

Energie in balans

Evaluatie van warmteterugwinning uit een aquifer met elektrische warmtepompen op een glastuinbouwbedrijf met grondkoeling in 2002

P. Ravensbergen
C.J.M. Vernooy



335610/9238



Projectcode 64364

December 2003

Rapport 3.03.07

LEI, Den Haag

Het LEI beweegt zich op een breed terrein van onderzoek dat in diverse domeinen kan worden opgedeeld. Dit rapport valt binnen het domein:

- Wettelijke en dienstverlenende taken
- Bedrijfsontwikkeling en concurrentiepositie
- Natuurlijke hulpbronnen en milieu
- Ruimte en Economie
- Ketens
- Beleid
- Gamma, instituties, mens en beleving
- Modellen en Data

Energie in balans; Evaluatie van warmteterugwinning uit een aquifer met elektrische warmtepompen op een glastuinbouwbedrijf met grondkoeling in 2002
Ravensbergen, P. en C.J.M. Vernooy
Den Haag, LEI, 2003
Rapport 3.03.07: ISBN 905242-871-9; Prijs € 12,25 (inclusief 6% BTW)
60 p., fig., tab., bijl.

Dit rapport is een beschrijving van een energetische, technische en economische evaluatie van warmteterugwinning uit een aquifer met elektrische warmtepompen op een vermeerderingsbedrijf van 3,5 ha glas in de praktijk, gedurende de periode van december 2001 tot december 2002.

Aan de hand van de bevindingen van deze praktijkevaluatie, is een rendementsberekening gemaakt voor een normaal glastuinbouwproductiebedrijf met grondkoeling, waar al elektrische aangedreven koelmachines aanwezig zijn. Het rapport besluit met een aantal praktische aanbevelingen waarop te letten, indien een ondernemer warmteterugwinning met een aquifer overweegt.

Bestellingen:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: publicatie.lei@wur.nl

Informatie:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: informatie.lei@wur.nl

© LEI, 2003

Vermenigvuldiging of overname van gegevens:

- toegestaan mits met duidelijke bronvermelding
- niet toegestaan



Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO-NL) van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Kamer van Koophandel Midden-Gelderland te Arnhem.

Inhoud

	Blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1. Inleiding	15
1.1 Aanleiding	15
1.2 Doelstelling	16
1.3 Beschikbare informatie	16
1.4 Afbakening	18
1.5 Opbouw van het rapport	18
2. Materiaal en methode	19
2.1 Situatieschets glastuinbouwbedrijf	19
2.2 Warmtepomp en aquifer	20
2.3 Analysemethode	24
2.4 Meetperiode	26
3. Resultaten praktijksituatie bij Van Zanten Plants B.V.	28
3.1 Inleiding	28
3.2 Tijdpad en techniek	28
3.3 Energetisch analyse	30
3.3.1 Rendement in de tijd	30
3.3.2 Laden en ontladen	31
3.3.3 Dagvoorbeelden	32
3.3.4 Totale energiestromen	33
3.3.5 Energieberekeningen	34
3.4 Economische analyse	36
3.5 Verbeteropties voor Van Zanten Plants B.V.	38
4. Warmteopslag en terugwinning bij bedrijven met grondkoeling	40
4.1 Introductie	40
4.2 Investeringskosten en uitgangspunten	41
4.3 Koeling met aquifer in vergelijking met koeltoren	42
4.4 Equivalentieprijs en terugverdientijd	44
4.5 Invloed van de geliberaliseerde gasprijs	45
4.6 Gevoeligheden	46
4.7 Milieubijdrage	47

	Blz.
5. Conclusie	49
6. Aanbevelingen	53
Literatuur	55
Bijlagen	
1 Overzicht van warmtemetingen per seizoen bij warmtepomp, intercooler en bron	57
2 Dagvoorbeelden elektriciteitsverbruik en warmte/koude productie van de WP	59

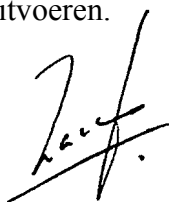
Woord vooraf

De glastuinbouwsector en de overheid hebben, in het kader van het in 1997 gesloten Convenant Glastuinbouw & Milieu (GLAMI), twee doelen geformuleerd voor 2010 ten aanzien van energie:

1. een verbetering van de energie-efficiëntie door de sector glastuinbouw met 65% in 2010 ten opzichte van 1980;
2. een aandeel van 4% duurzame energie in 2010 in het totaal energiegebruik van de sector.

Aangezien de inzet van warmtepompen en aquifers een bijdrage levert aan beide doelstellingen, is het belangrijk om praktijksituaties te analyseren en door te rekenen, om de realisatie in de praktijk bij andere bedrijven te stimuleren. Na de energiecrisis van de jaren tachtig heeft de warmtepomp een snelle opkomst en ondergang in de Nederlandse tuinbouw gekend. Het is nu de vraag of een herintroductie mogelijk is, en zo ja onder welke condities. Op dit moment zijn er in de praktijk geen glastuinbouwbedrijven bekend, waar een warmtepomp met aquifer functioneert en waar ook meetcijfers worden opgeslagen. Het doel van dit onderzoek is een energetisch, technisch en economische analyse van warmteterugwinning met een aquifer op een glastuinbouwbedrijf met grondkoeling, waar al elektrisch aangedreven koelmachines (lees: warmtepompen) aanwezig zijn. De reden voor deze focus is dat de aquifer voor dit type bedrijven het snelste rendabel zou kunnen zijn, omdat de investeringskosten van de warmtepomp slechts beperkt meegerekend behoeven te worden.

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Tuinbouw (PT) en Novem. Het LEI bedankt de onderzoekscoördinatoren Derk Bol, Anja Jolman (beide PT) en Constan Custers (Novem) voor hun inbreng tijdens de voortgang van dit onderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd door een projectteam, bestaande uit Peter Ravensbergen (projectleider), Kees Vernooij (LEI), Willem de Bruijn (DLV Adviesgroep NV), Robert Meijer (NUON Energiesystemen & Services) en Dik ten Cate (Van Zanten Plants). Voor de dataverzameling is dank verschuldigd aan de heren Mario Koks en Claude Jung van NUON. Voor het aanleveren van andere gegevens als ook het reviewen van de stukken is dank verschuldigd aan vele personen van veel organisaties. Tot slot een dankwoord aan Royal Van Zanten B.V. die zijn medewerking heeft verleend om dit onderzoek op zijn bedrijf te laten uitvoeren.



Prof.dr.ir. L.C. Zachariasse
Algemeen directeur LEI B.V.

Samenvatting

Inleiding

Toen het selectie- en vermeerderingsbedrijf Van Zanten Plants B.V. (destijds Van Staaveren B.V.) in 1998 een nieuwe vestiging in Rijsenhout bouwde, werden voor grondkoeling in de zomerperiode twee elektrisch aangedreven warmtepompen geïnstalleerd. Aanvankelijk werd de warmte die vrijkomt bij het koelen, met koeltorens aan de buitenlucht afgegeven. De warmtepomp werkte hier alleen als koelmachine. Bij het ontwerp is rekening gehouden met een nieuw milieuvriendelijk concept voor warmteopslag in een aquifer gedurende het koelproces. In de winterperiode worden de warmtepompen dan gebruikt voor de terugwinning van de warmte uit de bodem en de opslag van koude in de bodem. De provincie Noord-Holland stond vanwege de besparing op fossiele brandstof welwillend ten opzichte van dit concept. Op basis van een technisch rapport werd in 1999 vergunning verleend voor twee aquiferbronnen, waarbij de temperatuur van het in de bodem te pompen water niet lager dan 5 graden en niet hoger dan 25 graden Celsius mag bedragen. Twee jaar later is dit concept gerealiseerd.

De nieuwbouw was destijds ook een goede aanleiding om de gehele energievoorziening, inclusief alle installaties op het glastuinbouwbedrijf aan het energiebedrijf NUON Energie Systemen & Services (destijds ENW Power) over te dragen. Het glastuinbouwbedrijf koopt de verschillende energievormen in, volgens een zogenaamd stopcontactprincipe: warmte, koude, elektriciteit, CO₂ en stoom.

Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is het in kaart brengen van het functioneren van een innovatief energieconcept, bestaande uit een glastuinbouwbedrijf met grondkoeling en warmtepompen, waarbij de warmte in de zomerperiode, die vrijkomt bij het koelen, wordt opgeslagen in een aquifer en de warmtepompen in de winterperiode worden ingezet voor terugwinning van de opgeslagen warmte. Het functioneren betreft het technisch, energetisch en economisch functioneren van het concept.

Op basis van de in dit project opgebouwde kennis en aanbevelingen kunnen vooral glastuinders en energiebedrijven beslissingen nemen over de toepassing van een dergelijk of aangepast energieconcept op andere glastuinbouwbedrijven.

Methode

Het energiebedrijf NUON heeft gedurende het jaar 2002 energiemetingen verricht aan de warmtepompen en de aquifer. Op basis van de meetgegevens zijn energetische en economische analyses uitgevoerd ten aanzien van het functioneren van het concept op het betreffende bedrijf en de mogelijkheden die het voor andere glastuinbouwbedrijven biedt.

Resultaten

Stopcontact-principe

Hieronder volgen een aantal pluspunten en leerervaringen van het innovatieve concept dat een energiebedrijf het ketelhuis in beheer heeft en dat de ondernemer alleen de verschillende energievormen inkoopt:

- een belangrijk voordeel voor de ondernemer is dat hij geen investeringen in het ketelhuis hoeft te plegen: dat levert hem lagere investeringskosten op of hij kan die gelden in andere prioriteiten investeren;
- de kwaliteit van de hardware, geïnvesteerd door het energiebedrijf, is meestal uitstekend en volgens de laatste stand van de techniek;
- besparing van een technicus in het personeel. Vaak is het bedrijf te klein voor een volledige dagtaak van die technicus, maar is hij wel nodig. Aan de andere kant is het moeilijk voor een dergelijke technicus om zijn expertise op peil te houden op een 'groen' bedrijf, waar hij als enige technicus rondloopt;
- het stopcontact-principe past bij bedrijfsfilosofie van Van Zanten Plants B.V. om de aandacht te richten op het veredelen van planten en niet op het ketelhuis of andere zaken. Zo is bijvoorbeeld bij Van Zanten Plants B.V. de logistiek ook uitbesteed;
- een dergelijk complex ketelhuis zoals bij Van Zanten Plants B.V. betekent een veelheid van betrokken partijen als monteurs, onderhoudsbedrijven, toeleveranciers, regeltechnici, enzovoort. In het begin kwam het wel eens voor dat partijen problemen naar elkaar doorschoven, als er geen duidelijke regie is. De ervaring leert dat in de tijd zaken verbeteren.

In de vrije energiemarkt lijkt het steeds moeilijker om lange termijn contracten te maken. Het contract van Van Zanten Plants B.V. en NUON heeft een looptijd van 15 jaar en is onder andere door de liberalisering van de aardgasmarkt al een keer opengebroken en aangepast. Deze flexibiliteit in contractaanpassingen is noodzakelijk in de vrije energiemarkt.

Het technisch functioneren

De warmteopslag in een aquifer is een innovatief concept dat (pas later) aan het bestaande systeem van grondkoeling met warmtepompen en warmtevernietiging door middel van een koeltoren werd toegevoegd. De aanpassingen, die hiervoor nodig waren, hebben een aantal technische problemen opgeleverd. Op zichzelf heeft de warmteopslag in de aquifer goed gewerkt, maar op onderdelen zijn fouten gemaakt. Het omschakelen van het systeem van warmteopslag naar warmteterugwinning is ook gecompliceerd, zodat er wel eens wat mis wil gaan.

Een belangrijk manco in het systeem is dat de bronpomp een vaste capaciteit van ongeveer 33 m³ per uur heeft. Uit budgettaire overwegingen is destijds besloten om geen frequentieregelaars toe te passen. Op momenten dat de warmtepompen in deellast draaien of één van de twee pompen is uitgeschakeld blijft een maximale stroom water over de warmtewisselaar lopen. Om de warmte die in de warme bron is opgeslagen in de winterperiode voldoende te kunnen terugkoelen - zodat het met een temperatuur van minder dan 10

graden Celsius in de koude bron wordt teruggepompt - moet de capaciteit van de bron-pomp gereduceerd kunnen worden.

Het energetisch functioneren

Uit de meetresultaten komt naar voren dat de aquifer voldoende capaciteit heeft om in de zomermaanden de teeltbodem te koelen. De aquifer heeft zo goed gefunctioneerd dat de luchtkoelers, die voorheen werden toegepast, geheel buiten gebruik konden blijven. De warmte, die bij het koelen vrijkomt en de warmte van de intercooler van de W/K-installatie, werd in de bodem opgeslagen. De intercooler is een apparaat dat ervoor zorgt dat het rendement van de W/K-installatie verbetert door de inlaatgassen te koelen. Het blijkt bovendien dat op momenten dat de W/K stilstaat, ongemerkt een aanzienlijk hoeveelheid warmte (circa 17% van de totale warmteopslag) uit het W/K-circuit in de aquifer wordt opgeslagen. In totaal is er tijdens de zomerperiode circa 1.900 GJ aan warmte in de aquifer werd opgeslagen.

In de winterperiode wordt ongeveer de helft van de opgeslagen warmte teruggewonnen. Er is dus sprake van een ernstige onbalans: de bron wordt veel meer geladen dan ontladen.

Om alle opgeslagen warmte volledig te kunnen terugwinnen, is berekend dat beide warmtepompen vrijwel continu op hun maximale vermogen moeten draaien. Theoretisch lijkt dat mogelijk maar in de praktijk is het twijfelachtig of de elektrische warmtepompen een dergelijke belasting aankunnen. Bovendien moet, om 1.900 GJ met de warmtepompen uit de aquifer te kunnen terugwinnen, circa 3.650 GJ warmte aan de kassen worden afgegeven. Om deze hoeveelheid warmte kwijt te kunnen, zal er in ieder geval meer kasoppervlakte door het LT net verwarmd moeten worden en zal waarschijnlijk de W/K-installatie, die normaal de warmte levert, minder draaiuren kunnen maken.

Het economisch functioneren

Resultaten voor Van Zanten Plants B.V.

In de berekeningen van het economisch functioneren is uitgegaan van volledige terugwinning van alle in de aquifer opgeslagen warmte. Gedeeltelijke terugwinning is geen duurzame optie, want op langere termijn zal deze onbalans de aquifer onbruikbaar maken en tot milieuproblemen leiden.

Uit de berekeningen, waarbij volledige warmteterugwinning wordt vergeleken met warmteopwekking met de normale ketelinstallatie, blijkt dat volledige warmteterugwinning economisch nog net haalbaar zou zijn voor Van Zanten Plants B.V.

Resultaten voor een bedrijf met grondkoeling met een elektrische warmtepomp

Op basis van de gegevens die zijn verzameld, is nagegaan of het concept dat op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. is toegepast ook zou kunnen werken op andere glastuinbouwbedrijven met koeling door middel van elektrische warmtepompen, en zonder de concurrentie van W/K-installaties. De uitkomst van deze exercitie moet voorzichtig geïnterpreteerd worden, omdat de onzekerheden rond de verzamelde gegevens bij het extrapoleren te veel kunnen gaan cumuleren.

Uit economische berekeningen blijkt dat warmteopslag en -terugwinning in aquifers op kleinere bedrijven geen haalbare zaak is. De investeringskosten van het slaan van twee bronnen zijn te hoog. Op bedrijven van meer dan 2 ha wordt het financieel gunstiger, omdat de investeringen in de aquiferbronnen minder zwaar drukken op de jaarkosten. Deze constatering is alleen geldig mits de energiesubsidies en fiscale maatregelen dan wel gehandhaafd blijven. Dan nog is het economisch kwetsbaar door veranderende energieprijzen. Een hogere gasprijs en een lagere elektriciteitsprijs werken positief. De gas-equivalentieprijs is ongeveer 24,8 eurocent per kubieke meter gas voor een bedrijf van 1 ha.

Gevoeligheidsanalyse

In een gevoeligheidsanalyse is nagegaan welke factoren een grote invloed hebben op het al dan niet rendabel zijn van de warmteopslag en -terugwinning. De investeringskosten voor het in gebruik nemen van een aquifer drukken vooral bij kleinere bedrijven zwaar op de jaarkosten. Bedrijven met grondkoeling door middel van een elektrisch aangedreven warmtepomp, die in aanmerking komen voor warmteopslag en -terugwinning via een aquifer, dienen bij de gekozen uitgangspunten groter dan 2 ha groot te zijn voor een rendabele toepassing. Daarnaast zullen betere prestaties van de warmtepompen, subsidies en/of fiscale maatregelen, lagere elektriciteitsprijzen en/of hogere gasprijzen de rentabiliteit van deze investering kunnen verbeteren of ook voor kleinere bedrijven aantrekkelijk kunnen maken.

Milieuaspecten

Met warmteterugwinning uit de aquifer wordt circa 79.000 m³ aardgasequivalenten bespaard per hectare per jaar, dus bijna 8 m³/m²/jaar. Dat komt overeen met een beperking van de CO₂-emissie van ruim 142 ton/ha/jaar. Om deze besparing van het gasverbruik te realiseren, moet circa 207.000 kWh elektriciteit worden verbruikt, dus circa 20 kWh/m².

Wanneer deze elektriciteit afkomstig is van grote energiecentrales - en dat is voor het overgrote deel van het Nederlandse stroomgebruik het geval - dan bedraagt de CO₂-emissie van de energiecentrales ongeveer 106 ton. De werkelijke CO₂-reductie blijft dus beperkt tot 36 ton per ha, wanneer de elektriciteit van het openbare net wordt betrokken. Uitgaande van een standaard fresa-bedrijf met een energieverbruik van 30 m³/m² (met een CO₂-emissie van 534 ton/ha), levert terugwinning van warmte met een aquifer een reductie in CO₂-emissie van bijna 7% op per jaar.

Wanneer de elektriciteit groen wordt ingekocht of duurzaam wordt opgewekt, dan wordt een maximale bijdrage geleverd aan het terugdringen van de CO₂-emissie. De besparing in CO₂-emissie kan dan bij een standaard fresa-bedrijf oplopen naar maximaal 26% per jaar. In dat geval zal de warmteterugwinning positief werken op het behalen van energiedoelstelling, te weten de energie-efficiënte doelstelling en de duurzame energiedoelstelling.

Wanneer de stroom wordt geproduceerd met de eigen W/K-installatie, die aanwezig is voor stroomopwekking voor assimilatiebelichting zal de besparing ergens tussen de 7-26% inliggen, afhankelijk van het nuttig gebruik van de warmte afkomstig van de W/K en de WP. De ervaringen bij Van Zanten Plants B.V. en andere onderzoeken wijzen echter uit

dat de combinatie van W/K-installaties en warmteterugwinning uit aquifers moeilijk met elkaar is te verenigen.

