

# Energiebesparing met warmtepompen voor ruimteverwarming

*Reduction of energyconsumption by means of heat-pumps for space heating*

Prof. ir. H. van der Ree\*



## Samenvatting

Ruimteverwarming met de gebruikelijke verwarmingstoestellen gaat met grote thermodynamische verliezen gepaard.

Met thermodynamische ruimteverwarming door middel van de warmtepomp kan voor eenzelfde warmteopbrengst met minder brandstof worden volstaan. Sommige warmtepompuitvoeringen kunnen het brandstofgebruik halveren. De geleidelijke stijging van het rendement van de centrale elektriciteitsopwekking verbetert het perspectief om met elektrische warmtepompen energie te besparen. Van alle soorten warmtepompen is de elektrische warmtepomp technisch het eenvoudigst.

De financiële rentabiliteit is echter in ruimteverwarmingstoepassingen slecht. Daarom wordt voor dit marktsegment in Nederland gemikt op warmtepompen op aardgas.

## Summary

Conventional systems for space heating show considerable thermodynamic losses. Space heating by means of a heat-pump can result in half of the primary energy-consumption, at a given final rate of consumption. Because of the gradual increase of the efficiency of central power production there are now better chances for electrically driven heat-pumps.

Of all choices, the electrically driven heat-pump is from a technical point of view the simplest option. However, the financial aspects do not favour the application for space heating in the Netherlands. Therefore, for that market natural gas fired heat pumps are preferred.

## Inleiding

Sinds mensenheugenis houdt de mens zijn verblijfplaats warm door het verstoken van brandstof. Hoewel de apparatuur waarmee dat gebeurt, geëvolueerd is naar een hoog rendement en technische perfectie, is het proces in wezen niet veranderd en verre van optimaal. De warmte die aan de vraagzijde bij lage temperatuur, op zijn hoogst enkele tientallen graden boven omgevingstemperatuur nodig is, wordt verkregen ten koste van een geweldige degradatie van de warmte, die het verbrandingsproces bij hogere temperatuur genereert. De thermodynamica leert ons dat aan warmte een zekere kwaliteit kan worden toegekend, die des te hoger ligt naarmate de temperatuur van deze warmte hoger (of lager) ligt dan de temperatuur van de natuur om ons heen. In termen van deze kwaliteit is het rendement van de gebruikelijke verwarmingssystemen lager dan 7%. Wanneer men zich hierbij ook nog realiseert op welk een grote schaal dit proces wordt toegepast (in Nederland vertegenwoordigt woning- en gebouwverwarming 31% van het nationale energiegebruik) dan is het duidelijk dat hier grote kansen liggen om energie te besparen.

## WK/WP

Wanneer thermodynamische ruimteverwarming in een breder kader wordt geplaatst, vormt warmte/kracht opwekking eveneens een zinvolle optie. In deze systemen kan ook de warmtepomp functioneren om de warmte/kracht opbrengst in overeenstemming te brengen met wat wordt gevraagd. Evenals de warmtepomp levert warmte/kracht een aanzienlijke energiebesparing op, en uitzicht op een nog hogere energiekostenbesparing. Warmte/kracht profiteert in dit verband van de hoge verhouding elektra/gas prijs, zoals de elektrische warmtepomp daarvan nadeel ondervindt. Voor deze verhouding is de rentabiliteit van de elektrische warmtepomp zeer gevoelig. De met aardgas gedreven warmtepompen als de absorptie warmtepomp en de brandstofmotor/compressor warmtepomp zijn daarentegen voor deze verhouding tamelijk ongevoelig.

Deze bijdrage schetst de merites van warmtepompen voor ruimteverwarming en van twee warmte/kracht systemen op de punten energiebesparing en energiekostenbesparing. Het betreft een grove indicatie, die voorbij gaat aan de nuances van praktijksituaties, bedoeld om een eerste houvast te geven voor het vaststellen van een beleid op dit terrein.

Op deze kansen kan worden ingespeeld met thermodynamische ruimteverwarming. Dit betreft een klasse van apparatuur, waarin door middel van een thermodynamisch proces de kwaliteit van beschikbare hoogwaardige warmte beter wordt benut. Tot deze klasse behoren warmtepompen.

De grote belangstelling die er de laatste 20 jaren wereldwijd voor warmtepompen bestaat, komt voort uit enerzijds het inherent goede principe achter de warmtepomp, wat per toepassing tot aanzienlijke brandstofbesparing kan leiden, anderzijds uit het feit dat het warmtepomp principe kan worden vertaald in een zeer grote variatie aan uitvoeringen en toestelvermogens. Hierdoor kan flexibel worden ingespeeld op de eisen die vanuit allerlei typen van woningen en gebouwen aan de verwarmingsapparatuur worden gesteld. Warmtepompen zijn derhalve breed toepasbaar in alle onderdelen van de markt. Een belangrijk aspect is dat warmtepompen kunnen worden gevoed met brandstof, warmte of elektriciteit, waardoor deze techniek een instrument kan zijn in de nationale energiepolitiek om een gewenste verdeling van energiedragers te bereiken.

