

50361788-KPS/TCM 05-7010

**Technisch-economische evaluatie van de
praktijktoepassing van een warmtepomp
met ondergrondse warmteopslag in com-
binatie met een WKK in de energievoor-
ziening van een tomatenteelt.**

Fase 1: projecthistorie en systeembeoordeling

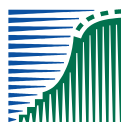
Arnhem, 25 april 2005

Auteur J.A.F. de Ruijter
KEMA Power Generation & Sustainables

In opdracht van Productschap Tuinbouw en Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit

auteur : J.A.F. de Ruijter  05-04-25
B 67 blz. 6 bijl. AM beoordeeld : R. Hoogsteen  05-04-26
goedgekeurd : K.J. Braber  05-04-27

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door subsidieverlening door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het Onderzoeksprogramma Energie (PT-projectnummer 11679).



**landbouw, natuur en
voedselkwaliteit**

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

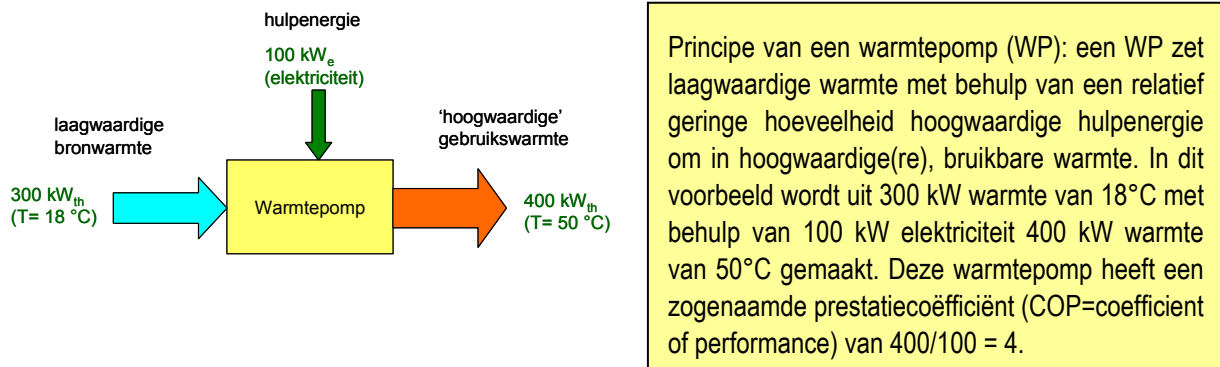
INHOUD

	blz.
MANAGEMENT SAMENVATTING	5
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Probleemstelling	12
1.3 Doelstelling	14
1.4 Leeswijzer	14
2 Projecthistorie	16
3 Beschrijving en analyse energiesysteem.....	20
3.1 Systeemconfiguratie	20
3.2 Bronnen ondergronds warmte-opslagsysteem	22
3.3 Vergunningen	24
3.3.1 Handhaving van de vergunning / praktijk van de registratie	24
3.3.2 Actueel eisenpakket vergunning grondwaterwet / provinciaal beleid	25
3.4 Inzetstrategie productiemiddelen.....	28
3.4.1 Overzicht gerealiseerde inzet productiemiddelen.....	33
3.5 Vergelijken bedrijfsvoering van WP/WKK/warmteopslagsysteem met conventioneel energievoorzieningssysteem	35
3.5.1 Algemene vergelijking.....	35
3.5.2 Energetische vergelijking.....	36
3.5.3 Energieverbruik versus energienorm.....	41
3.5.4 Bedrijfseconomische vergelijking.....	43
3.6 Ervaringen van tuinder.....	50
3.6.1 Ervaringen van tuinder na 3 jaar WP-bedrijf.....	50
3.7 Opgetreden problemen met installatie en exploitatie.....	51
3.7.1 Problemen bronnen ondergrondse warmte/koudeopslag	51
4 Conclusies en aanbevelingen	53
4.1 Conclusies	53
4.2 Aanbevelingen	55
Bijlage A Data energiesysteem / warmteopslagsysteem	57

Bijlage B	Berekening primair energieverbruik WKK + EWP indien productie van bronwarmte moet worden meegerekend.	60
Bijlage C	Rentabiliteitsberekeningen	61
Bijlage D	Vergunningprocedure	65
Bijlage E	Gebruikte afkortingen	66
Bijlage F	Rentabiliteitsindicatoren.....	67

MANAGEMENT SAMENVATTING

Een warmtepomp is een apparaat dat laagwaardige, vaak “gratis” verkrijgbare (omgevings- of overschot-) warmte met behulp van een geringe hoeveelheid hoogwaardige energie opwaardeert tot een bruikbaar temperatuurniveau. Dit biedt mogelijkheden tot een aanzienlijke reductie van het beslag op schaarse, hoogwaardige fossiele brandstof. Ook voor de glastuinbouwsector worden warmtepompen in brede kring gezien als een belangrijk instrument voor verdere energiebesparing en (bij bepaalde toepassingen) verduurzaming. Toch is de toepassing ervan niet vanzelfsprekend en dient het systeemontwerp en de opname en integratie in de energievoorziening van bedrijven zorgvuldig te gebeuren om teleurstelling van niet goed werkende of financieel onaantrekkelijke systemen te voorkomen.



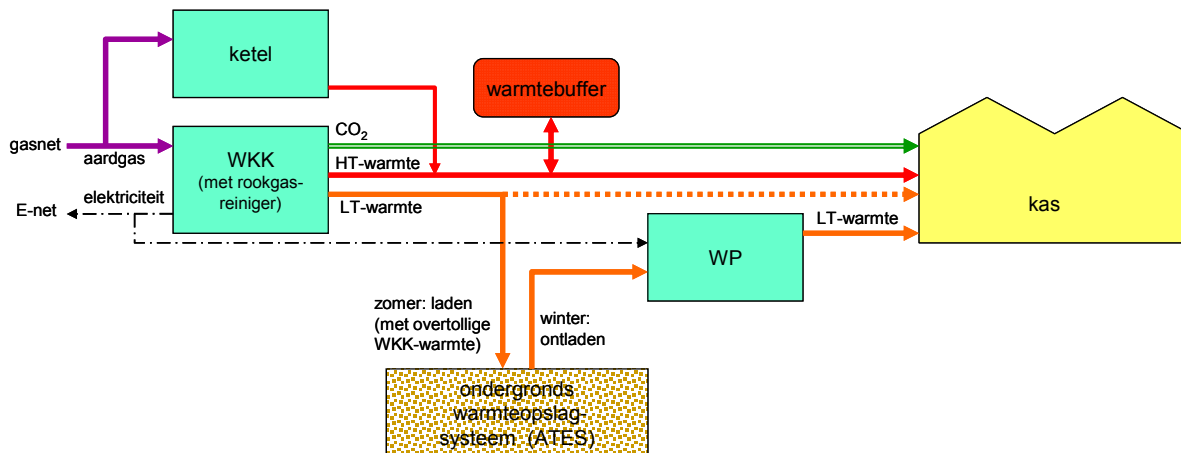
Figuur 0.1 Principe van warmtepomp

In deze studie is een bestaand - door de tuinder/eigenaar als succesvol ervaren - warmtepompsysteem (WP) dat is gecombineerd met een warmtekrachtinstallatie (WKK) en een ondergronds warmteopslagsysteem in een aquifer (ATES¹), technisch, energetisch en economisch geëvalueerd. Figuur 0.2 toont een blokschema van het systeem. Het bedrijf in kwestie is een tomatenbedrijf met een kasoppervlak van 2,7 ha. Het energiesysteem bestaat uit 2 gasmotoren van elk 520 kW_e, een elektrische warmtepomp met thermisch vermogen van circa 789 kW_{th}, (bovengrondse) warmtebuffers met een inhoud van 400 m³ en een ondergronds warmteopslagsysteem met een maximaal debiet van 120 m³/h.

Aan de hand van beschikbare systeemgegevens en gesprekken met de betreffende tuinder is allereerst een beeld geschetst van de projecthistorie en vervolgens van het WP/ATES/WKK-systeem zelf en de bedrijfsvoering ervan. In het bijzonder is ook ingegaan op de problematiek rond het aanvragen en handhaven van de vergunning die in het kader van de Grondwaterwet voor een ondergronds warmte/koudeopslagsysteem nodig is. Op basis van een (theoretische) systeemanalyse is verder ingegaan op de haalbare energiebesparing in

¹ ATES = aquifer thermal energy storage

Management samenvatting



Figuur 0.2 Blokschema van warmtepomp/warmtekracht/warmteopslagsysteem (WP/WKK/ATES). Voor koude dagen is er ook nog een ketel voor invulling van de piekwarmtevraag. Een (bovengronds) warmtebuffer wordt gebruikt voor 'dag/nachtbuffering'.

vergelijking met andere, vaak gebruikte energievoorzieningssystemen (voor een tweetal bedrijfsvoeringswijzen). Verder is over 2003 en 2004 het primaire energieverbruik van het bedrijf bepaald (conform de methode uit het Besluit glastuinbouw) en is het verbruik vergeleken met de normen voor die jaren (en tevens met de strengere norm voor 2010). Ter beoordeling van de financiële aantrekkelijkheid is tenslotte een bedrijfseconomische analyse gemaakt. Op basis van verbruiksgegevens, ontwerpdata, energie- en onderhoudscontracten en investeringsgegevens zijn rentabiliteitscijfers bepaald. Dit is zowel gebeurd voor het totale WP/ATES/WKK-systeem (in vergelijking met een referentiesysteem bestaande uit een ketel met warmtebuffer), als voor het WKK-systeem zonder WP en ATES.

Belangrijkste bevindingen

Het project is geplaagd met een "valse start". Het is in 1997 geïnitieerd door het toenmalige energiebedrijf EMH. De eerste jaren (1998-2000) zijn er problemen geweest, met name rond de WKK (onder andere rookgasreiniging, etheenbewaking en hydraulische schakeling), die noodoplossingen noodzakelijk maakten (onder andere is een niet voorziene rookgascondensator bij de ketel geplaatst en zijn vaste plastic folieschermen opgehangen in de winter). De warmtepomp is in die jaren nog niet in bedrijf geweest. De problemen werden niet adequaat aangepakt door het energiebedrijf (dat in overnameperikelen terecht kwam en in 2001 zou worden overgenomen door Eneco). In 2001 heeft de tuinder de gehele installatie van het energiebedrijf overgenomen en heeft een "renovatieprogramma" in gang gezet (onder andere zijn de verdeelsystemen herontworpen, de rookgasreinigers gecontroleerd en bijgesteld, zijn etheenmetingen geïnstalleerd en is besturingssoftware aangepast). In mei 2001 is de aangepaste WKK-installatie weer in bedrijf genomen en in de daarop volgende zomerperiode

Management samenvatting

is de aquifer voor het eerst gevuld met (overtollige) warmte afkomstig van de rookgascondensators van de WKK's. In de winter van 2001/2002 heeft de warmtepomp zijn eerste seizoen gedraaid. In verband met de stroomprijzen draaide de warmtepomp alleen in de daluren (circa 1000 uur). Sinds 2002 is het totale energiesysteem volwaardig in bedrijf. (Het duurde nog wel tot begin 2004 voordat de in 2001 aangevraagde comptabele elektriciteitsmeters eindelijk door het energiebedrijf werden geplaatst, waardoor de elektriciteitsverbruiksgegevens tot en met 2003 onvolledig zijn.)

De vergunning voor de ondergrondse warmteopslag is (in 1997) aangevraagd door het energiebedrijf. In het kader van de daarin opgenomen registratieplicht verstrekt de tuinder jaarlijks aan de provincie de volumina van de aan de koude respectievelijk warme bron onttrokken (en in de andere bron weer geïnjecteerde) hoeveelheden water. De energiebalans is nog niet door het bevoegd gezag gecontroleerd (maar op basis van de bedrijfsvoeringscijfers lijkt deze redelijk in balans).

Als de warmtepomp in bedrijf is (en er vanuitgaande dat de aquiferwarmte, die door de warmtepomp wordt gebruikt, oorspronkelijk overtollige WKK-warmte was die anders toch verloren zou zijn gegaan), dan is de combinatie van WKK/ATES/WP circa 36 à 41% energiezuiniger dan een referentiesysteem bestaande uit een ketelinstallatie (op het tuinbouwbedrijf) en een gemiddelde elektriciteitscentrale, die samen hetzelfde pakket aan warmte en elektriciteit produceren. Het eerste besparingscijfer geldt bij twee WKK's in bedrijf en het tweede bij één WKK in bedrijf. Zou de WP en de ATES worden weggelaten, dan dalen deze cijfers tot circa 23% respectievelijk 16% (= voordeel van alleen WKK ten opzichte van het referentiesysteem). Natuurlijk is de warmtepomp niet het hele jaar in bedrijf en kunnen deze besparingscijfers slechts gedurende een deel van het jaar worden gerealiseerd. (De warmtepomp was in 2004 circa 1850 uur in bedrijf).

Op basis van de gemeten verbruikscijfers van 2003 en 2004 is het primaire energieverbruik van het bedrijf bepaald (conform de methode van het Besluit glastuinbouw, waarbij behalve gebruikte brandstoffen ook ingekochte en aan derden geleverde elektriciteit en eventueel warmte worden verrekend). Voor 2003 kwam dit uit op 11.279 GJ/ha en voor 2004 op 11.804 GJ/ha. Dit is maar liefst 42% respectievelijk 39% lager dan de energienorm uit het Besluit (19.562 respectievelijk 19.326 GJ/ha). Circa 5%-punt van de genoemde reducties had te maken met de warmtepomp. Het grootste deel van de besparing was toe te schrijven aan het terugleveren van elektriciteit opgewekt met de gasmotoren. Het referentiesysteem heeft een primair energieverbruik van circa 18.820 GJ/ha (en was in 2004 nog circa 2,6% beter dan de energienorm van dat jaar).

Management samenvatting

De meerinvestering in WKK, WP, ATEs, lage-temperatuurnet en regel- en besturingssysteem bedroeg (gecorrigeerd naar het prijsniveau van 2004) circa EUR 47 per m² kas.

Uitgaande van de energie- en onderhoudscontracten van 2004 en rekening houdend met de MEP²-vergoeding voor teruggeleverde, "CO₂-vrije" kilowatturen afkomstig van de gasmotoren, is voor 2004 een netto aan het WKK/WP/ATES-systeem toe te schrijven kasstroom van 7,25 EUR/m² berekend. Hiermee komt de terugverdientijd (TVT) van het systeem (zonder subsidies/fiscaal voordeel) op circa 6,5 jaar. Rekening houdend met de verkregen subsidie is dat 5,5 jaar. Bij een 20% hogere (commodity) gasprijs en elektriciteitsprijzen, daalt de terugverdientijd (rekening houdend met subsidie) tot circa 4,7 jaar. De warmtepomp met ondergronds opslagsysteem is op zichzelf beschouwd niet rendabel. De terugverdientijd van dit deelsysteem wordt geraamd op circa 26 jaar. Zou dit deelsysteem worden weggelaten, dan daalt de TVT van het resterende WKK-systeem van de oorspronkelijke 6,5 jaar naar 5,5 jaar (zonder subsidies).

Ten opzichte van de verwachte totale energiekosten (gas+elektra) van het referentiesysteem (ketel met buffer) bespaart het WKK/WP/opslagsysteem circa 93% op netto energiekosten (rekening houdend met verkoop van elektriciteit, extra gasinkoop, MEP-vergoeding, besparing op energiebelasting en extra onderhoudskosten). Worden de extra kapitaalslasten in mindering gebracht op de besparing op energiekosten, dan resteert een besparing van circa 7% bij kapitaalslasten gebaseerd op 10 annuïteiten tegen 5% rente, of circa 30% bij 15 annuïteiten (tegen eveneens 5%). Hierbij is nog geen rekening gehouden met subsidies op de investering en extra opbrengst door productieverhoging. Doelstelling bij de start van het project was 10% besparing op (directe) energiekosten.

Resumerend kan worden gesteld, dat het WKK/WP/ATES-systeem op het tomatenbedrijf, uitgaande van de gehanteerde bedrijfsvoeringswijze, energetisch zeer goed scoort ten opzichte van de huidige energienormen (en ten opzichte van het referentiesysteem bestaande uit een ketel met warmtebuffer en elektriciteitsinkoop). Ook financieel is het systeem aantrekkelijk. Bij (simultaan) stijgende energieprijzen van gas en elektriciteit wordt de rentabiliteit beter en het systeem is daarmee in dat opzicht robuust voor de toekomst, waarvoor algemeen verwacht wordt dat energie door een stijgende mondiale vraag en afnemende reserves alleen maar duurder wordt. Voor een optimaal financieel rendement had de warmtepomp en het ondergrondse warmteopslagsysteem (bij de huidige prijzen en bedrijfsvoeringswijze) beter weggelaten kunnen worden.

² MEP = Milieukwaliteit ElektriciteitsProductie. Voor gasmotoren is in het kader van de MEP een vereenvoudigde "CO₂-index-regeling" in het leven geroepen, waarbij voor alle gangbare gasmotoren, afhankelijk van het jaar van aanschaf, forfaitair is bepaald welk deel van de elektriciteitsproductie als "CO₂-vrij" mag worden beschouwd, en daarmee in aanmerking komt voor MEP-subsidie (in het najaar van 2004 bedroeg die 2,6 EURct per CO₂-vrije kWh; voor 2005 wordt dat 2,2 EURct/kWh).

Management samenvatting

Een *risico* voor navolging van het energieconcept is de onzekerheid betreffende de nieuwe energienormen, waarvan de systematiek en de normen zelf momenteel (februari 2005) in ontwikkeling zijn. De Stuurgroep Glastuinbouw en Milieu (GlaMi) heeft gekozen voor individuele normen die worden afgeleid van het CO₂-quotum van de sector. In de nieuwe methode wordt teruggeleverde elektriciteit mogelijk niet meer verrekend in het netto energieverbruik van de bedrijven. Voor het onderzochte energieconcept zou dat forse consequenties hebben voor het toe te rekenen energieverbruik en mogelijk ook voor het kunnen voldoen aan de nieuwe normen. Zowel voor bestaande bedrijven met WKK als bedrijven met plannen voor WKK is het van belang dat hierover snel duidelijkheid komt.

Voor een succesvolle navolging van het volledige energieconcept is het verder belangrijk tijdig en voldoende aandacht te besteden aan het ondergrondse warmte/koudeopslagsysteem:

- tijdig bij de provincie vergunning aanvragen in het kader van de Grondwaterwet (doorlooptijd circa 7,5 maand)
- nagaan of de bodem c.q. het grondwater geschikt is voor energieopslag. Belangrijke aspecten die een rol kunnen spelen zijn bijvoorbeeld: een watervoerende laag met een zoet/brakwater-grensvlak is in het algemeen niet toepasbaar, omdat energieopslag (met filters deels boven en deels onder het grensvlak) zal leiden tot menging van beide waterkwaliteiten en verdere verzilting van die laag, wat in veel provincies niet is toegestaan. Energieopslag in een watervoerende laag met een redoxgrens (zuurstofhoudend water aan één kant en ijzerhoudend water aan de andere kant) leidt bij menging van die twee soorten water tot vlokvorming van ijzeroxide, waardoor de bronnen verstopt kunnen raken. Bij gashoudend grondwater (met bijvoorbeeld opgelost methaan) kunnen problemen ontstaan met ontgassing van het grondwater. De druk in het grondwatercircuit moet zodanig hoog zijn dat de gassen in oplossing blijven. Een te hoge injectiedruk kan echter, vooral bij ondiepe aquifers, leiden tot het opbarsten van de bodem rond de bronnen.
- het toepassen van een ondergronds energieopslagsysteem gaat in het algemeen gepaard met een registratieplicht (wat jaarlijkse kosten met zich mee brengt)
- een ondergronds energieopslagsysteem moet zodanig worden gedimensioneerd en bedreven dat over een periode van enkele jaren netto geen warmte aan de bodem wordt toegevoerd (de vergunning schrijft meestal thermisch neutraal bedrijf voor).

Aanbevelingen

De rentabiliteit van de warmtepomp (en de WKK) kan mogelijk aanzienlijk worden verbeterd door deze component(en) actief te gebruiken als stuurinstrument bij het handelen op de kor-

Management samenvatting

te-termijn elektriciteitsmarkten (APX, onbalansmarkt). De warmtepomp (en de WKK) kan (kunnen) worden gebruikt om het afgenomen (of netto teruggeleverde) vermogen actief te beïnvloeden. Het is in principe afschakelbaar c.q. inschakelbaar vermogen. In het geval van eigen “programmaverantwoordelijkheid” kan hiermee door slim in te spelen op actuele prijzen op de onbalansmarkt geld worden verdiend. Dit vergt echter een actief energimanagement, omdat op het juiste moment moet worden gereageerd op veranderingen in de onbalansmarkt (op kwartierniveau) en omdat bij wijziging van de inzet van WP en/of WKK eventuele alternatieve warmteproductiemiddelen moeten worden ingezet, om te zorgen dat het gewenste kasklimaat voldoende wordt gewaarborgd. Deze “handelsmogelijkheden” van de WP (en WKK) zijn in de evaluatie nog niet meegenomen, omdat daar in de jaren van de evaluatieperiode (tot en met 2004) nog geen sprake van was. Ter completering van het beeld van de kansen van de warmtepomp verdient het aanbeveling deze nieuwe handelskansen in kaart te brengen en de extra haalbare kasstroom zo goed mogelijk te kwantificeren bijvoorbeeld door analyse van de uitgevoerde transacties op de (relevante) energiemarkten over een jaar. Daarbij moeten ook de risico's en kosten van deze bedrijfsvoeringswijze in kaart worden gebracht.

Bij de tuinder in kwestie kan met relatief geringe extra middelen circa 0,6 ha gesloten kas worden gerealiseerd, omdat het daarvoor benodigde warmte/koudeopslagsysteem en de warmtepomp/koelmachine al aanwezig zijn. Alvorens een verantwoorde beslissing over uitbreiding met (of gedeeltelijke ombouw tot) een gesloten kas kan worden genomen, is het nodig een nadere verkenning van de haalbaarheid uit te voeren, waarin onder meer de verwachte veranderingen in de netto-energiekosten en de extra gewasproductie dient te worden meegenomen.

De werkelijke energetische prestatie van het WP/ATES/WKK-systeem kon met de beschikbare meetinstrumenten en “datalogging” niet volledig worden gemeten. De uitgevoerde evaluatie is derhalve deels op ontwerpgegevens gebaseerd. Om de prestaties nauwkeuriger te bepalen, wordt aanbevolen een jaarrondmonitoring uit te voeren (en daartoe het meetinstrumentarium en de dataregistratiefaciliteiten op het bedrijf uit te breiden).

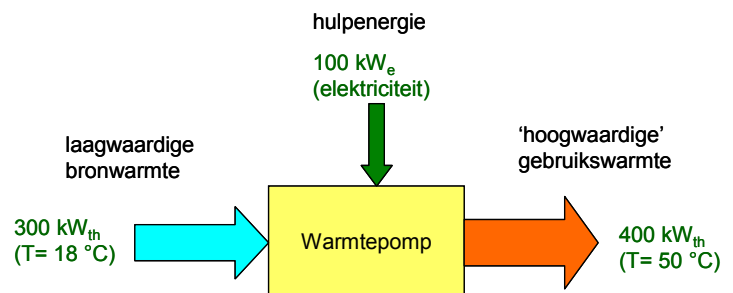
1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Warmtepompen (WP's) bieden in beginsel goede mogelijkheden voor een fors energiezuinigere glastuinbouw. Ze zijn in staat laagwaardige (bron)warmte met een relatief gering beslag op hoogwaardige hulpenergie op te waarden tot bruikbare, hoogwaardige(re) warmte (zie principe blokschema in figuur 1.1). De bronwarmte kan aan de omgeving worden onttrokken (bijvoorbeeld aan de buitenlucht of naburig oppervlaktewater), maar kan ook warmte zijn die eerder op het bedrijf in kwestie is geproduceerd, toen overtollig³ was, en opgeslagen is voor later gebruik. Voor langdurige opslag van grote hoeveelheden (laagwaardige) warmte komt met name ondergrondse opslag in watervoerende zandlagen (aquifers) in aanmerking. Door hergebruik (middels een WP) van deze op een eerder moment overtollig geworden warmte kan de energieprestatie van het bedrijf in kwestie op jaarbasis significant worden verbeterd.

Tot nu toe bleef het aantal toepassingen van warmtepompen en ondergrondse warmteopslag echter beperkt. Oorzaken hiervan zijn de relatieve onbekendheid en het gebrek aan kennis en deskundigheid op dit gebied bij installateurs, de benodigde extra investeringen, de relatief complexe inpassing in de kas en omgeving en vooral de lage gasprijzen tot circa 2000. Recente (bureau)studies⁴ hebben aangetoond, dat goed ingepaste warmtepompen tot ruim 20% op het primaire energieverbruik van een intensieve groenteteelt kunnen besparen.

Met name wanneer er zoveel CO₂ wordt gedoseerd, dat de daarbij vrijkomende warmte overdag of in de erop volgende nacht niet helemaal nodig is, kan een flinke energetische besparing worden gerealiseerd door de



Figuur 1.1 Principeschema van functie van een warmtepomp (WP). Een WP zet laagwaardige warmte met behulp van relatief geringe hoeveelheid hoogwaardige hulpenergie om in hoogwaardige(re), bruikbare warmte. In dit voorbeeld wordt uit 300 kW warmte van 18°C met behulp van 100 kW elektriciteit 400 kW warmte van 50 °C gemaakt. Deze warmtepomp heeft een zogenaamde prestatiecoëfficiënt (COP=coefficient of performance) van $400/100 = 4$.