Aanbevelingen

Uit de ervaringen van het bedrijf van Van Zanten Plants B.V. zijn de volgende aanbevelingen te maken voor de installatie van aquifersystemen:

1. zorg ervoor dat er koud water (lager dan 10 graden) naar de koude aquiferbron wordt gepompt. Het debiet van de waterstroom van de koude naar de warme aquiferbron moet gereguleerd kunnen worden om te vermijden dat de warme bron met wisselende temperaturen wordt opgewarmd en vooral om te voorkomen dat de koude bron boven de oorspronkelijke temperatuur wordt opgewarmd;
2. zorg ervoor dat er niet meer warmte in de bron wordt geladen, dan dat er 's winters uitgehaald kan worden. Dan gaat het dus om de capaciteit van het LT-net. Let op voldoende verwarmend oppervlak in de winter van het laagwaardige verwarmingsnet (LT-net). Die oppervlakte van het LT-net moet veel groter zijn dan het uitkoelend oppervlak in de zomer, omdat ten eerste de extra toegevoegde energie van de warmtepomp in de winter ook uitgekoeld moet worden en ten tweede het rendement van de warmtepomp lager is in de winter door een groter te overbruggen temperatuurverschil. Daarnaast kan er concurrentie zijn met andere verwarmingsbronnen op het LT-net (W/K condensoren, ketelcondensoren, et cetera);
3. meet de verschillende warmtestromen, die via warmtewisselaars aan een aquifer worden afgegeven, aan de bronnen om te voorkomen dat meer warmte wordt opgeslagen dan er in de winterperiode kan worden teruggewonnen;
4. de nieuwe tariefstructuur van aardgas in de vrije energiemarkt heeft een financieel ongunstige werking op energiebesparing voor een dergelijk concept. Dit zou gecompenseerd moeten worden door andere (beleids)maatregelen;
5. kijk kritisch naar de combinatie van energiebesparingsopties W/K en warmteterugwinning uit aquifer, omdat ze allebei (een deel van) hun warmte aan het lage temperatuurnet kwijt moeten en ze daarbij elkaar beconcurreren;
6. ga na of grondkoeling zonder warmtepompen mogelijk is. Aquifers kunnen ook in andere innovatieve concepten worden toegepast. Bijvoorbeeld door bronwater in de winter extra te koelen (met bijvoorbeeld koeltorens) en het koude bronwater in de zomer direct te gebruiken voor (grond)koeling. Hierbij is de besparing van de fossiele brandstof kleiner, echter economische kan het gunstiger zijn, omdat de elektriciteitskosten in de zomer lager zijn;
7. verbeter de energiebesparingspercentages met warmtepompen van de laatste stand van de techniek, efficiëntere warmtewisselaars als ook innovatieve energieconcepten met inbouw van aquifers en eventueel warmtepompen. Het zorgvuldig doorrekenen en modelleren van het concept is daarbij noodzakelijk. De toepassing betreft dan wel voornamelijk nieuwbouw situaties.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Koeling wordt bij gewassen als fresia en alstroemeria al decennialang toegepast. In het verleden werd daarvoor vaak koel grondwater gebruikt dat na opwarming op het oppervlaktewater werd geloosd. Tegenwoordig is dat uit milieuoverwegingen niet meer toegestaan. Om deze milieubezwaren te vermijden kan in de zomermaanden met behulp van koelmachines, warmte aan de kasgrond worden onttrokken en vervolgens met koeltorens aan de lucht worden afgegeven. Toen het bedrijf Van Zanten Plants B.V. (voorheen Van Staaveren B.V.) een nieuw bedrijf in Rijsenhout bouwde werden warmtepompen ingezet voor de grondkoeling.

Onder het motto 'schoenmaker, blijf bij je leest' en 'concentreer je op je kerntaken' besloot Van Zanten Plants B.V. de investeringen en de zorg voor de energieproductie over te laten aan specialisten. In 1998 is door NUON (destijds energiebedrijf ENW Power) een innovatief energieconcept bedacht en uitgewerkt voor een nieuw te bouwen glastuinbouwbedrijf in Rijsenhout. Het innovatieve karakter is het zogenaamde 'stopcontact-principe'. Dat betekent dat het hele ketelhuis in beheer en eigendom is van het energiebedrijf.

De producten, die het energiebedrijf verkoopt aan de glastuinder, zijn warmte, koude, stoom, CO₂ en elektriciteit. Additionele producten en middelen zijn een besturingsprogramma, warmteopslag, bewaking, noodstroom, zorg en onderhoud. Het besturingsprogramma regelt de prioriteit bij het inschakelen van de warmtekrachtinstallatie, de warmteopslagtank en de ketels al naar gelang de vraag naar warmte en/of koude, CO₂ en stoom. Voor de optimalisatie van dit proces vindt tevens afstandbewaking en dataopslag plaats. De elektriciteit, opgewekt door de W/K-installatie wordt teruggeleverd aan het net. Van Zanten Plants B.V. betreft de benodigde elektriciteit gewoon uit het net.

Er is een contract tussen NUON en het betreffende glastuinbouwbedrijf gemaakt voor de energieproducten voor een periode van 15 jaar (Vakblad voor de Bloemisterij 37, 1998).

Naast bovengenoemde investeringen in warmtepompen voor grondkoeling is op een later tijdstip besloten om een aquifer 's zomers te benutten voor warmteopslag en in de wintermaanden de warmte met behulp van de warmtepompen weer terug te winnen. Een aquifer is een ondergronds waterbekken op ongeveer 100-200 m diepte, die gebruikt wordt voor seizoensopslag van warmte in het ondergrondse waterbekken.

In het verleden gaven de koelmachines van Van Zanten Plants B.V. in de zomer hun warmte af aan het oppervlaktewater en later aan de lucht (via geforceerde ventilatie met een 'natte' koeltoren). In dit nieuwe systeem met aquifer geven de koelmachines nu hun warmte af aan water uit de bodem dat in een warme bron wordt gepompt. In de winter wordt deze warmte er weer uitgehaald via dezelfde koelmachine, die nu opereert als een warmtepomp. Deze warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van de betonvloeren in een aantal kassen. In de loop van 2000 is de aquifer operationeel geworden.

Volgens NUON is Van Zanten Plants B.V. 10% goedkoper uit dan wanneer Van Zanten Plants B.V. zelf het ketelhuis in eigen beheer heeft. NUON geeft aan er een jaarlijkse aardgasbesparing plaats vindt van 625.000 m³ per jaar. Dit betekent een vermindering van de CO₂-uitstoot van 1.100 ton/jaar.

Beleid

De glastuinbouwsector en de overheid hebben, in het kader van het in 1997 gesloten Convenant Glastuinbouw & Milieu (GLAMI), twee doelen geformuleerd voor 2010 ten aanzien van energie:

1. een verbetering van de energie-efficiëntie door de sector glastuinbouw met 65% in 2010 ten opzichte van 1980;
2. een aandeel van 4% duurzame energie in 2010 in het totaal energiegebruik van de sector.

Aangezien de inzet van warmtepompen en aquifers een bijdrage leveren aan beide doelstellingen, is het belangrijk om praktijksituaties te analyseren en door te rekenen, om de realisatie in de praktijk bij andere bedrijven te stimuleren. Er zijn namelijk op dit moment geen glastuinbouwbedrijven bekend waar een warmtepomp met aquifer functioneert en waar ook meetcijfers worden opgeslagen.

De focus in dit onderzoek zijn bedrijven die al een warmtepomp gebruiken, veelal voor grondkoeling, omdat de extra investering alleen de aanleg van de aquifer en aansluitkosten zijn. De gedachte is dat warmtepomp in combinatie met aquifer voor deze type bedrijven het snelste rendabel zullen zijn.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is het in kaart brengen van het functioneren van een innovatief energieconcept van een warmtepomp met warmteopslag en -terugwinning via een aquifer op een glastuinbouwbedrijf. Het functioneren betreft het technisch, energetisch en economisch functioneren van het concept.

Op basis van de in dit project opgebouwde kennis en aanbevelingen kunnen vooral glastuinders en energiebedrijven beslissingen nemen over de toepassing van een dergelijk of aangepast energieconcept op andere glastuinbouwbedrijven.

1.3 Beschikbare informatie

Veel gegevens over aquifers zijn niet beschikbaar. Recentelijk heeft IMAG een publicatie gemaakt over een kostenberekenschema voor warmte- en koude-opslagsystemen ten behoeve van de inzet van warmtepompen in de Nederlandse glastuinbouw (De Zwart en Knies, 2002). Ze geven aan dat de investeringen in het ondergrondse opslagsysteem een belangrijke invloed hebben op het economische plaatje.

Recente praktijkevaluaties van warmtepompen zijn er niet. Praktijkevaluaties zijn gepubliceerd in 1987 en 1990 (Benninga, 1987, Fonville et al., 1990). Daarin wordt be-

schreven dat in de periode 1981-1986 in de Nederlandse glastuinbouw 43 gasmotor-warmtepompen geplaatst zijn met een gezamenlijk vermogen van 17,3 MW. Deze gasmotoren-warmtepompen waren geplaatst als gevolg van de energiecrisis van begin jaren tachtig toen de aardgasprijs binnen enkele jaren verdubbelde van 10 naar 20 eurocent per kubiek meter. De meeste warmtepompen zijn toen geplaatst op bedrijven met warmtebehoefte teelten, zoals vruchtgroente en rozen, met als doel energiebesparing. De warmtepomp werd dus ingezet als vervanging van de bestaande energievoorziening.

Zo snel de gasprijs was gestegen, zo snel daalde die ook weer om op hetzelfde niveau van voor de energiecrisis uit te komen. Dat betekende dat het economische motief van aardgasbesparing snel verdween. Op het moment van onderzoek (1986) stonden er al 19 van de 43 warmtepompen stil. Een tweede rapportage over de status van de warmtepomp in de glastuinbouw dateert uit 1995 (Telle et al., 1995). Hierin staat dan ook beschreven dat het bedrijfseconomisch rendement van de warmtepomp al snel onder druk kwam te staan door de dalende gasprijs, dat de animo voor aanschaf of verder gebruik verdween. In 1995 was er dan ook nog slechts één warmtepomp in bedrijf, die uiteindelijk in 1998 is stopgezet (Van Haasteren, 2001). Het laatste geval betrof een gasgestookte warmtepomp op een komkommerbedrijf. De terugverdientijd van die betreffende warmtepomp is 10,5 jaar geweest.

Uit de status van de warmtepomp in de glastuinbouw (Telle et al., 1995) blijkt dat de warmtepomp met bronwater als warmtebron het beste scoorde. Verder blijkt dat warmtepompen met een elektrische aandrijving relatief minder stil stonden. Daarentegen bleek er geen economisch voordeel te zijn in vergelijking met gas aangedreven warmtepompen. Verder blijkt dat onderhoudskosten en stilstandverliezen veelal zijn tegengevallen. De warmtepomp onderzocht door Van Haasteren (2001) kende onderhoudskosten ter hoogte van 8% van het investeringsbedrag. Herintroductie van de warmtepomp om de glastuinbouw moet worden voorafgegaan door:

- een potentieelschatting zowel op bedrijfsniveau als op sector niveau;
- onderzoek naar op warmtepompgebruik toegesneden verbeterde warmteverdeel- en warmteopslagsystemen voor kassen;
- ontwikkeling van een eenvoudiger gestandaardiseerde warmtepomp concept specifiek voor de glastuinbouw.

In 2001 heeft het IMAG een aantal berekeningen gemaakt van een warmtepomp aangedreven door een gasmotor (W/K-installatie) in combinatie met een aquifer (Swinkels en De Zwart, 2001). De oorspronkelijke gedachte om de toepassing van hoge WP-vermogens grote warmteoverschotten te creëren, en daarmee de aquifer te regenereren blijkt minder perspectiefvol dan gedacht. Een vergroting van het W/K-vermogen levert weliswaar een toename van de vulling van de aquifer, maar tegelijkertijd wordt het gebruik van de warmtepomp beperkt, omdat de warmteproductie van de W/K bij toenemend vermogen de warmtepomp eruit drukt. De in de zomer goed gevulde aquifer wordt in dat geval in de winter niet geleegd waardoor er een onbalans in de aquifer ontstaat. De overall conclusie uit het onderzoek luidt dat het concept belangrijke besparingen kan opleveren, maar dat het financiële perspectief de toepassing in de tuinbouw voorlopig onmogelijk maakt.

In dit onderzoek wordt de warmtepomp niet direct aangedreven door een W/K-installatie, maar indirect is er sprake van een vergelijkbare situatie.

Al met al kan vastgesteld worden dat de warmtepomp niet is doorgebroken in de glastuinbouw. Een mogelijke herintroductie moet niet generiek zijn voor de gehele glastuinbouw, maar gericht op die groep bedrijven waarbij een dergelijk concept het snelste rendabel is. Zo komen de bedrijven met grondkoeling als eerste in aanmerking, omdat ze al een koelmachine (lees warmtepomp) hebben staan en omdat ze de vrijkomende koude nuttig kunnen aanwenden. De ervaringen uit de jaren tachtig zijn daarbij beperkt bruikbaar, omdat de concepten van de warmtepomp in bedrijfssystemen met en zonder (grond)koeling verschillend zijn.

1.4 Afbakening

Het onderzoek richt zich op het functioneren van de warmtepomp in combinatie met de aquifer. Het onderzoek is vooral een beschrijving van hoe in de praktijk een systeem zoals dit gefunctioneerd heeft. Daarbij spelen allerlei specifieke zaken een rol die betrekking hebben op dit bedrijf. Voor zover mogelijk worden uitspraken gedaan die ook een uitwerking kunnen hebben op andere (vergelijkbare) bedrijven.

1.5 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 (Materiaal en methode) wordt ingegaan op de werking van warmtepompen, de wijze waarop de warmtepompen in de zomermaanden voor het koelen en in de winter voor kasverwarming worden ingeschakeld en de metingen die zijn uitgevoerd.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het systeem op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. uitgewerkt. In de berekeningen wordt daarbij uitgegaan van een optimale werking van het systeem.

Hoofdstuk 4 gaat in op de betekenis die warmteopslag en -terugwinning in aquifers op basis van dit onderzoek voor andere glastuinbouwbedrijven met grondkoeling kan hebben. Uitgaande van een optimale werking van het systeem zijn berekeningen uitgevoerd en wordt een economische en milieutechnische vergelijking gemaakt.

In de hoofdstukken 5 en 6 komen respectievelijk de conclusies en de aanbeveling aan de orde.

2. Materiaal en methode

2.1 Situatieschets glastuinbouwbedrijf

Het betreffende bedrijf is een selectie en vermeerderingsbedrijf dat in 1998 volledig nieuw is gebouwd en als eerste bedrijf het groenlabel certificaat voor de kas ontving. Kenmerken van het bedrijf staan in tabel 2.1.

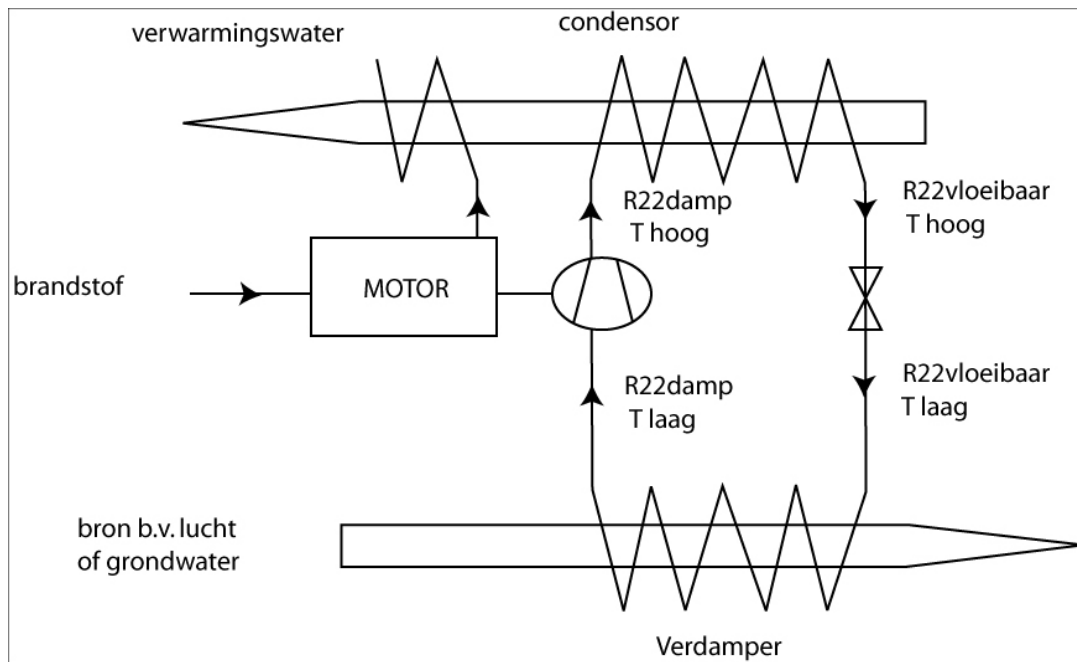
Tabel 2.1 Kenmerken van het glastuinbouwbedrijf

Oppervlakte:	3,5 ha kas
Bouwjaar:	1998
Type:	12,80 m breedkap
Teelt:	fresia, alstroemeria, limonium en statice. Ook het onderzoek, veredeling en de demonstratieproeven bij deze producten en die van (tros)anjers vinden plaats op het nieuwe complex.
Verwarmingssysteem: Laag temperatuurnet	7.680 m ² betonvloerverwarming (in 2002) 2.250 m ² gewasverwarming (in 2002)
Koelingssysteem Koelingsnet	7.375 m ² grondkoeling met PVC slangen
<i>Ketelhuis (in NUON beheer)</i>	
- W/K-installatie met rookgasreiniger	1 Warmte/Kracht installatie, type GE CAT 1000 Elektrisch vermogen: 1 MW Thermisch vermogen (incl. rookgascondensor): 1,5 MW
- 2 Ketels:	2 ketels met elk 3,5 MW _{th}
- 1 Stoomketel:	1 ketel van 3,5 MW _{th} met max. vermogen van 4.400 kg stoom per uur
- Warmtebuffer	1 horizontale buffer van 300 m ³
- 2 Warmtepompen/Koelmachines	2 Koelmachines van elk 127 kW koelingcapaciteit
Aquifer	Warme en koude bron 380 meter uit elkaar Diepte 60 m Max. temperatuur warm water in de bodem: 25°C Pompsnelheid max. 30 m ³ /h Geschatte capaciteit 50-60.000 m ³ per seizoen

2.2 Warmtepomp en aquifer

Principe

Een warmtepomp is een apparaat dat warmte van een laag temperatuurniveau onttrekt aan een medium zoals water of lucht en op een hoger temperatuurniveau brengt, waarna het kan worden afgegeven aan een ander verwarmingsmedium zodat het kan worden gebruikt voor de verwarming van kassen. Een warmtepomp maakt gebruik van het feit dat koelmiddelen, zoals R22, bij lage druk en temperatuur kunnen verdampen. Aan de hand van figuur 2.1 zal het principe van de werking van de warmtepomp worden beschreven.



