

# DE TOEPASSING VAN DE WARMTEPOMP IN EEN STROOMVERSNELLING

Ir. P. H. H. Leijendeckers  
 Directeur Buro van Heugten, Nijmegen.

## 1. Inleiding

De warmtepomp is een apparaat waarmee energie van een lager naar een hoger temperatuurnivo kan worden gebracht. Bij deze hogere temperatuur kan de energie weer nuttig worden gebruikt voor bijv. ruimteverwarming of droogprocessen. In tegenstelling tot een verwarmingsketel waarin de chemisch gebonden energie uit kolen, olie of gas wordt vrijgemaakt is de warmtepomp een apparaat dat bruikbare energie recycled, m.a.w. de kwaliteit ervan herstelt. Doordat de arbeid die hiervoor moet worden geleverd, d.w.z. de aandrijfenergie die van buitenaf aan het proces moet worden toegevoerd, geringer is dan de totaal beschikbaar komende bruikbare energiehoeveelheid, vormt de warmtepomp een zeer interessante mogelijkheid voor een efficiënte energievoorziening.

Dit gegeven is er aanleiding toe geweest dat recentelijk de warmtepomp zich als vervanger van de traditionele c.v.-ketel, vooral in de utiliteitsbouw en voor blokverwarming, zeer snel heeft ontwikkeld. Energie wordt hierbij onttrokken aan de omgevingslucht of de bodem en op een voor ruimteverwarming geschikt temperatuurnivo gebracht.

Naast deze primaire vervangingsfunctie begint men echter vele nieuwe toepassingsmogelijkheden voor de warmtepomp te ontdekken. O.a. in de chemische- en voedingsmiddelenindustrie kan met de warmtepomp door het *recyclen van energie* tussen indampings- en condensatie/of droogprocessen veel primaire energie worden bespaard.

Als intermediair in zonnewarmtesystemen verhoogt de warmtepomp het rendement van kollektoren en warmteopslag zodanig, dat een verdubbeling van de oorspronkelijke opbrengst kan worden gerealiseerd. Ook de integratie van de warmtepomp in kracht-warmtesystemen (zoals total energy) voor stedelijke woongebieden en utiliteitsbouw leidt tot een aanzienlijke verhoging van de energie-efficiency van dergelijke systemen. De warmtepomp kan daarom als eigenstandige voorziening t.b.v. o.a. ruimteverwarming, maar vooral ook als komplement op bestaande en nieuwe energievoorzieningssystemen van grote betekenis worden geacht bij het verhogen van de energiedoelmatigheid.

## 2. Warmtepompsystemen

De werking van de warmtepomp nl. een apparaat dat warmte verplaatst van laag naar hoog temperatuurnivo kan het beste worden afgeleid uit de schematische voorstelling in figuur 1. Voor het verplaatsen van warmte-energie tegen de natuurlijke bewegingsrichting in nl. van hoge naar lage temperatuur is arbeid nodig. Deze arbeid kan langs mechanische weg in compressiemachines worden geleverd of thermisch in zgn. absorptie- en resorptiemachines.

De wijze waarop de aandrijving van een compressie-warmtepomp plaatsvindt is sterk bepalend voor het uiteindelijke nuttige effect van de warmtepomp. Dit moge blijken uit de vier schema's van figuur 2. Naast elkaar staan hier de energiestroomdiagrammen afgebeeld van de door een elektromotor gedreven compressiemachine, een absorptiemachine, een gasmotor gedreven compressiemachine en de combinatie van een gasmotor gedreven compressiemachine met een absorptie-warmtepomp die wordt aangedreven met de restwarmte van de gasmotor. Uit deze diagrammen blijkt duidelijk dat een groter effect wordt

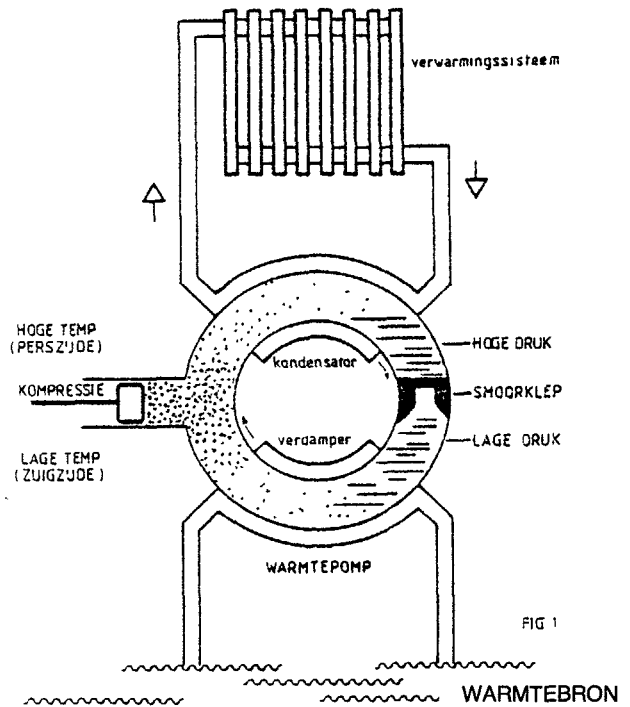


Fig. 1. Werking van een (compressie)warmtepomp.

