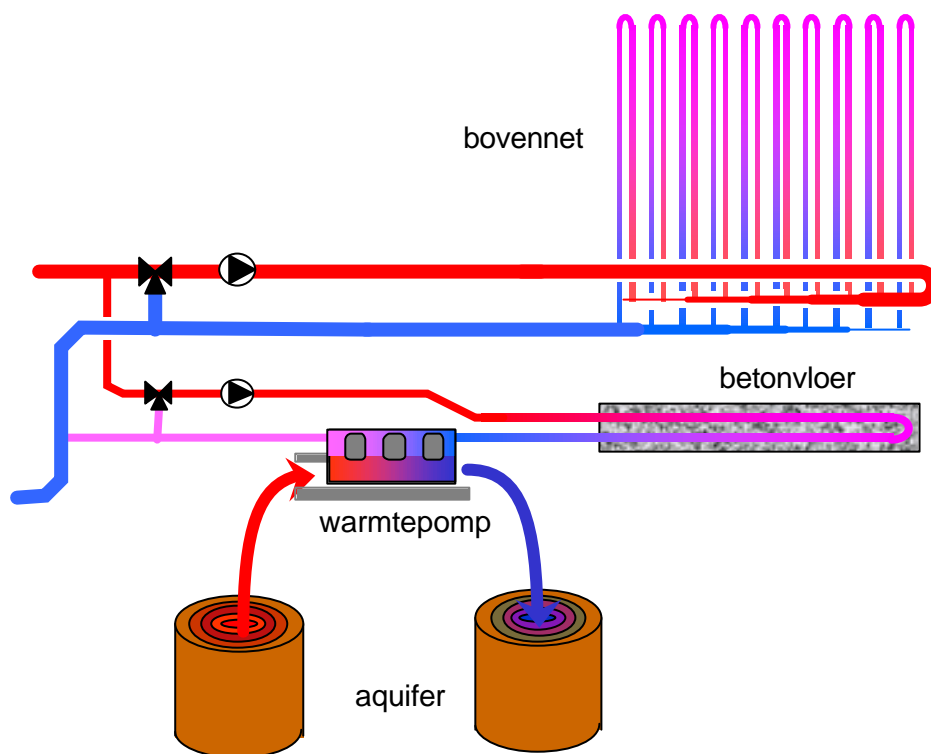


## Perspectieven voor de warmtepomp in combinatie met vloerverwarming



F.L.K. Kempkes  
H.F. de Zwart

IMAG Nota P 2002 - 29

Onderzoek in het kader van  
het Convenant Glastuinbouw en Milieu

Gefinancierd door:



## Perspectieven voor de warmtepomp in combinatie met vloerverwarming

---

F.L.K. Kempkes  
H.F. de Zwart

april 2002

© 2002

Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG)  
Mansholtlaan 10-12  
Postbus 43, 6700 AA Wageningen  
Telefoon 0317 - 476300  
Telefax 0317 - 425670  
[www.imag.wageningen-ur.nl](http://www.imag.wageningen-ur.nl)

Niets uit deze nota mag elders worden vermeld, of worden vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG.

Bronvermelding zonder weergave van de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, jaartal, titel, instituut en notanummer en de toevoeging: 'niet gepubliceerd'.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form of by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of IMAG.



## Voorwoord

In de woning- en utiliteitsbouw wordt bij verwarming met behulp van warmtepompen vaak gebruik gemaakt van vloerverwarmingssystemen om een groot verwarmend oppervlak en lage watertemperaturen te verkrijgen. Analoog aan deze ontwikkeling, is de vraag opgekomen in hoeverre tuinbouwkassen met een verwarmde betonvloer speciaal geschikt zijn voor de inzet van warmtepompen.

Immers, de lage watertemperaturen kunnen leiden tot hoge gemiddelde COP's (Coefficient Of Performance, in het Nederlands: Opbrengstfactor) en daarmee tot hogere besparingspercentages.

Om antwoord op deze vraag te kunnen krijgen hebben het Productschap Tuinbouw en de Nederlandse onderneming voor Energie en Milieu (Novem b.v.) middelen ter beschikking gesteld om dit door IMAG als hoofdaannemer en Gastec als onderaannemer te laten onderzoeken.

Het rapport geeft een uitgebreid overzicht over de tuinbouwkundige en warmte-technische situatie in kassen met betonvloerverwarmingssystemen en laat zien dat betonvloerverwarming beslist voordelen voor de toepassing van warmtepompen hebben in vergelijking met kassen met de gangbare buisverwarmingssystemen.



## Inhoud

Voorwoord .....	3
Samenvatting .....	5
Inleiding .....	7
1 Betonvloerverwarming in Nederlandse glastuinbouw .....	8
2 Karakteristiek bedrijf met betonvloerverwarming .....	10
2.1 Kasconstructie .....	10
2.2 Watergeefstelsel .....	10
2.3 Verwarming en ventilatie .....	11
2.4 CO <sub>2</sub> voorziening .....	11
3 Toepassing warmtepomp .....	12
3.1 Inpassing warmtepomp .....	13
3.1.1 Hydraulisch systeem .....	13
3.1.2 Berekening van het energieverbruik .....	14
3.2 Energiebesparing .....	16
4 Bedrijfseconomische evaluatie .....	20
4.1 Berekeningswijze .....	20
4.2 Uitgangspunten .....	20
4.3 Resultaten .....	23
5 Perspectief voor andere glastuinbouwsectoren .....	25
6 Conclusies .....	28
7 Aanbevelingen .....	29
8 Literatuur .....	30
Bijlage Rapport Gastec (ZGT020) .....	31

## Samenvatting

Ongeveer 225 ha (2-3%) van de Nederlandse tuinbouwsector bestaat uit kassen waarin een vloerverwarmingssysteem is aangelegd. De diversiteit van teeltsystemen en klimaateisen binnen deze groep bedrijven is zeer groot, maar door de bank genomen gaat het om energie-intensieve bedrijven die hoge kasluchttemperaturen aanhouden.

In de nabije toekomst zal het areaal met betonvloerverwarming eerder af- dan toenemen. Dit komt doordat er een langzame overstap wordt gemaakt naar het gebruik van rolltafels. Deze maken namelijk een grotere stuurbaarheid en automatiseringsgraad mogelijk.

Uitgaande van een jaarrond gewenste vloertemperatuur van 25°C wordt in deze kassen zo'n 34% van de jaarlijkse verwarmingsenergie via het vloerverwarmingssysteem geleverd.

Om voor deze bedrijven met een simulatiemodel het perspectief van het gebruik van warmtepompen te bepalen, heeft Gastec een document opgesteld waarin de technische prestaties van verschillende typen warmtepompen als functie van relevante parameters zijn weergegeven. Tevens heeft Gastec een fysische beschrijving van een verwarmingssysteem voor een betonvloer gegeven.

Na de inbouw van de betonvloerverwarming en de warmtepompkarakteristieken in het IMAG simulatiemodel KASPRO kon het perspectief voor het systeem worden doorgerekend.

Wanneer de betonvloer niet met een ketel, maar via een warmtepomp verwarmd wordt, kan bijna 14 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar worden bespaard. Voor de energie-intensieve teelt die in dit rapport als uitgangspunt is genomen, betekent dit een besparing van zo'n 24%. Dit besparingspercentage wordt gerealiseerd met een gasmotor aangedreven warmtepomp met een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup>. De elektrisch aangedreven warmtepomp en de 2-traps absorptiewarmtepomp realiseren met de gegeven prestatiekarakteristieken elk een besparing van 12.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> jaar (22%). Hierbij is rekening gehouden met het feit dat voor de productie van elektriciteit twee maal zoveel primaire energie gemoeid is. De elektrische warmtepomp realiseert dit bij een asvermogen van 14 W/m<sup>2</sup> en de absorptiewarmtepomp heeft een aandrijfvermogen van meer dan 25 W/m<sup>2</sup> nodig.

De 1-traps absorptiewarmtepomp blijft met een maximaal besparingspercentage van ongeveer 12% belangrijk achter bij de andere typen.

Uitgaande van de in dit rapport verantwoorde uitgangspunten blijkt dat alleen de gasmotor aangedreven warmtepomp tot een positieve kosten/opbrengsten verhouding kan leiden. De opbrengsten overtreffen de kosten met maximaal € 1.20 per m<sup>2</sup> per jaar, wat wordt bereikt bij een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup>. Bij dit asvermogen is de energiebesparing zoals gezegd bijna 14 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> per jaar (24%).

Bij de kosten zijn de lasten in verband met de opwarming van de aquifer (regeneratie) niet inbegrepen. De financiële ruimte zal dus tenminste gedeeltelijk hiervoor moeten worden benut. Voor de regeneratie kan gedacht worden aan een buur-tuinder die in de zomer grondkoeling toepast.

Bij de verantwoording van de uitgangspunten voor de bedrijfseconomische analyse blijkt dat de kosten die in verschillende rapporten voor de aquifer worden genoemd sterk uiteen lopen. Bovendien is er grote onduidelijkheid over de achtergrond van die variabiliteit.



Het rapport laat duidelijk zien dat de warmtepomp veel baat heeft bij het grote VO van het betonvloer verwarmingssysteem. Wordt namelijk hetzelfde kasklimaat nagestreefd met een standaard verwarmingssysteem (5 buizen van 51 mm doorsnede op een 4 meter kap) dan moet er een veel zwaardere warmtepomp worden ingezet om op vergelijkbare energiebesparingsniveaus te komen. Het bedrijfseconomisch perspectief daalt hierdoor met € 0.70.

Het gunstige effect van de betonvloer, gezien vanuit de warmtepomp-techniek, is echter onvoldoende om de hoge kosten van zo'n vloer (€ 2,- per m<sup>2</sup> per jaar) goed te kunnen maken. Het zal dus niet zo zijn dat de betonvloer kan worden geïnstalleerd omwille van de warmtepomp.



## Inleiding

De toepassing van warmtepompen ten behoeve van de verwarming van tuinbouwkassen kan een belangrijke rol spelen in de beperking van het primaire energieverbruik van de tuinbouw.

Warmtepompen kunnen laagwaardige warmte onder toevoer van een beperkte hoeveelheid hoogwaardige energie opwerken naar goed bruikbare temperatuurniveaus.

De hoeveelheid energie die op het hoge temperatuurniveau wordt afgegeven in verhouding tot de hoogwaardige energie waarmee de warmtepomp wordt aangedreven wordt aangeduid met de opbrengstfactor (COP, Coefficient Of Performance) (Boot, 1998). Deze opbrengstfactor neemt toe naarmate het temperatuurniveau waarop de warmte moet worden afgegeven afneemt. Dit betekent dat de perspectieven van warmtepompen toenemen, indien gebruik gemaakt kan worden van systemen met een groot verwarmend oppervlak (VO). Een groot VO impliceert immers dat een bepaald verwarmingsvermogen bij relatief lage temperatuur kan worden geleverd.