De keerzijde van de grote keuze in de uitwerking van het warmtepomp principe is dat het moeilijk is om vast te stellen

\* Technische Universiteit Delft  
Laboratorium voor Koudetechniek en  
Klimaatregeling

op welke ontwikkeling men zich zou moeten concentreren. Ook in ons land is de vraag thans weer nadrukkelijk aan de orde welk nationaal onderzoekbeleid op dit gebied gewenst is. Vandaag wordt in deze workshop op ons een wissel getrokken om aan deze beleidsvorming bij te dragen.

### Thermodynamica

Om inzicht te krijgen in de energetische voordelen van warmtepompen is het nuttig om allereerst te bepalen wat warmtepompen theoretisch kunnen presteren. Hieraan kunnen dan praktische processen worden getoetst, waardoor zichtbaar wordt welke marge er is om deze processen nog te verbeteren. In figuur 1 is de warmtepomp afgebeeld in wisselwerking met zijn omgeving. Warmte wordt onttrokken aan een omgeving met een lage temperatuur en afgestaan aan het verwarmde systeem. De warmtepomp wordt gevoed met warmte van nog hogere temperatuur (thermisch gedreven warmtepomp) of met mechanische energie c.q. elektriciteit. Wanneer alle transformaties verliesvrij verlopen volgt uit de tweede hoofdwet van de thermodynamica dat de entropie van het hele systeem niet verandert. In figuur 1 is voor de thermisch gedreven warmtepomp aangegeven hoe dit gegeven, in combinatie met de energiebalans, een uitdrukking oplevert voor de warmteverhouding  $\xi$ , die gedefinieerd is als het quotiënt van de opbrengstwarmte en de aandrijfwarmte. Deze functie is voor een aantal tempera-

tuurwaarden van drijfenergie en omgeving afgebeeld in figuur 2. De getrokken kurven gelden voor een omgevingstemperatuur van 6°C, waarbij gedacht is aan buitenlucht als warmtebron. Voor woningverwarming moet warmte worden geproduceerd op een niveau van 20°C. Op basis van deze condities kunnen zeer hoge warmteverhoudingen worden bereikt; een drijfenergietemperatuur van 500°C levert bijv. een waarde van 13,4 op.

In de praktijk vallen tengevolge van allerlei verliezen, de warmteverhoudingen aanzienlijk lager uit. Belangrijke verliesposten ontstaan door de temperatuurverschillen voor de warmteoverdracht. Wanneer bijvoorbeeld in bovenstaand geval de koude zijde van de warmtepomp inwendig op -5°C werkt om de buitenlucht te kunnen afkoelen, en de warme zijde inwendig op +50°C om water te verwarmen in een radiatorsysteem, dan daalt de warmteverhouding al tot 3,8.

In het algemeen is de temperatuur van de drijfwarmte de hoogste, die op de warmtepomp inwerkt. Het is evenwel ook mogelijk dat deze temperatuur lager is dan die van het verwarmde systeem. Dit is een interessante optie als men beschikt over een overschot aan laag calorische warmte en behoefte heeft aan warmte op een hogere temperatuur. Zo'n warmtetransformatie is thermodynamisch zeer wel mogelijk, zoals blijkt uit figuur 2, en voert tot een voor industriële toepassingen interessante categorie van apparatuur, de zoge-

naamde warmtetransformatoren. Ook voor de klasse van warmtepompen, die met elektrische of mechanische energie worden aangedreven, kan in figuur 2 de specifieke prestatie worden afgelezen. Deze wordt uitgedrukt in de warmtefactor, die gedefinieerd is als de verhouding tussen de opbrengstwarmte en de opgenomen elektrische/mechanische energie. Op de verticale as van figuur 2 projekteert zich deze warmtefactor wanneer de curve voor een oneindig hoge drijfenergietemperatuur wordt gehanteerd.

