

Energieagenda vraagt om nieuw bodembeleid

Duurzame glastuinbouw met Warmte/Koude Opslag,
WKK en Zeer Lage Temperatuur Verwarming

Dit rapport werd in opdracht van InnovatieNetwerk en Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland opgesteld door:

P. Goudswaard, E. Koolwijk en S. Schlatmann



Projectleider InnovatieNetwerk/Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland:
P.T. Oei

Dit rapport is opgesteld in het kader van het InnovatieNetwerk-thema 'Duurzaam Ondernemen', concept 'Nieuwe Nuts' en het SIGN-programma 'Glastuinbouw 2030', speerpunt 'Nieuwe Nutsbedrijven'.



Postbus 19197

3501 DD Utrecht

tel.: 070 378 56 53

www.innovatienetwerk.org

Het ministerie van LNV nam het initiatief tot
en financiert InnovatieNetwerk.

Met medefinanciering van: **Productschap**  **Tuinbouw**

ISBN: 978 – 90 – 5059 – 400 – 4

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 09.2.220, Utrecht, januari 2010.



Postbus 51

2665 ZH Bleiswijk

tel.: 010 8008400

www.innovatieglastuinbouw.nl

SIGN is een initiatief van LTO
Glaskracht Nederland.

Voorwoord

Wetgeving is per definitie het resultaat van kennis uit het verleden. Stimuleert de huidige regelgeving energiebesparing of legt die juist beperkingen op?

Dit rapport laat zien dat er nieuwe kansen zijn om duurzame energie en energiebesparing in de glastuinbouw toe te passen, als we ons niet laten beperken door provinciaal bodembeleid. Dat beleid knelt op twee gebieden:

- Het maakt het op dit moment niet mogelijk om water dat warmer is dan 30 °C in de ondiepe ondergrond op te slaan.
- De vereiste om jaarrond de bodemtemperatuur op gemiddeld 12 °C te houden, zorgt voor veel energieverlies.

Te lage temperatuurniveaus voor het infiltratiewater zorgen ervoor dat de tuinders het water in de winter eerst met een warmtepomp moeten opwarmen. Een warmtepomp kost hoogwaardige elektriciteit voor een laagwaardige functie als verwarmen. Die warmtepomp is bovendien duur. Het verhogen van de maximale watertemperatuur zodat het direct voor verwarming is te gebruiken, is een belangrijke stap op weg naar verduurzaming van de glastuinbouw. Gelukkig zijn diverse provincies nu bezig met praktijkprojecten om te onderzoeken of een hogere temperatuur risico's met zich meebrengt.

Nieuw is om het principe van balanceren van de bodem op 12 °C los te laten. Energetisch is het veel beter om als eis te stellen, evenveel warmte uit de grond te halen als erin gaat. Bij het nieuw te bouwen datacentrum in de Wieringermeer speelt de bodem een cruciale rol: als buffer voor de warmte die jaarrond uit het computercentrum vrijkomt en die de tuinders vooral in de winter nodig hebben. Maar de huidige regelgeving stelt dat de gemiddelde bodem-

temperatuur 12 °C moet zijn, en dus moeten er koeltorens draaien om te compenseren voor de warmte. Extra energieverbruik, waar geen milieurendement of financieel rendement tegenover staat. De provinciale overheid kan bij uitzondering besluiten om af te wijken van gangbare regels om op die manier duurzaamheid te stimuleren. Maar is het niet zinniger om dat beleid aan te passen?

Naast de energieconcepten die een speciale behandeling door de provincie vereisen, toont dit rapport een eenvoudig nieuw concept om het rendement van de bestaande warmtekrachtkoppelingen (WKK's) te verbeteren door ZLTV (Zeer Lage Temperatuur Verwarmingssystemen). Door een diepere uitkoeling van het retourwater kunnen tuinders ook het laatste beetje energie uit de rookgassen halen. Het besparingspercentage is op zich niet schokkend, maar het grote areaal en de korte terugverdientijd van deze optie zorgen toch voor een forse besparing op sectorniveau. Bovendien draagt dit concept bij aan een groter marktvolume voor ZLTV, de cruciale technologie voor de Kas als energiebron.

We hopen dat dit rapport de discussie over het gebruik van de bodem in relatie tot energie een nieuwe impuls zal geven en zal leiden tot verdere verduurzaming van de sector.

Dr. G. Vos, N. van Ruiten,
Directeur InnovatieNetwerk. Voorzitter SIGN.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1. Inleiding

- 1.1 Achtergrond
- 1.2 Doelstelling
- 1.3 Afbakening
- 1.4 Opbouw rapport

2. Methodiek en uitgangspunten

- 2.1 Methodiek
- 2.2 Eigenschappen van technieken in de energieconcepten
- 2.3 Energiebehoefte kassystemen
- 2.4 Overige uitgangspunten

3. Concepten met open kas

- 3.1 WKK met Zeer Lage Temperatuur Verwarming
- 3.2 WKO op 75 oC met WKK
- 3.3 WKO op 35 oC met WKK of zon
- 3.4 WKO in combinatie met datacenter
- 3.5 Economische haalbaarheid van concepten voor open kassen

4. Concepten met semi-gesloten kassen

- 4.1 Semi-gesloten kas met restwarmtekas
- 4.2 WKK met WKO op 30 oC
- 4.3 WKK met AWP en WKO op 40 oC
- 4.4 WKK en AWP met een viervoudig bronsysteem
- 4.5 Economische haalbaarheid van concepten voor gesloten kassen

5. Concepten met geothermie

- 5.1 Dieper uitkoelen van geothermische warmte
- 5.2 Elektriciteitsopwekking uit geothermie

6. Conclusies en aanbevelingen

Bijlagen

- Bijlage 1: Aannames voor de berekeningen
- Bijlage 2: Details referentiekassen
- Bijlage 3: Details concepten open kassen
- Bijlage 4: Details concepten gesloten kassen
- Bijlage 5: Details concepten geothermie
- Bijlage 6: Werking absorptiewarmtepomp
- Bijlage 7: Aanvullende berekeningen geothermie met zeer lage temperatuurverwarming-systemen

Summary

21

21

21

22

24

24

26

29

29

31

35

37

39

41

45

51

57

59

69

Samenvatting

De glastuinbouw benut de bodem op dit moment op verschillende manieren om duurzamer met de energiehuishouding om te gaan. Verschillende telers hebben geothermieprojecten ontwikkeld, nadat gebr. A.G. van den Bosch in Bleiswijk het eerste aardwarmteproject van Nederland realiseerde. Het gaat hierbij om warm water van grote diepte (2 kilometer). Bij gesloten kassen is juist de ondiepe bodem van groot belang: de zomerwarmte blijft grotendeels bewaard in dikke zandpakketten, totdat de tuinders die warmte in de winter weer omhoog pompen.

In de praktijk gaan partijen uit van het huidige wetgevingskader voor de bodem. In deze studie hebben we uitdrukkelijk gekeken welke potentie nieuwe concepten hebben, zonder zich te laten belemmeren door wetgevingsaspecten vanuit het provinciale bodembeleid.

Veel ondernemers in de glastuinbouw beschouwen een warmtekrachtkoppeling (WKK) als de beste route om op korte termijn op hun energiekosten te besparen. Dit rapport vat de resultaten samen van het onderzoek naar een aantal vernieuwende energieconcepten voor WKK in combinatie met ondergrondse energieopslag op verschillende temperatuurniveaus, innovatieve warmtewisselaars (ZLTV), geothermie, buffers en ORC (Organic Rankine Cycle). De eerste ORC in de glastuinbouw is recent in gebruik genomen: het is een installatie die hoogtemperatuurwarmte in extra elektriciteit kan omzetten.

Voor alle energieconcepten zijn de energetische en economische consequenties vastgesteld. Specifiek voor de ondergrondse energieopslag is

ervoor gekozen om met name te kijken naar concepten die uitgaan van een hoger temperatuurniveau in de bodem dan tot op heden gebruikelijk is. Daarbij is bewust géén rekening gehouden met wetgeving die concepten onmogelijk maakt. Dit om niet al bij voorbaat technisch goede oplossingen over het hoofd te zien.

Belangrijke vragen bij de uitwerking van het onderzoek waren:

- Biedt het wegvallen van de maximum toelaatbare temperatuur voor warmteopslag in de ondiepe bodem nieuwe kansen voor energieconcepten?
- Kan ZLTV geïntegreerd worden in bestaande kassen om hiermee de prestaties van de WKK te verbeteren?
- Kunnen telers het primaire energieverbruik van de warmtepompen bij (semi-)gesloten kassen minimaliseren of zelfs voorkomen door uit te gaan van hogere temperaturen in de bodem?
- Kunnen telers de warmte uit een geothermische bron verder uitkoelen om meer kassen duurzaam te kunnen verwarmen?
- Is het mogelijk om elektriciteit uit de warmte van een geothermische bron te produceren, en heeft dat meerwaarde?

De methodiek van het onderzoek was als volgt. Verschillende energiebesparende technieken zijn in een brainstorm met bovenstaande vragen als bouwstenen toegepast in een aantal nieuwe energieconcepten voor open kassen, semi-gesloten kassen en kassen met geothermie. Indien mogelijk is geprobeerd om een combinatie met WKK te maken, om op die wijze de voordelen van (gedeeltelijke) eigen elektriciteitsopwekking te handhaven

(met name CO₂-productie voor de kassen). De bouwstenen in de energieconcepten zijn onderling gedimensioneerd aan de hand van de energiebehoefte van de huidige open of gesloten kassen. Daarbij is de energiebesparing vergeleken met een open kas of semi-gesloten kas. Op basis van de resultaten zijn de concepten daar waar nodig heroverwogen, opnieuw gedimensioneerd en doorgerekend.

Belemmerende regelgeving

Een optimale benutting van de bodem voor warmteopslag stuit nog op tal van bezwaren en belemmeringen, terwijl een aanpassing van de normstellingen leidt tot een aanzienlijke additionele energiebesparing. Voorbeelden hiervan zijn de maximale temperatuur waarmee warm water opgeslagen mag worden en de verplichte balancerings van de bodemtemperatuur.

Energiebesparing in de open kas

Warmteopslag op een hogere temperatuur leidt ertoe dat initieel warmte wordt toegevoerd, waardoor de bodem opwarmt. Het blijkt dat het loslaten van jaarlijkse balancerings van de bodem, energetisch een aanzienlijk voordeel op kan leveren. De provincie zou overigens kunnen verlangen dat de tuinders aan het einde van het project de bodem weer terugkoelen, zodat er netto geen energie aan de bodem is toegevoerd. Door bufferen van warmte uit WKK op hogere temperatuur kan een 100% warmte dekking van WKK bereikt worden, wat kan leiden tot additionele energiebesparing voor open kassen. De kosten van het aanleggen van Warmte/Koude Opslag (WKO) drukken echter zwaar op de exploitatie, waardoor de terugverdientijd lang is.

De toepassing van zonnecollectoren voor warmte levert een aanzienlijke energiebesparing, maar is nog niet rendabel. Tenzij een nieuwe generatie lowtech zonnecollectoren, zoals de Smart Skin, een dubbele functie dient en een deel van de dakconstructie vormt.

De toepassing van zeer lage temperatuur verwarming (ZLTV) en Warmte/Koude Opslag op hogere temperatuur dan gebruikelijk, creëert

nieuwe mogelijkheden voor de bedrijfsvoering in de tuinbouw bij open kassen. Zo kunnen warmtestromen uit geothermie of warmte uit een WKK verder worden afgekoeld. Het combineren van ZLTV met WKK leidt tot extra besparing met een goede terugverdientijd (circa 3 jaar). Hierdoor ontstaat een ultrahoog rendement WKK met een 3-6% hoger totaalrendement. Dit concept is zeer goed toepasbaar in bestaande kassen met WKK. Energiebesparing op alle WKK in de glastuinbouw (afgerond 2.900 MWe) levert een totale besparing op van circa 180 kton CO₂. Dit leidt tot versnelde implementatie van de cruciale techniek voor de Kas als energiebron, warmtewisselaars met een zeer hoge efficiency.

Alternatieven in open kassen	WKK Met ZLTV	WKO 75 oC	WKO 35 oC	WKO 35 oC zon (hightec)	WKO 35 oC zon (budget)
Energiebesparing (%)	15%	49%	54%	59%	53%
Terugverdientijd (jaar)	3,4	10,4	11,4	29,1	13,8

(WKK: Warmte Kracht Koppeling. ZLTV: Zeer Lage Temperatuur Verwarmingssysteem. WKO: Warmte/Koude Opslag.)

Energiebesparing in de gesloten kas

De combinatie van Fiwi-hex-systemen met een gesloten kas en een restwarmte kas lijkt niet tot additionele energiebesparing te leiden. Wel verbetert de economie van de gesloten kas omdat een groot deel van de benodigde elektriciteit opgewekt wordt met WKK, en niet meer uit het net wordt ingekocht.

WKO op een hogere temperatuur dan nu gebruikelijk in combinatie met alleen een (semi-)gesloten kas leidt ertoe dat er gebruik moet worden gemaakt van koeltorens om de benodigde koude op te wekken, terwijl de energiebesparing maar marginaal toeneemt. Uit deze studie blijkt dat het zinvoller is om de koude en warme bronnen te scheiden en gebruik te maken van twee onafhankelijke bronsystemen voor verwarming en koeling. De energiebesparing (54%) is groot, met een gunstige terugverdientijd (<2 jaar).

Het gebruik van een absorptiewarmtepomp (AWP) in combinatie met WKK in gesloten kas en warmteopslag van 40 °C in combinatie met een dubbel bronsysteem is erg interessant. Er kan dan op elk willekeurig moment warmte en koude worden opgewekt. Ook levert het een aanzienlijke besparing op. Ten opzichte van de huidige gesloten kas zijn er vrijwel geen meerkosten en is de terugverdientijd virtueel nihil. Dit systeem biedt veel perspectieven voor de semi-gesloten kas.

Alternatieven in semi-gesloten kas	Restwarmte-kas	WKK+4-bron	WKK+AWP
Energiebesparing (%)	-6%*	54%	54%
Terugverdientijd (jaar)	1,6	1,9	0,1

* De energiereferentie is gebaseerd op de combinatie van een open kas (0,6 ha) en een gesloten kas (1 ha)

Energiebesparing met een geothermiebron

Het verder uitkoelen van de beschikbare warmte uit de geothermiebron is een belangrijk aandachtspunt om de kostprijs van de warmte te optimaliseren. Het opwerken met een warmtepomp van de restwarmtestroom uit de kas leidt tot een goede energiebesparing. De investering in de warmtepomp drukt echter zwaar op de exploitatie, waardoor de terugverdientijd te hoog wordt. Overigens kan dit in specifieke gevallen gunstiger uitvallen, als bijlage 7 is een voorbeeld opgenomen waarin dit wel haalbaar lijkt.

Minder ver uitkoelen van de geothermiebron in een eerste kas en direct gebruiken door middel van ZLTV in een tweede kas biedt mogelijkheden en leidt tot grote energiebesparing. De kostenbesparing weegt ruimschoots op tegen de noodzakelijke investering in ZLTV.

Opties voor uitkoeling geothermiebron	Geo + WP	Geo + ZLTV
Energiebesparing (%)	33%	93%
Terugverdientijd (jaar)	>> projecttijd	<< 1 jaar

Elektriciteitsopwekking uit geothermie met ORC is alleen mogelijk vanaf een temperatuur van circa 100 °C. Het elektrisch rendement van de gebruikte energie is dan nog erg laag en ligt rond 5% (op basis van beschikbare energie uit de bron). Het blijkt echter dat de inzet van ORC niet tot energiebesparing leidt bij toepassing met geothermie.

Aanbevelingen

Op basis van de potentiële energiebesparing en de in deze studie berekende terugverdientijden verdient het in onze ogen aanbeveling om een vervolgtraject te starten met een verdere technische analyse en uitwerking van het concept. Dit moet leiden tot het opzetten van pilotprojecten voor:

- De WKK met ZLTV in een bestaande kas.
- De (semi-)gesloten kas met een WKK en dubbelbron-systeem.
- De (semi-)gesloten kas met WKK, AWP en dubbelbron-systeem.
- De open kas met verdere uitkoeling van een geothermiebron door ZLTV.
- Opslag van warmte uit een externe bron (bijvoorbeeld een datacenter) in de bodem op een hogere temperatuur dan tot nu toe in het bodembeleid is toegestaan, zonder jaarrond balanceren op 12 °C.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

In de glastuinbouw spelen zich op energiebeleid veel ontwikkelingen gelijktijdig af. Het opgestelde WKK-vermogen is de afgelopen jaren sterk toegenomen, terwijl er ook veel aandacht is voor energiebesparing in de tuinbouw. Hiervoor worden diverse gesloten en semi-gesloten kastypen ontwikkeld, waarbij over het algemeen ondergrondse Warmte/Koude Opslag (WKO) wordt toegepast voor seizoensopslag. Benutting van de bodem voor warmteopslag stuit nog op tal van bezwaren en belemmeringen, terwijl een aanpassing van de normstellingen zou leiden tot additionele energiebesparing. Voorbeelden hiervan zijn de maximale temperatuur waarmee warm water opgeslagen mag worden en de verplichte balancerings van de bodem. De uitgevoerde WKO-projecten zijn veelal uitgevoerd in combinatie met een warmtepomp en innovatieve warmtewisselaars. Ook worden er tuinbouwprojecten geïnitieerd met geothermie, waarbij warmte uit de diepe bodem wordt gewonnen en benut voor verwarming van de kas. Tevens wordt er momenteel een ORC-installatie in de tuinbouw gedemonstreerd waarmee hoge temperatuurwarmte ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) gedeeltelijk in elektriciteit kan worden omgezet.

De meeste systemen gebruiken elektriciteit die momenteel in de tuinbouw op grote schaal wordt geproduceerd met WKK's. Veel ondernemers beschouwen een WKK als de beste route om op korte termijn te besparen op hun energiekosten. Voor de economie van WKK's is de benutting van warmte zeer belangrijk. Ontkoppeling van de productie van warmte, elektriciteit en CO_2 is een belangrijke voorwaarde om de WKK rendabel te kunnen opereren. Daarom wordt WKK vrijwel altijd toegepast in combinatie met bovengrondse warmteopslag in waterbuffers.

De vraag doet zich voor of combinaties van WKK-warmte met de eerdergenoemde ontwikkelingen kunnen leiden tot een energetisch en economisch optimum. Hierbij zijn vele verschillende combinaties denkbaar die qua investering, energiebenutting en bedrijfskosten kunnen worden vergeleken en geoptimaliseerd.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is om aan de hand van een brainstormsessie een aantal vernieuwende energieconcepten vast te stellen voor WKK in combinatie met ondergrondse energieopslag op verschillende temperatuurniveaus, innovatieve warmtewisselaars (ZLTV), geothermie, buffers en ORC. Van deze energieconcepten worden de energetische en economische voordelen vastgesteld.

Belangrijke vragen bij de uitwerking waren:

- Kan ZLTV geïntegreerd worden in bestaande kassen om hiermee de prestaties van de WKK te verbeteren?
- Biedt het wegvallen van de maximum toelaatbare temperatuur voor warmteopslag in de ondiepe bodem nieuwe kansen voor energieconcepten?
- Kan het primaire energieverbruik van de warmtepompen bij semi-gesloten kassen geminimaliseerd of zelfs voorkomen worden?
- Kan de warmte uit de geothermische bron verder worden uitgeoeld zodat de opbrengst vergroot wordt?
- Is het mogelijk om elektriciteit uit de warmte van een geothermische bron te produceren, en heeft dat meerwaarde?

1.3 Afbakening

Er zijn veel varianten denkbaar waarbij WKK een rol kan spelen in combinatie met de eerdergenoemde mogelijkheden. Wij hebben in deze studie vanuit bestaande concepten een aantal nieuwe concepten naast elkaar gezet waarvan we de meest kansrijke concepten verder hebben uitgewerkt. Daarbij hebben we voor de volgende afbakeningen gekozen:

- Er is voor gekozen alleen concepten te analyseren die uitgaan van een hoger temperatuurniveau in de bodem dan tot op heden gebruikelijk;
- Er wordt bewust geen rekening gehouden met wetgeving die concepten onmogelijk maakt. Dit om niet al bij voorbaat technisch goede oplossingen over het hoofd te zien;
- De concepten worden op hoofdlijnen bekeken, wat betekent dat de technische aspecten en de economie globaal worden omschreven. De resultaten bieden inzichten waarmee in een vervolgstap de interessante concepten in detail kunnen worden uitgewerkt;
- Het ontwerp en de optimalisatie van het kastype worden buiten beschouwing gelaten, omdat daar in vele andere studies onderzoek naar wordt gedaan.

1.4 Opbouw rapport

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van de methodiek en uitgangspunten van de brainstormsessie waarmee deze studie is uitgevoerd.

Hoofdstuk 3 werkt de concepten met WKO en ZLTV in een open kas uit.

Hoofdstuk 4 analyseert een aantal concepten met gesloten kassen.

Hoofdstuk 5 beschrijft de concepten met geothermie op eenzelfde wijze.

Hoofdstuk 6 vat de belangrijkste conclusies samen.

Een uitwerking van de berekeningen is opgenomen in de bijlagen.

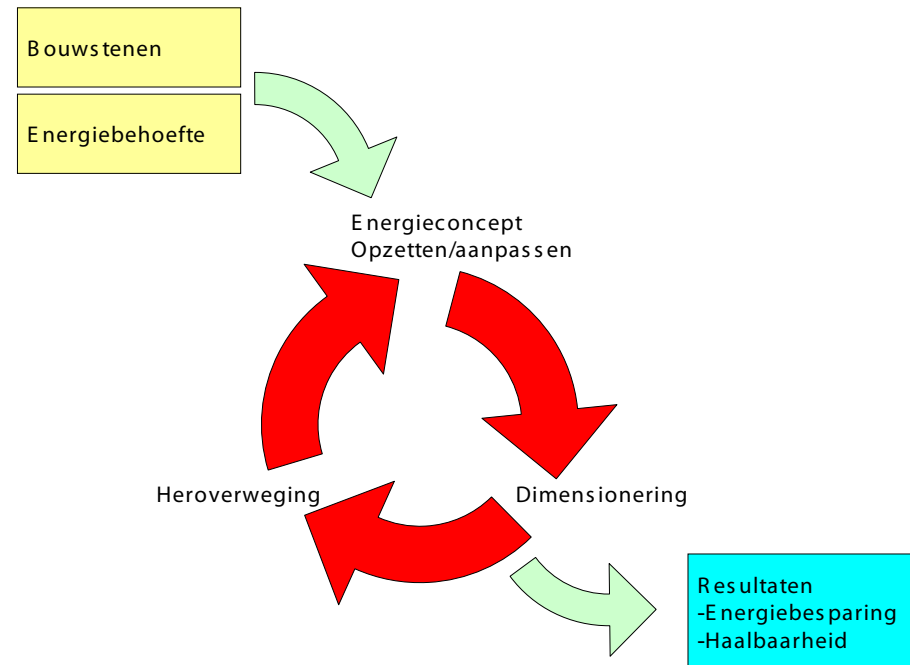
2. Methodiek en uitgangspunten

2.1 Methodiek

Deze studie is uitgevoerd door standaard beschikbare technieken in de tuinbouw en andere sectoren op een andere manieren te bedrijven of in andere combinaties toe te passen. De gebruikte technieken in deze studie zijn:

1. Warmte/Koude Opslag in de bodem (WKO).
2. Verwarmingssystemen die met een klein temperatuurverschil kunnen verwarmen (ZLTV).
3. Zonnecollectoren voor opwekking van (extra) warmte.
4. Absorptiewarmtepompen.
5. Geothermie.
6. De Organic Rankine Cycle (ORC) voor opwekking van stroom uit restwarmte uit bijvoorbeeld geothermische bronnen.

De bovenstaande energiebesparende technieken zijn in een brainstorm met de eerder opgestelde vragen uit de inleiding als bouwstenen toegepast in een aantal nieuwe energieconcepten voor open kassen, gesloten kassen, en met geothermie. Indien mogelijk is geprobeerd een combinatie met WKK te maken om op die wijze de voordelen van (gedeeltelijke) eigen elektriciteitsopwekking te handhaven. De bouwstenen in de energieconcepten zijn onderling gedimensioneerd aan de hand van de energiebehoeftes van de huidige open of gesloten kassen. Op basis van de resultaten zijn de concepten daar waar nodig heroverwogen, opnieuw gedimensioneerd en doorgerekend.



