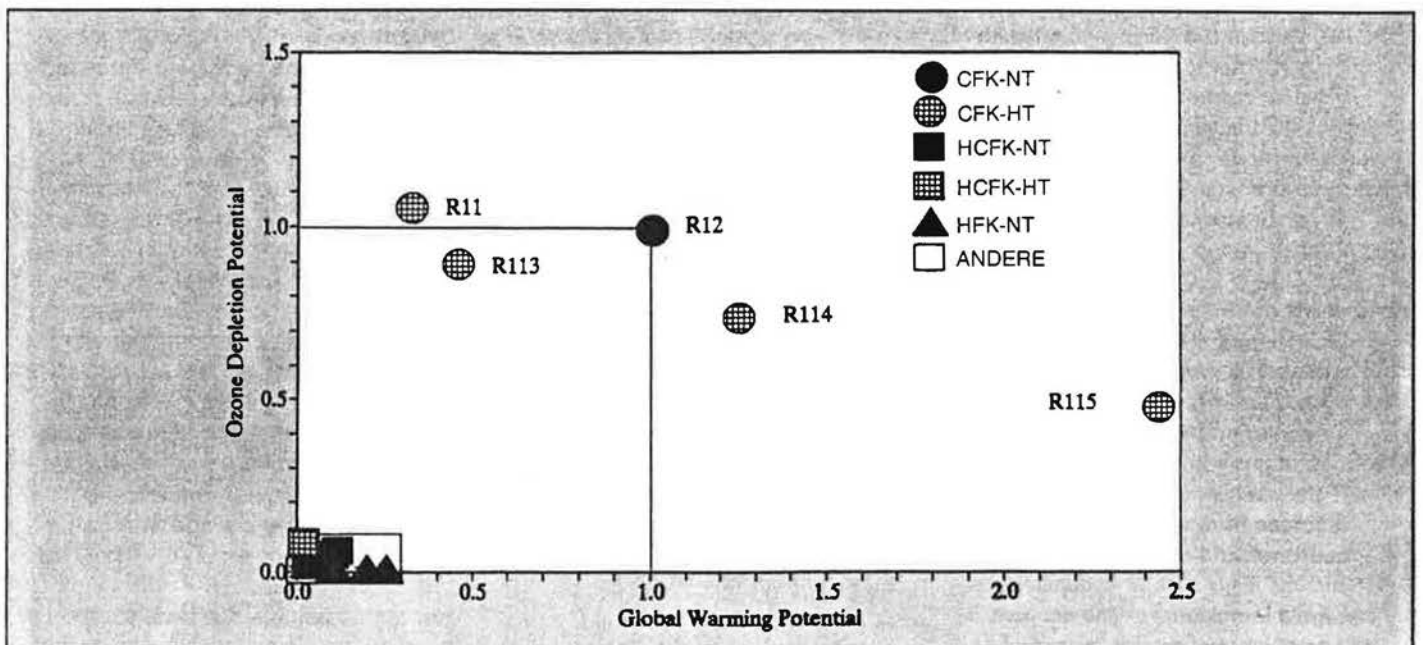
aantal studies aan de orde. Laatstgenoemde categorie warmtepomptoepassingen vormt het onderwerp van het nog in gang zijnde onderzoek IEA Annex (XXI), getiteld "De wereldwijde voordelen voor het milieu van industriële warmtepompen". Dit onderzoek heeft tot doel de toekomstige ontwikkeling van industriële warmtepompen tot en met 2010 te schetsen en tot een schatting te komen van de daaruit voortvloeiende wereldwijde voordelen voor het milieu in termen van verminderde uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O en CFK's). Een aantal onderzoeken heeft ook betrekking op het effect voor het milieu van airconditioning- en koelinstallaties.