Een kas waarin een belangrijk deel van de kasverwarming middels een verwarmde betonvloer wordt ingevuld beschikt over een groot VO. Dit type kas komt veel voor in de potplantenteelt.

Deze sector zou dan ook als een van de eersten in aanmerking komen om een substantieel deel van de verwarmingsbehoefte met een warmtepomp in te vullen.

In dit project zal eerst het belang en aandeel van tuinbouwbedrijven met verwarmde betonvloeren in de sector worden geschetst. Vervolgens wordt vanuit de diversiteit die onder deze bedrijven kan worden aangetroffen een grootste gemene deler omschreven. De kasconstructie en het gehanteerde kasklimaat dat typerend is voor deze bedrijven zal vervolgens als referentie worden gebruikt voor de bepaling van het perspectief van de toepassing van de warmtepomp in kassen met betonvloerverwarming.

De perspectieven worden beoordeeld op grond van de kostenaspecten en de energiebesparing die wordt behaald met een goed doordacht warmtepompconcept.

Tevens is nagegaan of de toepassing van betonvloerverwarming in combinatie met een warmtepomp ook voor andere subsectoren van de glastuinbouw interessant kan zijn.

Als laagwaardige warmtebron voor de warmtepomp wordt in alle berekeningen uitgegaan van een aquifer waaruit water van 15 °C wordt opgepompt en die in een andere put met een temperatuur van 8 °C wordt teruggeperst. De wijze waarop het aquifer-doublet wordt geregenereerd valt buiten de doelstellingen van dit project. Hierover worden alleen enkele opmerkingen gemaakt die gebaseerd zijn op de resultaten gepresenteerd in de rapporten "De kas als zonne-energie-oogster" (De Zwart en Swinkels, 2002) en "Koeling en Ontvochtiging in de floriadekas" (Campen *et al.*, 2001).

## 1 Betonvloerverwarming in Nederlandse glastuinbouw

De beschrijving van het tuinbouwsegment dat gebruik maakt van betonvloeren is gebaseerd op een tweetal interviews met de heer Nijeboer van DLV.

Betonvloeren worden in de Nederlandse glastuinbouw in twee belangrijke subsectoren toegepast, te weten opkweekbedrijven en potplanten bedrijven. Met opkweekbedrijven worden voornamelijk bedrijven bedoeld die planten voor de glasgroentensector zaaien en vervolgens in enkele weken opkweken om ze naar glasgroentenbedrijven over te brengen. Er zijn geen exacte arealen bekend, maar schattingen zijn dat er bij opkweekbedrijven ongeveer 75-100 hectare en bij de potplantenbedrijven 125 à 150 hectare aan betonvloer aanwezig is. De opkweekbedrijven kenmerken zich door een relatief kort seizoen en naar verhouding grote bedrijfsoppervlakten. Het seizoen loopt van ongeveer oktober tot maart / april. De overige tijd is de afzet van opkweekproducten beperkt. De sector opkweekbedrijven vult deze periode in door of leegstand of een korte cyclus van potplantproducten, maar deze invulling is zeer divers.

Potplanten kunnen in twee belangrijke groepen opgedeeld worden, namelijk de 'groeiers' en de 'remmers'. Met 'groeiers' worden voornamelijk de groene planten bedoeld, waarbij de grootte van de plant (massa) van belang is. Met de 'remmers' worden voornamelijk bloeiende planten bedoeld, waarbij het van belang is dat de plant (vegetatief) klein blijft en voornamelijk voor bloemen en knoppen (generatief) geteeld wordt. Dit onderscheid is van groot belang voor de mogelijkheid tot het inzetten van betonvloeren. De zogenaamde 'groeiers' zijn bijzonder goed te telen op betonvloeren, met het daarbij behorende watergeefstelsel van eb en vloed. De 'remmers' zijn daarentegen minder goed op betonvloeren te telen, met als belangrijkste redenen:

- Het watergeven is één van de belangrijkste mogelijkheden om de groei te sturen. Met een eb-vloed systeem is de tijdsduur van het water geven niet voor alle potten gelijk, immers de vloer ligt onder afschot (meestal 1%) en het water opzetten en af laten lopen kost enige tijd, waardoor een deel van de potten (te) veel en een deel van de potten (te) weinig water krijgt. Dit kan leiden tot ongelijkheid in het gewas en is daarom niet gewenst.
- Betonvloeren zijn in verband met arbeidsomstandigheden uitstekend geschikt, indien de handling van de potten geautomatiseerd plaats kan vinden. Echter, bij bloeiende potplanten is de automatiseringsgraad op dit gebied (nog) zeer beperkt omdat het product uitgesorteerd wordt op bloeistadium en gevoeliger is voor handlingschade. Daarnaast kan nog worden opgemerkt dat de meeste 'remmers' in kleinere potten worden gekweekt, dus meer potten per m<sup>2</sup> en dus meer arbeid vragen zodat de arbeidsomstandigheden een grotere rol spelen.

De belangrijkste gewassen onder de 'groeiers' zijn de Ficus met een geschat areaal van ongeveer 80 hectare en de Yucca met ongeveer 40 hectare. Een groot deel van deze bedrijven werkt met betonvloeren, maar er is ook nog een aanzienlijk deel dat op de grond teelt met plastic folie en/of worteldoek als bodembedekking. De belangrijkste gewassen bij de 'remmers' zijn Begonia (40 ha), Kalanchoë (40 ha) en St-Paulia's (20 ha) Bij deze groep wordt veel met rollafels gewerkt.

De bedrijfsuitrusting op potplantenbedrijven is door de grote verscheidenheid aan producten zeer divers. Bijna alle bedenkbare combinaties zullen wel ergens voorkomen. Dit wordt nog eens in de hand gewerkt doordat een aanzienlijk deel van de potplantenbedrijven bestaat uit zogenaamde schakelaars. Dit zijn bedrijven die eerder zijn gebruikt in de glasgroentensector, maar nu in de potplantensector, waarbij de bedrijfsuitrusting nog stamt uit de 'groententijd'. Dit uit zich vaak nog in de aanwezigheid van een warmtebuffer, CO<sub>2</sub>-dosering, en de verwarmingsnetten. De potplantensector wordt in tegenstelling tot de glasgroentensector gekenmerkt door de nog geringe toepassing van CO<sub>2</sub>-dosering. Indien al CO<sub>2</sub> dosering wordt toegepast, dan zijn de aangehouden niveaus lager dan bij de groenten- en bloemensector gebruikelijk is. Daarom wordt





er in dit rapport geen nadere aandacht aan de CO<sub>2</sub>-dosering gegeven.

Grote uitbreiding van het areaal betonvloeren is op voorhand niet te verwachten. De veel hogere investeringskosten van roltafels ten opzicht van de betonvloer (respectievelijk ongeveer € 45,- per m<sup>2</sup> voor roltafels (inclusief automatisering van aan- en afvoer van het water) tegenover € 25,- per m<sup>2</sup> voor de betonvloer) kunnen in de regel worden terugverdiend door de betere stuurbaarheid van de watergift. Een betere stuurbaarheid van de watergift bij de betonvloer zou een kleinere hellingshoek en (daarmee) een nauwere tolerantie voor de vlakheid van de vloer betekenen. Eisen die technisch niet gemakkelijk gerealiseerd kunnen worden en zeker tot hogere kosten zouden leiden.

Bovendien zijn de automatiserings- en handlingproblemen voor kassen met betonvloeren groter dan in kassen met roltafels. Het automatiseringsprobleem zal niet snel worden opgelost, omdat het gaat om gewasspecifieke apparaten voor vaak kleine bedrijven en beperkte arealen.

## 2 Karakteristiek bedrijf met betonvloerverwarming

Tuinbouwbedrijven waar betonvloeren worden gebruikt, zijn voornamelijk potplantenbedrijven. Op deze bedrijven staan de bloempotten gewoon op de grond of op roltafels. Van deze twee uitvoeringsvormen is de situatie waarbij de potten op de grond staan de meest gangbare. In dit systeem kunnen de planten per pot tijdens de opkweekperiode wijder worden gezet waardoor de kasruimte maximaal kan worden benut. De kasconstructie wordt toegelicht in § 2.1.

Op de grond staande potten, maar ook potten op roltafels krijgen in de regel water middels een eb-vloed systeem. Het watergeefstelsel wordt uiteengezet in § 2.2.

De vloer van kassen met een betonvloer kan meestal worden verwarmd. Op deze manier blijft de pot warm en wordt tevens een homogene verwarming van de kaslucht gerealiseerd. Omdat de potten echter niet té warm mogen worden is het verwarmingsvermogen van de vloer begrensd. Dit betekent dat in een kas met betonvloerverwarming ook andere verwarmingssystemen moeten zijn aangelegd. In § 2.3 wordt verder op de uitvoeringsvorm en regeling van deze verwarmingssystemen ingegaan.

De laatste factor die bepalend is voor energieverbruik en performance van een tuinbouwkas is het binnenklimaat dat in de kas tot stand moet worden gebracht. De eisen aan het binnenklimaat worden beschreven in § 2.4.

### 2.1 Kasconstructie

Omdat potplantenkassen met verwarmde betonvloeren meestal bestemd zijn voor gewassen die bij hogere temperaturen geteeld worden wordt uitgegaan van een (Venlo-)kas met een energiescherm onder een enkelglas dek. Een dubbelwandig kasdek zou hier ook kunnen worden gebruikt maar aangezien in de praktijk, de in het verleden (1979 – 1985) aangelegde bedrijven met een dubbeldek bijna allemaal weer verdekt zijn naar enkelglas, wordt in dit project vastgehouden aan het enkel dek. Het scherm gaat dicht, indien de buitentemperatuur 's nachts onder de 10°C komt.

De scherminstallatie heeft op sommige bedrijven een dubbele functie. Naast het doel om energie te besparen wordt het scherm bij hoge lichtintensiteit (vanaf 600 W/m<sup>2</sup>) gesloten om het licht in de kas te temperen.

### 2.2 Watergeefstelsel

De opbouw van de meeste betonvloeren is gelijk. In een tralie (6.40 of 8 m.) wordt centraal een goot gemaakt waardoor het water kan worden opgezet en afgelaten. De vloer is onder licht afschot, een hoek van 1%, gestort en loopt van de centrale goot op naar de standers. Indien water wordt gegeven, wordt de vloer enige tijd onder een laag van enkele centimeters water gezet. De vasthoudtijd, vaak 10 à 15 minuten, bepaalt uiteindelijk hoeveel water de potten opnemen. Dit wordt het eb-vloed systeem genoemd. De watergeeffrequentie varieert van 1 keer per week in de winterperiode tot om de andere dag of dagelijks in de zomerperiode.