Figuur 1: Methodiek.

In deze studie is onderscheid gemaakt tussen open kassen en semi-gesloten kassen. In de open kas gaan in de zomer de ramen open als de temperatuur te hoog dreigt te worden. Bij een gesloten kas worden de ramen continu gesloten gehouden en wordt er actief gekoeld. Men spreekt van een semi-gesloten kas als er gedeeltelijk gekoeld wordt met actieve koelsystemen en gedeeltelijk gekoeld wordt door de ramen open te zetten. In dit

rapport wordt uitgegaan van de semi-gesloten kas. De eigenschappen van de open kas en de semi-gesloten kas worden in de volgende paragrafen beschreven.

De resultaten van de energieconcepten zijn weergegeven in de vorm van de energiehuishouding van het betreffende concept en de daarmee samenhangende energiebesparing ten opzichte van de toepassing van WKK in een kas (bij een open kas) of de semi-gesloten kas (in geval van koeling). Omdat de concepten voor gesloten kassen vergeleken worden met een semi-gesloten kas is het niet noodzakelijk om de eventuele meerproductie in de energiebesparing mee te nemen.

Voor het referentierendement van het landelijk net is 45% aangehouden. De hoogte van het referentierendement bepaalt mede de besparing en is het gemiddelde van het Nederlandse park gasgestookte elektriciteitscentrales (Bron: ECN monitoring elektriciteitscentrales 2000-2004). Als uitgegaan wordt van nieuwbouwcentrales, dan lijkt dit ook een goede waarde voor de mix van kolencentrales en aardgascentrales die nu door elektriciteitsbedrijven gepland zijn.

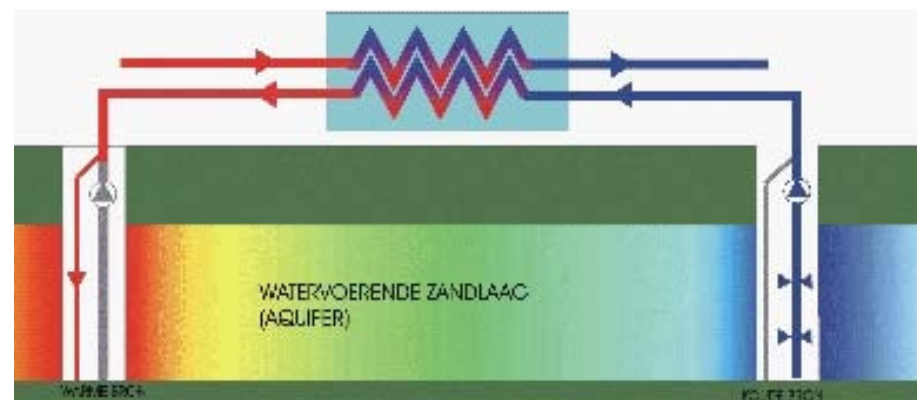
Tevens is er een quickscan uitgevoerd naar de financiële haalbaarheid van de verschillende concepten. De haalbaarheid is per hoofdstuk gepresenteerd in de vorm van een compleet overzicht van de economie en de terugverdientijd van de verschillende concepten. De details van de berekeningen aan de energiehuishouding van alle concepten zijn opgenomen in de bijlagen.

2.2 Eigenschappen van technieken in de energieconcepten

Warmte/Koude Opslag (WKO)

Bij energieopslag in de bodem wordt warmte en/of koude in watervoerende zandlagen (aquifers) opgeslagen. Bij grote systemen zoals in de glastuinbouw wordt er een koude en een warme bron geslagen. 's Winters

wordt water uit de warme bron benut met een warmtepomp voor verwarming in de kas. Koude van circa 8 °C wordt daarna terug in de koude bron gepompt. 's Zomers wordt deze koude opgepompt en gebruikt voor koeling in de kas. De warme bron heeft dan een temperatuur van circa 15-20 °C.



Figuur 2: Schema van een WKO-doublet (www.nvoe.nl).

Binnen de huidige regelgeving voor WKO is een maximumtemperatuur van 25 °C toegestaan (in Zuid-Holland 30 °C). Daarnaast is een vereiste dat de energiebalans van toegevoerde warmte en koude over het jaar genomen neutraal blijft.

Het gebruik van een WKO-systeem vereist pompenergie. In dit rapport wordt voor een WKO-systeem een COP (Coefficient of Performance) aangenomen van 40. De COP geeft de hoeveelheid elektriciteit aan die nodig is voor de productie of overdracht van warmte. Een COP van 40 betekent dus dat voor elke 40 kW warmte, er 1 kW elektrisch nodig is.

Zeet Lage Temperatuurverwarming (ZLTV)

Door middel van luchtbehandeling op basis van Zeer Lage Temperatuurverwarming (ZLTV) kan met lage temperatuurwarmte een kas of ruimte verwarmd worden. In deze studie gaan we uit van het Fiwi-hex-systeem. Deze werkt door middel van een systeem met een ventilator en dunne-

draad-warmtewisselaars en kan al met water vanaf 30 °C een kas verwarmen. De COP is circa 20 bij lage temperatuur en wordt wel 50 tot 80 bij hogere temperatuur. Het Fiwihex-systeem heeft als voordeel dat het mogelijk is zowel te koelen als te verwarmen met hetzelfde systeem. Voor het compleet verwarmen van een kas zijn circa 100 tot 125 kasten per ha benodigd. Het Fiwihex-systeem is geavanceerd; de investeringskosten liggen hoger dan voor een vergelijkbaar traditioneel systeem met buisverwarming.

Zon-thermisch collector

Een thermische zonne-installatie (ook wel zonneboiler) is een thermisch zonne-energiesysteem waarmee warm water aangemaakt kan worden met een vacuümbuis-systeem. Om de zoninstraling op te vangen, wordt op het dak van bijvoorbeeld de verwerkingshal een zonnecollector gemonteerd. Deze absorbeert de zoninstraling waarmee de collectorvloeistof wordt opgewarmd die verbonden is met de warmtebuffer. Een zonnecollector bereikt gedurende zes maanden een watertemperatuur van > 40 °C; de resterende maanden een temperatuur tussen 15 °C en 40 °C.

Absorptiewarmtepompen

In de gebouwde omgeving en op locaties waar veel restwarmte beschikbaar is, worden absorptiewarmtepompen (AWP) ingezet om in de basislast van de koelvraag te voorzien. Het werkingsprincipe van een AWP is gebaseerd op het oplossen en uitdampen van het koudemiddel in een aparte cyclus binnen het koelsysteem (een uitgebreide beschrijving van de werking is opgenomen in Bijlage 6). De voordelen van AWP zijn dat deze aangedreven kan worden door goedkope restwarmte van 90 tot 100 °C van bijvoorbeeld WKK. Daarnaast is de AWP vooral geschikt voor basislast. Daar staat tegenover dat de installatie aanzienlijk groter is dan een compressiekoelmachine van een vergelijkbaar vermogen.

Het gebruik van restwarmte biedt als bijkomend voordeel dat de bedrijfstijd van de WKK verlengd kan worden door in de zomer overbodige WKK-warmte om te zetten in koeling. De COP van een AWP ligt tussen 0,5 en 0,7.

Diepe geothermie

Bij diepe geothermie wordt heet water door middel van een productieput uit een watervoerende laag op grote diepte opgepompt. De warmte uit het water wordt vervolgens via warmtewisselaars benut, waarna het water teruggepompt wordt via een injectieput. Gangbaar is dat een bron circa dertig jaar aan warmte kan voorzien.

Er zijn een paar essentiële verschillen tussen diepe geothermie en WKO:

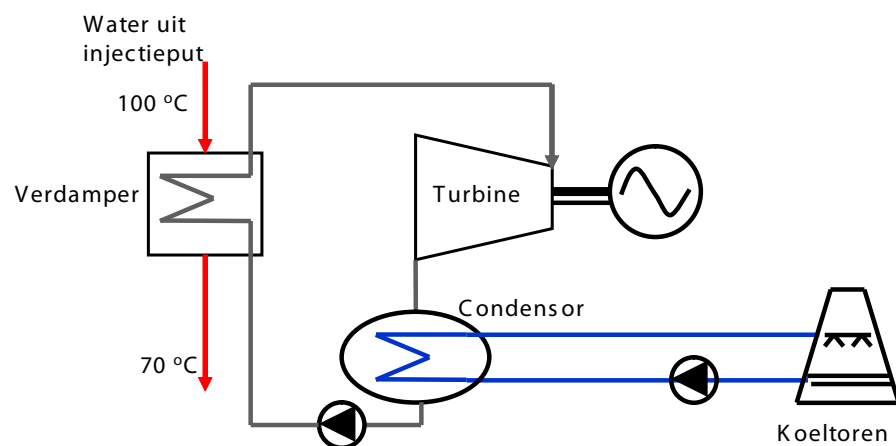
- De diepte: bij diepe geothermie worden lagen aangeboord vanaf circa 1.500 m. Deze diepte brengt ook zeer hoge investeringskosten met zich mee, waardoor het opzetten van een project kapitaalintensief is. Daarnaast is het risico op misboring groot.
- De temperatuur: als vuistregel geldt dat de bodemtemperatuur stijgt met circa 30 °C per km. Bij diepe geothermie wordt heet water opgepompt van circa 60-70 °C tot ruim boven 100 °C.
- De energiebalans: WKO is een concept voor warmteopslag, terwijl bij diepe geothermie warmte gewonnen wordt uit de bodem. In tegenstelling tot WKO, is er bij diepe geothermie dus geen sprake van een netto neutrale energiebalans van de bodem.

Als gekeken wordt naar het pompvermogen ten opzichte van de geleverde warmte, dan ligt de COP van een totaal systeem gemiddeld tussen de 15 en de 25. Diepe geothermie scoort energetisch zeer goed vergeleken met WKK of een semi-gesloten kas omdat er voor de geleverde warmte weinig tot geen primaire energie noodzakelijk is. Daarbij geldt dat hoe verder de beschikbare warmte uit de bron wordt uitgekoeld, hoe groter de energiebesparing wordt.

De Organic Rankine Cycle

Een Organic Rankine Cycle (ORC) is in staat om met 'laagwaardige' warmte elektriciteit op te wekken op basis van een Rankine Cyclus, daar waar een stoomturbine niet goed meer werkt. Eenvoudig uitgelegd werkt deze cyclus hetzelfde als een traditionele Stoom Cyclus (Rankine Cyclus), maar er wordt in plaats van stoom als werkmedium een organische vloeistof gebruikt.

stof gebruikt met een lager kookpunt, waardoor bij lagere temperaturen al verdamping kan plaatsvinden. De ORC is daardoor geschikt als de temperatuur van de restwarmte niet hoog genoeg is om stoom over te maken, of bij kleinschalige toepassingen vanwege de lage onderhoudskosten en een relatief hoog rendement. Een belangrijk aandachtspunt is dat in de condensor van de ORC veel van de gebruikte warmte vrijkomt op een lager temperatuurniveau.



Figuur 3: Werking van de ORC.

Het ORC-principe wordt momenteel toegepast bij benutting van aardwarmte, verbranding van biobrandstof en warmte opgewekt door zonnecollectoren. De momenteel beschikbare ORC's kenmerken zich door grote verschillen in prijs, onderhoud en inzetbereik (op basis van temperatuur). Het omzettingsrendement van de ORC wordt voornamelijk bepaald door het temperatuurniveau van de aangeboden warmte. Bij een relatief hoge temperatuur van circa 400 °C kunnen omzettingsrendementen van circa 20% worden behaald bijvoorbeeld met de ORC van TriOGen. Wordt warmte van circa 100 °C aangeboden uit bijvoorbeeld een CV-systeem van een WKK, zijn de rendementen circa 4 tot 5%.

2.3 Energiebehoefte kassystemen

Traditionele kas met WKK

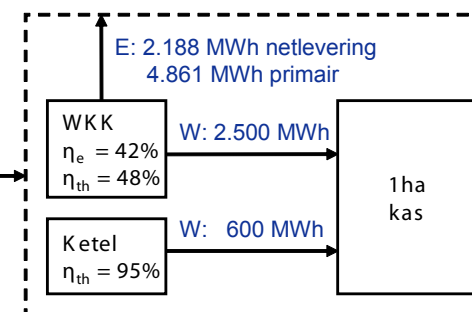
In de berekeningen aan open kassen wordt als referentie een moderne kas met WKK gebruikt. Hiervoor hebben we de volgende eigenschappen aangenomen (nadere details staan in de bijlagen):

- Warmtebehoefte 3.100 MWh/ha/jaar (35 m³/m²/jaar).
- Thermisch vermogen WKK 0,6 MWth/ha.
- Warmtedekking WKK 81%, ketel 19%.
- WKK-rendement elektrisch 42%; thermisch 48%.
- Ketelrendement 95%.

WKK bespaart energie in de tuinbouw omdat teruglevering van elektriciteit aan het net in mindering kan worden gebracht op de energie-inkoop, en dient voor veel tuinders als de referentiesituatie waartegen zij nieuwe investeringen in hun energiehuishouding afwegen. Figuur 4 geeft dit in grafische vorm weer.

Primaire energie per ha per jaar
Aardgas WKK 5.208 MWh
Aardgas ketel 632 MWh
Elektriciteitslevering -4.861 MWh
Netto primair input 979 MWh

Netto input 11,1 m³/m²



Figuur 4: Referentiesysteem: bestaande kas met WKK.

De semi-gesloten kas

In de berekeningen aan gesloten kassen met koeling wordt als referentie een moderne semi-gesloten kas gebruikt. Deze is gebaseerd op het 'oogsten' van zonne-energie in de zomer door middel van koude uit een aquifer. Het effect van de koeling is tweeledig. Ten eerste reguleert de

koeling de temperatuur in de kas. Daarnaast zorgt de koeling voor de gewenste vochtuishouding. De warmte die bij de koeling vrijkomt, wordt opgeslagen in een tweede ondergrondse aquifer. Tijdens het stookseizoen wordt het opgeslagen warme water opgepompt en opgewerkt tot een temperatuurniveau dat bruikbaar is voor verwarming van de kas.

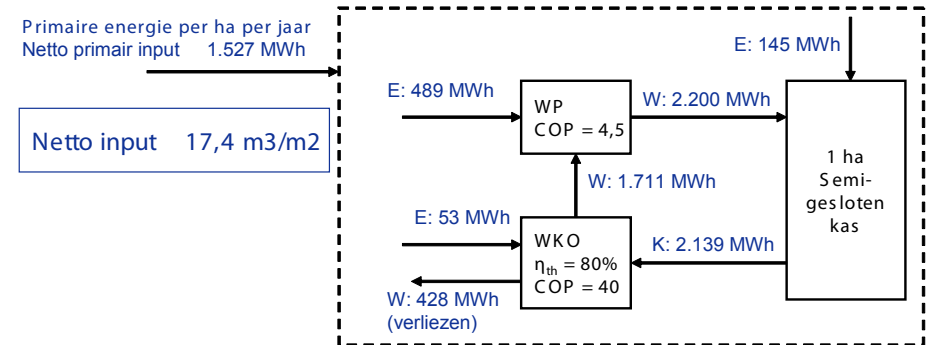
De belangrijkste besparing wordt bereikt omdat er geen aardgas meer nodig is voor verwarming van de kas. In principe is het mogelijk dat er tijdens de koeluren meer warmte wordt 'geoogst' dan benodigd is tijdens de verwarmingsuren, waardoor de warmtebalans van een tuinbouwkas positief uit kan vallen.

Voor deze studie is er echter voor gekozen de kas niet verder uit te koelen (of warmte 'te oogsten') dan er voor verwarming noodzakelijk is. We gaan er daarbij van uit dat er voor verwarming ook minder energie benodigd is door vergaande isolatie van de kas. De eigenschappen van de semi-gesloten kas voor deze studie zijn:

- Verwarmingsbehoefte 2.200 MWh/ha/jaar.
- Koeling 2.139 MWh/ha/jaar.
- COP-warmtepomp voor verwarming 4,5.

In principe is het mogelijk om de warmtepomp met een hogere COP te bedienen als er gebruik gemaakt wordt van een ZLTV-systeem in de kas. Daarmee is in deze studie nog geen rekening gehouden.

Door het gebruik van elektriciteit voor de warmtepomp, de bronpompen en ventilatoren is de energiebalans van de semi-gesloten kas momenteel minder goed dan de energiebalans van een open kas met WKK. Figuur 5 geeft de energiebalans van de semi-gesloten kas weer:



Bijschrift: Figuur 5: Referentiesysteem: semi-gesloten kas met WP.

2.4 Overige uitgangspunten

Buffering

In alle concepten is uitgegaan van dagbuffers voor warmte. Hiermee kan op dagbasis een concept geoptimaliseerd worden door bijvoorbeeld de piekmomenten af te vlakken of juist te benutten: de WKK kan bijvoorbeeld enkel tijdens de piekuren worden ingezet.

Energieprijzen

Voor de berekening van de economie van de nieuwe concepten zijn we voor gas en elektriciteit uitgegaan van de forwardprijzen voor 2010 (stand begin juli 2009):

- Elektriciteit plateau 68,14 €/MWh.
- Elektriciteit dal 35,51 €/MWh.
- Gasprijs 17,84 eurocent/m³.

3. Concepten met open kas

Traditionele 'open' kassen worden momenteel verwarmd en ontvochtigd met een buizensysteem. Op de bodem ligt doorgaans een hoogtemperatuursysteem dat ook dient als rails voor de karren in de kas. Daarnaast wordt vaak verwarming met een lagere temperatuur tussen de planten toegepast. Warmte uit WKK wordt op dagbasis gebufferd in de vorm van warm water in buffertanks. Een typisch temperatuurverschil over de buffers is 40 tot 50 °C. Door warmte uit de WKK verder uit te koelen of tussen seizoenen uit te wisselen, kan de inzet van WKK verbeterd worden, wat mogelijk het rendement van de WKK verder verhoogt.

Er zijn vier concepten onderzocht die voor open kassen mogelijk tot verbetering van de energiehuishouding kunnen leiden:

- WKK in combinatie met ZLTV.
- WKK en WKO op 75 °C.
- WKK en WKO op 35 °C met ZLTV.
- De toepassing van een zonnecollector in combinatie met WKO.

3.1 WKK met Zeer Lage Temperatuur Verwarming

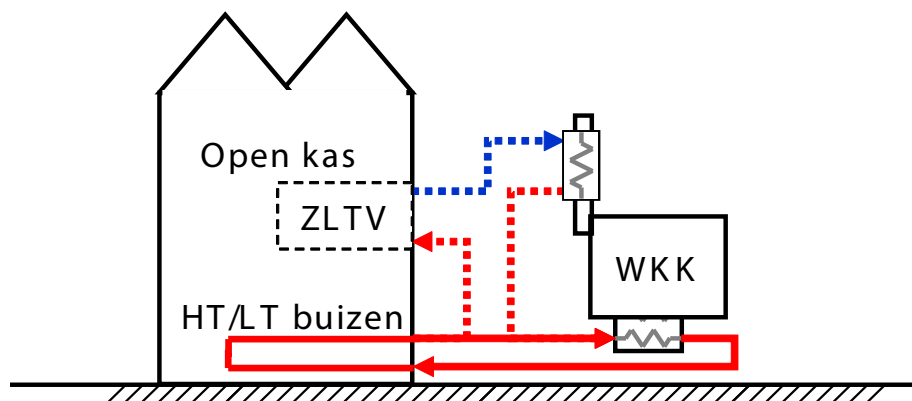
Gasmotor-WKK wordt zeer breed toegepast in de Nederlandse glastuinbouw. Momenteel staat er op circa 6.000 ha een WKK opgesteld in de glastuinbouw (in totaal 2.900 MWe per 1 januari 2009). Door het totaalrendement van de WKK's te verbeteren, is met een kleine rendementsverbetering een zeer groot potentieel aan besparing te realiseren.

Het totaalrendement van WKK bedraagt circa 90%. Het wordt bepaald door de optelling van het elektrisch rendement en het thermisch rendement. Door de rookgassen van de WKK verder uit te koelen, kan het totaalrendement verder stijgen. Daarvoor is het noodzakelijk dat de kas op een lagere temperatuur verwarmd wordt dan gebruikelijk. Het huidige standaard buizenet is hiervoor niet meer geschikt, waardoor de toepassing van vloerverwarming of ZLTV noodzakelijk is. Door de combinatie van WKK met ZLTV ontstaat een ultrahoog rendement WKK (oftewel UHR-WKK).

De extra warmte wordt in dit concept opgewekt met een tweede condensor die het rookgas verder uitkoelt, waarna deze lagetemperatuurwarmte (LT-warmte) met een beperkt aantal ZLTV-installaties in de kas kan worden gebruikt. Daarmee stijgt het thermisch rendement van de WKK en kan de energieopbrengst van het ingezette aardgas geoptimaliseerd worden. De bestaande verwarmingsinfrastructuur met buizen in de kas blijft gehandhaafd.

De belangrijkste voordelen van de vervanging van een deel van de buisverwarming door de ZLTV zijn:

- Het thermisch rendement van de WKK stijgt.
- Een deel van de ketelstook kan voorkomen worden.
- Het is gemakkelijk inpasbaar in bestaande kassen.



Figuur 6: Inpassing van ZLTV in een bestaande kas met WKK.

De tweede rookgascondensor en de tweede trap intercooler leveren gezamenlijk een extra thermisch vermogen van 6 tot 9%. Voor deze studie is 6% aangehouden. Het thermisch rendement stijgt hiermee van 48% tot 54%, en het totale rendement van de WKK van 90% naar 96%.

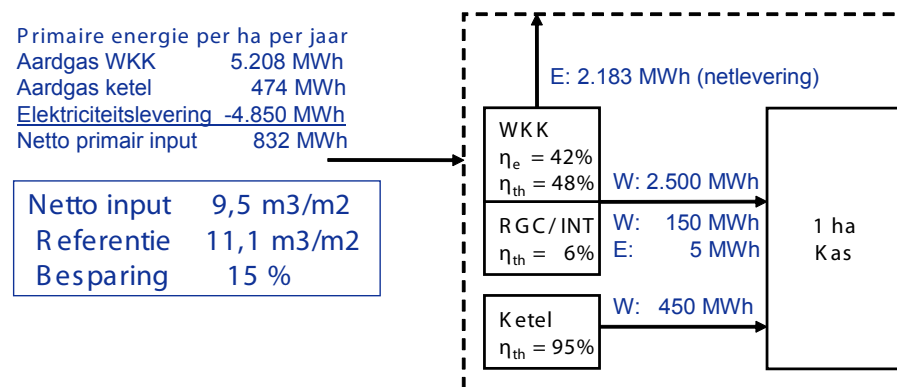
De warmteverdeling in de kas is van cruciaal belang. Beide verwarmingssystemen (het buizenet en de ZLTV) moeten met elkaar kunnen samenwerken om tot een optimale verwarming van de kas te komen. Op basis van ervaring bij FiwiHex is geconcludeerd dat de combinatie van beide verwarmingssystemen geen probleem oplevert. Het aantal ZLTV-units moet wel slim worden opgesteld in de kas om een goede warmteverdeling te verzorgen.

De dimensionering van dit concept hangt af van de extra warmte die door toepassing van de ZLTV beschikbaar komt. In principe zijn er twee routes:

- Ten eerste kan ervoor worden gekozen om met de extra beschikbare warmte de ketelstook te verdrijven. De grootte van de WKK blijft dan hetzelfde en de draaiuren van de ZLTV blijven beperkt tot de uren dat de ketel zou hebben gedraaid.
- Ten tweede kan gekozen worden om het overall rendement van de WKK te verhogen te verhogen, waardoor de WKK kleiner kan worden uitgevoerd.

In deze studie is vooralsnog alleen gekeken naar de route waarbij de ketelstook vermeden wordt.