Omdat CFK's voor ongeveer 20% verantwoordelijk zijn voor het directe broeikas effect (tabel 1), is goede kennis van hun effect met betrekking tot warmtepompen van groot belang. Het heeft enige tijd geduurd voordat CFK's als broeikasgassen werden beschouwd. Hoewel het inzicht in de invloed van CFK's op het dunner worden van de ozonlaag in de afgelopen jaren aanzien-

Organisatie	
IIASA *	1
Wereldenergieraad	3
Europese Gemeenschappen	1

* Internationaal Instituut voor Toegepast Systeemonderzoek

Tabel 3. Aantal door internationale organisaties geleverde studies (cat. a)



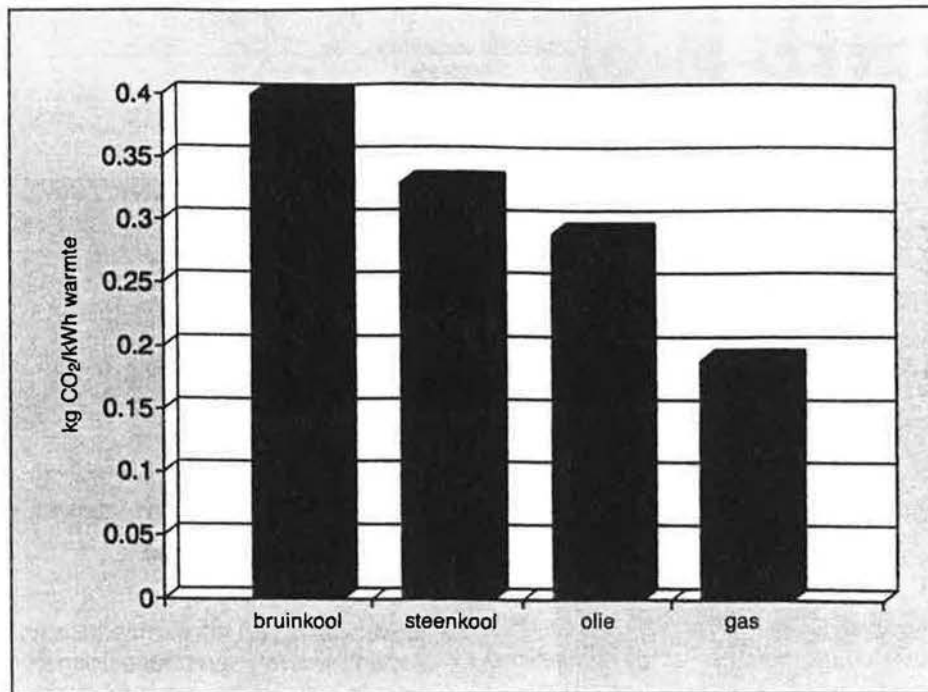
Figuur 1. Relatief ozonverduunnings- en aardeverwarmingspotentieel van koelmiddelen. NT: Lage/Gemiddelde Temperatuur HT: Hoge Temperatuur.

lijk is toegenomen. Vooral ten aanzien van aërosols, synthetische schuimsoorten, koeling en airconditioning, zou de invloed van CFK's en alternatieven voor CFK's vanuit twee gezichtspunten moeten worden bekeken: het dunner worden van de ozonlaag enerzijds en het warmer worden van de aarde anderzijds. Figuur 1 biedt een referentiekader voor het ozonverdunningspotentieel (ODP) en aardeverwarmingspotentieel (GWP) van koelmiddelen die worden gebruikt in warmtepompen, airconditioning- en koelinstallaties die vallen onder het Protocol van Montreal. Uit de onderzochte studies is gebleken dat de uitkomsten niet gemakkelijk te vergelijken zijn, aangezien de studies aanzienlijke verschillen vertonen qua aard, uitgangspunten en gehanteerde referentiesystemen. Zo worden bijvoorbeeld boilers, warmte/krachtkoppeling en stadsverwarming als referentiesystemen gebruikt. Bovendien wordt elektriciteit in IEA-landen op verschillende manieren geproduceerd, variërend van bijna 100% waterkracht tot een combinatie van 90% steenkool/10% andere bronnen, om maar twee uitersten te noemen. Daarnaast worden ook verschillende soorten brandstof gebruikt om met behulp van boilers lokale warmte te produceren. Een andere opgemerkte complicatie betreft de verschillen in prestatieniveaus van warmtepompen, de efficiëntie van de elektriciteitsproductie en cijfers met betrekking tot lekkage van koelmiddelen.

Een algemene conclusie is dat het gebruik van warmtepompen in verschillende sectoren de uitstoot van broeikasgassen, met name CO₂, reeds aanzienlijk heeft teruggedrongen. Naar verwachting zal de uitstoot van broeikasgassen in de (nabije) toekomst drastisch afnemen als gevolg van de ingebruikneming van geavanceerde warmtepompen, verminderde lekkage bij installaties en toepassing van milieuvriendelijke koelmiddelen. De mate waarin de uitstoot van CO₂ zal afnemen, hangt vooral af van de brandstofcombinatie die voor de warmte- en elektriciteitsproductie wordt gebruikt.