Figuur 2.1 Schematische weergave van het werkingsprincipe van een warmtepomp.

Vloeibaar koudemiddel (R22) stroomt langs de verdamper, waar het op een lage temperatuur verdampt. Bij die verdamping onttrekt het koudemiddel warmte. De ontstane damp wordt met behulp van een motor samengeperst. Hierdoor stijgt de druk en daarmee de temperatuur van de damp. Door de hogere druk kan de damp tegen de binnenkant van de condensor condenseren, waarmee het de latente warmte die eerst bij de verdamper was opgenomen op dit hogere temperatuurniveau weer wordt afgegeven (bijvoorbeeld bij 45°C). Het vloeibare koudemiddel stroomt vervolgens weer terug naar het lage druk deel in de verdamper, zodat de cyclus opnieuw begint. Kenmerken van de warmtepomp staan weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kenmerken van de warmtepomp in kwestie

Warmtepomp		
Merk	Daikin EUW40FSDW1	
Type	Water/watersysteem	
Type compressor	Semi-hermetisch reciprocating type	
Type verdamper	Dry expansion shell and Hi-X U tubesverdamer	
Type condensor	Shell and cross fin tubes	
Vermogenstappen	3 standen per machine (0-33-66-100%)	
Vermogen a)	Nominale koelingcapaciteit	127 kW (= 457 MJ/u)
	Nominale verwarmingscapaciteit	150 kW (= 540 MJ/u)
Stroomverbruik a)	Nominale stroomverbruik koeling:	29 kW
	Nominale stroomverbruik verwarming:	34 kW
Soort brandstof	elektriciteit	
Datum ingebruikstelling	1992 en 1994	
Installateur	L.W. Kramer & Zn.	
Leverancier	Itho B.V.	
Onderhoudscontract	L.W. Kramer & Zn.	
a) Nominale condities zijn:	Gekoelde water temperatuur (°C)	Condensor water temperatuur (°C)
	Inkomend/Uitgaand	Inkomend/Uitgaand
Koeling	12,5/7	29,5/35
Verwarming	12,5/7	39,5/45

Een aquifer bestaat uit een grondwaterlaag, aan de bovenzijde afgesloten door een ondoordringbare bodemlaag, waarin warmte wordt opgeslagen. Met twee bronnen, die op voldoende afstand van elkaar moeten liggen, wordt een 'koudwaterbel' en een 'warmwaterbel' gevormd. De warmte en koude worden via waterstromen aangevoerd en overgedragen op het bodemskelet. Ze worden dus opgeslagen in zand en grind. Als het water weer wordt onttrokken, neemt het de warmte weer op van de bodem.

Zolang de stroomsnelheid van het water laag is blijven de verliezen beperkt. In dat geval wordt van alle opgeslagen warmte ongeveer 80% weer opgepompt en gebruikt voor verwarming (Vrieze, 2001). Uit onderzoek moet blijken of een bodem geschikt is voor het aanleggen van een aquifer. Zolang de temperatuur van de warme bron niet hoger wordt dan 25°C, zijn vergunningen meestal geen probleem. Zo ook in deze casus. Er treden nauwelijks chemische of biologische veranderingen op in de aquifer. Bij hogere temperaturen kunnen neerslagen ontstaan, die de bron kunnen verstoppen.

Winterbedrijf (2001/2002)

Gedurende de zomer van 2001, toen de aquifer op de warmtepompen was aangesloten en proefdraaide, is de warme bron gevuld met het warme water van de warmtepompen. In de winter wordt het warme water weer aan de warme bron onttrokken. In figuur 2.2 is dit schematisch weergegeven. Via de warmtewisselaar (WW) gaat de warmte uit het bronwater naar de warmtepomp (WP), die de temperatuur verhoogt naar ongeveer 40-45°C. De WW is bedoeld om het grondwater te scheiden van het water in het verwarmingssysteem in verband met zuurstofcorrosie en het risico van een eventuele chemische vervuiling van de bronnen. Met het water van 40-45°C kan de ondernemer met een laagwaardig verwar-

mingsnet de kas verwarmen. Normaliter is dat een groeibuis (diameter 25-35 mm) die in de buurt van het gewas wordt opgehangen. Bij een koelende teler kan dat eventueel ook via de koelsslangen, die dan als verwarming worden gebruikt. Ook zijn er situaties mogelijk dat betonvloeren verwarmd kunnen worden met dit laagwaardige verwarmingsnet.

In het geval Van Zanten Plants B.V. is het laagwaardige verwarmingsnet het betonvloernet. Met het gebruik van de aquifer voor de verwarming van de kas (na tussenkomst van de warmtepomp), wordt in de winter de koude bron dus gevuld met koud water, dat in het volgende seizoen voor de grondkoeling weer kan worden ingezet.

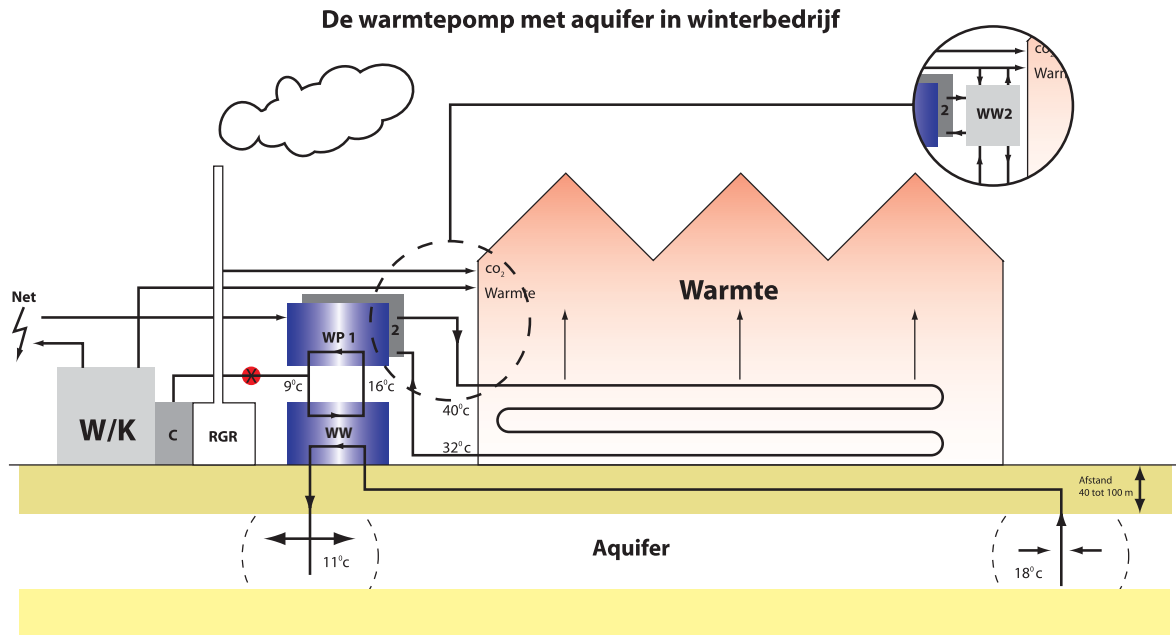
Aangezien in de winter de hoogste warmtevraag 's nachts is, is besloten om de WP alleen in de daluren te laten draaien: dus van 23.00- 7.00 uur en in het weekend. Natuurlijk speelt ook mee dat de elektriciteitskosten dan lager zijn.

Voor de winter van 2002/2003 is er een extra warmtewisselaar (WW2) geplaatst om hoogwaardige warmte uit Hoge Temperatuursnet (HT-net van circa 90°C) bij te mengen met het water uit het Lage Temperatuursnet (LT-net van circa 40-45°C), dat afkomstig is van de WP. Deze verandering in het systeem is in de cirkel in figuur 2.2. aangegeven. De reden voor een extra warmtewisselaar was dat de regeling van de warmtepomp niet goed was: geen constante regeling en regelmatig kort durende storingen. Hieronder wordt geprobeerd dat toe te lichten.

De belangrijkste eis bij de aansturing van de WP is dat er water van 10°C terug de koude bron in gepompt moet worden. Voor de grondkoeling in het zomerseizoen is het namelijk noodzakelijk dat de temperatuur in de koude bron laag blijft. De aanvoer van water van en naar de bronnen is in het hier beschreven systeem constant (circa 30 m³/uur) en kan niet worden verminderd, doordat er geen frequentieregelaars op de bronpompen aanwezig zijn. De enige variabele is dan de warmtevraag uit de kas, veroorzaakt door klimatologische veranderingen.

Een ander gegeven is het feit dat elke afdeling óf alleen door de WP verwarmd kan worden (LT-net) óf alleen door het HT-net. Er kunnen alleen handmatig afdelingen betonvloeren bij- of afgeschakeld worden.

De consequentie van bovengenoemde aspecten is dat alleen die afdelingen op het WP circuit geplaatst zijn, waarbij de WP in vollast nog voldoende warmte kon leveren (maximale capaciteit) om de gewenste teelttemperatuur te realiseren bij een bepaalde koude buitentemperatuur. Aangezien deze situatie dus nauwelijks voorkomt, is het resultaat dat de WP in de winter van 2001/2002 bijna alleen in deellast heeft gedraaid. Om nu te zorgen dat de WP 's nachts en in het weekend meer in vollast zal draaien, is er een extra warmtewisselaar geplaatst. Er kunnen nu meer afdelingen op het WP-circuit geplaatst worden dan gerekend met de maximale capaciteit van de WP. Indien de WP te kort warmte levert voor al deze afdelingen, wordt er bijgemengd vanuit het primaire net. De consequentie is dat de warmtepomp veel meer uren in vollast zal draaien.



- W/K = Warmte/Kracht-Installatie
- C = Condensator (in dit geval een dubbele condensator, waarbij dit element de 2^e trap van de intercooler voorstelt)
- RGR = Rookgasreiniger
- WW = Warmtewisselaar
- WW2= Later tussen geplaatste extra warmtewisselaar tussen hoogwaardige net en laagwaardige net
- WP 1, 2 = Warmtepompen 1 en 2

Figuur 2.2 Schematische weergave van winterbedrijf. In de cirkel is de aanpassing van het systeem weergegeven: de inbouw van een extra warmtewisselaar (WW2) die het mogelijk maakt dat extra warmte uit het HT-net op het LT-net gemengd kan worden

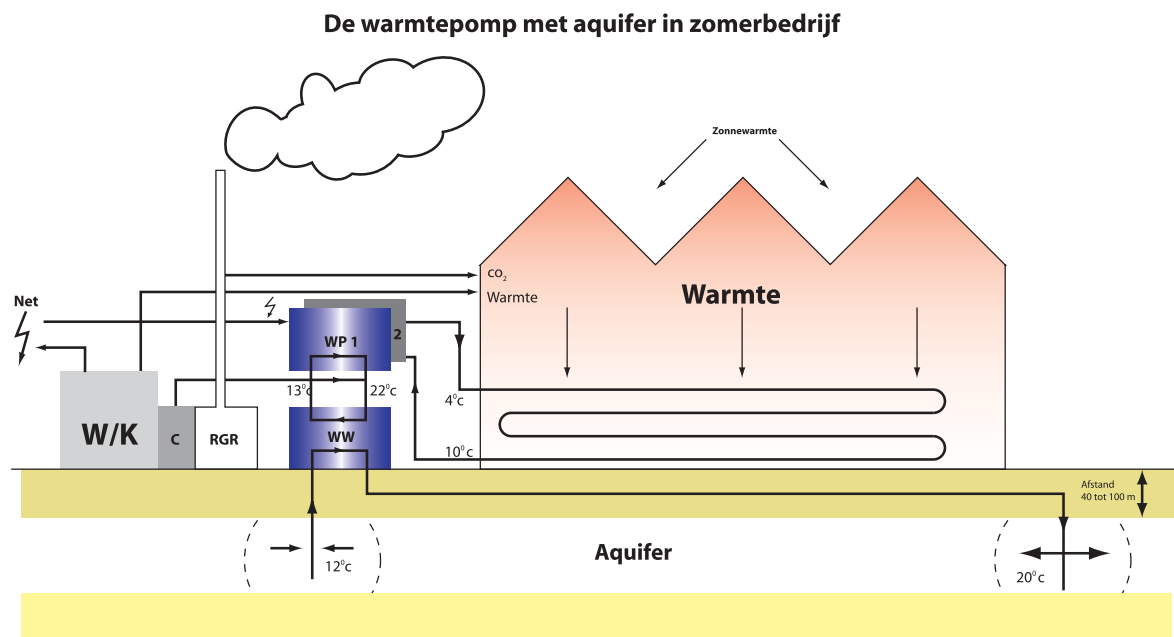
Zomerbedrijf (2002)

In de zomer wordt de warmtepomp als koelmachine gebruikt. Aan de verdamper wordt dan water van 4°C gemaakt, dat naar de kas wordt geleid. Daar wordt dit gebruikt voor grondkoeling en warmt daarbij op naar 10°C.

De warmte die aan de kas is onttrokken komt aan de warme zijde van de koelmachine (de condensator) weer vrij. Naast de onttrokken warmte komt ook de aandrijfenergie (asvermogen) bij de condensator in de vorm van warmte vrij. In het zomerbedrijf wordt deze warme zijde gekoeld met koud water uit de aquifer. In de praktijk betekende dit dat het koude aquiferwater (12°C) werd opgewarmd naar ruim 20°C. Voordat het water de warme bron ingaat wordt er bij de installatie bij Van Zanten Plants B.V. nog extra warmte toegevoegd via de 2^e trap van de intercooler van de Warmte/Kracht installatie. De intercooler zorgt ervoor dat de inlaatgassen van de W/K-installatie worden voorgekoeld, waardoor de W/K-installatie beter presteert. Het water wordt, wanneer de W/K-installatie draait, verder verwarmd tot circa 25°C en wordt via de WW in de warme bron opgeslagen.

Anders gezegd: In de bodem zit nu de warmte die nodig was om de WP aan te drijven (elektrische energie), de warmte die onttrokken is aan de kasbodem (en kaslucht) en de

warmte van de intercooler van de W/K-installatie, verminderd met het rendementverlies van de WP. In figuur 2.3 is alles nog eens weergegeven.



- W/K = Warmte/Kracht-Installatie
 C = Condensator (in dit geval een dubbele condensator, waarbij dit element de 2^e trap van de intercooler voorstelt)
 RGR = Rookgasreiniger
 WW = Warmtewisselaar
 WP 1, 2 = Warmtepompen 1 en 2

Figuur 2.3 Schematische weergave van zomerbedrijf 2002

2.3 Analysemethode

Voor het meten van de warmtestromen en elektriciteitsverbruik, is er een meetstelsel ingebouwd, zodat NUON op afstand data kon inlezen. In het voorjaar van 2002 zijn er vier warmtemeters geïnstalleerd en twee stroommeters. De warmtemeters zijn geplaatst op de volgende locaties:

- bij de bron om vast te stellen hoeveel warmte er aan de bron wordt onttrokken (winter) of in de bron wordt geladen (zomer);
- aan de verdamperkant van de warmtepomp (koude kant);
- aan de condensorkant van de warmtepomp (warme kant);
- bij de verbinding van de tweede trap van intercooler van de W/K-installatie op het systeem om vast te stellen hoeveel extra warmte, geleverd door de intercooler, er in

de zomer in de bodem wordt geladen. In de winter is deze bijmenging niet wenselijk¹ en wordt de verbinding handmatig afgesloten (zie rode kruisje in figuur 2.2).

De twee elektriciteitsmeters lezen de verbruikte hoeveelheid elektriciteit van de twee warmtepompen.

De warmtemeters bestaan uit een flowmeter (debietmeter) en 2 temperatuurvoelers (PT 100). De flowmeters zijn 1-dimensionaal, dat wil zeggen kunnen het debiet alleen van één richting meten.

Data worden gelogd over perioden van 4 weken (13 perioden per jaar). Met deze data worden schematische overzichten gemaakt van energiestromen op het bedrijf.

Rendement van een warmtepomp

Voor de productie van bruikbare warmte met een warmtepomp is energie nodig. Deze energie is nodig voor het samenpersen van de damp van de koelvloeistof (R22) en wordt aandrijfenergie genoemd. Hoe efficiënt dat gebeurt, wordt uitgedrukt met de Engelse term Coëfficiënt of Performance (COP). Deze COP geeft de verhouding aan tussen de verkregen bruikbare warmte en de aandrijfenergie. Een warmtepomp met een COP van 3 heeft dus 1 deel aandrijfenergie (in dit geval elektriciteit) nodig om 3 delen nuttige warmte te produceren. Het rendement is in dat geval 300%. Indien een hoge temperatuur voor de warmtevraag gewenst is, daalt de COP en het rendement. Daarom wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke afgiftetemperatuur, dus een laagwaardige verwarmingsnet als een vloerverwarming of matverwarming.

De data worden geanalyseerd en het energetisch rendement van de warmtepomp wordt bepaald door middel van COP. Deze COP kan bepaald worden als warmtefactor (COP_w) gedurende de wintersituatie of als koudefactor (COP_k) gedurende de zomersituatie. Deze worden als volgt bepaald:

- (1) COP_w = Warmtemeting Condensor/Benodigde elektrische energie
- (2) COP_k = Warmtemeting Verdampers/Benodigde elektrische energie

Op basis van de energetische analyse worden er een aantal economische berekeningen gemaakt. Deze berekeningen beslaan:

- vergelijking van huidige situatie met geforceerde luchtkoeling
- effect van liberalisering
- effect van energieprijzen
- effect van verbeterd rendement warmtepomp
- vergroten van bedrijfsoppervlak

Het technisch functioneren van de WP wordt bepaald door de analyse van het logboek van de onderhoudsmonteur en overzichten van gemaakte kosten daarvoor.

¹ In de winter is het doel om zo koud mogelijk water terug in de bron te brengen. Bijmenging zou betekenen dat het relatief koude water (circa 9°C) van de WP, nog voor dat het naar de bodem zou gaan, weer een stukje wordt opgewarmd met relatief warm water (circa 25°C) van de intercooler. Dat is nu juist niet de bedoeling.

2.4 Meetperiode

In oktober 2000 zijn de bronnen geslagen. De meetapparatuur is geplaatst in het voorjaar van 2001. Omdat het inregelen van de bronnen en van de meetapparatuur veel tijd vergde, kon het officiële meten pas beginnen bij de overgang van de zomerstand naar winterstand eind oktober 2001. Bijkomend voordeel daarbij was dat de warme bron nu wel gevuld was met warmte gedurende de inregelperiode in de zomer van 2001. De metingen zijn gestart op 12 november 2001 (week 46) en lopen tot 1 december 2002 (week 48).