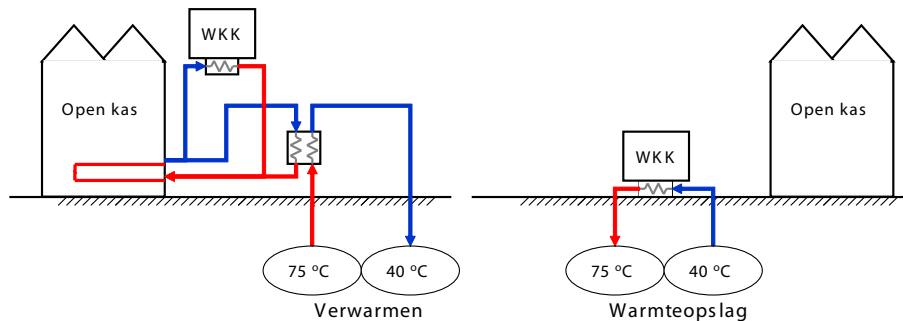
De energiestromen en de te realiseren besparing zijn in Figuur 7 weergegeven. Bij de gekozen referentie (een WKK van 0,6 MWth/ha) wordt er circa 75 kW extra LT-warmte geproduceerd met een tweede condensor en de tweede trap intercooler. Op basis van een gegeneraliseerd warmteafnamepatroon van meerdere tuinders zijn we er voorzichtigheidshalve van uitgegaan dat deze warmte 2.000 uur kan worden ingezet, en bedraagt de energiebesparing 150 MWh op jaarbasis. Ten opzichte van de referentie met WKK bedraagt de energiebesparing op jaarbasis circa 15%.



Figuur 7: Energiehuishouding met ZLTV in een bestaande kas met WKK.

3.2 WKO op 75 °C met WKK

Warmte uit een WKK wordt ondergronds opgeslagen op een hoge temperatuur. Er is gekozen voor een temperatuur van 75 °C. De grond fungeert dan als seizoensbuffer voor de opgeslagen hogetemperatuur warmte (HT-warmte), die vooral in de zomer wordt geproduceerd. De toepassing van een bovengrondse warmtebuffer blijft noodzakelijk om de dagelijkse schommelingen in de warmtevraag af te vlakken.



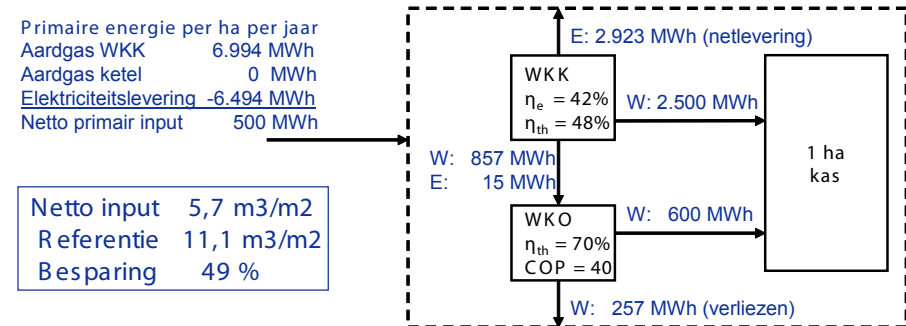
Figuur 8: WKO op 75 °C met WKK.

Door de gekozen hoge opslagtemperatuur van 75 °C kan het traditionele buizenet gehandhaafd blijven en is het niet noodzakelijk om gebruik te maken van ZLTV of een warmtepomp in de kas. Door de combinatie van de HT-verwarming met het traditionele buizenet zal de retourtemperatuur van het CV-systeem circa 40° C bedragen en wordt de bodem verder opgewarmd. Dat maakt dit concept ongeschikt voor gesloten kassen omdat er geen koude meer beschikbaar is voor de gewenste koeling in de zomer. Aannames in dit concept waren:

- Het warmteverlies in de aquifer bedraagt 30%.
- Het elektriciteitsverbruik van de WKO voor pompen resulteert in een COP van 40.

Het belangrijkste voordeel voor de WKK is dat de warmte dekking van de WKK zeer hoog kan oplopen (in principe tot 100%). Door een grotere WKK dan gewoonlijk (0,8 MWth in plaats van 0,6 MWth/ha) kan er extra warmte in de bodem worden opgeslagen en wordt het stoken met de ketel in de winter voorkomen. De opgeslagen warmte wordt benut tijdens de uren met piekvraag. De dimensionering van de grootte van de WKK hangt af van de energiebalans over het gehele jaar en de warmteverliezen die optreden in de aquifer.

Door HT-warmte op te slaan in de bodem en de WKK-dekkingsgraad te verhogen naar 100%, is een energiebesparing tot 49% mogelijk ten opzichte van de traditionele kas.



Figuur 9: Energiehuishouding met WKK-warmte-opslag op 75 °C.

Een belangrijk aandachtspunt in dit concept is de temperatuur van het bodemwater en de mogelijke chemische reacties die optreden. Volgens specialisten zou het bodemwater vanaf 60 °C een vervuilingsgedrag kunnen vertonen dat op de vorming van ketelsteen lijkt. Als gevolg daarvan kan de aquifer sneller verstopt raken. In een eerder project in Utrecht met warmteopslag op 90°C (Evaluatie Warmteopslag Universiteit Utrecht, IF Technology, mei 2001) is gebleken dat het ontwerp van een dergelijk systeem complexer is dan dat van een WKO-systeem op lage temperatuur. Materialen moeten aangepast worden voor de hogere temperaturen en een behandeling tegen kalkneerslag is noodzakelijk. De warme bron raakte verstopt, waardoor het project uiteindelijk gestopt is. De oorzaak van de verstopping is niet bekend, maar het is niet uitgesloten dat de verstopping verband houdt met de waterbehandeling. In een mogelijk vervolg zal dit onderzocht moeten worden.

3.3 WKO op 35 °C met WKK of zon

Een logische vervolgstap is het verlagen van de temperatuur van de ondergrondse warmteopslag. Bij de inzet van warmte met een temperatuur lager dan 40 tot 50 °C wordt het gebruik van een ZLTV noodzakelijk om direct vanuit de aquifer de kas te kunnen verwarmen zonder toepassing van een warmtepomp. Er is in dit concept gekozen voor een temperatuur

van 35 °C. Hoewel ZLTV met lagere temperaturen (van 30 °C) kan werken, is de COP van de ZLTV aanmerkelijk hoger als een hogere temperatuur wordt gehanteerd. De keuze van de uiteindelijke temperatuur is een afweging geweest tussen de gewenste grootte van de aquifer en de temperatuur waarmee de kas verwarmd kan worden.

Door uit te gaan van opslag op lagere temperatuur wordt het mogelijk om ook andere alternatieven te beoordelen als mogelijke warmtebron. Warmtelevering uit een externe warmtebron blijft wel noodzakelijk om de gewenste temperatuur te behalen; de kas kan deze temperatuur niet op zichzelf leveren. Voor dit concept zijn twee mogelijke warmtebronnen onderzocht: WKK en een zonnecollector.

Voor de bedrijfsvoering van de kas is als uitgangspunt aangenomen dat deze in de zomer op een 'normale' manier bedreven wordt. De warmte uit de externe bron (WKK of zonnecollector) wordt gebruikt voor ontvochtiging door verwarming, additioneel wordt een deel van de warmte uit de WKK of zonnecollector in de WKO opgeslagen voor verwarming in de winter met de ZLTV. Omdat de kas in de zomer geen koelvraag heeft, kan de warmte met een hogere temperatuur terugstromen naar de 'koude' bron van de WKO. Deze retourtemperatuur zal hier circa 25 °C zijn.

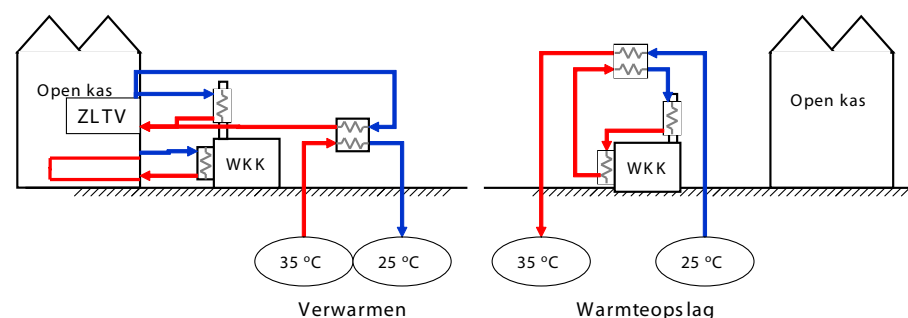
Het voor langere tijd opslaan van warmte van 35 °C lijkt niet op grote problemen te stuiten. Als biologische activiteit optreedt, zal dit bij warmteopslag op 35 °C waarschijnlijk iets sneller verlopen dan bij de huidige gebruikelijke 20 tot 25 °C. Alleen het blootstellen aan lucht kan eventueel tot problemen leiden. Het is daarom noodzakelijk om het systeem hermetisch gesloten te houden. Dit gebeurt echter ook al bij de huidige WKO-systemen, dus dit zal niet tot problemen leiden.

Warmte uit WKK

In dit concept wordt de LT-warmte van de WKK opgeslagen in een aquifer tijdens de zomer. In de winter wordt dit dan ingezet om de ketelstook te voorkomen. Zodoende stijgt de warmtedekking van de WKK

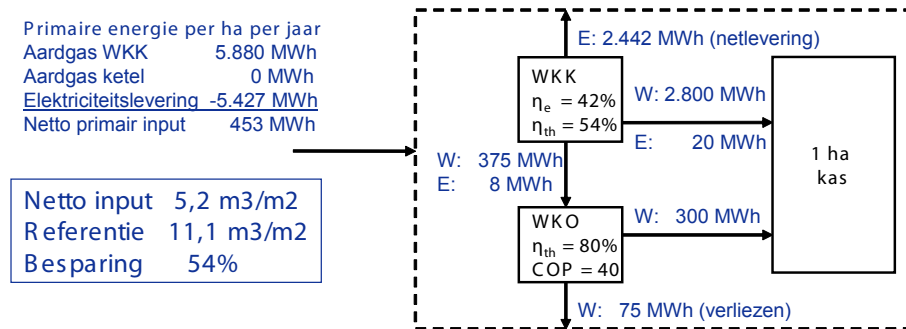
naar 100%. Bovendien stijgt het thermisch rendement van de WKK door de LT-warmte op 35 °C te gebruiken. De opgeslagen LT-warmte wordt in de winter ingezet via ZLTV. Het conventionele buizensysteem wordt nog steeds gebruikt voor de hoge temperatuurwarmte uit de WKK.

Deze combinatie is vergelijkbaar met het concept van WKK met ZLTV uit Hoofdstuk 3. Alleen de LT-warmte uit de aquifer en uit de tweede rookgascondensor wordt ingezet via de ZLTV. Deze combinatie zorgt ervoor dat niet het hele areaal van ZLTV-units voorzien hoeft te worden. Er is aangenomen dat door dagbuffering 50% van de opgeslagen LT-warmte direct ingezet wordt zonder opgeslagen te worden in de aquifer. Het extra aantal draaiuren in de zomer levert ook meer elektriciteitsproductie op. Er is bovendien meer en langer CO₂ ter beschikking.



Figuur 10: WKO op 35 °C met WKK.

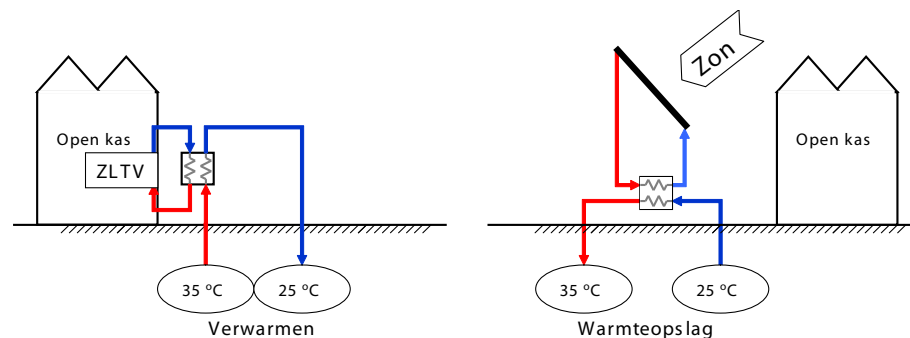
Ten opzichte van het concept met warmteopslag op 75 °C treden er aanzienlijk minder warmteverliezen op in de aquifer door de lagere opslagtemperatuur. Daarnaast is een groot voordeel dat de WKK een hoger thermisch rendement heeft door de toepassing van ZLTV in de kas. Daar staat tegenover dat de aquifer groter zal moeten worden uitgevoerd omdat het temperatuurverschil in de aquifer lager is. Vergelijken met de referentie levert dit concept een energiebesparing op van 5,9 m³ aardgas-equivalent/m² of 54%.



Figuur 11: Energiehuishouding met WKK-warmte-opslag op 35 °C.

Warmte uit een zonnecollector

Tevens is gekeken naar de mogelijkheden om de WKK te vervangen door zonnecollectoren als warmtebron in te zetten voor de warmwaterproductie. Daarmee zou de hele kas zonder aardgas kunnen worden bedreven, wat een grote energiebesparing oplevert. Er is in eerste instantie gekeken naar het totale zonnecollectoroppervlak dat benodigd is om het grondwater tot 35 °C op te warmen.



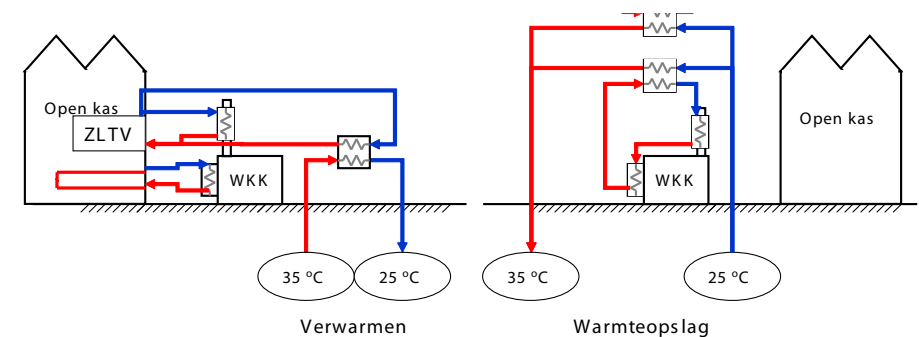
Figuur 12: WKO op 35 °C met zonnecollector.

Voor de dimensionering is hier het totaal noodzakelijke oppervlak in relatie tot het kasoppervlak van belang. Op basis van een globale berekening met een systeem met vacuümbuizen is ongeveer 50% van het kasop-

pervlak benodigd om dit concept uit te kunnen voeren. Deze ruimte is vrijwel niet beschikbaar binnen de tuinbouw, waaruit blijkt dat dit concept niet haalbaar is. Er is daarom voor gekozen om dit concept niet verder uit te werken.

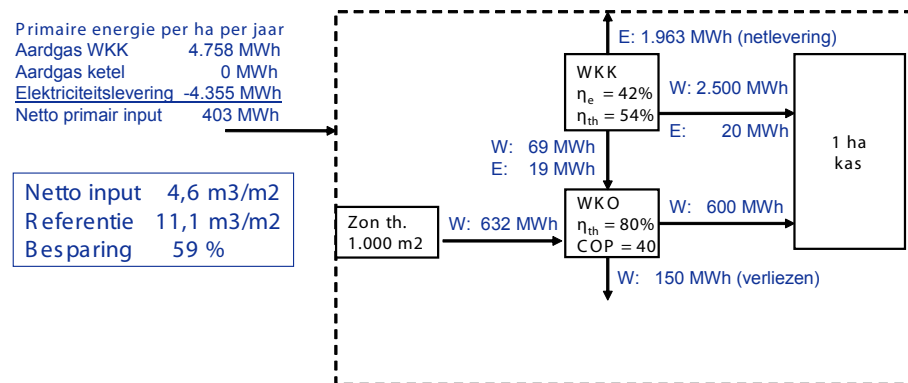
Warmte uit een combinatie van WKK en zonnecollectoren

Als laatste concept is ook de combinatie van WKO op 35 °C met zonnecollectoren en WKK geanalyseerd. De toepassing van alleen zonnecollectoren lijkt niet reëel vanwege de benodigde oppervlakte. De combinatie van de zonnecollectoren met WKK vermindert het gebruik van aardgas, en is vanuit dit perspectief interessant voor glastuinbouw als alternatief voor de gesloten kas als zonnecollector.



Figuur 13: WKO op 35 °C met WKK en zonnecollector.

Voor de berekening is ervan uitgegaan dat 10% van het kasoppervlak (bijvoorbeeld de verwerkingshal) beschikbaar is voor plaatsing van zonnecollectoren voor warmteproductie. Het restant van de warmtevraag wordt ingevuld door WKK. Uit de berekening blijkt dat er een additionele energiebesparing mogelijk is van 54% naar 59% ten opzichte van het concept met alleen WKK.



Figuur 14: Energiehuishouding met opslag WKK-warmte en zonnecollector op 35 °C.

In plaats van vacuümbuiscollectoren met een hoge opbrengst kunnen ook eenvoudige collectoren geplaatst worden, zoals de Smart Skin. Dit is een relatief goedkope constructie met zwarte watervoerende buisjes. Door de lagere opbrengst komt de totale input primaire energie bij toepassing in bovenstaand concept uit op 5,2 m³/m² ae.

Naast de zonnecollectoren zouden als alternatief ook asfaltcollectoren kunnen worden ingezet. Met asfaltcollectoren kan warmte worden opgeslagen uit het hete asfalt van bijvoorbeeld de parkeerplaats of een nabijgelegen weg. Uit tests is echter gebleken dat de temperatuur van warmwater uit asfaltcollectoren niet hoog genoeg is binnen het concept van 35 °C opslag; zelfs op zeer warme zomerdagen blijkt de temperatuur van het water uit de collector nauwelijks boven 30 °C uit te komen.

3.4 WKO in combinatie met datacenter

Naast de uitgewerkte opties van WKO op 35 °C zijn er andere warmtebronnen denkbaar, zoals de warmte uit een biomassa gestookte ketel of de warmte die vrijkomt bij de koeling van een datacenter. Deze opties zijn niet verder uitgewerkt, maar met name de optie warmte uit een datacenter biedt zeer interessante perspectieven aangezien deze warmte jaarrond vrij-

komt op een bruikbare temperatuur van 35 tot 40 °C. Deze warmte kan vaak niet direct worden ingezet en kan alleen maar worden opgeslagen in de vorm van warm water in een aquifer. Er is dus een noodzaak om de warmte te oogsten en in een seizoensbuffer op te slaan om de inzet van deze restwarmte te optimaliseren.

Doordat de warmte het restproduct is van de koeling van het datacenter wordt er geen primaire energie ingezet om deze warmte op te wekken en biedt benutting van deze warmtestroom een zeer groot besparingspotentieel. Ter vergelijking: het concept van WKO in combinatie met zonnecellen leverde een zeer grote besparing van 59% op en het is niet ondenkbaar dat bij een voldoende groot datacenter de kas vrijwel volledig zonder gas kan worden bedreven. Er is nog wel een beperkte hoeveelheid elektriciteit benodigd voor pompen en ventilatoren.

Er zijn inmiddels modulaire datacenters beschikbaar die direct naast een kassencomplex geplaatst kunnen worden en waarvan de warmte ingezet kan worden in de kas. De behoefte aan dataopslag (en daarmee aan datacenters) neemt sterk toe, waardoor er voor de glastuinbouw een zeer groot besparingspotentieel mogelijk is.

3.5 Economische haalbaarheid van concepten voor open kassen

De vier concepten met WKK voor een open kas hebben een meerinvestering ten opzichte van de referentiekas. Figuur 15 geeft een overzicht van de extra kosten. Daarbij is gecorrigeerd voor de minderinvestering in de WKK als deze kleiner wordt uitgevoerd.

		WKK+ZLTV	WKO75	WKO35	ZON	ZON budget
Aandeel WKK in plateauuren	%		85%	85%	85%	85%
Extra vermogen gasmotor	MWe		0,18	0,07	0,04-	0,04
Extra vermogen RGC INT	MWth	0,08	-	0,09	0,07	0,08
Aantal Fiwihexen	units	10	-	40	40	40
Aquifer	m3/h		10	34	34	34
zonnecollector opp	m2				1.000	1.000
meerinvestering gasmotor			€ 109.699	€ 42.028	€ 26.066-	€ 23.130
meerinvestering RGC INT		€ 3.000		€ 3.400	€ 2.752	€ 3.220
investering aquifer			€ 96.906	€ 144.171	€ 144.171	€ 144.171
investering FiWihexen		€ 17.600		€ 70.400	€ 70.400	€ 70.400
investering zonnecollector					€ 500.000	€ 70.000
BRUTO INVESTERING		€ 20.600	€ 206.605	€ 260.000	€ 691.257	€ 310.922
Totaal EIA voordeel		€ 2.311-	€ 18.053-	€ 27.207-	€ 78.778-	€ 33.804-
Totaal MEI		€ 7.040-	€ -	€ 28.160-	€ 28.160-	€ 28.160-
TOTALE MEERINVESTERING		€ 11.249	€ 188.552	€ 204.633	€ 584.319	€ 248.958

Figuur 15: Dimensionering en investeringen concepten met WKK in de open kas.

Voor de UHR-WKK blijft de meerinvestering beperkt tot een extra rook-gascondensor en een tiental Fiwi-hex-units. Voor de concepten met WKO is de aquifer een grote post. In het concept met de zonnecollector is de zonnecollector een zeer grote extra investering.

Alle investeringsposten komen volledig of gedeeltelijk in aanmerking voor de EIA (Energie Investerings Aftrek). Daarnaast is MEI-subsidie beschikbaar voor onder meer Fiwi-hexen.

Voor Zon is gekeken naar twee mogelijkheden, te weten een hightech oplossing met een vacuümbuis-systeem en een lowtech oplossing met een eenvoudiger systeem, zoals Smart Skin. Daarbij willen we de aantekening plaatsen dat door gebruik van de Smart Skin, de dakconstructie mogelijk goedkoper kan worden uitgevoerd, waardoor de meerinvestering lager uitvalt. Hiermee is nog geen rekening gehouden bij de investering.

		REF	WKK+ZLTV	WKO75	WKO35	ZON	ZON budget
Aardgas - inkoop WKK	MWh/jr	5.208	5.208	6.994	5.880	4.758	5.568
Aardgas - inkoop ketel	MWh/jr	632	474	-	-	-	-
Elektriciteit - opgewekt	MWh/jr	2.188	2.188	2.938	2.469	1.998	2.339
Elektriciteit - verbruik	MWh/jr	0	5-	15-	28-	39-	39-
Elektriciteit - teruggeleverd	MWh/jr	2.188	2.183	2.923	2.442	1.960	2.300
Aardgas - inkoop	€/jr	€ 138.377-	€ 134.636-	€ 165.725-	€ 139.318-	€ 112.747-	€ 131.944-
Aardgas - belasting	€/jr	€ 876-	€ 657-	€ -	€ -	€ -	€ -
Onderhoudskosten gasmotor	€/jr	€ 14.219-	€ 14.219-	€ 19.094-	€ 16.051-	€ 12.990-	€ 15.202-
Onderhoudskosten overig	€/jr	€ -	€ 352-	€ 1.938-	€ 4.291-	€ 4.291-	€ 4.291-
Elektriciteit - teruglevering	€/jr	€ 114.879	€ 114.616	€ 166.351	€ 138.998	€ 111.548	€ 130.917
CO ₂ -inkoop	€/jr	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Kosten totaal	€/jr	€ 38.593-	€ 35.248-	€ 20.405-	€ 20.663-	€ 18.480-	€ 20.520-
Netto meerinvestering	€		€ 11.249	€ 188.552	€ 204.633	€ 584.319	€ 248.958
Besparing	€/jr		€ 3.346	€ 18.189	€ 17.930	€ 20.114	€ 18.074
Simpele terugverdientijd	jr		3,4	10,4	11,4	29,1	13,8
Aardgasequivalent	m3/m2		9,5	5,7	5,2	4,6	5,2
Besparing t.o.v. referentie	%		15%	49%	54%	59%	53%

Figuur 16: Haalbaarheid concepten met WKK in de open kas.