Brandstofcombinatie/elektriciteit

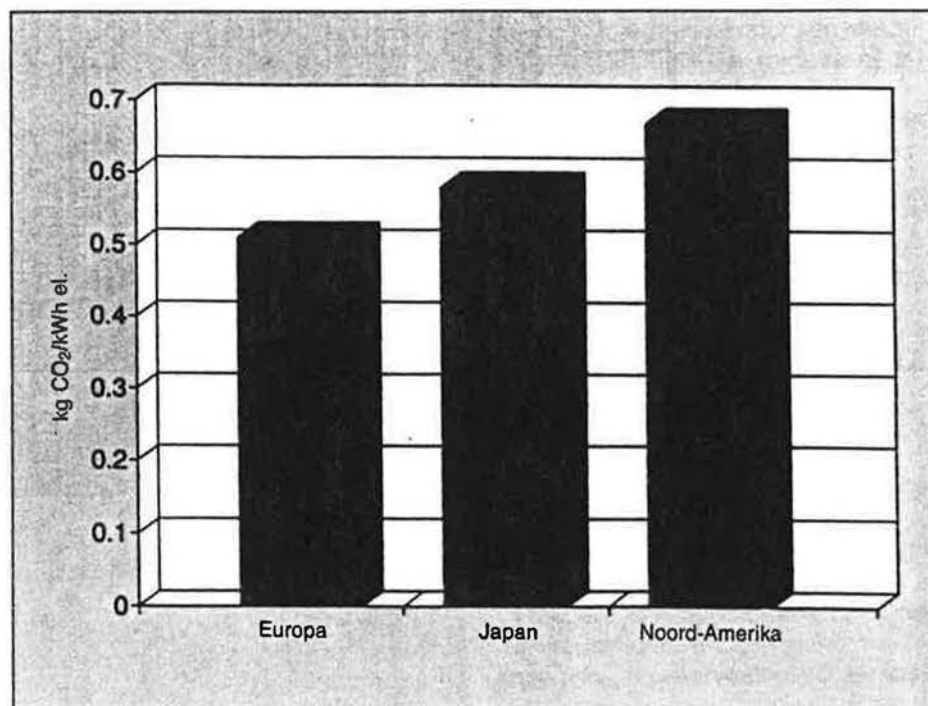
Warmtepompen maken deel uit van de energieketen die bestaat uit primaire energie zelf, energie-omzetting (elektriciteitsproductie) en de eindgebruiker van energie (opwekking van warmte/koude). De samenstelling van die elementen verschilt per land, met name de primaire-energiedragers en de voor de elektriciteitsproductie gebruikte



Figuur 2. CO₂-uitstoot van fossiele brandstoffen.

brandstofcombinatie. Dit komt tot uiting in het profiel van de uitstoot van broeikasgassen van een land bij de opwekking van warmte en koude. Figuur 2 is een illustratie van de CO₂-uitstootwaarden van fossiele brandstoffen, die in 1991 de voornaamste (80%) bron van primaire energie bleken te zijn in de landen van de OESO. Kernenergie, waterkracht, windenergie en andere CO₂-vrije bronnen nemen de rest voor hun rekening. Aardgas is milieutechnisch gezien duidelijk gunstig.

In de landen van de OESO wordt 56% van de elektriciteit met behulp van fossiele brandstoffen opgewekt, 24% door middel van kernenergie en 20% door waterkracht. In Noord-Amerika wordt 50% van de elektriciteit opgewekt door middel van steenkool. Het resultaat van de verschillende energiecombinaties voor de elektriciteitsproductie in termen van CO₂-uitstoot wordt geïllustreerd in Figuur 3. In Figuur 4 zijn de energiebronnen voor elektriciteit in de landen van de OESO onderverdeeld [3].



Figuur 3. CO₂-uitstoot ten gevolge van elektriciteitsproductie.

Onderzoek uit	Elektrische warmtepomp (SPF=3) *			Boilers		
	steen- kool	gas	olie	steen- kool	gas	olie
Oostenrijk	0,36	0,16	-	-	0,28	0,35-0,47
Canada	-	-	-	-	0,17	-
Zweden	0,29	0,14	-	-	0,24	0,35
VS	0,26	0,11	0,20	-	0,20	0,33
Duitsland	0,38	0,19	0,32	-	-	-
	0,33	0,13	0,23	0,33	0,19	0,29
WEG	0,35	0,17	0,28	0,57	0,28	0,41
	0,32	0,16	0,21	0,65	0,27	0,38
EG	-	-	-	-	0,19	0,29
	-	-	-	-	0,24	-

* SPF = Seizoensgebonden prestatiefactor.