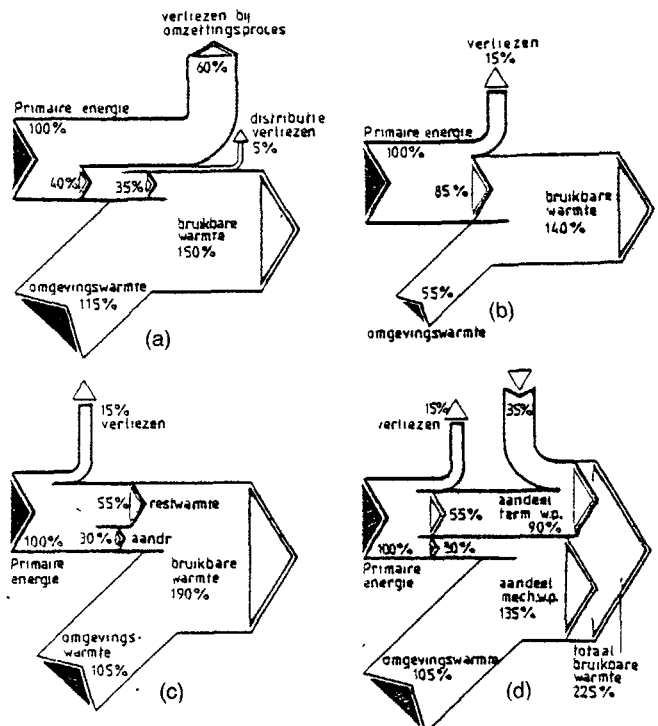


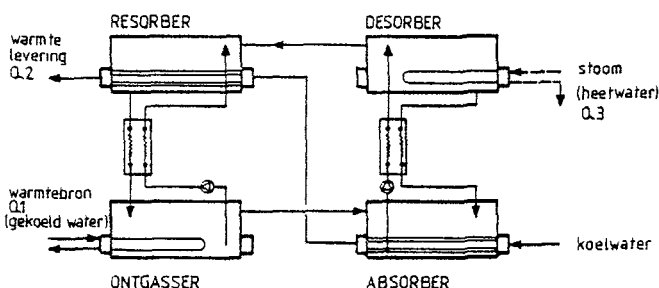
Fig. 2. Energie diagrammen voor warmtepompen met verschillende aandrijvingen. (a) Warmtepomp gedreven door electro-motor. (b) Absorptiewarmtepomp (aangedreven door warmte). (c) Door gasmotor aangedreven warmtepomp. (d) Combinatie van een compressiewarmtepomp aangedreven door een gasmotor met een absorptiewarmtepomp aangedreven door de afvalwarmte van de gasmotor.

bereikt naarmate ook de restwarmte die vrij komt bij de opwekking van mechanisch aandrijfvermogen beter wordt gebruikt. Naast de kompressie-warmtepomp kennen we ook de thermische warmtepompen.

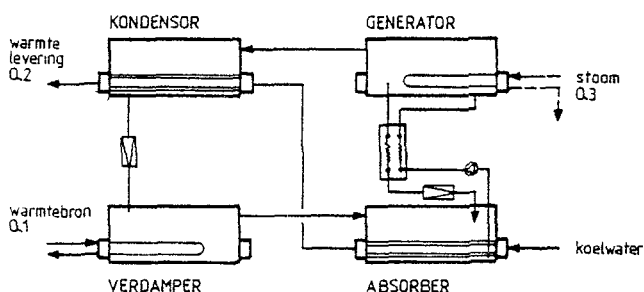
Deze berusten op het natuurkundig principe dat de dampdruk van het arbeidsmedium niet alleen door de temperatuur maar ook door de mengverhouding met een ander medium wordt bepaald. De thermische warmtepompen werken daarom altijd met twee of meer procesmedia (ammoniak-water; lithiumbromide-water), waarvan d.m.v. warmtetoevoer de mengverhouding wordt beïnvloed. Warmte is hier dus de drijvende kracht waardoor drukverschillen worden gekreerd tussen een verdamper en een kondensator die overigens dezelfde functies vervullen als bij een kompressie-warmtepomp.

De thermodynamische karakteristieken van het absorptie- resp. het resorptieproces en de werking van de warmtepompen die hierop zijn gebaseerd, zijn uitgebreid beschreven door Ir. H. van der Ree in de referenties 1 en 10. In figuur 3 zijn de processchema's van de beide typen thermo-kompressie-warmtepompen afgebeeld.

**RESORPTIEPROCES**



**ABSORPTIEPROCES**



$$E = \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{1 - \frac{T_1}{T_3}}{1 - \frac{T_1}{T_2}} = 1,5 \text{ à } 1,8$$

Fig. 3. Schematische voorstelling van twee typen door warmte aangedreven warmtepompen, resp. het absorptie- en het resorptieproces.

**3. Warmtebronnen**

Aangezien de warmtepomp bruikbare energie van een bepaalde temperatuur levert door deze te onttrekken aan een bron van lager temperatuurniveau en niet uit chemisch gebonden energie van brandstoffen, vormt de keuze en beschikbaarheid van de warmtebron uiteraard een essentieel gegeven voor de toepassing en het effect van een bepaald systeem. Gerangschikt naar een drietal karakteristieken zijn de diverse mogelijkheden voor warmte-onttrekking:

Warmte uit omgeving	Restwarmte	Primaire energie
Bodem t = ca. 8 °C	afzuiglucht van ventilatiesystemen	direkte zonnewarmte
grondwater ca. 12 °C oppervlaktewater 5-12 °C	lage temp. afvalwarmte (warmte kracht) (elec. centrale) (industrie)	
omgevingslucht 5-15 °C		

De tweede categorie onderscheidt zich van de eerste en laatste in zoverre het restwarmte betreft die met behulp van de warmtepomp kan worden teruggewonnen. In principe dient hier de warmtepomp voor het verminderen van de verliezen in bepaalde systemen zoals luchtverwarming, warmtevoorziening t.b.v. ruimteverwarming en chemische processen.

De beide andere categorieën kunnen worden beschouwd als eksterne energiereservoirs voor met name ruimteverwarming d.m.v. warmtepompen.

Op de combinatie van zonnewarmte-installaties en warmtepompen zal in paragraaf 5 uitgebreid worden ingegaan.

Over de gebruiksmogelijkheden van de resterende categorie n.l. de omgevingswarmte kan het volgende worden opgemerkt. Benutting van de warmte-inhoud van de bodem vraagt grote warmte-wisselende oppervlakken en kostbaar grondverzet. Deze bron zal daarom slechts op beperkte schaal kunnen worden benut. Aan het gebruik van grondwater is de noodzaak verbonden het water dat onttrokken wordt weer in de bodem terug te voeren. Het onttrekken van grondwater op grote schaal zou anders tot een ernstige verstoring van de bodemwaterhuishouding kunnen leiden. Om deze redenen en de daaruit voortvloeiende technische complicaties zal deze warmtebron van beperkte betekenis zijn. Toepassingen zullen vooral liggen in de verwarming van grote gebouwen of woonblokken en flats.

Oppervlaktewater is vaak sterk verontreinigd, waardoor dure filters en warmte-wisselaars (roestvaststaal) nodig zijn. Daarenboven is de afstand tussen te verwarmen objecten en het beschikbare oppervlaktewater vaak prohibitief voor de toepassing in verband met de hoge kosten voor het transportleidingnet.