Figuur 16 geeft de haalbaarheid van de vier concepten met WKK in de open kas weer. De meerinvestering en energiebesparing zijn berekend ten opzichte van een referentiekas met WKK. Van alle nieuwe concepten met WKK in de open kas heeft enkel de UHR-WKK een korte terugverdientijd. Met het hoge thermisch rendement wordt een lagere gasrekening gerealiseerd. Met de WKO op 75 °C wordt energiebesparing gerealiseerd door een 100% warmtebenutting met de WKK en een hoger aantal draaiuren met plateautarief. Ditzelfde geldt voor de WKO op 35 °C. De winst door het hogere thermisch rendement van de WKK bij WKO35 valt echter met

name weg tegen de extra onderhoudskosten. De investering van de zonnecollector is op dit moment niet lonend. De realiseerbare energiebesparing staat in geen verhouding met de meerinvestering in de zonnecollector. Door gebruik van eenvoudige zonnecollectoren (ZON-budget) valt de rentabiliteit een stuk gunstiger uit. Echter, de energiebesparing is hier weer vergelijkbaar met het alternatief WKO35. Het concept met restwarmte uit een datacenter (hier niet uitgewerkt) laat zich goed vergelijken met warmte uit zon, maar heeft als groot voordeel dat de investering in de zonnecollectoren voorkomen wordt, waardoor de meerinvestering aanzienlijk lager uit zal vallen.

4. Concepten met semi-gesloten kassen

Het is momenteel gebruikelijk dat voor semi-gesloten kassen warmteopslag in ondergrondse aquifers plaatsvindt met een temperatuur tussen 20 en 25 °C. Voordat deze warmte weer gebruikt kan worden voor de kasverwarming, is het noodzakelijk om met behulp van een elektrische warmtepomp deze warmte op een hoger temperatuurniveau te brengen. Hiervoor is veel elektriciteit nodig, waardoor een groot deel van de potentiële energiebesparing van deze kasconcepten verloren gaat.

Door warmte op een hogere temperatuur op te slaan, kan mogelijk de inzet van een warmtepomp worden verminderd of zelfs voorkomen worden. Dit levert dan een zeer grote additionele energiebesparing op. Ook het vervangen van de elektrische warmtepomp door een absorptiewarmtepomp (AWP) is als optie onderzocht. In de volgende paragrafen worden verschillende concepten uitgewerkt:

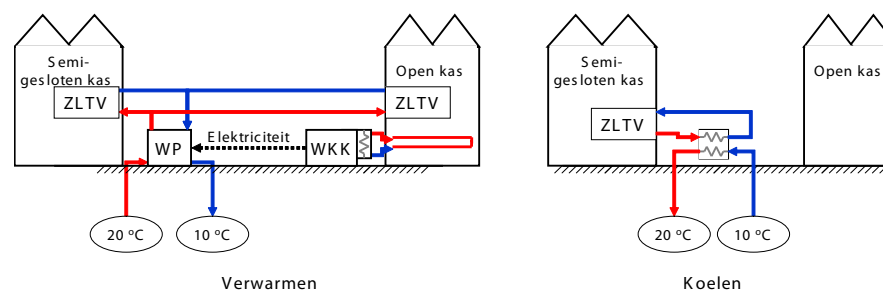
- WKO en combinatie van semi-gesloten kas met restwarmtekas.
- WKK en WKO op 30 °C in een gesloten kas.
- WKO op 35 °C en AWP in combinatie met gesloten en open kas.
- WKK en AWP in een gesloten kas met een viervoudig bronsysteem.

4.1 Semi-gesloten kas met restwarmtekas

Dit concept is gebaseerd op een voorstel van HSH-Fiwihex waarbij het energiesysteem van een semi-gesloten kas wordt gecombineerd met een open kas (zie bijlage 7). Het is hier ook als alternatief doorgerekend,

omdat het een verbetering geeft van de energie-efficiency ten opzichte van de bestaande gesloten kassen. Door gebruik te maken van de Fiwihex-warmtewisselaar kan de kas met een lagere temperatuur dan gebruikelijk worden verwarmd, waardoor de warmtepomp in het systeem een hogere COP heeft.

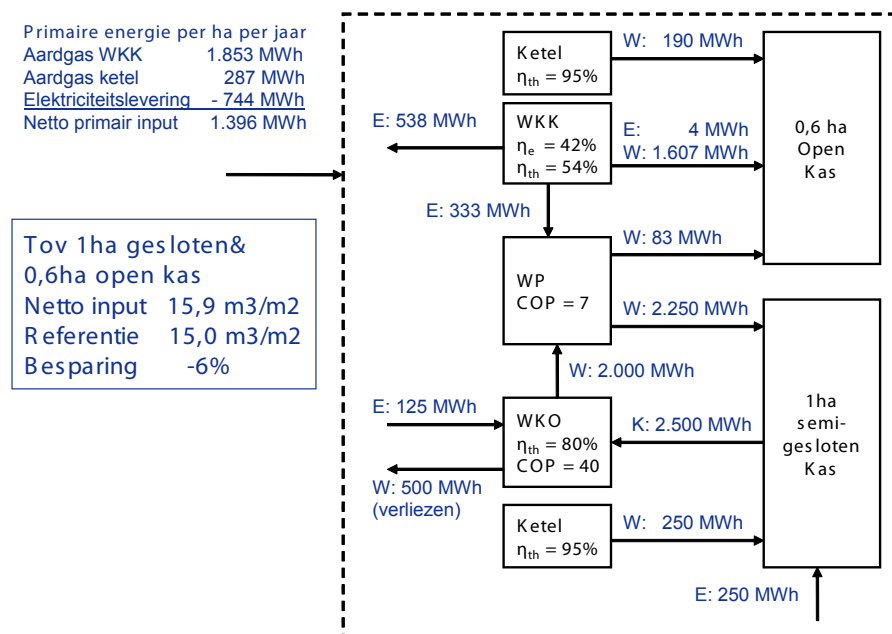
De werking van dit concept is als volgt: In de zomer wordt koude uit een aquifer direct gebruikt voor de koeling van een semi-gesloten kas. Voor verwarming van de semi-gesloten kas wordt een warmtepomp gebruikt. De opgeslagen energie in de aquifer is echter voldoende om ook een restwarmtekas mee te verwarmen. Daarnaast staat nog een kleine WKK opgesteld die de elektriciteit voor de warmtepomp levert. De LT-warmte uit de warmtepomp wordt in beide kassen ingezet via de Fiwihex, terwijl de HT-warmte uit de WKK via het conventionele buizensysteem kan worden ingezet. Het voordeel van de kleine WKK is dat de elektriciteit niet hoeft worden ingekocht en dat er zomers CO₂ beschikbaar is.



Figuur 17: Semi-gesloten kas met restwarmtekas.

De grootte van de open kas is afhankelijk van de hoeveelheid ingevangen warmte in de zomer en van de grootte van de WKK. Met elke ha semi-gesloten kas kan zo'n 0,6 ha open kas verwarmd worden met de restwarmte en de warmte uit de WKK. De WKK heeft voor het totale oppervlak van 1,6 ha een vermogen van 0,3 MWe. Het referentie-energiegebruik is daardoor $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$, te weten 0,6 ha à $11,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en 1 ha à $17,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/1,6 \text{ ha}$.

Voor de verwarming en koeling van de semi-gesloten en open afdeling is gemiddeld $15,9 \text{ m}^3 \text{ ae}/\text{m}^2$ nodig. De COP van de warmtepomp is met 7 relatief hoog, omdat het water maar tot 30-35 °C hoeft te worden verwarmd.



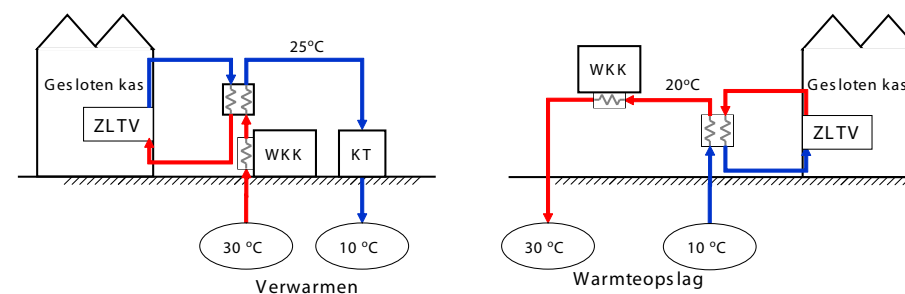
Figuur 18: Energiehuishouding van de semi-gesloten kas met restwarmtekas.

4.2 WKK met WKO op 30 °C

Vergelijkbaar met de combinatie van WKO op 35 °C in de open kas is er ook een analyse gemaakt van WKO op hogere temperatuur bij een gesloten kas, in dit geval 30 °C. Bij de koeling van de gesloten kas wordt het grondwater opgewarmd tot circa 20 °C. Een externe warmtebron zoals een ketel of WKK blijft daardoor noodzakelijk om de temperatuur van het warme water op het gewenste niveau van 30 °C te krijgen. Doordat de warmte uit de WKK ook direct wordt ingezet voor de verwarming, kan de opslagtemperatuur tot 30 °C beperkt blijven. Daarnaast blijft door deze lagere temperatuur het vermogen van de WKK beperkt en leunt de energiebesparing niet alleen op de WKK.

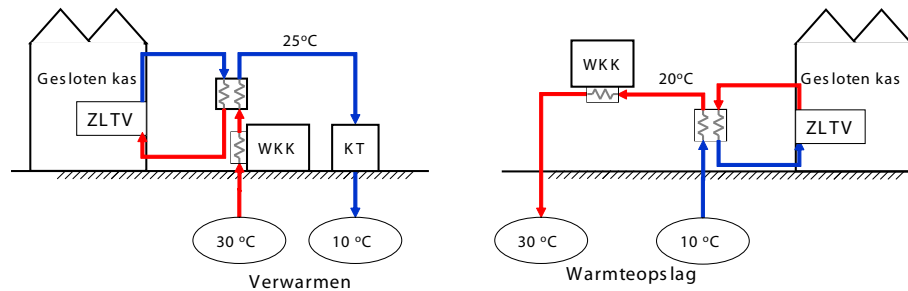
Voor het verder opwarmen naar de gewenste temperatuur is hier een WKK in het concept opgenomen. De WKK zal ook in winter moeten draaien om een voldoende hoge bedrijfstijd hebben.

Het uitgangspunt in dit concept is dat er geen warmtepomp meer nodig is om de temperatuur te verhogen voor de verwarming van de kas. Het belangrijkste verschil met de concepten met de open kas is dat de gesloten kas in de zomer gekoeld moet worden omdat dit noodzakelijk is voor ontvochtiging. Daarvoor is koud water uit de bodem nodig. De toepassing van een koeltoren of warmtepomp is dan nodig voor de levering van de koude.



Figuur 19: WKO op 30 °C met WKK in een gesloten kas.

Voor de dimensionering is het vermogen van de WKK en koeltoren van belang. Voor de koeltoren geldt dat deze in de winter relatief goedkope koeling levert die in de zomer gebruikt kan worden. De bedrijfstijd van de WKK wordt dan vooral bepaald door de bedrijfstijd van de koeling. In een relatief beperkte periode zal de warmte dan geleverd moeten worden, waardoor het WKK-vermogen hoog zal zijn. Uitgaande van 3 MWth/ha piekvermogen koeling (en een dagbuffer voor warmte uit de WKK) zal er circa 1,5 MWth/ha aan WKK bij moeten staan om het water verder te verwarmen tot 30 °C. Dit WKK-vermogen is aanzienlijk groter dan de gebruikelijke 0,6 MW/ha. Dit lijkt geen gewenste richting.

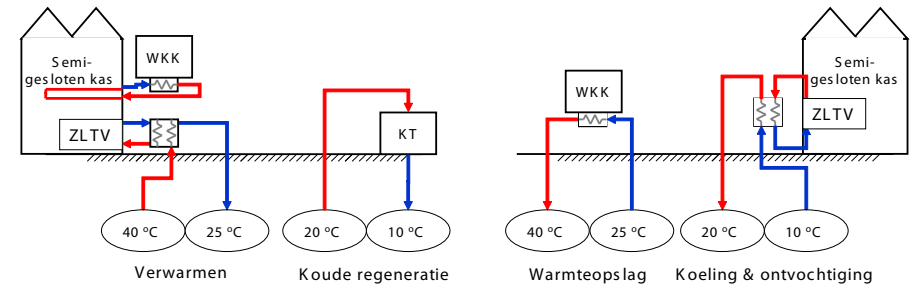


Figuur 20: Dimensionering van de WKK met koeling als uitgangspunt.

Tevens is het energetisch niet zinvol om in de zomer dezelfde waterstroom eerst te gebruiken voor koeling (van 10 °C naar 20 °C) en vervolgens verder op te warmen (van 20 °C tot 30 °C). De helft van de opgeslagen warmte gaat verloren: het water koelt van 30 °C af tot 25 °C, en de rest moet worden weggekoeld in een koeltoren.

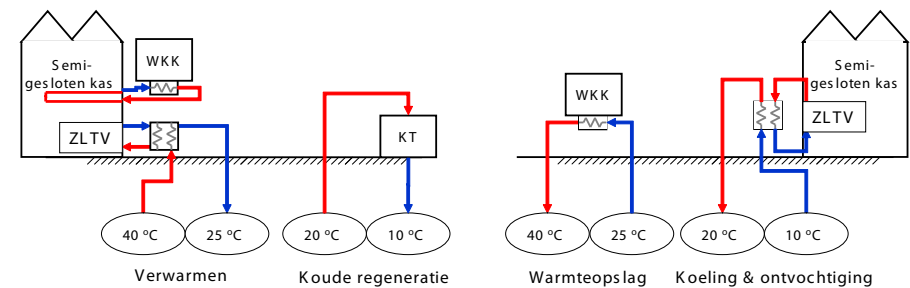
In een hernieuwende benadering worden koeling en verwarming van elkaar gescheiden door middel van twee aparte WKO-systemen. De koeling gebeurt door directe koeling met grondwater in de zomer, waarna in de winter de gewenste koude opnieuw gegenereerd wordt met de koeltoren. Daarnaast wordt een kleine WKK geplaatst die in de zomer zijn warmte in een tweede WKO opslaat en in de winter de noodzakelijke

warmte levert om tot een goede bedrijfstijd voor de WKK te komen. Dit is weer vergelijkbaar met het concept met WKO op 35 °C en een WKK. Het geheel levert een veel effectievere configuratie met het gewenste effect.



Figuur 21: Vereenvoudigd concept met vrije koeling en WKK in een gesloten kas.

Analyse van de energiehuishouding laat zien dat in dit concept de verwarming volledig verzorgd wordt door de WKK, en dat koeling gegenereerd wordt met een koeltoren. De koeling in de kas wordt in dit voorbeeld gedistribueerd met Fiwihexen, maar dit zou ook kunnen gebeuren met bijvoorbeeld luchtbehandelingskasten. Met de Fiwihex kan de warmte op een lage temperatuur worden afgegeven, zodat de gasmotor een hoog thermisch rendement kan hebben. In dit totaalconcept wordt een energiebesparing van 54% gerealiseerd ten opzichte van de bestaande gesloten kassen met een warmtepomp.

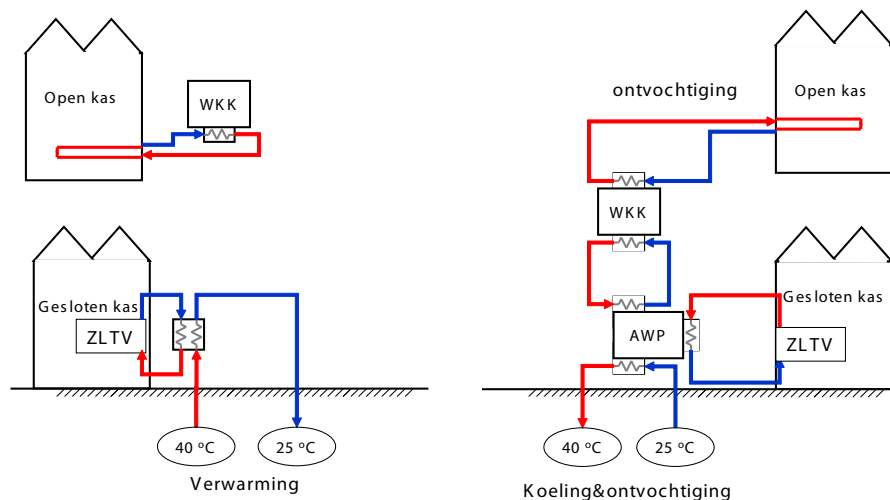


Figuur 22: Energiehuishouding van gescheiden bronnen voor koeling en verwarming.

4.3 WKK met AWP en WKO op 40 °C

Dit concept berust op een combinatie van open kas en gesloten kas en is in eerste instantie bedoeld om na te gaan of het mogelijk is de koeling met koud grondwater en elektrische warmtepomp te vervangen door een absorptiewarmtepomp (AWP) die aangedreven wordt door een WKK. De AWP levert hier de gewenste koude voor de gesloten kas en de WKK levert naast warmte voor aandrijving van de AWP, ook warmte aan een open kas voor ontvochtiging in de zomer.

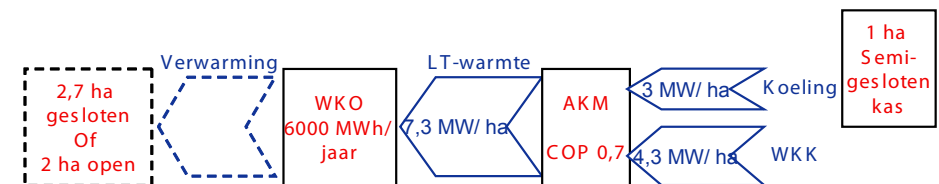
Door de extra warmtevraag van de AWP in de zomer maakt de WKK extra draaiuren overdag. De restwarmte aan de condensorkant van de AWP wordt gebruikt om het water uit de koudebron op een temperatuur van 40 °C in de WKO op te slaan voor gebruik in de winter. Deze restwarmte wordt in de winter ingezet in de gesloten kas met zeer lage temperatuurverwarming. De WKK wordt in de winter volledig ingezet voor de open kas.



Figuur 23: Absorptiewarmtepomp met combinatie gesloten open kas.

Het energetische voordeel van gebruik van de AWP is tweeledig: ten eerste komt de restwarmte uit de AWP vrij op een temperatuurniveau waarmee direct verwarmd kan worden (35-40 °C); ten tweede is hiervoor geen elektriciteit benodigd.

Voor de dimensionering van het systeem is als uitgangspunt de koudebehoefte van de gesloten kas genomen. Deze bepaalt de grootte van de overige componenten in het systeem. Uitgaande van 3 MW koeling per ha gesloten kas, is een WKK van 4,3 MW nodig. De restwarmte uit de absorptiewarmtepomp is bij 800 vollast-uren van de WKK dan 6.000 MWh. De jaarlijkse restwarmte uit 1 ha gesloten kas kan dus voorzien in de warmtebehoefte van 2,7 ha gesloten kas of 2 ha open kas. Daarnaast is er 4,3 MW opgesteld WKK-vermogen dat circa 7 ha open kas (niet in het plaatje opgenomen) van warmte kan voorzien. Wanneer gebruik gemaakt wordt van dagbuffers, kan het geïnstalleerd vermogen van de AWP en de WKK gehalveerd worden, maar de onpraktische verhouding tussen de gesloten kas en open kas blijft onvermijdelijk.



Figuur 24: Dimensionering voor systeem met AWP.

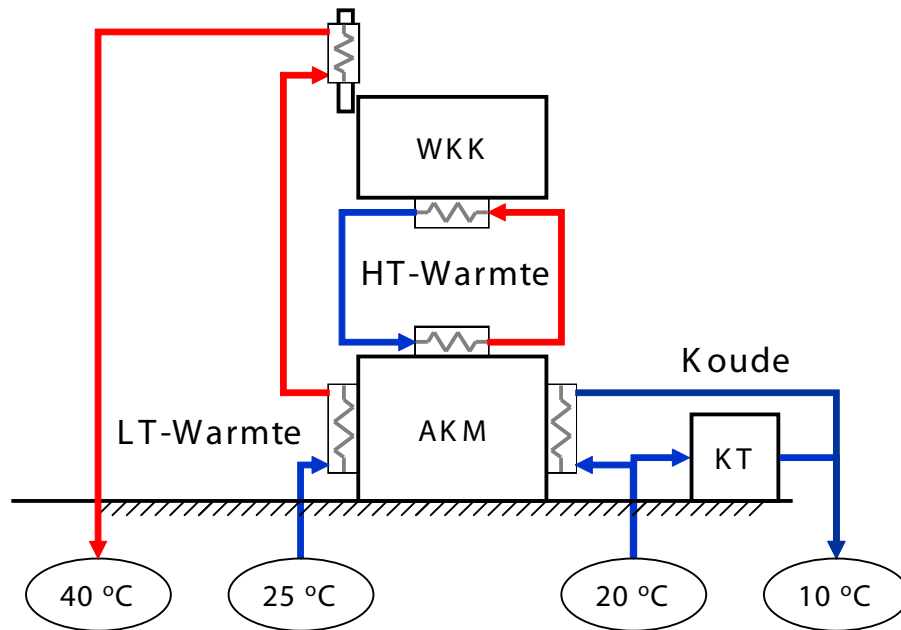
Vanwege het zeer grote warmteoverschot en de onbalans tussen de oppervlakte open en gesloten kas, is dit concept niet verder uitgewerkt.

4.4 WKK en AWP met een viervoudig bronsysteem

Op basis van de eerdere configuratie met AWP is ook het concept uitgewerkt waarbij de verwarming en koeling onafhankelijk van elkaar plaatsvinden met een viervoudig bronsysteem met temperaturen van 40 °C en

30 °C voor verwarming, en 20 °C en 10 °C voor koeling. Dit concept is in grote lijnen vergelijkbaar met het concept Figuur 21.

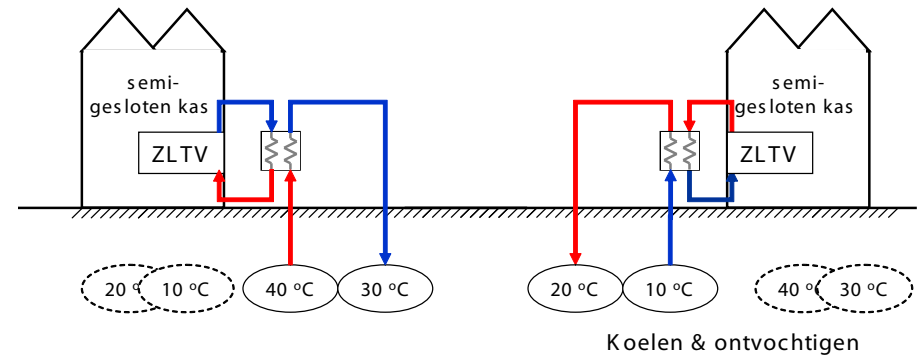
De kern van de bedrijfsvoering is dat er onafhankelijk van het moment van het jaar koude gegeneerd wordt en dat warmte opgeslagen wordt in de bodem (zie Figuur 25). Er is dus een grote mate van flexibiliteit wanneer de AWP moet of kan draaien. Daarnaast worden hoogwaardige warmtestromen uit de WKK eerst ingezet voor koudeproductie voordat met behulp van ZLTV de kas verwarmd wordt.



Figuur 25: Regeneratie van warmte en koude met absorptiewarmtepomp.

Met een AWP wordt dus zowel koude en warmte gemaakt. De AWP wordt aangedreven met de warmte van een WKK. De warmte uit de condensor van de AWP wordt ondergronds opgeslagen op 35-40 °C en de koude uit de verdampers op circa 10 °C.

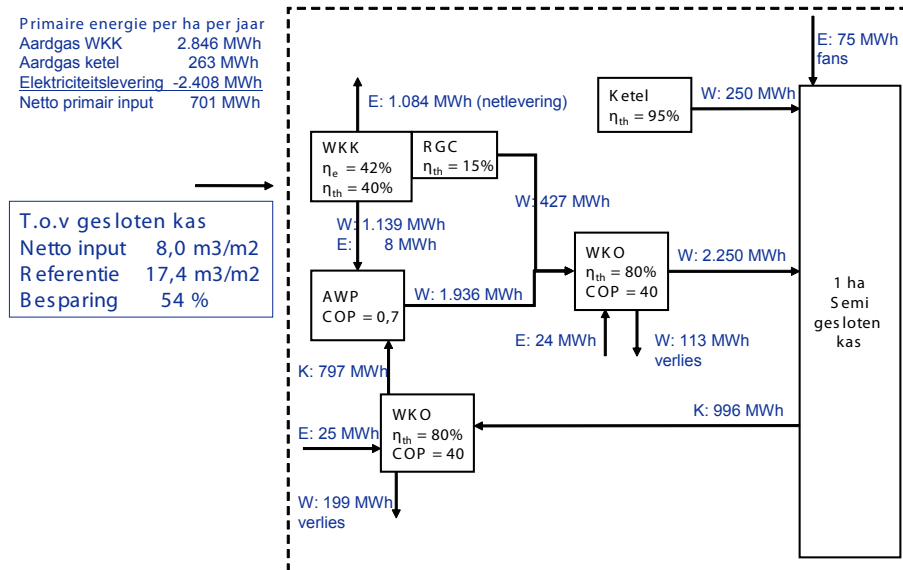
De gesloten kas wordt dan in de zomer met de opgeslagen koude gekoeld en ontvochtigd (zie Figuur 26). De onttrokken warmte wordt ondergronds in een buffer opgeslagen op circa 20 °C. In de winter wordt vervolgens verwarmd met ZLTV door middel van de bron van 40 °C.