Tabel 4. CO₂-uitstoot van elektrische warmtepompen en boilers (kg/kWh)

Analyse

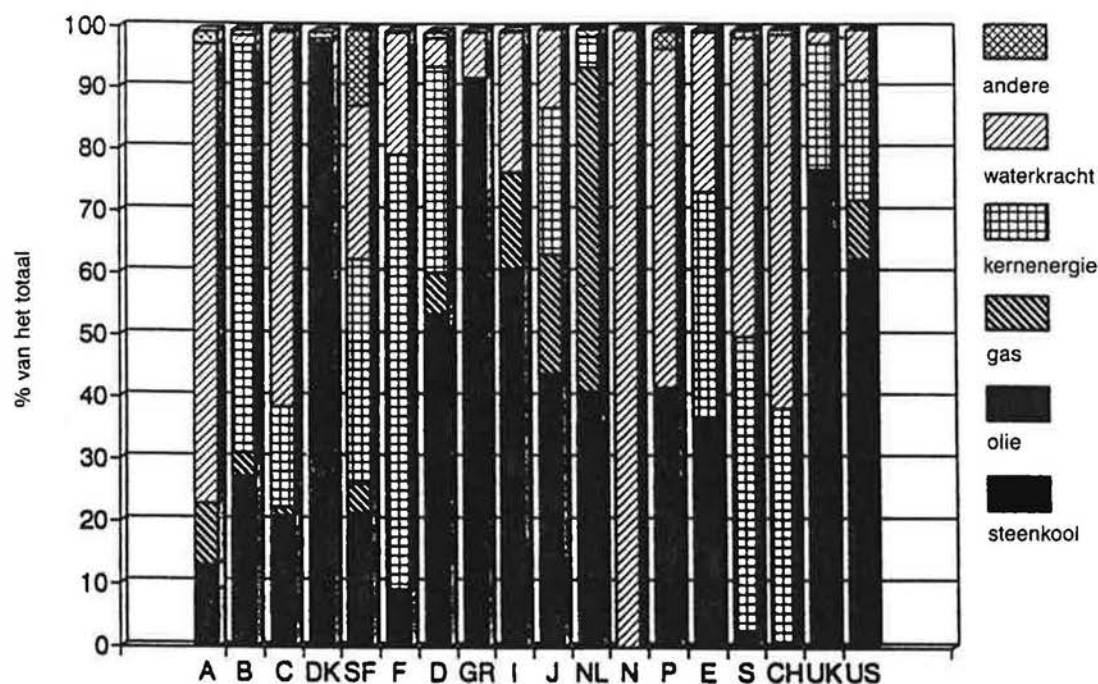
Voor de beoordeling van de studies in termen van CO₂-uitstoot door elektrische warmtepompen zijn twee benaderingen mogelijk, namelijk:

- De gemiddelde combinatie van brandstoffen voor de elektriciteitsproductie in een land wordt als uitgangspunt genomen.