Voor het gebruik van warmtepompen op grote schaal t.b.v. de verwarming van met name woonhuizen is daarom de omgevingslucht de meest aangewezen warmtebron. Weliswaar kleven aan het gebruik van omgevingslucht enige beperkingen; deze hoeven echter niet onoverkomelijk te zijn. Een belangrijk nadeel van het gebruik van buitenlucht als warmtebron is gelegen in het feit dat bij ruimteverwarming de warmtebehoefte het grootst is bij lage buitentemperaturen. De warmtepomp heeft dan echter haar geringste effect omdat het temperatuurverschil dat nu moet worden overwonnen het grootst is.

Gelukkig is het aantal uren met maximale belasting slechts zeer gering t.o.v. het totaal van de warmtebehoefte. Dit probleem wordt daarom vaak opgelost met een bi-valente installatie. Dit is een combinatie van een normale c.v.-ketel voor de hoge belastingen en een warmtepomp voor de resterende belasting.

De verdeling van de capaciteit wordt zo gekozen dat de warmtepomp belastingen van 0 tot ca. 60% opvangt en de c.v.-ketel het gebied daarboven. Bij een duidelijke verdeling zal gezien de lage frekwentie van de maximale warmtevraag in ca. 80% van de jaarlijkse totale warmtelevering door de warmtepomp kunnen worden voorzien. Niettemin zijn er ook warmtepompinstallaties uitgelegd voor de volledige warmtevoorziening tot temperatuur van -15 °C.

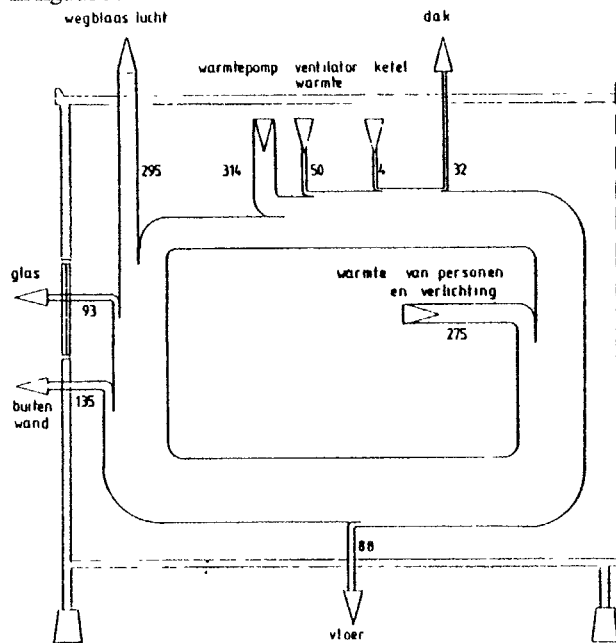
Deze installaties zijn thans echter nog beduidend kostbaarder dan de bi-valente oplossing.

#### 4. Warmteterugwinning

De warmtepomp kan in de efficiënte voorziening van primaire energie een belangrijke doorbraak vormen. Daarnaast echter kan d.m.v. de warmtepomp het energiegebruik in bepaalde processen sterk worden gereduceerd. Hierbij moet worden gedacht aan het hergebruik van de met lage temperatuur vrijkomende energie aan de uitgang van het proces.

In bijvoorbeeld luchtverwarmingssystemen is dit de warmte lucht die wordt afgezogen uit een gebouw en naar buiten wordt weggeblazen. Wat op deze manier en in combinatie met een aantal isolerende maatregelen kan worden bereikt laat het energiestroomdiagram van figuur 4 zien. Met elkaar worden hier vergeleken de warmtestroom in het nieuwe kantoor van de OHRA te Arnhem, dat is uitgerust met een gasmotor-warmtepomp plus warmte-akku, en die in een conventionele situatie zonder dergelijke voorzieningen. Het resultaat is een reductie met 70% van de warmtebehoefte op jaarbasis.

De schematische opzet van de installatie, waarin als belangrijke nieuwe elementen zijn opgenomen de warmtepomp, de warmte-akku (opslag) en de klimaat- of afgezogen gevel is terug te vinden in figuur 5.



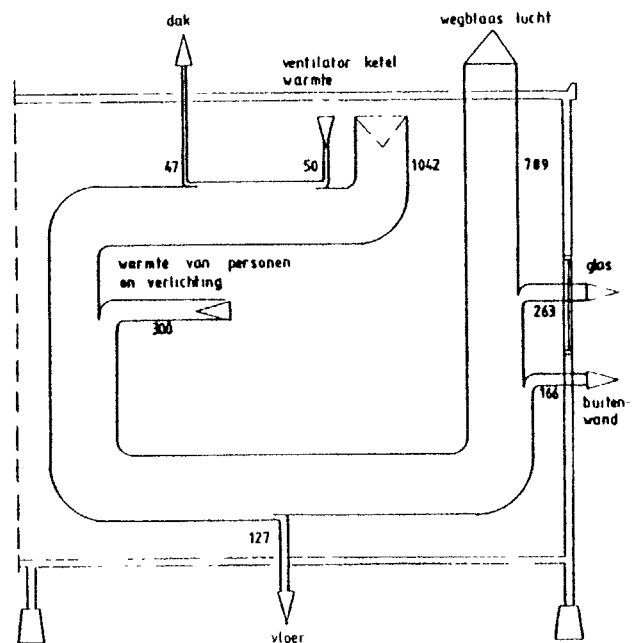
PRIMAIR ENERGIE GEBRUIK VOOR VERWARMING 319 MWh/a  
ENERGIEBALANS VERWARMING (MWh per jaar)

OHRA GEBOUW

Ook in de industrie en met name de voedingsmiddelenindustrie (melk, suiker, enz.), kan de warmtepomp met veel profijt worden gebruikt voor het recyclen van energie. Immers veel van dergelijk processen spelen zich op basis van het scheiden van fracties via indampen en kondenseren.