Figuur 26: Koeling en verwarming uit gescheiden dubletten.

Het voordeel van de AWP is dat er meer warmte uit de AWP komt dan de WKK aanlevert. Daarnaast biedt het systeem veel flexibiliteit wat betreft koeling. In het bovenstaande voorbeeld wordt er niet meer gekoeld dan voor verwarming noodzakelijk is. Er kan echter ook voor een volledig gesloten kas gekozen worden. Dan moet de koelcapaciteit van de luchtbehandeling en de aquifers vergroot uitgevoerd worden. De aquifer wordt dan geregenereerd met een koeltoren.

De kas heeft met dit systeem een uiteindelijke primaire energiebehoefte van 8,0 m³ ae/m². Alhoewel de WKK/AWP-combinatie in principe onafhankelijk van de koudevraag bedreven wordt, moet wel rekening gehouden worden met de warmtevraag. Door veel gebruik te maken van een dagbuffer, hoeft maar 25% van de jaarlijkse warmtevraag gebufferd te worden in het warme dublet. Van de koudeopbrengst wordt 75% gebufferd in het koude dublet.



Figuur 27: Energiehuishouding met absorptiewarmtepomp, WKK en semi-gesloten kas.

4.5 Economische haalbaarheid van concepten voor gesloten kassen

Voor de berekening van de economie en de haalbaarheid van de concepten wordt de huidige semi-gesloten kas als referentie gebruikt. De investeringen in de aquifer, de warmtepomp en de luchtbehandelingskasten drukken fors op de haalbaarheid. Voor alle varianten is uitgegaan van de EIA- en MEI-regeling.

Het HSH-FiwiHex-concept bestaat uit een open en gesloten gedeelte, zodat per ha de investering in de FiwiHexen en de aquifer lager is dan in de referentie. Verder is er wel een (kleine) gasmotor nodig. In de variant met een grote WKK voor de warmte en een koeltoren voor koude, is de gasmotor een belangrijke post en valt de investering voor de aquifers iets hoger uit.

Bij de variant met de AWP valt op dat de AWP zelf flink goedkoper

uitvalt dan de warmtepomp in de referentie. Dit komt voor een groot deel doordat er een veel kleiner vermogen nodig is. Een klein koelvermogen zorgt echter wel voor een grote aquifer.

	REF: WP	1: FWH	2: WKK +4bron	3: AKM +4bron
aandeel WKK in piekuren - jaarrond	50%	50%	85%	85%
vermogen WKK	MWe	-	0,19	0,29
debiet van aquifer	m ³ /h	120	75	126
koelvermogen AKM	MWk	-	-	0,19
warmtevermogen WP	MWth	1,2	1,2	-
Koeltoren vermogen	MWth	-	-	0,4
aantal FiwiHexen/LBK	#	125	100	125
CO ₂ -vraag	ton/jr	200	-	-
	REF: WP	1: FWH	2: WKK +4bron	3: AKM +4bron
Investering gasmotor	€ -	€ 112.536	€ 287.450	€ 172.841
Investering FiwiHex of Luchtbehandelingskasten	€ 220.000	€ 176.000	€ 220.000	€ 176.000
Investering koeltoren	€ -	€ -	€ 8.649	€ -
Investering aquifer	€ 309.600	€ 222.218	€ 320.629	€ 375.771
Investering AKM	€ -	€ -	€ -	€ 60.364
Investering WP	€ 405.000	€ 405.000	€ -	€ -
BRUTO INVESTERING	€ 934.600	€ 915.754	€ 836.727	€ 784.976
Totaal EIA voordeel	€ 104.862-	€ 97.487-	€ 79.472-	€ 79.994-
Totaal MEI regeling	€ 373.840-	€ 321.287-	€ 219.711-	€ 244.854-
TOTALE MEERINVESTERING per ha	€ 455.898	€ 496.981	€ 537.544	€ 460.128

Figuur 28: Dimensionering en investeringen concepten met WKK in de semi-gesloten kas.

Uit de economische haalbaarheid blijkt dat alle concepten jaarlijks geld besparen ten opzichte van de huidige semi-gesloten kas met warmtepomp.

Dit is voor een groot deel te verklaren doordat verwarming met WKK goedkoper uitvalt dan verwarming met een warmtepomp op elektriciteit. Daarnaast moet CO₂ worden ingekocht als er geen WKK bij de kas staat. De netto meerinvestering voor het HSH-Fiwi-hex-concept en de WKK met vier bronnen zijn bij de gegeven uitgangspunten binnen twee jaar terugverdiend. Voor het systeem met de AWP geldt zelfs dat de meerinvestering ten opzichte van de referentiesituatie minimaal is.

		REF: WP	1: FWH	2: WKK +4bron	3: AKM +4bron
Aardgas - inkoop WKK	MWh	-	1.853	4.734	2.846
Aardgas - inkoop ketel	MWh	-	287	-	263
Elektriciteit - opgewekt	MWh	-	778	1.988	1.195
Elektriciteit - verbruik	MWh	554-	444-	171-	112-
Elektriciteit - teruggeleverd	MWh	554-	335	1.817	1.084
				€	
Aardgas - inkoop	€/jr	€ -	€ 50.714-	112.168-	€ 73.681-
Aardgas - belasting	€/jr	€ -	€ 398-	€ -	€ 365-
Onderhoudskosten - Gasmotor	€/jr	€ -	€ 5.059-	€ 12.923-	€ 7.771-
Onderhoudskosten - Overig	€/jr	€ 10.592-	€ 10.003-	€ 10.813-	€ 12.243-
CO ₂ -inkoop	€/jr	€ 25.000-	€ -	€ -	€ -
Elektriciteit - teruglevering/ inkoop	€/jr	€ 40.125-	€ 15.611	€ 103.425	€ 61.681
Kosten totaal	€/jr	€ 75.717-	€ 50.563-	€ 32.478-	€ 32.378-
Netto meerinvestering	€	€ -	€ 41.083	€ 81.646	€ 4.230
Besparing	€/jr	€ -	€ 25.154	€ 43.239	€ 43.339
Simpele terugverdientijd	jr	-	1,6	1,9	0,1
Aardgasequivalent	m ³ /m ²	17,4	15,9	7,9	8,0
Besparing t.o.v. referentie	%		0%	54%	54%

Figuur 29: Economische haalbaarheid van concepten in de semi-gesloten kas.

Voor het concept met absorptiewarmtepomp lijkt grotere potentie te hebben. De variant is nu nog afgezet tegenover de semi-gesloten kas en is nog een eerste grove uitwerking van het systeem. De verwachting is dat door verdere optimalisatie en slimme aanpassingen in het ontwerp, het concept ook primaire energie zal besparen ten opzichte van de open kas met WKK, en daardoor wellicht ook economisch een verbetering zal betekenen. Bovendien leunt dit concept minder op een gunstige *sparkspread* (de verhouding tussen inkoop van gas en de opbrengst van stroomverkoop aan het net) en is het dus robuuster dan de conventionele WKK.

5. Concepten met geothermie

Voor projecten met geothermie vergt het aanleggen van de bron de grootste investering. Dit bepaalt gedurende lange tijd de kosten van de exploitatie van de kas. Daarnaast is er vermogen nodig om het warme water omhoog te pompen. Hoe meer energie er dus bovengronds uit het warme water gehaald kan worden, des te beter de exploitatie wordt. Daarbij zijn twee vragen van belang:

- Kan de warmte uit de geothermische bron verder worden uitgeoeld zodat de opbrengst vergroot wordt?
- Is het mogelijk om elektriciteit uit de warmte van een geothermische bron te produceren en heeft dat meerwaarde?

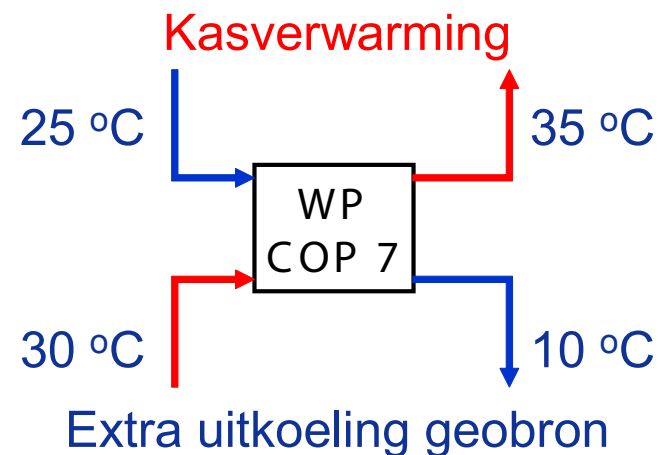
Deze vragen zijn hier verder uitgewerkt in de volgende concepten. Daarbij is de volgende aantekening te maken over de beschikbare temperatuur. De geschikte aardlagen voor geothermie in Nederland, en daarmee ook de temperatuur van het water, verschillen per regio. De temperatuurniveaus van de projecten in de opstartfase liggen tussen circa 60 °C in het westen van Nederland tot circa 100 °C in het noorden. De concepten voor elektriciteitsopwekking zijn alleen mogelijk vanaf 90 tot 100 °C.

5.1 Dieper uitkoelen van geothermische warmte

Dieper uitkoelen met warmtepomp en ZLTV

Voor dit concept is uitgegaan van de ervaringen en gegevens van de geothermiebron van tuinder Rick van den Bosch in Bleiswijk. De warmte wordt op dit bedrijf momenteel uitgeoeld tot circa 30 °C. Door de rest-

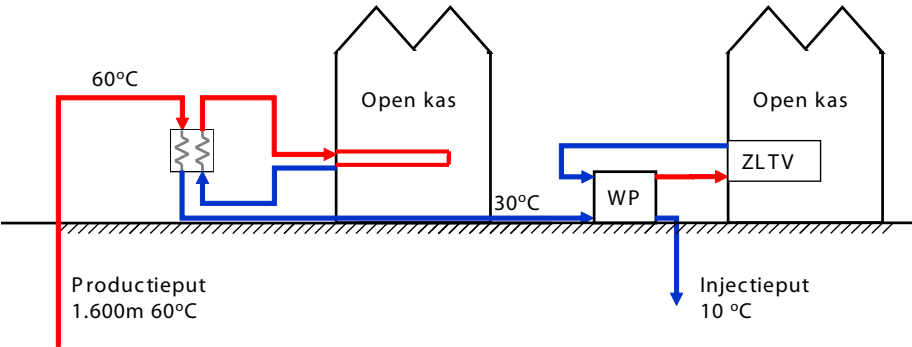
warmte daarna weer op te werken met een warmtepomp tot een niveau van 35 °C, kan met toepassing van ZLTV een tweede kas van warmte worden voorzien. Door de lage temperatuursprong is de COP van de gebruikte warmtepomp circa 7.



Figuur 30: Extra uitkoeling van de geothermiebron met een warmtepomp.

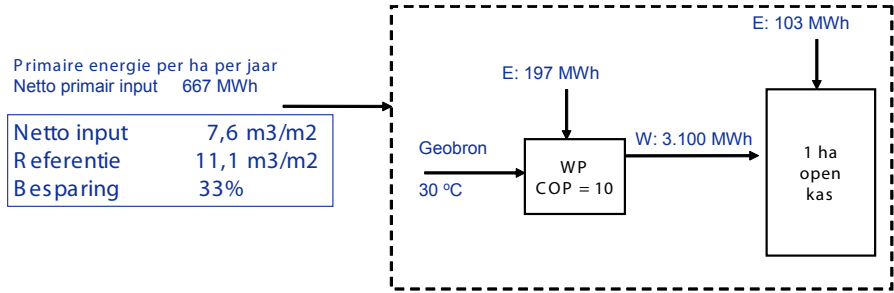
Aangezien het water van 30 °C tijdens de minder koude periodes zonder gebruik van de warmtepomp kan worden ingezet, nemen wij hier over het gehele jaar een gemiddelde COP van 10 aan. Het elektriciteitsverbruik voor de pompen van de geothermiebron wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat dit concept van een bestaande bron uitgaat. De dimensio-

nering is afhankelijk van de beschikbare warmte die resteert na inzet in de eerste kas. Voor gebruik van de warmtepomp is wel nog elektriciteit nodig, maar door de hoge COP is dit beperkt.



Figuur 31: Dieper uitkoelen met WP en ZLTV.

Voor de berekening van de energiebesparing wordt de eerste kas met HT-verwarming buiten beschouwing gelaten. Enkel het tweede deel vanaf de ingaande watertemperatuur van 30 °C wordt berekend. Door de hoge COP van het concept komt de energiebesparing voor dit gedeelte op 33%. De daadwerkelijke energiebesparing is echter sterk afhankelijk van de temperatuur van het aangeleverde water na de eerste kas.

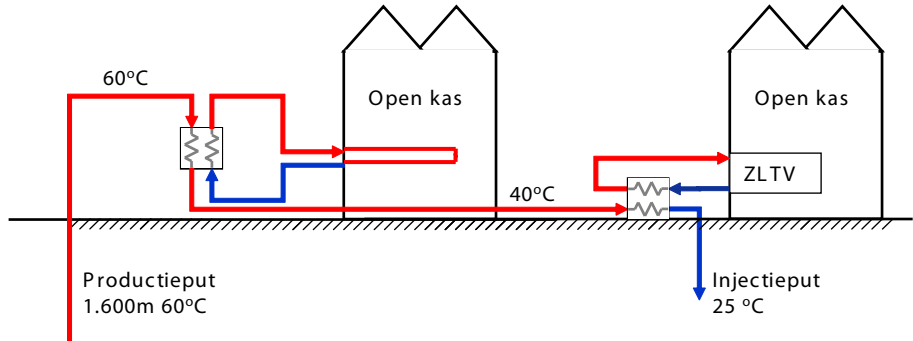


Figuur 32: Energiehuishouding met dieper uitkoelen geobron door WP en ZLTV.

Als referentie is hier een traditionele kas met WKK gebruikt.

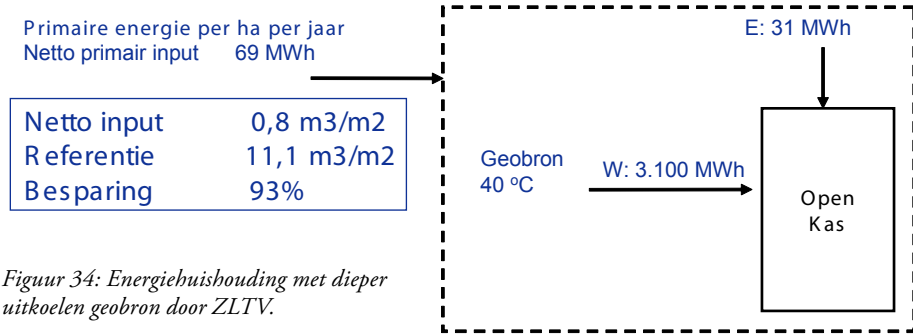
Dieper uitkoelen met ZLTV

Een variant op het voorgaande concept is het direct verwarmen van de tweede kas met ZLTV zonder gebruik van warmtepomp. De retourtemperatuur van de eerste moet hierbij wel rond de 40 °C liggen. Hierdoor kan de energiebesparing mogelijk stijgen. Een belangrijke vraag is of het realiseerbaar is om de retour te verhogen zonder het oppervlak te verkleinen.



Figuur 33: Dieper uitkoelen met ZLTV.

Vergeleken met het concept in de vorige paragraaf is enkel de warmtepomp verwijderd. Het resterende primaire energieverbruik wordt bepaald door de ventilatoren van de ZLTV. In totaal wordt circa 93% bespaard ten opzichte van de referentie.



Figuur 34: Energiehuishouding met dieper uitkoelen geobron door ZLTV.

Economische haalbaarheid van dieper uitkoelen

De meerinvestering in het energiesysteem wordt bepaald door het vervangen van de gasmotor door de Fiwihexen en eventueel de warmtepomp. Doordat er geen gasmotor komt te staan, is er in het geval van de ZLTV zonder warmtepomp zelfs sprake van een lagere investering ten opzichte van de referentie.

De investering is wel sterk afhankelijk van de vraag of er MEI-subsidie beschikbaar wordt gesteld.

		GEO+WP	GEO+ZLTV
aandeel WP in piekuren - jaarrond	%	50%	50%
aantal FWHX	# units	100	100
warmtepomp	MW	1,2	0
extra vermogen gasmotor	MWe	0,53-	0,53-
CO ₂ -vraag	ton/ha	200	200
Investering in FWHX	€	€ 176.000	€ 176.000
Investering in warmtepomp	€	€ 405.000	€ -
Meerinvestering gasmotor	€	€ 315.000-	€ 315.000-
BRUTO INVESTERING	€	€ 266.000	€ 139.000-
Totaal EIA voordeel	€	€ 44.571-	€ 870
MEI	€	€ 70.400-	€ 70.400-
TOTALE MEERINVESTERING	€	€ 151.029	€ 208.530-

Figuur 35: Dimensionering en investeringen van dieper uitkoelen.

De varianten verschillen sterk in rentabiliteit. Bij de warmtepomp blijkt dat de kosten voor elektriciteit en CO₂-inkoop ervoor zorgen dat de jaarlijkse kosten hoger zijn dan in de referentiesituatie met referentiekas met WKK. Uit berekeningen van Rick van den Bosch blijkt dat in vergelijking met alleen een ketel, het concept van geothermie met een warmtepomp in bepaalde varianten wel rendabel is. Deze berekeningen zijn voor de volledigheid toegevoegd in de Bijlagen.

In de kas met enkel ZLTV zijn de jaarlijkse kosten iets lager dan in de referentiesituatie. Belangrijker is echter dat de investering meer dan 2 ton lager is dan in de referentiesituatie. Hierdoor is de haalbaarheid van de combinatie van geothermie met een open kas zeer goed.

		REF	GEO+WP	GEO+ZLTV
Aardgas - inkoop WKK	MWh/jr	5.208	-	-
Aardgas - inkoop ketel	MWh/jr	632	-	-
Elektriciteit - opgewekt	MWh/jr	2.188	-	-
Elektriciteit - verbruik	MWh/jr	-	300-	69-
Elektriciteit - teruggeleverd/ ingekocht	MWh/jr	2.188	300-	69-
Aardgas - inkoop	€/jr	€ 138.377-	€ -	€ -
Aardgas - belasting	€/jr	€ 876-	€ -	€ -
Onderhoudskosten Gasmotor	€/jr	€ 14.219-	€ -	€ -
Onderhoudskosten Overig	€/jr	€ -	€ 11.620-	€ 3.520-
Elektriciteit - teruglevering of inkoop	€/jr	€ 114.879	€ 21.725-	€ 4.989-
CO ₂ -inkoop	€/jr	€ -	€ 25.000-	€ 25.000-
Kosten totaal	€/jr	€ 38.593-	€ 58.345-	€ 33.509-
Netto meerinvestering	€		€ 151.029	€ 208.530-
Besparing	€/jr		€ 19.752-	€ 5.084
Simpele terugverdientijd	jr		>projecttijd	<< 1 jaar

Figuur 36: Economische haalbaarheid van dieper uitkoelen.

5.2 Elektriciteitsopwekking uit geothermie

Als de warmte op voldoende hoge temperatuur beschikbaar is, wordt het mogelijk om een ORC toe te passen die het hete opgepompte water deels

omzet in elektriciteit. Het bruto elektrisch rendement van een ORC bij temperaturen rond 100 °C ligt rond de 7% op de gebruikte warmte (zoals bij vergelijkbare centrales in Duitsland en Oostenrijk). Als het pompverbruik voor de koeltorens en de bron meegenomen wordt, is het netto rendement ongeveer 4%.

Het boren naar water van bijvoorbeeld 150 °C is wel mogelijk, maar voorlopig is dit nog veel te duur. Bovendien is het risico van een misboring groter naarmate dieper geboord wordt. Daarom beperken we ons hier tot een water van 100°C, dat op verschillende plekken in Nederland geboord kan worden.

Aangezien een diepe geothermiebron in de glastuinbouw altijd zal worden aangeboord voor warmte, zal de ORC altijd moeten concurreren met warmtelevering. Dat wil zeggen: de HT-warmte van 100 °C tot 70 °C zal ofwel ingezet worden voor elektriciteit via de ORC, ofwel voor warmte in de kas.

De ORC kan in theorie op drie manieren ingezet worden bij een kas:

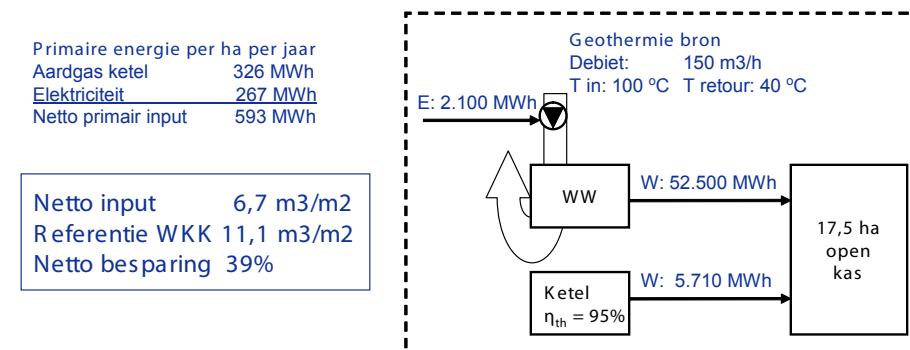
- Elektriciteit in plaats van warmte: het hete water wordt eerst langs de ORC gevoerd, voordat het als kasverwarming ingezet wordt.
- Elektriciteit naast warmte: alleen tijdens de uren waarin de bron niet maximaal ingezet wordt voor verwarming, wordt het hete water eerst langs de ORC geleid voor elektriciteitsproductie
- Elektriciteit en warmte: het hete water wordt eerst langs de ORC geleid; de condensorwarmte uit de ORC wordt ingezet in de kas met een ZLTV.

De nu volgende energieconcepten worden beoordeeld ten opzichte van een geothermiebron die volledig wordt benut voor warmtelevering aan kassen.

Warmtebenutting met een geothermiebron

Eerst wordt de energiehuishouding van een diepe geothermiebron geanalyseerd die enkel voor verwarming gebruikt wordt. Ten opzichte van de

referentie, een WKK, levert dit al een forse energiebesparing op. In dit geval gaan we uit van een geothermiebron van 100 °C, met een debiet van 150 m³/u. De uitkoeling van deze bron van 100 °C tot 40 °C levert een vermogen van 10,5 MWth. Hiermee kan ongeveer 17,5 ha kas verwarmd worden, met een warmte dekking van 90%. De overige warmtevraag wordt ingevuld door een piekketel. Het primair energieverbruik (elektriciteit voor de pompen en aardgas voor de ketel) komt dan uit op 6,7 m³ a.e./m².



Figuur 37: Energiehuishouding van geothermiebron voor verwarming.

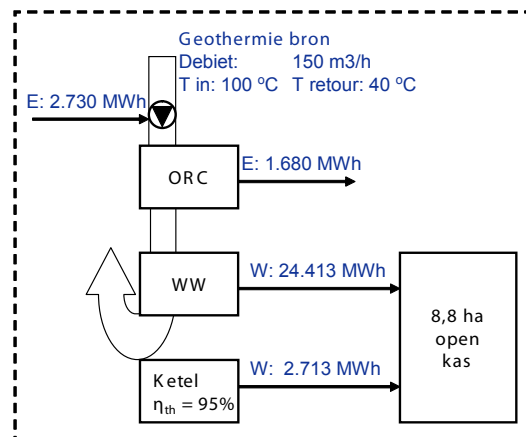
De haalbaarheid en energiebesparing van elektriciteitsopwekking met ORC moet nu afgezet worden tegen bovenstaande gegevens van enkel kasverwarming.