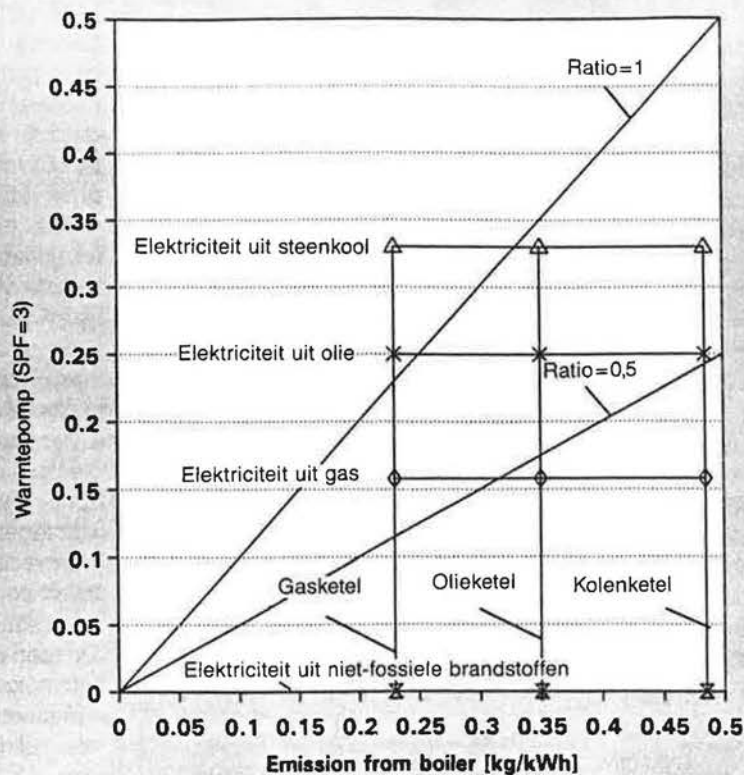
- Zowel elektriciteit als warmte (referentiepunt) worden geproduceerd met behulp van dezelfde soort brandstof. Laatstgenoemde methode is gehanteerd voor het vergelijken van de studies. Tabel 4 geeft een samenvatting van de resultaten van de vergelijking van studies uit categorie "a", betreffende compressiewarmtepompen die worden

aangedreven door elektriciteit geproduceerd met behulp van verschillende brandstoffen, te weten steenkool, aardgas en olie. De waarden staan voor de CO₂-uitstoot in kg/kWh aan geproduceerde warmte. In de cijfers is slechts de CO₂-uitstoot als gevolg van verbranding van fossiele brandstoffen over de gehele keten opgenomen. Het gebruikte referentiesysteem betreft een ketel waarvoor dezelfde soorten brandstof kunnen worden gebruikt. Ter vergemakkelijking van de vergelijking zijn de Seizoensgebonden Prestatiefactoren (SPF) op 3 gesteld. Afhankelijk van het ontwikkelingsniveau van de betreffende centrales, verschilde het rendement van de elektriciteitsproductie en -verspreiding over de gehele lijn van de studies van 30 tot 55%. De rendementen van de ketels die als referentiemateriaal dienen, zijn eveneens opgenomen. De brede spreiding van de CO₂-uitstoot door boilers is een weerspiegeling van de verschillen in het aangenomen rendement (60-100%).

Absorptiewarmtepompen komen in slechts weinige studies aan de orde; verschillende studies besteden ook aan-



Figuur 4. Samenstelling van primaire energie voor elektriciteitsproductie (OESO, 1988).



Figuur 5. Gemiddelde CO₂-uitstoot (kg/kWh) van een Elektrische Warmtepomp ten opzichte van een Boiler

dacht aan warmtepompen aangedreven door verbrandingsmotoren. De daaraan gekoppelde CO₂-uitstoot is te zien in Tabel 5.

Soort	gas	olie gas	olie
Absorptie (Duitsland/EG)	0,12-0,17	0,16	
Motorisch aangedreven (diverse studies)	-	0,09-0,15	0,16

Tabel 5. CO₂-uitstoot van warmtepompen (kg/kWh) aangedreven door verbrandingsmotoren

Voor de verschillende brandstoffen is de gemiddelde CO₂-uitstoot die gepaard

gaat met elektrische warmtepompen en referentieketels in figuur 5 weergegeven. In deze grafiek zijn alle onderzochte studies opgenomen. De effecten van andere broeikasgassen (CFK, CH₄) blijven buiten beschouwing. Met deze grafiek kan de CO₂-uitstoot van een warmtepomp met SPF 3, waarvoor met steenkool, olie en gas opgewekte elektriciteit wordt gebruikt, worden vergeleken met de CO₂-uitstoot van een ketel die dezelfde gebruikt. De lijnen met constante CO₂-ratio's (1 en 0,5) voor de warmtepomp en de ketel vergemakkelijken de vergelijking. Het rechthoekige veld beslaat alle mogelijke opties voor vergelijking van elektrische warmtepompen en ketels. De grafiek voorziet tevens in de mogelijkheid voor elke brandstofcombinatie de CO₂-uitstoot bij de pro-

duktie van elektriciteit en het verbranden van brandstof voor het lokaal opwekken van warmte af te leiden.