Na het afdalen, zal de vloer weer opdrogen, waarbij de droogtijd sterk beïnvloed wordt door de vervuilingsgraad van de vloer. Op schone vloeren (opkweeksector) is de vloer binnen een uur weer droog, maar op vuile vloeren die in de potplantensector veelvuldig voorkomen (door het volcontinue gebruik van de vloer is het schoonmaken lastig) kan het opdrogen enkele uren duren. Het telkens weer opdrogen van de natte vloer gebruikt een niet onaanzienlijke hoeveelheid energie. Het kasklimaat simulatiemodel berekent hiervoor bij een schone vloer ruim 2.5 m<sup>3</sup> a.e. per m<sup>2</sup> per jaar (4%). Bij vuile vloeren zal dit percentage oplopen.

## 2.3 Verwarming en ventilatie

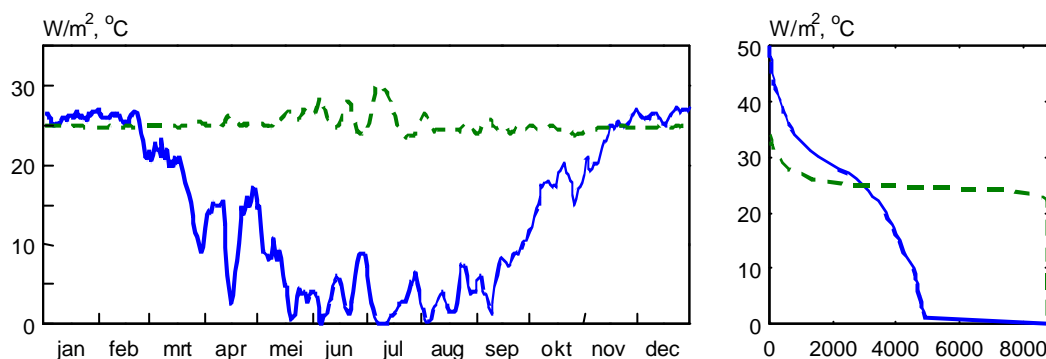
Er is geen subsector binnen de glastuinbouw met een grotere diversiteit dan de potplantensector. In dit project is er van uitgegaan dat de bedrijven met verwarmde betonvloeren over het algemeen een warm en vochtig binnenklimaat hanteren.

De temperatuur van de vloer mag niet te hoog oplopen. Daarom wordt het verwarmingsvermogen naar de vloer beperkt wanneer de temperatuur 3 cm onder het vloeroppervlak boven de 25°C uitkomt. Hiermee moet voorkomen worden dat de pott temperatuur warmer wordt dan 3°C boven de luchttemperatuur. De vloerverwarming wordt als eerste geregeld. Indien de warmteafgifte van de vloer te klein is, wordt het bovennet ingeschakeld. Voor dit bovennet zijn 51 mm buizen op een vaste hoogte in de kas geplaatst.

Dit betekent dat in de berekeningen wordt uitgegaan van een kasluchttemperatuur-setpoint van 22 °C voor dagperiode en 20 °C gedurende de nacht. De verwarmingsregeling maakt gebruik van temperatuurintegratie met een bandbreedte van 2°C ten opzichte van de setpoints voor verwarmen en ventileren, waarbij de som aan graaduren maximaal 200 mag afwijken ten opzichte van een standaardteelt. Er is een minimumbuistemperatuur van 30 °C ingesteld.

De ramen worden geopend indien de RV boven de 85% stijgt.

De keuzen rond de uitvoering en regeling van de vloerverwarming leiden tot het in figuur 2-1 weergegeven jaarpatroon voor de vloertemperatuur en de vermogensvraag van de vloer.



Figuur 2-1 Vloertemperatuur (gestreept) en vermogensvraag van de betonvloer (getrokken) als jaarverloop en als jaarbelastingduurkromme. Voor het jaarverloop zijn daggemiddelde waarden en voor de jaarbelastingduurkromme zijn uurgemiddelde waarden gebruikt.

De jaarlijkse warmtevraag van de hierboven beschreven kas is 56 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. De betonvloer levert hiervan 34 %, wat overeenkomt met 20 m<sup>3</sup> aardgas equivalenten. Het overige deel wordt door het bovennet geleverd.

## 2.4 CO<sub>2</sub> voorziening

De potplantensector kenmerkt zich door de geringe / beperkte toepassing van CO<sub>2</sub>-dosering. Daarom wordt in deze de CO<sub>2</sub>-voorziening buiten beschouwing gelaten.



### 3 Toepassing warmtepomp

Een warmtepomp bespaart energie doordat deze machine in staat is laagwaardige, voor verwarming onbruikbare, thermische energie op te werken naar warmte op hoger temperatuurniveau. Om deze opwerking te realiseren moet hoogwaardige energie worden toegevoerd. De hoeveelheid hoogwaardige energie die hiervoor nodig is neemt af naarmate de temperatuur waarop de warmte moet worden afgegeven lager is. De betonvloerverwarming is een verwarmingssysteem waarbij relatief veel vermogen op een relatief lage temperatuur kan worden afgegeven.

In dit hoofdstuk zal aan de hand van de warmtevraag in de betonvloer en de daarbij gebruikte aanvoertemperaturen worden bepaald hoe groot de energiebesparing is die de warmtepomp daarin kan realiseren. Deze berekening zal worden gedaan voor verschillende typen warmtepompen met meerdere vermogens. Op deze manier kan de energiebesparing worden uitgerekend in afhankelijkheid van de capaciteit van de installatie.

In § 3.1 wordt het hydraulisch systeem waarin de warmtepomp functioneert uiteengezet. De beschrijving van dit systeem wordt tevens gebruikt om de berekeningswijze van het energieverbruik toe te lichten.

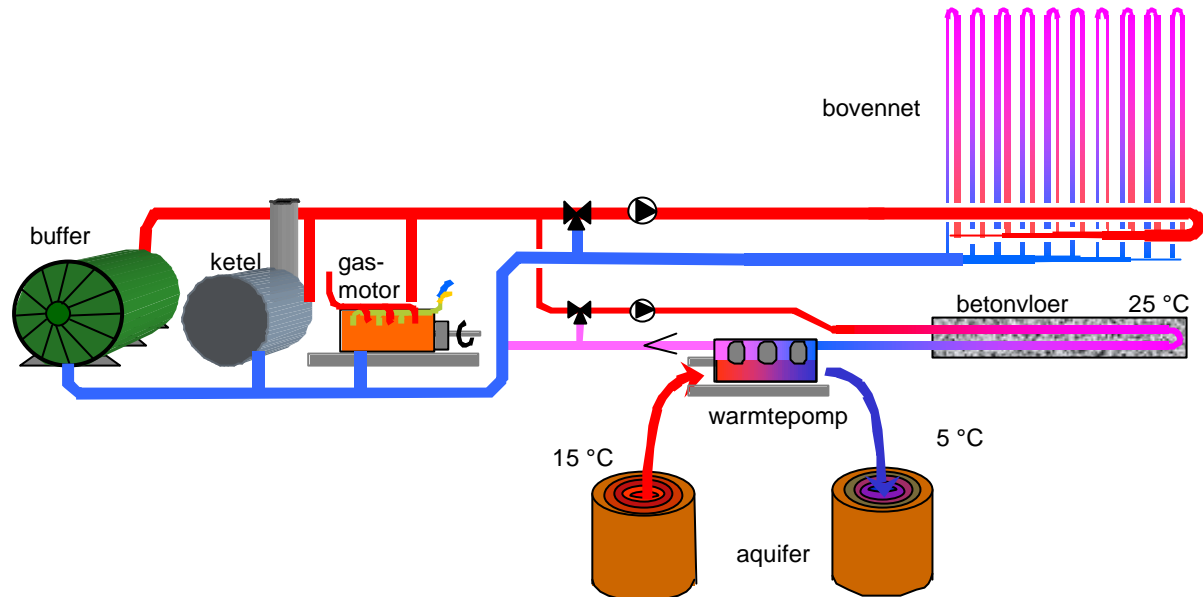
In § 3.2 worden de energieverbruiks-resultaten van het warmtepomp-aangedreven verwarmingssysteem getoond en toegelicht. Deze paragraaf geeft zicht op de relatie tussen warmtepomp-capaciteit en energiebesparing. De hier berekende energiebesparing wordt bovendien vergeleken met de energiebesparing die zou zijn gerealiseerd met een overigens gelijk kas, maar dan bij toepassing van uitsluitend een buisverwarming (in plaats van betonvloerverwarming).

In § 3.3 worden de conclusies voor het bestudeerde systeem getrokken.

### 3.1 Inpassing warmtepomp

#### 3.1.1 Hydraulisch systeem

Een gasmotor aangedreven warmtepomp functioneert in de kas met vloerverwarming volgens het hydraulisch schema, zoals weergegeven in figuur 3-1.



Figuur 3-1 Hydraulisch schema van de kas met betonvloer verwarmingssysteem dat verwarmd wordt met een warmtepomp. In dit schema wordt de warmtepomp aangedreven met een gasmotor. Het motorkoelwater en de warmte uit de rookgaskoeler worden dan gebruikt voor het buisverwarmingssysteem.

In het schema van figuur 3-1 is weergegeven dat de warmtepomp uitsluitend voor de verwarming van de betonvloer kan worden gebruikt. In een oriënterende berekening is bekeken of het zin heeft om de warmtepomp naar keuze ook op het bovennet te kunnen aansluiten. In dat geval zou op momenten dat de warmtepomp vermogen over heeft ook een bijdrage kunnen leveren aan de warmtevraag van het bovennet.

De berekeningen gaven aan dat bij grotere elektrische warmtepompen (vanaf een asvermogen van 15 W/m<sup>2</sup>) en bij de grotere 2-traps absorptiewarmtepomp (vanaf een aandrijfvermogen rond de 25 W/m<sup>2</sup>) de mogelijkheid om het bovennet ook via de warmtepomp te kunnen verwarmen een toename van de energiebesparing van ongeveer 2 tot 3 procent-punten te zien geeft. Het effect van de bijschakeling voor systemen met een gasmotor warmtepomp is kleiner. Dit laatste komt door het feit dat bij gebruik van de gasmotor warmtepomp een deel van de warmtevraag van het bovennet wordt ingevuld uit afvalwarmte van de gasmotor.

Dat bijschakeling van het bovennet op de warmtepomp in het algemeen weinig oplevert kan worden verklaard uit het feit dat dit net uit weinig buizen bestaat en derhalve hoge temperaturen kent. Deze hoge temperaturen leiden tot lage COP's, waardoor de warmtepomp een afnemende verbetering ten opzichte van een ketel te zien geeft.

Vanwege het gering effect van de toevoeging van een aansluiting van de warmtepomp op het bovennet is dit verder buiten beschouwing gelaten.