³ de overtollige warmte kan bijvoorbeeld zijn geproduceerd bij de productie van CO₂ ten behoeve van bemesting door een ketel of warmtekrachtinstallatie in het warme deel van het jaar. Het kan echter ook gaan om warmte die bij een gesloten of semi-gesloten kas in het warme deel van het jaar is teruggewonnen uit de warme kaslucht (in verband met kaskoeling en/of ontvochtiging)

⁴ zie o.a. Ruijter, J.A.F. de, "Haalbaarheidsstudie toepassing van warmtepompen in de glastuinbouw. Selectiehulpmiddel bij de speurtocht naar kansrijke toepassingen", KEMA, 2003, KEMA-rapportnummer 50060663-KPS/SEN 03-3001 (in opdracht van Novem).

overtollige warmte (langdurig) op te slaan in de bodem en in het koude seizoen met een warmtepomp weer terug te winnen en in de kas te brengen. De combinatie warmtepomp/bodemopslag is daarmee een belangrijke optie voor tuinders om te voldoen aan de tot 2010 steeds strenger wordende energienormen in het kader van het GlaMi-convenant / Besluit glastuinbouw. Besparing op de energiekosten is in een tijd van hoge gasprijzen een belangrijke drijfveer voor toepassing van warmtepompen. Mogelijkheden voor productieverhoging is een tweede (zie ook paragraaf 1.2).

Het energiebesparingspotentieel van warmtepompen is groot. Alleen al in de energie-intensieve glasgroenteteelt (areaal circa 4000 ha in 2002, bron PT) kan - uitgaande van een gemiddeld equivalent aardgasverbruik van $48 \text{ m}^3/\text{m}^2$, een gemiddelde reductie van 20% op het primaire energieverbruik door toepassing van een geschikt warmtepomp/warmteopslagsysteem en een adoptie van zo'n systeem op 50% van het areaal - op jaarbasis circa 192 mln m^3 aardgasequivalent ($\approx 6.7 \text{ PJ}$ op bovenwaarde) worden bespaard en de CO_2 -uitstoot met circa 340 kton worden gereduceerd.

Voordat warmtepompen grootschalig zullen doorbreken, is het echter nodig, dat er voor een aantal teelten succesvolle "full-scale" WP-projecten zijn gerealiseerd en de energetische en bedrijfseconomische prestaties zijn aangetoond. Bij gekoelde teelten zoals de fresiateelt, is het gebruik van warmtepompen al redelijk gemeengoed aan het worden. Bij energie-intensieve vrucht-groenteteelten, zoals de tomaat, is het aantal WP-toepassingen veel kleiner. Overtuigende en onafhankelijke kwantitatieve informatie hierover is niet of nauwelijks beschikbaar⁵.

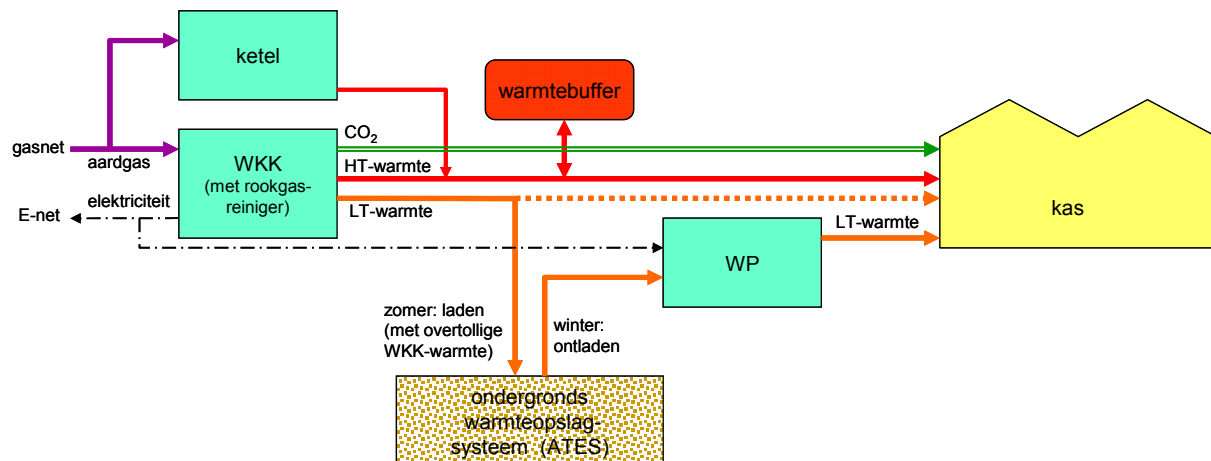
1.2 Probleemstelling

Kansen voor warmtepompen bij de vruchtgroenteteelt

Ook in de vruchtgroenteteelt zijn er door enkele vooruitstrevende tuinders in het recente verleden initiatieven genomen, waarbij warmtepompen in de energievoorziening zijn opgenomen. Deze projecten worden door de betreffende ondernemers (gevoelsmatig) als zeer succesvol ervaren. Een voorbeeld is de WP-toepassing op **het tomatenbedrijf van Wim van der Heide in Nieuwerkerk aan de IJssel**. Hier draait sinds 2001 een warmtepomp in combinatie met warmteopslag in een aquifer. Behalve de warmtepomp zijn 2 gasmotoren geplaatst, die primair bedoeld zijn voor CO_2 -bemesting. De opgewekte elektriciteit wordt gro-

⁵ Sinds eind 2004 is de in opdracht van SenterNovem ontwikkelde website www.warmtepompenindeglastuinbouw.nl 'in de lucht'. Hierop is allerlei interessante informatie te vinden betreffende de toepassing van warmtepompen in de glastuinbouw.

tendeels teruggeleverd aan het net. Als de WP in bedrijf is, gebruikt deze een significant deel van de elektriciteitsproductie. De geproduceerde warmte wordt grotendeels gebruikt voor verwarming van de kas. Overtollige warmte wordt opgeslagen in de aquifer (zie **Figuur 1.2**).



Figuur 1.2 Blokschema van warmtepomp/warmtekracht/warmteopslagsysteem bij Van der Heide.

Bij een conventioneel energiesysteem met alleen een bovengrondse warmtebuffer kunnen de gasmotoren in de praktijk op warme dagen met grote zoninstraling maar beperkt worden ingezet, omdat de vrijkomende warmte in de erop volgende nacht niet of maar gedeeltelijk kan worden gebruikt. Worden ze, als de buffer vol is, toch ingezet, dan moet de warmte worden “vernietigd”. Juist bij veel licht (vaak gepaard gaand met een kleine warmtevraag) is er echter grote behoefte aan extra CO₂ in de kas. Door opslag van overtollige warmte in het ondergrondse seizoensopslagsysteem, kan de CO₂-productie en -dosering op een optimaal niveau worden gehouden, met een sterk gereduceerd verlies van warmte. De in de aquifer opgeslagen warmte wordt in het koude seizoen door middel van de warmtepomp weer in de kas gebracht, waardoor het primaire energieverbruik in de winter afneemt.

De tuinder in kwestie is enthousiast, zowel ten aanzien van besparing op het energieverbruik als ten aanzien van productietoename en productkwaliteit. Als ander belangrijk pluspunt ziet hij de mogelijkheid om met dit systeem flexibel in te spelen op de grenswaarden met betrekking tot dagvolume en contractvolume, die vanuit het gascontract worden opgelegd. Overschrijding daarvan is duur. Door gericht te sturen met warmtepomp en buffers, wist hij zich in 2003 (tot en met oktober) als tweede beste van alle (bij ENECO aangesloten) tuinders te kwalificeren wat betreft gemiddelde afwijking van het gecontracteerde dagvolume in 2003 (7% afwijking tegen gemiddeld 12%). Wil dit succesvolle project navolging krijgen, dan is het nodig een goede (kwalitatieve en kwantitatieve) evaluatie van het project te maken, zowel qua jaarrond-energieprestatie, productieverhoging/-verbetering als qua economie, zodat an-

dere geïnteresseerden een gefundeerde investeringsbeslissing kunnen nemen en “first-of-a-kind” fouten (die ook hier zijn gemaakt) zullen vermijden.

1.3 Doelstelling

Dit project beschrijft en evalueert een reeds bestaand, door de betreffende tuinder als zeer succesvol ervaren warmtepomp-/WKK-/bodemopslagproject qua realisatietraject, vergunningen, inpassing van de warmtepomp en warmteopslag in de bestaande energievoorziening, bedrijfsvoering, energiecontracten en geschatte systeemprestaties en rentabiliteit. Het achterliggende doel is bij gebleken perspectief van het energieconcept navolging te stimuleren door de resultaten te publiceren, zodat collega-tuinders op ideeën kunnen worden gebracht, geholpen worden bij een eventuele investeringsbeslissing rond een dergelijk systeem en bij navolging ‘first-of-a-kind’ fouten vermijden.

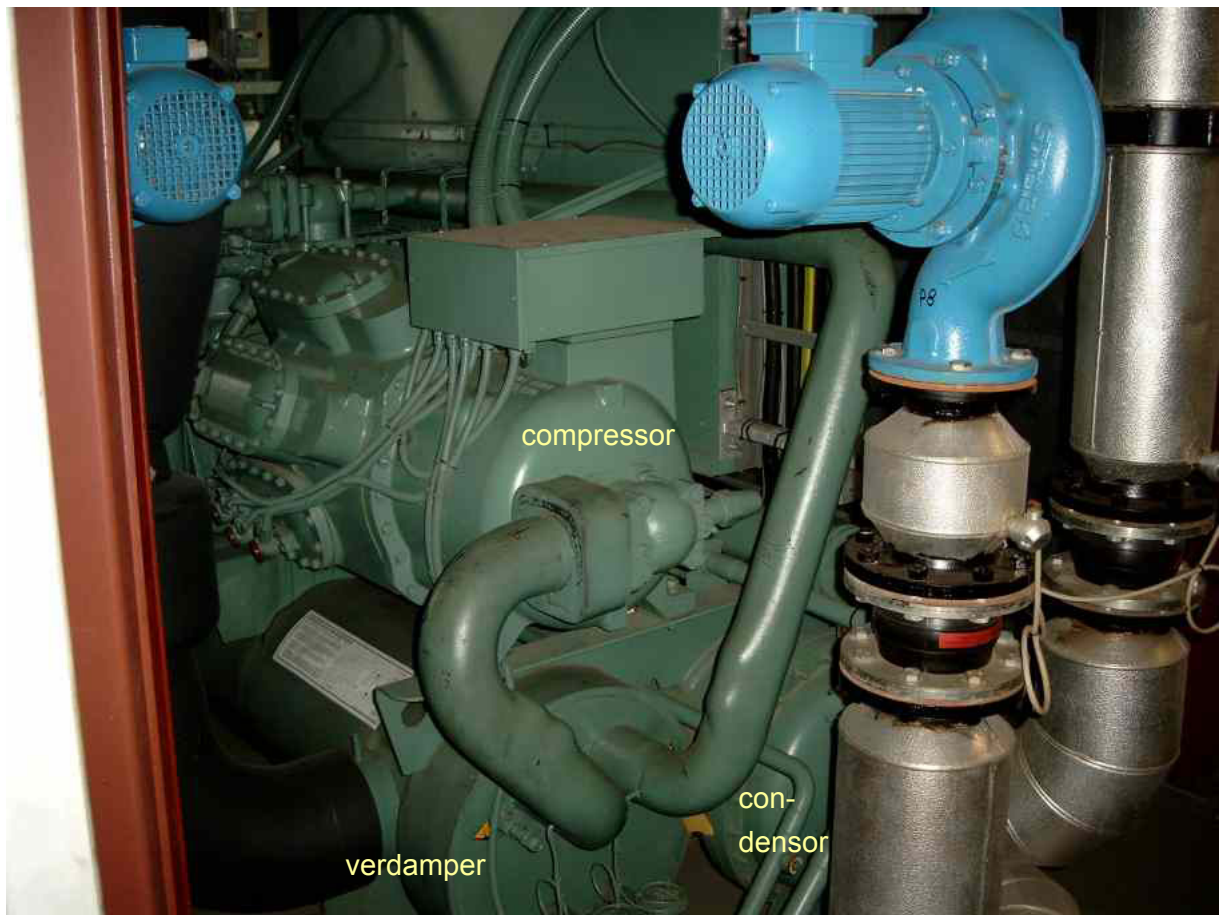
De analyse in (fase 1 van) deze studie vindt plaats op basis van beschikbare documenten (met onder andere ontwerpgegevens) en thans beschikbare metingen c.q. registraties aan het energiesysteem. Bij gebleken perspectief voor navolging door derden is het de bedoeling dat in fase 2 en 3 door monitoring wordt nagegaan, wat de feitelijke energetische en bedrijfseconomische prestaties zijn geweest en worden mogelijke systeem- of bedrijfsvoeringsverbeteringen geïdentificeerd (voor alle duidelijkheid: fase 2 en 3 vallen niet binnen het onderhavige project).

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat kort in op de projecthistorie. In hoofdstuk 3 wordt het energiesysteem beschreven en geanalyseerd. Allereerst worden de specificaties gegeven en wordt de systeemconfiguratie geschetst. Vervolgens wordt nader ingegaan op de bronnen van het ondergrondse warmte-opslagsysteem en de benodigde vergunning en vergunninghandhaving. Paragraaf 3.4 behandelt de inzetstrategie van de verschillende energieproductiemiddelen. In paragraaf 3.5 wordt een (energetische en bedrijfseconomische) vergelijking gemaakt van de bedrijfsvoering van het WP/WKK/ATES-systeem in vergelijking met een conventioneel systeem (en met de energienormen uit het Besluit glastuinbouw). In paragraaf 3.6 worden enkele ervaringen van de tuinder beschreven. Tenslotte wordt in paragraaf 3.7 kort aangegeven welke (bijzondere) problemen zich met de installatie en de exploitatie hebben voorgedaan. Hoofdstuk 4 geeft de conclusies van de studie en enkele aanbevelingen.

We zullen we in het vervolg kortweg spreken over het “warmtepompproject”, als we het hebben over het gecombineerde WKK, warmtepomp en ondergrondse warmte-opslagproject.

In bijlage E is een lijst met in dit rapport gehanteerde afkortingen gegeven.



Figuur 1.3 Foto van warmtepomp bij Van der Heide. In de cilinder linksonder bevindt zich de verdamer (koude kant) van de warmtepomp. De cilinder rechtsochter is de condensor (warme kant). Daarboven bevindt zich de compressor, die het (gasvormige) koelmedium afkomstig van de verdamer comprimeert alvorens het in de condensor condenseert onder afgifte van warmte aan het ‘hogetemperatuur’ circuit (zilverkleurig geïsoleerde pijpen).

2 PROJECTHISTORIE

Het WKK/warmtepomp/warmteopslagproject is begin 1997 op initiatief en in opdracht van Energiebedrijf Midden-Holland (EMH) gestart. EMH zag in de combinatie van de drie energieproductiemiddelen goede mogelijkheden voor een milieutechnisch interessant (qua primair energiegebruik en CO₂-uitstoot) en bedrijfseconomisch aantrekkelijk (voor zowel energiebedrijf als tuinder) energieconcept voor glastuinbouwbedrijven. De keuze voor de - destijds nieuw te bouwen - tomatenkwekerij van Van der Heide in Nieuwerkerk aan de IJssel werd onder andere gemaakt omdat Van der Heide al goede ervaringen had met ondergrondse hemelwateropslag (in het tweede watervoerende pakket) op een naburig bedrijf.

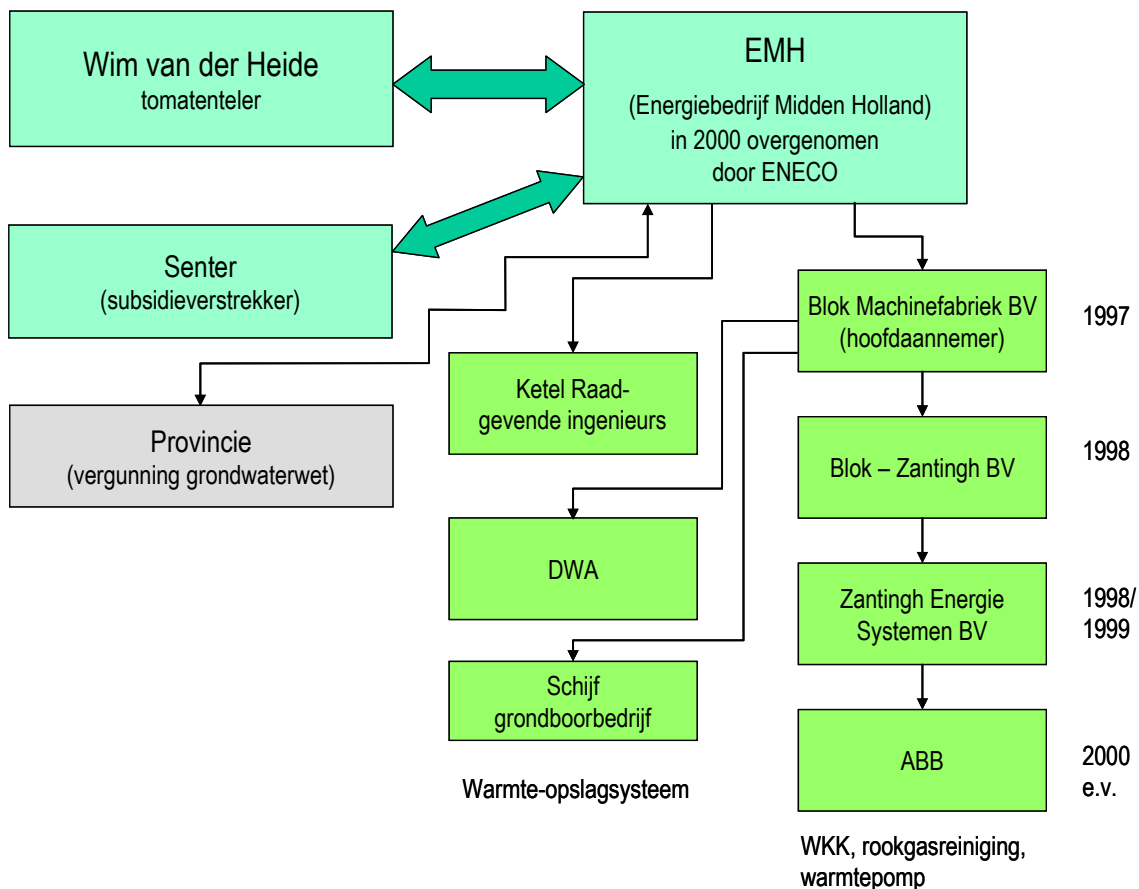
Het eerste ruwe ontwerp van het energievoorzieningsconcept en de aanvraag van de subsidies voor het project zijn opgesteld door Ketel Raadgevende Ingenieurs (uit Delft). Blok Machinefabriek B.V. uit Gouda kreeg in 1997 de opdracht van EMH om het concept verder uit te werken tot een concreet ontwerp (met tekeningen en bestekken) en verder om de benodigde installaties te leveren, te installeren en in bedrijf te stellen. Het beheer en exploitatie van de installatie zou EMH voor zijn rekening nemen. Van der Heide zou warmte en CO₂ van EMH afnemen. Het doel voor Van der Heide was een kostenbesparing van 10% op directe energiekosten (exclusief kapitaalslasten) in vergelijking met een in de buurt gelegen tomatenkwekerij van hem met een conventionele energievoorziening (bestaande uit een ketel, rookgascondensor, warmtebuffer en 3 WKK's). Hiervoor werd een intentieovereenkomst gesloten met EMH.

Tijdens de uitvoering van het project heeft Blok Machinebouw B.V. met name voor het "bronnen-deel" gebruik gemaakt van onderaannemers. DWA werd betrokken voor advies ten aanzien van de bronnen (onder andere voor de locatie van de warme en koude bronnen op het bedrijf en hun onderlinge afstanden). De bronnen zelf zijn geboord en aangelegd door grondboorbedrijf Schijf uit Kwakel. Het ontwerp en de realisatie van het "ketelhuis" (met warmtekracht-installaties, rookgasreinigers en warmtepomp) is door Blok Machinebouw B.V. in eigen beheer uitgevoerd. Echter door financiële problemen bij Blok is een deel van dat bedrijf (waarbinnen ook het onderhavige "WP-project" viel) in 1998 - na een faillissement - doorgegaan samen met Zantingh uit Rijsenhout als "Blok - Zantingh B.V.". In 1999 is dit bedrijf overgegaan in "Zantingh Energie Systemen B.V.". In 2000 zijn de aandelen hiervan - en de betrokkenheid in het project - overgenomen door ABB. Figuur 2.1 geeft een "organisatieschema" van de bij het project betrokken partijen.

De doelstellingen van het WKK/WP/warmteopslagproject in 1997 waren:

- WKK's maken circa 8000 draaiuren per jaar
- CO₂-bemesting door WKK's na rookgasreiniging (verwijderen van o.a. NO_x en etheen)

- Warmte-opslag (hoge-temperatuur) in (bovengrondse) buffertank
- Teveel aan warmte wordt opgeslagen in watervoerende laag in de bodem (aquifer)
- In de winterperiode aquifer legen met een warmtepomp
- Op jaarbasis nog slechts circa 10% ketelwarmte nodig
- Voor van der Heide: een besparing op (directe) energiekosten van 10%
- Project gereed op 1-12-1997.



Figuur 2.1 Organisatieschema van het WKK/warmtepomp/warmte-opslagproject

Hieronder worden beknopt de belangrijkste “mijlpalen” van het project gegeven:

- Projectstart begin 1997
- Bouw kas: van mei tot november 1997
- Op geplande project-gereed-datum was het WKK/WP/warmteopslagproject nog niet klaar (alleen de ketel was gereed)
- De capaciteit van de ketel was te klein voor volledige warmtelevering. Er is toen een noodoplossing voor de winterperiode van de eerste teelt toegepast (plastic foliescherm in de kas)

- Om toch CO₂ te kunnen doseren (terwijl de WKK nog niet klaar was) is de ketel van een rookgascondensor voorzien. (Dit was oorspronkelijk niet gepland. CO₂-dosering op basis van zuivere, vloeibare CO₂ was te duur)
- WKK's gereed halverwege 1998 (WKK's, rookgasreiniger en WP waren destijds in eigendom van EMH)
- Rookgasreinigingsinstallatie gereed in september 1998 (maar zonder bewaking op etheen)
- Half december 1998 start tweede teelt
- Na de start van de tweede teelt openbaarden zich problemen met de WK-installatie (WK-warmte ging niet naar de kas, fout in het ontwerp van de verdeelinrichting)
- 14 dagen te lage temperatuur in de kas ('s nachts niet hoger dan 11°C) → gewasschade
- In 1999 hebben de WKK's kort gedraaid maar zonder rookgasreiniging en CO₂-levering (tuinder was bang voor plantschade aan gewassen; rookgasreinigers waren nog onvoldoende beveiligd)
- In het voorjaar van 2000 zijn de WKK's na een beperkt aantal draaiuren opnieuw stilgezet omdat er schade aan het gewas optrad, die in verband werd gebracht met de CO₂-dosering door de WKK's (er was nog geen goede bewaking op etheen)
- Status november 2000: project nog steeds niet geheel opgeleverd (onder andere door organisatorische veranderingen bij het energiebedrijf⁶ en de achtereenvolgend betrokken WK-installatiebedrijven. Een belangrijke tekortkoming in het systeem betrof een verkeerd ontworpen warmteverdeelsysteem en verkeerd ontworpen besturingssoftware voor de warmtepomp (in zogenaamde Compri-computer). Bij het ontwerp was er onder andere onvoldoende aandacht besteed aan de verhouding tussen hoge- en lage-temperatuurwarmte.
- In 2001 heeft EMH (dat in dat jaar zou worden overgenomen door Eneco) aan Van der Heide gevraagd of hij de gehele installatie van het energiebedrijf wilde overnemen (mede door alle eigen overname-perikelen lukte het EMH niet meer om het project goed in bedrijf te nemen en vervolgens te exploiteren). De officieuze overname van de installatie (beheer door Van der Heide) was in 2001. De officiële overname (van het juridisch eigendom) liet mede door de complexe juridische situatie en het daarmee samenhangende complexe "papierwerk" nog de nodige tijd op zich wachten. De overname-overeenkomst is op 5 juli 2003 getekend.
- Na de officieuze overname is een renovatieprogramma uitgevoerd om de geconstateerde gebreken te verhelpen en om ook de warmtepomp in bedrijf te kunnen nemen:
 - Het verdeelsysteem is herontworpen en opnieuw gedimensioneerd

⁶ Dit had te maken met de liberalisatie van de energiemarkt, als gevolg waarvan er een concentratie van de energiebedrijven optrad. EMH werd overgenomen door ENECO.