### Hoofdkategorieën warmtepompen

Warmtepompen zijn op vele wijzen te klassificeren. Qua hoofdindeling zijn drie categorieën te onderscheiden wanneer wordt gelet op het feitelijke warmteproces (negatieve kringloop) en de wijze waarop dit proces wordt aangedreven. De meest toegepaste variant is de *elektrische warmtepomp*, aangesloten op het openbare elektriciteitsnet. In het in figuur 3 weergegeven schema is de energiehuishouding van de woning geheel gebaseerd op elektriciteit. Grote verbreiding van elektrische warmtepompen op het openbare net leidt tot een nationaal andere energiestructuur. Dit is niet het geval bij de *gasgestookte absorptiewarmtepomp* en de *gasmotorwarmtepomp*, die perfect passen in de bestaande energie-infrastructuur. Omdat bij deze twee uitvoeringen de afvalwarmte uit het proces dicht bij de gebruiker vrijkomt, vormt deze warmte een deel van de opbrengst van het

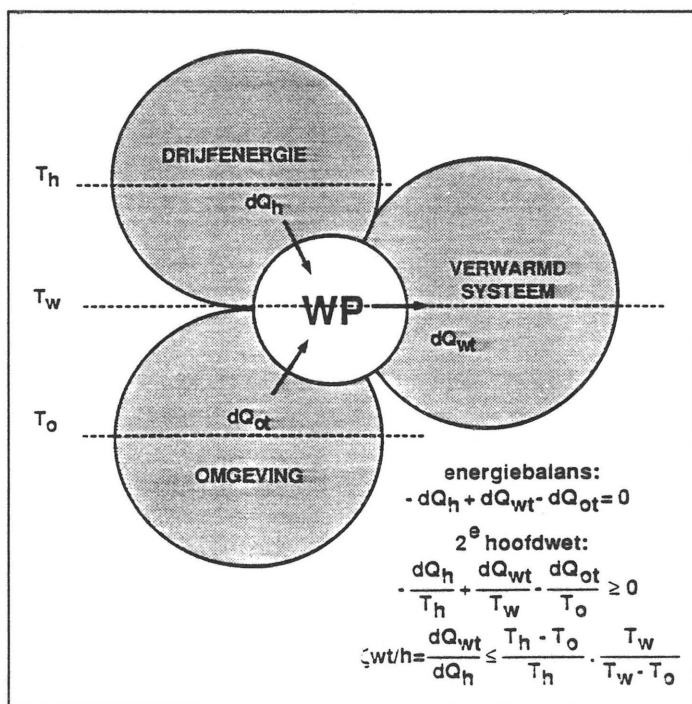


Fig. 1. Warmtepomp en omringende systemen.

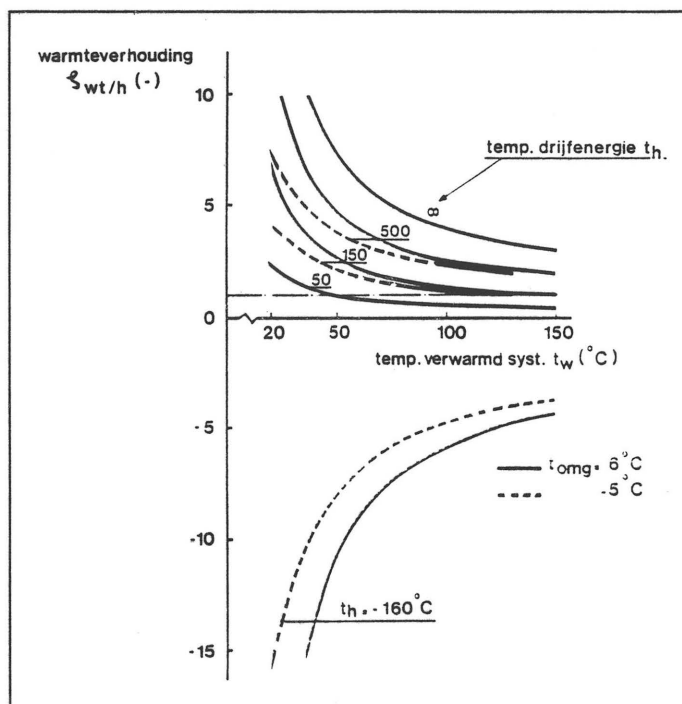


Fig. 2. Warmteverhoudingen voor een reversibel thermisch gedreven warmtepompsysteem.

stelsel. De elektrische warmtepomp op het openbare net mist dit voordeel, maar kan daarentegen profijt hebben van de geleidelijke stijging van het gemiddelde rendement van centrale elektriciteitsopwekking.

Wat zijn nu de merites van de afgebeelde systemen met betrekking tot besparing van primaire energie? In figuur 4 zijn hiervan per variant bandbreedten geschetst, waarbij zich aan de onderzijde de zeer goede uitvoeringen bevinden en aan de bovenzijde van de staven de toestellen met een laag rendement. De elektrische warmtepomp is afgebeeld voor drie waarden van het centralerendement, inclusief distributie, namelijk voor de huidige waarde van 35% en voor twee betere rendementen, die de toekomst weerspiegelen.