Figuur 3-1 toont de inpassing van de gasmotor aangedreven warmtepomp. Andere typen warmtepompen (elektrisch aangedreven, en absorptiewarmtepompen) worden op dezelfde plaats ingevoegd, maar ontberen de gasmotor.

### 3.1.2 Berekening van het energieverbruik

Het rekenschema waarmee voor dit hydraulisch systeem het energieverbruik wordt bepaald is gebaseerd op de gegevens over de vermogens en temperaturen die in de kas worden gevraagd, welke worden berekend middels het dynamisch kasklimaatmodel KASPRO (De Zwart, 1996). Ten behoeve van onderhavig project is de in Bijlage I beschreven betonvloerverwarming simulatie aan het model toegevoegd.

Aan de hand van de vermogens en temperatuursgegevens, welke op 2 minuten basis in het model beschikbaar komen, wordt de vereiste inzet van warmtepomp, gasmotor en ketel berekend, en de daaraan gepaard gaande gas- en elektraverbruiken. De relatie tussen warmte-output en aandrijfvermogen van een warmtepomp is afhankelijk van de COP. Deze COP is op zijn beurt afhankelijk van de condensor- en verdampertemperatuur. De verdampertemperatuur wordt constant op 5°C gesteld. De condensortemperatuur wordt iedere twee minuten vastgesteld op grond van de dan geldende retourtemperatuur uit het vloerverwarmingssysteem, verhoogd met 2 °C om de temperatuurval over de condensor te verdisconteren.

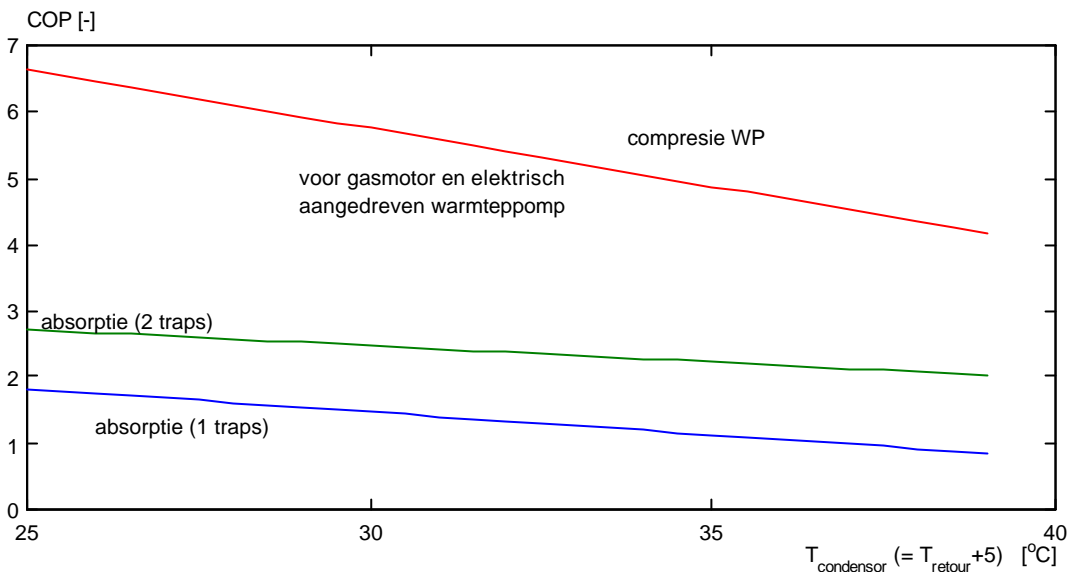
Vanuit de (constante) verdampertemperatuur en de wisselende condensortemperaturen wordt de acutele COP van de warmtepomp berekend middels één van de onderstaande 3 karakteristieken, geldend voor verschillende typen warmtepompen.

- Mechanische compressie warmtepomp.
- Thermische compressie indirect gestookte één traps warmtepomp (absorptie (1 traps)).
- Thermische compressie indirect gestookte twee traps warmtepomp (absorptie (2 traps)).

Ten behoeve van dit project zijn deze karakteristieken door Gastec bepaald middels linearisaties van hyperbolische krommen. Vanwege deze linearisatie zijn de curves slechts geldig voor verdampertemperaturen tussen 25 en 38 °C. In hoofdstuk 5 wordt hier nader op teruggekomen.

In de bijlage worden voor de elektrisch aangedreven en gasmotor aangedreven warmtepomp verschillende COP-curven gegeven. Dit komt doordat de COP-karakteristiek die in de bijlage voor de gasmotor aangedreven warmtepomp wordt vermeld betrekking heeft op de complete machine, en dus de warmte-output van de gasmotor en van de warmtepomp samen zijn genomen. Uit het in figuur 3-1 getoonde systeem blijkt echter dat in tuinbouwkundige toepassingen de warmte van de gasmotor wordt afgegeven op het hoogwaardig temperatuurnet. Daarom moeten in deze toepassing de twee warmtestromen die bij de gasmotor warmtepomp vrijkomen worden gescheiden. De output van de warmtepomp kan vervolgens via de COP-karakteristiek van een compressiewarmtepomp worden bepaald en de output van de gasmotor via diens thermisch rendement.

Vanuit de warmtepomp bezien wordt de te gebruiken COP-karakteristiek voor een gasmotor aangedreven warmtepomp daarmee gelijk aan die van de elektrisch aangedreven warmtepomp. In onderstaande figuur zijn de gebruikte karakteristieken grafisch weergegeven.



Figuur 3-2 COP van 3 typen warmtepompen als functie van de condensor temperatuur bij een verdampertemperatuur van 5°C. (afgeleid uit Bijlage I)

Wanneer vanuit de berekeningen van het simulatiemodel de primaire energieverbruiken worden bepaald wordt er van uit gegaan dat voor de productie van 1 MJ elektrische energie 2 MJ primaire energie nodig is. Dit speelt met name bij de elektrisch aangedreven warmtepomp. Bij de andere warmtepompen wordt alleen elektriciteit gebruikt voor het pompen van water van en naar de aquifer, waarvoor een elektriciteitsverbruik van 0.05 MJ per MJ energie die vanuit de aquifer wordt onttrokken wordt gebruikt (analoog aan Raaphorst *et. al.* (2001)).

Als thermisch rendement van de gasmotor wordt gewerkt met 53%. Het asrendement van de gasmotor is gesteld op 31%.

De warmte die door de ketel wordt geleverd wordt gegenereerd met een conversierendement van 95% op onderwaarde.

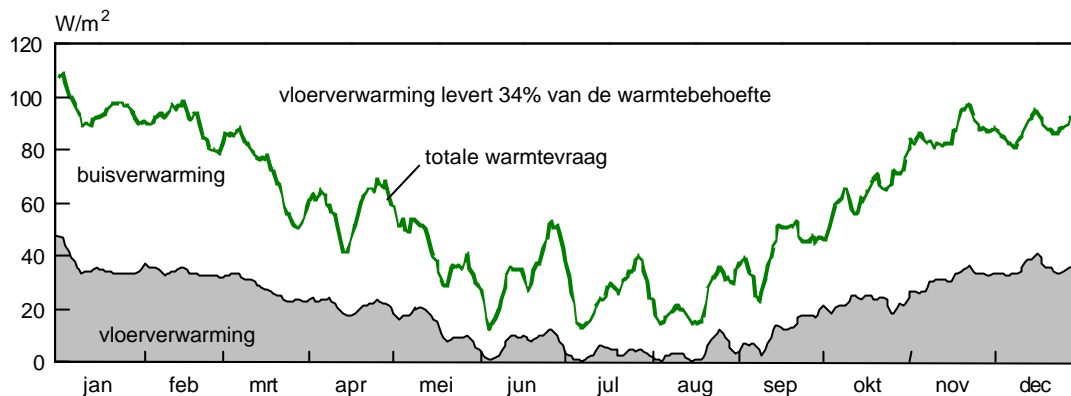
De in figuur 3-1 gehanteerde verdampertemperatuur van 5°C zal het water dat uit de warme put van de aquifer komt naar de gestelde 8°C kunnen afkoelen.

Bij een oppervlaktetemperatuur van de vloer van rond de 25°C zal de retourtemperatuur van het water uit het vloerverwarmingssysteem ongeveer 26 graden zijn, de aanvoertemperatuur rond de 29 °C liggen en komt de condensortemperatuur op waarden rond de 31°C. In die situatie kan de elektrische warmtepomp dus functioneren bij een COP van ongeveer 5.6.

Tijdens het opwarmen van de vloer na een periode waarin de verwarming uit is geweest, zal de retourtemperatuur lager zijn, waardoor de condensortemperatuur daalt en de COP oploopt. Het simulatiemodel berekent dan ook elke twee minuten de op dat moment geldende COP.

### 3.2 Energiebesparing

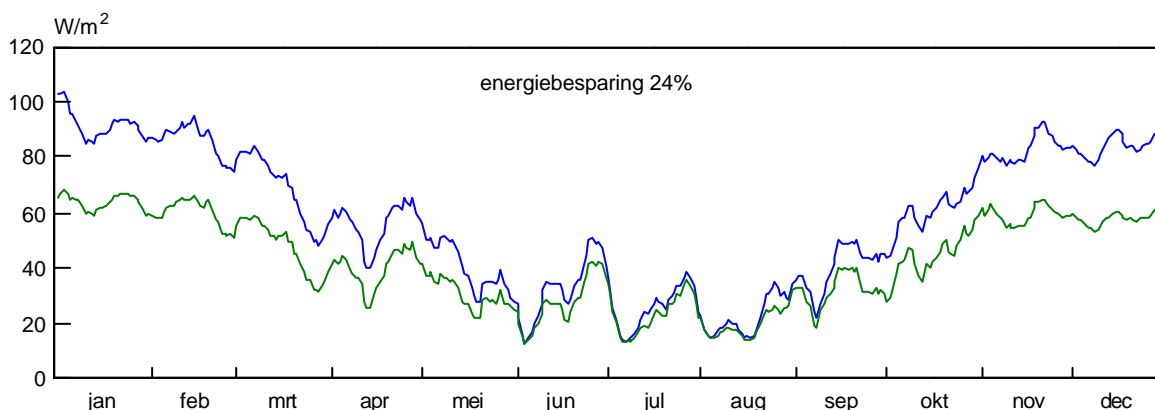
Het grootste energiebesparingseffect treedt op indien de warmtepomp zijn warmte levert aan de betonvloer. Immers, deze verwarmingsbron werkt bij lage temperatuur en dus bij hoge COP. Het aandeel van de betonvloerverwarming in de totale verwarming is daarmee een belangrijke bepalende factor voor de te behalen energiebesparing. In figuur 3-3 is in een stapelgrafiek het aandeel van de betonvloerverwarming in de totale verwarming weergegeven.



Figuur 3-3 Stapelgrafiek waarin de vloerverwarming (grijs) als aandeel van de totale verwarming is weergegeven.