Voor het indampen en drogen moet warmte worden toegevoerd; bij het kondenseren moet warmte worden afgevoerd. Aangezien uit efficiency-overwegingen het indampen vaak al bij een bepaald vakuüm gebeurt liggen de temperaturen van deze processen beneden 100 °C. Bij de installatie waarvan de opzet in figuur 6 is afgebeeld ligt de maximale indampstemperatuur bij 80 °C en de condensatietemperatuur bij 40°C.

Door in dit proces een warmtepomp op te nemen die het temperatuurverschil van 40 °C overbrengt kan het brandstofverbruik van 18.000.000 m<sup>3</sup> aardgas per jaar worden gehalveerd. Een soortgelijk voorbeeld is te vinden in figuur 7, waarin de warmtepomptoeepassing voor een anodiseerbedrijf is uitgewerkt. Op deze wijze kan een besparing van ca. 35% op het energiegebruik worden bereikt.



PRIMAIR ENERGIE GEBRUIK VOOR VERWARMING 1302 MWh/a  
ENERGIEBALANS VERWARMING (MWh per jaar)

KONVENTIEEL GEBOUW

Fig. 4. Energiediagrammen voor het OHRA gebouw in Arnhem en zonder warmtepompsysteem.

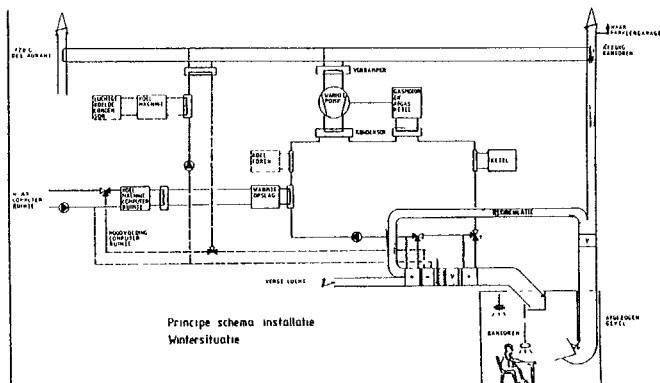


Fig. 5. Principeschets van klimaatsysteem in OHRA gebouw, gebruikmakend van o.a. warmtepomp en warmte-akku.

#### 5. De benutting van zonnearmte

De mogelijkheid om zonnearmte te benutten voor de verwarming van woningen en gebouwen als alternatief voor het gebruik van fossiele brandstoffen staat de laatste jaren sterk in de belangstelling. Met een aantal proefprojecten zijn zowel in Nederland als in andere landen van Noord-West Europa ervaringen opgedaan.

Een belangrijk ervaringsgegeven, dat overigens ook al uit theoretisch vooronderzoek bekend was, is het feit dat met een relatief uitgebreide zonnearmte-installatie de maximale bijdrage van de zon in de jaarlijkse warmtebehoefte beperkt blijft tot ca. 40 à 50%. De beperkingen van een dergelijk systeem zijn derhalve vrij groot.

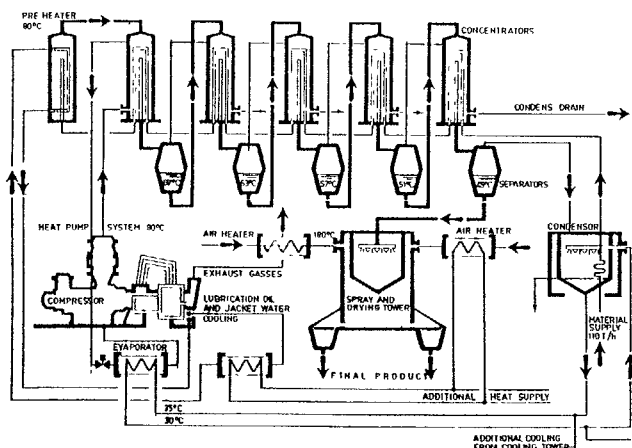


Fig. 6. Gebruik van een gasmotorgedreven warmtepomp in een melkfabriek, die een besparing geeft van 18 miljoen m<sup>3</sup> aardgas per jaar.

Immers gezien het vrij grote kollektor-oppervlak, 30 tot 40 m<sup>2</sup> voor een normale woning, de voorkeursoriëntatie op het zuiden en de vrij grote warmteopslagtank, 3000 tot 6000 liter, blijft het noodzakelijk om in meer dan de helft van de warmtebehoefte op traditionele wijze te voorzien.

In figuur 8 is een doorsnede van een woning met installatieopzet gegeven. Hieruit blijkt duidelijk de grote invloed van de aanwezigheid van een zonnewarmte-installatie op het ontwerp en het voorkomen van de woning.

De omvang van de zonnewarmtebijdrage in de totale warmtebehoefte geeft figuur 9. De betrekkelijkheid is evident. Om deze impasse te doorbreken wordt vooral gedacht aan de mogelijkheid om via zgn. seizoenopslag van zonnewarmte de opbrengst wezenlijk te verhogen.

De oplossing die men hierbij voorstaat, bestaat uit het opslaan van de 's zomers opgevangen zonnewarmte in een geïsoleerd grondpakket om vervolgens deze warmte 's winters te kunnen gebruiken.

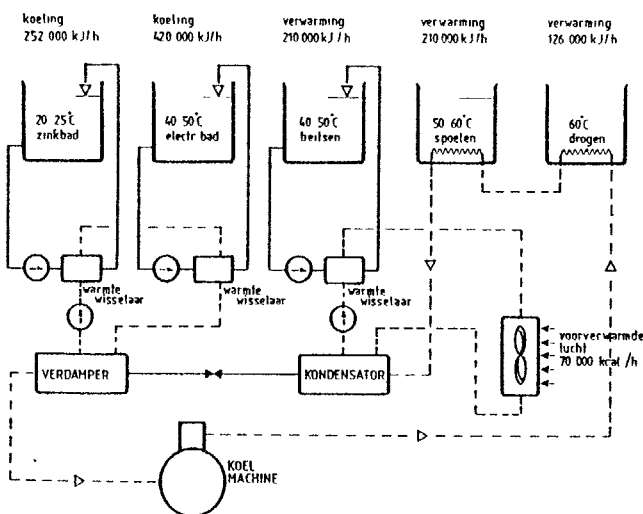


Fig. 7. Toepassing van warmtepompsysteem in een anodiseerbedrijf, met een besparing van ± 35% op het energieverbruik.