Winter 2001/2002

De winterstand is begonnen op 12 november 2001 (week 46). Door een regelfout is in het begin van de winterperiode de verbinding met de intercooler met het WP circuit open gebleven. In figuur 2.2 is de afsluiter weergegeven door een rood kruisje in de verbinding die vanaf de intercooler (c) loopt. Op 5 februari 2002 (week 6) is de intercooler verbinding met de koude bron afgesloten. De eerste winterperiode kan dus opgedeeld worden in gedeelten: 1a: winterstand met intercooler en 1b winterstand zonder intercooler.

Zomer 2002

Op 7 mei 2002 (week 19) is de zomerstand begonnen en is de verbinding van de intercooler geopend om extra warmte aan de bron toe te voegen. De zomerstand eindigde op 16 oktober 2002 (week 42).

Winter 2002/2003

De zomerstand is gevolgd door opnieuw een winterstand op 16 oktober 2002 (week 42). Bij het omzetten van de circuits van zomer naar winterstand is opnieuw verzuimd om de intercooler af te sluiten. De meetperiode loopt tot 1 december 2002 (week 48). Het verschil van deze winterstand met die van de winterstand 2001/2002 is dat er een extra warmtewisselaar geplaatst is met als doel het functioneren van de warmtepomp te verbeteren (zie figuur 2.2), doordat de warmtepompen meer in vollast kunnen draaien.

Samenvattend

In het kort betreft het dus 4 perioden. We zullen de perioden ook apart bekijken.

<i>Stand</i>	<i>Startdatum</i>	<i>Einddatum</i>	<i>Bijzonderheden</i>
Winterstand	Week 46 (2001)	Week 6	Intercooler verbinding open.
Winterstand	Week 6	Week 19	Intercooler verbinding dicht.
Zomerstand	Week 19	Week 42	
Winterstand	Week 42	Week 48	Extra warmtewisselaar voor bijmenging hoogwaardige warmte en intercooler verbinding open.

De metingen die door NUON zijn uitgevoerd wijzen uit dat er weliswaar gedurende een jaar is gemeten, maar dat er niet over een geheel jaar consistente gegevens beschikbaar zijn. Zo ontbreken er in week 7 en 8 gegevens door een defect aan een warmtemeter. Aan de hand van de perioden dat de warmteopslag en de warmteterugwinning wel goed heeft gewerkt kan zowel voor het betreffende bedrijf als voor andere bedrijven met koeling worden nagegaan of het gekozen concept in de praktijk bruikbaar is.

3. Resultaten praktijksituatie bij Van Zanten Plants B.V.

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de evaluatie van de warmtepomp met aquifer op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. gepresenteerd. De volgende elementen worden in de volgende volgorde belicht: algemene resultaten, energetische analyse en economische analyse. De resultaten zijn bedrijfsspecifiek en gelden alleen voor het onderzochte bedrijf.

3.2 Algemene resultaten

Stopcontactprincipe

Hieronder volgen een aantal pluspunten en leerervaringen van het innovatieve concept dat een energiebedrijf het ketelhuis in beheer heeft en dat de ondernemer alleen de verschillende energievormen inkoop:

- een belangrijk voordeel voor de ondernemer is dat hij geen investeringen in het ketelhuis hoeft te plegen: dat levert hem lagere investeringskosten op of hij kan die gelden in andere prioriteiten investeren;
- de kwaliteit van de hardware, geïnvesteerd door het energiebedrijf, is meestal uitstekend en volgens de laatste stand van de techniek;
- besparing van een techneut in het personeel. Vaak is het bedrijf te klein voor een volledige dagtaak van die techneut, maar is hij wel nodig. Aan de andere kant is het moeilijk voor een dergelijke techneut om zijn expertise op peil te houden op een 'groen' bedrijf, waar hij als enige techneut rondloopt;
- het stopcontactprincipe past bij bedrijfsfilosofie van Van Zanten Plants B.V. om de aandacht te richten op het veredelen van planten en niet op het ketelhuis of andere zaken. Zo is bijvoorbeeld bij Van Zanten Plants B.V. de logistiek ook uitbesteed;
- een dergelijk complex ketelhuis zoals bij Van Zanten Plants B.V. betekent een veelheid van betrokken partijen als monteurs, onderhoudsbedrijven, toeleveranciers, regeltechnici, etc. In het begin kwam het wel eens voor dat partijen problemen naar elkaar doorschoven, als er geen duidelijke regie is. De ervaring leert dat in de tijd zaken verbeteren.

In de vrije energiemarkt lijkt het steeds moeilijker om lange termijn contracten te maken. Het contract van Van Zanten Plants B.V. en NUON heeft een looptijd van 15 jaar en is onder andere door de liberalisering van de aardgasmarkt al een keer opengebroken en aangepast. Deze flexibiliteit in contractaanpassingen is noodzakelijk in de vrije energiemarkt.

Functioneren

De belangrijkste voorwaarde voor Van Zanten Plants B.V. voor goed functioneren van het vernieuwde concept (warmtepomp met warmteopslag in aquifer in vergelijking met directe warmtevernietiging via een koeltoren) was het realiseren van voldoende koeling in de zomer. Een tweede belangrijke voorwaarde was het nuttig aanwenden van in de bodem opgeslagen warmte in de winter om op deze manier het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen, te voldoen aan de duurzaamheidnorm voor de 'groen labelkas' en uiteindelijk ook op de energiekosten te besparen.

Uit de evaluatie blijkt dat aan de eerste voorwaarde ruim is voldaan. De benodigde koelingcapaciteit was ruimschoots aanwezig en het systeem heeft nooit langdurig stilgestaan door storingen of onderhoud, zodat de oude koeltoren niet ingeschakeld behoefde te worden. Aan de tweede voorwaarde zijn wel wat kanttekeningen te plaatsen, die vooral in dit hoofdstuk verder belicht zullen worden. Van Zanten Plants B.V. is optimistisch dat verbeteringen ook de tweede voorwaarde binnen handbereik zullen brengen en ze blijft enthousiast over het concept. Wat dat betreft is een analyse van 1 jaar te kort om vast te stellen of een dergelijk concept werkt of niet.

Planning

Het project is in vergelijking met de planning in het voorstel ongeveer 1½ jaar vertraagd. Een dergelijk complex project met relatief veel verschillende partijen (zowel in het project als buiten het project) vraagt tijd voor afstemming en realisatie. Verder vraagt het verkrijgen van de juiste data uit de metingen tijd.

Dataverzameling

Uit steekproefcontroles van de eerste metingen bleek het noodzakelijk om voor de warmtemeters per 5 minuten apart het debiet ('de flow') en het temperatuursverschil ('delta T') in te loggen. Dat is vanaf 1 februari 2002 (week 5) gebeurd. De metingen van voor die tijd zijn op uurbasis en zijn niet 100% betrouwbaar. Op basis van de correcte 5 minuutgegevens zijn verrekening gemaakt naar dagen, weken en 4-wekelijkse perioden.

Slipwarmte

Uit de steekproefcontroles bleek dat de warmtemeting bij de bron meer energie mat, dan de warmtemeters van de WP en Intercooler bij elkaar aangaven. Ergens werd er extra warmte aan het WP circuit toegevoegd, zonder dat het gemeten werd: zogenaamde 'slipwarmte'. Pas na de meetperiode is het duidelijk geworden waar deze warmte vandaan moest komen en dat is in de praktijk geverifieerd. In dit hoofdstuk komt dit onderdeel nog terug.

Storingen en onderhoud

Uit het logboek bleek dat er geen storingen of extra reparaties aan de warmtepompen en aquifer is uitgevoerd behalve de reguliere onderhoudsbeurten. De warmtepompen hebben nagenoeg niet stilgestaan door technische mankementen. De werkelijke kosten voor onderhoud in afgelopen meetperiode zijn niet voorhanden. Er is daarom voor onderhoudskosten gerekend met 2,5% van de investeringswaarde, een percentage dat vaker in berekeningen als standaard wordt aangehouden.

3.3 Energetische analyse

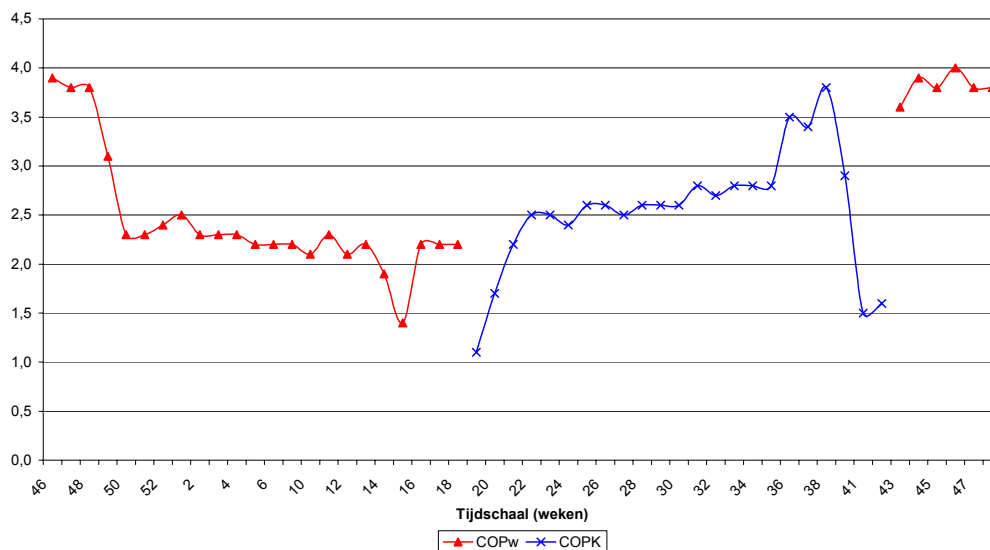
3.3.1 Rendement in de tijd

Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in een COP-waarde. In de winter zal de COP waarschijnlijk slechter zijn dan in de zomer, vanwege een hoger delta T-verschil dat overbrugd moet worden door de warmtepomp: in de winter van 16°C naar 40°C en in de zomer van 10°C naar 20°C (zie figuren 2.2 en 2.3).

In figuur 3.1 is een overzicht te zien van het verloop van de COP in de verschillende seizoenen. In de winter 2001/2002 (week 48 tot week 50) zakt de COPw van ongeveer 4 naar 2,5. Wat hiervan precies de oorzaak is onbekend. In de zomer (week 19-42) is de COPk net boven de 2,5 en stijgt lichtjes naar de 3.

Het klopt dus dat het rendement in de zomer beter is als in de winter: in figuur 3.1. is de COPk weergegeven in de zomer. De COPw in de zomer ligt dus nog een factor 1 hoger, waardoor het rendement duidelijk beter is dan in de winter.

Het begin van de winter in 2002/2003 begint weer met een hoge COPw van bijna 4. Het is de vraag of dat net zoals het jaar daarvoor weer zal wegzakken of dat door de installatie van een extra WW het rendement wordt verbeterd. Immers er wordt hoogwaardige warmte bij het laagwaardige net gevoegd, waardoor er een hogere retourtemperatuur ontstaat, zodat er minder energie door de WP hoeft worden bijgevoegd voor hetzelfde resultaat. Dit moet zich uiten in een verbeterd rendement.

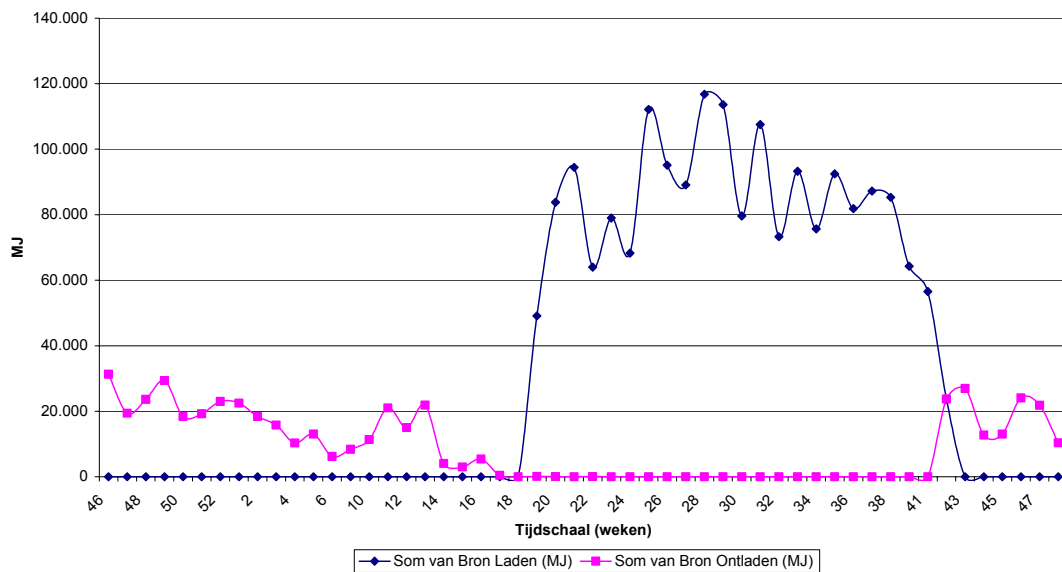


Figuur 3.1 Overzicht van de COP van de warmtepomp gedurende het meetseizoen (winterstand, zomerstand, winterstand)

3.3.2 Laden en ontladen

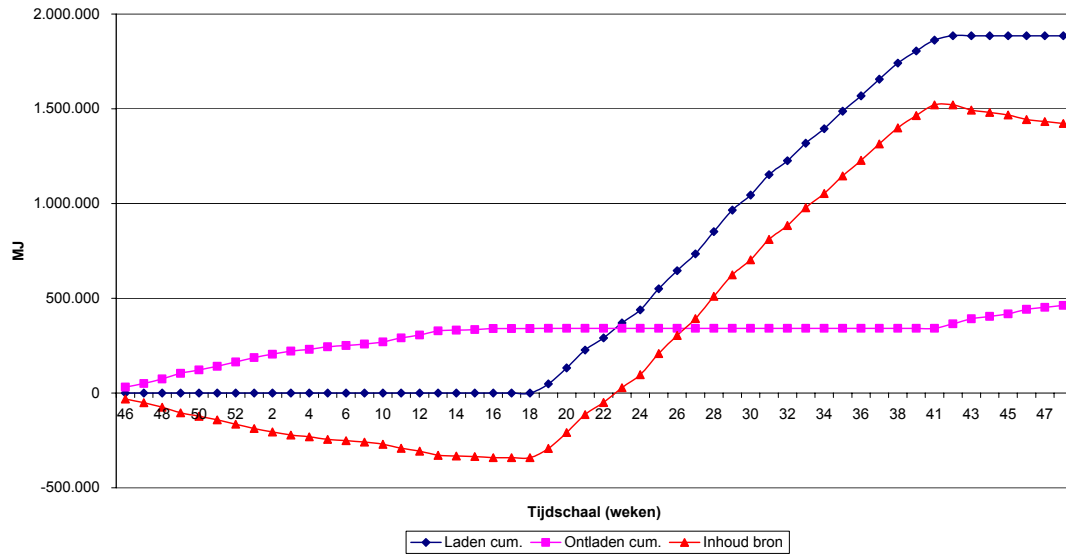
In figuur 3.2 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid energie die de bron is ingegaan (=laden) en die is onttrokken (=ontladen). Het is direct zichtbaar dat er in de zomer (week 19-42) veel meer energie de aquifer is ingegaan dan in de winter is onttrokken. Eigenlijk zou de oppervlakte onder beide lijnen hetzelfde moeten zijn om evenveel te onttrekken als te laden. Het resultaat is nu dat er een onbalans ontstaat in de aquifer.

Het is te zien dat in de zomer ongeveer 80-120 GJ/week de aquifer in gaat en dat er in de winter 10-30 GJ/week wordt onttrokken.



Figuur 3.2 Overzicht van het laden en ontladen van de aquifer

Een overzicht wat er in de bron gebeurd is, is weergegeven in figuur 3.3. In deze figuur is op een cumulatieve manier geschetst hoeveel energie er wordt onttrokken of toegevoegd aan de bron. Uitgaande van een startmoment in week 46, wordt de bron onttrokken; de inhoud van de bron is negatief. Vanaf de zomer (week 19) wordt de bron gevuld. Dat gaat zo snel dat binnen 3 weken er al evenveel gevuld is als onttrokken. Het vullen gaat door tot week 42. Daarna moet er weer onttrokken worden, echter dat gebeurt relatief te weinig. Het netto resultaat is dat er na 1 jaar nog meer dan 1.000 GJ aan warmte in de bron is 'achtergebleven'.



Figuur 3.3 Overzicht van het cumulatieve laden en ontladen van de bron en als resultaat de broninhoud

In bijlage 1 is per seizoen een overzicht te zien van de warmtemetingen bij de warmtepomp, intercooler en bron. De metingen hebben uitgewezen dat de in de warme bron opgeslagen warmte niet volledig overeenkwam met de warmte die vanuit warmtepompen (koeling) en intercooler werd aangeleverd. Uit nader onderzoek blijkt dat, zodra de intercooler geen warmte levert (dus de W/K-installatie staat uit), er een tegengestelde stroming gaat lopen via het intercooler circuit (=slipwarmte), waardoor warmte aan het HT-net wordt onttrokken en via de warmtewisselaar in de aquifer wordt opgeslagen. Alles bij elkaar gaat het om een aanzienlijke hoeveelheid warmte, die ongemerkt in de aquifer wordt opgeslagen. De tegengestelde stroming was al in 2001 opgemerkt door de procesregelaar van Van Zanten Plants B.V. en er was een terugslagklep geïnstalleerd in het systeem (Van Elsas, 2001). Die tegengestelde flow is namelijk niet wenselijk voor de intercooler die een maximum retourtemperatuur mag hebben van 35°C. Kennelijk is de terugslagklep op een verkeerde plaats gemonteerd, want zelfs na installatie van de terugslagklep wijzen de data erop dat er toch slipwarmte is ontstaan door een tegengestelde stroming. Deze tegengestelde stroming wordt niet gemeten door de warmtemeter, omdat uitsluitend het debiet in één stroomrichting wordt gemeten. Het extra verschil in energieberekeningen is dus ontstaan door slipwarmte vanaf het intercooler circuit, dat niet door de warmtemeter is gemeten.

3.3.3 Dagvoorbeelden

In bijlage 2 zijn van 3 etmalen overzichten gegeven van het elektriciteitsverbruik en warmte- of koudeproductie van de warmtepompen. Het doel van deze figuren is het duidelijk maken dat in de zomer de WP bijna 24 uur per dag draait (figuur C), echter bijna alleen in deellast en dat in de winter gedurende de daluren in de nacht de WP veelal in vollast draait (figuur D) en in de weekenden overdag in deellast (figuur E).

Het probleem, dat in de winter speelt is dat, ondanks de warmtepompen in deellast draaien, het debiet van de bron constant is, namelijk $33,5 \text{ m}^3$ per uur. Het warme water (20°C) kan daardoor onvoldoende worden uitgeoeld en gaat dus te warm (14°C) weer de koude bron in. Daardoor wordt de koude bron opgewarmd en dat gaat ten koste van de bruikbaarheid van de aquifer. Hiervoor moet op korte termijn een oplossing gevonden worden.