Wanneer de gegevens uit figuur 3-3 tot jaargemiddelde worden verwerkt blijkt dat de vloerverwarming 34% van de verwarmingsbehoefte invult. De totale warmtebehoefte van het potplantenbedrijf is  $58 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ , zodat de betonvloer bijna  $20 \text{ m}^3$  a.e. warmte per  $\text{m}^2$  per jaar afgeeft.

Wanneer het eerder besproken rekenschema voor de berekening van de energiebesparing wordt toegepast voor een elektrische warmtepomp met een asvermogen van  $12 \text{ W/m}^2$  levert dat in figuur 3-4 weergegeven verloop van het primaire energieverbruik op. De energiebesparing over het hele jaar is 24%.



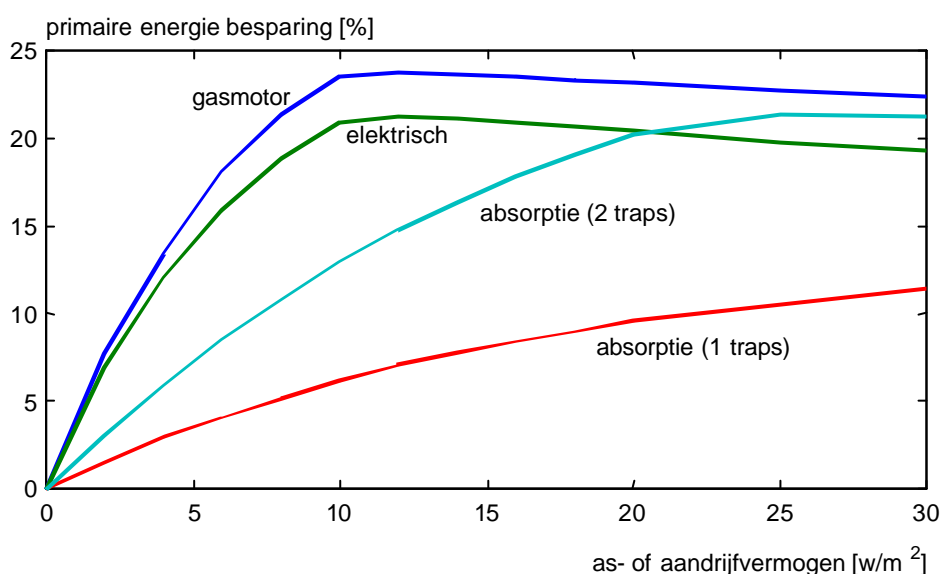
Figuur 3-4 Primair energieverbruik in een karakteristieke potplantenkas met betonvloer zonder warmtepomp (getrokken) en de situatie waarin een elektrische warmtepomp van maximaal  $12 \text{ W/m}^2$  asvermogen wordt gebruikt om de vloer te verwarmen (gestippeld). De jaarrond energiebesparing is 24%.



De grafiek laat goed zien dat de besparing vooral optreedt in de winter, de periode met een hoog aandeel van de vloerverwarming in de totale warmtevraag.

Behalve voor de situatie waarin het warmtepompvermogen zodanig is gekozen dat de warmtepomp vrijwel de gehele jaarbelastingduurkromme kan dekken, wat het geval is bij een warmtepomp met  $12 \text{ W/m}^2$  asvermogen, kan de te behalen energiebesparing ook worden berekend bij kleinere warmtepomp capaciteiten. Bij kleinere capaciteiten neemt het aantal equivalente vollast-uren toe

In figuur 3-5 is de besparing op de primaire energie-input weergegeven voor de vier warmtepomptypen voor een range van warmtepompcapaciteiten. Hierbij is een configuratie zonder warmtepomp als uitgangssituatie gebruikt. Het elektriciteitsverbruik van de elektrisch aangedreven warmtepomp is in de primaire energie-input meegerekend, waarbij het rendement van de elektriciteitsproductie op 0.5 is gesteld.



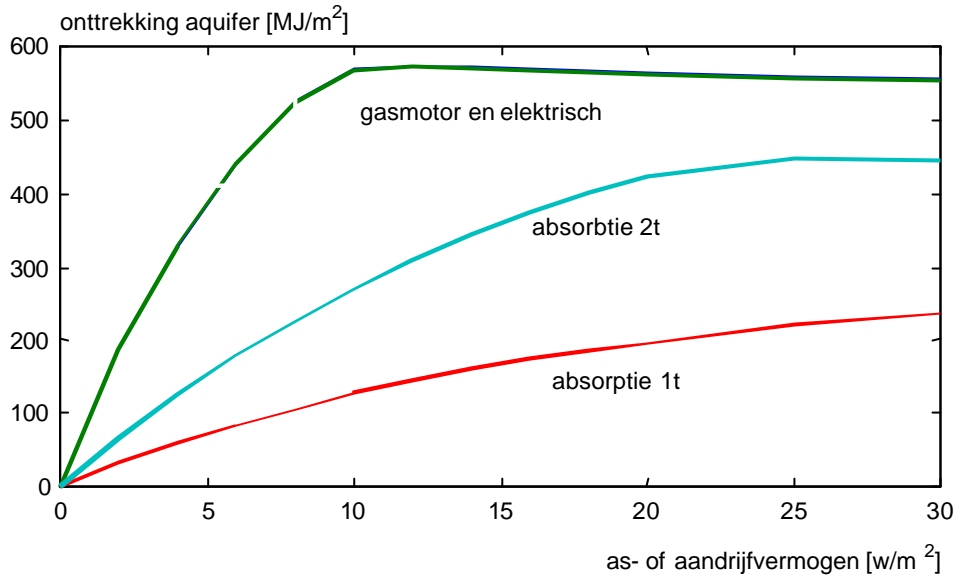
Figuur 3-5 Besparing op de primaire energie-input voor vier warmtepomptypen met capaciteiten van 0 tot  $30 \text{ W/m}^2$ .

De verschillen tussen de warmtepomptypen zijn in figuur 3-5 duidelijk te zien. Bij de gasmotor warmtepomp wordt de hoogste besparing gerealiseerd. De elektrische warmtepomp en de 2-traps absorptiewarmtepomp komen tot vergelijkbare besparingsniveau's, waarbij het asvermogen van de elektrische warmtepomp veel kleiner is dan het aandrijfvermogen van de absorptiewarmtepomp. De 1-traps absorptie warmtepomp heeft een zeer gering besparingspotentieel.

De curven lopen bij grotere vermogens weer naar vanwege de in de bijlage gepresenteerde deellast-karakteristiek. Volgens deze grafiek is een kleine overcapaciteit gunstig, maar leidt een grote overcapaciteit weer tot vermindering van de COP.

De warmtepompen onttrekken een deel van de afgegeven warmte aan een laagwaardige temperatuurbron (aquifer). In figuur 3-6 is de onttrekking van warmte uit deze warmtebron weergegeven voor de vier warmtepomptypen in de vermogensrange van 0 tot  $30 \text{ W/m}^2$ . De vorm en het verloop van deze krommen is gelijk aan die in figuur 3-5. Dit komt doordat in principe de energiebesparing wordt gerealiseerd door warmte uit de lage-temperatuurbron (aquifer) te betrekken.

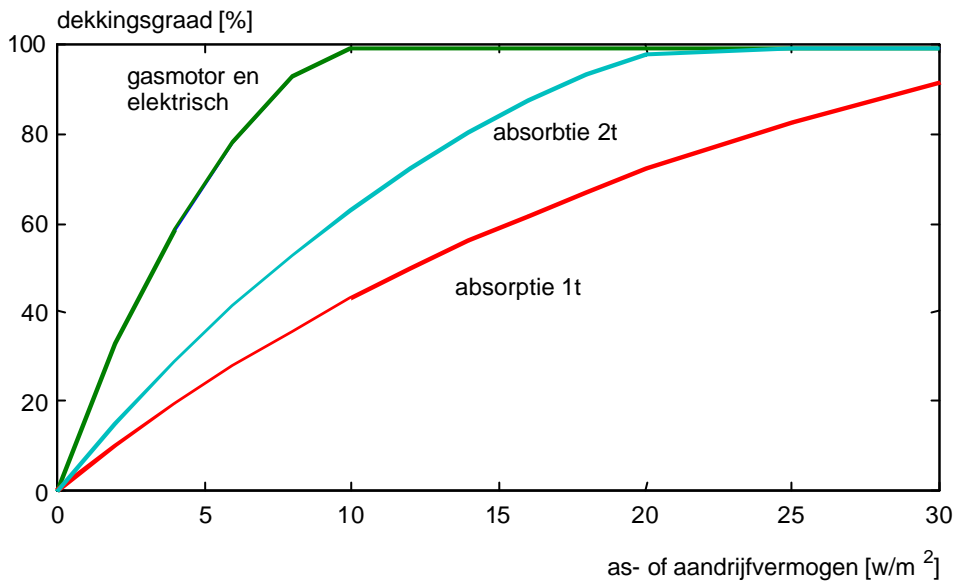
De figuur laat zien dat de gasmotor aangedreven en de elektrisch aangedreven warmtepomp gebruik maken van dezelfde compressie warmtepomp. Daardoor is voor deze systemen de aquiferbelasting gelijk. De energiebesparing is verschillend omdat het overall rendement waarmee de compressie machines worden aangedreven verschillend is.



Figuur 3-6 De door de aquifer te leveren energie bij vier verschillende typen warmtepompen met asvermogens van 0 tot 30 W/m<sup>2</sup>.

In Figuur 3-7 zijn de dekkingsgraden van de warmtebehoefte van de vloer door de warmtepompen bij verschillende as- en aandrijfvermogens weergegeven. Deze figuur laat zien dat de compressie warmtepompen bij een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup> een dekkingsgraad van 100% bereiken. Dit wordt al bij relatief kleine vermogens bereikt omdat, de totale warmtevraag van de betonvloer beperkt is door de temperatuurbegrenzing van de vloer.

Ook hier valt weer op dat het voor de warmtepomp niet uitmaakt op welke manier het aandrijfvermogen tot stand komt (middels een gasmotor of middels een elektromotor). De aandrijfvermogens van de absorptiewarmtepompen moeten hoger zijn om een 100% dekkingsgraad te bereiken omdat deze warmtepompen met een lagere gemiddelde COP werken.



Figuur 3-7 De dekkinggraad van de warmtepomp op de betonvloer bij vier verschillende typen warmtepompen met as- of aandrijfvermogens van 0 tot 30 W/m<sup>2</sup>.