- de WKK's en de rookgasreiniger's (RGR's) zijn gecontroleerd, waar nodig bijgesteld en weer in bedrijfgenomen.
- Er is een etheenmeter geïnstalleerd om de kwaliteit van de rookgassen na de RGR te kunnen bewaken. Zodra een kritische grenswaarde wordt overschreden, wordt de rookgasdosering gestopt, waarmee wordt voorkomen dat bij problemen met de RGR er onacceptabele hoeveelheden schadelijke rookgassen in de kas terecht komen.
- Hierna is de WKK in bedrijfgenomen
- In de zomer van 2001 is de aquifer gevuld met lage-temperatuurwarmte afkomstig van de rookgascondensoren van de WKK's
- De warmtepomp is in de winter van 2001/2002 in bedrijfgenomen. Er zijn in het eerste jaar circa 1000 draaiuren gemaakt. De warmtepomp draaide in verband met de lage-stroomprijs alleen in de daluren.
- In 2002/2003 heeft het systeem naar behoren gefunctioneerd. In deze periode is er door de tuinder verdere ervaring opgedaan met het bedienen van de installatie en geëxperimenteerd ter optimalisatie van de inzetstrategie van de verschillende productiemiddelen.
- In de periode 2002 en 2003 was het niet mogelijk een goed beeld van elektriciteits-teruglevering en eigen elektriciteitsverbruik (voor warmtepomp, bronnen en CO₂-ventilatoren) te krijgen omdat de reeds in 2001 gevraagde complete elektriciteitsmeters – ondank herhaalde verzoeken aan het energiebedrijf – maar niet geleverd werden. De beschikbare kWh-meters bevonden zich in een afgesloten en voor de tuinder niet toegankelijke ruimte, en zijn door het energiebedrijf in die periode niet uitgelezen. Deze problemen zijn een gevolg van de organisatorische chaos die bij de splitsing van het energiebedrijf in een handelsbedrijf en netwerkbedrijf zijn ontstaan (en die met name de tweede-tranche vrije klanten van elektriciteit en gas heeft getroffen). De uiteindelijk begin 2004 verkregen afrekeningen zijn gebaseerd op de eigen elektriciteits-(productie)metingen op de WKK's, gecorrigeerd met een geschat verbruik van de warmtepomp, bronpompen en CO₂-ventilatoren.

3 **BESCHRIJVING EN ANALYSE ENERGIESYSTEEM**

3.1 **Systeemconfiguratie**

De belangrijkste bedrijfskenmerken van het bedrijf van Van der Heide aan de 1-ste Tochtweg te Nieuwerkerk aan de IJssel zijn:

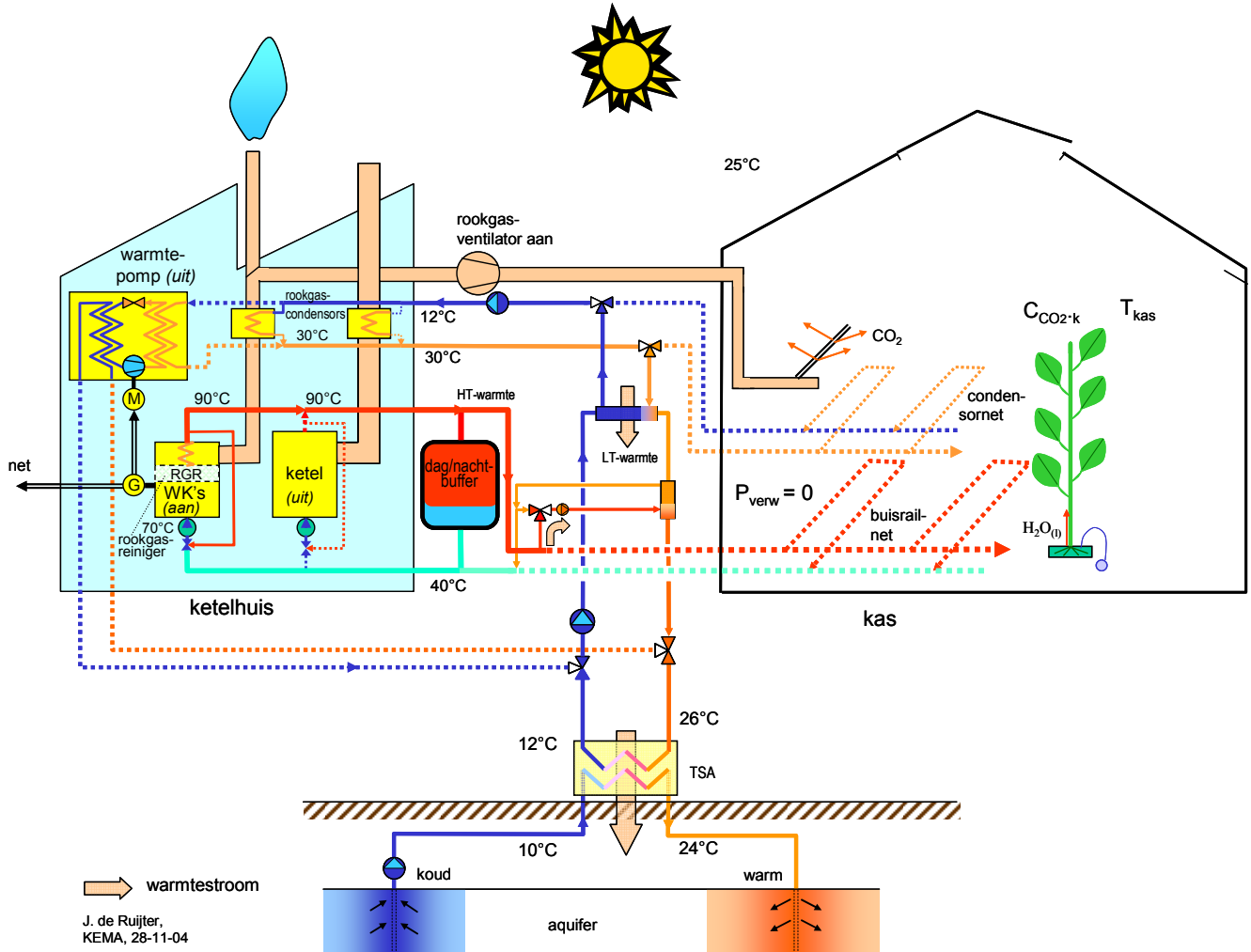
- teelt: tostomaat
- kasareaal: 2,73 ha (lengte x breedte perceel: 155 m x 200 m)
- Venlokas, kapmaat: 2 x 4 m (tralie 8 m, vakmaat 4,5 m); goothoogte: 5,3 m

Het energiesysteem van het bedrijf bestaat uit:

- 2 gasmotoren (nominaal 520 kW_e, 776 kW_{th}), elk met rookgasreiniger en rookgascondensor
- een warmtepomp (nominaal 789 kW_{th} aan warme zijde)
- ketel (4650 kW_{th})
- 2 warmtebuffers (250 respectievelijk 150 m³, totaal 400 m³)
- 3 warme en 3 koude bronnen voor warmteopslag in de bodem (3 doubletten)

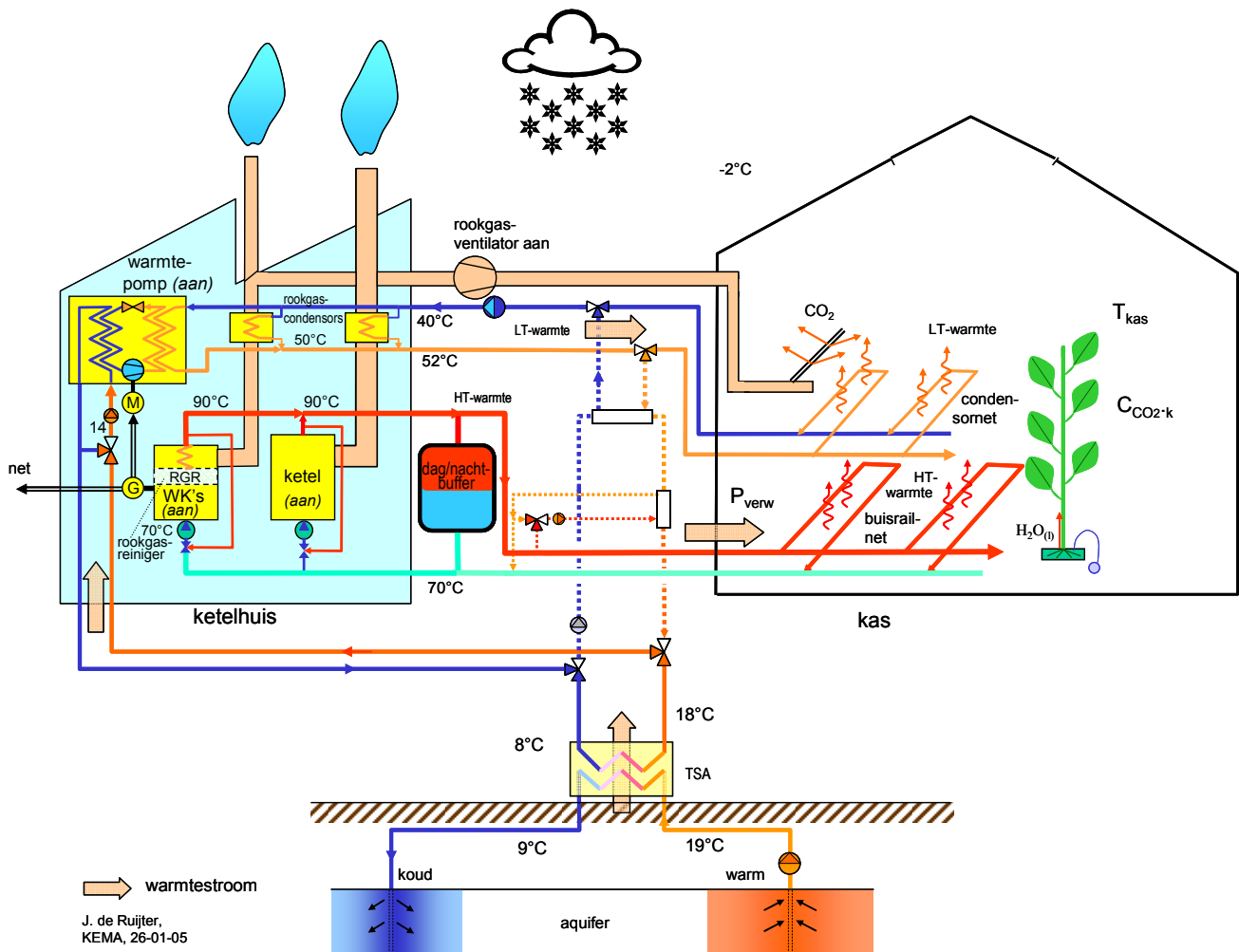
Details van de installaties zijn gegeven in bijlage A.

Figuur 3.1 toont een schematisch overzicht van de energievoorziening bij Van der Heide. Getekend is de zomersituatie waarbij de aquifer gevuld wordt met overtollige WKK-warmte.



Figuur 3.1 Principeschema van het energievoorzieningssysteem zoals bij Van der Heide toegepast. Het ketelhuis omvat een elektrische warmtepomp, een WK-installatie (bestaande uit 2 gasmotoren met rookgasreinigers en rookgascondensors) en een ketel. Voor tijdelijk opslag van warmte beschikt het bedrijf over 400 m³ bovengrondse buffercapaciteit en daarnaast over een ondergronds opslagsysteem voor lage-temperatuurwarmte in een aquifer. Getekend is een zomerdagsituatie waarbij de WK in bedrijf is voor CO₂-bemesting en elektriciteitsproductie. De overtollige warmte wordt opgeslagen in de aquifer. Elektriciteit wordt teruggeleverd aan het net. De wintersituatie is getekend in Figuur 3.2. (Voor de overzichtelijkheid zijn de beide gasmotoren en rookgasreinigers (RGR) als één WK-blok getekend. Ook de twee 'losse' dag/nachtbuffers en 3 aquiferdoubletten op het bedrijf zijn schematisch samengevoegd tot één dag/nachtbuffer respectievelijk ondergronds warmteopslagsysteem.

In **Figuur 3.2** is de wintersituatie getekend waarbij alle warmteproductiemiddelen in bedrijf zijn. De warmtepomp onttrekt warmte aan de aquifer. Alle geproduceerde warmte gaat naar de kas.



Figuur 3.2 Principeschema van de energievoorziening bij Van der Heide. Getekend is een wintersituatie waarbij de warmtepomp, de gasmotoren en de ketel alle in bedrijf zijn. De WP onttrekt warmte aan de aquifer, waardoor deze ontladen wordt. (De genoemde temperaturen zijn indicatief.)

3.2 Bronnen ondergronds warmte-opslagsysteem

Het warmtepompsysteem beschikt over 3 warme en 3 koude bronnen, elk met een ontwerpdebiet van 40 m³/h (zie opstellingstekening in bijlage A). **Figuur 3.3** toont een foto van een putbehuizing van één van de bronnen in de kas, waarin de "bronkop" en meet- en regelvoorzieningen zijn aangebracht. De onttrekking c.q. injectie van water vindt plaats in het eerste wa-

tervoerende pakket. Dit pakket strekt zich uit tussen circa 8,5 en 40 m onder het maaiveld. Daarboven ligt een slechtdoorlatende klei/veen deklaag van circa 8.5 m, eronder een slechtdoorlatende kleilaag van circa 20 m (deze informatie is afkomstig uit de grondwatervergunning, en is op zichzelf weer bepaald aan de hand van de Grondwaterkaart van Nederland en 2 sonderingen tot 32 m –mv⁷ op het betreffende terrein aan de 1-ste Tochtweg). De grondwaterstromingssnelheid in het eerste watervoerende pakket is circa 5 m per jaar (dit laatste is relatief laag⁸, hetgeen gunstig is voor beperking van de thermische verliezen (“afstroomverliezen”) als gevolg van het verplaatsen van de warme c.q. koude waterbel in de aquifer.



Figuur 3.3 Putbehuizing van één van de bronnen in de kas. In de behuizing bevindt zich de bronkop en meet- en regelvoorzieningen.

⁷ m –mv = meter onder het maaiveld

⁸ Voor een ondergronds energieopslagsysteem ligt de grondwaterstromingssnelheid bij voorkeur onder de 20 m per jaar. Op veel glastuinbouwlocaties in Nederland is dat het geval (zie voor geschiktheid van de bodem onder andere de bodemkaart op de website www.warmtepompenindeglastuinbouw.nl). Afstroomverliezen kunnen enigszins worden beperkt door een geschikte ligging van de bronnen ten opzichte van elkaar te kiezen.

3.3 Vergunningen

Om grondwater te mogen onttrekken en/of te infiltreren is onder voorwaarden een vergunning in het kader van de Grondwaterwet vereist. Elke onttrekking groter dan 10 m³/h is in ieder geval vergunningplichtig. Voor het project bij Van der Heide is vergunning aangevraagd bij de Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland door Energiebedrijf Midden-Holland op 13 oktober 1997. De vergunning is verleend op 18 juni 1998. De vergunning betreft:

- het onttrekken van maximaal 586.920 m³ grondwater per jaar
- het retourneren van het onttrokken grondwater (in hetzelfde watervoerende pakket).

Ten aanzien van de maximale debieten zijn de volgende beperkingen opgelegd: maximaal 1.608 m³ per etmaal en 48.910 m³ per maand.

In de vergunning is voorgeschreven dat de volgende zaken dienen te worden geregistreerd:

- eenmaal per kwartaal (in ieder geval bij omschakelen van zomer- naar wintersituatie en omgekeerd):
 - stand van watermeters van onttrekking en “retournering” (injectie)
 - energiehoeveelheid die aan grondwater is toegevoegd c.q. onttrokken
 - stijghoogte in filters van de peilbuizen van de warme bron W2 en koude bron K2 (zie bijlage A)
- tweemaal per jaar (aan het einde van zomer- en winterperiode):
 - monster van het water uit één van de drie onttrekkingsbronnen (hiervan dient het chloridegehalte te worden bepaald)
- dagelijks:
 - temperatuur van het te retourneren water
- maandelijks:
 - maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van het te retourneren water over de periode van de kalendermaand.

3.3.1 Handhaving van de vergunning / praktijk van de registratie

De vergunning staat anno 2004 nog op naam van Energiebedrijf Midden-Holland. De eerste jaren na het boren van de bronnen zijn er geen (gebruiks)gegevens aan de provincie verstrekt. In eerste instantie was dat omdat het warmteopslagsysteem nog niet in bedrijf genomen was. Nadat de tuinder het systeem had overgenomen en in bedrijfgesteld (en EMH inmiddels ophield te bestaan) heeft de registratie in eerste instantie geen hoge prioriteit gehad. Eind 2003 heeft de provincie bij de tuinder naar gebruiksgegevens gevraagd. Voor dat jaar kon nog worden volstaan met de melding, dat er evenveel water in de bronnen is geïnjec-

teerd als eraan onttrokken is. Voor 2004 heeft de tuinder een voorbedrukt registratieformulier ontvangen, dat vòòr 1 februari 2005 dient te worden teruggestuurd naar de provincie (Gedeputeerde Staten, Directie Groen, Water en Milieu). In dit formulier met de titel “Jaaropgave 2004 van de opgepompte en teruggevoerde hoeveelheden grondwater in de bodem” worden hoofdzakelijk gegevens gevraagd met betrekking tot het opgepompte volume (watermeterstanden per maand en berekende “verbruiken” in m³ per kwartaal). Er worden (in tegenstelling tot wat op basis van de vergunning verwacht wordt) geen thermische gegevens gevraagd. Wel is er een tabel opgenomen waarin het chloridegehalte van de putten op 1 april en 1 oktober dient te worden ingevuld.

Sinds januari 2004 wordt op het tuinbouwbedrijf wekelijks de stand van de watermeters geregistreerd. In de (Compri) computer worden de onttrekkings- en injectietemperaturen van de bronnen gemeten. Hieruit en uit het (totaal) brondebiet, dat eveneens gemeten wordt (FT1), kan het momentaan onttrokken of geïnjecteerde thermische vermogen en de geaccumuleerde warmteonttrekking c.q. –injectie worden berekend. Dit is echter (nog) niet in de software geïmplementeerd.

In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de eisen die de provincie (Zuid-Holland) tegenwoordig meestal stelt aan warmte/koudeopslagprojecten.

3.3.2 **Actueel eisenpakket vergunning grondwaterwet / provinciaal beleid**

Het onttrekken en infiltreren van grondwater valt onder de Grondwaterwet. De vergunningen worden verleend door Gedeputeerde Staten. De provincie baseert zich daarbij, naast wettelijke regelingen en verordeningen, op provinciaal beleid vastgelegd in het provinciale waterhuishoudingsplan. In de provinciale verordening staat dat alle inrichtingen met een onttrekking boven de 10 m³/h en 12.000 m³/jaar vergunningplichtig zijn. Beneden deze waarden kan met een melding worden volstaan.

De provincie Zuid-Holland, waarin het bedrijf van Van der Heide ligt, heeft beleid ontwikkeld met betrekking tot thermische energiesystemen die grondwater als medium gebruiken voor het opslaan en afgeven van energie voor verwarming of koeling. Vanwege positieve effecten voor het milieu - door energiebesparing wordt de uitstoot van schadelijke stoffen als koolmonoxide, stikstofoxiden en broeikasgassen zoals CO₂ teruggebracht en bij koeltoepassingen kan het gebruik van CFK's worden verminderd - staat de provincie niet afwijzend tegenover het toepassen van energiesystemen waarbij grondwater als opslagmedium wordt gebruikt. De mogelijkheden voor energiesystemen met grondwater zijn echter afhankelijk van de effecten op bodem, grondwater en de omgeving. Zij kunnen in principe verzilting en zettingen

veroorzaken en invloed hebben op bodemverontreiniging of andere onttrekkingen binnen het invloedsgebied. De systemen vragen veel ruimte ondergronds en beperken het gebruik van grondwater voor andere doeleinden. Dat kan tot problemen leiden als in de invloedssfeer grondwater onttrokken moet worden, bijvoorbeeld bij bouwactiviteiten. De belangrijkste criteria die de provincie hanteert bij vergunningverlening voor grondwatergebruik voor thermische systemen zijn:

1. onttrekken van grondwater voor koeling gevolgd door lozen op het oppervlaktewater of in de bodem is niet toegestaan (deze werkwijze werd vroeger vaak gebruikt bij gekoelde teelten zoals de fresia- en alstroemeriateelt)
2. thermische energiesystemen moeten gesloten zijn, zodat er via het systeem geen verontreinigingen in de bodem kunnen komen
3. energieopslag mag niet leiden tot verzilting van het grondwater. Het mag alleen worden toegepast in watervoerende pakketten die volledig zoet of zout zijn. Dit geldt ook voor zogenaamde monobronnen
4. in centra van grote steden waar ondergronds bouwen (infrastructuur) tot de mogelijkheden behoort en interactie is te verwachten tussen ondergrondse infrastructuur en opslagsystemen in het eerste watervoerende pakket, moet de energieopslag in een dieper watervoerend pakket worden geplaatst
5. warmteopslag (met temperaturen boven gemiddeld 25°C) mag geen onaanvaardbare (micro)biologische of chemische gevolgen hebben
6. bij koudeopslag mag er netto geen warmte in de bodem worden geloosd.

Toetsing van opslagsysteem van Van der Heide aan de huidige eisen:

- criterium 1 is niet van toepassing
- aan criterium 2 is voldaan
- het opslagsysteem van Van der Heide voldoet niet aan het derde criterium. Het zoet/brak-grensvlak (chloridegehalte van 150 mg/l) ligt volgens de Grondwaterkaart van Nederland op een diepte van circa NAP -20 m. Het eerste watervoerende pakket ligt tussen 8,5 en 40 m -mv (NAP -14.2m tot -45.7m). De zoet/brak grens ligt dus in het eerste watervoerende pakket. Analyse van watermonsters uit twee op locatie geplaatste peilbuisen bevestigden dat (monster van circa 13 m -mv bevatte circa 70 mg/l en dat van 30 m -mv 240 mg/l. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd, dat op de onttrekkings- en retourneringsdiepten (12 tot 32 m -mv bovenin zoet en onderin licht brak water in de aquifer zit. Door gebruik van het opslagsysteem zal er dus vermenging van zoet en brak water optreden, wat volgens de huidige criteria niet meer is toegestaan.
- criterium 4 is niet van toepassing
- criterium 5 is niet van toepassing, omdat de laadtemperatuur onder de 25°C blijft

- criterium 6 betekent dat er over een lange termijn (minimaal een jaar, vaak wordt een periode van 5 jaar aangehouden), net zoveel (of meer) warmte aan de bodem wordt onttrokken dan er aan wordt toegevoerd. De jaarlijks geladen en ontladen energiehoeveelheden worden helaas niet geregistreerd. Wel zijn de geladen en ontladen watervolumina geregistreerd. In 2004 is circa 127 500 m³ “warm” water aan de aquifer onttrokken (“ontladen” ten behoeve van de warmtepomp) en circa 75 000 m³ “warm” water geïnjecteerd (overschot WKK-condensor- en eventueel hoge-temperatuur WKK-warmte). Bij een geraamd gemiddeld temperatuurverschil tussen warme en koude bron bij ontladen⁹ van circa 9 K betekent dit dat circa 1339 MWh is ontladen. Het gemiddelde geschatte temperatuurverschil bij laden van de aquifer is ongeveer 15 K. Hierbij zou circa 1312 MWh zijn geladen. Uitgaande van deze ramingen zou de bodem dus netto niet worden opgewarmd.

Vergunningaanvraag / verlening

Bij warmte/koudeopslagprojecten is het zaak tijdig een vergunning aan te vragen voor grondwateronttrekking en –retournering zoals de Grondwaterwet vereist (indien meer dan 10 m³/h onttrokken wordt). Het hele vergunningtraject kan zo'n 7 à 8 maanden in beslag nemen. De vergunningprocedure is schematisch weergegeven in bijlage D.

Het vergunningtraject begint met de vergunningaanvraag bij Gedeputeerde Staten (middels een vergunningaanvraagformulier). Deze dient vergezeld te gaan van een effectenstudie waarin onder meer de volgende aspecten dienen te worden gekwantificeerd:

- grondwaterstandveranderingen
- temperatuurveranderingen in de bodem
- zettingen
- beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit
- soms: emissiebeperking door energiebesparing.

Leges

Voor het verkrijgen van een vergunning Grondwaterwet worden door de provincie in sommige gevallen leges in rekening gebracht. De leges zijn éénmalige kosten voor het in behandeling nemen van de vergunningaanvraag. Per provincie kunnen deze leges sterk uiteenlopen, waarbij over het algemeen de grootte van het koude-/warmteopslagsysteem een rol speelt. Per project zal informatie bij de provincie opgevraagd dienen te worden om een indicatie van de hoogte van de leges te verkrijgen. De leges lopen van circa EUR 4.500,-- in de provincie Drenthe tot circa EUR 27.000,-- in de provincie Gelderland (bij een verplaatste waterhoeveelheid van circa 1.000.000 m³ per jaar). In de provincie Zuid-Holland en Flevoland worden

⁹ op basis van gesprekken met van der Heide is uitgegaan van temperaturen van gemiddeld 18 °C (warm) respectievelijk 9 °C (koud) voor 'ontladen' van de aquifer, en 25 °C(warm) respectievelijk 10 °C voor het laden.

er geen leges geheven. Voor grondwaterontrekkingen bij (gesloten) koude/warmteopslag-systemen hoeven geen heffingskosten (per m³ onttrokken water) te worden betaald, omdat het onttrokken water weer wordt geïnjecteerd.

Overige wetgeving

Nadat de bronnen zijn geboord moeten ze, om slib en zandvrij grondwater te kunnen leveren, worden schoongespoeld. Tijdens het schoonspoelen wordt grondwater onttrokken dat kan worden geloosd op het riool of op oppervlaktewater. Afhankelijk van de locatie heeft het onttrokken grondwater een hoog chloride gehalte waardoor lozing op riool of klein oppervlaktewater niet toegestaan zal worden. In overleg met het bevoegd gezag (gemeente, hoogheemraadschap of waterschap) zal in zo'n geval gezocht moeten worden naar andere alternatieven, bijvoorbeeld ruim ontvangend oppervlaktewater. In dit geval zal echter een aparte vergunning (proceduretijd 7½ maand) opgestart moeten worden.