Elektriciteitsproductie met ORC in plaats van warmtebenutting

In het eerste geval wordt het warme water van 100 °C altijd eerst langs de ORC geleid. De warmte van 100 °C tot 70 °C wordt dan volledig gebruikt door de ORC met een netto elektrisch rendement van 4%. De resterende warmte uit de geothermiebron (van 70 naar 40 °C) is dan nog voldoende voor 8,8 ha kas.

Primaire energie per ha per jaar
Aardgas ketel 326 MWh
Elektriciteit 267 MWh
Netto primair input 593 MWh

Netto input 6,7 m3/m2
Referentie WKK 11,1 m3/m2
Netto besparing 39%



Figuur 38: Energiehuishouding bij ORC in plaats van warmte.

In dit geval maakt de geothermiebron wel meer draaiuren (8.000 uur/ jaar) ten opzichte van de bron waarmee alleen verwarmd werd (5.000 verwarmingsuren). Het elektriciteitsverbruik (pompen) van de bron is daardoor ook groter.

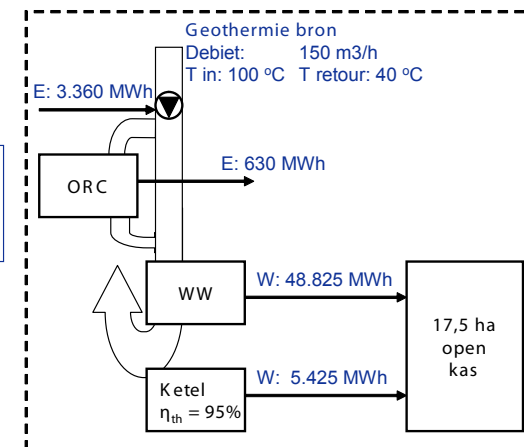
De conclusie is evident: Er treedt geen extra energiebesparing op en het kasareaal dat met de bron verwarmd kan worden, wordt gehalveerd. Op basis hiervan is besloten om de economische haalbaarheid niet verder te onderzoeken.

ORC naast warmtebenutting

In deze optie draait de ORC tijdens de uren waarin er geen of weinig warmtevraag is. Dat biedt als voordeel dat de geothermiebron veel gelijkmatiger benut wordt. Nadelig is echter dat de ORC dan weinig draaiuren maakt (3.000 vollast-uren).

Primaire energie per ha per jaar
Aardgas ketel 326 MWh
Elektriciteit 347 MWh
Netto primair input 673 MWh

Netto input 7,7 m3/m2
Referentie WKK 11,1 m3/m2
Netto besparing 31%



Figuur 39: Energiehuishouding bij ORC naast warmte.

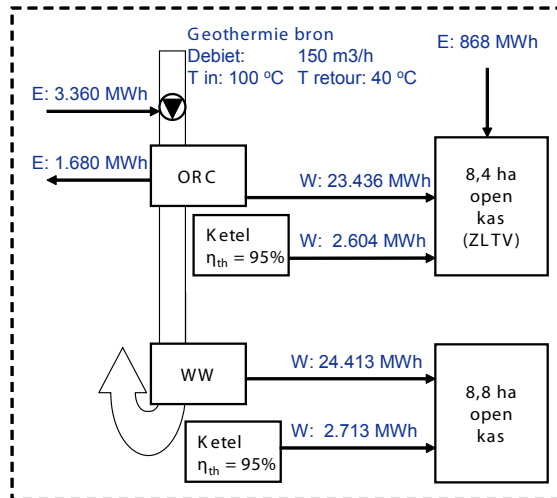
In deze case weegt de elektriciteitsproductie van de ORC niet op tegen het extra elektriciteitsverbruik van de geothermiebron. Ook hier is de ORC geen reële optie.

Elektriciteitsproductie met ORC en benutting condensorwarmte

Bij permanente toepassing van de ORC komt er veel warmte op een lager temperatuurniveau vrij in de condensor van de ORC. Voor een optimale inzet van de warmte uit de geothermiebron is het dus van belang dat de warmte zo efficiënt mogelijk wordt ingezet. Door een ZLTV te gebruiken om de condensorwarmte alsnog te benutten, wordt een vrijwel optimale inzet bereikt.

Primaire energie per ha per jaar	
Aardgas ketel	326 MWh
Elektriciteit	330 MWh
Netto primair input	656 MWh

Netto input	7,5 m3/m2
Referentie WKK	11,1 m3/m2
Netto besparing	33%



Figuur 40: Energiehuishouding bij ORC met benutting condensorwarmte.

In de energiehuishouding wordt 8,8 ha kas direct verwarmd met warmte uit de geothermiebron, en 8,4 ha kas met de condensorwarmte uit de ORC. De inzet van ZLTV kost echter ook meer elektriciteit. In dit geval weegt de elektriciteitsproductie van de ORC niet op tegen het extra verbruik van de pompen voor de bron en de ventilatoren van de ZLTV.

6. Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn enkele energieconcepten onderzocht die een bijdrage kunnen leveren aan een verdergaande energiebesparing in de tuinbouw. In deze concepten is uitgegaan van de toepassing van zeer lage temperatuurverwarming, warmteopslag op een hogere temperatuur in de bodem, de toepassing van absorptiewarmtepomp en een betere benutting van warmte uit geothermie. De concepten zijn op hoofdlijnen doorgerekend, met als resultaten de mogelijke energiebesparing en financiële haalbaarheid.

Dit zijn de belangrijkste conclusies voor de energiebesparing en economie met energieconcepten met open kassen:

- Een WKK met een hoge warmtedekking vormt een scherpe referentie in de glastuinbouw. Door de levering van elektriciteit aan het net is het besparingsniveau al zeer hoog. Daarnaast is ook de economische bijdrage van de WKK zeer belangrijk.
- De toepassing van Zeer Lage Temperatuur Verwarming en Warmte/Koude Opslag creëert nieuwe mogelijkheden voor de bedrijfsvoering in de tuinbouw bij open kassen. Op het gebied van verwarming komen er nieuwe mogelijkheden voor cascadering van warmtestromen of verder uitkoelen van warmte uit de WKK. Het combineren van ZLTV met WKK leidt tot extra energiebesparing met een goede terugverdientijd (circa 3 jaar). Hierdoor ontstaat een ultrahoog rendement WKK met een 3-6% hoger totaalrendement. Dit concept is zeer goed toepasbaar in bestaande kassen met WKK. Energiebesparing op alle WKK in de glastuinbouw (afgerond 2900 MWe) levert een totale besparing op van circa 180 kton CO₂.

- Warmteopslag op een hogere temperatuur in de bodem is interessant, maar leidt ertoe dat initieel warmte wordt toegevoerd, waardoor de bodem opwarmt. Het blijkt dat het loslaten van jaarlijkse balancerings van de bodem energetisch een aanzienlijk voordeel op kan leveren. Het bufferen van warmte uit WKK in de bodemtemperatuur (75 °C) leidt tot een zeer hoge warmtedekking van WKK en daarmee tot additionele energiebesparing (49% in totaal). Hetzelfde geldt voor een opslag bij 35 °C. Dit vraagt wel om een additionele investering in ZLTV in de kas.
- De opslag van warmte op hogere temperatuur in een WKO leidt in combinatie met WKK tot vrijwel 100% warmtedekking. De kosten van het aanleggen van WKO drukken echter zwaar op de exploitatie, waardoor de terugverdientijd hoog is. Het toepassen van een zonnecollector nog niet haalbaar. Als er warmte uit een 'gratis' externe bron beschikbaar is (zoals een datacenter), wordt deze vorm van warmteopslag wel interessant.

De belangrijkste conclusies voor de energieconcepten met semi-gesloten kassen zijn:

- Het blijkt dat de mogelijke energiebesparing van de huidige concepten voor de gesloten kas zeer sterk beïnvloed wordt door de elektriciteit die benodigd is om koude op te wekken of warmte op een hoger temperatuurniveau te brengen. De gevonden oplossingsrichtingen bieden een interessant perspectief voor additionele en kosteneffectieve energiebesparing.
- De combinatie van Fiwhex-systemen met gesloten kas en een restwarmtekas lijkt niet tot additionele energiebesparing te leiden. Wel verbetert

de economie van de gesloten kas doordat een groot deel van de benodigde elektriciteit opgewekt wordt met WKK en niet meer uit het net wordt ingekocht.

- WKO op een hogere temperatuur dan nu gebruikelijk in combinatie met alleen gesloten kas leidt ertoe dat er gebruik moet worden gemaakt van koeltorens om de benodigde koude op te wekken, terwijl de energiebesparing maar marginaal toeneemt. Uit deze studie blijkt dat het zinvoller is om de koude en warme bronnen te scheiden en gebruik te maken van twee onafhankelijke bronsystemen voor verwarming en koeling. De energiebesparing (54%) is groot met een gunstige terugverdiëntijd (<2 jaar).
- Het gebruik van een absorptiewarmtepomp in combinatie met WKK in gesloten kas en warmteopslag van 40 °C is alleen interessant in combinatie met een dubbel bronsysteem. Er kan dan op elk willekeurig moment warmte en koude worden opgewekt. Er treedt ook een aanzienlijke besparing op. Ten opzichte van de huidige gesloten kas zijn er vrijwel geen meerkosten en is de terugverdiëntijd virtueel nihil. Dit systeem biedt veel perspectieven voor de semi-gesloten kas.

De conclusies van de concepten met geothermie zijn:

- Het verder uitkoelen van de beschikbare warmte uit de geothermiebron is een belangrijk aandachtspunt om de kostprijs van de warmte te optimaliseren. Het opwerken van de restwarmtestroom met een warmtepomp leidt tot een goede energiebesparing. De investering in de warmtepomp drukt echter zwaar op de exploitatie, waardoor de terugverdiëntijd te hoog wordt.
- Minder ver uitkoelen van de geothermiebron in een eerste kas en direct gebruiken door middel van ZLTV in een tweede kas biedt mogelijkheden en leidt tot grote energiebesparing. De kostenbesparing weegt ruimschoots op tegen de noodzakelijke investering in ZLTV.
- Elektriciteitsopwekking uit geothermie met ORC is alleen mogelijk vanaf een temperatuur van circa 100 °C. Het elektrisch rendement van de gebruikte energie is dan nog erg laag en ligt rond 5%. Het blijkt echter dat de inzet van ORC niet tot energiebesparing leidt bij toepassing met geothermie. De financiële haalbaarheid is daarom niet verder uitgewerkt.

Aanbevelingen

Op basis van de potentiële energiebesparing en de in deze studie berekende terugverdiëntijden verdient het aanbeveling een vervolgtraject te starten met een aantal energieconcepten. Een verdere uitwerking kan dan leiden tot het opzetten van pilotprojecten voor de volgende concepten:

- De UHRWKK met ZLTV in een bestaande kas.
- De semi-gesloten kas met een WKK en dubbelbron-systeem.
- De semi-gesloten kas met WKK, AWP en dubbelbron-systeem.
- De open kas met verdere uitkoeling van een geothermiebron door ZLTV.
- Opslag van warmte uit externe bron in de bodem (bijvoorbeeld een datacenter).

Bijlage I: Aannames voor de berekeningen

Tarieven

Tarief Aardgas commodity	€/m ³	0,178
Tarief Aardgas transport	€/m ³	0,030
Tarief Aardgas energiebelasting hoogste schrijf	€/m ³	0,012
Tarief Elektriciteit dal	€/MWh	35,51
Tarief Elektriciteit plateau	€/MWh	68,14
Tarief Elektriciteit energiebelasting	€/MWh	10,60
Tarief Elektriciteit transporttarief variabel	€/MWh	10,00
Aandeel WKK plateau-uren	%	70%
Aandeel teruglevering	%	90%
Tarief CO2-bemesting	€/ton	125
Tarief O&M gasmotor	€/MWh	6,5
Tarief O&M overige installaties	%	2%

Bijlage 2: Details referentiekassen

Referentie kas met WKK

WKK - per ha

W-rendement WKK	48%		verwarming uit WKK	2.500	MWh_cv/jr
E-rendement WKK	42%		vollasturen WKK	4.167	hr/jr
W-rendement ketel	95%		primaire energie input GM	5.208	MWh_f/jr
opgesteld vermogen WKK	0,60	MWh_cv/jr	primaire energie input ketel	632	MWh_f/jr
Verwarming traditioneel	3.100	MWh_cv/jr	primaire energie input totaal	5.840	MWh_f/jr
waarvan ketel	600	MWh_cv/jr	E-vermogen WKK	0,53	MW_e
rendement landelijk net	45%		E-opwekking	2.188	MWh_e/jr
			primaire energie voorkomen	4.861	MWh_f/jr
			netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
			netto input a.e.	11,1	m3/m2,jr

Referentie gesloten kas

REFERENTIE - WP

COP warmtepomp	4,5		W-opslag	1.711	MWh_cv/jr
verwarming gesloten kas	2.200	MWh_cv/jr	Restwarmte	0	MWh_k/jr
koeling behoefte gesloten kas	2.139	MWh_k/jr	E-behoefte WP	489	MWh_e/jr
COP KWO	40		E-verbruik KWO	53	MWh_e/jr
COP LBKs	30		E-verbruik LBK's	145	MWh_e/jr
verliezen WKO	20%		E-verbruik totaal gesloten	687	MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%		netto primaire energie input	1.527	MWh_f/jr
			netto input a.e.	17,4	m3/m2,jr

Bijlage 3: Details concepten open kassen

UHR WKK - TECHNIEK

REFERENTIE

netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
netto input a.e.	11,1	m3/m2.jr

UHR-WKK

W-rendement WKK	48%	extra vermogen RGC-INT	0,08	MW_cv
E-rendement WKK	42%	extra input uit RGC-INT	150	MWh_cv/jr
extra rendement RGC INT	6%	rest ketel	450	MWh_cv/jr
W-rendement ketel	95%	verwarming uit WKK	2.500	MWh_cv/jr
opgesteld vermogen WKK	0,60	MW_cv	4.167	hr/jr
Verwarming traditioneel	3.100	MWh_cv/jr	5.208	MWh_f/jr
waarvan ketel traditioneel	600	MWh_cv/jr	474	MWh_f/jr
		primaire energie input totaal	5.682	MWh_f/jr
draaiuren boven 0,6MW	2.000	uur/jr	0,53	MW_e
rendement landelijk net	45%	E-opwekking	2.183	MWh_e/jr
energieverbruik FWHX	5,0	MWh_e/jr	4.850	MWh_f/jr
		netto primaire energie input	832	MWh_f/jr
		netto input a.e.	9,5	m3/m2.jr
		Besparing tov referentie	15%	

FiWiHEx

extra vermogen RGC2	0,08	MW_cv	units/ ha	10
vermogen per FWH	10,0	kW/unit		
prijs FiWiHex	1.700	€/unit		
opbrengst FWH	150	MWh_cv		
COP FWH	30		energieverbruik totaal	5,0 MWh_e

WKO op 75 - TECHNIEK

REFERENTIE

netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
netto input a.e.	11,1	m3/m2.jr

WKK + WKO75

W-rendement WKK	48%	opgeslagen in WKO	857	MWh_cv/jr
E-rendement WKK	42%	Verliezen uit WKO	257	MWh_cv/jr
W-rendement ketel	95%	verwarming uit WKK	3.357	MWh_cv/jr
vollasturen WKK	4.150 hr/jr	opgesteld vermogen WKK	0,81	MW_cv/jr
		primaire energie input GM	6.994	MWh_f/jr
Verwarming traditioneel	3.100 MWh_cv/jr			
ketel/ WKO	600 MWh_cv/jr	E-vermogen WKK	0,71	MW_e
verliezen WKO	30%	E-opwekking	2.938	MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%	E-gebruik WKO	15	MWh_e/jr
COP WKO	40	primaire energie voorkomen	6.494	MWh_f/jr
		netto primaire energie input	500	MWh_f/jr
		netto input a.e.	5,7	m3/m2.jr
		Besparing tov referentie	49%	
Aquifer				
WKO vermogen	0,4 MWth	debiet over WKO	9,80	m3/h
dT over WKO	35 oC			

WKO op 35 - TECHNIEK

REFERENTIE

netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
netto input a.e.	11,1	m3/m2.jr

WKK + WKO35			
W-rendement WKK	54%	LT-warmte uit aquifer	300 MWh_cv/jr
E-rendement WKK	42%	opgeslagen in WKO	375 MWh_cv/jr
W-rendement ketel	95%	Verliezen uit WKO	75 MWh_cv/jr
Dagbuffering	50%	verwarming uit WKK	3.175 MWh_cv/jr
vollasturen WKK	4.150 hr/jr	opgesteld vermogen WKK	0,77 MW_cv/jr
		vermogen RGC 2	0,09 MW_cv/jr
Verwarming traditioneel	3.100 MWh_cv/jr	primaire energie input GM	5.880 MWh_f/jr
Verwarming met ZLTV	600 MWh_cv/jr	E-vermogen WKK	0,60 MW_e
verliezen WKO	20%	E-opwekking	2.469 MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%	E-gebruik WKO	8 MWh_e/jr
COP WKO	40	E-gebruik FWH	20 MWh_e/jr
COP FWH	30	E-verbruik totaal	28 MWh_e/jr
		E-levering aan net	2.442 MWh_f/jr
		primaire energie voorkomen	5.427 MWh_f/jr
		netto primaire energie input	453 MWh_f/jr
		netto input a.e.	5,2 m3/m2.jr
		Besparing tov referentie	54%
FWHX			
Extra vermogen	0,4 MW	units per ha	40 units/ha
Vermogen per FWX unit	10 kW		
delta T over aquifer	10 oC	debiet over aquifer	34 m3/h
WKO met ZON - TECHNIEK			
REFERENTIE			
		netto primaire energie input	979 MWh_f/jr
		netto input a.e.	11,1 m3/m2.jr

ZONNECOLLECTOR + WKO

zoninstraling	3,50	GJ/m2.jr	warmteopbrengst	2,45	GJ/m2.jr
% rendement zonnecollector	70%				
oppervlak zonnecollectoren	1.000	m2/ha	warmteopbrengst totaal	681	MWh_th/jr

UHR-WKK

W-rendement WKK	54%		LT warmte uit aquifer	600	MWh_cv/jr
E-rendement WKK	42%		input WKO totaal	750	MWh_cv/jr
W-rendement ketel	95%		input WKK in WKO	69	MWh_cv/jr
vollasturen WKK	4.150	hr/jr	verwarming uit WKK	2.569	MWh_cv/jr
Verwarming traditioneel	3.100	MWh_cv/jr	opgesteld vermogen WKK	0,62	MW_cv/jr
waarvan ketel traditioneel	600	MWh_cv/jr	RGC2 vermogen	0,07	MW_cv/jr
input zon WKO	681	MWh_cv/jr	primaire energie input GM	4.758	MWh_f/jr
Gebruik dagbuffer	0%		E-vermogen WKK	0,48	MW_e
verlies WKO	20%		E-verbruik WKO+FWH	39	MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%		Elektriciteit opgewekt	1.998	MWh_e/jr
E-verbruik FWHX	20	MWh_e/jr	E-levering	1.960	MWh_e/jr
COP WKO	40	MWh_e/jr	primaire energie voorkomen	4.355	MWh_f/jr
			netto primaire energie input	403	MWh_f/jr
			netto input a.e.	4,6	m3/m2.jr
			Besparing tov referentie	59%	

FWHX

Extra vermogen	0,4	MW	units per ha	40	units/ha
Vermogen per FWX unit	10	kW			
delta T over aquifer	10		debiet over aquifer	34	m3/h
opbrengst FWH	600	MWh_cv			
COP FWH	30		energieverbruik totaal	20	MWh_e

Bijlage 4: Details concepten gesloten kassen

Gesloten kas met restwarmtekas

FWHX WKO+WP

GESLOTEN GEDEELTE a 1ba

W-rendement WKK	54%	W-opslag input nodig voor verwarmen	2.411	MWh_k/jr
E-rendement WKK	42%	W-opslag input	2.500	MWh_k/jr
COP warmtepomp	7,0	W-opslag output	2.000	MWh_k/jr
verwarming gesloten kas	2.500 MWh_cv/jr	W nodig voor verwarmen kas	1.929	MWh_k/jr
Waarvan ketel	250 MWh_cv/jr	Restwarmte of koeltoren	71	MWh_k/jr
koeling behoefte fiwihex kas	2.500 MWh_k/jr	E-behoefte WP	321	MWh_e/jr
COP KWO	40	E-verbruik KWO	125	MWh_e/jr
E-verbruik FWHX	20	E-verbruik FWHX	250	MWh_e/jr
WKK opwekking	1.250 MWh_e/jr	Totaal E-verbruik gesloten	696	MWh_e_jr
aantal vollasturen WKK	4.150	E-verkoop gesloten gedeelte	-	MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%	primaire energie input WKK	2.976	MWh_f/jr
ketelrendement	95%	primaire input ketel	263	MWh_f/jr
verliezen WKO	20%	netto input a.e. gesloten	-	m3/m2,jr
warmtebenutting WKK	100%	Restwarmte WKK	1.607	MWh_cv/jr
		WKK vermogen	0,30	MW

+OPEN GEDEELTE

restwarmte uit gesloten kas	71	MWh_k/jr	beschikbare warmte uit WKO	83	MWh_cv/jr
warmtebehoefte open per ha	3.100	MWh_cv/jr	warmte beschikbaar totaal	1.690	
waarvan ketel	310	MWh_cv/jr	oppervlak open gedeelte	0,61	ha
beschikbare warmte uit WKK	1.607	MWh_cv/jr	E-verbruik WP open	12	MWh_e/jr
			E-verbruik FWH	4	MWh_e/jr
Gesloten kas met warmtelevering	TRUE		Totaal E-verbruik open	16	MWh_e/jr
MAX warmteogst in zomer	2.500	MWh	E-verbruik open + gesloten	713	MWh_e/jr
			E-verkoop	538	MWh_e/jr
			primaire input ketel	198	MWh_f/jr
			primair input open + gesloten	2.243	MWh_f/jr
			netto primaire input open+gesloten	1.396	MWh_f/jr
			netto input a.e. gesloten+open	15,9	m3/m2.jr

Gesloten kas met WKO 30 °C

REFERENTIE WKK

			netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
			netto input a.e.	11,1	m3/m2.jr

REFERENTIE Gesloten kas met WP en WKK

			netto primaire energie input	1.319	MWh_f/jr
			netto input a.e.	17,4	m3/m2.jr

VERWARMING 40/25 _lt

W-rendement WKK	54%		LT-warmte uit aquifer	225	MWh_cv/jr
E-rendement WKK	42%		opgeslagen in WKO	281	MWh_cv/jr
W-rendement ketel	95%		Verliezen uit WKO	56	MWh_cv/jr
Dagbuffering warmte	50%		verwarming uit WKK	2.556	MWh_cv/jr
vollasturen WKK - plateau	4.150	hr/jr	opgesteld vermogen WKK	0,62	MW_cv/jr
			primaire energie input GM	4.734	MWh_f/jr
Verwarming traditioneel	2.500	MWh_cv/jr	E-vermogen WKK	0,48	MW_e
Verwarming met ZLTV	450	MWh_cv/jr	E-opwekking	1.988	MWh_e/jr

verliezen WKO	20%	E-verbruik totaal	171 MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%	E-levering aan net	1.817 MWh_f/jr
		primaire energie voorkomen	4.038 MWh_f/jr
		netto primaire energie input	696 MWh_f/jr
		netto input a.e.	7,9 m3/m2,jr
		Besparing tov referentie	54%

KOELING 10/20 _k

Gesloten kas	TRUE	warmte naar koudeopslag	2.000 MWh_k/jr
Koeling behoefte	2.000 MWh_k/jr	koeling door koeltoren	1.600
koude dekking dagbuffer	0%	Koelvermogen koeltoren	0,4 MWk
Koelbehoefte gesloten kas	2.000 MWh_k/jr		
Draaiuren koeltoren < 10oC	3.700 uur/jaar		

AQUIFERS

Vermogen koud	1,2 MW	debiet over aquifer koud	103 m3/hr
Vermogen warm	0,4 MW	debiet over aquifer warm	23 m3/hr
dT koud	10 oC		
dT warm	15 oC	debiet totaal	126 m3/hr