### 3.3 Conclusies

De belangrijkste conclusie die uit de simulaties naar voren komt is dat met een warmtepomp die aangesloten is op een vloerverwarmingssysteem van een potplantenbedrijf een energiebesparing van meer dan 20% kan worden behaald. Bij gebruik van een compressiewarmtepomp is hiervoor een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup> nodig. Bij gebruik van een 2-traps absorptiewarmtepomp moet hiervoor een machine met een aandrijfvermogen van ongeveer 35 W/m<sup>2</sup> worden gebruikt. De 1-traps absorptiewarmtepomp komt qua besparingspotentieel ongeveer op de helft. Het besparingspotentieel van de gasmotor aangedreven installatie is met 24% het hoogste. Om deze besparingen te kunnen behalen onttrekken de compressiewarmtepompen rond de 550 MJ per m<sup>2</sup> per jaar aan de warme put van het aquiferdoublet en de absorptiewarmtepomp ongeveer 450 MJ per m<sup>2</sup> per jaar.



## 4 Bedrijfseconomische evaluatie

In dit hoofdstuk worden enkele bedrijfseconomische beschouwingen gemaakt rond de toepassing van de warmtepomp op de betonvloer. Dit vindt plaats door het effect van het koelsysteem op de relevante vaste en variabele kosten uit te rekenen ten opzichte van de standaard situatie. Allereerst wordt in dit hoofdstuk de berekeningsmethodiek toegelicht (§ 4.1). Vervolgens worden de uitgangspunten en aannamen die rond de investeringskosten gelden weergegeven (§ 4.2). Tenslotte wordt het besproken rekenschema toegepast op de vier warmtepomptypen die in het vorige hoofdstuk de revue zijn gepasseerd.

### 4.1 Berekeningswijze

De jaarkosten rond de energievoorziening op een tuinbouwbedrijf worden bepaald door vaste lasten die voortvloeien uit de investering en variabele kosten die bij gebruik van de installatie optreden.

De vaste lasten vloeien voort uit rente- en afschrijvings- en onderhoudskosten van de toegepaste installaties. De vaste lasten die in deze studie in beschouwing worden genomen zijn de kosten voor het aquifer doublet en de warmtepomp.

De variabele kosten worden gevormd door de kosten voor de inkoop van elektriciteit voor het verpompen van water over het doublet en bij gebruik van een elektrische warmtepomp. Extra kosten voor CO<sub>2</sub>-dosering worden in deze studie buiten beschouwing gelaten vanwege de onduidelijke rol van CO<sub>2</sub>-dosering in de potplantenteelt.

De opbrengsten worden gevormd door de besparing op gaskosten. Omwille van de eenvoud wordt de besparing op gaskosten berekend door de bespaarde m<sup>3</sup> te vermenigvuldigen met een vaste m<sup>3</sup> prijs. Deze wordt volgens de CDS-systematiek voor het betreffende bedrijf in de standaardsituatie berekend.

De vergelijking van de som van deze kostenposten met de kosten die uit de energiebesparing ten opzichte van de standaardsituatie voortvloeien bij gebruik van de verschillende warmtepompen geeft een beeld van het bedrijfseconomisch effect van de toepassing van deze systemen.

### 4.2 Uitgangspunten

#### Aquifer doublet.

In de bijlage, figuur 16 zijn de investeringen voor een aantal aquifersystemen uitgezet tegen de opslagcapaciteit. Uit deze gegevens kan een trendlijn worden afgeleid. Na omrekening van gulden in euro's, omrekening van MWh naar MJ en gefit op een opslagcapaciteit van 100 tot 1000 MJ/m<sup>2</sup>, betrokken op de schaafeffecten van een kas van 2 ha, luidt de vergelijking voor deze investeringskosten:

$$\text{Investering} = 0.0407 E_{\text{bron}} + 7.97 \quad [\text{€ per m}^2]$$

waarin  $E_{\text{bron}}$  de jaarlijkse hoeveelheid energie is die in de aquifer wordt opgeslagen, uitgedrukt in MJ. Met deze formule komen voor de tuinbouw, waar warmte-opslag systemen tussen de 500 en 1000 MJ/m<sup>2</sup> per jaar zullen opslaan, de investeringen in de aquifer op een bedrag van 30 tot 50 euro per m<sup>2</sup>.

In andere studies, zoals “De kas als zonne-energie oogster” (de Zwart en Swinkels, 2002) wordt de investering voor de aquifer uitgedrukt per vermogens eenheid. In genoemd rapport wordt een marge van 220 tot 450 euro per kW genoemd, ontleend aan informatie van Klopstra (2001) en persoonlijke communicatie met de heer van Mourik. Uitgaande van in de tuinbouw te verwachten aquifer vermogens van 30 tot 60 W/m<sup>2</sup> zouden op grond van deze laatste getallen de investeringen tussen de 6 (30 W bij € 220/kW) en 27 euro per m<sup>2</sup> komen te liggen (60 W bij € 450/kW). In recente persoonlijke communicatie wordt zelfs een investeringsbedrag van € 181/kW genoemd (Kleefkens, 2002).

Aangezien de gegevens van Klopstra zijn gebaseerd op een uitgebreide enquête, onder andere in de glastuinbouw, en de systemen waarover door Gastec wordt gerapporteerd allemaal afkomstig zijn uit de utiliteitsbouw wordt in dit rapport gebruik gemaakt van de getallen van Klopstra en van Mourik. Bovendien wordt, op grond van de informatie van Kleefkens gekozen voor de ondergrens in de genoemde marge, dus voor investeringskosten van € 220/kW. Dit betekent dat een aquifer in de tuinbouw ongeveer 5 keer goedkoper zou moeten kunnen zijn dan de kosten die op grond van de gegevens die door Gastec zijn verzameld zou worden verwacht.

Uitgaande van deze € 220/kW, een afschrijvingsperiode van 35 jaar, een rentevoet van 6% (gemiddeld 3% bij lineaire aflossing) en een onderhoudspercentage van 3% van de investering bedragen de jaarlasten voor de aquifer

$$\text{Jaarlasten}_{\text{aquifer}} = P_{\text{aquifer}} * 0.0198 \quad [\text{€ per m}^2 \text{ per jaar}]$$

waarin  $P_{\text{aquifer}}$  het vermogen van de bron is in W/m<sup>2</sup>

### Warmtepompinstallatie

In deze studie worden vier typen warmtepompen beoordeeld. In de bijlage zijn de investeringskosten voor deze typen als functie van het thermisch vermogen genoemd. Daarnaast worden kosten voor leidingwerk etc genoemd die afhankelijk worden gesteld van de aanschafprijs. Verrekening van deze extra kosten in de investeringskosten, omgerekend naar euro's en rekening houdend met de schaal-effecten van deze machines op een bedrijf van 2 ha, geven de volgende investeringsbedragen:

$$\text{Investering, EWP} = 0.0558 * P_{\text{th}} + 1.23 \quad [\text{€ / m}^2]$$

$$\text{Investering, GMWP} = 0.0726 * P_{\text{th}} + 1.60 \quad [\text{€ / m}^2]$$

$$\text{Investering, ABS1} = 0.0362 * P_{\text{th}} + 2.28 \quad [\text{€ / m}^2]$$

$$\text{Investering, ABS2} = 0.101 * P_{\text{th}} + 2.77 \quad [\text{€ / m}^2]$$

De in deze formules gebruikte variabele  $P_{\text{th}}$  is het thermisch vermogen van de warmtepomp in W/m<sup>2</sup>. Omdat het thermisch vermogen dat een warmtepomp kan leveren echter afhangt van de COP, is de warmtepompcapaciteit in de grafieken van hoofdstuk 3 steeds uitgedrukt als as- of aandrijfvermogen. Uitgaande van het feit dat bij de gemiddelde werk-condities ( $T_{\text{condensor}} = 31^\circ\text{C}$ ) de elektrische warmtepomp een COP heeft van 6.4 (zie figuur 3-2) kan bij de elektrische warmtepomp  $P_{\text{th}}$  worden vervangen door  $6.4 P_{\text{as}}$ . Voor de gasmotorwarmtepomp kan  $P_{\text{th}}$  worden vervangen door  $1.95 P_{\text{as}}$  omdat deze bij een condensortemperatuur van  $31^\circ\text{C}$  volgens de figuren in de bijlage een COP van 1.95 heeft<sup>†</sup>. Bij de 1-traps absorptiewarmtepomp kan  $P_{\text{th}}$  worden vervangen door  $1.65 P_{\text{aandr}}$ , en bij de 2-traps absorptiewarmtepomp kan  $P_{\text{th}}$  worden vervangen

<sup>†</sup> Bij deze omwerking van  $P_{\text{thermisch}}$  naar  $P_{\text{as}}$  wordt dus niet gebruik gemaakt van figuur 3-2, maar van de COP-karakteristiek in de bijlage omdat anders verschillende benaderingswijzen door elkaar gemixed worden



door  $2.8 P_{\text{aandr}}$ . De investeringskosten als functie van het as- of aandrijfvermogen worden dus

$$\text{Investering,EWP} = 0.3571 * P_{\text{as}} + 1.23 \quad [\text{€}/\text{m}^2]$$

$$\text{Investering,GMWP} = 0.1416 * P_{\text{as}} + 1.60 \quad [\text{€}/\text{m}^2]$$

$$\text{Investering,ABS1} = 0.0597 * P_{\text{aandr}} + 2.28 \quad [\text{€}/\text{m}^2]$$

$$\text{Investering,ABS2} = 0.2828 * P_{\text{aandr}} + 2.77 \quad [\text{€}/\text{m}^2]$$

De jaarkosten worden uit de investeringskosten berekend door uit te gaan van een afschrijvingspercentage van 10%, een rentevoet van 6% (dus gemiddeld 3%) en een onderhoudspercentage van 2%.

### Gaskosten

Voor de berekening van de gemiddelde gasprijs per  $\text{m}^3$  wordt gebruik gemaakt van de CDS-systematiek volgens de op dit moment bekende rekenregels (onder andere opgenomen in de rekenmethodiek van het LEI). Bij toepassing van een gasverbruik van  $58 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ , een aansluitcapaciteit van  $250 \text{ m}^3/(\text{ha uur})$ , een afstand van 100 km tot het dichtstbijzijnde entrypoint en een zware stookolie prijs van € 160 per ton (prijspijs 4<sup>e</sup> kwartaal 2001) is de gemiddelde aardgasprijs € 0.18 per  $\text{m}^3$ .

### Elektriciteitskosten

Het belangrijkste extra elektriciteitsverbruik bij de toepassing van warmteonttrekkende systemen ontstaat wanneer er gebruik wordt gemaakt van een elektrisch aangedreven warmtepomp. Uitgaande van een elektriciteitsprijs van € 0.07 per kWh (Raaphorst *et al.*, 2001) kunnen de elektriciteitskosten worden berekend met:

$$K_{\text{ElekEWP}} = 0.07 * E_{\text{WPas}} \quad [\text{€ per m}^2 \text{ per jaar}]$$

waarin  $E_{\text{WPas}}$  het jaarlijks opgenomen elektriciteitsverbruik door de as van de warmtepomp in kWh voorstelt.