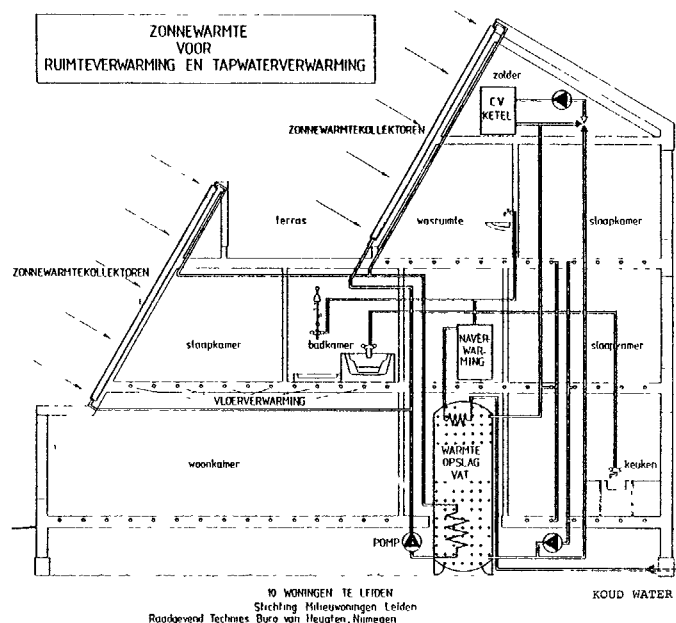


Fig. 8. Zonnecollectoreninstallatie op huizen te Leiden (Stichting Milieuwoningen, Leiden).

Zonnewarmte-installatie voor huisverwarming en tapwaterverwarming

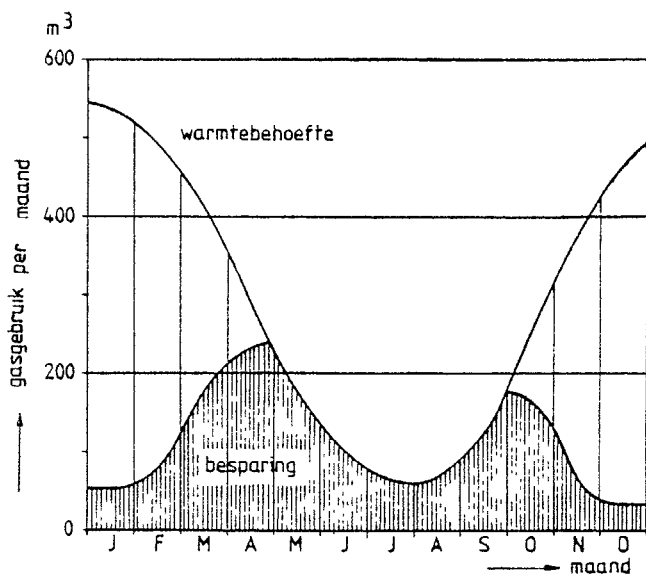


Fig. 9. Maandelijkse warmtebehoefte en besparing door zonnecollectoren in een huis van 400 m<sup>3</sup> inhoud. Kollektoroppervlak: 25 m<sup>2</sup>, spektraal selectief warmteopslag: 2,5 m<sup>3</sup> water, jaarlijkse besparing 1500 m<sup>3</sup> gas.

Het is duidelijk dat hierdoor bij de toch al kostbare installaties van ca. f 30.000,— tot f 40.000,— per woning grote extra investeringen nodig zijn. Nog afgezien van het probleem om een geschikt grondpakket voor warmteopslag te vinden. De tekorten kunnen echter ook met een warmtepomp worden gedekt.

Figuur 10 laat schematisch een drietal situaties zien. In het bovenste gedeelte vinden we de principes van een zuivere zonne-warmte-installatie met kollektoren en warmteopslag. Het tweede gedeelte toont een gekombineerd systeem van zonne-warmtebenutting en aanvullende warmtelevering door een warmtepomp.

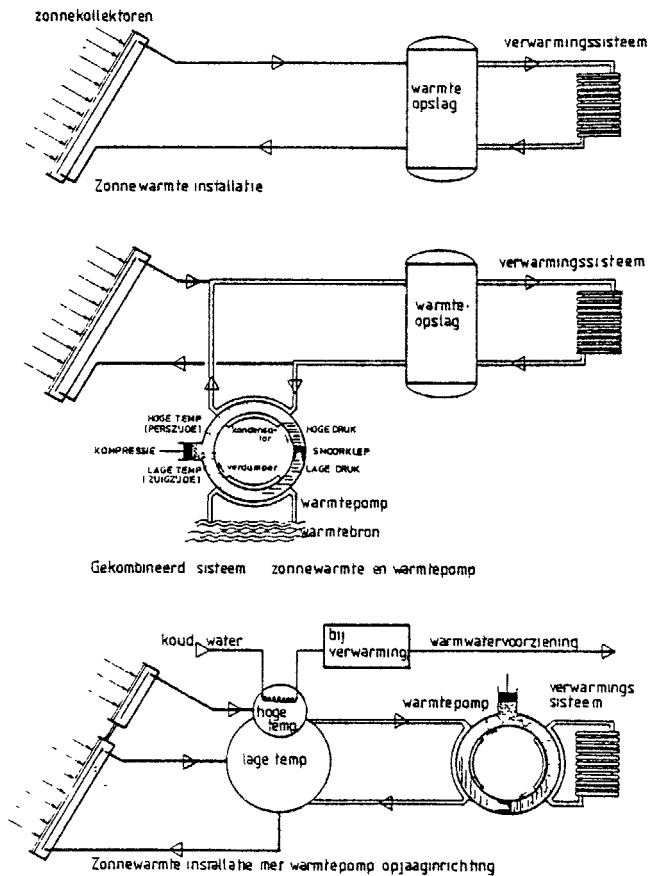


Fig. 10. Zonnecollectoren als warmtebron voor een warmtepomp, die bijzondere perspectieven biedt.

Deze oplossing betreft de parallelschakeling van de beide systemen. Een nadeel van deze oplossing ligt in de hoge kosten. Aan de kosten van de zonnepaneelinstallatie met haar beperkte opbrengst worden nog eens die van een warmtepomp toegevoegd. De warmtepomp moet hierbij zodanig zijn uitgelegd dat hiermee onder omstandigheden in de maximale warmtevraag kan worden voorzien. Een warmtepomp alleen ligt dan ook in een kostenanalyse veel gunstiger.