Figuur 5 toont aan dat, in vergelijking met ketels, elektrische warmtepompen 20 tot 30% minder CO₂ uitstoten bij gebruik van dezelfde brandstof. Verder kan worden opgemerkt dat het vervangen van een gasketel door een elektrische warmtepomp die wordt aangedreven met de elektriciteit van een kolen centrale per saldo een reductie van de CO₂-uitstoot oplevert. Overigens leidt, nog afgezien van de gebruikte brandstofcombinatie, de vervanging van een kolenketel door een elektrische warmtepomp in elk geval tot een verminderde CO₂-uitstoot. Samengevat komt de CO₂-uitstoot van elektrische warmtepompen (SPF 3) op het volgende neer:

- 0,26-0,38 kg/kWh in het geval van kolen (ketel: 0,33-0,65 kg/kWh);
- 0,20-0,32 kg/kWh in het geval van olie (ketel: 0,29-0,47 kg/kWh);
- 0,11-0,19 kg/kWh in het geval van gas (ketel: 0,17-0,28 kg/kWh).

De gegevens in Tabel 5 maken duidelijk dat de gemiddelde CO₂-uitstoot bij absorptie- en (verbrandings)motorisch aangedreven warmtepompen minder is dan die bij ketels. Het motorisch aange-

Onderzoek uit	Koelmiddel	Verlies (%)	Uitstoot
Oostenrijk	R12	4,7-6,6	0,056-0,10
Oostenrijk	R22	4,6-6,6	0,008-0,033
Canada	R22	12	0,12
Canada	R11	12	0,25
VS	R22	6	0,004
VS	R134A	6	0,003
Duitsland	R12	6	0,01
Duitsland	R22	6	0,0006

Tabel 6. Equivalente CO₂-uitstoot van koelmiddelen (kg/kWh)

dreven type produceert de minste hoeveelheid CO₂ (0,09-0,15 kg/kWh met gas), hoewel deze machines naast CO₂ ook NO_x produceren (de uitstoot van NO_x viel buiten het kader van deze analyse).

In vier landen werden studies naar het effect van het weglekken van koelmiddelen gevonden. De in relatie tot de warmtepompen beschouwde koelmiddelen waren R12, R22, R11 en R134a. De equivalente CO₂-uitstoot van koelmiddelen is samengevat in Tabel 6. Hoewel een vergelijking hier nauwelijks mogelijk is vanwege de verschillen in de onderzoeksuitgangspunten, zoals bijvoorbeeld jaarlijkse lekkage, zijn de gelijkwaardige CO₂-uitstootwaarden over het algemeen vrij consistent. Deze studies geven tevens aan dat regelingen gericht op het terugdringen van de verspilling en het recyclen van deze koelmiddelen prioriteit moeten krijgen. Bovendien is duidelijk dat R22 en R134a beduidend minder bijdragen aan het broeikas effect dan CFK's. Dat neemt echter niet weg dat ze toch aan het totale effect bijdragen. Het onderzoek uit de VS [4] heeft ook oog voor het weglekken van koelvloeistof uit diepvriezers, koelapparatuur en air-conditioning-apparatuur in auto's. De conclusie van het onderzoek is dat bij koelmiddelen het grootste effect kan worden bereikt door milieuvriendelijke koelmiddelen te gebruiken. Op de tweede plaats komt het terugdringen van verliezen tijdens de gebruiksduur van de apparatuur. De equivalente CO₂-uitstoot ten gevolge van het weglekken van aardgas (CH₄) uit systemen die energie op gasbasis gebruiken, levert een ander beeld op. Afhankelijk van de veronderstelde verliezen tussen 0,33 en 2,8%, wordt een equivalente CO₂-uitstoot tussen de 0,002 en 0,02 kg/kWh afgeleid. Slechts een gering aantal referentieonderzoeken waagt zich aan schattingen ten aanzien van de invloed van het gebruik van warmtepompen op het broeikas effect in termen van CO₂-vermindering op landelijk niveau. De mogelijke vermindering van CO₂ door het in gebruik nemen van Super-Warmtepompen in Japan wordt voor gebouwen op 0,6% geschat en voor de industrie op 0,1%. Het totale, economische CO₂-verminderingspotentieel van warmtepompen wordt geschat tussen de 2 en 4,2% van de totale CO₂-uitstoot [5]. Voor Oostenrijk wordt het totale economische potentieel geschat op 4% (technisch potentieel van 6%) en voor Duitsland schommelt dit potentieel tussen de 0,07 en 0,7% (technisch poten-

tieel 2,6 tot 9%). In de VS wordt het economische potentieel voor verwarmings- en koelapparatuur op 1,9 tot 2,3% geschat.