3.4 Inzetstrategie productiemiddelen

De laad- respectievelijk ontladstrategie van het ondergrondse warmteopslagsysteem in de aquifer (en van de dag/nachtwarmtebuffer) zijn hieronder beknopt beschreven:

Laden van warmte in de aquifer

Laden van de aquifer gebeurt in het warme deel van het jaar (van ongeveer midden mei tot eind september). De warmte is afkomstig van de gasmotoren die in principe tijdens plateau-uren (maandag tot en met vrijdag van 07:00 tot 23:00) draaien en op zaterdag en zondag overdag. In het eerste en laatste deel van genoemde periode wordt alleen de condensorwarmte van de gasmotoren geladen (circa $2 \times 124 = 248$ kW). Dit gebeurt met één bronpomp met een nominaal debiet van circa 40 m³/h. Middels een regelklep in het broncircuit wordt het debiet zodanig geregeld dat een (warme bron) laadtemperatuur van circa 25°C wordt gerealiseerd. De hoge-temperatuurwarmte van de gasmotor wordt in eerste instantie opgeslagen in de (bovengrondse) hoge-temperatuurbuffer (HT-buffer). Als de buitentemperatuur zodanig hoog wordt, dat de verwachting bestaat dat de buffer vóór het verstrijken van de plateauperiode vol is, dan wordt een deel van de HT-warmte van de gasmotor 'bijgemengd' in het (secundaire) laadcircuit van de aquifer (zie ook **Figuur 3.1**). Afhankelijk van de grootte van het warmteoverschot worden één of twee bronpompen bijgeschakeld om de juiste laadtemperatuur te realiseren.

Ontladen van warmte uit de aquifer

Aan de aquifer wordt van ongeveer half oktober tot begin mei warmte onttrokken als bronwarmte voor de warmtepomp. In principe komt de warmtepomp in die periode, mits het buiten voldoende koud is, in bedrijf tijdens de daluren (maandag tot en met vrijdag van 23:00 tot 07:00, en zaterdag en zondag de gehele dag). Tegelijkertijd met de WP is minimaal één gasmotor in bedrijf. De tweede gasmotor kan in bedrijf zijn, maar eventueel gedurende de dalperiode ook uitgezet worden, als de actuele warmtevraag zo laag is, dat de buffer anders niet bij het begin van de plateauperiode (07:00) op de gewenste minimumvulling is (bijvoorbeeld 30%).

Tabel 3.1 hieronder geeft een overzicht van de verschillende bedrijfssituaties die bij het energiesysteem van Van der Heide kunnen optreden. Van elk productiemiddel is per situatie aangegeven of het normaliter in bedrijf is of niet, en zo ja waar de warmte (c.q. elektriciteit en CO₂) naar toe gaan. In de tabel zijn zomer- en wintersituaties onderscheiden. Onder “zomer” wordt in dit verband ook verstaan “late lente” en “vroeg herfst” en onder “winter” ook “late herfst” en “vroeg lente”.

Tabel 3.1 Inzettafel van energieproductiemiddelen

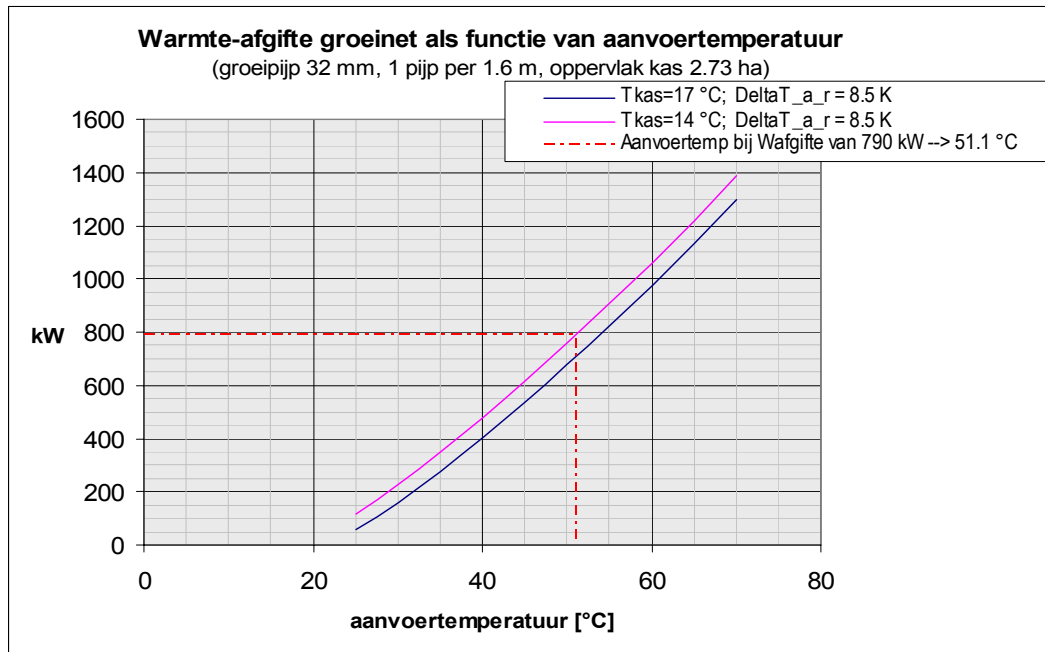
Seizoen	dagdeel	WKK1 WKK2	rookgascon- densor	warmtepomp	ketel	warmtebuffer	ondergrondse warmteopslag ATES ¹⁾
zomer	dag ma-vr	beide WKK's aan E→teruglevering W→buffer (indien buffer voor einde plateau vol is, deel W naar ATES)	in gebruik CO ₂ →kas LT-W→ATES	uit	uit	laden	laden (op 25°C)
zomer	dag za-zo	beide WKK's aan (1 WKK indien er weinig licht is) E→teruglevering W→buffer (indien buffer voor einde plateau vol is, deel W naar ATES)	in gebruik CO ₂ →kas LT-W→ATES	uit	uit	laden	laden (op 25°C)
zomer	nacht	beide uit	uit	uit	uit	ontladen W→ bodemnet W→ groeibuis	uit
winter	dag ma-vr	beide aan E→teruglevering W→kas bodemnet rest W→ buffer	in gebruik CO ₂ →kas LT-W→kas (groeinet)	uit	uit	- laden, indien warmte over; - bij koud weer: zolang dagvo- lume gas niet bereikt 'reser- veren' **)	uit
winter	dag za-zo	2 WKK's aan (bij zacht weer slechts 1 WKK aan) E→teruglevering (deel naar WP) W→ kas bodemnet rest W→ buffer	in gebruik CO ₂ →kas? LT-W→ groei- buis	aan LT-W→ groei- buis (Twp≈52°C) òf indien tempe- ratuur bodemnet < 40°C: LT-W→ ook bodemnet (Twp≈35°C)	uit (eventueel aan bij koud weer i.v.m. re- serveren van warm- te)	- laden indien warmte over - bij koud weer: zolang dagvo- lume gas niet bereikt 'reser- veren'	ontladen
winter	nacht	1 WK aan voor WP E→WP E→teruglevering W→kas bodemnet Indien weinig warm- te nodig, dan even- tueel WK uit (afhan- kelijk van E-prijs)	in gebruik CO ₂ →buiten LT-W→ afge- ven aan koud water onder uit buffer; dit enkele graden opgewarmde water gaat naar hoofdcoolcircuit van WKK	aan LT-W→ groei- buis (Twp≈52°C) òf indien tempe- ratuur bodemnet < 40 °C: LT-W→ ook bodemnet (Twp≈35°C)	eventueel aan, zodra W-buffer leeg is (of dreigt te worden)	ontladen W→ bodemnet	ontladen

¹⁾ ATES = aquifer thermal energy storage; E = elektriciteit, W= warmte, LT-W = lage-temperatuurwarmte

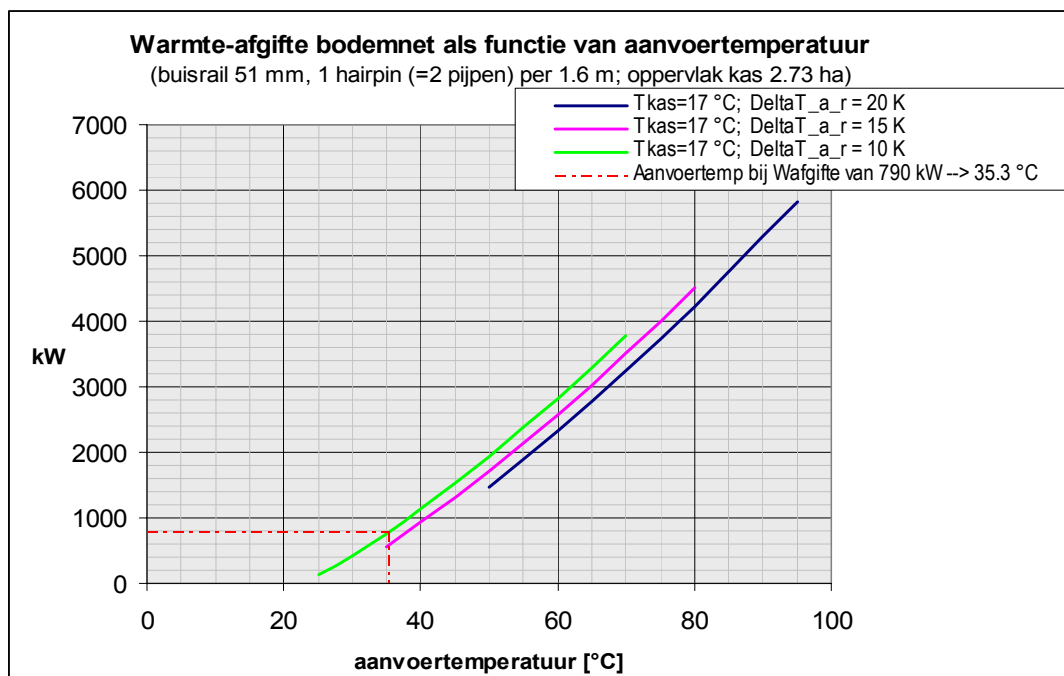
***) reserveren: laden van warmte in de buffertank, om op (latere) momenten van grote warmtevrage niet over het gecontracteerde dagvolume heen te gaan. Het reserveren wordt handmatig door de tuinder/bedrijfsleider geïnitieerd aan de hand van de weersvoorspelling.

Opmerkingen

- de warmtepomp geeft de warmte normaliter af via het groeinet. De aanvoertemperatuur moet dan circa 51-55°C bedragen – zie **Figuur 3.4** - om het volledige thermische vermogen van warmtepomp te kunnen afgeven aan de kas (circa 790 kW_{th} op vollast)
- in sommige situaties, als de temperatuur van het bodemnet lager is dan circa 40°C, dan kan de WP-warmte ook via dit net worden afgegeven. Het voordeel hiervan is dat de warmtepomp dan vanwege de lagere leveringstemperatuur met een betere COP kan draaien. (Het groeinet kan bij een aanvoertemperatuur van 40°C slechts circa 400 à 435 kW afgeven bij een kastemperatuur van 17 respectievelijk 14°C, zie **Figuur 3.4**. Bij het bodemnet is dit circa 900-1100 kW bij een kastemperatuur van 17°C en een uitkoeling van 15 respectievelijk 10 K, zie **Figuur 3.5**)
- de warmtepomp wordt alleen op vollast bedreven
- in principe is, als de WP draait, minimaal één gasmotor in bedrijf voor de opwekking van de elektriciteit benodigd door de WP (mits de WK-warmte in de kas kan worden gebruikt). Indien de benodigde elektriciteit aan het net zou worden onttrokken, zou dit een relatief hoge transportkosten met zich meebrengen, omdat deze kosten (grotendeels) door de hoogte van de elektriciteitspiek bepaald worden (ongeacht de duur ervan)
- als de WP in bedrijf is, wordt de condensorwarmte van de WK afgegeven aan koud water dat onder uit de buffer wordt onttrokken. Dit voorgewarmde water wordt verder gebruikt als koelwater voor de motor en de rookgassen en vervolgens als hoge-temperatuur warmte opgeslagen in de buffer
- kastemperatuurregeling 's winters als WP in bedrijf is: de WP draait op vollast (basis-warmteproductie). De kastemperatuurregeling grijpt via de temperatuurregelingen van de buisrailverwarmingen in de verschillende afdelingen in op de hoeveelheid heet water die via de verdeler aan de bovengrondse buffer wordt onttrokken. Afhankelijk van de warmtebehoefte wordt meer of minder warmte aan de buffer onttrokken.



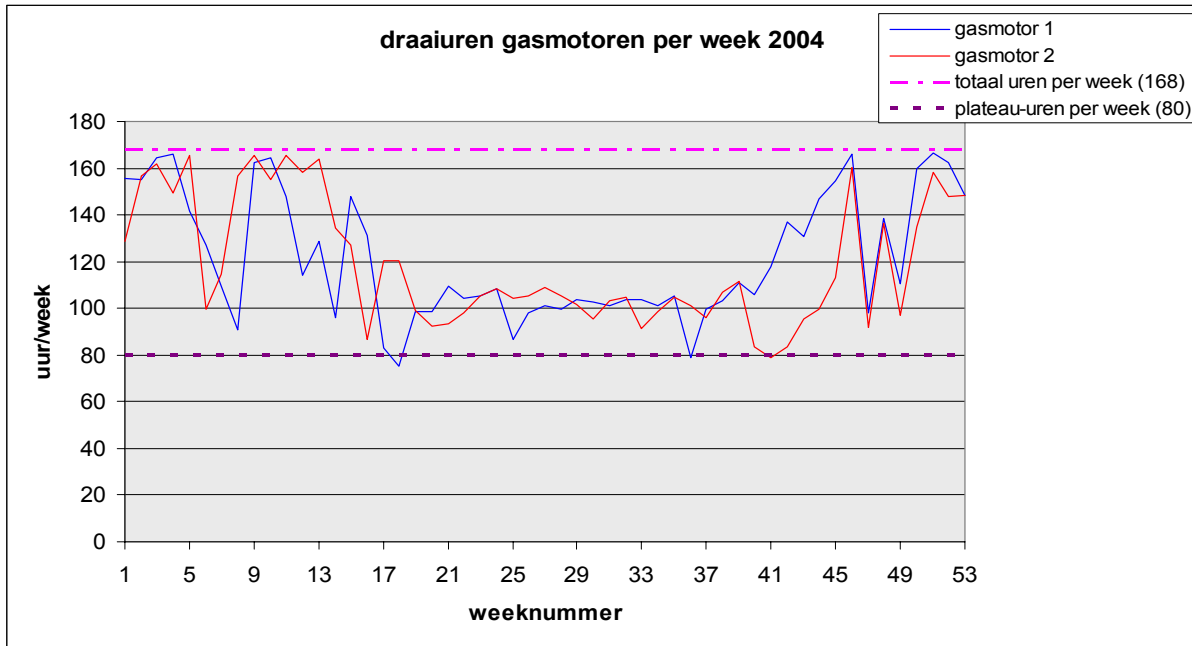
Figuur 3.4 Warmteafgifte van groeinnet als functie van aanvoertemperatuur (bij verschillende waarde van de kasttemperatuur en een vast temperatuurverschil ΔT_{a_r} van 8.5 K tussen aanvoer en retour).



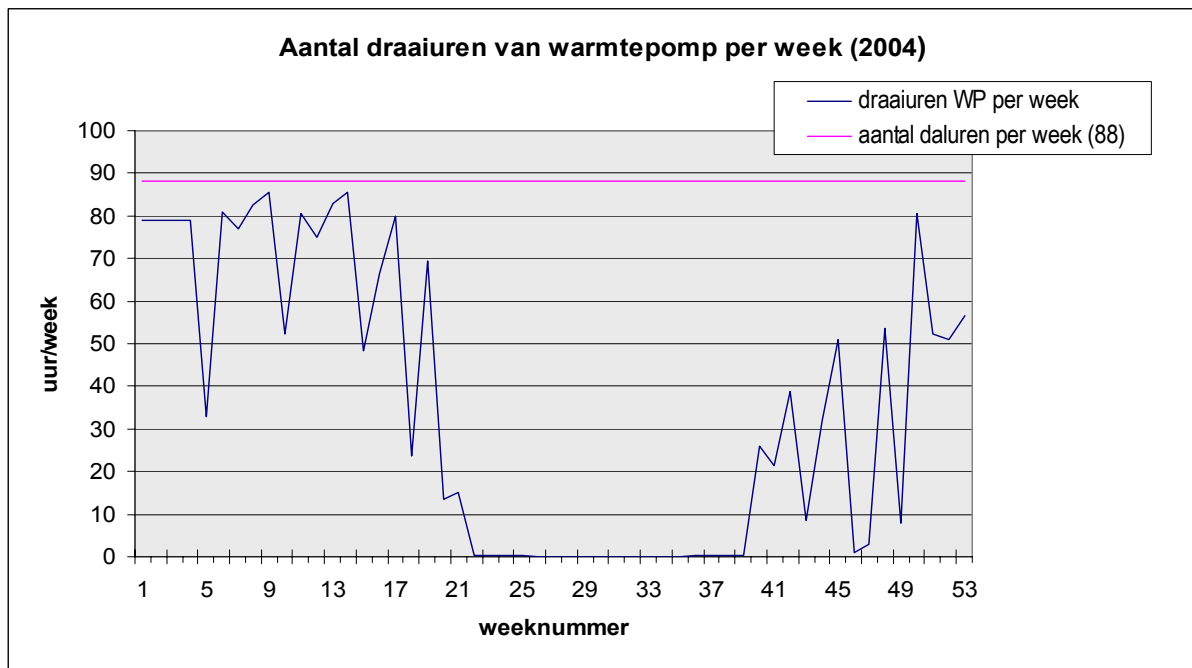
Figuur 3.5 Warmteafgifte van bodemnet (buisrail) als functie van aanvoertemperatuur (bij verschillende waarden van het temperatuurverschil ΔT_{a_r} tussen aanvoer en retour voor een kasttemperatuur van 17°C).

3.4.1 Overzicht gerealiseerde inzet productiemiddelen

Figuur 3.6 respectievelijk Figuur 3.7 laten de gerealiseerde inzet van de gasmotoren respectievelijk de warmtepomp over een heel jaar zien (cijfers voor 2004). Horizontaal staat het weeknummer uit en verticaal het aantal draaiuren per week.



Figuur 3.6 Aantal draaiuren per week van de gasmotoren in 2004



Figuur 3.7 Aantal draaiuren per week van de warmtepomp in 2004

Uit **Figuur 3.6** blijkt duidelijk dat de gasmotoren met name in de eerste 16 weken (januari – april) en vanaf week 41 tot en met 53 (oktober – december) het grootste deel van de week in bedrijf waren. Behalve in de plateau-uren (80 uur per week, maandag – vrijdag van 07:00 tot 23:00) waren de gasmotoren in die perioden ook gedurende een groot deel van de daluren in bedrijf (zowel in de weekeinden overdag als ook een groot deel van de nachten). Van week 17 tot week 40 was de inzet beperkt tot de plateau-uren, aangevuld met een beperkt aantal daluren (met name in de weekenden overdag voor CO₂-bemesting). Het totaal aantal draai-uren van gasmotor 1 in 2004 bedroeg 6428 uur (73,4% van het jaar) en van gasmotor 2 6293 uur (71,8%). In 2003 lag het aantal draaiuren iets hoger: 6547 respectievelijk 6395 uur. Gemiddeld draaien de gasmotoren circa 20% minder dan de 8000 uur die bij de projectstart was beoogd.

De warmtepomp was in bedrijf van week 1 tot en met 21 en van week 40 tot en met 53. De warmtepomp draaide alleen in daluren. (Het aantal draaiuren per week komt nergens uit boven het maximale aantal daluren van 88 per week). Het totaal aantal draaiuren van de warmtepomp in 2004 bedroeg 1855 uur (21,2% van de tijd).

3.5 **Vergelijken bedrijfsvoering van WP/WKK/warmteopslagsysteem met conventioneel energievoorzieningssysteem**

In deze paragraaf wordt het WP/WKK/warmteopslagsysteem vergeleken met een conventioneel energievoorzieningssysteem bestaande uit een gasgestookte ketel die wordt gebruikt voor kasverwarming en CO₂-bemesting, en een warmtebuffer.

3.5.1 **Algemene vergelijking**

In principe heeft het WP/WKK/warmteopslagsysteem de volgende voordelen ten opzichte van het referentiesysteem:

- meer CO₂: bij CO₂-dosereren met de WKK wordt per vrijkomende hoeveelheid warmte veel meer CO₂ geproduceerd dan met een ketel. Dit betekent dat in het warme deel van het jaar meer CO₂ kan worden gedoseerd zonder warmteoverschot. (Dit leidt of tot een hogere productie door een hogere CO₂-concentratie of tot een lager warmteoverschot).
- bewaren warmteoverschot: als de warmtevraag zo laag is dat er op dagbasis toch een warmteoverschot zou ontstaan, dan kan deze warmte worden opgeslagen in de ondergrondse opslag en kan dan (grotendeels) alsnog in de winter worden gebruikt.
- extra inkomsten uit elektriciteit: de WKK's produceren elektriciteit die grotendeels overdag wordt opgewekt en wordt teruggeleverd aan het net. Dit is een bijproduct dat in de plateau-uren een aanzienlijke waarde vertegenwoordigt (in verhouding tot de gaskosten) en daardoor bijdraagt aan het terugverdienen van de investering.
- efficiënte warmteproductie in de winter: in de winter kan met behulp van de warmtepomp een aanzienlijk deel van de benodigde warmte met een gering beslag op hoogwaardige energie worden geproduceerd en bespaart daardoor energie en kosten.
- flexibiliteit: met de warmtepomp heeft de tuinder een extra warmteproductieapparaat gekregen en daarmee een stuk gereedschap dat de flexibiliteit biedt om beter binnen de grenzen van het gascontract (dagvolumesysteem) te opereren. Dit leidt tot minder over- of onderschrijdingen van het dagvolume en daardoor tot lagere gaskosten.

Het WP/WKK/warmteopslagsysteem heeft ook nadelen:

- LT-net nodig: voor een goede inpassing van een warmtepomp is een extra lage-temperatuurnet nodig om gedurende het hele stookseizoen het gehele WP-vermogen te kunnen afzetten (het LT-net dient groter te zijn dan toch al nodig is voor de rookgascondensors)
- hogere investering: er dient behalve in de ketel en de buffer te worden geïnvesteerd in de gasmotoren, de warmtepomp en het ondergrondse warmteopslagsysteem
- vergunning nodig: om een ondergronds warmte/koudeopslagsysteem aan te mogen leggen is een vergunning nodig. De aanvraag daarvan kost tijd en geld

- registratieverplichting: bij de vergunning hoort in het algemeen een registratieplicht. Diverse grootheden (zoals verpompt volume, temperaturen, stijghoogte e.d.) dienen periodiek te worden gemeten.
- complexiteit: door toevoeging van de warmtepomp en warmteopslagsysteem wordt de regeling van het energiesysteem weliswaar flexibeler maar ook complexer. Fouten in de inzetstrategie kunnen geld kosten.

3.5.2 Energetische vergelijking

Zoals in paragraaf 3.5.1 al aangegeven kunnen op zomerdagen (met geen of een geringe warmtevraag) energieverliezen bij CO₂-doseren worden voorkomen door de overtollige warmte op te slaan in een aquifer. De opgeslagen warmte kan in de winter met een relatief geringe hoeveelheid hulpenergie (elektriciteit) weer worden opgewaardeerd en in de kas worden gebracht. Deze warmte zou anders met de ketel moeten worden geproduceerd.

Om het gerealiseerde energetische voordeel precies in kaart te brengen, zou het energiesysteem op een voldoende groot aantal procespunten (elektrische vermogens, debieten, temperatuurverschillen en dergelijke) over een representatieve periode (minimaal een jaar) gemonitord moeten worden. Dit is in een vervolgfase van het onderhavige project voorzien. In deze paragraaf zal een beschouwing van het energiebesparingsperspectief worden gegeven op basis van een theoretische systeemanalyse uitgaande van de ontwerpkenmerken van het systeem (deze zijn gegeven in bijlage A; de belangrijkste zijn ook genoemd in **Tabel 3.2**).

Tabel 3.2 Overzicht belangrijkste (ontwerp)kenmerken van productiemiddelen

Ontwerpdata warmtepompsysteem		
Thermisch vermogen WP	789 kW	Bij WP-watertemperaturen van 14/8°C primair en 52/41°C secundair
Primair thermisch vermogen	594kW	bronwarmte
COP (coefficient of performance)	4.05	
Benodigd elektriciteitsverbruik	195 kW _e	
Elektrisch vermogen van één gasmotor (GM)	523 kW _e	
Elektrisch rendement gasmotor	36%	op onderwaarde
Thermisch rendement GM zonder rookgascondensator	53%	= 770 kW _{th} per gasmotor
Thermisch rendement rookgascondensator GM	8,5%	= 123 kW _{th} per gasmotor
(gemiddeld deellast) rendement ketel	98%	op onderwaarde (met condensator)

In **Figuur 3.8** zijn de volgende 4 systemen voor de productie van warmte en elektriciteit vergeleken:

1. ketel + elektriciteitscentrale: een gasketel op het bedrijf produceert de benodigde warmte; elektriciteit wordt opgewekt in een (gemiddelde) elektriciteitscentrale. Deze (gescheiden) productiewijze wordt als referentie beschouwd
2. WKK + EWP: warmtekrachtinstallatie (gasmotor) plus een elektrische warmtepomp. De WKK levert elektriciteit voor de EWP en levert het overschot terug aan het net. De benodigde warmte wordt geleverd door de EWP aangevuld met warmte van de WKK.
3. EWP + ketel + elektriciteitscentrale: de benodigde warmte wordt geleverd door de EWP aangevuld met warmte van de ketel. De elektriciteit voor aandrijving van de WP wordt betrokken uit het net.
4. WKK + ketel: de WKK produceert elektriciteit en warmte; de WKK-warmte wordt aangevuld met warmte van de ketel.