VERBRUIKEN INSTALLATIES

Verwarming	225 MWh_lt/jr	KWO totaal	2.281 MWh/jr
koelbehoefte	2.000 MWh_k/jr		
koudeopslag	2.000 MWh_k/jr	E-verbruik KWO	57 MWh_e
warmteopslag	281 MWh_lt/jr		
COP KWO	40		
COP FWH	30	E-verbruik FWHX	74 MWh_e
koelopbrengst koeltoren	1.600 MWh_k/jr	E-verbruik koeltoren fan	40 MWh_e
COP fan koeltoren	40 kW_e/kWk	E-verbruik totaal	171 MWh_e

FWHX

max vermogen koeling	1,5 MW	aantal units	100 units/ha
vermogen per fiwihex	15 kW		

WKK met AWP en 4-voudige bron

REFERENTIE WKK

		netto primaire energie input	979	MWh_f/jr
		netto input a.e.	11,1	m3/m2.jr

REFERENTIE Gesloten kas met WP en WKK

		netto primaire energie input	1.319	MWh_f/jr
		netto input a.e.	17,4	m3/m2.jr

VERWARMING 40/25 _lt

verwarming gesloten kas	2.500	MWh / jr	verwarming uit WKK AKM	2.250	MWh_lt/jr
Uit ketel	250	MWh / jr	verwarming direct	1.800	MWh_lt/jr
RGC+INT opbrengst	427	MWh_lt/jr	WKO opslag input	563	MWh_lt/jr
COP AKM	0,7	MWk/MWcv	AKM_COND opbrengst	1.936	MWh_lt/jr
verliezen WKO 40	20%		CV-behoefte 90 oC	1.139	MWh_CV/jr
warmte dekking dagbuffer	80%				
delta T in AKM cond	7	oC	debiet over condensor AKM	57,1	m3/h
vermogen AKM condensor	0,47	MWlt	delta T over RGC	1,5	oC
thermisch rendement ketel	95%		gasinput ketel	263	MWh_f/jr

CV-WARMTE 90/70 _cv

CV-behoefte GM	1.139	MWh_cv/jr	Vermogen gasmotor CV warmte	0,27	MW_cv
plateau-uren	4.150	hr/jr	Vermogen gasmotor RGC warmte	0,10	MW_lt
GM rendement CV tot 85 oC	40%		opbrengst RGC	427	MWh_lt/jr
GM rendement RGC tot 35 oC	15%		opbrengst elektriciteit GM	1.195	MWh_e/jr
GM elektrisch rendement	42%		gasinput	2.846	MWh_f/jr
			E-vermogen Gasmotor	0,29	MW_e

KOELING 10/20 _k

Gesloten kas	FALSE		koudeopbrengst uit AKM	797	MWh_k/jr
Koeling behoefte	996	MWh_k/jr	vermogen AKM	0,19	MWk
CV opbrengst	1.139	MWh_cv/jr	koeltoren behoefte	-	MWh_k/jr

AKM COP	0,7	MWk/MWcv	koelbehoefte dummy	996	MWh_k/jr
koudedekking dagbuffer	25%		warmte naar koudeopslag	598	MWh_k/jr
Koelbehoefte gesloten kas	2.500	MWh_k/jr	Koelvermogen koeltoren	-	MWk
Draaiuren koeltoren < 10oC	3.700	uur/jaar			
verliezen KWO	20%				

AQUIFERS

Vermogen koud	1,2	MW	debiet over aquifer koud	103	m3/hr
Vermogen warm	0,6	MW	debiet over aquifer warm	51	m3/hr
dT koud	10	oC			
dT warm	10	oC			

VERBRUIKEN INSTALLATIES

Verwarming	2.500	MWh_lt/jr	KWO totaal	1.160	MWh/jr
koelbehoefte	996	MWh_k/jr			
koudeopslag	598	MWh_k/jr	E-verbruik KWO	29	MWh_e
warmteopslag	563	MWh_lt/jr			
COP KWO	40				
COP FWH - koelen	30				
COP FWH - verwarmen	60		E-verbruik FWHX	75	MWh_e
koelopbrengst koeltoren	-	MWh_k/jr			
COP pomp+fan koeltoren	40		E-verbruik koeltoren	-	MWh_e
koudeproductie AKM	797	MWh_k/jr	E-verbruik AKM	8	MWh_e
COP AKM	100		E-verbruik totaal	112	MWh_e

FWHX

max vermogen warmte	1,0	MW	aantal units	100	units/ha
vermogen per fiwihex	10	kW			

NETTO ENERGIE

gasinput GM	2.846	MWh_f/jr	netto E-verkoop	1.084	MWh_e/jr
E-opbrengst GM	1.195	MWh_e/jr	primair voorkomen door E-opwekking	2.408	MWh_f/jr
rendement landelijk net	45%		netto primaire energieinput	701	MWh_f/jr
E-verbruik installaties	112	MWh_e	netto input a.e.	8,0	m3/m2.jr
meeropbrengst gesloten kas	20%		Besparing tov referentie	54%	
gasinput ketel	263	MWh_f/jr	netto primaire energieinput gesloten kas	585	MWh_f/jr
			netto input a.e.	6,7	m3/m2.jr

Bijlage 5: Details concepten geothermie

Geothermie + WP - techniek

REFERENTIE WKK			
		netto primaire energie input	979 MWh_f/jr
		netto input a.e.	11,1 m3/m2.jr
AANNAMES GEOBRON			
diepte	1.700 m	dT buizen	30 oC
T_bron	60 oC		
T_retour conv	30 oC		
debiet	150 m3/h	vermogen	5,3 MW_cv
vermogen per ha	1,0 MW_cv/ha	hectare	5,3 ha
		debiet per ha	29 m3/ha
Verwarming 1	3.100 MWh_cv/jr	E-verbruik	78 MWh_e
COP geo	40		
VERWARMING 2 MET GEOBRON			
T_retour1	30 oC	COP WP	7,0
T_retour2	10 oC		
E-rendement WP	70%	warmte uit geobron nodig	1.966 MWh_cv/jr
T_hoog FWH	35 oC	E-input WP	197 MWh_e/jr
T_laag FWH	25 oC	debiet uit geobron	43 m3/ha
gemiddelde COP	10		
Verwarming 2	3.100 MWh_cv/jr	aantal ha uit bron	3,5 ha
vermogen per ha	1,0 MW_cv/ha		

debiet uit bron	150 m3/ha	E-verbruik FWH	103 MWh_e/jr
COP FWH	30	E-verbruik totaal	300 MWh_e/jr
rendement landelijk net	45%	netto primaire energieinput	667 MWh_e/jr
		netto input a.e.	7,6 m3/m2.jr
		Besparing tov referentie	32%
FWHX			
Piekvermogen FWH	1,0 MW	aantal units	100
Vermogen per FWH	10 kW		

Goethermie met ZLTV

REFERENTIE WKK

netto primaire energie input	979 MWh_f/jr
netto input a.e.	11,1 m3/m2.jr

AANNAMES GEOBRON

diepte	1.700 m	dT buizen	20 oC
T_bron	60 oC		
T_retour conv	40 oC		
debiet	150 m3/h	vermogen	3,5 MW_cv
vermogen per ha	1,0 MW_cv/ha	hectare	3,5 ha
Verwarming 1	3.100 MWh_cv/jr	debiet per ha	43 m3/ha
COP geo	30	E-verbruik	103 MWh_e

VERWARMING 2 MET GEOBRON

T_hoog FWH	40 oC		
T_laag FWH	25 oC		
Verwarming 2	3.100 MWh_cv/jr		
vermogen per ha	1,0 MW_cv/ha		
debiet uit bron	150 m3/ha	E-verbruik FWH	31 MWh_e/jr
COP FWH	100	E-verbruik totaal	31 MWh_e/jr

rendement landelijk net	45%	netto primaire energieinput	69 MWh_e/jr
		netto primaire energieinput ae	0,8 m3/m2.jr
			93%

Geothermie met ORC

REFERENTIE WKK

netto primaire energie input	979 MWh_f/jr
netto input a.e.	11,1 m3/m2.jr

AANNAMES GEOBRON

brondebiet	150 m3/h	W-vermogen	10,5 MW_th
brontemperatuur	100 oC	W-gebruik - jr	52.500 MWh_th/jr
T_laag bron	40 oC	E-vermogen geobron	0,42 MWe
COP	25	E-verbruik geobron - jr	2.100 MWh_e/jr
vollasturen bron	5.000 uur/jr	Primair energieverbruik totaal	4.667 MWh_f/jr
		ha verwarmen	17,50 ha
Rendement landelijk net	45%	oC per ha	3,43
Max vermogen geo per ha	0,8 MW_th/ha	input primair E-verbruik per ha	267 MWh_f/jr
Warmtevraag kas	3.100 MWh_th/ha	input primair aardgas ketel	326 MWh_f/jr
ketel	310	netto input	593 MWh_f/ha.jr
rendement ketel	0,95	netto input a.e.	6,7 m3/m2.jr
warmtebuffering	25%	besparing primair per ha	386 MWh_f/jr
		besparing tov WKK	39%
		besparing totaal door geobron	6.752 MWh_f/jr

1 ORC in plaats van verwarming

brondebiet	150	m3/h	E-vermogen ORC	0,21	MWe
brontemperatuur	100	oC	E-opbrengst ORC	1.680	MWh_e/jr
T_laag ORC	70	oC	Resterend vermogen verwarming	5,25	MW_th
T_retour bron	40	oC	Input thermisch energie	26.250	MWh_th
ORC-rendement	4,0%		ha verwarmen	8,75	ha
draaiuren ORC	8.000	uur/jr	E-opbrengst ORC per ha	192	MWh_e/jr
Rendement landelijk net	45%		E-verbruik geobron	2.730	MWh_e/jr
Max vermogen geo per ha	0,8	MW_th/ha	E-verbruik per ha	312	MWh_e/jr
Warmtevraag kas	3.100	MWh_th/ha	E-inkoop per ha	120	MWh_e/jr
ketel	310	MWh_th/ha	E-inkoop per ha - primair	267	MWh_f/jr
rendement ketel	95%		input primair aardgas ketel per ha	326	MWh_f/jr
warmtebuffering	25%		Primair energieverbruik totaal	593	MWh_f/jr
vollasturen verwarming	5.000	uur/jr	netto input	6,7	m3/m2.jr
			besparing tov WKK	39%	
			besparing primair per ha	386	MWh_f/jr
			besparing totaal door geobron	3.376	MWh_f/jr

2 ORC naast verwarming

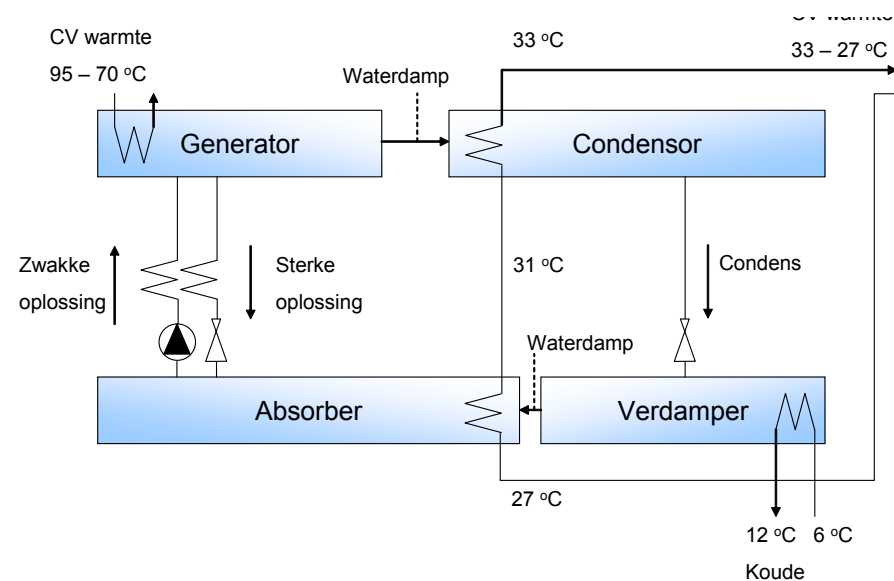
brondebiet	150	m3/h	E-vermogen ORC	0,21	MWe
brontemperatuur	100	oC	E-opbrengst ORC	630	MWh_e/jr
T_laag ORC	70	oC	Resterend vermogen verwarming	10,50	MW_th
T_retour bron	40	oC	Input thermisch energie	52.500	MWh_th
ORC-rendement	4,0%		ha verwarmen	17,50	ha
draaiuren ORC	3.000	uur/jr	E-opbrengst ORC per ha	36	MWh_e/jr
Rendement landelijk net	45%		E-verbruik geobron	3.360	MWh_e/jr
Max vermogen geo per ha	0,8	MW_th/ha	E-verbruik per ha	192	MWh_e/jr
Warmtevraag kas	3.100	MWh_th/ha	E-inkoop per ha	156	MWh_e/jr
ketel	310	MWh_th/ha	E-inkoop per ha - primair	347	MWh_f/jr
rendement ketel	95%		input primair aardgas ketel per ha	326	MWh_f/jr
warmtebuffering	25%		Primair energieverbruik totaal	673	MWh_f/jr
vollasturen verwarming	5.000	uur/jr	netto input	7,7	m3/m2.jr

besparing tov WKK	31%
besparing primair per ha	306 MWh_f/jr
besparing totaal door geobron	5.352 MWh_f/jr

3 ORC en FWHverwarming

brondebiet	150 m3/h	E-vermogen ORC	0,21 MWe
brontemperatuur	100 oC	E-opbrengst ORC	1.680 MWh_e/jr
T_laag ORC	70 oC	Resterend vermogen verwarming	5,25 MW_th
T_retour bron	40 oC	Input thermisch energie	26.250 MWh_th
ORC-rendement	4,0%	ha verwarmen	8,75 ha
draaiuren ORC	8.000 uur/jr	E-opbrengst ORC per ha	192 MWh_e/jr
Rendement landelijk net	45%	E-verbruik geobron	3.360 MWh_e/jr
Max vermogen geo per ha	0,8 MW_th/ha	thermisch vermogen output ORC	5,0 MWth
Warmtevraag kas	3.100 MWh_th/ha	ha verwarmen fiwihex	8,4 ha
ketel	310 MWh_th/ha	E-verbruik fiwihex totaal	260 MWh_e/jr
rendement ketel	95%	E-verbruik totaal	3.620 MWh_e/jr
warmtebuffering	25%	E-inkoop totaal	1.940 MWh_e/jr
vollasturen verwarming	5.000 uur/jr	E-inkoop per ha	113 MWh_e/jr
E-verbruik FWH met LT-warmte	31 MWh_e/ha.jr	E-inkoop per ha - primair	251 MWh_f/jr
		input primair aardgas ketel per ha	326 MWh_f/jr
		Primair energieverbruik totaal	578 MWh_f/jr
		netto input	6,6 m3/m2.jr
		besparing tov WKK	41%
		besparing primair per ha	401 MWh_f/jr
		besparing totaal door geobron	6.878 MWh_f/jr

Bijlage 6: Werking absorptiewarmtepomp



Figuur 41: Werking AWP.

Concept

Bij de absorptiewarmtepomp wordt de cyclus niet aangedreven door elektriciteit, zoals bij een compressiekoelmachine, maar door hitte uit stoom of heet water. Net als bij compressiekoeling wordt energie binnen de machine overgedragen door middel van verdamping en condenseren van water. Een absorptiewarmtepomp bevat echter een lithiumbromide-oplossing in water. Zodoende zijn er drie in- of uitgaande stromen:

- CV-water (of stoom) voor de aandrijving.
- Het koude water.
- Koelwater waarin warmte wordt afgevoerd.

De warmte die in de condensor en de absorber vrijkomt, wordt weggevoerd met koelwater naar een koeltoren.

De COP van een absorptiewarmtepomp ligt bij CV-warmte rond de 0,6-0,7. Dat wil zeggen dat elke MJ aan CV-warmte, 0,6 tot 0,7 MJ koude oplevert.

Randvoorwaarden	Constante koudevraag Bron van CV-warmte of stoom
Marktstatus	Absorptiewarmtepompen worden veel toegepast.

Bijlage 7: Aanvullende berekeningen geothermie met zeer lage temperatuurverwarming-systemen

In aanvulling op onze berekeningen met geothermie en WP zijn – op verzoek van InnovatieNetwerk – berekeningen bijgevoegd van A + G van den Bosch voor een aardwarmtekas in combinatie met een nageschakelde kas die met een warmtepomp en ZLTV verwarmd wordt. De onderstaande berekeningen staan op zichzelf en kunnen afwijken vanwege andere uitgangspunten en een andere referentiesituatie. Zo koelt de kas van A + G van den Bosch dieper terug met zijn bestaande installatie en schermen. Dit geeft andere uitkomsten dan in de door COGEN berekende concepten.

Ontwerp optimalisering warmtelevering met de HSH-FiwiHex®-techniek Vleestomatenkwekerij A + G van den Bosch B.V.

Samenvatting

In overleg met Hydro Systems Holland BV en Rick van den Bosch, van Vleestomatenkwekerij A + G van den Bosch BV, is een ontwerp gemaakt voor de beschikbare resterende hoeveelheid geothermische warmte. Momenteel wordt vanuit de geothermische bron van het bedrijf hoofdzakelijk een kas van 7 ha verwarmd. Uit de studie is gebleken dat met behulp van de HSH-FiwiHex®-techniek in combinatie met een efficiënte warmtepomp, het tevens mogelijk is de andere kas van het bedrijf (7,8 ha) te verwarmen. Uit de optimalisatieberekening is gebleken dat na subsidie een investeringsproject mogelijk is met een terugverdientijd van circa 2,1 jaar. Er is een koeltoren aan het ontwerp toegevoegd. Dit verbetert de mogelijkheden om MEI-subsidie te verkrijgen. Door deze toevoeging wordt de kas gekenmerkt als gesloten kas.

Inleiding

Op 18 februari 2009 is er een eerste ontmoeting geweest tijdens de Relatiebeurs in Gorinchem met de heren Rick van den Bosch, van Vleestomatenkwekerij A + G van den Bosch in Bleiswijk, en Gerard en Arno ter Beek, van Hydro Systems Holland BV in Oldenzaal. De mogelijkheden zijn besproken om de nog beschikbare hoeveelheid geothermische warmte te gaan gebruiken voor verwarming van overige delen van het bedrijf.

Ontwerp

Er is door Hydro Systems Holland BV een ontwerp gemaakt voor de warmtelevering aan een kas van 7,8 ha. Dit ontwerp was 22 februari jl. beschikbaar. Momenteel wordt de beschikbare geothermische warmte vooral gebruikt om een kas van 7 ha te verwarmen. Warmte uit deze kas is beschikbaar op circa 30°C (koude dagen). In dit ontwerp wordt deze stroom gebruikt voor de verwarming van de resterende 7,8 ha kas op de locatie Vleestomatenkwekerij A + G van den Bosch in Bleiswijk. Er worden volgens het ontwerp van 22 februari 70 HSH-FiwiHex®-systemen per hectare geplaatst voor de warmtelevering. Op koude dagen wordt een warmtepomp ingezet om de warmte op te waarden naar een hoger temperatuurniveau. Door toevoeging van de warmtepomp is het mogelijk de warmte uit de geothermische bron over een groter temperatuur bereik te benutten (in plaats van 60 °C → 30°C wordt dit 60 °C → 2°C).

Vanwege de toepassing van de HSH-FiwiHex®-techniek is het doorgaans niet noodzakelijk om warmte naar een temperatuurniveau hoger dan 30°C te brengen. Door deze bescheiden temperatuurverhoging is de toepassing van een efficiënte warmtepomp mogelijk (centrifugaal warmtepomp). De COP

van de warmtepomp is in deze situatie tussen 7 en 11. De kosten van het gebruik van de warmtepomp en ventilatoren zijn gering (circa € 300.000/jaar voor 7,8 ha).

Een groot deel van de benodigde warmtelevering aan de kas van 7,8 ha kan hiermee worden uitgevoerd. Het resterende gasverbruik voor de verwarming van het bedrijf wordt tot een minimum teruggebracht.

De totale investering is geschat op € 2.600.000. Waarschijnlijk draagt de overheid tot circa 50% bij, in de vorm verschillende subsidies o.a.(MEI-subsidie en EOS-demo).

Op 6 maart j.l. volgde een tweede gesprek met Rick van den Bosch en Gerard ter Beek in Bleiswijk. Hier zijn nogmaals alle mogelijkheden besproken om de beschikbare warmte uit de geothermische bron optimaal te gaan gebruiken, evenals subsidiemogelijkheden.

Op 29 april jl. was er een vervolgesprek met Rick van den Bosch, Gerard en Arno ter Beek. In dit gesprek is afgesproken, dat Arno ter Beek een nieuw ontwerp zal maken over de mogelijkheden die de HSH-FiwiHex®-techniek kan bieden voor Vleestomatenkwekerij A + G van den Bosch in Bleiswijk.

Het concept-ontwerp van 22 februari is nu grondiger uitgewerkt. De nu beschikbare aanvullende informatie bestaat uit:

- Warmtebalans over warmtelevering aan 7,8 ha kas met HSH-FiwiHex®-installatie.
- Optimalisatie van het aantal HSH-FiwiHex®-systemen.
- Ontwerpgegevens van verschillende componenten van de installatie:
 - o Dagbuffer.
 - o Warmtepomp.
 - o HSH-FiwiHex®-warmtewisselaars.
 - o Koeltoren.

Warmtebalans over warmtelevering aan 7,8 ha kas met HSH-FiwiHex®-installatie

Bestaande situatie:

7 ha kas, wordt momenteel verwarmd met aardwarmtebron. Capaciteit van

de bron is 160 m³/uur van 60°C . Het bronwater koelt maximaal af tot 30°C.

Nieuwe situatie:

Er is nog 7,8 ha kas beschikbaar (bestaande kas) die grotendeels met dezelfde bron verwarmd kan worden.

Gevraagd: Ontwerp met gebruik van de HSH-FiwiHex®-techniek (met toepassing van een warmtepomp).

Berekening:

Warmtevraag van de kas per jaar

Vaak wordt per jaar het equivalent van 45 m³/jaar gas verbruikt. Dit komt overeen met 400 kWh/m²/jaar.

De warmtevraagverdeling over het jaar wordt aangenomen als:

4.000 uur/jaar een warmtevraag 50W/m²/jaar en 2.000 uur een warmtevraag van 100 W/m² jaar.

Hoeveel warmte is beschikbaar:

Maximale vraag van 14,8 ha kas 14.000 kW of 100 W/m ²			
	warmte-inhoud geothermische bron (in kW)		
Warmte inhoud bij afkoelen tussen 60 en 30°C	5.600	40%	Alleen buis en rail
Warmte-inhoud tussen 30 en 22oC	1.493	11%	Aandeel fwX
Warmte-inhoud tussen 22 en 2o C	3.733	27%	aandeel fwX + warmtepomp
Totaal beschikbaar	10.827kW	77%	
Bij hogere warmtevraag wordt aanvullend een ketel gebruikt (indien de gemiddelde warmtevraag over een etmaal meer dan 80 W/m ² bedraagt). Een warmwaterbuffer is gewenst, om variaties in warmtevraag over een etmaal op te vangen. De verwarmingscapaciteit zonder warmtepomp per m ² is dan 7.093/14.800= 48 W/m ²			
De verwarmingscapaciteit met warmtepomp is 10.827 kW/14.800 m ² =		73,2	W/m ²

Door buffering van warmte is het mogelijk om verschillen in vraag over het etmaal op te vangen. Hierdoor wordt het mogelijk om bijvoorbeeld gedurende twaalf uur gemiddeld 93 W/m² te leveren. Gedurende de twaalf daaropvolgende uren is de warmtelevering dan maximaal 53 W/m².

Optimalisatie van het aantal HSH-Fiwihex®-systemen

Watertemperatuur uit warmtepomp

De optimalisatie is uitgevoerd in twee stappen. Allereerst is de optimale temperatuur voor de warmtelevering via de HSH-Fiwihex®-systemen bepaald. Uitgangspunt voor deze berekening is de toepassing van een centrifugaal warmtepomp.

Een centrifugaal warmtepomp heeft een hoog elektrisch rendement (70%), maar kan slechts een beperkt temperatuurverschil overbruggen (max 30°C-35°C). De COP van deze warmtepomp varieert tussen 7 en 11.