De derde oplossing is principieel anders van opzet. Hier is de warmtepomp in serie geschakeld met de combinatie van zonnepaneelkollektoren en warmteopslag. Een dergelijke oplossing heeft een groot aantal voordelen. Aangezien immers het zonnepaneel systeem aan de ingang nl. de lage temperatuurszijde van de warmtepomp is geplaatst als energieleverancier, kan het opvangen van zonnepaneel tot veel lagere temperaturen dan gebruikelijk beperkt blijven. Dit vermindert de verliezen van de zonnepaneelkollektoren aanzienlijk en vergroot het gebied waarover überhaupt energie kan worden opgevangen. Het resultaat is dan ook dat met een veel geringer kollektoroppervlak kan worden volstaan, 10 – 15 m<sup>2</sup>, terwijl de kollektoren bovendien eenvoudiger van constructie en dus goedkoper kunnen zijn.

Door het feit dat de warmte-akku eveneens een lagere ondertemperatuur heeft, wordt het temperatuurtraject waarover warmte kan worden opgeslagen globaal verdubbeld. Het is zelfs denkbaar de akku gedeeltelijk te laten bevriezen.

Het directe gevolg is dat ook de akku veel geringer van omvang kan worden nl. 1000-2000 liter.

In een dergelijk systeem betekent de toevoeging van de warmtepomp dus allereerst een wezenlijke vergroting van de opbrengst, – zie figuur 11 – maar daarnaast ook een verlaging van de kosten van het geheel.

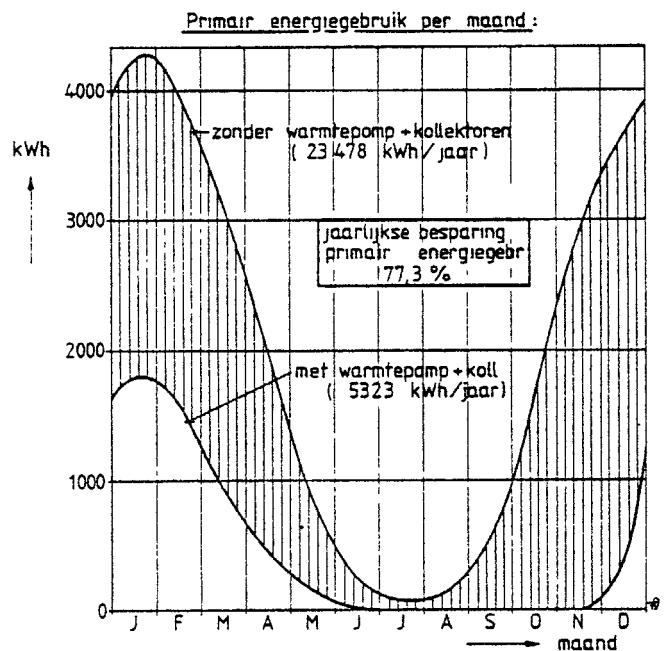
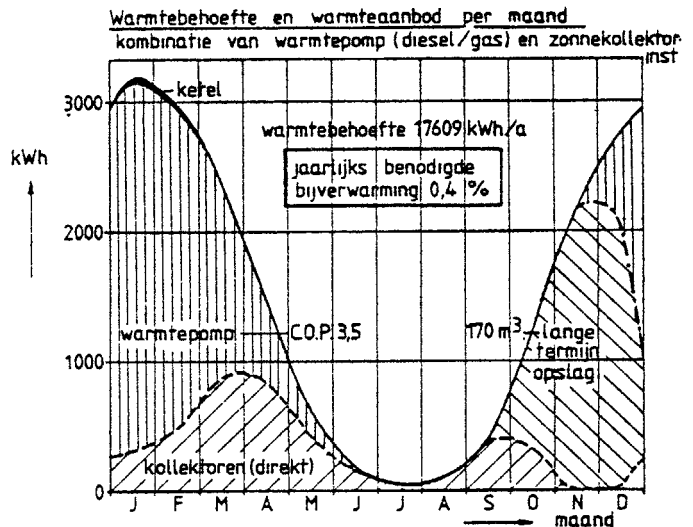


Fig. 11. Maandelijks behoefte en besparing van primaire energie met behulp van een warmtepomp met zonnecollector als warmtebron.

Daarenboven moet niet de betekenis worden onderschat van de vermindering van de installatieafmetingen, waardoor een groot gedeelte van de bouwkundige en architectonische problemen met de inpassing van een zonnepaneel systeem in een woning zijn verdwenen.

Een technisch bijkomend voordeel van de serie-schakeling is de mogelijkheid om de zonnepanelen te laten werken als warmtebron voor de warmtepomp ook als de zon niet schijnt. Dan kan immers nog steeds warmte aan de omgeving worden onttrokken. Deze oplossing is onder de naam 'Energiespardach' in een aantal projecten in Duitsland reeds uitgevoerd.

### 6. Warmtepompen en gedecentraliseerde kracht-warmtevoorziening

In de discussie over de mogelijkheden tot vermindering van het energiegebruik in kollektieve verwarmingssystemen duiken een aantal alternatieven op die op het eerste gezicht elkaar lijken uit te sluiten. Het gaat dan om systemen voor gekombineerde opwekking van kracht en warmte nl. stadsverwarming en total energy en kollektieve warmtepompinstallaties, elektrisch dan wel door een verbrandingsmotor aangedreven. De besparingen die met warmtekracht en warmtepompsystemen kunnen worden bereikt vergeleken met de conventionele opzet van elektriciteits- en warmteopwekking zijn in figuur 12 voor een bepaalde verhouding tussen elektriciteits- en warmtebehoefte uitgewerkt.