3.3.4 Totale warmtestromen

Als alle warmtestromen van het bedrijf Van Zanten Plants B.V. worden bekeken dan blijkt de bijdrage van de warmtepomp in de totale warmte dekking zeer gering. Dit komt door de geringe capaciteit van de warmtepompen in vergelijking met de grootte van het bedrijf. De warmtepompen zijn gedimensioneerd op het leveren van grondkoeling voor een aantal afdelingen van het bedrijf, echter het bedrijf is veel groter en heeft nog een groot aantal verschillende activiteiten betreffende de opkweek van plantmateriaal.

In tabel 3.1 is een overzicht gemaakt van de warmtestromen per maand. In de winter van 2001/2002 ligt het aandeel van de geleverde warmte van de warmtepomp op de totaal geleverde warmte tussen de 3 en 4%. Na de installatie van de extra warmtewisselaar zien we in oktober en november 2001 een kleine verbetering van het aandeel, respectievelijk 8,1% en 5,4%, terwijl er in die maanden relatief weinig warmte is geleverd. Het lijkt er dus op dat het aantal draaiuren van de warmtepomp wordt vergroot door de extra warmtewisselaar.

Het is duidelijk dat de W/K-installatie zowel in de zomer als in de winter met een aandeel van 70 tot 80% een belangrijke rol speelt in de energievoorziening van het bedrijf. Omdat de W/K-installatie is uitgerust met een rookgasreiniger, kan in de zomerperiode ook CO_2 worden gedoseerd. Aangenomen mag worden dat de warmtevoorziening dan minder belangrijk is dan de CO_2 -dosering. De ketelinstallaties worden nog voornamelijk gebruikt voor aanvullende warmte en het stomen van de grond.

Bovenstaande tabel geeft aan dat de warmteterugwinning uit aquifers door middel van warmtepompen in de winterperiode bij Van Zanten Plants B.V. een volstrekt ondergeschikte rol speelt. Dat heeft in de eerste plaats te maken met de geringe capaciteit van de warmtepompen in vergelijking met de warmtebehoefte van het hele bedrijf.

Ten tweede heeft bij de energieproductie W/K-installatie prioriteit. Vooral tijdens plateau uren (wanneer de geproduceerde elektriciteit het meeste oplevert en veelal ook sprake is van een gecombineerde vraag naar warmte en CO_2) is daar niet tegenop te boksen. W/K warmte, alsook het legen van de warmtebuffer zal voorgaan. De 'ruimte' die de warmtepompen krijgen, is dus vooral de vervanging van ketelwarmte. Die 'ruimte' is op dit bedrijf van Van Zanten Plants B.V. voorlopig wel aanwezig, aangezien de W/K niet de volle warmtecapaciteit levert. Er kan nog altijd warmte van de ketel worden vervangen door de warmtepomp. Doordat de warmtepompen hun warmte in de winterperiode alleen in het LT-net kwijt kunnen zal duidelijk zijn, dat het aandeel van de warmtepompen in de totale warmtevoorziening zeer bescheiden zal blijven.

Tabel 3.1 Overzicht van de warmtestromen op het hele bedrijf

	Geleverde warmte aan HT-net a) (GJ)	Aandeel W/K installatie (%)	Geleverde warmte van Warmtepomp aan LT-net (GJ)	Geleverde Koude van Warmtepomp aan koelnet (GJ)	Aandeel Warmtepomp (%)
December	5.360	62	193		3,6
Januari	4.450	65	144		3,2
Februari b)	3.440	74	100b)		2,9
Maart	2.440	80	90		3,7
April ^c	2.470	78	20	5	0,8
Mei	1.480	71		92	
Juni	1.210	63		181	
Juli	1.050	78		205	
Augustus	1.130	62		216	
September	1.370	54		168	
Oktober c)	2.460	86	200	12	8,1
November	2.760	74	150		5,4
Totaal	29.620		897	879	

a) HT-net = Hoge Temperatuur-net. In dit verwarmingsnet circuleert water met een hogere temperatuur (70-90°C) dan in het Lage Temperatuur-net (LT-net), waarin de watertemperatuur beperkt blijft tot circa 40°C; b) In februari ontbreken de gegevens van 2 weken (week 7 en 8) door een defect in een warmtemeter. De andere 2 weken van deze maand geven een geleverde warmte aan van 63 GJ. Gezien de weersomstandigheden in week 7 en 8 en de lijn van de geleverde warmte in de weken ervoor en erna, mag verwacht worden dat de geschatte geleverde warmte van de warmtepomp aan het LT-net in februari ongeveer 100 GJ is geweest; c) In deze maand heeft er een wisseling van zomer/winterstand of vice versa plaatsgevonden

3.3.5 Energieberekeningen

In deze paragraaf worden de gemeten en geregistreerde data, die in de vorige paragrafen in grafieken zijn weergegeven, geanalyseerd en bewerkt.

Door de koeling in de zomer van 2002 werd in totaal 878 GJ warmte door de warmtepomp aan de kasgrond onttrokken en in de bodem opgeslagen. Dit is gemeten door de warmtemeter aan de verdamperkant bij de warmtepomp. Daarnaast is de benodigde elektriciteit voor de warmtepompen omgezet in warmte. Ruim 96.000 kWh komt overeen met 347 GJ aan warmte uit elektriciteit. Bij elkaar opgeteld werd dus 1.225 GJ (= 'berekende waarde') aan warmte vanuit de warmtepompen in de aquifer opgeslagen (zie tabel 3.2). Deze waarde moet gelijk zijn aan de warmtemeting aan de condensorkant van de warmtepomp. Uit de condensormeting van de warmtepomp blijkt dat er in totaal 1.295 GJ vanuit de warmtepompen in de aquifer is gepompt. Dat is dus een gering verschil van 70 GJ (= 5,4%) met de berekende waarde.

Uit de bronmetingen blijkt dat de totale warmteopslag tijdens het koelseizoen in de zomer 1888 GJ heeft bedragen. Naast de warmte van de warmtepompen werd er ook 265 GJ warmte van de intercooler in de aquifer opgeslagen. Vanuit de metingen resteert dus een onbekende hoeveelheid warmte van 328 GJ die buiten de warmtepompen en de intercooler om in de aquifer is opgeslagen (zie tabel 3.3.). Dat is 17,4% van de totale warmteopslag. Wordt daar ook het 'berekende verschil' aan de warmtepompen aan toege-

voegd dan blijkt ruim 21% van de opgeslagen warmte een onbekende herkomst heeft. Zoals al eerder beschreven, is de herkomst van deze warmte slipwarmte uit het intercooler circuit op het moment dat de W/K-installatie uit staat.

Tabel 3.2 *Energieberekening en energiemeting van de warmteopslag tijdens de koelperiode in de zomer, en het procentuele verschil*

	GJ	%
Gemeten koeling WP	878	
Berekende warmte uit elektriciteit (96.429 kWh)	347	
Berekende warmteproductie WP	1.225	
Gemeten warmteproductie WP	1.295	
onbekende warmteherkomst	70	5,4

Tabel 3.3 *Overzicht van de onbekende warmte herkomst (=slipwarmte)*

	GJ	%
Gemeten totale warmteopslag bron	1.888	
Bestaande uit:		
- Gemeten warmte uit intercooler	265	
- Gemeten warmteproductie WP	1.295	
- onbekende warmteherkomst vanuit metingen	328	17
- onbekende warmteherkomst vanuit berekeningen	398	21

In de winter wordt het warme water uit de warme bron opgepompt met een volume van 33,5 m³ per uur en via de warmtepomp aan de betonvloerverwarming afgegeven. Het warme water uit de bodem werd afgekoeld van 16°C naar 14,7-15°C. Deze retourtemperatuur is te hoog, waardoor de koude bron een steeds hogere temperatuur gaat aannemen en uiteindelijk in de zomer geen koelwater meer oplevert. Naast de warmte die in de winter wordt teruggewonnen voegt de warmtepomp ook elektrische energie toe en beide energievormen resulteren in nuttige warmte die vrijkomt voor het verwarmen via het lage temperatuurnet (LT-net).

Van de totaal 1888 GJ die in de zomermaanden in de warme aquiferbron is opgeslagen, werd in de wintermaanden in 2002 slechts een kleine 900 GJ teruggewonnen (zie tabel 3.1). De warmtepompen draaiden vrijwel uitsluitend in de nachtperiode en weekend gedurende goedkope stroomtarieven. Wanneer ze in de winter beiden onder vollast draaien dan verbruiken ze samen per uur gemiddeld 62 kWh elektriciteit en realiseren daarbij circa 450 MJ koeling en 870 MJ warmteproductie. De COPw die daarbij gerealiseerd wordt, is dan 3,9.

In de zomerperiode werd per uur bij 50 kWh elektriciteitsverbruik (deellast van 80%) ongeveer 550 MJ koeling gerealiseerd en de warmteproductie bedroeg dan ongeveer 740 MJ per uur. De COP_k is dan 3,1. Deze koeling- en warmtewaarden komen heel nauwkeurig overeen met de technische gegevens uit tabel 2.2. De redelijk op leeftijd zijnde machines lijken nog goed te functioneren.

Als de totale 1.888 GJ, die in de zomermaanden is opgeslagen, in de winter teruggevoerd moet worden door de warmtepompen met een gemiddelde koelcapaciteit van 450 MJ/uur, dan zijn daar circa 4.200 draaiuren voor nodig (1.888 GJ/450 MJ). De warmteproductie die daarbij vrijkomt is circa 3.650 GJ (4.200 draaiuren x 870 MJ). Het benodigde stroomverbruik is 260.000 kWh (4.200 draaiuren x 62 kWh). Dit is tabel 3.3 weergegeven als de virtuele situatie. 4.200 draaiuren betekenen circa 25 weken continu vollast draaien. De lengte van de meetperiode van dit onderzoek was de winterperiode 28 weken, dus in theorie zou dit moeten kunnen. In de praktijk zal dat niet werken omdat de warmtepompen veelal in deellast draaien.

Tabel 3.3 Overzicht van energiestromen van de warmtepomp (zonder bronpomp)

2002	Zomer			Winter		
	stroomverbruik (kWh)	draaiuren	koudeproductie (GJ)	stroomverbruik (kWh)	draaiuren	warmteproductie (GJ)
Reëel	96.000	2.500	878	65.000	1.100	900
Virtueel	96.000	2.500	878	260.000	4.200	3.650

3.4 Economische analyse

In deze paragraaf wordt berekend of de warmtepomp met aquifer economisch een interessante optie voor Van Zanten Plants B.V. op basis van de reële situatie en op basis van de virtuele situatie. De vergelijking vindt plaats tegenover de voormalige situatie: dus grondkoeling met koeltoren zonder warmterugwinning.

Het energiebedrijf heeft de gehele koelinginstallatie voor een symbolisch bedrag van 1 gulden (0,45 euro) overgenomen. De kapitaalslasten, onderhoud- en beheerskosten worden door middel van een vastrecht aan Van Zanten Plants B.V. doorberekend. De hoogte van dit vastrecht is onbekend. Van Zanten Plants B.V. koopt de elektriciteit in voor de warmtepomp en betaalt geen GJ-vergoeding voor warmte of koude.

In dit geval betaalt Van Zanten Plants B.V. alleen de elektriciteitskosten van de warmtepompen en bespaart een bedrag op de afname van warmte. Het is onbekend wat de warmteprijs is die Van Zanten Plants B.V. betaalt. De warmte wordt omgerekend naar aardgas equivalenten. De uitgangspunten van de energieprijzen staan in tabel 3.4.

Tabel 3.4 *Uitgangspunten bij economische berekeningen*

Energieprijzen		
Gas		€ 0,176 /m ³
	Commodity	€ 0,119 /m ³ (bij een P-waarde van 165)
	Diensten	€ 0,057 /m ³ (bij contractcapaciteit van 500 m ³ /uur en een volume van 1,2 miljoen m ³ /jaar)
Elektriciteit daluur		€ 0,048 /kWh
	Commodity	€ 0,023 /kWh
	Diensten	€ 0,025 /kWh (bij 4000 draaiuren)
Elektriciteit plateau-uur		€ 0,075 /kWh
	Commodity	€ 0,05 /kWh
	Diensten	€ 0,025 /kWh (bij 4000 draaiuren)

Het is niet bekend is wat het energieverbruik van de koeltoren in de zomer zou zijn geweest. Het verbruik wordt gelijk gesteld aan de extra energiekosten van de bronpompen in de zomer (25.000 kWh). Omdat ze elkaar compenseren, behoeven ze in de berekeningen niet meegenomen te worden.

In de reële situatie van 2002 heeft de warmtepomp circa 65.000 kWh gedraaid in de winter in alleen daluren. Hierbij komen de elektriciteitskosten komen overeen met circa € 3.100. Daartegenover staat een besparing van 900 GJ. Dit komt overeen met circa 28.500 m³ aardgasequivalenten. De financiële besparing hiervan is ruim € 5.000. Omdat de warmteprijs met een korting (bijvoorbeeld 10%) zal zijn geleverd aan Van Zanten Plants B.V. is de financiële besparing iets lager. Netto zal er een kleine € 1.900 overblijven (zonder verrekening van het vastrecht).

In de virtuele situatie in de winter van 2002 heeft de warmtepomp 260.000 kWh gedraaid en de bronpomp 42.000 kWh. Totaal ruim 300.000 kWh, waarvan 50% in daluren en 50% in plateau-uren. De elektriciteitskosten komt overeen met circa € 18.500. Daar tegenover staat een besparing van 3.650 GJ. Dit komt overeen met bijna 115.000 m³ aardgas equivalenten. De financiële besparing hiervan is circa € 20.200 euro. Omdat de warmteprijs met een korting (bijvoorbeeld 10%) zal zijn geleverd aan Van Zanten Plants B.V. is de financiële besparing iets lager. Netto blijft er dus circa € 1.700 over (zonder verrekening van het vastrecht). De winst wordt dus lager omdat de warmtepomp meer in plateau-uren moet draaien.

Van Zanten Plants B.V. heeft een additionele investering gedaan van (€ 7.775) om het warmtepompsysteem gunstiger te laten draaien. De jaarkosten hiervan worden geschat om ongeveer € 1.000. Dan nog blijven de nettoresultaten nog net positief.

Conclusie

Elke kWh die in de WP wordt gestopt levert circa 12 MJ aan warmte op. De warmteprijs van 1 GJ opgewekt door de warmtepomp kost dus gemiddeld € 5,12 bij een gelijke verdeling over dal- en plateau-uren (spreiding € 4,00 - 6,25 bij respectievelijk alleen daluren of alleen plateau-uren).

Elke kuub gas die in warmte wordt omgezet door een ketel levert 31,65 MJ op. De warmteprijs van 1 GJ opgewekt met een ketel kost dus ongeveer € 5,55. Vanuit een zuiver energetische benadering is terugwinning van warmte in daluren dus financieel aantrekkelijk en in plateau-uren kost het geld. Per saldo zou (vrijwel) alle opgeslagen warmte terug te winnen zijn, maar het financiële voordeel uit de daluren wordt tenietgedaan door het nadeel dat in de plateau-uren optreedt.

Bij Van Zanten Plants B.V. moet een (kosten)vergelijking eigenlijk niet gemaakt worden met de ketelinstallatie maar met de W/K-installatie, omdat daarmee vrijwel alle warmte wordt opgewekt. Bij een dergelijke vergelijking moet zeker ook rekening worden gehouden met de opgewekte elektriciteit. Wanneer daar voor het energiebedrijf NUON het zwaartepunt zou liggen dan moet geconcludeerd worden dat warmteopslag en -terugwinning eigenlijk niet mogelijk zijn. Deze conclusie is in lijn met eerder uitgevoerd IMAG onderzoek (Swinkels en De Zwart, 2001).

Uitgaande van de vergelijking met een verwarmingsketel is voor Van Zanten Plants B.V. het concept alleen economisch gunstig, indien de elektrische warmtepomp meer in daluren dan plateau-uren draait. Dit betekent dat volledige terugwinning van 1.888 GJ economisch niet haalbaar is. Er zal dus minder warmte in de bodem opgeslagen moeten worden. Dat is mogelijk door bijvoorbeeld de verbinding van de intercooler in de zomerstand te sluiten. Dat scheelt ongeveer 600 GJ aan warmteopslag.

3.5 Verbeteropties voor Van Zanten Plants B.V.

Enkele verbeteringen zijn nodig om de warmtepompen op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. beter te laten functioneren:

1. zorg ervoor dat alle opgeslagen warmte weer wordt teruggewonnen;
2. zorg ervoor dat de koude bron alleen water van 9°C of kouder aangeleverd krijgt in de winter;
3. vergroot het uitkoelend oppervlak, zodat de warmtepomp minder of nauwelijks in deellast hoeft te draaien.

1. Alle opgeslagen warmte weer terugwinnen

Uit voorgaande tekst is gebleken dat het praktisch en economisch nauwelijks haalbaar is om alle warmte die 's zomers in de bodem is geladen (1.888 GJ) er 's winters er weer uit te halen. Omdat dat op de lange termijn problemen oplevert (opwarming koude bron en problemen bij de vergunningverlening) is een verbeteroptie om minder warmte te laden door de verbinding met de intercooler af te sluiten.

2. Lever aan de koude bron alleen water van 9°C of kouder

Dat kan door frequentieregelde bronpompen: hiermee wordt het debiet in en uit de bron afhankelijk van het vermogen van de warmtepomp. Een andere pragmatische oplossing is het knijpen van de toevoer van water uit de warme bron in de winter.

Een consequentie van een verdere terugkoeling van het bronwater 15 naar 9°C is een teruglopend rendement van de warmtepomp. Deze ongunstigere werking houdt verband

met het grotere temperatuurverschil die de warmtepompen in de winter moeten overbruggen.

3. *Vergroot het uitkoelend oppervlak*

Bij de terugwinning van 1.888 GJ met behulp van warmtepompen die continu onder vollast draaien komt totaal 3.560 GJ warmte vrij. Dit is veel meer warmte dan op het gekoelde oppervlakte kas via het lage temperatuurnet kan worden afgezet. Op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. hoeft dat geen probleem op te leveren, want de gekoelde kasoppervlakte bedraagt slechts een beperkt deel van het totale bedrijf. Bij meer warmteterugwinning kan het LT-net eenvoudig worden uitgebreid door meer kassen aan te sluiten. In 2002 is ongeveer 7.680 m² verwarmd met warmte uit de warmtepomp. Er is nog extra capaciteit van een vergelijkbaar oppervlak.