Figuur 4 laat zien dat met alle goede warmtepompuitvoeringen de brandstofbehoefte tot de helft van die van de cv-ketel kan worden teruggebracht. Bij de met aardgas gedreven warmtepompen wordt er altijd energie bespaard, ook al is het rendement van de warmtepomp laag. Bij de elektrische warmtepomp moet men in dit opzicht voorzichtiger zijn, een lage warmtefactor brengt deze warmtepomp op een primair energieverbruik, overeenkomstig dat van een goede cv-ketel. Anderzijds kan een zeer goede elektrische warmtepomp evenveel opleveren als een goede warmtepomp op aardgas, zeker bij een hoog centralerendement.

Hoe de energiebesparing van de verschillende systemen zich vertaalt naar lagere brandstofkosten is in figuur 5 afgebeeld. De verhouding tussen de met aardgas gedreven systemen komt uiteraard overeen met die in figuur 4, maar bij de elektrische warmtepomp komt een heel ander beeld naar voren. Voor deze categorie warmtepompen is de verhouding tussen de elektriciteits- en gasprijzen een cruciale parameter. In ons land ligt deze verhouding momenteel op 4,5 en dit maakt dat toepassing van de elektrische warmtepomp in veel gevallen tot hoge energiekosten leidt. Zou de prijsverhouding dalen tot 3,5, een waarde die men bijvoorbeeld in de Verenigde Staten tegenkomt, dan wordt het beeld wel veel gunstiger, maar zijn het toch alleen de zeer goede warmtepompuitvoeringen die enigermate scoren. Dit onderstreept nog eens dat het grootste struikelblok voor de toepassing van elektrische warmtepompen voor verwarmingsdoelstellingen in ons land de slechte financiële rentabiliteit is. In ons

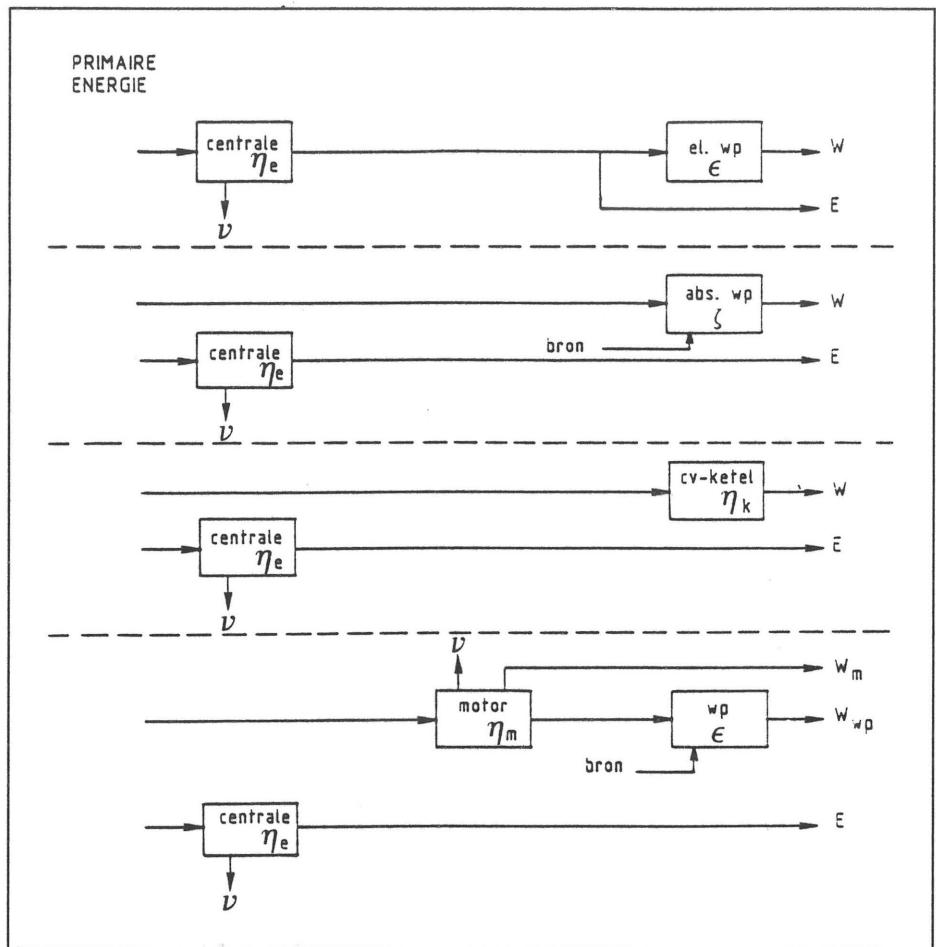


Fig. 3. Varianten verwarmingssystemen.