Naast deze grote elektriciteitsverbruiker vraagt het verpompen van water tussen de twee putten elektrisch vermogen. Raaphorst *et al.* (2001) noemt een getal van 0.05 kWh per kWh warmte die via de aquifer wordt gebruikt. In formulevorm kunnen de kosten hiervan worden uitgedrukt in

$$K_{\text{ElekAquifer}} = 0.07 * 0.014 * E_{\text{aquifer}} \quad [\text{€ per m}^2 \text{ per jaar}]$$

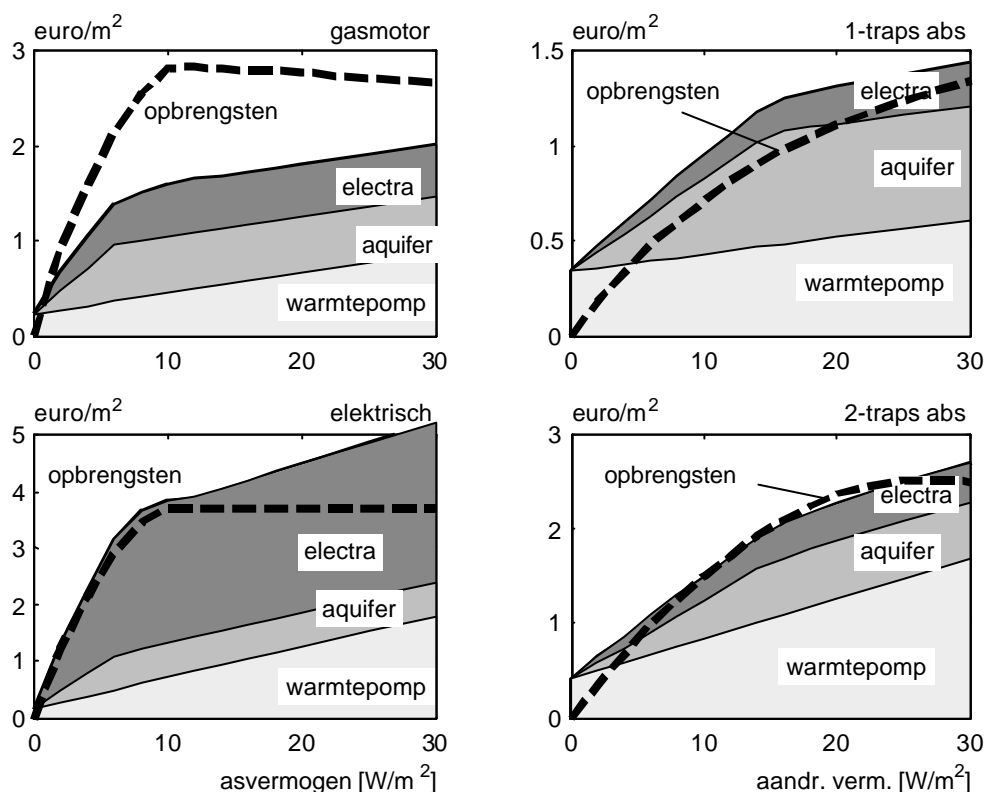
waarin  $E_{\text{aquifer}}$  de jaarlijkse warmte-onttrekking aan de aquifer is (in MJ/( $\text{m}^2$  jaar)). De term 0.014 is het resultaat van de omrekening van 0.05 kWh/kWh naar = 0.014 kWh/MJ.

### 4.3 Resultaten

Met de bovenbeschreven berekeningswijzen kunnen de perspectieven van de verschillende warmtepompen worden beoordeeld.

In figuur 4-1 worden de drie kostenposten van het gebruik van de warmtepomp bij de hierboven beschreven uitgangspunten getoond in de vorm van een stapeling. Tevens is in de grafieken de opbrengstencurve getekend.

Als de opbrengstengrafiek boven de kostengrafiek uitkomt is het systeem bedrijfseconomisch interessant.



Figuur 4-1 Kosten (gestapeld) en opbrengsten (gestreepte lijn) van de toepassing van 4 typen warmtepompen als warmtebron voor een vloerverwarmingssysteem als functie van het as- of aandrijfvermogen bij een gasprijs van € 0.18 per m<sup>3</sup>.

De grafieken laten zien dat alleen bij gebruik van de gasmotor aangedreven warmtepomp de energiebesparing opweegt tegen de kosten. De maximale revenuen worden bereikt bij een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup> en bedragen in dat geval € 1.20 per m<sup>2</sup> per jaar. Hier moet nog wel bij vermeld worden dat in deze berekeningen geen kosten zijn opgenomen voor de regeneratie van de aquifer. Hieruit blijkt dus dat de financiële ruimte voor de kosten in verband met de regeneratie van de aquifer niet boven deze 1.20 euro per m<sup>2</sup> per jaar mogen komen.

Voor de regeneratie van de aquifer kan gedacht worden aan een buur-tuinder die in de zomer grondkoeling nodig heeft. Ook een dakbevoeiingssysteem, beschreven in Campen *et al.*, 2001), zou kunnen voorzien in een goedkope manier om een aquifer te regenereren.

Het is ook denkbaar dat opkweekbedrijven de vloer in afdelingen die in de zomer leeg staan als een zonnecollector gebruiken door in de afdelingen de ramen dicht te houden.

Wanneer de energiebesparing bij een asvermogen van 12 W/m<sup>2</sup> wordt afgelezen uit figuur 3-5,



dan blijkt dat deze configuratie leidt tot een energiebesparing van ongeveer 24% ( $14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ ). Uit de aquifer wordt in dat geval ruim 550 MJ per  $\text{m}^2$  per jaar onttrokken.

De 1-traps absorptiewarmtepomp ligt onder de gehanteerde uitgangspunten het meest van een verantwoorde toepasbaarheid af.

Voor de 2-traps absorptiewarmtepomp met een aandrijfvermogen van  $20 \text{ W}/\text{m}^2$  komen de opbrengsten net boven de kosten. De energiebesparing die hiermee gehaald zou worden bedraagt 20% ( $11.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$ )

De elektrisch aangedreven compressiewarmtepomp kan alleen worden gebruikt als de elektriciteitskosten lager zijn. Ook deze zou in dat geval echter een wat lagere energiebesparing opleveren dan de gasmotor aangedreven compressie warmtepomp (zie figuur 3.5).

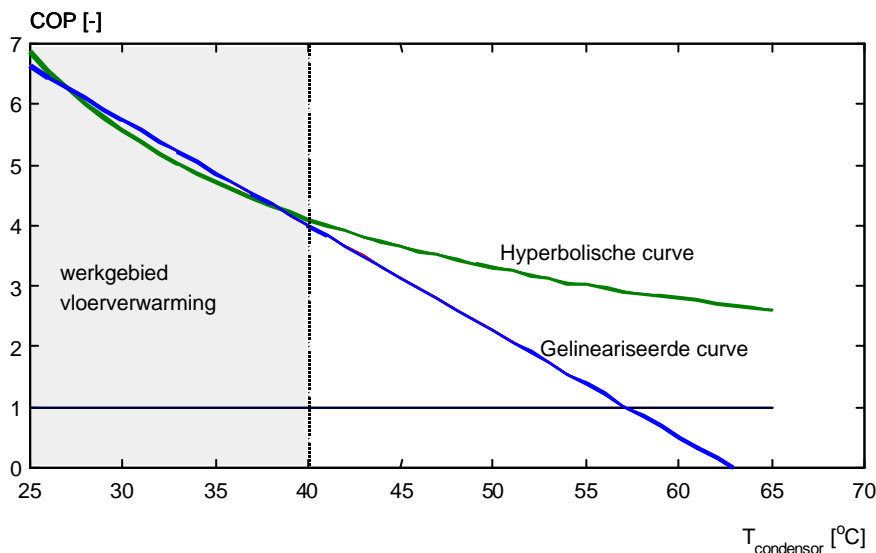


## 5 Perspectief voor andere glastuinbouwsectoren

Een principieel voordeel van een kas waarin betonvloerverwarming wordt gebruikt vanuit het perspectief van de toepassingsmogelijkheden van warmtepompen ligt in het feit dat de betonvloer bij een lage temperatuur veel warmte af kan geven, wat gunstig is voor de COP. De keerzijde van de betonvloer is echter dat de dekkingsgraad van het verwarmingssysteem waar de warmtepomp op is aangesloten beperkt is. Het aansluiten van een warmtepomp op een standaard verwarmingssysteem zou er dus toe kunnen leiden dat de machine weliswaar met een gemiddeld lagere COP werkt, maar dat dit wordt gecompenseerd door het feit dat de machine een inbreng heeft op de totale warmtevraag.

Om de vraag te bestuderen welke van de twee effecten het sterkste is (de betere COP of de grotere dekkingsgraad) zijn berekeningen gemaakt van de energiebesparing die gerealiseerd wordt wanneer de gasmotor aangedreven warmtepomp wordt ingezet op een bedrijf met en een bedrijf zonder betonvloer, maar met (vrijwel) dezelfde kasklimaatcondities als die van een potplantenbedrijf met een betonvloer. Deze berekeningen zijn gemaakt voor de gasmotor aangedreven warmtepomp omdat deze in het vorige hoofdstuk als enige een bedrijfseconomisch gunstig perspectief vertoonde.

Voordat de berekeningen zijn gemaakt is er echter een aanpassing aan de toe te passen COP-karakteristiek aangebracht. De eerder gebruikte karakteristieken (zie figuur 3-2) zijn namelijk linearisaties van compressor karakteristieken die in theorie een hyperbolische vorm hebben. In figuur 5-1 is getoond dat de gebruikte linearisatie geen probleem oplevert in het werkgebied van de betonvloerverwarming, maar fors van de hyperbolische karakteristiek gaat afwijken naarmate de afgifte temperatuur gaat toenemen.

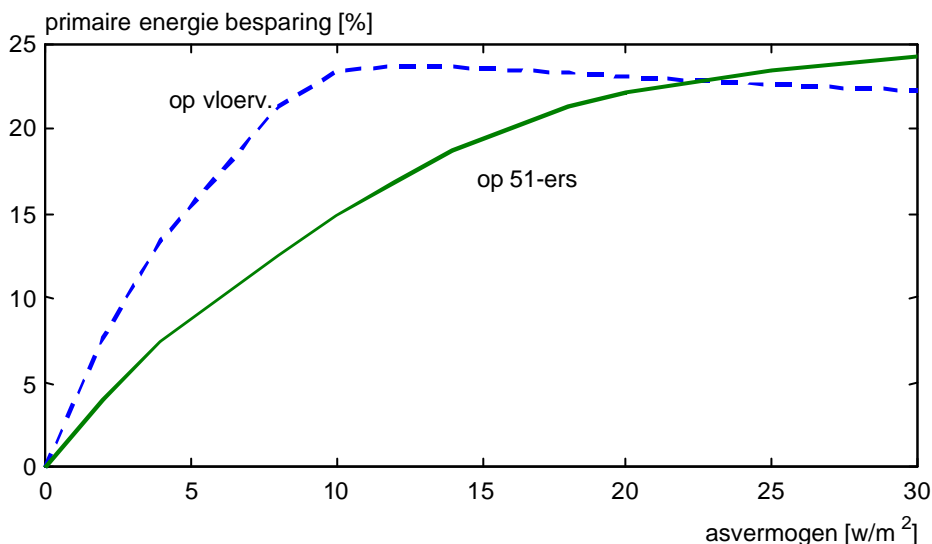


Figuur 5-1 Hyperbolische en gelineariseerde COP-curve van een compressiewarmtepomp. De hyperbolische curve geldt voor een warmtepomp die 46% van het Carnotrendement realiseert.