4. Warmteopslag en -terugwinning bij bedrijven met grondkoeling

4.1 Introductie

Dat een warmtepomp niet op elk glastuinbouwbedrijf succesvol is, heeft het verleden voldoende duidelijk gemaakt. Het is nu de vraag bij welke bedrijfstypen een warmtepomp met aquifer wel interessant is. Als eerste komen de bedrijven die al koelen in aanmerking: ten eerste kunnen zij de koude goed benutten en ten tweede hebben ze al geïnvesteerd in een koelmachine die om te bouwen is naar een warmtepomp. Daarom worden in dit hoofdstuk de bevindingen bij het bedrijf Van Zanten Plants B.V. doorvertaald naar een glastuinbouwproductiebedrijf met grondkoeling. Zoveel mogelijk worden de bedrijfskenmerken van Van Zanten Plants B.V. aanhouden, omdat daarvan de meeste investeringskosten bekend zijn.

Het extrapoleren van de in hoofdstuk 3 gepresenteerde 'virtuele situatie' is niet zonder gevaren, omdat waarschijnlijk onvoldoende rekening wordt gehouden met het toenemen van het aantal onzekerheden. Wanneer bijvoorbeeld warmteopslag en -terugwinning met elkaar in evenwicht wordt gebracht door bijvoorbeeld een maximum retourtemperatuur voor de koude bron te hanteren, dan heeft dat uiteraard consequenties voor het prestaties van de warmtepompen. Daarnaast hebben de gekozen uitgangspunten grote invloed op de uitkomsten van de berekeningen. Zo maakt het een groot verschil of een aquifer voor 1 of voor 5 hectare wordt doorgerekend.

De installaties die op het bedrijf Van Zanten Plant B.V. voor koeling, warmteopslag en -terugwinning in gebruik zijn zouden goed kunnen voldoen op een 'normaal gekoeld' fresiabedrijf zonder W/K-installatie met een oppervlakte van circa 1 ha. Het brondebiet van 33,5 m³/uur is daarvoor bepalend en is in vergelijking met andere systemen aan de lage kant. (De Zwart en Knies, 2002). In dit hoofdstuk worden de berekeningen dus in eerste instantie voor een bedrijfs grootte van 1 ha gemaakt.

Tabel 4.1 Kenmerken van onbelicht bedrijf met grondkoeling

Oppervlakte:	1 ha kas
Type:	8 m tralie Venlo
Teelt:	fresia
Verwarmingssysteem:	
Hoog temperatuur net	4 x 51 mm /m ²
Laag temperatuurnet	2 x 28 mm /m ²
Koelingssysteem	
Koelingsnet	30-32 W/m ² : grondkoeling met 4 x 25 mm polyethyleen slangen per 4 m kap
- Koelingscapaciteit	250 kW (dus circa 8.000 m ² te koelen)

Allereerst wordt een overzicht gegeven van de investeringen en jaarkosten. Vervolgens wordt een vergelijk gemaakt tussen de situatie van koeling met een koeltoren en koeling met behulp van een aquifer. Daarna wordt de invloed van de geliberaliseerde markt berekend, gevolgd door enkele gevoeligheidsberekeningen. Er wordt uitgegaan van een bedrijf zonder assimilatiebelasting.

4.2 Investeringskosten en uitgangspunten

Bij de investeringskosten hoeft de warmtepomp niet meegerekend te worden, omdat die al aanwezig is. Een investeringsbedrag is echter wel nodig omdat de afschrijvings- en onderhoudskosten verschillen voor de vergelijking: de warmtepomp met aquifer-optie maakt veel meer draaiuren, omdat die ook gedurende de winterperiode functioneert. Omdat er geen werkelijke investeringsbedrag bekend was van de warmtepompen bij Van Zanten Plants B.V., is in de berekeningen een schatting gemaakt van een werkelijke vergelijkbaar investeringsbedrag van € 150 per kW_{th} voor de warmtepomp: 45.000 euro.

Hetzelfde geldt voor de koeltoren die bij een bestaand bedrijf al aanwezig zijn en waarvoor wel rente, afschrijving en onderhoudskosten gerekend moeten worden. De investering van een koeltoren wordt geschat op 20.000 euro.

De extra investeringskosten van het installeren en operationeel maken van een aquifersysteem zijn afkomstig van de werkelijke investeringskosten bij Van Zanten Plants B.V. In totaal is die investering circa € 125.000 (zie tabel 4.2). In vergelijking met de kostenberekeningschema van het IMAG (De Zwart en Knies) is dit bedrag ruim 17.000 euro lager dan dat zij berekenen in hun formule.

Tabel 4.2 Overzicht extra investeringen voor een aquifersysteem

Investering	Uitgaven
1. Aanpassingen van koelmachines	€ 27.000
2. Aquifer (Bronnen met toebehoren):	€ 71.650
4. Regeltechniek & advies	€ 25.800
Totaal	€ 124.450

In de berekeningen zal van de volgende uitgangspunten worden gebruikgemaakt. De uitgangspunten zijn de waarden per jaar.

Tabel 4.3 *Uitgangspunten bij economische berekeningen*

Rente	6%
Afschrijvingen	15 jaar economische levensduur
Onderhoud van de installatie	2,5% van de investering
Energieprijzen ^a	
Gas	€ 0,184 /m ³
Commodity	€ 0,119 /m ³ (bij een P-waarde van 165)
Diensten	€ 0,065 /m ³ (bij contractcapaciteit van 130 m ³ /uur en een volume van 280.000 m ³ /jaar)
Elektriciteit daluur	€ 0,048 /kWh
Commodity	€ 0,023 /kWh
Diensten	€ 0,025 /kWh (bij 4000 draaiuren)
Elektriciteit plateau-uur	€ 0,075 /kWh
Commodity	€ 0,05 /kWh
Diensten	€ 0,025 /kWh (bij 4000 draaiuren)

a) Er is van uitgegaan dat dit bedrijf vrij is om een eigen energieleverancier te kiezen, maar in werkelijkheid is dat nog niet zo. De werkelijke energieprijzen was voor 2002 15,25 eurocent per kuub en voor 2^e kwartaal 2003 was die gemiddeld 18,825 eurocent per kuub. De planning is dat in 2004 dit bedrijf wel vrij komt.

Tot slot is een uitgangspunt dat er gedurende de zomer dezelfde koelingbehoefte is geweest als bij Van Zanten Plants B.V. in het jaar 2002. Dat komt overeen met een koudeproductie van de WP van ongeveer 900 GJ, 2.500 draaiuren met een stroomverbruik van 96.000 kWh. Er wordt dan ongeveer 1.300 GJ in de bodem geladen.

4.3 Koeling met aquifer in vergelijking met koeling met koeltoren

In de economische analyse van de werking van de warmtepompen gaat het om een vergelijking tussen koeling met warmteopslag en -terugwinning via aquifers en koeling met warmtevernietiging via luchtkoeling. In beide gevallen gebeurt de koeling met behulp van warmtepompen.

Stroomverbruik

In tabel 4.4 staat een overzicht van het stroomverbruik in de zomer en winter.

In de zomer wordt uitgegaan van een stroomverbruik aan koeling van ruim 96.000 kWh. De warmtepomp draait dan ongeveer 2.500 uur. Dit is voor beide situaties hetzelfde. Het stroomverbruik van de bronpomp van de aquifer voor die periode is ongeveer 2.500 uur maal 10 kW is 25.000 kWh. Voor de luchtkoeling is ook elektriciteit nodig. Dit komt overeen met 25.000 kWh (=schatting).

In de winterperiode is er alleen sprake van een stroomverbruik in de situatie met aquifer. Verwarmen staat nu voorop. Er moet dan circa 1.300 GJ aan warmte met behulp van de warmtepompen uit de warmte bron worden gehaald. Omdat deze warmte met een aanzienlijk hogere temperatuur aan het lage temperatuurnet moet worden afgegeven verbruiken de warmtepompen veel meer elektriciteit dan tijdens het koelen in de zomer.

De koelingscapaciteit in de winter is 450 MJ per uur. Dat betekent dat de warmtepompen bijna 2.900 uur (=1.300 GJ/ 450 MJ) op vollast moeten draaien om alle warmte weg te koelen. Met een stroomverbruik van 62 kWh is het berekende stroomverbruik in de winter ruim 178.000 kWh. Het energieverbruik van de bronpomp is in de winter 2.900 uur maal 10 kW is circa 29.000 kWh.

Tabel 4.4 *Vergelijking van stroomverbruik van warmteopslag in aquifer en als alternatief geforceerde luchtkoeling*

	Aquifer KWh	Luchtkoeling KWh
Koeling van de warmtepomp in zomer	96.000	96.000
Bronpomp zomer	25.000	0
Koeltoren zomer	0	25.000
<i>Totaal zomer</i>	<i>121.000</i>	<i>121.000</i>
Warmteterugwinning door de WP in winter	178.000	0
Bronpomp winter	29.000	0
<i>Totaal winter</i>	<i>207.000</i>	<i>0</i>

Kosten

In onderstaande tabel 4.5. zijn de elektriciteitsverbruiken uit tabel 4.4 van aquifer en lucht-koeling omgerekend tegen de geldende tarieven.

In de zomerperiode wordt de meeste koeling ongeveer 60% overdag gevraagd. Dan is een hoger elektriciteitstarief van toepassing. In de praktijk blijkt dan ongeveer 40% van het verbruik tegen het lagere daltarief te worden verbruikt. Deze verhouding geldt dus ook voor het elektriciteitsverbruik van de bronpomp in de zomer. In de berekeningen is ervan uitgegaan dat bij de extra inzet van warmtepompen bij luchtkoeling dezelfde verhouding tussen hoog en laagtarief van toepassing is.

Bij het terugwinnen van warmte uit de warme aquiferbron in de winter moeten de warmtepompen gedurende de gehele winterperiode onder vollast draaien. Dit betekent dat het elektriciteitstarief bepaald wordt door het aantal uren met een hoog tarief en met een daltarief (50-50%). Het betreft hier de ruim 178.000 kWh verbruik.

Bij de terugwinning van de 1.300 GJ wordt totaal 2.500 GJ (= 2.900 uur x 870 MJ/u warmteproductie) warmte geproduceerd. In de optie met luchtkoeling wordt deze warmte geleverd vanuit de reeds aanwezige ketelinstallatie (of de W/K-installatie). Bij het bepalen van de kosten wordt rekening te worden gehouden met de volledige kostprijs voor gas (commodity en diensten) van deze installatie(s).

De totale warmteproductie wordt omgerekend naar kubieke meters aardgas equivalent en berekend tegen de volledige kostprijs van aardgas. In tabel 4.5 is deze post van € 14.534 als kostenpost bij luchtkoeling opgevoerd ((2.500 GJ/ 31,65 MJ)*0,184). Vervolgens is ook gekeken naar de specifieke jaarkosten van de aquifer en van de lucht-koeler. Daarbij is ervan uitgegaan dat de jaarkosten van de warmtepomp met luchtkoeler

60% van die van de warmtepomp met aquifer bedragen, omdat de warmtepomp in het tweede geval ruim 2 maal zoveel draaiuren maakt (respectievelijk 2.500 en 5.400 uur).

Tabel 4.5 *Vergelijking van de jaarkosten (€) tussen aquifer en luchtkoeling bij volledige warmteterugwinning*

	Aquifer	Luchtkoeling
Elektriciteit zomer voor koeling (WP)	5.671	5.671
Elektriciteit bronpomp	1.470	0
Elektriciteit koeltoren	0	1.470
Elektriciteit winter voor verwarming (WP)	10.973	0
Gaskosten voor verwarming	0	14.534
Kapitaal- en onderhoudskosten aquifer	8.492	0
Kapitaal- en onderhoudskosten WP	9.588	0
Kapitaal- en onderhoudskosten koeltoren	0	2.408
Kapitaal- en onderhoudskosten koelmachine	0	7.038
Totaal	36.194	31.121

Bij deze uitgangspunten blijken de jaarkosten van warmteopslag en warmteterugwinning via aquifer ongeveer € 5.000 hoger te zijn dan bij luchtkoeling. De optie is dus economisch niet interessant. Er zijn een viertal elementen die dit plaatje behoorlijk kunnen beïnvloeden: bedrijfsgrootte, elektriciteitsprijs, gasprijs en de kapitaal- en onderhoudskosten van de aquifer, die vooral bepaald wordt door de hoogte van de investering van een aquifer.

4.4 Equivalentieprijs en terugverdientijd

De equivalentieprijs is de gasprijs waarbij de opbrengsten aan geproduceerde warmte gelijk zijn aan de kosten van de warmtepomp met aquifer (rente, afschrijvingen, onderhoud en brandstof). Het verschil in kosten tussen beide opties is € 19.605 (zie tabel 4.5: $(10.973+8.490+9.588)-(2.408+7.038)$). De besparing is 2.500 GJ, dat overeenkomt met circa 79.000 m³ a.e. Uitgaande van deze situatie kan een equivalentieprijs worden berekend van 24,8 eurocent per kubieke meter gas bij een afschrijffperiode van 15 jaar.

De terugverdientijd is het investeringsbedrag (eventueel verminderd met subsidies) gedeeld door het financiële resultaat per jaar. In tabel 4.2 kunnen we zien dat de aanschaf van bronnen en regeltechniek/advies ongeveer € 125.000 kosten. De besparing aan gaskosten is ruim € 14.500. Het extra elektriciteitsverbruik in de winter is € 10.973. Er blijft dus ongeveer € 3.500 over. De extra onderhoudskosten worden voor beide opties gelijk geschat. Dat betekent dat de terugverdientijd ongeveer 35 jaar is.

4.5 Invloed van de geliberaliseerde gasprijs

In de geliberaliseerde aardgasmarkt is het tariefsysteem voor gas veranderd. De prijs voor een kubieke meter aardgas uit 2 onderdelen:

- een commodity prijs (= werkelijke prijs voor een kubieke meter gas, welke wordt bepaald door de P-waarde);
- een dienstenprijs; deze wordt bepaald door de maximale contractcapaciteit (=maximale gasverbruik per uur), kosten voor landelijke en regionale transport en leidingnet, extra diensten van de distributeur.

Om de dienstenprijs laag te houden is het van belang om een zo gelijkmatig mogelijk gasverbruik over het jaar te realiseren (=hoge basislastcapaciteit) en piekverbruiken per uur zoveel mogelijk te vermijden (=lage contractcapaciteit). Hoe kleiner het verschil tussen contractcapaciteit en basiscapaciteit (=lage additionele capaciteit) hoe gunstiger dat voor de dienstenprijs uitpakt.

De warmtepomp met aquifer wordt vooral in de basislast ingezet, waarbij wordt uitgegaan dat de warmtepomp permanent kan draaien. Het effect ervan is tweeledig:

- lagere contractcapaciteit nodig, omdat de warmtepomp een deel van de pieklast opvangt;
- lager totaal volume aan gas nodig, door gasbesparingen.

Het eerste aspect werkt gunstig op de gasprijs in de geliberaliseerde markt. Het tweede aspect werkt ongunstig omdat het extra gas dat nodig is om te verwarmen naast de warmtepomp extra duur wordt in het nieuwe tariefsysteem.

Met behulp van het CDS rekenmodel (www.tuinbouw.nl) is nagegaan wat het effect van warmteterugwinning is op de gasprijzen.

Het aardgasverbruik wordt in de piekperiode met ongeveer 28 m³ per uur (=880 MJ/31,65 MJ per m³) teruggedrongen, omdat de WP dat kan leveren. Daarnaast wordt het totale gasverbruik 80.000 m³ (2.500 GJ/31,65 MJ) lager en gelijkmatiger over het jaar verdeeld.

Wanneer de CDS gasprijs wordt berekend met een contractcapaciteit van 100 m³ per uur (dus 30 m³ per uur lager) en een volume van 200.000 m³ (dus 80.000 m³ lager), dan is de CDS gasprijs 0,6 eurocent duurder geworden. Anders gezegd: met een geringer gasverbruik ook in de piekuren wordt de gasprijs dus hoger. Het gevolg hiervan is dat met warmteterugwinning de financiële besparing minder is, omdat de rest van het gas duurder is geworden. Het verschil van € 1.200 (=€ 0,1898-0,1838/ m³)x 200.000 m³) moet als een extra kostenpost bij warmteterugwinning worden opgevoerd voor een juiste vergelijking met luchtkoeling. Dit betekent dat warmteterugwinning in vergelijking met luchtkoeling nog iets slechter uitkomt (ruim 6.000 euro).

Uit de bovenstaande vergelijking komt naar voren warmteterugwinning met een aquifer vergeleken met warmtevernietiging met luchtkoeler financieel niet aantrekkelijk is.

4.6 Gevoeligheden

In deze paragraaf worden de uitkomsten onderworpen aan een aantal variaties in uitgangspunten, te weten:

- 35% subsidie investering van aquifer;
- 10% lagere onderhoudskosten;
- 20% hogere elektriciteitskosten;
- 20% hogere (commodity)aardgaskosten;
- 10% verbeterde prestaties van de warmtepomp, dat wil zeggen 10% lager elektriciteitsverbruik bij dezelfde output;
- groter areaal (3 ha in plaats van 1 ha).

Tabel 4.7 Gevoeligheidsanalyse

		Jaarkosten in euro's		
		Aquifer	luchtkoeling	verschil
0	Uitgangssituatie	36.194	31.121	-5.073
1	35% subsidie investering van aquifer	33.029	29.634	-3.394
2	10% lagere onderhoudskosten	35.703	30.876	-4.827
3	20% hogere elektriciteitskosten	39.816	32.570	-7.246
4	20% hogere (commodity) aardgaskosten	36.194	33.025	-3.169
5	10% verbeterde prestaties van de warmtepomp	34.529	30.575	-3.954
6	Groter areaal (3 ha in plaats van 1 ha)	74.258	75.795	+1.537

Subsidies

Het subsidiebeleid van de overheid betreffende de inzet van duurzame energie richt zich onder andere op de warmtepomp en aquifer. Verschillende ministeries hebben voor de inzet ervan een regeling of subsidie beschikbaar, zoals de EIA, groenlabelkas, MIA, groenbeleggen.

Een subsidie van 35% maakt de aquifer nog steeds niet interessant in vergelijking met warmtevernietiging, echter de verschillen worden geringer.

Onderhoudskosten

Onderhoudskosten kunnen een belangrijk struikelblok zijn bij warmtepompen. Dit is vanuit het verleden vastgesteld. In onze casus zijn er geen bijzondere onderhoudskosten geweest behalve de normale onderhoudswerkzaamheden. Deze zijn geschat op 2,5%. Een verlaging met 10% zet weinig zoden aan de dijk om het verschil te compenseren.

Hogere elektriciteitskosten

Hogere elektriciteitskosten werken duidelijk in het nadeel van de elektrisch aangedreven warmtepomp en maken de optie nog minder interessant in vergelijking met warmtevernietiging.

Hogere commodity gasprijs

Dit werkt weer ten gunste van de warmtepomp met aquifer, omdat de financiële besparing groter wordt. De gasprijs zal echter meer moeten stijgen om economisch voordeel te creëren.

Verbeterde prestatie van de warmtepomp

Uitgangspunt is dat dezelfde output te realiseren valt met 10% minder elektriciteitsvraag. Het blijkt dat warmtepompen, die een dergelijke rendementsverbetering realiseren, warmteopslag en -terugwinning bij de gekozen uitgangspunten de financiële resultaten iets minder ongunstig maken.