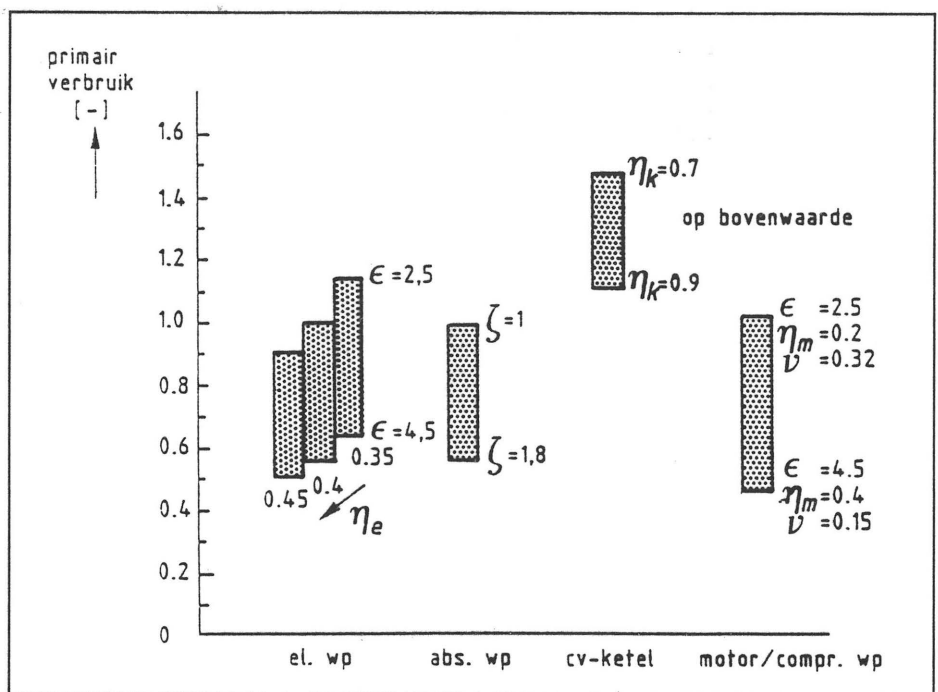


Fig. 4. Verbruiksverhoudingen primaire energie.

land is daarom de aandacht geconcentreerd op de met aardgas gevoede systemen.

#### Warmte/kracht en warmtepomp

Zoals hiervoor is uiteengezet, is met warmtepompen thermodynamische

ruimteverwarming te realiseren. Een andere manier om op thermodynamisch verantwoorde wijze met primaire energie om te gaan vormen warmte/kracht-systemen. Deze zijn in Nederland duidelijk in opmars en het is de vraag hoe dit alternatief zich verhoudt ten opzichte

van de warmtepomp. Daarom zal het energieaspect van decentrale warmte/kracht kort worden belicht. Evenals in het vorige hoofdstuk gaat het hierbij slechts om globale indicaties op basis van een oppervlakkige beschouwing.

Een kenmerk van de gelijktijdige opwekking van warmte/kracht met brandstofmotoren is dat warmte en elektriciteit in een vaste verhouding tot elkaar worden geleverd. Deze verhouding komt gemiddeld in het geheel niet overeen met de gevraagde aardgas/elektriciteitsverbruiksverhouding bij de Nederlandse huishoudens. Door de besparingen in de laatste decennia is deze verbruiksverhouding geleidelijk afgenomen. Momenteel is de verhouding gas/elektra circa 5, tegen 8 in 1985 en 13 in 1976. Ondanks deze teruggang is de warmtebehoefte minstens driemaal groter dan de warmte/kracht installatie levert als deze is afgestemd op de elektriciteitsbehoefte. Door bijstoken kan in dit tekort worden voorzien (fig. 6), maar dit gaat natuurlijk wel ten koste van het rendement van het systeem als geheel. Thermodynamisch is daarom combinatie met een warmtepomp een betere oplossing. Deze toepassing van de warmtepomp behelst dus het balanceren van de warmteproductie van warmte/kracht