Op grond van deze analyse kan in het algemeen worden geconcludeerd dat warmtepompen reeds een aanzienlijk bijdrage leveren aan het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen. Momenteel produceren warmtepompen op verschillende markten jaarlijks ongeveer 306 TWh nuttige warmte (92% voor gebouwen, 3% voor industrie, 5% voor stadsverwarming). Een behoorlijk aantal studies richt zich op de invloed van warmtepompen op het broeikas effect, maar voor het effect van andere warmtepompen dan elektrische - bijvoorbeeld adsorptie-, chemische en andere nieuwe typen warmtepompen - is een bredere basis vereist.

- bijvoorbeeld adsorptie-, chemische en andere nieuwe typen warmtepompen - is een bredere basis vereist.
- Warmtepompen zouden tot een aanzienlijk effect kunnen leiden indien:
 - de efficiëntie van de elektriciteitsproductie uit fossiele brandstoffen verder wordt vergroot;
 - geavanceerde, hoogrendements-warmtepomptechnologie wordt toegepast;
 - warmtepompen worden beschouwd, ontworpen en toegepast als deel van een energiesysteem;
 - weglekken van koelmiddelen tot een minimum wordt beperkt, zelfs als het gaat om milieuvriendelijke koelmiddelen (betrouwbaarheid/brandbaarheid/toxiciteit).

Conclusies

- De kwantiteit en kwaliteit van de beoordeelde studies leveren het bewijs dat men zich in IEA-landen bewust is van het milieuvriendelijk potentieel van warmtepompen.
- In de meeste studies wordt ingegaan op de vermindering van de uitstoot van CO₂ door warmtepompen. Er is echter een bredere kennisbasis nodig voor het bepalen van de totale invloed van thermisch aangedreven warmtepompen en nieuwe typen warmtepompen (adsorptie-, chemische enz.) en warmtepompen in combinatie met warmteopslag.
- Elektrische warmtepompen produceren 20 tot 30% minder CO₂ dan ketels die dezelfde basisbrandstof gebruiken. Nog afgezien van de voor de elektriciteitsproductie gebruikte brandstofcombinatie produceert een willekeurige elektrische warmtepomp

toch nog minder CO₂ dan een kolenketel.

- De totale equivalente CO₂-uitstoot als gevolg van het weglekken van koelmiddelen (R22) en CH₄ is van dezelfde orde als die van elektrische warmtepompen waarbij gas de primaire energiebron is. Met het gebruik van milieuvriendelijke koelmiddelen en lekdichtere systemen kunnen de equivalente effecten praktisch worden verwaarloosd.
- Het economische potentieel van warmtepompen voor het terugbrengen van de totale belasting van de CO₂-uitstoot in IEA-landen wordt geschat op 0,07 tot 4,2%, het technische potentieel op 2,6 tot 9%.
- Het tegenwoordige gebruik van warmtepompen in alle marktsectoren levert een aanzienlijke vermindering van broeikasgassen op, vooral CO₂. De toepassing van geavanceerde technologie en het gebruik van milieuvriendelijke koelmiddelen biedt veel ruimte voor verdere vermindering.

Referentie-onderzoeken:

- [1] P.V. Gilli.
Oekologische Bedeutung der Wärmepumpen. Report No. 353/11. Verband der Elektrizitätswerke Oesterreichs. Wien, 1990.
- [2] H.J. Laue, A. Lehmann.
Bedeutung der Wärmepumpe zur Minderung von CO₂-Emissionen. IZW 1/91. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik. Karlsruhe, 1991.
- [3] Publikaties van de OESO/IEA:
 - Energy balances of OECD countries, 1980-1989;
 - Energy Technologies for Reducing Emissions of Greenhouse Gases (Proc. Seminar Paris 1990);
 - Greenhouse Gas Emissions. The Energy Dimension (1991).
- [4] S.K. Fischer e.a.
 - Energy and Global Warming Impacts of CFC Alternative Technologies, ORNL; Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, AFEAS/DOE 1991.
- [5] P.V. Gilli e.a.
 - The Impact of Heat Pumps on the Greenhouse Effect. Draft final report ARGE Wärmetechnik, January 1992, prepared for the IEA Heat Pump Centre.

Het HPC zal het analyserapport getiteld "De Invloed van Warmtepompen op het Broeikas effect" halverwege 1992 uitbrengen.