Vergroting van het bedrijfsoppervlak

Door uit te gaan van aquiferbronnen voor een bedrijf van 2 ha te nemen in plaats van 1 ha ontstaat een gunstigere situatie, echter er is nog steeds een nadeel voor warmteterugwinning via de aquifer. Een twee maal zo grote capaciteit van de bronnen betekent niet dat ook de kosten verdubbelen. In de gekozen uitgangssituatie zijn de investeringskosten voor de aquifer, warmtepomp en koeltoren met 50% gestegen. Alle andere investeringskosten, zoals aansluitkosten of graafwerk, zijn hetzelfde gebleven. Aan de andere kant zijn de elektriciteitskosten en gaswinsten verdubbeld. Indien naar 3 ha wordt uitgebreid dan blijkt de aquifer een financieel voordeel op te leveren. Het break-even point ligt dus ergens tussen de 2 en 3 ha.

4.7 Milieubijdrage

Met warmteterugwinning uit de aquifer wordt per ha ongeveer 79.000 m³ aardgasequivalenten in de winter bespaard (= circa 8 m³/m²). Dat komt overeen met een beperking van de CO₂-uitstoot van ruim 140 ton per ha. Om deze besparing op het gasverbruik te realiseren moet echter ongeveer 207.000 kWh meer elektriciteit worden verbruikt (tabel 4.4) door de warmtepompen en de bronpompen. Dit moet eigenlijk van de besparing worden afgetrokken. Als wordt uitgegaan dat de elektriciteit uit het net wordt gehaald met een rendement van 40% van de elektriciteitscentrales, dan is er is er ongeveer 59.000 m³ a.e. nodig om die 207.000 kWh op te wekken. De nettobesparing voor het milieu is dan circa 20.000 m³ a.e. per ha (= 2 m³ a.e./m²). Dit komt overeen met reductie van circa 36 ton CO₂-emissie per jaar. Uitgaande van een standaard fresiabedrijf met een energieverbruik van 30 m³/m² (met een CO₂-emissie van 534 ton/ha), levert terugwinning van warmte met een aquifer een reductie in CO₂-emissie van bijna 7% op per jaar.

Wanneer de elektriciteit groen wordt ingekocht of duurzaam wordt opgewekt, dan wordt een maximale bijdrage geleverd aan het terugdringen van de CO₂-emissie. De besparing in CO₂-emissie kan dan bij een standaard fresiabedrijf oplopen naar maximaal 26% per jaar. In dat geval zal de warmteterugwinning positief werken op het behalen van energiedoelstelling, te weten de energie-efficiënte doelstelling en de duurzame energiedoelstelling.

Wanneer de stroom wordt geproduceerd met de eigen W/K-installatie, die aanwezig is voor stroomopwekking voor assimilatiebelichting zal de besparing ergens tussen de 7-

26% in liggen, afhankelijk van het nuttig gebruik van de warmte afkomstig van de W/K en de WP. De ervaringen bij Van Zanten Plants B.V. en andere onderzoeken wijzen echter uit dat de combinatie van W/K-installaties en warmteterugwinning moeilijk met elkaar is te verenigen.

Conclusies

In een economische vergelijking komt naar voren dat op een glastuinbouwbedrijf met grondkoeling groter dan 2 ha, warmteterugwinning met een aquifer vergeleken met warmtevernietiging met luchtkoeler financieel aantrekkelijk is. De investeringskosten voor het in gebruik nemen van een aquifer drukken vooral bij kleinere bedrijven zwaar op de jaarkosten.

Betere prestaties van de warmtepompen, subsidies en/of fiscale maatregelen, lagere elektriciteitsprijzen en/of hogere gasprijzen kunnen de rentabiliteit van de investering in de aquifer verbeteren of ook voor kleinere bedrijven aantrekkelijk maken.

Warmteterugwinning met elektrisch aangedreven warmtepompen uit een aquifer levert jaarlijks een milieuwinst op in een reductie van de CO₂-emissie met circa 36 ton per ha wanneer de elektriciteit van het openbare net wordt betrokken. Dat is een besparing van circa 7%. Indien de benodigde elektriciteit groen wordt ingekocht of duurzaam wordt opgewekt, dan wordt een maximale bijdrage geleverd aan het terugdringen van de CO₂-emissie. De besparing in CO₂-emissie kan dan bij een standaard fresa-bedrijf oplopen naar maximaal 26% per jaar.

5. Conclusies

Het inzetten van warmtepompen voor grond- en gewaskoeling wordt in de glastuinbouw al in meerdere teelten (fresia, alstroemeria) toegepast. De warmte die tijdens de koeling wordt onttrokken wordt meestal vernietigd met luchtkoelers, bronwater of oppervlaktewater.

Opslag van de warmte die bij koeling aan de bodem wordt onttrokken in aquifers en terugwinning op een later tijdstip met warmtepompen is echter een nieuw concept. De warmtepompen worden in de winter ingezet om de opgeslagen warmte terug te winnen en aan het (lage temperatuur) verwarmingsnet af te geven. Bij de warmteopslag en warmte-terugwinning moet worden uitgegaan van een duurzaam proces. Alle warmte die wordt opgeslagen moet er ook weer worden uitgehaald.

Casus Van Zanten Plants B.V.

Uit de meetresultaten komt naar voren dat de aquifer voldoende capaciteit heeft om in de zomermaanden de bodem te koelen: de koeltoren die als noodoplossing achter de hand werd gehouden is niet gebruikt. Er hebben zich verder geen storingen voorgedaan. De metingen wijzen uit dat naast de koelingwarmte en de aandrijfenergie van de warmtepompen ook bewust en onbewust een flink deel van de W/K warmte in de aquifer is opgeslagen.

Voor de benutting van de warmte gedurende de winterperiode zijn veel regeltechnisch problemen geweest. De metingen die op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. zijn verricht wijzen uit dat de balans warmteopslag - warmteterugwinning niet goed is geweest. Vooral door de regeltechnische problemen, maar ook doordat de prioriteit van de warmtevoorziening in de winterperiode bij de W/K-installaties ligt wordt slechts een beperkt deel van de opgeslagen warmte in de winterperiode teruggewonnen. Dit heeft tot gevolg dat de warme bron steeds omvangrijker wordt en op langere termijn het water van de koude bron zal verdringen. Hierdoor zal de koude bron ook opwarmen.

Bij Van Zanten Plants B.V. wordt het water van de warme bron in de winterperiode met een zelfde debiet (van ongeveer 30 m³ per uur) als in de zomer teruggepompt naar de koude bron. Doordat te weinig warmte aan deze flow wordt onttrokken gaat de koude bron steeds meer opwarmen. Om dit te voorkomen moeten de volgende verbeteringen plaats te vinden:

- stop alleen die warmte in de bodem die je er in de winter weer kan uithalen;
- zorg ervoor dat de koude bron alleen water van 9°C of kouder aangeleverd krijgt in de winter, bijvoorbeeld door frequentiegeregelde pompen;
- zorg voor een voldoende groot uitkoelend oppervlak, zodat de warmtepomp minder of nauwelijks in deellast hoeft te draaien.

Berekeningen wijzen uit dat volledige warmteterugwinning van de bodem opgeslagen warmte realiseerbaar zal zijn in verband met wisselende warmtevraag vanuit de kas.

Economisch gezien lijkt de optie van warmteterugwinning net haalbaar voor Van Zanten Plants B.V. Het is alleen economisch gunstig om warmte, te onttrekken in de win-

ter, indien de elektrische warmtepomp meer in daluren dan plateau-uren draait. Dit betekent dat volledige terugwinning van de warmte die nu in de bodem geladen is, economisch niet haalbaar is. Er zal dus minder warmte in de bodem opgeslagen moeten worden. Dat is mogelijk door bijvoorbeeld de verbinding van de intercooler net in de zomerstand af te sluiten van het warmteopslagcircuit.

Met warmteterugwinning uit de aquifer wordt in de virtuele situatie¹ 115.000 m³ aardgasequivalenten in de winter bespaard. Daar staat tegenover dat er 300.000 kWh aan elektriciteit extra verbruikt wordt in de winter door de warmtepompen en bronpomp. Dit moet van de besparing worden afgetrokken.

Casus warmte terugwinning bij een gekoeld fresiabedrijf van 1 ha met een elektrische koelmachine

Een economische doorrekening toont aan dat de investering in terugwinning m.b.v. een aquifer op dit moment niet of nauwelijks rendabel is. Het is het eerst interessant bij bedrijven boven de 2 ha, maar zelfs dan zijn subsidies en fiscale stimuleringen noodzakelijk. Het rendement is gevoelig voor wisselingen in de energieprijzen, waarbij een hogere gasprijs en een lagere elektriciteitsprijs gunstig uitpakken. De gasequivalentieprijs is ongeveer 24,8 eurocent per kubieke meter voor een bedrijf van 1 ha.

Een energetische doorrekening toont aan dat er een gasbesparing van maximaal 26% mogelijk is, indien de benodigde stroom duurzaam wordt ingekocht of opgewekt. Indien de stroom uit het openbare net komt, wordt de besparing in aardgasequivalenten circa 7%, veroorzaakt door relatief lage rendementen van de energiecentrales.

Om de laagwarmte warmte, verkregen van de warmtepomp met warm water uit de bodem, te kunnen uitkoelen, dient er rekening te worden gehouden dat er voldoende verwarmend oppervlak aanwezig is. Het belangrijkste criterium hoeveel warmte in de bodem geladen wordt, is afhankelijk van hoeveel warmte er in de winter uitgekoeld kan worden. Op deze manier blijft er een balans in de bodem.

Algemene conclusies

- perspectief

In de zomermaanden worden de warmtepompen ingezet voor koeling en in de winter voor verwarming. In de berekeningen, waarbij is uitgegaan van volledige terugwinning van de opgeslagen warmte, blijkt dat dit uit een oogmerk van energiekosten op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. een interessante optie kan zijn.

Bedrijven moeten echter aan een aantal additionele voorwaarden voldoen, dat het in de praktijk niet snel toegepast zal worden. Een belangrijke voorwaarde is dat een laagwaardig verwarmingsnet aanwezig is dat niet alleen de teruggewonnen (koel)warmte, maar ook de extra toegevoegde warmte van de warmtepompen kan afzetten. In de praktijk betekent dit dat een warmtepomp, die gedimensioneerd is op het koelen in de zomer in de winterperiode veel langer moet draaien (vaak continu onder vollast) en dat voor het verwarmingsnet een veel grotere oppervlakte beschik-

¹ Virtuele situatie is de situatie bij Van Zanten Plants B.V. waarbij de berekeningen zijn gemaakt met als uitgangspunt volledige terugwinning van in de bodem opgeslagen warmte.

baar moet zijn, dan waarop de koeling in de zomer plaatsvond. Dat is in de meeste praktijkbedrijven niet het geval.

- *technische inpasbaarheid*

De technische inpasbaarheid kan een probleem zijn voor bodems die geen aquifer kunnen bevatten, bijvoorbeeld bodems met een sterke grondwaterstroming. Dit zal door bodemkundig onderzoek bepaald moeten worden.

De technische inpasbaarheid wordt nog verder bemoeilijkt, wanneer de elektrische warmtepomp zijn elektriciteit betreft van een W/K-installatie die zijn warmte ook aan het hoog- maar vooral laagwaardige warmtenet moeten afstaan. Op het moment dat de warmtepomp en de condensor van de W/K-installatie hun warmte onvoldoende kwijt kunnen aan het laagwaardige verwarmingsnet zal de prioriteit bij één van beide worden gelegd. Wanneer met de W/K-installatie elektriciteit tegen een gunstig tarief aan het openbare net kan worden geleverd zal men er waarschijnlijk voor kiezen om de terugwinning met behulp van warmtepompen stop te zetten.

Indien de elektriciteit van het openbare net wordt betrokken hoeft bij de warmteterugwinning alleen rekening te worden gehouden met warmte van de warmtepomp. Of warmteterugwinning in deze situatie is in te passen zal verder vooral afhangen van de mogelijkheden die het lage temperatuurnet biedt om voldoende warmte met een lage temperatuur te kunnen toepassen.

- *kansrijkheid*

Het concept van warmteterugwinning met een aquifer lijkt alleen perspectiefvol voor bedrijven die groter zijn dan 2 ha en die al een koelinginstallatie hebben voor grondkoeling. Er zullen een aantal technische verbeteringen moeten plaatsvinden om de kansrijkheid te vergroten, zoals verbetering van het rendement van de warmtepomp of het vervangen van de warmtepomp door hoog-efficiënte warmtewisselaars. Tevens zal het systeem de nodige flexibiliteit moeten hebben als het gaat om verwarming via het secundaire net.

- *milieubijdrage*

De besparing op CO₂-emissie door warmteterugwinning kan voor een standaardbedrijf van 1 ha met grondkoeling ongeveer 142 ton CO₂. Voor de gasbesparing van 142 ton CO₂ moet circa 207.000 kWh elektriciteit worden verbruikt. Wanneer deze elektriciteit afkomstig is van grote energiecentrales - en dat is voor het overgrote deel van het Nederlandse stroomgebruik het geval - dan bedraagt de CO₂-emissie van de energiecentrales ongeveer 106 ton. De werkelijke CO₂-reductie blijft dus beperkt tot 36 ton per ha, wanneer de elektriciteit van het openbare net wordt betrokken. Dit komt overeen met een besparing van circa 7% per ha per jaar.

Alleen als de elektriciteit groen wordt ingekocht dan wordt een maximale bijdrage geleverd aan het terugdringen van de CO₂-emissie. In dat geval zal de warmteterugwinning positief werken op het behalen van energiedoelstelling, te weten de energie-efficiënte doelstelling en de duurzame energiedoelstelling. Door de warmteterugwinning kan er tot 26% aardgasbesparing per ha per jaar plaatsvinden, zodat op bedrijfsniveau een goede prestatie wordt geleverd aan het voldoen van de sectordoelstellingen.

- *economisch robuustheid*

De economische berekeningen lijken redelijk robuust, vooral gezien het feit dat er eigenlijk alleen meerkosten zijn door de bronsystemen (aquifer) en een groter aantal draaiuren van de warmtepomp per jaar. De bedrijfs grootte heeft een belangrijk effect op de economische haalbaarheid van het concept. Berekeningen laten zien dat de oppervlakte minimaal 2 ha moet zijn, om in aanmerking te komen. Ook van grote invloed zijn de energieprijzen. Een hogere gasprijs maakt het aquiferconcept sneller rendabel. Op dit moment ligt de equivalentieprijs voor dit systeem voor het aardgas op 24,8 eurocent. Dat is ruim 6 eurocent hoger dan het huidige niveau van de vaste klant (18 eurocent per m³ voor het 1^e kwartaal 2003), maar veel hoger dan voor de vrije klanten (15-18 eurocent per m³). Een ander kwetsbaar punt is de elektriciteitsprijs. Veel bedrijven met grondkoeling hebben een koelmachine op stroom uit het openbare net. Een verhoging van de elektriciteitskosten maakt het concept dus duurder en minder interessant. Op korte termijn lijkt er geen sprake te zijn van een stijging, maar op de langere termijn zijn de verwachtingen van wel.

Onderhoud heeft een beperkte invloed op de economische robuustheid vanwege het feit dat er geen grote onderhoudsinvesteringen nodig zijn bij de bronnen. Alleen de warmtepomp maakt meer draaiuren, waardoor er hier wel meer onderhoudskosten mee gemoeid zijn.

- *flankerend beleid*

Subsidies en fiscale maatregelen blijken noodzakelijk om deze elektrische warmtepomp met aquifer interessant te maken. Verder zullen nieuwe innovatieve warmteoverdrachtsconcepten gestimuleerd moeten worden, gezien de ontwikkelingen naar gesloten kassystemen of zelfs concepten als de kas als energiebron.

De vernieuwde tariefstructuur van de geliberaliseerde aardgasmarkt werkt nadelig. Het voordeel van de beperkte verlaging van de contractcapaciteit (=maximale gasverbruik per uur) wordt tegengewerkt door een verlaging van het totale volume aardgasverbruik door het gebruik van de warmtepomp en aquifer. Dit resulteert in een hogere aardgasprijs voor dit benodigde aardgas. Dit nadelige effect van enkele duizenden euro's per jaar moet als extra kostenpost worden meegerekend bij de exploitatie van de aquifer, wat de economische haalbaarheid nog weer moeilijker maakt.

6. Aanbevelingen

Energiebalans in de aquifer:

In de winter is minder warmte onttrokken dan in de zomer werd toegevoegd. De bronpompen pompten met een zelfde debiet water van de ene naar de andere bron. Het resultaat hiervan was dat de koude bron steeds meer werd opgewarmd.

Aanbeveling 1: Zorg ervoor dat je koud water (lager dan 10 graden) in de koude aquifer bron stopt. Het debiet van de waterstroom van de koude naar de warme aquiferbron en vice versa moet gereguleerd kunnen worden om te vermijden dat de warme bron met wisselende temperaturen wordt opgewarmd en vooral om te voorkomen dat de koude bron boven de oorspronkelijke temperatuur wordt opgewarmd.

Warmteterugwinning:

Om alle opgeslagen warmte te kunnen terugwinnen in de winter moeten warmtepompen veel meer draaiuren maken en ook meer onder vollast draaien dan in de zomer. Om de teruggewonnen warmte voor het verwarmen van de kassen bruikbaar te maken moet een hogere watertemperatuur worden gerealiseerd, hetgeen ten kosten van het rendement van de warmtepomp gaat.

Aanbeveling 2: Zorg ervoor dat er niet meer warmte in de bron wordt opgeslagen, dan dat er 's winters uitgehaald kan worden. Dan gaat het dus om de capaciteit van het LT-net. Let op dat er voldoende verwarmend oppervlak (VO) is van het LT-net en of er concurrentie is met andere verwarmingsbronnen (W/K, condensors, buffer, et cetera). Omdat de warmtepompen bij warmteterugwinning in de winterperiode een hogere verwarmingstemperatuur moeten realiseren wordt relatief meer warmte vanuit de elektriciteit toegevoegd in vergelijking met de warmteopslag die bij lagere temperaturen plaatsvindt. Bij een groter verwarmend oppervlak kan een lagere verwarmingstemperatuur en daarmee een beter rendement van de warmtepompen worden gerealiseerd.

Warmtestromen:

Naast de warmte die de warmtepompen in de zomer aan de kasgrond onttrekken wordt ook de warmte van de warmtepompen zelf in de aquifer opgeslagen. Daarnaast wordt ook de warmte van de intercooler (=luchtcoeler om het rendement van de W/K-installatie te verbeteren) in de aquifer opgeslagen. Op het bedrijf Van Zanten Plants B.V. bleek - doordat in dit project metingen zijn uitgevoerd - bovendien dat op momenten dat de W/K-installatie buiten gebruik was, ongemerkt warmte van het W/K-circuit in de aquifer werd opgeslagen.