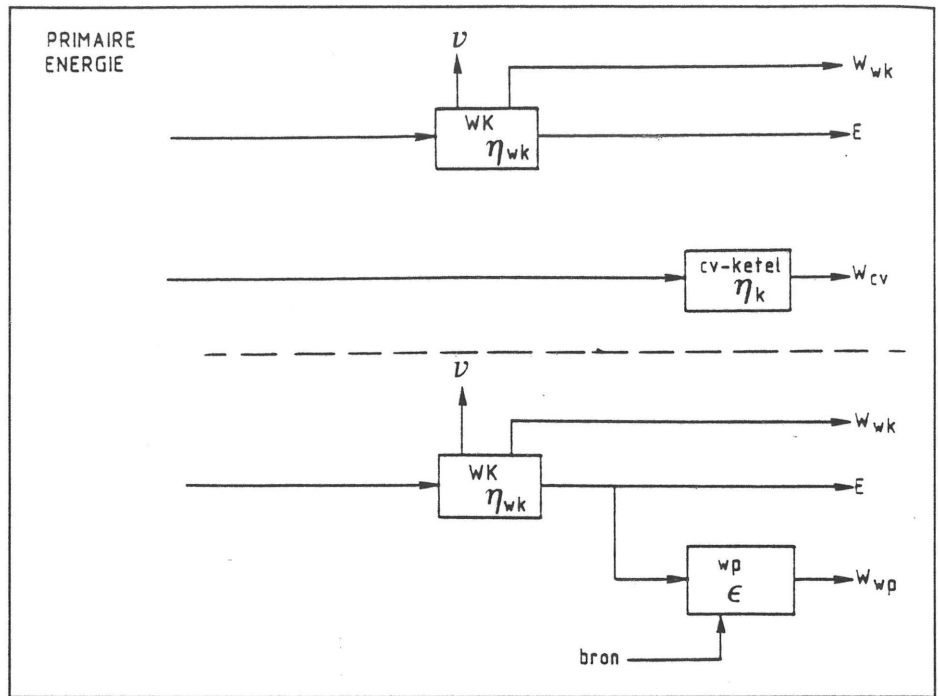


Fig. 6. Dekking warmtekort bij warmte/krachtoepassing door een ketel of een warmtepomp.

systemen en maakt op een thermodynamisch verantwoorde wijze deze systemen flexibel met betrekking tot het voldoen aan vraagpatronen.

In figuur 7 is afgebeeld op welk primair energieverbruik men terecht komt voor

elk van deze warmte/kracht uitvoeringen, als voldaan wordt aan een zekere jaarlijkse warmte- en elektriciteitsbehoefte van een woning. In dezelfde figuur zijn ook de verbruiken geschetst van de eerder besproken systemen waarin warmtepompen en de ketelinstallatie als referentiesysteem een rol spelen. Hierbij zijn op basis van de stand van de techniek, realistische waarden gekozen voor rendementen, etc.

Warmte/kracht in combinatie met een warmtepomp komt duidelijk naar voren als het meest energiebesparende systeem. Opvallend is echter dat de extra besparing, verkregen door het toepassen van de warmtepomp in plaats van een c.v.-ketel in het warmte/kracht systeem, bescheiden is. Vanuit de referentiesituatie, de c.v.-ketel, is de grootste sprong al gemaakt door introductie van warmte/kracht op zich, niettegenstaande het lage rendement van de bijverwarming. De hiermee bereikte energiebesparing wordt overigens ook gehaald door de absorptiewarmtepomp. Wanneer wordt gelet op de energiekosten, die aan elk systeem vastzitten, dan blijken de warmte/kracht eenheden het laagst uit te komen. Evenwel ook hierbij de aantekening, dat de warmtepomp niet veel meer toevoegt aan de kostenbesparing die reeds met de eenvoudiger warmte/kracht uitvoering, waarin wordt bijgestookt met een ketel, is bereikt.

Omdat het ingewikkelder apparaten betreft, is aan thermodynamische ruimteverwarming een hogere aanschaf-