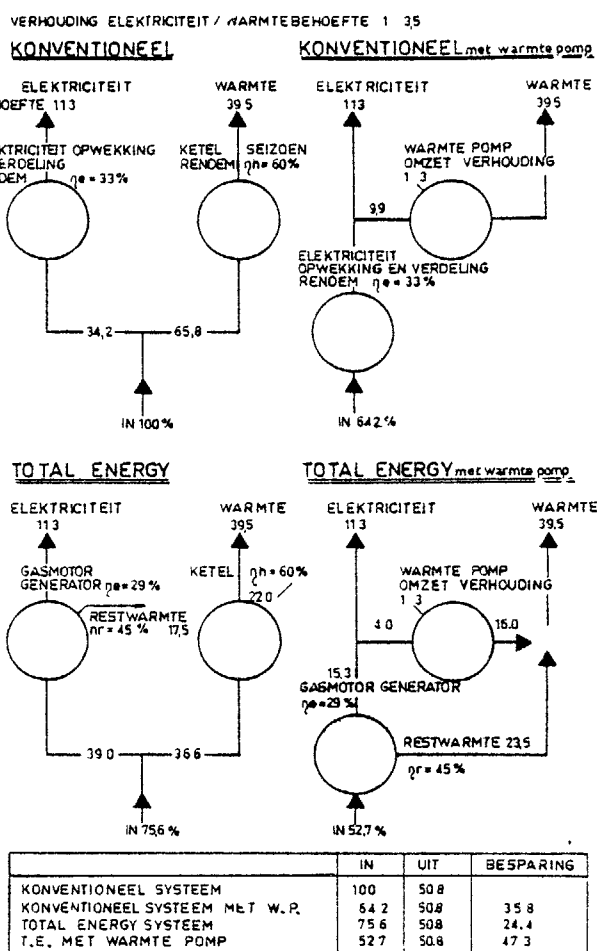
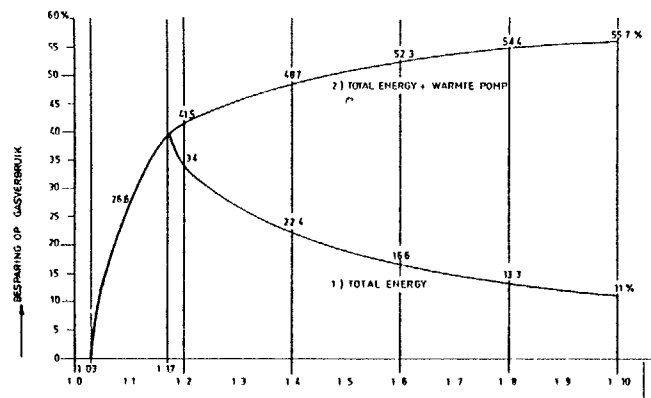


Fig. 12. Besparing van primaire energie t.o.v. de conventionele situatie door toepassing van een warmtepomp (2e schets), een kracht-warmte installatie (3e schets) en een combinatie van deze laatste twee (4e schets).

Hierin blijken de besparingen die bereikt kunnen worden met een elektrisch gedreven warmtepomp groter dan die van een systeem voor gekombineerde warmte- en elektriciteitsproductie. De belangrijkste konklusie is echter dat juist de integratie van een warmtepomp in een kracht-warmte-installatie een optimale opbrengst vormt. Figuur 13 geeft een verdere uitwerking van de besparingsmogelijkheden van kracht-warmtesystemen – total energy bijvoorbeeld – afzonderlijk en in combinatie met de warmtepomp afhankelijk van de verhouding tussen de elektriciteits- en warmtebehoefte. Wat hierbij direct opvalt is de grote invloed van dit verhoudingscijfer op de procentuele besparing.



Verhouding elektriciteit/warmtebehoefte energiebesparing bij variërende elektriciteit/warmtebehoefte, bij toepassing van:

- 1) gekombineerde opwekking met gasmotoren (total energy)
- 2) gekombineerde opwekking met gasmotor met aanvullende warmtepomp (total energy + warmtepomp)

Fig. 13. Besparing van primaire energie in kracht-warmte systemen als functie van de verhouding electriciteit-/warmtebehoefte, met en zonder warmtepomp.

Bij een relatief grote elektriciteitsbehoefte en een geringe warmtevraag is de besparing beperkt vanwege het overschot aan restwarmte. Bij een verhouding van 1 : 1,7 tussen elektriciteits- en warmtebehoefte is de besparing maximaal nl. ca. 40%. Vervolgens treedt een daling op in de procentuele besparing bij een total energy systeem vanwege de noodzaak tot bijstoken om in het warmtekort te voorzien. De besparing daalt dan tot ca. 10 à 12% bij verhoudingscijfers van 1 : 10 die karakteristiek zijn voor de woningsector. Door de integratie van de warmtepomp in het geheel treedt juist bij deze ongunstige verhouding t.g.v. de relatief grote warmtebehoefte een grote verbetering op in de besparingsmogelijkheid. Dit is uiteraard het gevolg van de eigenschap dat de warmtepomp een zeer efficiënte warmteleverancier is.

De omvang van de bereikbare besparing hangt echter naast de verhouding tussen elektriciteits- en warmtevraag per afzonderlijke aansluiting tevens af van de omvang waarin warmtepompen in een bepaald verzorgingsgebied aanwezig zijn. Het is immers voorstelbaar dat bij een gering aantal woningen met warmtepompen in een verzorgingsgebied het effect op de besparingen gering is. Daartegenover staat echter dat wellicht bij een 100% aanwezigheid van warmtepompen een overschot aan restwarmte bij de warmte-krachtcentrale ontstaat. Dit effect is onderzocht en het resultaat in de vorm van de energiebehoefte bij een bepaalde penetratiegraad van warmtepompen in het verzorgingsgebied van een total energy systeem is uitgewerkt in figuur 14.

Een onderscheid is verder gemaakt in normaal (10 kW) en zeer goed (5 kW) geïsoleerde woningen. De besparingen t.g.v. isolatie en verbeterde installaties zijn indrukwekkend. Tevens blijkt dat in een vrij breed gebied (60-80%) de besparing weinig afwijkt zodat deze oplossing relatief ongevoelig is voor een onvolledige deelname van alle bewoners in een bepaald verzorgingsgebied.