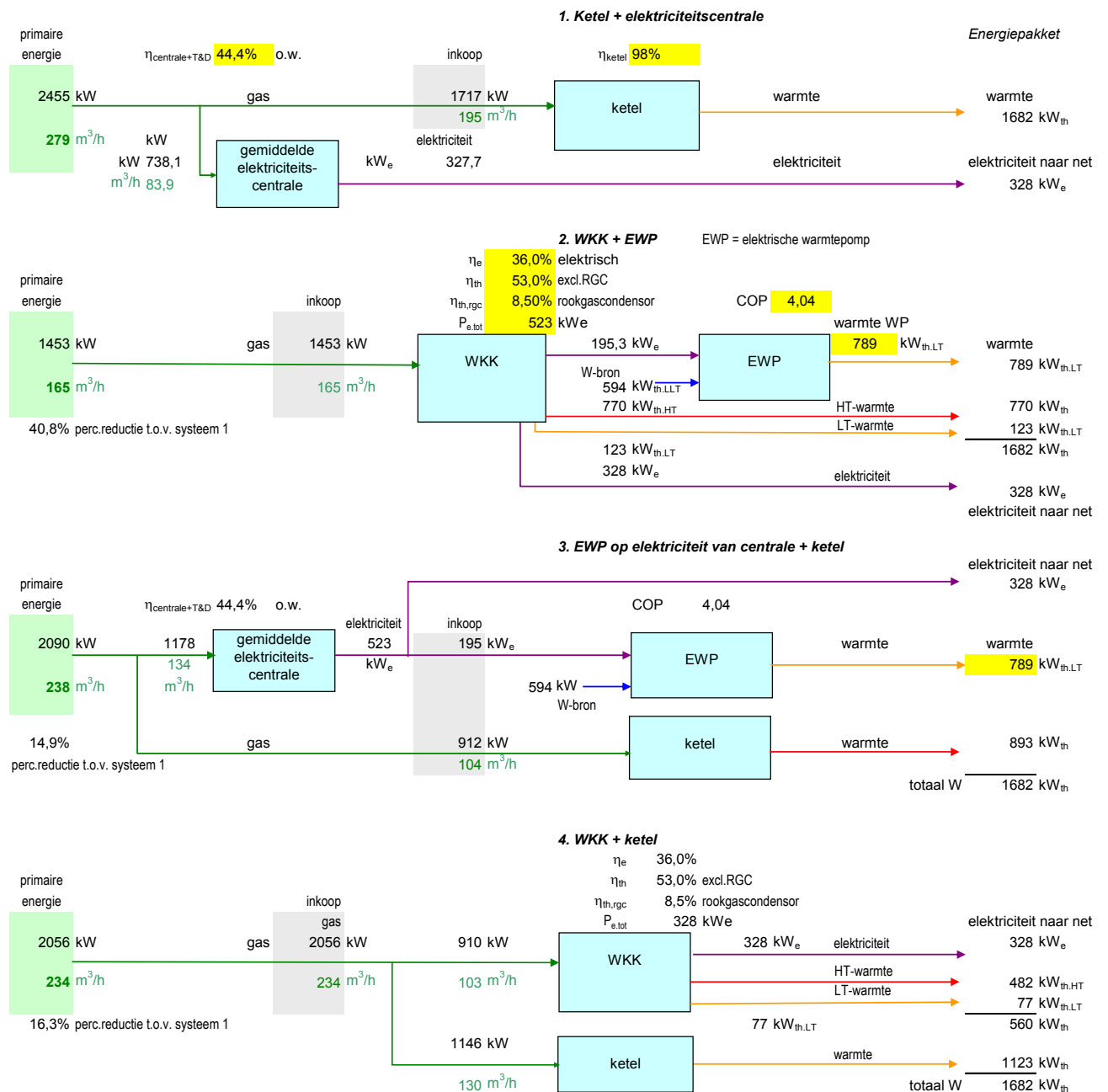
Om de systemen onderling te kunnen vergelijken, wordt bij elk systeem uitgegaan van het zelfde “energiepakket”, dat wil zeggen dat dezelfde hoeveelheid warmte en (netto-beschikbare) hoeveelheid elektriciteit wordt geproduceerd. De warmte wordt op het bedrijf gebruikt. De netto-beschikbare elektriciteit wordt geleverd aan het net. In de eerste vergelijking (zie **Figuur 3.8**) bestaat het energiepakket (of eigenlijk “vermogenspakket”) uit 1682 kW warmte en 328 kW elektriciteit. Deze situatie is gebaseerd op het draaien van één van de twee gasmotoren. In de tweede vergelijking (zie figuur 3.4) draaien er 2 gasmotoren. Het energiepakket is dan 2576 kW warmte en 850 kW elektriciteit. Voor elk van de systemen is berekend hoeveel primaire energie (in kW en in m³/h aardgas equivalent) nodig is om het betreffende energiepakket te produceren (getallen in de groene velden aan de linkerkzijde). Tabel 3.3 geeft de uurverbruiken en de procentuele besparingen ten opzichte van het referentiesysteem 1 (gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte).

Tabel 3.3 Primair energieverbruik per uur van verschillende energieconcepten bij verschillende energiepakketten

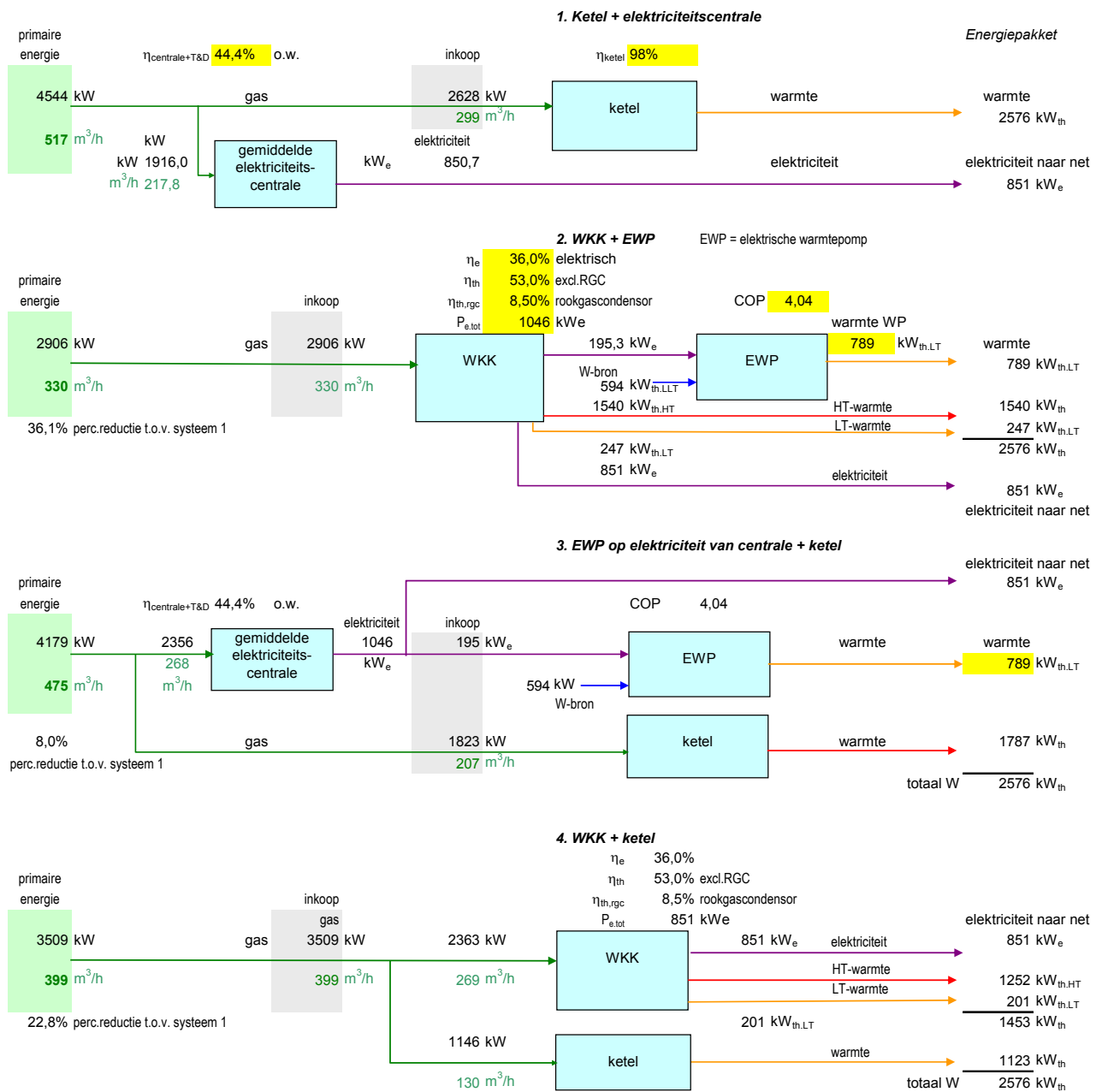
energiepakket	pakket 1		pakket 2	
	328 kWh _e 12.0 W _e /m ²	1682 kWh _{th} 61.6 W _{th} /m ²	851 kWh _e 31.2 W _e /m ²	2576 kWh _{th} 94.4 W _{th} /m ²
energiesysteem	primair E- verbruik m ³	procentuele besparing tov referentie	primair E- verbruik m ³	procentuele besparing tov referentie
1. ketel + elektriciteitscentrale (referentie)	279.1	0%	516.6	0%
2. WKK + EWP	165.1	40.8%	330.3	36.1%
3. EWP+electriciteitscentrale +ketel	237.5	14.9%	475.1	8.0%
4. WKK + ketel	233.7	16.3%	398.8	22.8%

Voor het centralerendement (inclusief transport- en distributieverliezen) is uitgegaan van het omzettingsrendement zoals gebruikt bij de energienormering in het Besluit glastuinbouw (herrekend naar onderste verbrandingswaarde): 44.4%.

Uit **Figuur 3.8** en **Figuur 3.9** en tabel 3.3 blijkt dat voor beide situaties (energiepakketten) het systeem bestaande uit een WKK met EWP het meest energiezuinig is met besparingspercentages van 40,8% respectievelijk 36,1% ten opzichte van het referentiesysteem 1.

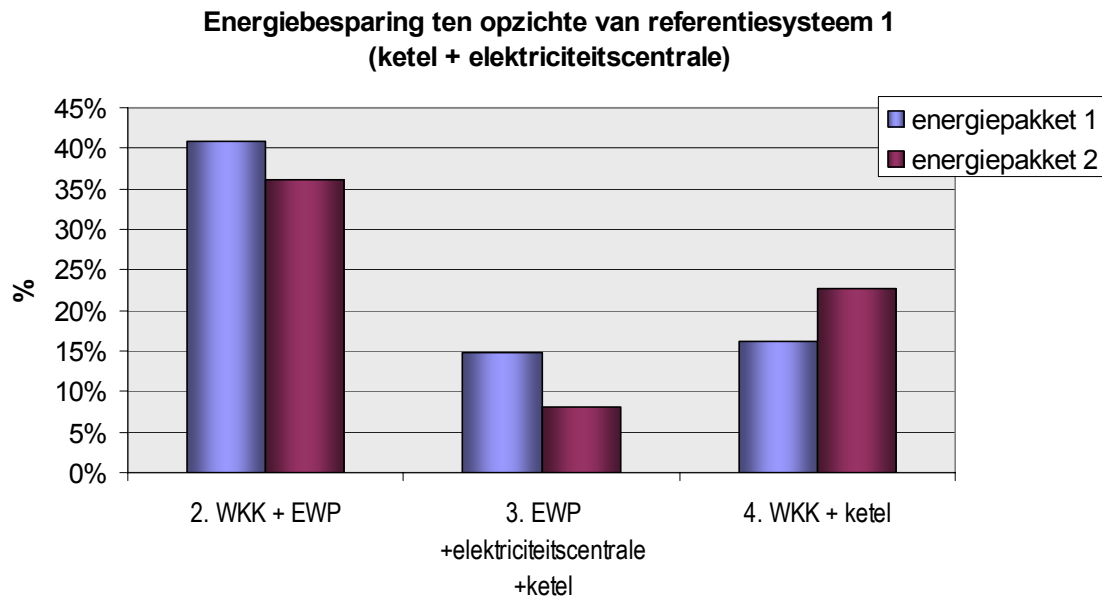


Figuur 3.8 Vergelijking van het primaire energieverbruik van 4 verschillende energiesystemen uitgaande van een energiepakket van 1682 kW warmte (61,6 W/m²) en 328 kW elektriciteit (12,0 W/m²). Systeem 2 is het meest zuinig en verbruikt bijna 41% minder dan referentiesysteem 1. (Bij dit energiepakket is in de WKK/EWP-variant één WKK-eenheid, zoals bij Van der Heide staat opgesteld, in bedrijf.)



Figuur 3.9 Vergelijking van het primaire energieverbruik van 4 verschillende energiesystemen uitgaande van een energiepakket van 2576 kW warmte (94,4 W/m²) en 851 kW elektriciteit (31,2 W/m²). Ook hier is systeem 2 het meest zuinig en verbruikt bijna 36% minder dan referentiesysteem 1. (Bij dit energiepakket zijn in de WKK/EWP-variant twee WKK-eenheden zoals bij Van der Heide staan opgesteld in bedrijf.)

Bij pakket 1 is systeem 4 (WKK+ketel) iets zuiniger dan systeem 3 (EWP+centrale+ketel): 16,3% besparing versus 14,9%. Bij pakket 2 is systeem 4 veel zuiniger dan systeem 3 (22,8% versus 8,0% besparing). De besparingen zijn grafisch uitgezet in **Figuur 3.10**.



Figuur 3.10 Procentuele energiebesparing van energiesysteem met EWP en/of WKK ten opzichte van referentiesysteem bestaande uit ketel en elektriciteitscentrale (voor energiepakket 1 respectievelijk 2).

Conclusies van de analyse zijn:

- indien de warmte gebruikt kan worden, is het energetisch gunstig een WKK in te zetten
- de energie-efficiency kan verder worden verbeterd, door ketelwarmte te vervangen door warmte van een warmtepomp (dus inzet van EWP in plaats van bijstoken met ketel).

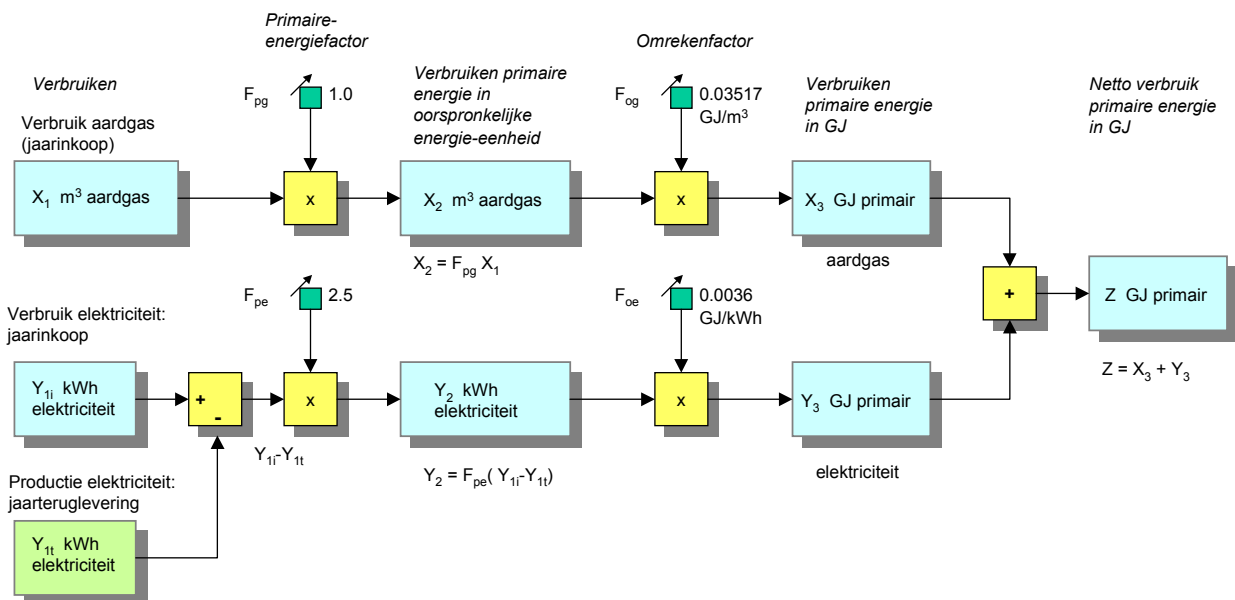
Bij deze cijfers moet worden bedacht dat:

- het gaat om momentopnamen. De besparing van de WKK+EWP-combinatie zal niet gedurende het hele jaar zo hoog zijn, omdat in grote delen van het jaar de (gemiddelde dag) warmtevraag lager is dan de warmtehoeveelheid die één WK (op vollast, tijdens plateau-uren) levert. In die situatie heeft het geen zin de warmtepomp in bedrijf te hebben.
- de warmtepomp heeft bronwarmte nodig. Dit is in het onderhavige systeem warmte die oorspronkelijk afkomstig is van de WK-installatie, waarvoor toen geen nuttige verwarmingstoepassing was (uitgesteld gebruik). Ervan uitgaand dat deze overtollige warmte anders niet geproduceerd zou zijn en de bijbehorende hoeveelheid WKK-elektriciteit ook niet - deze zou dan door een centrale moeten worden opgewekt -, moet het berekende energetische voordeel worden gecorrigeerd. De procentuele besparing van van systeem 2 (WKK + EWP) daalt dan voor energiepakket 1 van 40,8% naar 33,4% en voor energiepakket 2 van 36,1% naar 32,0% (zie bijlage B). Deze percentages zijn nog steeds indrukwekkend.

- Onder de aanname dat de surplus WKK-warmte sowieso zou zijn geproduceerd - economisch zinvol in de situatie dat de teruggeleverde elektriciteit van de WKK plus de extra verwachte groeiopbrengsten door CO₂-bemesting groter zijn dan de benodigde extra brandstofkosten - zou deze warmtehoeveelheid anders (zonder ondergrondsopslag-systeem en EWP) verloren zijn gegaan en betekent het gebruik door de warmtepomp dus netto wel de in Tabel 3.3 genoemde hogere energetische besparingen.

3.5.3 Energieverbruik versus energienorm

In deze paragraaf wordt het primaire energieverbruik van het bedrijf in kaart gebracht en vergeleken met de energienormen uit het Besluit glastuinbouw. In het primaire energieverbruik worden de input- en outputenergiestromen van het bedrijf gewogen (afhankelijk van de energiesoort), gesaldeerd en op jaarbasis geaccumuleerd. De berekening is schematisch in kaart gebracht in **Figuur 3.11**. Inputstromen zijn het gasverbruik en de ingekochte elektriciteit. Bij Van der Heide is er verder één outputstroom: de teruggeleverde elektriciteit. Voor 2003 en 2004 zijn de verbruiken conform het schema van **Figuur 3.11** berekend en vergeleken met de normen (zie **Tabel 3.4**).



Figuur 3.11 Schematische voorstelling van de berekening van het primaire-energieverbruik uit het jaarverbruik van aardgas en de jaarinkoop c.q. jaarteruglevering van elektriciteit. De waarden van de primaire-energiefactoren stemmen overeen met die uit het Besluit glastuinbouw. Conform het Besluit is voor de energie-inhoud van het verbruikte aardgas de ‘bovenste’ verbrandingswaarde (bw) genomen. In het rekenschema van het Besluit zijn voor de omrekening van elektriciteit van kWh naar GJ voor het gemak de factoren F_{pe} en F_{oe} samengenomen tot één factor 0.009 GJ/kWh (= 2.5x0.0036 GJ/kWh).

Tabel 3.4 Overzicht primair energieverbruik van het bedrijf en vergelijking met energienormen uit het Besluit-glastuinbouw.

Jaar	Primair energieverbruik bedrijf (GJ/ha)	Energienorm tomaat GJ/ha	Reductie ten opzichte van norm
2003	11279	19562	42,3%
2004	11804	19326	38,9%
2010		17909	34,1% (bij verbruik 2004)

Uit **Tabel 3.4** blijkt - evenals uit de analyses in paragraaf 3.5.2 - dat het WKK+WP+ATES systeem energetisch gezien zeer goed scoort¹⁰. In 2004 lag het verbruik circa 39% lager dan de norm. Om een idee te krijgen wat de bijdrage van de warmtepomp (met ondergrondse warmteopslag) is aan de reductie van het primair energieverbruik is het primaire energieverbruik van 2004 "gecorrigeerd" voor het extra gasverbruik dat er zou zijn geweest indien er geen WP zou zijn (en voor de extra teruglevering van elektriciteit die dan zou zijn opgetreden omdat die dan niet nodig is voor de WP+ATES). Het primaire energieverbruik zou dan stijgen naar 12.735 GJ/ha, wat nog steeds circa 34% lager ligt dan de energienorm van 2004. Dit betekent dat circa 5%-punt van de energiereductie genoemd in **Tabel 3.4** een gevolg is van het WP/ATES systeem. Het grootste deel van die besparing heeft te maken met de terugle-

¹⁰ Op dit moment staan de huidige energienormen ter discussie. Dit heeft onder andere te maken met de Kyoto-afspraken over reductie van de CO₂-uitstoot. Nederland heeft de verplichting de CO₂-uitstoot in 2008-2012 met 6% te reduceren ten opzichte van 1990. In het Nederlandse klimaatbeleid staat daarom tegenwoordig CO₂-emissiereductie centraal. De nationale doelstelling is vertaald naar sectordoelstellingen. In juli 2004 is tussen LTO, PT, en ministeries van VROM en LNV een CO₂-streefwaarde van 6,5 Mton overeengekomen voor de jaren 2008 t/m 2012 (behoort bij een gelijkblijvend areaal van 10500 ha). Bij toenemend areaal neemt de streefwaarde toe tot 7,1 Mton bij een areaal van 11500 ha. Boven de 11500 ha blijft de CO₂-streefwaarde gelijk. Om de beoogde CO₂-reductie te realiseren wordt in de EU (en dus ook Nederland) CO₂-emissiehandel ingevoerd. Vanaf 2005 dienen bedrijven die een thermisch vermogen van meer dan 20 MWth hebben mee te doen. Aan deze bedrijven wordt een bepaalde hoeveelheid CO₂-emissierechten toegekend. Bedrijven die de toegekende hoeveelheden overschrijden moeten emissierechten aankopen. Zij die eronder blijven kunnen het overschot verkopen. In de periode 2005-2007 blijven bedrijven die minder uitstoten dan 25 kton CO₂ (circa 14 mln m³ aardgas) buiten de CO₂-emissiehandel (de zogenaamde 'opt-out'). Bijna alle glastuinbouwbedrijven (op 2 of 3 na) vallen onder deze grens. In 2008 vervalt de 'opt-out' en zal de deelnemende groep worden uitgebreid. Mogelijk gaan dan veel meer bedrijven meedoen. De ondergrens (nu 20 MWth) van 2008 is anno 2004 nog niet duidelijk. Ook de allocatie van rechten, de organisatie, de verwachte prijzen van rechten e.d. is nog onduidelijk. Wat wel duidelijk lijkt te worden, is dat het systeem van toerekening van fossiele energie aan een bedrijf anders zal worden. Bij de CO₂-emissiehandel wordt de methode van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) gebruikt. Bij deze methode wordt alleen de daadwerkelijk gebruikte fossiele brandstof in beschouwing genomen (bij de tuinbouw betreft het meestal aardgas, soms ook olie). Andere energiedragers zoals warmte of elektriciteit die van buiten worden ingekocht of aan derden worden verkocht, worden buiten beschouwing gelaten. Met name het weglaten van de verrekening van verkochte elektriciteit zou ongunstig zijn wat betreft toegerekende CO₂-emissie van Van der Heide (en van vele andere bedrijven die elektriciteit terugleveren). Als de normen van de terugleverende (tuinbouw)bedrijven niet overeenkomstig worden verhoogd, dan zou dit in de toekomst de positie van WKK in de tuinbouw ernstig kunnen bemoeilijken.

vering van elektriciteit opgewekt door de gasmotoren. Het referentiesysteem had in 2004 een primair energieverbruik van circa 18.820 GJ/ha (en was daarmee in dat jaar nog circa 2,6% beter dan de energienorm van dat jaar). Het WKK-WP-ATES systeem was circa 37% beter dan het referentiesysteem.

In de tabel hieronder (Tabel 3.5) zijn verder voor de volledigheid nog de *dekkingsgraad* van de warmtepomp (= aandeel warmte geleverd door WP als deel van totale jaarwarmtevraag) en het *vermogensaandeel* van de WP als deel van het totale verwarmingsvermogen gegeven. In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de bedrijfseconomische kant van het energiesysteem.