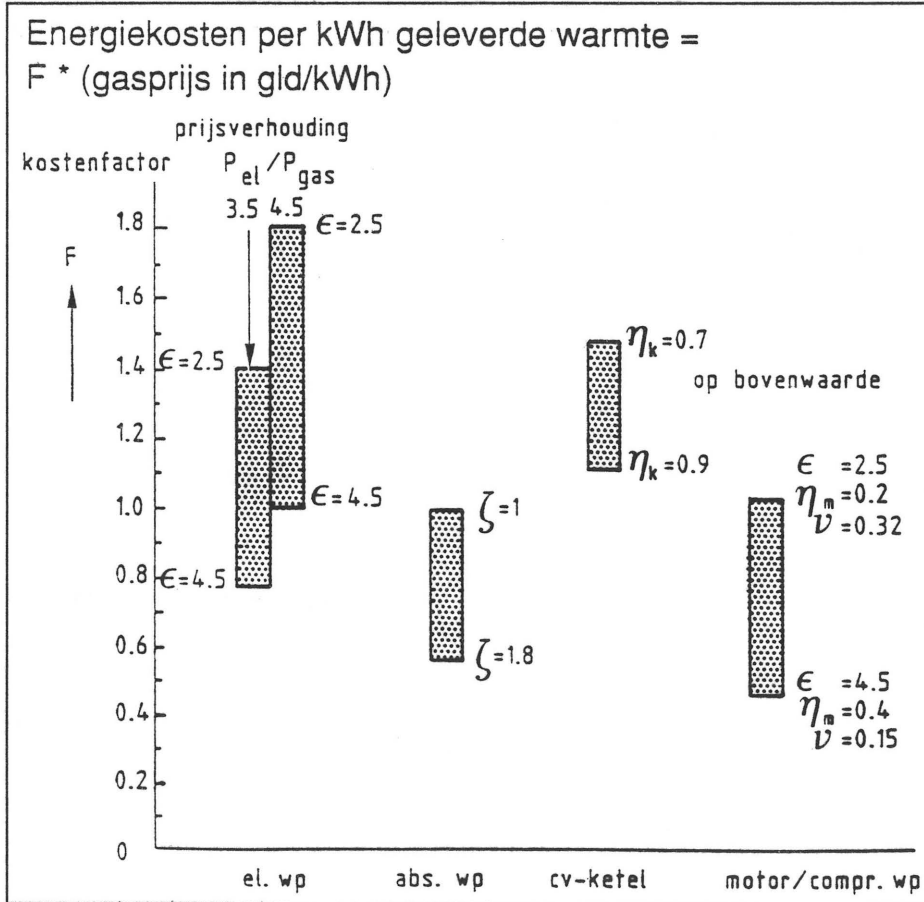


Fig. 5. Verhoudingen energiekosten voor verwarming.

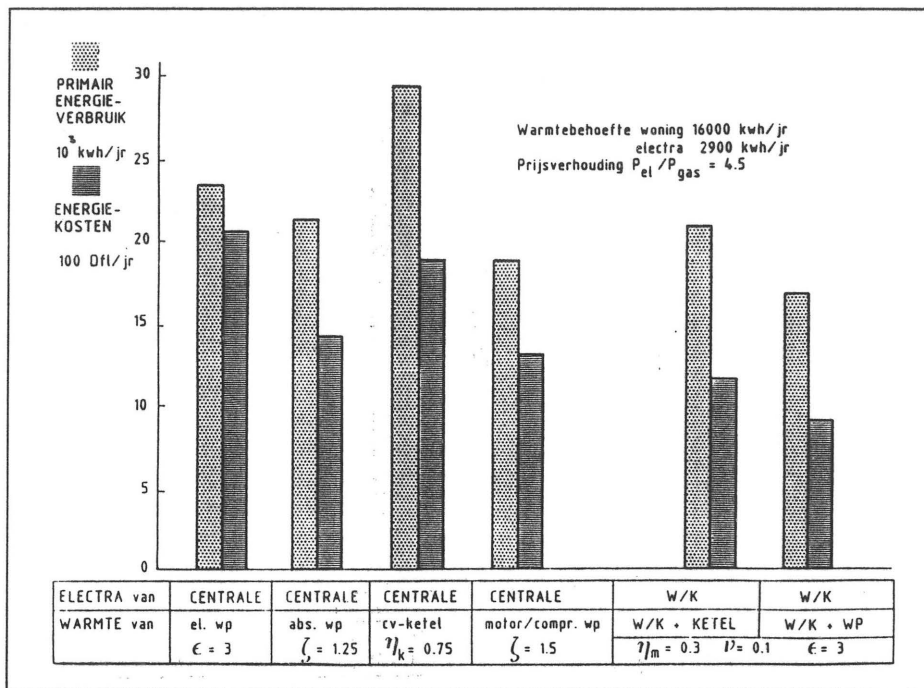


Fig. 7. Primaire energieverbruik en energiekosten voor dekking van warmte- plus elektriciteitsbehoefte.

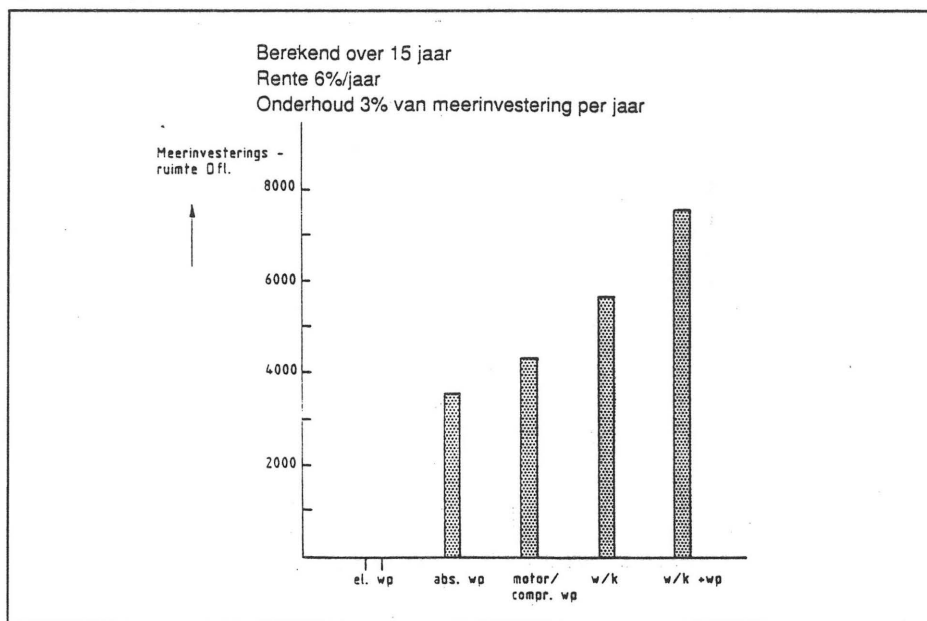


Fig. 8. Maximale extra prijs van alternatieve systemen.