De grote afwijking die de curven bij de hogere temperaturen te zien geven maakt een extrapolatie van de gelineariseerde curve naar hogere temperaturen onverantwoord.

Daarom is bij de berekening van het energiebesparingspotentieel van de warmtepomp voor het

buisverwarmingsbedrijf gebruik gemaakt van bovenstaande hyperbolische functie, die geldt wanneer een warmtepomp functioneert met een efficiëntie van 43% ten opzichte van het carnot rendement en rekening houdt met een temperatuur-verlies van 2 °C over de warmtewisselaars. In figuur 5-2 is het resultaat getoond van de berekeningen met de warmtepomp op het ondernet.



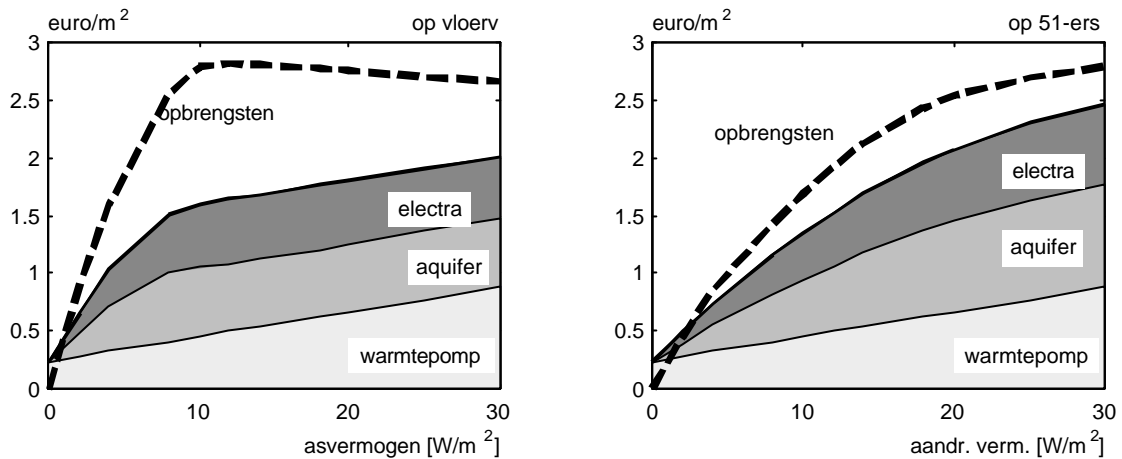
Figuur 5-2 Besparing op de primaire energie-input voor de gasmotor aangedreven warmtepomp als functie van het aandrijfvermogen. De getrokken lijn geldt in geval de kas met een standaard buisverwarmingssysteem worden verwarmd. De gestreepte lijn is overgenomen uit figuur 3-5 en geldt voor de situatie waarin de te realiseren kasverwarming voor 34% met de betonvloer wordt gerealiseerd.

De grafiek laat zien dat de aansluiting van de warmtepomp op het buisverwarmingssysteem tot een hoger energiebesparingspotentie uitkomt, maar dat hier wel een groter asvermogen voor nodig is. Bij grote asvermogens overheerst de grotere dekingsgraad dus over het COP-effect, terwijl bij kleinere asvermogens de gunstigere COP, waartoe de betonvloer leidt, de overhand heeft.

De top van de getrokken lijn ligt op een besparingsniveau van 25%. In absolute termen betekent dit 14.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> jr).

Aangezien de hoge energiebesparings nivo's bij gebruik van een vloerverwarmingssysteem makkelijker te behalen zijn dan bij een buisverwarmingssysteem mag verwacht worden dat het bedrijfseconomisch perspectief voor het vloerverwarmingssysteem gunstiger is dan voor de situatie waar de warmtepomp op het ondernet wordt aangesloten.

Dit blijkt uit figuur 5-3.



Figuur 5-3 Kosten (gestapeld) en opbrengsten (gestreepte lijn) bij gebruik van een gasmotor gestookte warmtepomp op het vloerverwarmingssysteem (links) of op een buisverwarmingssysteem (rechts).

De kosten voor een warmtepomp-systeem in vergelijking met de opbrengsten zijn op een bedrijf met een gewoon buisverwarmingssysteem ongeveer € 0,50 lager dan in geval verwarmd wordt met een ketel (NB. Ook hier zijn geen kosten voor regeneratie gerekend).

Het verschil tussen kosten en opbrengsten bij het betonvloersysteem was € 1,20. Deze toename van het verschil tussen kosten en opbrengsten van € 0,70 is echter veel te klein om de investeringen in een betonvloer (rond de € 2,00 per m<sup>2</sup> per jaar) te kunnen verantwoorden.

De conclusie is dan ook dat het perspectief voor de warmtepomp op bedrijven met een verwarmde betonvloer groter is dan op bedrijven met een standaard buisverwarmingssysteem, maar dat de betonvloer niet uitsluitend omwille van de warmtepomp kan worden aangelegd.

## 6 Conclusies

Tuinbouwbedrijven met een betonvloer met verwarmingssysteem vormen een klein aandeel van het tuinbouwareaal. Vanwege de beperkingen die deze systemen opleveren rond de regelbaarheid van de watergift en de automatisering van handlingaspecten is er geen autonome groei in het areaal van bedrijven met verwarmde betonvloeren te verwachten. Potplanten- en opkweekbedrijven neigen meer naar het gebruik van rolltafels.

Op bedrijven waar betonvloeren liggen kan een warmtepomp al met een beperkt as- of aandrijfvermogen een aanmerkelijke energiebesparing opleveren. Gebruikmakend van de door Gastec aangegeven karakteristieken van de verschillende warmtepompen worden de besparingspercentages voor de elektrische warmtepomp en de 2-traps absorptiewarmtepomp berekend op 22% (12.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> jaar). De gasmotorwarmtepomp realiseert op grond van de gegeven karakteristieken zelfs een besparing van 24% (bijna 14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> jaar). De 1-traps absorptiewarmtepomp blijft met een maximaal besparingspercentage van ongeveer 12% (7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> jaar) aanzienlijk achter bij de andere typen.

Vanuit bedrijfseconomisch oogpunt geeft alleen de gasmotor aangedreven warmtepomp onder de gehanteerde uitgangspunten een positieve resultaat bij vergelijking opbrengsten uit energiebesparing en kosten voor de installatie. De marge bedraagt € 1.20, maar dit is exclusief de kosten voor de regeneratie van de aquifer. Deze kosten zouden evenwel laag kunnen zijn in geval een buur-tuinder koeling nodig heeft of doordat er met zeer lage kosten een dakbevoeiings-systeem kan worden aangebracht.

Bij de bespreking van de bedrijfseconomische uitgangspunten blijkt dat de aquifer een belangrijke kostenpost is waarover veel onduidelijkheid bestaat. Gegevens die voorhanden zijn uit de utiliteitsbouw lijken de kosten aanzienlijk te overschatten. Consultatie van verschillende heeft in deze studie ertoe geleid de investering voor een aquiferdoublet te kunnen stellen op € 220 per kW.

Bij vergelijking van het perspectief van de gasmotor aangedreven warmtepomp voor een bedrijf met vloerverwarming en een bedrijf met een vergelijkbaar kasklimaat, maar met buisverwarming, blijkt dat het bedrijfseconomisch perspectief voor de warmtepomp op het vloerverwarmings-bedrijf ruim € 0,70 per m<sup>2</sup> per jaar groter is. De energiebesparingsperspectieven verschillen nauwelijks. Het verschil zit dan ook vooral in de lagere kosten voor de situatie in het vloerverwarmingsbedrijf, waar de energiebesparing met een kleiner asvermogen voor de warmtepomp kan worden gerealiseerd.

De voordelen van de betonvloer voor de werking van de warmtepomp (hogere COP) zijn echter niet groot genoeg om speciaal hiervoor een betonvloer aan te leggen.



## 7 Aanbevelingen

Tijdens de uitvoering van onderhavig project bleek dat de aquifer een belangrijke kostenpost vormt waar veel onduidelijkheid over bestaat.

Om de beeldvorming over de toepasbaarheid van warmtepompen in de tuinbouw helder te krijgen is het van groot belang dat hier duidelijkheid in komt, en met name over de wijze waarop de kosten afhangen van de meest relevante parameters. Ook is het wenselijk om op een rijtje te krijgen in hoeverre verwacht mag worden dat deze kosten dalen indien aquifers in de tuinbouw gemeengoed zouden worden.

Nadere studie op dit punt wordt dan ook aanbevolen.



## 8 Literatuur

Boot, H., J. Nies, M.J.E. Verschoor en J.B. de Wit, 1998, Handboek industriële warmtepompen, Kluwer bedrijfsinformatie Deventer.

Campen., J.B, H.F. de Zwart, N.J. van de Braak, H.D.M. Kool, E.G.O.N. Janssen, 2001, Koeling en Ontvochtiging in de Floriadekas, IMAG rapport 2001-102

Hondeman, H., C. Pulles en K. Jansen, Warmtepompen in de kas, 2001, Gastec zakelijke gastoepassingen, rapport ZGT020 (Bijgevoegd als bijlage).

Kleefkens. O, 2002, e-mail correspondentie met accountmanager sector Glastuinbouw voor het Novem programma warmtepompen.

Klopstra, A en C. Geuzendam, 2001. De Boer op met energieopslag in de bodem; *inventarisatie van energieopslagsystemen voor de land- en tuinbouw t.b.v. promotie*, Novio Consult, Amsterdam.

Mourik, G. van, 2001, telefonisch gesprek met de Novem-deskundige op het gebied van warmteopslagsystemen

Nijeboer J., 2001, Interview met potplanten voorlichter DLV.

De Zwart H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05, 236 blz.

De Zwart, H.F. en G.L.A.M. Swinkels, 2002, De kas als zonne-energie oogster, IMAG rapport 2002-04.

## **Bijlage Rapport Gastec (ZGT020)**

Deze bijlage is als apart PDF document downloadable