Tabel 3.5 Kencijfers inzet van warmtepomp in 2004

Kencijfers warmtepomp	
warmteproductie warmtepomp	0,193 GJ/m ² /jr
raming totale warmtevraag	1,58 GJ/m ² /jr
Dekkingsgraad warmtepomp	12,2%
Vermogen WP per oppervlakte-eenheid	28,9 W/m ²
Vermogen WK (exclusief condensors) per m ²	56,9 W/m ²
Vermogen rookgascondensors WK per m ²	9,1 W/m ²
Vermogen ketel per m ²	170,3 W/m ²
Totaal verwarmingsvermogen per m ²	265,2 W/m ²
Procentueel aandeel verwarmingscapaciteit WP van totaal	10,9%

3.5.4 Bedrijfseconomische vergelijking

Voor een positieve investeringsbeslissing voor een WKK/WP/ATES-systeem is alleen een verbeterde energie-efficiëntie onvoldoende. De investering zal zich binnen een redelijke termijn terug moeten verdienen door lagere (netto) energiekosten aangevuld met een (eventueel) hogere productieopbrengst (meer kilo's en/of betere kwaliteit).

Investerings

In Tabel 3.6 is een globaal overzicht van de benodigde investeringen gegeven. Waar mogelijk is uitgegaan van daadwerkelijk geïnvesteerde bedragen (op basis van offertes of facturen). Voor het geval deze niet beschikbaar waren¹¹, is uitgegaan van een raming op basis van kentallen. De investering is in eerste instantie betrokken op het investeringsjaar (1998), maar ter vergelijking ook vertaald naar de huidige situatie door middel van een inflatiecorrectie naar het jaar 2004 (bij een aangenomen gemiddelde jaarlijkse inflatie van 2,5%).

¹¹ met name informatie van het bronnensysteem is bij de verkoop van het energiesysteem niet overgedragen aan de tuinder

Tabel 3.6 Overzicht van (meer)investeringen energiesysteem

<i>Raming investering o.b.v. offertes+kentallen</i>		Investering	Invest+infla-	Specifieke	Investering
Deelsysteem	dimensionering	1998	tie ¹⁾ tot 2004	investering	obv.kental
		EUR	EUR	EUR/eenheid	EUR
Gasmotor 1	520 kWe	248790	288520		304810
Gasmotor 2	520 kWe	248790	288520		304810
Rookgasreiniger 1 (RGR1)	520 kWe	107092	124194		91537
Rookgasreiniger 2 (RGR 2)	520 kWe	107092	124194		91537
EWP	789 kWth	78921 ^{**)}	91524	116 EUR/kWth	91524
Ondergronds warmteopslagsysteem incl.pompen+TSA (ATES)	120 m ³ /h	173839	201600	1680 EUR/m ³ /h	201600
Regeling+appendages		17246	20000		20000
Installatie (bij componenten meegenomen)					
LT-net in kas	32 mm/1.60m br.	73286	84989	4,69 EUR/m ²	127920
WK-elektriciteit+gasaansluiting		67949	78 800		78 800
Subtotaal		1 123 004	1 302 340		1 312 538
Ketel	4650 kWth	78322	90829		90829
Buffer	250 m ³	74420	86304	227 EUR/m ³	56750
Totaal investering	EUR	1 320 397	1 531 256		1 494 167
Totaal investering per m ²	EUR/m ²	48,37	56,09		54,73
Raming meerinvestering		1998	2004		2004 kental
Indien geen WKK+WP+ATES:					
- meerprijs grotere ketel+rookgascondensor+buffer		25571	29654		29654
Meerinvestering WKK+WP+ATES energieconcept		1 097 433	1 272 686		1 282 884
Meerinvestering WKK+WP+ATES concept per m ²		40,20	46,62		46,99

¹⁾ gemidd.inflatie 2,50% per jaar

^{**)} rode cijfers geven aan dat deze bij ontbreken van offertes zijn gebaseerd op kentallen (en zijn inclusief installatiekosten)

De investeringen genoemd in Tabel 3.6 tot "Subtotaal" hebben te maken met de WKK's, de warmtepomp en de warmteopslag. De ketel en buffer zijn ook bij een conventionele energievoorziening noodzakelijk. De ketel moet dan wel een grotere capaciteit hebben (circa 7.200 kW in plaats van 4.650 kW) en een grotere rookgascondensor. Ook zou de buffer groter moeten zijn dan het oorspronkelijk geplaatste volume van 250 m³. Deze dimensioneringsmaatregelen zouden destijds een meerprijs van EUR 25.570,-- hebben betekend. De meerinvestering voor de WKK+WP+ATES ten opzichte van de uitgebreide ketel/bufferinstallatie (referentie) bedroeg hiermee destijds circa EUR 1.097.400,-- (40 EUR/m²). Inflatiegecorrigeerd naar 2004 betekent dat een meerinvestering van circa EUR 1.272.700,-- (circa 47 EUR/m²). Wil het WKK+WP+ATES concept voor de tuinder economisch zinvol zijn, dan moet de meerinvestering binnen redelijke tijd worden terugverdiend.

Exploitatie WKK+WP+ATES

In Tabel 3.7 is op basis van prijzen van 2004 een inschatting gemaakt van de extra opbrengsten en uitgaven die samenhangen met het WKK+WP+ATES concept (details van de berekeningen zijn gegeven in bijlage C). Tevens is de (eenvoudige) terugverdientijd (TVT) van de

meerinvestering berekend. Hierbij is uitgegaan van de naar 2004 gecorrigeerde meerinvestering. Uit de tabel blijkt dat bij de prijzen/condities van 2004 het concept zich in circa 6,5 jaar terugverdiend.

Tabel 3.7 Exploitatieoverzicht WKK+WP+ATES energievoorziening versus energievoorziening op basis van ketel + buffer (“+” betekent inkomsten, “-” betekent uitgaven). Tevens zijn de (eenvoudige) terugverdiëntijd en de netto-contante-waarde berekend.

Exploitatie-overzicht / elementen in terugverdienpotentieel van WKK's+WP met ondergrondse opslag (i.p.v. alleen ketel met buffer)					
Referentie: alleen ketel + buffer					
		hoeveelheid	prijs per eenheid	besparing EUR EUR/m ²	
1 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop plateau-uren		4 317 867 kWh	5,34 EURct/kWh	230 650	8,45
2 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop daluren		1 915 802 kWh	1,808 EURct/kWh	34 638	1,27
3 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit plateau-uren	(verdisconteerd in 1)	-			
4 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit dal-uren	(verdisconteerd in 2)	-			
5 + extra gewasproductie (door hogere CO2-dosering dan bij ketel)	2% 60 kg/m ²	32 760 kg	0,52 EUR/kg	17 035	0,62
6 - extra aardgascommoditykosten WK ipv ketel (rekening houdend met WK-leveringsprofiel)		959 055 m ³	10,273 EURct/m ³	-98 524	-3,61
7 + besparing op energiebelasting over vermeden ketelgas (vrijstelling EB over WKK-gas)		1 128 748 m ³	1,135 EURct/m ³	12 811	0,47
8 + besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)		36 938 m ³	5,1365 EURct/m ³	1 897	0,07
9 - onderhoudskosten gasmotoren		6 614 920 kWh	0,69 EURct/kWh	-45 643	-1,67
10 - kosten ureum (voor rookgasreiniger gasmotoren)		6 056 960 kWh	0,136 EURct/kWh	-8 237	-0,30
11 - extra onderhoudskosten WP + STEK				-3 183	-0,12
12 + minder kosten ketelonderhoud		5000 h	0,151 EUR/h	757	0,03
13 + MEP-vergoeding (CO2-index)	1=MEP; 0 = no-MEP	1	2 144 382 kWh	55 754	2,04
Totaal (netto) opbrengsten/besparingen per jaar				197 955	7,25
Terugverdiëntijd WKK+WP+ATES				6,5 jaar	
Netto contante waarde NCW (15 jr) (rentevoet 5%)				784 041	28,72

Wat betreft de elektriciteitsprijzen is uitgegaan van de (gemiddelde) terugleververgoedingen van 2004 (5,34 respectievelijk 1,80 EURct/kWh voor plateau- respectievelijk daluren). Door de eigen productie van elektriciteit kan in principe het “basiselectriciteitsverbruik” van het bedrijf worden gereduceerd. Daardoor wordt op inkoopkosten bespaard. De verkoop van elektriciteit neemt dan echter af (er valt een kleine winst te behalen omdat in het algemeen in te kopen elektriciteit iets duurder is dan te verkopen elektriciteit). In de bovenstaande analyse is aangenomen dat alle elektriciteit van de gasmotoren wordt verkocht, behalve het eigen verbruik van de gasmotoren en de elektriciteit voor de warmtepomp en de bronpompen, omdat deze direct met het energieconcept samenhangen. Met name de warmtepomp zou anders een relatief grote (en daardoor dure) inkoopcapaciteit zou vragen. (In de praktijk zou een iets andere inkoop/verkoopverdeling een klein verschil kunnen maken waardoor onze schatting nog iets aan de voorzichtige kant is). De netto-opbrengst van de verkochte elektriciteit bedraagt op jaarbasis circa EUR 265.000,-- (dit is per oppervlakte eenheid 9,72 EUR/m²). Behalve de opbrengst van de verkochte elektriciteit zelf is ook rekening gehouden met de MEP-

vergoeding¹² die over aan het net geleverde WKK-elektriciteit van de overheid kan worden verkregen in het kader van de "CO₂-index" regeling (item 13: opbrengst circa EUR 55.750,--, ~ 2,04 EUR/m²). Omdat in de zomer een warmteoverschot kan worden opgeslagen in de aquifer kan er een hogere CO₂-concentratie worden gerealiseerd dan in de referentiesituatie waarbij de capaciteit van de buffer de inzet van de ketel (en daarmee de productie van CO₂) beperkt. Daarom is aangenomen dat de productie iets hoger ligt dan in de referentiesituatie. Deze is in overleg met de tuinder ingeschat op circa 2%. Omdat deze extra productie in de zomer wordt gerealiseerd is met een voorzichtige prijs gerekend (geschatte middenprijs 2004).

Het concept kent ook extra kosten. De grootste kostenpost is het hogere aardgasgebruik dan in de referentiesituatie¹³ (circa 959.000 m³, met commoditykosten¹⁴ van circa EUR 98.500,--, ~ 3,61 EUR/m²). Hier staat wel nog een besparing van circa EUR 12.800,-- (0,47 EUR/m²) tegenover, dankzij een reductie van de benodigde hoeveelheid ketelgas, waardoor bespaard wordt op energiebelasting (EB). Over WKK-gas hoeft immers geen EB te worden betaald. Naast gaskosten is ook het onderhoud van de gasmotoren een significante kostenpost (circa EUR 46.000,-- per jaar, 1,67 EUR/m²).

Netto resteert een positief saldo van circa EUR 198.000,-- per jaar (7,25 EUR/m²). De meerinvestering van circa 1,28 mln EUR is daarmee in ongeveer 6,5 jaar terugverdiend. De nettocontante-waarde¹⁵ (berekend over 15 jaar bij een rentevoet van 5%) bedraagt circa EUR 784 000,-- (28,72 EUR/m²). Hierin is nog geen rekening gehouden met eventuele subsidiemogelijkheden.

Op het project is destijds een subsidie verkregen van circa EUR 166.500,-- (EIA, ongeveer 12.5% van de totaalinvestering). Wordt hiermee rekening gehouden, dan daalt de terugverdientijd naar circa 5,5 jaar (en de NCW stijgt naar EUR 975.000,--, dat wil zeggen 35,71 EUR/m²).

¹² MEP = Milieukwaliteit ElektriciteitsProductie. Zogenaamd CO₂-vrije kilowatturen van WKK-installaties die aan het net worden geleverd, komen in aanmerking voor MEP-vergoeding (in het najaar van 2004: 2,6 EURct per CO₂-vrije kWh). Het percentage van de totaal door de WKK-installatie geproduceerde kilowatturen dat CO₂ neutraal is opgewekt wordt de CO₂-index genoemd. Bij een WKK-installatie op basis van een gasmotor wordt de CO₂-index vastgelegd door een eenmalige verklaring van merk, type, jaar van aanschaf en spanningsniveau van de netaansluiting. Jaarlijks wordt in de Staatscourant een lijst gepubliceerd met de CO₂-indices voor het komende jaar voor alle bekende gasmotoren. Voor de Waukesha motoren van van der Heide bedroeg de CO₂-index in 2004 34.4%. (N.B. voor 2005 is de MEP-vergoeding vastgesteld op 2,2 EURct/kWh).

¹³ Voor de referentiesituatie (met een conventioneel energiesysteem bestaande uit ketel met warmtebuffer) is uitgegaan van een gasverbruik van 51 m³/m². Dit is het gecorrigeerde (voor 3-weken langer "koud liggen" i.v.m. teeltwisseling) gasverbruik van een ander, qua teeltomstandigheden vergelijkbaar tomatenbedrijf van Van der Heide in 2004.

¹⁴ Van der Heide heeft eind 2003 een relatief gunstig gascontract afgesloten voor circa 3 jaar met een commodityprijs van 10,27 EURct/m³.

¹⁵ afgekort NCW. Voor definitie zie bijlage F.

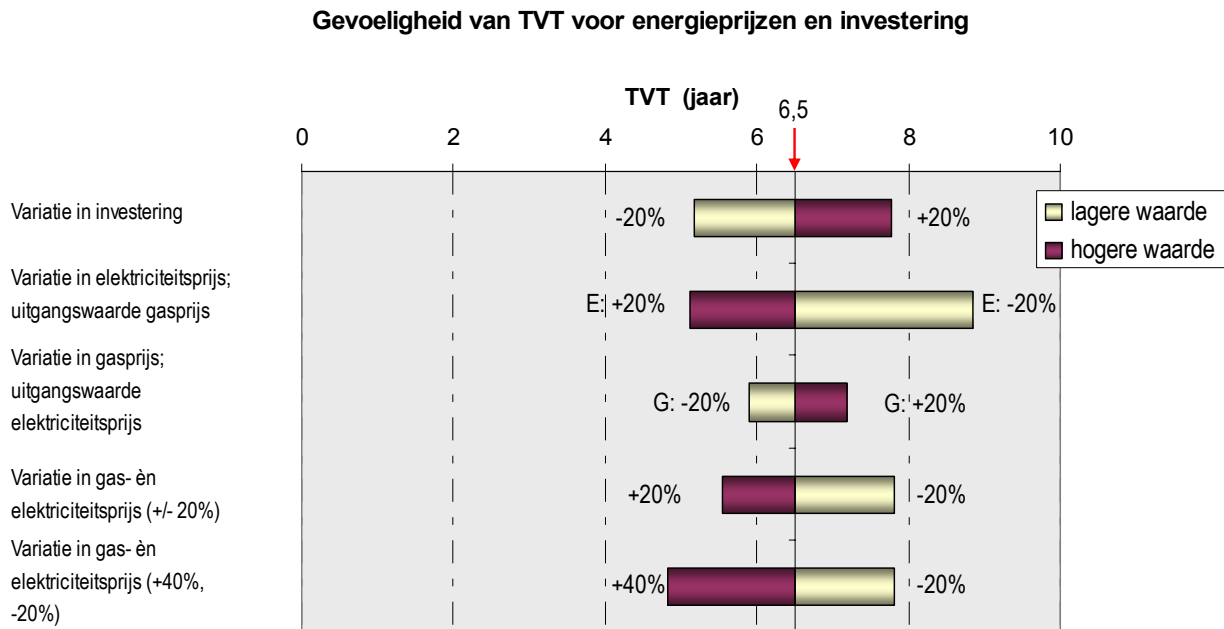
Gevoeligheid rentabiliteitscijfers

Verder is er gekeken naar de gevoeligheid voor de terugverdientijd (en de netto contante waarde) voor veranderingen in de energieprijzen. Behalve naar de hiervoor genoemde elektriciteits- en (commodity)gasprijzen is ook gekeken naar respectievelijk een 20% hogere elektriciteitsprijs (bij dezelfde gasprijs), een 20% hogere gasprijs (bij dezelfde elektriciteitsprijs), en een 20% hogere elektriciteits- en gasprijs. Vergelijkbare berekeningen zijn uitgevoerd voor 20% lagere prijzen. Omdat hogere prijzen in de toekomst naar verwachting meer waarschijnlijk zijn dan lagere, is additioneel ook de situatie met een 40% hogere gas- en elektriciteitsprijs bepaald. De resultaten zijn gegeven in **Tabel 3.8**. De gevoeligheid van de terugverdientijd is tevens grafisch uitgezet in **Figuur 3.12** (hierin staat ook de gevoeligheid voor de grootte van de meerinvestering aangegeven).

Tabel 3.8 Gevoeligheid van rentabiliteitscijfers voor variaties in energieprijzen (zonder subsidie)

Prijs-scenario	Rentabiliteit WKK+WP+ATES (zonder subsidie) parametervariatie	procentuele prijs	prijs plateau EURct/kWh EURct/m ³	prijs dal EURct/kWh EURct/m ³	TVT jaar	NCW EUR
uitgangswaarden	uitgangswaarden elektriciteit	100%	5,34	1,81	6,5	784 041
	uitgangswaarden gasprijs	100%	10,27	10,27		
hogere prijzen	hogere relatieve elektriciteitsprijs	120%	6,41	2,17	5,1	1 334 760
	uitgangswaarde gasprijs	100%	10,27	10,27		
	uitgangswaarde elektriciteitsprijs	100%	5,34	1,81	7,2	583 452
	hogere relatieve gasprijs	120%	12,33	12,33		
	hogere relatieve elektriciteitsprijs	120%	6,41	2,17	5,5	1 134 170
	hogere relatieve gasprijs (gekoppeld aan E-prijs)	120%	12,33	12,33		
	hogere relatieve elektriciteitsprijs	140%	7,48	2,53	4,8	1 484 299
hogere relatieve gasprijs (gekoppeld aan E-prijs)	140%	14,38	14,38			
lagere prijzen	lagere relatieve elektriciteitsprijs	80%	4,27	1,45	8,9	233 323
	uitgangswaarde gasprijs	100%	10,27	10,27		
	uitgangswaarde elektriciteitsprijs	100%	5,34	1,81	5,9	984 631
	lagere relatieve gasprijs	80%	8,22	8,22		
	lagere relatieve elektriciteitsprijs	80%	4,27	1,45	7,8	433 913
	lagere relatieve gasprijs (gekoppeld aan E-prijs)	80%	8,22	8,22		

Bij de tabel wordt nog opgemerkt, dat in de praktijk elektriciteitsprijzen vaak een sterke correlatie hebben met de gasprijs. Elektriciteitsproducenten zullen proberen een gestegen brandstofprijs (in Nederland vaak gas) in de elektriciteitsprijs te verdisconteren. Uit dat oogpunt gezien lijken de gekoppelde prijsscenario's het meest waarschijnlijk. Als de gasprijs en elektriciteitsprijzen elk 20% stijgen daalt de terugverdientijd van circa 6,5 jaar naar 5,5 jaar. Bij 40% stijging wordt dit 4,8 jaar. (Simultaan) stijgende energieprijzen zijn dus gunstig voor het WKK/WP/ATES concept. (In de situatie met subsidie daalt bij 20% hogere gas- en elektriciteitsprijzen de TVT van 5,5 naar 4,7 jaar, zie bijlage C).



Figuur 3.12 Gevoeligheid van terugverdientijd van WKK+WP+ATES-systeem voor variaties in de grootte van de (meer)investering respectievelijk in gas- en/of elektriciteitsprijzen (zonder subsidies). Het uiteinde van een balk geeft de nieuwe terugverdientijd aan horend bij de vermelde variatie.

Rentabiliteit WKK-installatie zonder warmtepomp en ondergrondse opslagsysteem

Als naar de investeringen wordt gekeken (Tabel 3.6), dan valt op dat de warmtepomp en vooral ook de ondergrondse opslag een vrij groot deel van de totale investering vergen. Al hoewel de warmteopslag en warmtepompverwarming energetisch zeer aantrekkelijk zijn (zie paragraaf 3.5.2), kan men zich afvragen, wat het voor de rentabiliteit betekent als deze twee systemen zouden zijn weggelaten. Als we uitgaan van dezelfde WKK-inzet, dan kunnen in de kas dezelfde CO₂-concentraties worden gehaald (en dus dezelfde tomatenproductie). Dit impliceert wel dat in de zomer overtollige warmte via een noodkoeler (of desgewenst via de warmteafgiftesystemen in de kas) naar de omgeving moet worden afgevoerd). Verder zal er meer elektriciteit worden teruggeleverd omdat er geen elektriciteitsverbruik meer is voor de warmtepomp en de bronpompen. Tabel 3.9 geeft het exploitatieoverzicht voor deze situatie.

Uit Tabel 3.9 blijkt, dat de terugverdientijd van de WKK-installatie zonder warmtepomp en ondergrondse warmteopslag - uitgaande van de prijscondities van 2004 - iets gunstiger is, dan met de WP+ATES: TVT = 5,5 jaar in plaats van 6,5 jaar. De netto contante waarde over 15 jaar stijgt naar circa EUR 970.000,-- (35,54 EUR/m²).

Tabel 3.9 Exploitatie-overzicht WKK installatie (met extra noodkoeler), maar zonder WP+ATES

Exploitatie-overzicht / terugverdienpotentieel van WKK/RGR (i.p.v. alleen ketel met buffer; geen WP+ATES)					
Referentie: alleen ketel + buffer					
		hoeveelheid	prijs per eenheid	besparing	
				EUR EUR/m ²	
1 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop plateau-uren		4 326 400 kWh	5,34 EURct/kWh	231 105	8,47
2 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop daluren		2 288 520 kWh	1,81 EURct/kWh	41 376	1,52
3 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit plateau-uren	(verdisconteerd in 1)	-			
4 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit dal-uren	(verdisconteerd in 2)	-			
5 + extra gewasproductie (door hogere CO2-dosering dan bij ketel)	2% 60 kg/m ²	32 760	0,52 EUR/kg	17 035	0,62
6 - extra aardgascommoditykosten WK ipv ketel (rekening houdend met WK-leveringsprofiel)		1 128 826 m ³	10,27 EURct/m ³	-115 964	-4,25
7 + besparing op energiebelasting over vermeden ketelgas (vrijstelling EB over WKK-gas)		958 977 m ³	1,135 EURct/m ³	10 884	0,40
8 + besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)		0 m ³	5,1365 EURct/m ³	0	0,00
9 - onderhoudskosten gasmotoren		6 614 920 kWh	0,69 EURct/kWh	-45 643	-1,67
10 - kosten ureum (voor rookgasreiniger gasmotoren)		6 056 960 kWh	0,136 EURct/kWh	-8 237	-0,30
11 - extra onderhoudskosten WP + STEK				0	0,00
12 + minder kosten ketelonderhoud		5000 h	0,15 EUR/h	757	0,03
13 + MEP-vergoeding (CO2-index)	1=MEP; 0 = no-MEP	1	2,60 EURct/kWh	59 164	2,17
Totaal (netto) opbrengsten/besparingen per jaar				190 478	6,98
Terugverdientijd WKK's+RGR's				5,5 jaar	
Netto contante waarde NCW (15 jr) (rentevoet 5%)				970 353	35,54

Rentabiliteit van warmtepomp met ATES als toevoeging aan WKK/ketel/buffer-systeem

Ten derde is ook nog de rentabiliteit van het subsysteem bestaande uit de warmtepomp met de ondergrondse warmteopslag sec (als toevoeging aan het WKK-installatieconcept) beoordeeld. Tabel 3.10 geeft het exploitatie-overzicht. De belangrijkste besparing heeft te maken met de reductie van het gasverbruik (circa 170.000 m³ per jaar). De grootste kostenpost is het extra elektriciteitsverbruik van de warmtepomp (circa EUR 6.700,- per jaar). Netto bespaart het concept op jaarbasis circa EUR 11.000,-. Hiermee wordt de meerinvestering (ge-raamd¹⁶ op ongeveer EUR 280.000,-) in circa 25 jaar terugverdiend. De netto contante waarde is in dit geval negatief (EUR -164.000,-). Uit de rentabiliteitscijfers blijkt dat de warmtepomp met warmteopslag zich weliswaar terugverdient, maar slechts heel langzaam. Rekening houdend met renteverlies op het geïnvesteerde vermogen verdient de WP+ATES zich niet terug¹⁷. Energetisch gezien is deze voorziening echter wel interessant (zie paragraaf 3.5.2).

¹⁶ In de investering is gerekend met een kleiner ATES als genoemd in Tabel 3.6 (68 m³/h in plaats van 120 m³/h) omdat voor de warmtepomp sec met een brondebiet van circa 68 m³/h kan worden volstaan. Wel zijn additioneel de helft van de kosten van het LT-net aan het WP/ATES systeem toegerekend, omdat het LT-net voor de WP groter moet zijn dan alleen voor de rookgascondensoren van de gasmotoren.

¹⁷ Vanaf 2005 handelt Van der Heide op de stroombeurs APX en op onbalansmarkt. De warmtepomp is hierbij een extra instrument waarmee geld kan worden verdiend door deze component 'slim' in te zetten. Er zijn zelfs situaties (met name op de onbalansmarkt), waarbij de tuinder geld betaald krijgt als hij de warmtepomp inschakelt (op netstroom). In dat geval levert de WP dus gratis warmte plus een bonus toe!. Dergelijke potentiële handelsverdiensten van het WP-systeem (en WKK-systeem) zijn in de analyses van deze studie niet meegenomen. Overigens kan verkeerde inzet ook (extra) geld kosten. Gezien de grilligheid van de markt is het moeilijk om deze handelsopbrengsten à priori in te schatten.