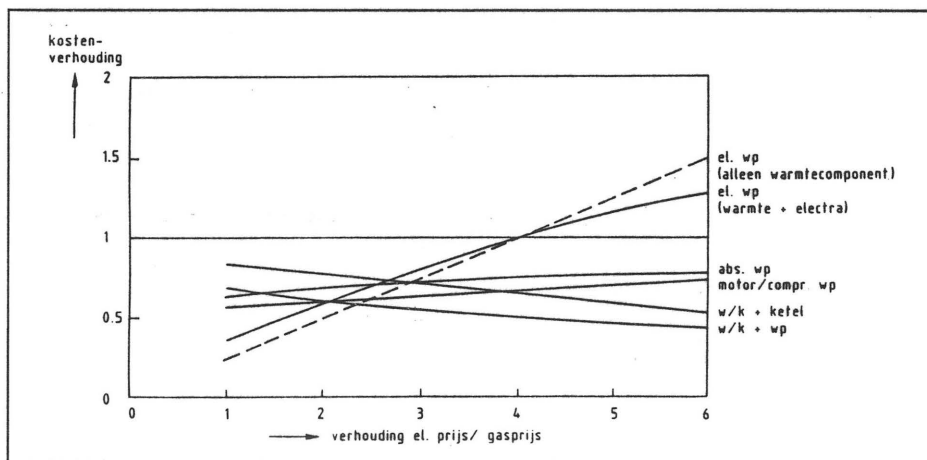


Fig. 9. Energie (warmte + elektra) kostenverhoudingen van de beschouwde systemen t.o.v. cv-ketelinstallatie bij variabele  $P_{el}/P_{gas}$

fingsprijs verbonden dan aan het conventionele systeem. Deze extra prijs moet in een bepaalde tijd uit de besparing aan energiekosten worden terugverdiend en is dus begrensd. Waar voor de beschouwde systemen de grens ligt van de extra investering, is in figuur 8 weergegeven. Het zijn plafondbedragen omdat het criterium is gehanteerd, dat over de technische levensduur van 15 jaren van de apparatuur de gebruiker geen verlies lijdt. Wil de gebruiker er echter een zeker bedrag aan willen overhouden, dan zal de kostprijs om dit bedrag lager moeten zijn. De uitkomsten zijn overigens gebaseerd op een ontwikkeling van energieprijzen volgens de middenvariant van het EZ-scenario. Met de gehanteerde aannamen is er geen investeringsruimte voor de elektrische warmtepomp, omdat daarmee niet aan energiekosten wordt bespaard (fig. 7). In dit verband is reeds eerder opgemerkt dat de prijsverhouding elektra/gas voor de rentabiliteit van de elektrische warmtepomp een belangrijke factor is. In figuur 9 is dit voor de elektrische warmtepomp alsook voor de overige systemen afgebeeld. Waar de elektrische warmtepomp zich bij hogere elektra/gasprijsverhouding steeds slechter profileert, is dit bij de warmte/kracht-systemen vanzelfsprekend net andersom. De twee met aardgas gedreven warmtepompen leiden tot een kostenverhouding ten opzichte van de c.v.-installatie die betrekkelijk ongevoelig is voor de prijsverhouding elektra/gas.

### Konklusie

Thermodynamische verwarming door middel van warmtepompen, alsmede warmte/kracht toepassing, geeft uitzicht op aanzienlijke besparing van primaire energie. Tussen theoretische en praktische reductiefactoren zit een groot verschil en is er dus in principe ruimte voor verbetering van de bestaande apparatuur. De elektrische warmtepomp op het openbare net ondervindt reeds jaren het nadeel van de hoge verhouding elektra/gasprijs. Bij de huidige waarde van 4,5 is men aan energiekosten in dit geval meer kwijt dan voor de conventionele centrale verwarming op aardgas. De extra investering voor de warmtepomp wordt dan nimmer terugverdiend. De met aardgas gedreven warmtepompen en warmte/kracht systemen, die zijn beschouwd, paren een redelijke tot goede besparing aan primaire energie aan een hogere elektriciteitsprijs (fig. 7), die bovendien is voor verandering van de elektriciteitsprijsverhouding.