Aanbeveling 3: Meet de verschillende warmtestromen die via warmtewisselaars aan een aquifer worden afgegeven, aan de bronnen om te voorkomen dat meer warmte wordt opgeslagen dan er in de winterperiode kan worden teruggewonnen.

Liberalisering aardgasmarkt:

Doordat bespaard wordt op het gasverbruik stijgt de marginale gasprijs per m³ in het CDS-systeem. Het gevolg hiervan is dat het economisch voordeel van warmteterugwinning negatief wordt beïnvloed.

Aanbeveling 4: Ongunstige werking van CDS zou gecompenseerd moeten worden door andere (beleids)maatregelen.

Energiebesparingopties werken elkaar tegen:

Het inzetten van een warmtepomp voor warmteterugwinning indien er al een W/K-installatie aanwezig is, lijkt onverstandig, omdat ze elkaar beconcurreren in draaiuren. Je kan de besparing maar op 1 manier realiseren.

Aanbeveling 5: Kijk kritisch naar de combinatie van de energiebesparingsopties W/K en warmteterugwinning uit aquifer, omdat ze allebei (een deel van) hun warmte aan het lage temperatuurnet kwijt moeten en het daarbij de vraag is of ze elkaar daarbij in de weg zitten.

Koudeopslag in aquifers en grondkoeling zonder toepassing van warmtepompen:

Voor warmteopslag en warmteterugwinning en het bruikbaar maken van de warmte voor het verwarmen van kassen lijken warmtepompen onontbeerlijk. Voor toepassing in het LT-net moet de verwarmingstemperatuur immers op een temperatuur van circa 40 graden worden gebracht. Vooral op bedrijven met W/K-installaties lijkt koudeopslag perspectiefvol.

Aanbeveling 6: Ga na of aquifers ook in andere innovatieve concepten kunnen worden toegepast. Bijvoorbeeld door aquiferwater in de winter extra te koelen (met bijvoorbeeld koeltorens) en het koele bronwater in de zomer direct te gebruiken voor (grond)koeling.

Verbeterde technische prestaties:

Ondanks dat de warmtepompen redelijk op leeftijd waren, zijn de gerealiseerde rendementen niet slecht geweest. Echter voortgaande technologische vernieuwingen, zouden dergelijke concepten kunnen verbeteren en daarmee de economische haalbaarheid.

Aanbeveling 7: Verbeter de energiebesparingspercentages met warmtepompen van de laatste stand van de techniek, efficiëntere warmtewisselaars als ook innovatieve energieconcepten met inbouw van aquifers en eventueel warmtepompen. Het zorgvuldig doorrekenen en modelleren van het concept is daarbij noodzakelijk. De toepassing betreft dan wel voornamelijk nieuwbouw situaties.

Literatuur

Benninga, J., *Toepassing van de warmtepomp in de glastuinbouw*. Mededeling 366. LEI, Den Haag, 1987.

Elsas P. van, *Onderzoek naar valse flow in bovennet waterruimte bij Van Staaveren B.V.* Intern rapport Romesq B.V. 2001.

Haastert, M., van. *Ex-post evaluatie van een gasmotorwarmtepomp op een glastuinbouwbedrijf*. LEI, Den Haag, 2001.

Fonville, V.P., M.G. Telle, N.J.A. van der Velden, *Warmtepompen in de glastuinbouw*. Publicatie 4.125. LEI-DLO, Den Haag, 1990.

Swinkels G.L.A.M., H.F. de Zwart, *Bi-modale bedrijfsvoering van een gasmotor ten behoeve van warmtepomp en elektriciteitsopwekking*. Rapport P 2001-25. IMAG, Wageningen, 2001.

Telle, M.G., J.P.G. Huijs, N.J. van de Braak, P. Knies, *Status van de warmtepomp in de glastuinbouw*. Intern Verslag Nota P 95-38, IMAG-DLO, Wageningen, 1995.

Vakblad voor de Bloemisterij 37, *Totaal uitbesteed energieconcept*. (1998): 48-49.

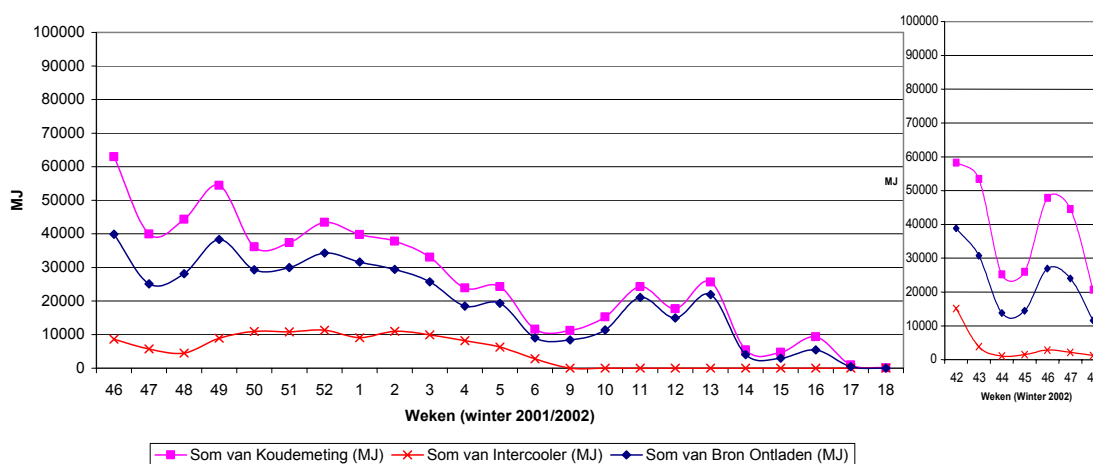
Vrieze, L., Koelen met een warmtepomp warm aanbevolen. In: *Vakblad voor de Bloemisterij* 22 (2001): 42-44.

Zwart, H.F., P. Knies, *Kostenberekeningsschema voor warmte- en koudeopslagsystemen ten behoeve van de inzet van warmtepompen in de Nederlandse glastuinbouw*. Rapport P2002-65. IMAG, Wageningen, 2002.

Bijlage 1 Overzicht van warmtemetingen per seizoen bij warmtepomp, intercooler en bron

In de linkergrafiek van figuur B1.1 is te zien dat er richting het voorjaar steeds minder warmte wordt onttrokken uit de bron. De winter van 2001/2001 heeft zich ook niet gekenmerkt door flinke koude perioden: er zijn geen vorstdagen gemeld.

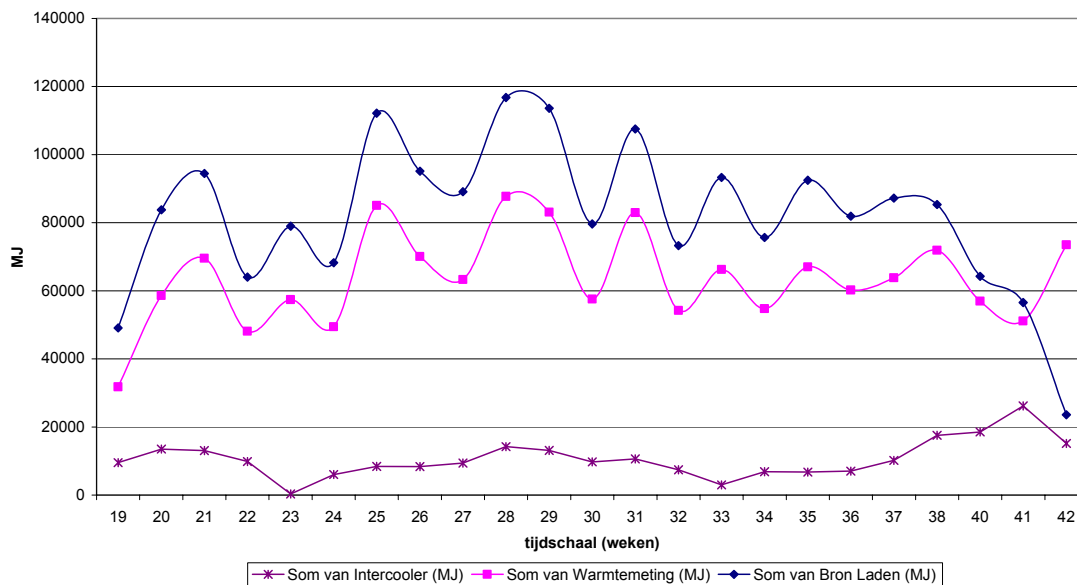
In week 46 tot week 6 van de winter 2001/2002 is het interessant te zien dat de som van de koudemeting bij de warmtepomp groter is dan de som van het ontladen van de bron, dat wil zeggen dat de hoeveelheid energie onttrokken aan de bron is kleiner dan geleverd door de WP. In theorie kan dat niet. Pas vanaf week 6 lopen ze min of meer gelijk. De reden is dat op dat moment de verbinding met de intercooler is afgesloten, die warm water loost op de verbinding met de koude bron. Dat is slecht voor het functioneren van de aquifer, omdat juist een zo laag mogelijke retourtemperatuur in de bron garant staat voor een goede koeling in de zomer.



Figuur B1.1 Overzicht van het onttrekken van energie in de eerste winterperiode (linkergrafiek Winter 2001/2002) en in de tweede winterperiode (rechtergrafiek Winter 2002)

Uit figuur B1.2 blijkt dat in de zomer ook een verschil is tussen de hoeveelheid energie die in de bodem geladen (Som bron laden) wordt en die door de warmtepomp wordt geleverd (Som van de warmtemeting). Het verschil kan (deels) worden verklaard door de extra hoeveelheid warmte die door de intercooler (Som van de intercooler) is geleverd aan de bron. Echter het verschil is groter. Het is de vraag waar de extra hoeveelheid energie vandaan komt. Uit nader onderzoek blijkt dat, zodra de intercooler geen warmte levert (dus de W/K-installatie staat uit), er een tegengestelde stroming ontstaat in het intercooler cir-

cuit (=slipwarmte), door allerlei verbindingen met het primaire verwarmingsnet. Dit was al in 2001 opgemerkt door de procesregelaar van Van Zanten Plants B.V. en er was een terugslagklep geïnstalleerd in het systeem (Van Elsas, 2001). Die tegengestelde flow is namelijk niet wenselijk voor de intercooler die een maximum retourtemperatuur mag hebben van 35°C. Zelfs na installatie van de terugslagklep wijzen de data erop dat er toch slipwarmte is ontstaan door een tegengestelde stroming. Deze tegengestelde stroming wordt niet gemeten door de warmtemeter, omdat die slecht 1-dimensionaal meet: dus het debiet in 1 stroomrichting. Het extra verschil in energieberekeningen is dus ontstaan door slipwarmte vanaf het intercooler circuit, dat niet door de warmtemeter is gemeten.

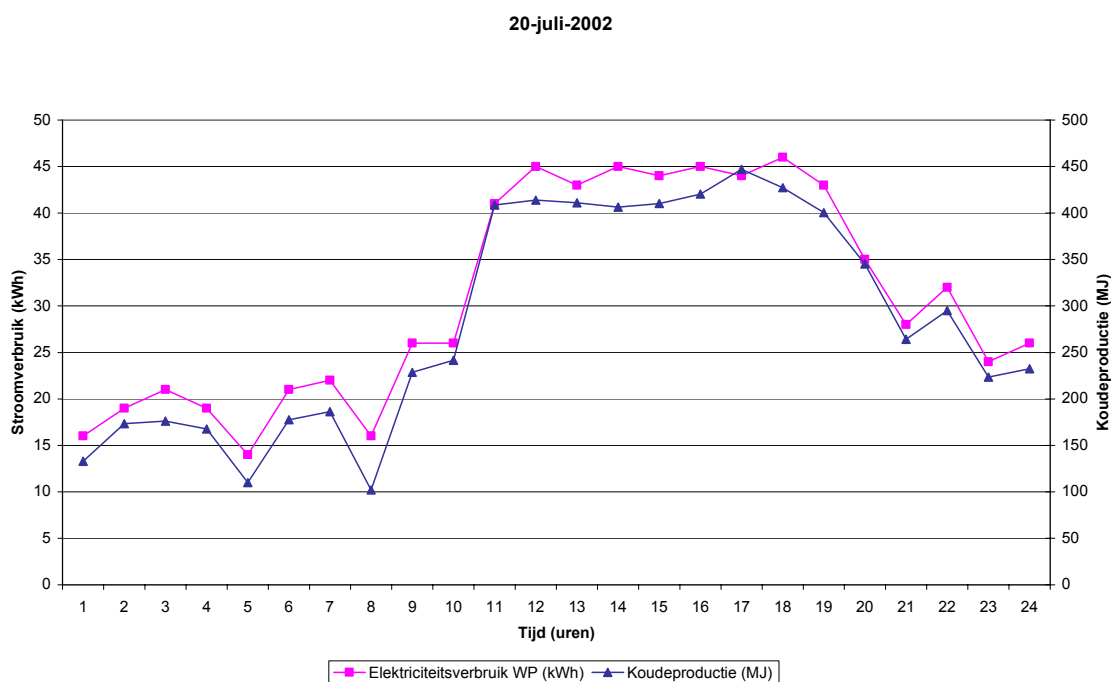


Figuur B1.2 Overzicht van het onttrekken van energie in de zomerperiode 2002

Bijlage 2 Dagvoorbeelden elektriciteitsverbruik en warmte/koude productie van de WP

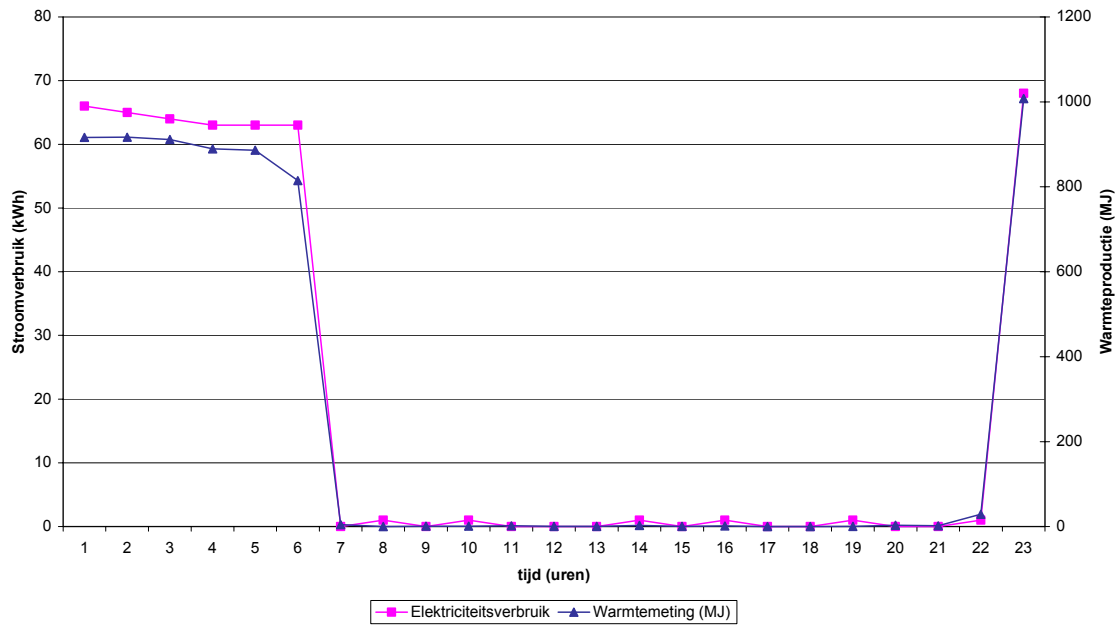
In de zomer gedurende de nacht draait de WP op ongeveer 1/3 deel en overdag op 2/3 deel van het totale vermogen (zie figuur B2.1). Overdag is de grootste koelingvraag. Dan zullen de warmtepompen dus harder draaien dan 's nachts. In het onderzoeksjaar tijdens de zomermaanden werd aquiferwater met een volume van 33,5 m³ per uur uit de bodem opgepompt, opgewarmd van 14,5°C naar 17°C tot 20,9°C, afhankelijk van de vraag naar koelwater.

In de winter draaien de warmtepompen alleen in daluren van 23.00 uur - 7.00 uur door de weeks (figuur B2.2) en gedurende het hele weekend (figuur B2.3). In figuur B2.2 en B2.3 draaien de warmtepompen 's nachts min of meer op vol vermogen. In figuur E blijkt dat overdag in het weekend de warmtepompen op 1/3 deel draaien. Indien het volop winter zou zijn, dan zullen de warmtepompen ook overdag meer in vollast draaien.



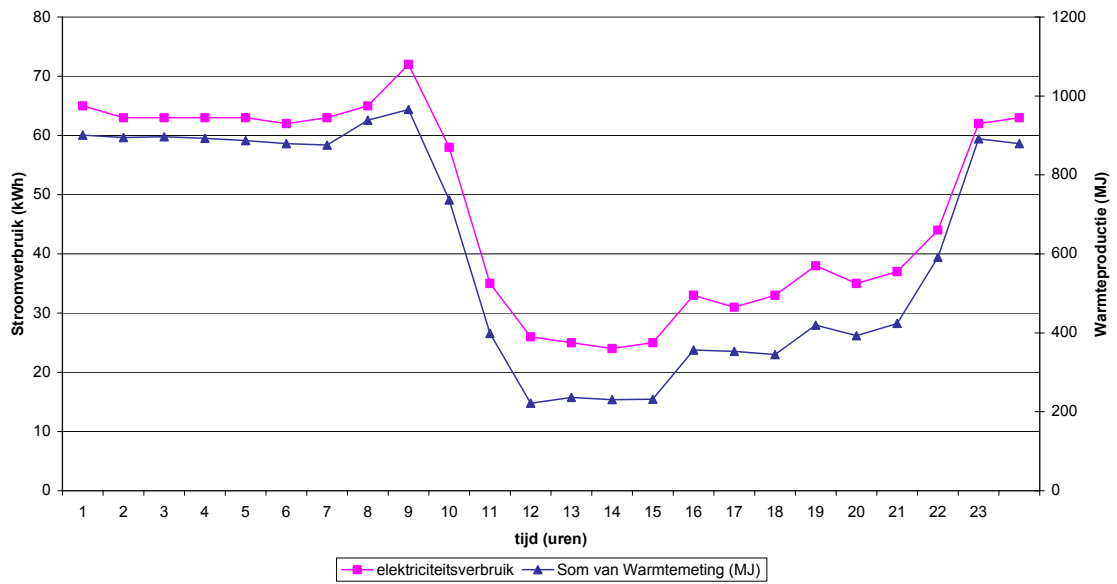
Figuur B2.1 Zomerstand (20 juli 2002)

18 oktober 2002



Figuur B2.2 Winterstand door de weeks (18 oktober 2002)

20 oktober 2002



Figuur B2.3 winterstand in het weekend (20 oktober 2002)