Tabel 3.10 Exploitatie-overzicht van het deelsysteem warmtepomp met ondergrondse energieopslag (ten opzichte van energiesysteem met WKK, ketel en buffer)

Exploitatie-overzicht / elementen in terugverdienpotentieel van WP/ondergrondse opslag (WP+ATES)				besparing	
Referentie: WK zonder ondergrondse warmteopslag en warmtepomp				EUR EUR/m ²	
	hoeveelheid	prijs per eenheid			
1 + besparing op aardgascommoditykosten in de winter	169 771 m ³ ng	10,273 EURct/m ³	17441	0,64	
2 + besparing op energiebelasting over vermeden ketelgas (vrijstelling EB over WKK-gas)	169 771 m ³ ng	1,135 EURct/m ³	1927	0,07	
3 + besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)	36938 m ³ ng	5,1365 EURct/m ³	1897	0,07	
4 - extra elektriciteit voor warmtepomp + bronpomp ontladen	372718 kWh	1,808 EURct/kWh	-6739	-0,25	
5 - extra elektriciteit voor bronpomp laden	8533 kWh	4,485 EURct/kWh	-383	-0,01	
6 - extra onderhoudskosten WP + STEK			-3183	-0,12	
Totaal (netto) opbrengsten/besparing per jaar			10961	0,40	
Terugverdientijd WP+ATES			25,6 jaar		
Netto contante waarde NCW (15 jr) (rentevoet 5%)			-164 559	-6,03	

3.6 Ervaringen van tuinder

3.6.1 Ervaringen van tuinder na 3 jaar WP-bedrijf

Na 3 jaar met het WKK/WP/ATES-systeem (in eigen beheer) te hebben gedraaid is Van der Heide positief over deze vorm van energievoorziening. De redenen die hij hiervoor noemt zijn:

- besparing op energiekosten per m² kas (in vergelijking met ander tomatenbedrijf van hem met een conventionele energievoorziening). De tuinder schat de besparing op het gasverbruik dat wordt toegerekend aan de verwarming van de kas (gesteld op 50% van het WKK-gas plus het ketelgas) in op circa 7 m³/m².
- door hogere CO₂-productie en -dosering in de zomer (zonder warmtevernietiging) is de opbrengst hoger: circa 2% per jaar (1,2 kg/jaar)
- met de warmtepomp kan hij in principe beter binnen de 8% bandbreedte rond het aan het energiebedrijf opgegeven dagvolume opereren, waardoor de boetes voor gasafname buiten de band lager (kunnen) zijn.

Behalve positieve punten zijn er ook een aantal kanttekeningen te maken:

- de bedrijfsvoering van een dergelijke installatie is aanzienlijk complexer dan van een conventionele energieinstallatie op basis van alleen ketel en warmtebuffer. Dit vereiste dat de tuinder met name in de eerste maanden een aanzienlijke hoeveelheid tijd moest besteden aan het doorgronden van het functioneren van de installatie, het kiezen van de juiste instellingen en het bedenken van een "optimale" inzetstrategie. Ook nu nog vraagt een goede bedrijfsvoering dagelijks de nodige aandacht (in 2005 zal dit nog meer zijn, zie opmerking hieronder)

- het energiemangement van een dergelijk systeem is complexer dan van een conventioneel systeem, omdat er meerdere productiemiddelen zijn met verschillende kenmerken. De inzet van de middelen is een complexe afweging tussen:
 - de kosten en opbrengsten die te maken hebben met het te realiseren klimaat in de kas (met gevolgen voor gewasproductie)
 - het blijven binnen (respectievelijk treden buiten) de bandbreedte van het dagvolume van het gascontract
 - het blijven onder het gecontracteerde uurvolume.
- Vanaf 2005 wordt de situatie nog complexer, omdat er stroom verkocht gaat worden op de OTC/APX-stroommarkten (en desnoods ingekocht/verkocht op de onbalansmarkt van Tennet). Dit zal er toe leiden dat er waarschijnlijk meer met de WKK-installaties zal worden geschakeld en beslissingen moeten worden genomen ten aanzien van de inzet van WP en/of ketel. Energiemangement wordt daardoor een nog belangrijker taak in het management van het bedrijf.

Overige opmerkingen:

- De tuinder heeft moeite met het gasprijzensysteem waarbij minder-dan-gecontracteerd verbruik bestraft wordt met een boete (i.c. bij overschrijding van bandbreedte van dagvolume). Dit leidt tot verspilling van energie en zou in deze tijd, waarbij steeds meer belang gehecht wordt aan reductie van het energieverbruik, eigenlijk niet moeten kunnen.

3.7 Opgetreden problemen met installatie en exploitatie

3.7.1 Problemen bronnen ondergrondse warmte/koudeopslag

- De bodem rond één van de warme bronnen (W3, zie bijlage A) is enkele jaren geleden bij het laden van warmte “opgebarsten” (de kleistoppen die de afdichting vormen tussen de leidingen van de putten en het boorgat zijn eruitgesprongen). Als oplossing voor de problemen is voorgesteld de afdichtende lagen met een gel-achtige massa te repareren. Dit is ook gebeurd.
- De problemen houden waarschijnlijk verband met de aanwezigheid van methaan in het grondwater. In het grondwatercircuit moet de waterdruk in principe zo hoog zijn dat opgeloste gassen in het grondwater in oplossing blijven bij het transport van het grondwater door het circuit. Wordt de druk in het circuit te laag, dan bestaat het gevaar dat ontgassing van het grondwater optreedt. Bij infiltratie van ontgassend bronwater in een bron kan het bronfilter verstopen. Het is dus zaak de waterdruk (bij transport van het grondwater) voldoende hoog te houden. Echter bij te hoge injectiedruk bestaat met name bij ondiepe

bronnen het gevaar dat de bodem opbarst doordat het geïnjecteerde water de kleirop boven het filter passeert.

- Problemen met methaan bleken vooral op te treden, als er omgeschakeld werd van “aquifer-laden” naar “aquifer-ontladen”. Hierdoor is het op het bedrijf van Van der Heide niet mogelijk om op dagbasis het bodemopslagsysteem te switchen van laden (overdag) naar ontladen ('s nachts), alhoewel dit in bepaalde omstandigheden wel wenselijk zou zijn.
- De wateronttrekking en -injectie vindt bij Van der Heide plaats in het eerste watervoerende pakket. Dit pakket is meer gevoelig voor opbarsting dan de dieper liggende 2-de en 3-de watervoerende pakketten.
- In de praktijk is het belangrijk gebleken om regelmatig controles van de bronnen uit te voeren. Dit hoeft weinig tijd te kosten en kan tijdens de normale werkzaamheden in de kas worden “meegenomen”. Bij Van der Heide wordt elke week met hand gecontroleerd of er gas in de bronnen zit en dit er zonodig uitgelaten (dit is een extra controle op de automatische ‘ontluchters’ die op de bronnen zijn aangebracht).

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Een energiesysteem bestaande uit een warmtekrachtinstallatie, warmtepomp, ketel, warmtebuffer en ondergrondse energieopslag zoals geïmplementeerd en bedreven bij Van der Heide, levert een forse besparing op het primaire energieverbruik in vergelijking met een traditioneel systeem bestaande uit ketel en warmtebuffer. Het (primaire) energieverbruik lag in 2004 circa 37% lager dan dat van het referentiesysteem en circa 39% lager dan de energienorm uit het Besluit glastuinbouw (in 2003 circa 42%). Ten opzichte van de beoogde norm voor 2010 lag het verbruik van 2004 nog circa 34% lager.

Het bovengenoemde systeem (kortweg aangegeven met “WKK/WP/opslagsysteem”) is ook financieel aantrekkelijk. Op basis van de productiemiddeleninzet en de energiecontracten van 2004 (en inclusief de MEP-vergoeding) is de netto exploitatiekasstroom geraamd op circa 7,25 EUR/m². De terugverdientijd uitgaande van het investeringsniveau van 2004 bedraagt daarmee circa 6,5 jaar (zonder subsidies/fiscale voordelen). Rekening houdend met de verkregen investeringssubsidie is dit circa 5,5 jaar.

Bij stijgende gas- en elektriciteitsprijzen verbetert de terugverdientijd. Bij 20% hogere commodityprijzen van zowel gas als elektriciteit daalt de terugverdientijd met 1 jaar naar circa 5,5 jaar (zonder subsidie). Daarmee is het systeem robuust voor (simultaan) stijgende energieprijzen.

Ten opzichte van de verwachte totale energiekosten van het referentiesysteem (ketel+buffer) bespaart het WKK/WP/opslagsysteem circa 93% op netto energiekosten (rekening houdend met verkoop van elektriciteit, extra gasinkoop, MEP-vergoeding, besparing op energiebelasting en extra onderhoudskosten, maar exclusief de hogere kapitaalslasten). Worden de extra kapitaalslasten in mindering gebracht op de besparing op energiekosten, dan resteert een besparing van circa 7% bij kapitaalslasten gebaseerd op 10 annuïteiten tegen 5% rente, of circa 30% bij 15 annuïteiten (tegen eveneens 5%). Hierbij is nog geen rekening gehouden met subsidies op de investering en extra opbrengst door productieverhoging. Doelstelling bij de start van het project was 10% besparing op (directe) energiekosten.

De warmtepomp en ondergrondse opslag dragen bij aan de energetische prestatie van het totale systeem. De bijdrage van deze componenten aan de hiervoor genoemde 39% besparing op primaire-energieverbruik op jaarbasis is circa 5%-punt (relatief is dit circa 13%). Op momenten dat de warmtepomp in bedrijf is (circa 1850 uur per jaar) is het procentuele aan-

deel in de energiebesparing ten opzichte van de referentie veel groter (circa 60% bij één gasmotor in bedrijf en 37% bij twee gasmotoren).

De warmtepomp met ondergronds opslagsysteem bespaart per jaar circa 0,40 EUR/m². Financieel gezien is dit deelsysteem in het energieconcept in relatie tot de benodigde investering niet erg aantrekkelijk¹⁸. Wordt dit deelsysteem weggelaten dan verbetert de terugverdientijd van circa 6,5 jaar naar 5,5 jaar. Wordt sec naar de kosten en baten gekeken die aan de WP/ondergrondse opslag kunnen worden toegerekend, dan is voor dit deelsysteem alleen een terugverdientijd berekend van circa 26 jaar.

Een energievoorzieningssysteem waarbij een extra warmtepomp en ondergrondse warmteopslag wordt toegevoegd aan een "conventioneel" energiesysteem bestaande uit een ketel, warmtebuffer en eventueel een warmtekrachtinstallatie, is qua ontwerp, installatie en bedrijfsvoering aanzienlijk complexer dan het conventionele systeem alleen. Als de installateur c.q. energieprojectontwikkelaar geen ervaring heeft met dergelijke installaties, bestaat er een grote kans dat er bij ontwerp fouten worden gemaakt, die de goede werking van het systeem schaden of zelfs geheel onmogelijk maken (bijvoorbeeld verkeerde regeling of verkeerde hydraulische schakeling). Het is daarom belangrijk, dat als het installatiebedrijf/energieprojectontwikkelaar de kennis niet in huis heeft, er voldoende specialistische externe kennis wordt ingehuurd. Belangrijk daarbij is, dat er een partij is, die het overzicht over de complete installatie heeft.

Behalve het ontwerp is ook de bedrijfsvoering van de installatie aanzienlijk complexer dan van de conventionele installatie. Het vraagt van de tuinder een goed inzicht in en overzicht van de werking van de installatie en zijn deelcomponenten. Het complexere systeem biedt hem wel een aantal vrijheidsgraden waarmee hij meer mogelijkheden heeft om de installatie qua energiekosten en opbrengsten optimaal te bedrijven binnen de grenzen van de energieinkoop- en verkoopcontracten.

Resumerend kan worden gesteld, dat het WKK/WP/opslagsysteem energetisch en financieel aantrekkelijk is. Wat energieverbruik betreft kan met dit energieconcept gemakkelijk worden voldaan aan de heersende energienorm uit het Besluit glastuinbouw (ook die op dit moment - februari 2005 - nog geldt voor het jaar 2010). Dit wordt vooral veroorzaakt door de grote elektriciteitssteruglevering die op het primaire energieverbruik in mindering mag worden gebracht.

¹⁸ Hierbij moet worden aangetekend dat warmtepompen wat betreft milieusubsidies worden achtergesteld bij WKK's, gezien het feit dat er (nog) geen MEP-achtige subsidie voor warmtepompen is, waarin de milieukwaliteit van de ermee geproduceerde warmte tot uitdrukking komt. De discussie hierover tussen overheid en belangengroepen wordt wel gevoerd.

Bij de nieuwe energienormen, die momenteel nog in ontwikkeling/onderhandeling zijn, in het kader van de bijdrage die de glastuinbouwsector moet leveren aan de CO₂-reductie nodig voor de Kyotoverplichtingen, kan de situatie geheel anders worden. Teruggeleverde elektriciteit mag in de nieuwe opzet (mogelijk) niet meer verrekend worden. Dit betekent voornamelijk een flink risico voor dit (en in zijn algemeenheid voor alle andere) WKK-gebaseerde energiesystemen waarbij (een deel van) de opgewekte elektriciteit wordt teruggeleverd c.q. verkocht. Voor een verantwoorde investeringsbeslissing in nieuwe systemen met grootschalige teruglevering is het belangrijk dat er hierover eerst duidelijkheid komt.

4.2 Aanbevelingen

Indien de retourtemperatuur van het bronwater dat bij gebruikmaking van de warmtepomp in de winter in de koude put van de aquifer wordt geïnjecteerd, hoger wordt gekozen (= hoger setpoint injectietemperatuur koude bron), dan hoeft de WP het warme bronwater niet zoveel terug te koelen en kan de verdampertemperatuur van de warmtepomp hoger worden gekozen. Bij een zelfde leveringstemperatuur van het warme water aan de secundaire kant van de WP kan de WP dan met een hogere COP worden bedreven, waardoor er minder elektrische aandrijfenergie nodig is. Qua energiestromen en benodigde energiehoeveelheden lijkt dit te kunnen. Consequentie kan wel zijn, dat de koudebrontemperatuur (ook) boven de natuurlijke bodemtemperatuur komt te liggen, zodat het systeem niet geheel thermisch neutraal kan worden bedreven en hiervoor mogelijk een ontheffing moet worden aangevraagd.

De rentabiliteit van de warmtepomp kan mogelijk aanzienlijk worden verbeterd door deze component actief te gebruiken als stuurinstrument bij het handelen op de korte-termijn energiemarkten (APX, onbalansmarkt). De warmtepomp kan worden gebruikt om het afgenomen (of netto geleverde) vermogen te beïnvloeden. Als dit vermogen op de onbalansmarkt verrekend moet worden (hetgeen het geval is bij eigen "programmaverantwoordelijkheid") dan kan hiermee bij slimme inzet (zeker bij additionele beschikbaarheid van een in- of afschakelbare WKK) geld worden verdiend. Indien er bij de balanshandhaving van het elektriciteitsnet een overschot aan elektriciteitsproductie dreigt te ontstaan, kan op de onbalansmarkt (extra) afgenomen vermogen soms tegen hele lage prijzen worden gekocht (i.c. lager dan de eigen productiekosten). Er komen zelfs situaties voor, waarbij de afnemer geld betaald krijgt, als hij (extra) elektriciteit afneemt. Als in zo'n geval de warmtepomp wordt ingeschakeld (op netstroom), dan levert de WP dus gratis warmte en krijgt de tuinder een financiële bonus toe! Overigens kan verkeerde inzet ook (extra) geld kosten. Dergelijke potentiële handelsverdiens van het WP-systeem (al dan niet in combinatie met het WKK-systeem) zijn in de analyses van deze studie niet meegenomen (omdat hier in de onderzochte periode 2001-2004

nog geen sprake van was). Gezien de grilligheid van de markt is het moeilijk om deze handelsopbrengsten à priori in te schatten. Ter completering van het beeld van de kansen van de warmtepomp verdient het aanbeveling deze nieuwe handelskansen in kaart te brengen en de extra haalbare kasstroom zo goed mogelijk te kwantificeren bijvoorbeeld door analyse van de uitgevoerde transacties op de (relevante) energiemarkten over de periode van een jaar.

In principe heeft de tuinder in kwestie een belangrijk deel van de benodigde infrastructuur voorhanden om een (deel) gesloten kas te realiseren (met name het - kostbare - ondergrondse warmte/koudeopslagsysteem en de warmtepomp, die ook als koelmachine kan worden gebruikt, zijn al aanwezig). Het thermisch vermogen van de warmtepomp en de energieopslag is zodanig dat circa 0,6 ha gesloten kas kan worden gerealiseerd. Wel zal additioneel een koudebuffer moeten worden geplaatst en in de gesloten kas een luchtbehandelings- en luchtverdeelsysteem moeten worden geïnstalleerd. De warmtepomp zal in de winter veel meer uren moeten maken om de in de gesloten kas ge oogste warmte in de winter weer aan de aquifer te onttrekken (circa 4000 uur in plaats van 1850). Dit betekent dat de WP ook tijdens (dure) plateauuren moet draaien. De WP-warmte zal deels in de gesloten kas en deels in de conventionele kas moeten worden afgegeven. De bedrijfsvoering/inzetstrategie van de WK-installaties zal in dit geval ook moeten worden heroverwogen, omdat de overtollige WK-warmte door het beperkte debiet van het ondergrondse warmteopslagsysteem niet (altijd) meer in de aquifer kan worden opgeslagen. Alvorens een verantwoorde beslissing over uitbreiding met (of gedeeltelijke ombouw tot) een gesloten kas kan worden genomen, is het nodig een nadere verkenning van de haalbaarheid uit te voeren, waarin onder meer de verwachte veranderingen in de netto-energiekosten en de extra gewasproductie worden meegenomen.

De werkelijke energetische prestatie van het WP/ATES/WKK-systeem kon met de beschikbare meetinstrumenten en "datalogging" niet volledig worden gemeten. De uitgevoerde evaluatie is derhalve deels op ontwerpgegevens gebaseerd. Om de prestaties (bijvoorbeeld de COP van de warmtepomp) nauwkeuriger te bepalen, wordt aanbevolen een jaarrondmonitoring uit te voeren en daartoe het benodigde extra instrumentarium aan te brengen en de registratiefaciliteiten uit te breiden (beoogde fase 2 en 3 van onderhavig project).

BIJLAGE A DATA ENERGIESYSTEEM / WARMTEOPSLAGSYSTEEM

Details van installaties in en rond ketelhuis bij Van der Heide:

- ketel
 - capaciteit: 4650 kW
 - fabrikaat: Crone type: CLM155 (18.2 m³ waterinhoud)
 - met rookgascondensator (dubbel)
 - rendement ketel zonder condensator: 95 % (o.w.¹⁹); met condensator 100 % (o.w.)
- WK (2 gasmotoren (GM))
 - elektrisch vermogen: 2 x 520 kW_e (= 381 kW_e/ha)
 - thermisch vermogen: 2 x 776 kW_{th} (= 568.5 kW_{th}/ha)
 - leverancier/fabrikaat: ABB Zantingh / Waukesha
 - type: L36GLD/475HR
 - rookgasreiniger (RGR): Hanwell; type Codinox
 - elektrisch rendement GM: circa 36.0% (o.w) (mech. rendement 36.41%)
 - thermisch rendement GM: circa 53 % (o.w., exclusief rookgascondensator)
 - vermogen rookgascondensators: 2 x 124 kW
 - elektriciteit wordt grotendeels teruggeleverd aan net (en gedeeltelijk zelf gebruikt o.a. voor warmtepomp)
- buffer (HT): 250 m³ (= 91.5 m³/ha) + 150 m³ = 400 m³ (= 146.52 m³/ha)
 - opslag temperatuur warme kant: 92°C
 - opslag temperatuur koude kant: 36°C
- warmtepomp (WP): elektrisch warmtepomp
 - fabrikaat York; type LCHHM 200 WhP50
 - compressor 1 108 kW; compressor 2: 81.4 kW
 - ontwerpwaarden: LT-warmte voor WP: T_{water verdamper.in} = 14°C, T_{water verdamper.uit} = 8°C;
T_{water condensor.in} = 41°C, T_{water condensor.uit} = 52°C
 - koelmiddel: freon (R22²⁰)
 - verwarmingsvermogen (ontwerp): 789 kW_{th} (= 289 kW_{th}/ha)
 - opgenomen elektrisch vermogen (ontwerp): 195 kW_e (= 71.4kW_e/ha)
 - opgenomen LT-warmte (ontwerp): 594 kW_{th} (= 218 kW_{th}/ha)

¹⁹ "o.w." betekent betrokken op de onderste verbrandingswaarde; rendementen hangen af van branderafstelling, (ketel)watertemperatuur, belasting e.d.

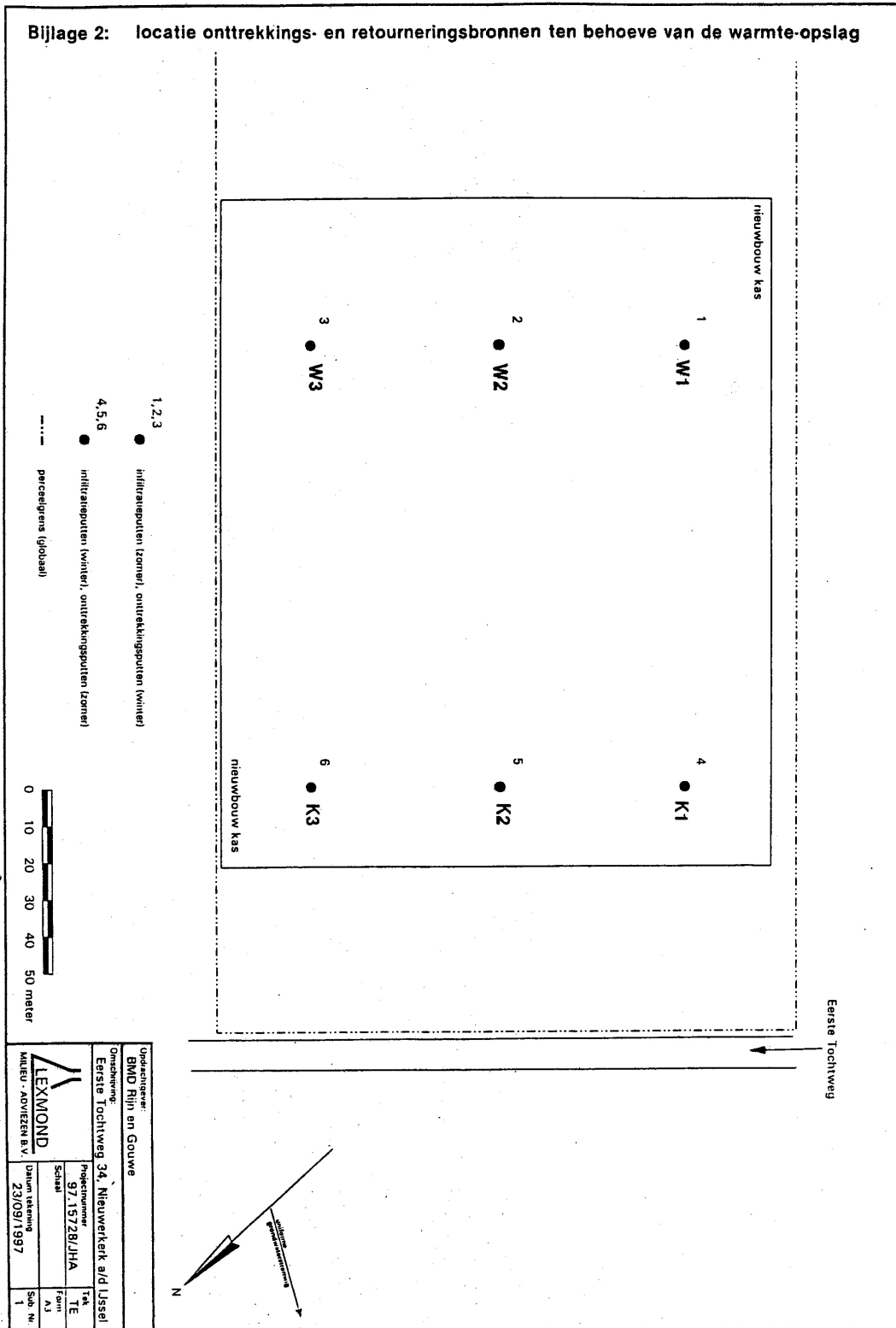
²⁰ Het koelmiddel R22 is een HCFK waarvan de ozonlaag-aantastende waarde slechts 5% is van die van R12 (Freon-12, een CFK), dat vroeger vaak in koelkasten, vriezers en airco's werd gebruikt. Harde CFK's zoals R12 mogen niet meer worden ingevoerd. Voor HCFK's is in het verdrag van Montréal een reductieprogramma voorzien, dat moet leiden tot een internationaal verbod op het gebruik ervan, in verband met de nog steeds, zij het in mindere mate, veroorzaakte schade aan de ozonlaag.