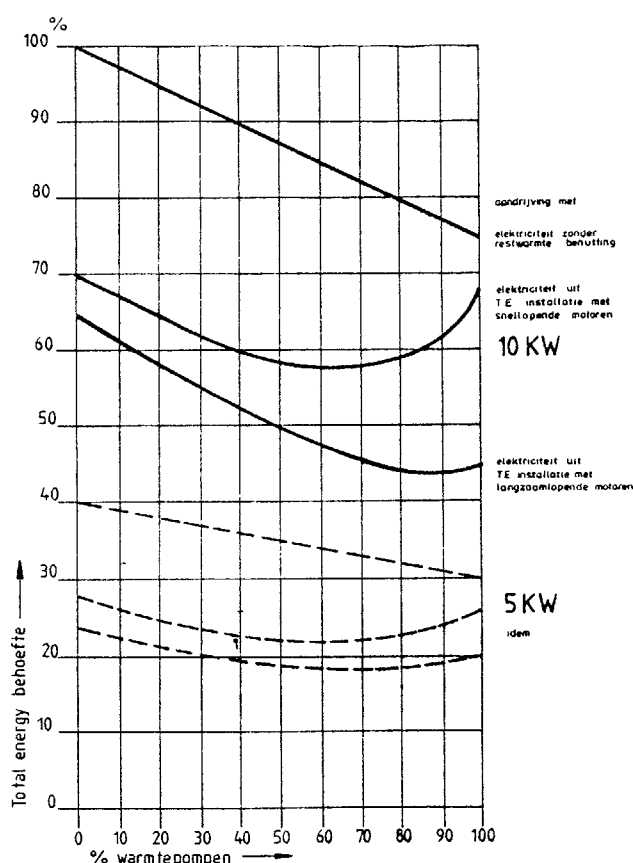


Fig. 14. Potentiële vermindering energiebehoefte door gebruik van een warmtepomp met total energy systeem, als functie van de penetratiegraad van warmtepompen in een gegeven woongebied (gebroken krommen: woning met 10 kW aansluitwaarde; gestippelde krommen: 5 kW).

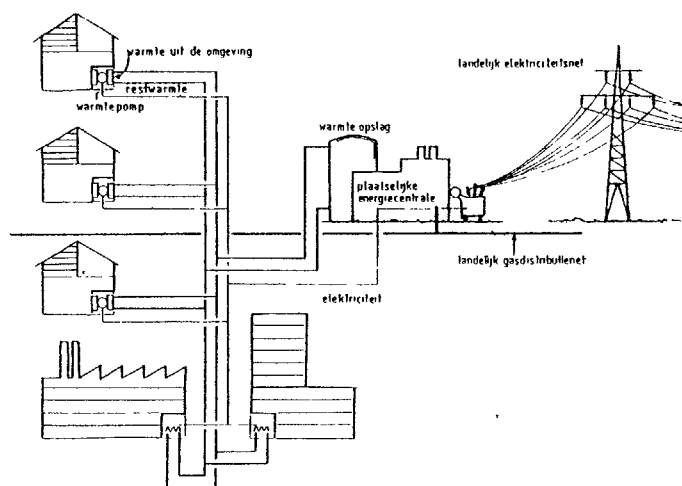


Fig. 15. Schets van een voorgesteld plaatselijk krachtwarmte systeem, geïntegreerd in de nationale gas- en elektriciteitsvoorzieningen.

Dit heeft grote maatschappelijke voordelen, aangezien dus niet iedereen gedwongen hoeft te worden zich bij dit systeem aan te sluiten.

Figuur 15 geeft tenslotte een schematisch concept voor een dergelijk verzorgingssysteem, volledig geïntegreerd in de nationale gas- en elektriciteitsvoorziening.

## 7. Samenvatting

Uit de voorafgaande analyse van de toepassingsmogelijkheden van de warmtepomp komt duidelijk naar voren dat de grote betekenis van de warmtepomp voor een doelmatiger energiegebruik ligt aan een integratie in de verschillende bestaande systemen voor energievoorziening.

Hierdoor kunnen grote extra besparingen worden gerealiseerd. Maar ook voor het hergebruik van warmte in industriële processen en ventilatiesystemen is de warmtepomp van grote betekenis.

Tenslotte kan de warmtepomp ook de rol van de nog ontbrekende schakel vervullen bij de definitieve doorbraak van zonnewarmtesystemen in ons klimaat.

## Literatuurlijst

1. Ir. H. van der Ree. *De warmtepomp; grondslagen en geschiedenis. Klimaatbeheersing 2, nr. 6 (juni '73) p. 294-315.*
2. Ir. H. van der Ree. *De mogelijkheden van de toepassing van de warmtepomp in combinatie met zonnecollectoren. Leergang 'De zon als verwarmingsbron', Stichting PDOB maart/april 1976.*
3. Ir. H. van der Ree. *Overzicht van de nederlandse onderzoek- en ontwikkelingsactiviteiten betreffende warmtepompen voor woningverwarming CTI-TNO september 1976, ref. nr. 76-09497.*
4. Jhr. W. E. J. de Beijer. *Overzicht van buitenlandse onderzoeken voor warmtepompen. Klimaatbeheersing jrg. 7, nr. 2 (febr. '76) p. 64-71.*
5. *Wärmepumpen in Betrieb. Heute und in Zukunft. VDI-Gesellschaft Energietechnik. VDI-Bericht 289.*
6. Frederick A. Costello. *A Hybrid solar airconditioning system. Solar Energy. Vol. 18 nr. 2, 1976 p. 149-153.*
7. J. Borsboom. *Energiebesparen met de warmtepomp. Intermediair 12 jrg. -4, 23 jan. 1976 p. 11.*
8. L. A. Sarkes, J. A. Nicholls, N. S. Menzer. *Gas Fired Heat Pumps. An Emerging Technology. Ashrae Journal March 1977 p. 36-42.*
9. *Frigen-Forum 28 febr. 1975. Wärmepumpen. Hoechst.*
10. Ir. H. van der Ree. *Thermisch gedreven warmtepompen I Klimaatbeheersing 9, sept. '78.*
11. C. L. Spigt en S. H. A. Begemann. *Toepassingsmogelijkheden van warmtepompen in Nederland. Energie Spectrum 79/1 p. 6 t/m 13.*
12. Ir. P. H. H. Leijendeckers. *Opbouw en opbrengsten van zonnewarmte-installaties voor woningen en zwembaden. Polytechnisch Tijdschrift/Bouwkunde 34 (1979) nr. 1-6.*
13. Ir. P. H. H. Leijendeckers. *Energiebesparing met stationaire motoren- en warmtepompinstallaties. P.B.N.A.*