Bijlage A

- COP ontwerp (4.05?)
- praktijkwaarden: LT-warmte voor WP: $T_{\text{water verdamper.in}} = 14^{\circ}\text{C}$ (hoger zou mogelijk zijn bijvoorbeeld 17°C), $T_{\text{water verdamper.uit}} = 8^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{water condensor.in}} = 30-40^{\circ}\text{C}$,
 $T_{\text{water.condensor.uit}} = 40-54^{\circ}\text{C}$
- bedrijfsvoering: aan/uit bedrijf
- LT-warmte-afgifte: lage-temperatuur groeinet en/of buisrailnet worden gebruikt voor afgifte LT-warmte (de laatste alleen als deze niet hoog hoeft te worden gestookt in verband met een grote warmtevraag).
- aquifer: 3 doubletten (ontwerp $3 \times 40 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - totaal maximaal $120 \text{ m}^3/\text{h}$
 - ontwerptemperaturen warme bron (20°C) en koude bron (7°C)
 - praktijktemperaturen warme bron ($18-24^{\circ}\text{C}$) en koude bron (circa 10°C)
 - afstanden tussen putten: afstand warm-warm (en koud-koud): 50 m, warm-koud 120 m (zie opstellingstekening figuur A.1)
 - pompvermogens aquiferbronnen: circa 4 kWe
- TSA
 - platenwarmtewisselaar tussen aquifer en warmtepomp: 1800 kW

Kas

- teelt: trostomaat
- kasareaal: 2,73 ha (lengte x breedte perceel: 155 m x 200 m)
- Venlokas, kapmaat: 2 x 4 m (tralie 8 m, vakmaat 4,5 m); goothoogte: 5,3 m
- warmteafgifte in kas:
 - buisrailnet (hoge-temperatuurnet): diameter: 51 mm, (10 pijpen) 5 hairpins per 8 m breedte
 - "groeibuis" (lage-temperatuurnet tussen gewas) diameter: 32 mm, 5 pijpen/ 8 m (temperatuur: $30-55^{\circ}\text{C}$ rookgascondensorwarmte of warmtepompwarmte)
- geen energiescherm (de reden hiervoor is dat de tuinder in november nieuwe planten tussen de oude poot in de omhooggehaalde teeltgoten. Een scherm zou dan in winter tot een voor de jonge plant te hoge RV leiden. Deze 'tussenteeltwijze' is echter zeer aantrekkelijk, door langere plukperiode en levering op momenten dat producten relatief duur zijn).

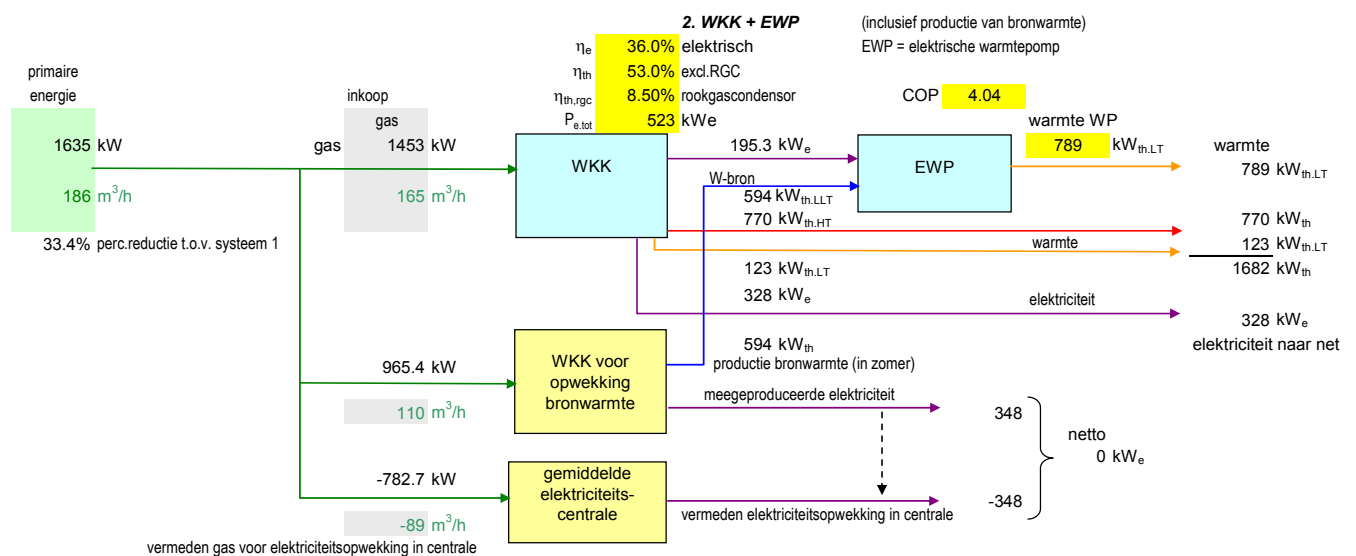


Figuur A.1 Locatie van warme (W) en koude (K) bronnen in kas

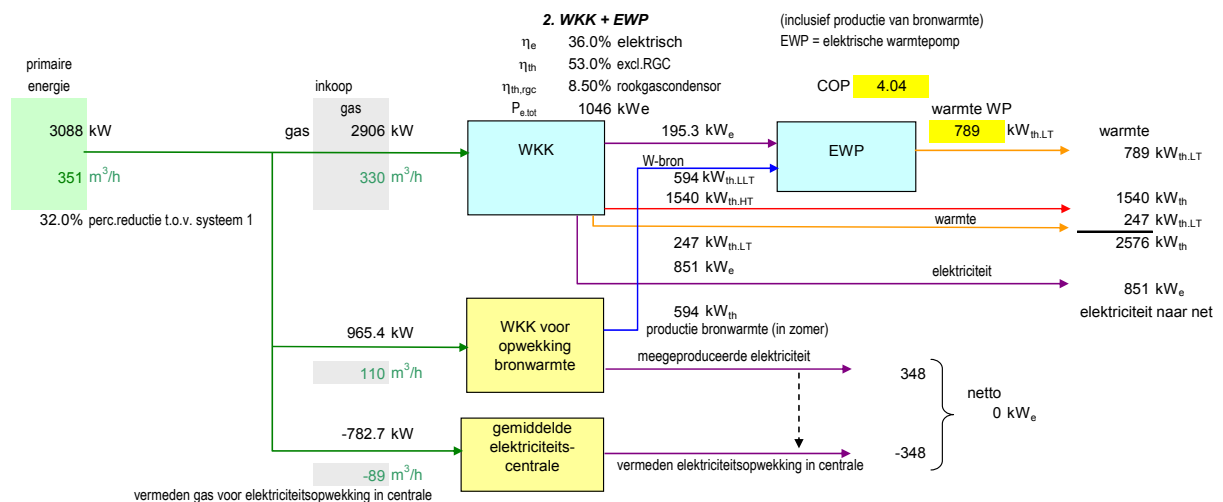
Bijlage B

BIJLAGE B BEREKENING PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK WKK + EWP INDIEN PRODUCTIE VAN BRONWARMTE MOET WORDEN MEEGEREKEND.

In deze bijlage wordt voor het WKK+EWP systeem het primaire-energieverbruik berekend in de situatie dat de bronwarmte niet 'vrij' beschikbaar is, maar in de zomer extra geproduceerd (voor CO₂-bemesting) wordt, omdat er lange-termijn opslagmogelijkheden zijn. Energietechnisch gezien moet deze bronwarmte dan worden verrekend in het primaire-energieverbruik.



Figuur B.1 Berekening van primair energieverbruik van systeem WKK+EWP indien productie van bronwarmte (door WKK) in verbruik moet worden verdisconteerd (1 WKK in bedrijf)



Figuur B.2 Berekening van primair energieverbruik van systeem WKK+EWP indien productie van bronwarmte (door WKK) in verbruik moet worden verdisconteerd (2 WKK's in bedrijf)

BIJLAGE C RENTABILITEITSBEREKENINGEN

Exploitatieoverzicht van alleen warmtepompsysteem met ondergrondse warmteopslag (zonder kosten en opbrengsten van WKK's)

Exploitatie-overzicht / elementen in terugverdienpotentieel van WP/ondergrondse opslag (WP+ATES)				besparing	
Referentie: WK zonder ondergrondse warmteopslag en warmtepomp					
	hoeveelheid	prijs per eenheid		EUR	EUR/m ²
1 + besparing op aardgascommoditykosten in de winter	169 771 m ³ ng	10,273 EURct/m ³	17441	0,64	
2 + besparing op energiebelasting over vermeden ketelgas (vrijstelling EB over WKK-gas)	169 771 m ³ ng	1,135 EURct/m ³	1927	0,07	
3 + besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)	36938 m ³ ng	5,1365 EURct/m ³	1897	0,07	
4 - extra elektriciteit voor warmtepomp + bronpomp ontladen	372718 kWh	1,808 EURct/kWh	-6739	-0,25	
5 - extra elektriciteit voor bronpomp laden	8533 kWh	4,485 EURct/kWh	-383	-0,01	
6 - extra onderhoudskosten WP + STEK			-3183	-0,12	
Totaal (netto) opbrengsten/besparing per jaar			10961	0,40	
	Terugverdientijd WP+ATES			25,6	jaar
	Netto contante waarde NCW (15 jr)	(rentevoet 5%)	-164 559	-6,03	

Toewijzing aan WP	deel aquifer	57,3%	(capaciteit te groot voor alleen WP)	
	deel LT-net	50%	(LT-net is ook nodig voor rookgascondensors)	
Meerprijs warmtepomp + deel ondergrondse W-opslag + 0.5 LT-net				281 004 EUR
- af: eventuele (subsidie/fiscaal) voordeel (0 = geen; 1 = wel):		0	0,00%	0
				281 004 EUR

Ad 1 Besparing op aardgascommoditykosten in de winter

# draaiuren WP	1855 h	2004	
warmteproductie WP	1 463 595 kWh/a	0,193 GJ/m ²	dekkingsgraad WP: 12,2%
uitgespaarde warmteproductie door (veronderstel) ketel	1 493 464 kWh/a		
	5 376 471 MJ/a		
uitgespaarde kuubs aardgas	169 771 m ³ /a		

Ad 2 Besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)

reductie van volume-overschrijdingen in stookseizoen (nov-april)		2003	2004
percentage overschrijding dagvolume	10,4%	240 097 m ³ /a	156687
percentage overschrijding dagvolume gemiddeld	12,0%	277 035 m ³ /a	5,50%
minder aardgas buiten band		36 938 m ³ /a	10,40%
besparing op "buiten band kosten"		1 897	

Ad 3 Extra elektriciteit voor warmtepomp + bronpomp ontladen

raming elektriciteitsverbruik WP	195 kW	1855 h	361 725 kWh/a	
raming elektriciteitsverbruik bronpompen				
	gemidd.# pompen	E-verbruik p.pomp		
	aantal	kW	uur	
ontladen (Δp= 2 bar)	1,5	3,95	1855	10 993 kWh/a
laden	1,2	3,95	1800	8 533 kWh/a
totaal bronpompen				19 526 kWh/a
totaal elektriciteitsverbruik WP+bronpompen				381 251 kWh/a
Warmte uit aquifer			1 101 870 kWh/a	(ontwerp: EMH: 2 201 519 kWh)
			1102 MWh/a	

verpompte volumes

	2004	m ³					
ontladen tot	24-mei	91241		1370	uur		
laden tot	27-sep	74989	--># uren	1800	uur		
ontladen vanaf	27-sep	36312		485	uur		
						gemid.debiet	Benodigde WF verliezen 1°C
	totaal m ³	ΔTgemid	MJ/a	MWh/a	m3/h	MWh/a	MWh/a
totaal ontladen	127553	9	4821503	1 339	68,8	1102	149
totaal laden	74989	15	4724307	1 312	41,7		

Exploitatie-overzicht / terugverdienpotentieel van WKK/RGR (i.p.v. alleen ketel met buffer; geen WP+ATES)						
Referentie: alleen ketel + buffer						
		hoeveelheid	prijs per eenheid	besparing		
				EUR	EUR/m ²	
1 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop plateau-uren		4 326 400 kWh	5,34 EURct/kWh	231 105	8,47	
2 + extra inkomsten elektriciteitsverkoop daluren		2 288 520 kWh	1,81 EURct/kWh	41 376	1,52	
3 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit plateau-uren	(verdisconteerd in 1)	-				
4 + (eventueel) vermeden inkoop van elektriciteit dal-uren	(verdisconteerd in 2)	-				
5 + extra gewasproductie (door hogere CO2-dosering dan bij ketel)	2% 60 kg/m ²	32 760	0,52 EUR/kg	17 035	0,62	
6 - extra aardgascommoditykosten WK ipv ketel (rekening houdend met WK-leveringsprofiel)		1 128 826 m ³	10,27 EURct/m ³	-115 964	-4,25	
7 + besparing op energiebelasting over vermeden ketelgas (vrijstelling EB over WKK-gas)		958 977 m ³	1,135 EURct/m ³	10 884	0,40	
8 + besparing op capaciteitskosten (minder overschrijding dagvolume)		0 m ³	5,1365 EURct/m ³	0	0,00	
9 - onderhoudskosten gasmotoren		6 614 920 kWh	0,69 EURct/kWh	-45 643	-1,67	
10 - kosten ureum (voor rookgasreiniger gasmotoren)		6 056 960 kWh	0,136 EURct/kWh	-8 237	-0,30	
11 - extra onderhoudskosten WP + STEK				0	0,00	
12 + minder kosten ketelonderhoud		5000 h	0,15 EUR/h	757	0,03	
13 + MEP-vergoeding (CO2-index)	1=MEP; 0 = no-MEP	1	2 275 532 kWh	59 164	2,17	
Totaal (netto) opbrengsten/besparingen per jaar				190 478	6,98	
				Terugverdiendtijd WKK's+RGR's		5,5 jaar
				Netto contante waarde NCW (15 jr) (rentevoet 5%)		970 353 35,54

Meerinverstering configuratie WK/RGR (i.p.v. alleen) ketel

+ investering WK's+RGR

1 019 414 EUR

+ investering extra koeltorens (voor wegkoelen overschot in zomer)

67 316 EUR

- meerprijs grotere ketel+rookgascondensor+buffer (indien alleen ketel)

-29 654 EUR

- af: eventuele (subsidie/fiscaal) voordeel (0 = geen; 1 = wel):

0 0 EUR

0,0%

Totaal meerinvestering configuratie WKK+RGR (zonder WP+ATES)

1 057 076 EUR

extra gasverbruik indien er geen WP/ATES is

(de WP-warmte wordt dan door de ketel opgewekt)

169 771 m³/a

zie onder exploitatie-overzicht WP+ATES

som	jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
EUR																
1 800 087	niet-verdiscont. kasstromen	-866599	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478	190478
970 353	verdiscont. kasstromen	-825332	172769	164542	156706	149244	142137	135369	128923	122784	116937	111368	106065	101014	96204	91623
NCW	(einde jaar)															

Tabel: gevoeligheid rentabiliteitscijfers voor energieprijzen in de situatie met subsidie

Prijs-scenario	Rentabiliteit WKK+WP+ATES (met subsidie) parametervariatie	procentuele prijs	prijs plateau	prijs dal	TVT jaar	NCW EUR
			EURct/kWh	EURct/kWh		
			EURct/m ³	EURct/m ³		
uitgangswaarden	uitgangswaarden elektriciteit	100%	5,34	1,81	5,5	975 274
	uitgangswaarden gasprijs	100%	10,27	10,27		
hogere prijzen	hogere relatieve elektriciteitsprijs	120%	6,41	2,17	4,3	1 525 992
	relatieve gasprijs	100%	10,27	10,27		
	relatieve elektriciteitsprijs	100%	5,34	1,81		
	hogere relatieve gasprijs	120%	12,33	12,33		
	hogere relatieve elektriciteitsprijs	120%	6,41	2,17		
	hogere relatieve gasprijs (gekoppeld aan E-prijs)	120%	12,33	12,33	4,7	1 325 402
lagere prijzen	lagere relatieve elektriciteitsprijs	80%	4,27	1,45	7,5	424 555
	relatieve gasprijs	100%	10,27	10,27		
	relatieve elektriciteitsprijs	100%	5,34	1,81		
	lagere relatieve gasprijs	80%	8,22	8,22		
	lagere relatieve elektriciteitsprijs	80%	4,27	1,45		
	lagere relatieve gasprijs (gekoppeld aan E-prijs)	80%	8,22	8,22	6,6	625 145

Bijlage C

Berekening besparing van WKK/WP/ATES-systeem op energiekosten (exclusief en inclusief meerkapitaalskosten)

Vergelijking energiekosten WKK/WP/ATES vs conventioneel	hoeveelheid	prijs per eenheid (EURct/e)	totaal EUR
Gaskosten conventionele energievoorziening	1392300 m ³	10,273	143 031
Elektriciteitskosten conventioneel bedrijf (kWh/m ²) 9,8	267540 kWh	dal/pl.gemid. 4,575	12 240
landelijk transportkosten 2004 (2xWKK+deel voor ketel)+diensten			31 476
overschrijding dagvolume (= addit.capaciteitskosten)	167076 m ³	5,137	8 582
Totaal raming energiekosten bedrijf met conventionele energievoorziening			195 328
Beparing E-kosten WKK/WP/ATES (E/-G, EB-voordeel, MEP)			237 226
Extra onderhoud WKK/WP/ATES			-56 306
Netto besparing energiekosten WKK/WP/ATES vs conventioneel			180 920
Procentuele besparing op energiekosten			93%
Beparing netto energiekosten incl. kapitaalskosten		condities kapitaalskosten	5%, 10 jaar 5%, 15 jaar
Kapitaalskosten (meerkosten WKK/WP/ATES)			166 775 123 157
Netto besparing energiekosten WKK/WP/ATES vs conventioneel			180 920 180 920
Netto beparing energiekosten minus extra kapitaalskosten			14 145 57 763
Totaal raming energiekosten conventioneel			195 328 195 328
Procentuele beparing energiekosten minus extra kapitaalskosten t.o.v. conventioneel			7,2% 29,6%

Contractcapaciteit Van der Heide 520 m³/h (2 WKK's, ketel)

N.B. voor alleen ketel zou 539 m³/h nodig zijn voor 4650 kWh thermisch vermogen
Dus capaciteitskosten WKK/WP/ATES en referentiesysteem met ketel ongeveer gelijk

Kapitaalslasten WKK/WP/ATES

Meerkosten WKK/WP/ATES 1 282 884

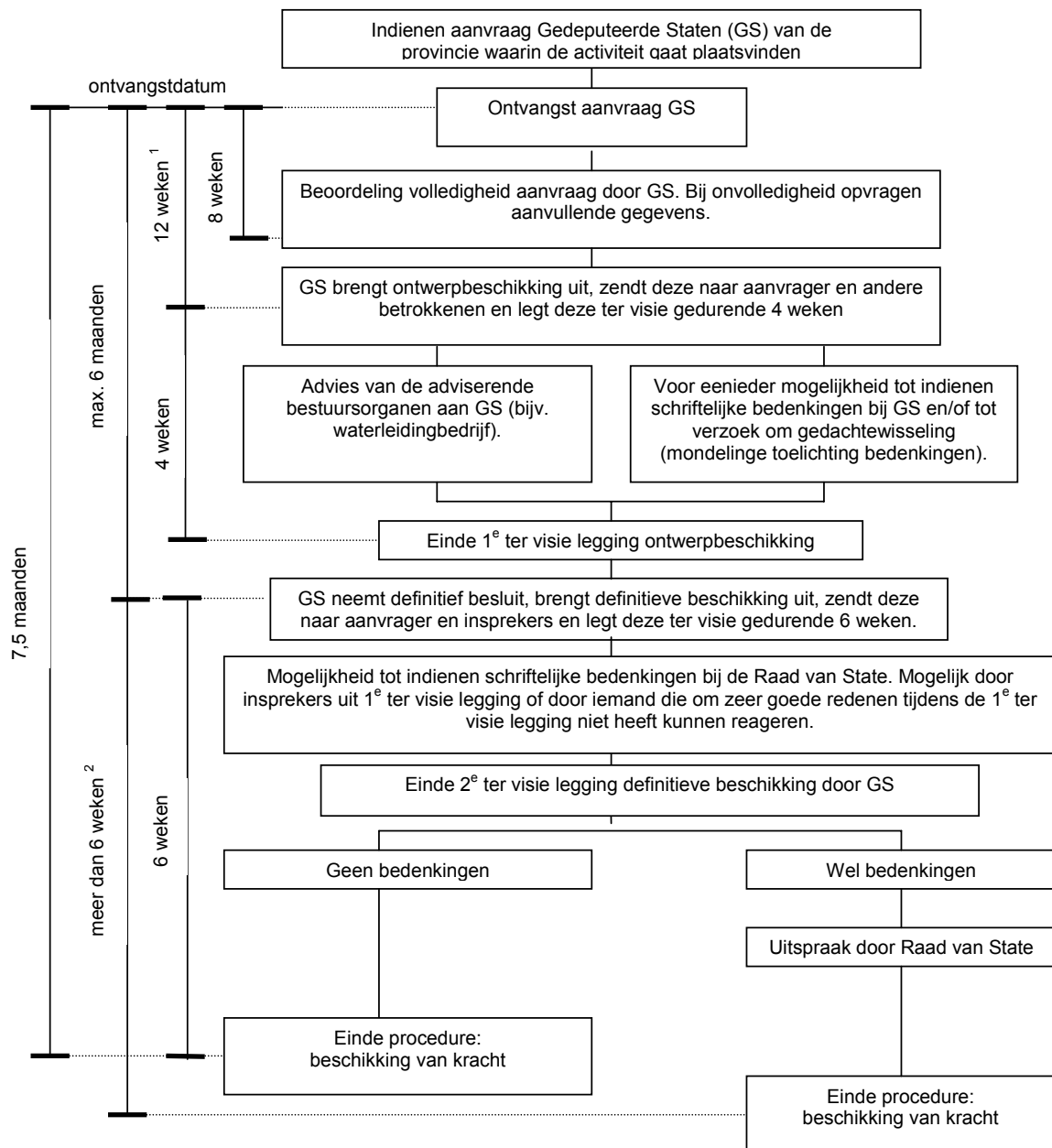
rente	duur (jaar)	EUR
Annuititeit 5%	10	166 775
Annuititeit 5%	15	123 157

Annuiteitsfactoren

jr \ rente	4%	5%
10	0,123	0,13
15	0,09	0,096

BIJLAGE D VERGUNNINGPROCEDURE

Samenvatting procedure vergunning grondwaterwet volgens Algemene wet bestuursrecht (Awb)



1 De Awb geeft aan dat na 12 weken een ontwerpbeschikking moet zijn uitgekomen. In de praktijk blijkt deze termijn overschreden te kunnen worden. De wet schrijft echter geen middelen voor om als vergunning-aanvrager hiertegen in beroep te kunnen gaan, dit in tegenstelling tot het te laat uitbrengen van een definitieve beschikking. Formeel gezien betekent een te laat uitbrengen van een definitieve beschikking een fictieve weigering. De vergunningaanvrager heeft dan de mogelijkheid om hiertegen een bedenking in te dienen bij de Raad van State.

2 Indien bedenkingen bij de Raad van State worden ingediend, is het onbekend wanneer een uitspraak wordt gedaan. Dit kan zelfs 1 tot 2 jaar in beslag nemen.

Bijlage E

BIJLAGE E GEBRUIKTE AFKORTINGEN

Gebruikte afkortingen in dit rapport:

ATES	=	aquifer thermal energy storage (ondergronds warmteopslag systeem in aquifer)
E	=	elektriciteit
EB	=	energiebelasting
EWP	=	elektrische warmtepomp
G	=	generator
HT	=	hoge-temperatuur (> 55°C)
LT	=	lage-temperatuur (< 55°C)
HT-W	=	hoge-temperatuurwarmte
LT-W	=	lage-temperatuurwarmte
M	=	motor
MEP	=	Milieukwaliteit ElektriciteitsProductie
NCW	=	netto-contante-waarde (engels: NPV = net present value)
RGR	=	rookgasreiniger
TVT	=	(eenvoudige) terugverdientijd
WK	=	warmtekracht
WKK	=	warmtekrachtkoppeling
WP	=	warmtepomp
W	=	warmte

BIJLAGE F RENTABILITEITSINDICATOREN

(Eenvoudige) terugverdiertijd (TVT) = investering / netto jaarlijkse financiële besparing.

Dit kental wordt vaak gebruik als eerste indicatie om de rentabiliteit te beoordelen. Voor een evenwichtige, complete beoordeling is ze echter onvoldoende omdat er van wordt uitgegaan dat in alle perioden dezelfde besparing zal optreden, wat niet het geval hoeft te zijn, en omdat er geen rekening wordt gehouden met de tijds waarde van de kasstromen.

Netto-contante-waarde NCW (engels: Net Present Value (NPV)): dit is som van alle verdiscontereerde^{*)} uitgaande en inkomende (differentiële) kasstromen (cashflows) van het project. De interestvoet (verdisconteringsrente) is in principe gelijk aan het minimum rendement dat vereist wordt voor de investering. Een NCW groter dan 0 betekent een hoger rendement, een negatieve NCW juist een lager rendement. Hoe groter de NCW, hoe aantrekkelijker financieel gezien de optie is. De NCW zegt weinig over het risico van de investering. Daarvoor dienen meerdere aspecten te worden bekeken.

^{*)} Een kasstroom die pas in de toekomst ontvangen wordt, heeft als die vandaag al zou kunnen worden ontvangen een lagere waarde. Bij een zogenaamde verdisconteringsrente van $r\%$ heeft een kasstroom K die na n jaar binnenkomt, naar de dag van vandaag 'contant gemaakt' een waarde van $K \cdot (100 / (100 + r))^n$. Voor bijvoorbeeld $r = 5\%$ is de 'naar vandaag contant gemaakte' waarde van een kasstroom van 1000 EUR die over 10 jaar ontvangen wordt ($n=10$) 614 EUR.