Een lage water temperatuur (warmtestroom naar HSH-Fiwihex®) betekent geringe inzet van de warmtepomp. Een hoge watertemperatuur betekent minder HSH-Fiwihex®-systemen.

Uit de optimalisatie komt naar voren dat alleen indien de maximale beschikbare hoeveelheid warmte geleverd moet worden, de temperatuur uit de warmtepomp verhoogd dient te worden tot circa 35°C. De warmtecapaciteit per HSH-Fiwihex® loopt dan op tot 10,6kW. Bij een watertemperatuur van 30°C is de capaciteit circa 6,6 kW.

Voor ongeveer 20% van de bedrijfstijd is instelling van de hoge watertemperatuur nodig. Onder normale omstandigheden is het optimaal om met een lagere watertemperatuur (30 °C) te werken.

Door deze keuze wordt het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp beperkt. Ook wordt het aantal HSH-Fiwihex®-systemen beperkt.

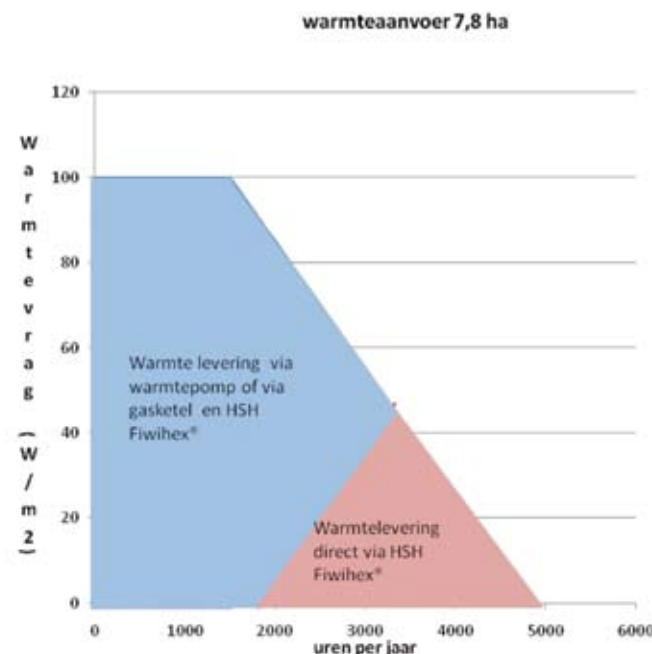
Er zijn dus twee meest voorkomende instellingen voor warmwatertoevoer van de HSH-Fiwihex®-warmtewisselaar:

Warmtecapaciteit HSH-Fiwihex®	Halflast 6,6 kW	Vollast 10,9 kW
Watertemp. naar fwx	30 °C	35 °C
Watertemp. van fwx	22 °C	22 °C
Verbruik ventilator	125 W	380 W
Verdamper temperatuur warmtepomp	10-20 °C	2-10 °C
COP-warmtepomp	10-15	7-9

Aantal HSH-Fiwihex®-systemen per hectare

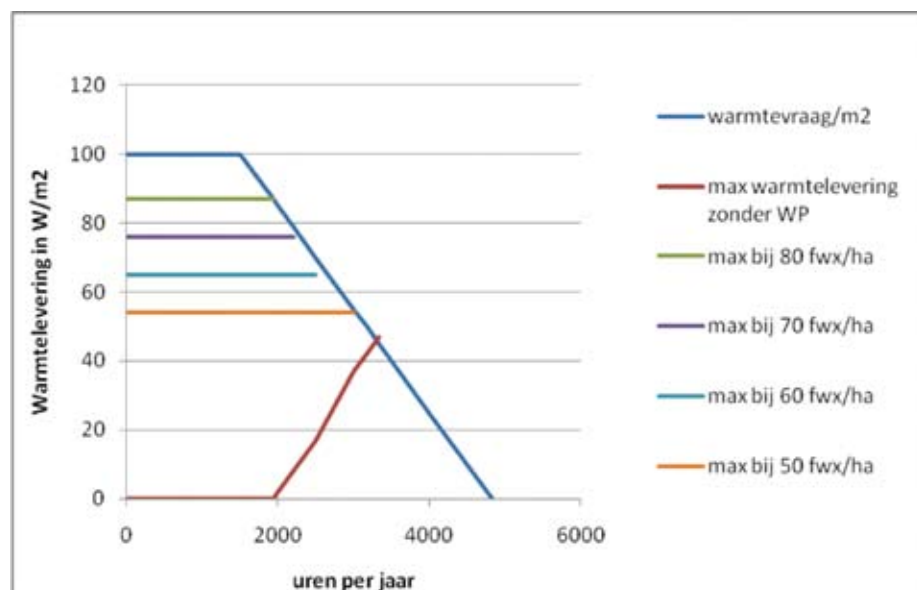
Een belangrijke variabele voor de optimalisatie is het aantal HSH-Fiwihex®-systemen: De investeringskosten versus de kosten van het gebruik van de ketel.

In onderstaande grafiek is de beschikbaarheid van warmte weergegeven. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen rechtstreekse warmtelevering zonder warmtepomp en warmtelevering met warmtepomp.



Vervolgens is de mogelijke warmtelevering vanuit de geothermische bron berekend afhankelijk van het aantal HSH-FiwiHex®-systemen per hectare. Deze maximumlevering is gebaseerd op de maximale warmteoverdracht van de HSH-FiwiHex®. Zichtbaar is dat de warmteleveringcapaciteit toeneemt met het aantal HSH-FiwiHex®-systemen. Het maximum wordt bereikt bij circa 80 HSH/FiwiHex®-systemen per ha. Er is dan niet meer warmte beschikbaar uit de geothermische bron. Een en ander is weergegeven in de onderstaande grafiek.

Warmtecapaciteit bij toepassing van HSH-FiwiHex® in 7,8 ha



Zichtbaar is dat bij gebruik van 80 HSH-FiwiHex®-systemen vrijwel alle benodigde warmte geleverd kan worden. Dit neemt af met het aantal.

Gebaseerd op bovenstaande figuur, is in deze onderstaande tabel een optimalisatieberekening uitgevoerd:

Aantal HSH-FiwiHex®/ha		80	70	60	50
Maximale warmtelevering	W/m²	90	80	70	50
Warmtelevering percentage		87%	77%	66%	55%
Warmtelevering geothermische bron	kWh/m²/jaar	276	242	207	173
Directe levering	kWh/m²/jaar	78	78	78	78
met warmtepomp	kWh/m²/jaar	198	163	129	94
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	kWh/m²/jaar	25	20	16	12
Elektriciteitsverbruik ventilatoren	kWh/m²/jaar	7	6	5	4
Warmtelevering hulpketel	kWh/m²/jaar	24	58	93	127
Resterend gasverbruik	m³/m²/jaar	3	6	10	14
Totaal elektriciteitsverbruik		32	27	21	16
Gasverbruik		3	6	10	14
Investering					
HSH-FiwiHex®	euro/ m²	24,00	21,00	18,00	15,00
Warmtepomp	euro/ m²	6,41	6,41	6,41	6,41
Koeltoren	euro/m²	4,00	4,00	4,00	4,00
Totaal	euro/m²	34,41	31,41	28,41	25,41
Totaal na subsidie	euro/m²	17,21	15,71	14,21	12,71
Variabele kosten	euro/m²/jaar	3,97	4,59	5,22	5,84
Meeropbrengst door koeling	euro/m²/jaar	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
Totaal	euro/m²/jaar	0,97	1,59	2,22	2,84
Terugverdientijd zonder subsidie	jaar	4,3	4,2	4,2	4,1
Terugverdientijd na 50% subsidie	jaar	2,1	2,1	2,1	2,1

Zichtbaar is dat de terugverdientijd vrijwel onafhankelijk is van het aantal HSH-FiwiHex®-systemen. In deze berekening is geen rekening gehouden met een mogelijke toename van de energieprijzen. Voor deze berekening zijn als optimalisatieprijzen € 0,1/kWh en € 0,3/m³ gas gebruikt.

In de optimalisatieberekening is de investering in een koeltoren opgenomen. Hierdoor wordt het mogelijk om de kas semi--gesloten te bedrijven. Deze extra investering levert de mogelijkheid om de kas te koelen. Het koelvermogen is afhankelijk van de buitentemperatuur (vooral natte bol temperatuur). Doorgaans kan koelwater geproduceerd worden van maximaal circa 16°C. Het koelvermogen is circa 150 W/m². Verwacht wordt dat er een meerproductie gerealiseerd wordt van minimaal circa 5%. Deze waarden zijn opgenomen in de exploitatieberekening. De investering in de koeltoren maakt het mogelijk om dit als gesloten kas aan te merken, hetgeen gunstig is voor het verkrijgen van MEI-subsidie.

Ontwerpegegevens van verschillende componenten van installatie

Dagbuffer design

Uitgangspunt: Opvang van 20 W/m² gedurende 12 uur verwarmingscapaciteit over een etmaal of 0, 240 kWh/m².

Door deze opslag wordt het mogelijk om gedurende 12 uur per dag 92 W/m² warmte te leveren. Gedurende de overige 12 uur is de maximale warmtelevering dan ongeveer 52 W/m².

Dimensionering van buffer: Afkoelen van 1 kg van 60 °C naar 2 °C levert een verwarmingscapaciteit van 244 kJ of 0,067 kWh.

Voor de opslag van 0,2 kWh warmte is dus 3 kg water nodig. De benodigde afmeting van de dagbuffer is dus afgerond 500 m³ (temperatuur 60 °C).

Warmtepomp

Een voorbeeld van een warmtepomp zoals deze toegepast kan worden:

1 stuks Carrier hermetische centrifugaal warmtepomp, type 19XR7, voor binnenopstelling. Deze specifiek voor het koudemiddel R134a ontwikkelde warmtepomp biedt de laatste ontwikkelingen op het gebied van compressietechniek, warmte-uitwisseling en geluidsbepierking. De unit is naast Pro-Dialog microprocessor regeling voorzien van volledig geïntegreerde Flotronic expansieventielen.

Fabriikaat	: Carrier
Type	: 19XR7
Koelcapaciteit	: 3.000 kW
Verwarmingscapaciteit	: 3.525 kW
Unit krachtverbruik	: 525 kW
Vloeistofhoeveelheid koeler	: 429,8 m ³ /h
Vloeistoftraject koeler	: 11 °C/ 5°C
Vloeistofhoeveelheid condensor	: 234,0 m ³ /h
Vloeistoftraject condensor	: 24°C/ 37°C
Capaciteitsregeling	: traploos 0-100%
Aansluitspanning	: 400 Volt
Max. vollaststroom	: 840 A

Afmetingen, gegevens per stuk	:	
Lengte	: 5.194	mm
Breedte	: 2.426	mm
Hoogte	: 2.985	mm

Scheidingswarmtewisselaar

Er is standaard voorzien in een scheidingswarmtewisselaar tussen de geothermische bron en de bovengrondse installatie.

Warmtelevering (traject tussen 60 °C en 30°C) vindt deels plaats via het buis- en railsysteem.

Dit zijn doorgaans ijzeren leidingen. Gebleken is dat dit water verontreinigd raakt met ijzerhydroxide.

Dit kan aanleiding zijn tot verstopping van de HSH-FiwiHex®. Tijdens een praktijkproef is gebleken dat de opname van ijzer in dit water beperkt kan worden door chemische stabilisatie (bufferen van het water, waardoor de pH op een hoog niveau ingesteld kan worden. Zo wordt opname van ijzerhydroxide vermeden).

Een stabilisatiestap van het circulatiewater behoort deel uit te maken van het ontwerp van de HSH-FiwiHex®-installatie.

HSH-Fiwhex®-warmtewisselaars

Warmteoverdracht HSH-Fiwhex®-warmtewisselaars

Opgenomen vermogen ventilator	0	0	0	Watt
Water 'in'	30	30	30	°C
Water 'uit'	22	24	26	°C
Lucht 'in'	18	18	18	°C RV
Lucht 'uit' (excl. ventilatorwarmte)	23,71	24,42	25,14	°C RV
Rekenkundig temperatuurverschil	5,14	5,79	6,43	K
Logaritmisch temperatuurverschil	5,06	5,79	6,30	K
Luchtsnelheid HSH-Fiwhex® 'in'	7,00	7,00	7,00	m/s
Luchtdebiet door HSH-Fiwhex®	1,22	1,22	1,22	kg/s
Waterdebiet	0,75	1,13	1,88	m³/h
Vermogen voelbaar	6,99	7,86	8,73	kW
Vermogen latent	0,00	0,00	0,00	kW
Ventilator warmte	-0,12	-0,12	-0,11	kW
Vermogen totaal (luchtzijdig)	6,87	7,74	8,62	kW
Specifieke overdracht HSH-Fiwhex®	873,16	873,16	873,16	W/K
*t.o.v. (lucht 'in' - gemiddelde watertemperatuur)				
Enthalpie in	42,45	42,45	42,45	kJ/kg
Enthalpie uit	48,16	48,88	49,59	kJ/kg
Relatieve vochtigheid in	0,75	0,75	0,75	%
Aantal HSH-Fiwhex®-systemen voor warmteoverdracht van 5.200 kW	756	671	603	

Koeltoren

De benodigde vloeistofcapaciteit van de koeltoren is 7.500 m³/uur. De maximale afvoer van warmte is 2 MW. Er wordt een open koeltoren toegepast met een scheidingswarmtewisselaar.

Evaluatie geothermische installatie (bron 60°C)

soort teelt	Tomaten	Tomaten	Tomaten					Tomaten	Tomaten	Tomaten
type kas	moderne kas / conventioneel installatie	moderne kas / conventioneel installatie	moderne kas / conventioneel installatie	bron 100 m ³ uur	bron 150 m ³ uur	bron 150 m ³ uur i.c.m. dubbele scherming	bron 200 m ³ uur i.c.m. dubbele scherming	moderne kas/ 50% conventionele verwarming/ 50% fiwihex	moderne kas / conventioneel installatie	moderne kas/ 50% conventionele verwarming/ 50% fiwihex
type verwarmingsinstallatie	standaard ketel	geothermmische warmte 150W/m ² 100 m ³ uur	geothermische warmte 150W/m ² 150 m ³ /uur	geothermische warmte 75 W/m ² en warmtepomp 75 W/m ²	geothermische warmte 75 W/m ² en warmtepomp 75 W/m ²	geothermische warmte 75 W/m ² en warmtepomp 75 W/m ²	geothermische warmte 80W/m ² 200 m ³ /uur	geothermische warmte 150W/m ³	geothermische warmte 50W/m ² , wkk 30W/m ² , conventionele ketel 20 W/m ²	geothermische warmte 50W/m ² , wkk 30W/m ² , conventionele ketel 20 W/m ²
maximum temperatuur geothermische bron (C)		60	60	60	60	60	60	60	60	60
temperatuur voeding conventionele verwarming		60-30C	60-40C	60-35	60-35	60-35	60-30	60-40C	60-40C	60-40C
temperatuur voeding fiwihexverwarming				35-10	35-10	35-10		40-20C		40-20C
beschikbaar vermogen bron (KW) opmerking 1		150	150	150	150	90	80	150	50	50
oppervlakte verwarmen met bron van 100 m ³ /hr (ha) opmerking 2		3,4	3,5	4,6	6,9	11,5	14,8	4,7	10,2	14,0
Investeringskosten verwarmingsinstallatie										
investering bron opmerking 3		€ 176,47	€ 173,91	€ 130,43	€ 86,96	€ 52,17	€ 40,54	€ 128,57	€ 58,82	€ 42,86
investering in wkk opmerking 4		€ 0,00	€ 0,00	€ 17,39	€ 14,49	€ 8,70	€ 0,00	€ 0,00	€ 19,50	€ 19,50
investering verwarming in kas opmerking 5		€ 2,00	€ 16,66				€ 2,00	€ 20,00	€ 2,00	€ 20,00
totale investering (bron + verwarming kas)		€ 178,47	€ 190,57	€ 147,83	€ 101,45	€ 60,87	€ 42,54	€ 148,57	€ 80,32	€ 82,36

Evaluatie geothermische installatie (bron 60°C)

Variable kosten verwarmingsinstallatie

Verbruik van aardgas (m³/m²) opmerking 6	45	0	0	0	0	0	5	0	44	44
CO ₂ emissie voor emissie rechten (ton/m²) opmerking 7	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00
CO ₂ emissie kosten (€/m²) opmerking 8	€ 2,09-	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,21-	€ 0,00	€ 1,96-	€ 1,96-
kosten aardgas €/m²/ jaar (gasprijs € 0,30/ m³)	€ 13,50-	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 1,50-		€ 13,07-	€ 13,07-
		0	0	0	0	0	0		149	149
Elektriciteitsverbruik pompen, warmte-pompen en ventilatoren Fiwihexinstallatie (kWh/m²/jaar)	0	5	5	10	12	12	14	15	5	15
kosten elektriciteit € 0,1/kWh (€/m²/jaar)		€ 0,50-	€ 0,50-	€ 1,00-	€ 1,20-	€ 1,20-	€ 0,52-	€ 1,50-	€ 14,41	€ 13,41
onderhoud installatie opmerking 9	€ 0,00	€ 0,89-	€ 0,95-	€ 1,48-	€ 1,01-	€ 0,61-	€ 0,60-	€ 1,49-	€ 2,61-	€ 2,61-
Kosten van irrigatie (€/m²)	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-
kosten groenbemesting opmerking 10	€ 0,00	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 2,00-	€ 5,00-	€ 0,00	€ 0,00
Totale kosten (€/m²)	€ 17,59-	€ 5,39-	€ 5,45-	€ 6,48-	€ 6,21-	€ 5,81-	€ 6,83-	€ 9,99-	€ 5,25-	€ 6,24-
Terugverdientijd verwarmingsinstallatie										
Opbrengst teelt	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00	€ 40,00
Exploitatievoordeel	€ 0,00	€ 12,19	€ 12,13	€ 11,11	€ 11,37	€ 11,78	€ 10,76	€ 7,60	€ 12,35	€ 11,35
Terugbetaalperiode (zonder subsidie) (jaar)		14,6	15,7	13,3	8,9	5,2	4,0	19,5	9,3	7,3
Terugbetaalperiode (met 40% subsidie) (jaar) opmerking 11		8,8	9,4	8,0	5,4	3,1	2,4	11,7	5,6	4,4

opmerking 1: 67% direct uit bron; 33% uit dagbuffer
opmerking 2: beschikbaar vermogen gemiddeld 1000 kW over etmaal
opmerking 3: geothermische bron met cap 100 m³/hr kost € 6.000.000
opmerking 4: wkk kost geïnstalleerd € 650.000 per MW
opmerking 5: conventionele verwarming kost € 10/m²; fiwihex verwarming kost € 30/m²
opmerking 6: aanvullende warmtevraag voor 90% via wkk en 10% via ketel; thermisch rendement wkk 49% en elektrisch rendement 42%
opmerking 7: CO₂ emissie per GJ aardgas: 58,6 kg
opmerking 8: emissiekosten € 25/ton
opmerking 9: voor geothermische installatie 1% van investering, voor wkk € 0,08/m³ aardgas
opmerking 10: kosten vloeibare CO₂: € 100/ton verbruik 50 ton/ha/jaar; wkk staat overdag aan op laag niveau voor CO₂-productie
opmerking 11: momenteel kan meestal circa 40% subsidie verkregen worden bij investeringen in geothermische installaties

Summary

Energy Agenda demands new soil management policy - Sustainable greenhouse horticulture with Heating / Cooling Storage, Combined Heating and Power (CHP) and Very Low Temperature Heating
Koolwijk, E. et al (COGEN Projects)
Innovation Network Report No. 09.2.220, Utrecht, The Netherlands, January 2010

Greenhouse horticulture currently utilizes the earth in diverse ways to achieve more sustainable energy management. From the moment that gebr. A.G. van den Bosch in Bleiswijk realized the first geothermal heat project in the Netherlands, various growers have developed other projects. These concern hot water at great depth (2 kilometres). In the case of closed greenhouses, however, the focus is on the top layers: the summer heat is largely stored in thick sand packages until the growers pump that heat back up in the winter.

The initiatives so far were restricted by the framework of existing soil legislation. This study, by contrast, sets out to examine the potential of new concepts if unhindered by provincial policy restrictions.

Many greenhouse growers see CHP(Connected Heating and Power) as the shortest route to saving energy costs. This report summarizes the results of the study into several innovative energy concepts for CHP combined with underground energy storage at different temperature levels, innovative heat exchangers (VLTH), geothermal energy, buffers and ORC (Organic Rankine Cycle). The first greenhouse ORC was

recently taken into use: this is an installation capable of converting high-temperature heat into extra electricity.

The energetic and economic consequences for all energy concepts were determined. Regarding underground energy storage, the main focus was on concepts based on a higher soil temperature level than was customary so far. Legal impediments were deliberately ignored in order to avoid ruling out good technical solutions a priori.

Key questions throughout the research were:

- Does the abolition of the maximum temperature for heat storage in undep soil clear the way for novel energy concepts?
- Can VLTH be integrated into existing greenhouses in order to improve CHP performance?
- Can growers minimize or even eliminate the primary energy consumption of heat pumps with (semi-)closed greenhouses if higher soil temperatures are applied?
- Can growers cool the heat from a geothermal source even further to achieve sustainable heating for more greenhouses?
- Is it possible to produce electricity from the heat of a geothermal source and does that have added value?

The research method was as follows. In a brain-storming session centring on the above questions, various energy-saving technologies were applied as building blocks in a number of new energy concepts for open greenhouses, semi-closed greenhouses and greenhouses with geothermal energy.

Where possible, these technologies were combined with CHP in order to maintain the advantages of (partial) in-house electricity generation (notably CO₂ production for the greenhouses). The building blocks in the energy concepts were mutually dimensioned according to the energy requirements of the existing open or closed greenhouses. The resulting energy saving was compared with an open greenhouse or semi-closed greenhouse, depending on whether the concept was for an open or semi-closed greenhouse. On the basis of the results, the concepts were reconsidered, re-dimensioned and recalculated where necessary.

Regulatory impediments

Optimal utilization of the soil for heat storage is still obstructed by numerous restrictions and impediments, whereas an adjustment of the norms could lead to substantial additional energy savings. Examples of these restrictions are the maximum temperature for hot water storage and the compulsory balancing of the soil temperature.

Energy saving in open greenhouses

Heat storage at a higher temperature involves an initial addition of heat, which causes the soil to warm up. It was found that abandoning annual soil temperature balancing can yield a substantial energetic advantage. The provincial authorities could, incidentally, require the growers to re-cool the soil at the end of the project, so that on balance no energy is added to the soil. By buffering heat from CHP at a higher temperature, CHP can produce 100% heat coverage, leading to additional energy savings for open greenhouses. However, the costs of constructing HCS (Heating / Cooling Storage) are high, so that the payback time is long. The application of solar collectors for heating yields substantial energy savings but is not yet economically viable, unless a new generation of low-tech solar collectors such as the Smart Skin can serve a dual role and form part of the roof construction.

The application of Very Low Temperature Heating (VLTH) and heating/cooling storage at a higher temperature than normal creates new operation-

nal opportunities for open greenhouses. For instance, geothermal heat flows or heat from CHPs can be cooled down further. Combining VLTH with CHP produces extra savings with a good payback time (about 3 years). This results in an ultra-high performance CHP whose overall efficiency yield is 3 to 6% higher. This concept is very suitable for application in existing greenhouses with CHP. Energy saving on all greenhouse CHP installations (approx. 2,900 MWe) produces a total saving of about 180 ktonnes of CO₂. This leads to accelerated implementation of the crucial technology for the Greenhouse as Energy Source: heat exchangers with a very high efficiency.

Alternatives in open greenhouses	CHP with VLTH	HCS 75 °C	HCS 35 °C	HCS 35 °C sun (high-tech)	HCS 35 °C sun (budget)
Energy saving (%)	15%	49%	54%	59%	53%
Payback time (years)	3.4	10.4	11.4	29.1	13.8

(CHP: Combined Heat Power; VLTH: Very Low Temperature Heating System; HCS: Heating/Cooling Storage)

Energy saving in closed greenhouse

The combination of FiwiHex systems with a closed greenhouse and a residual heat greenhouse does not seem to yield additional energy savings. It does produce economic advantages for the closed greenhouse as part of the required electricity is generated with CHP instead of purchased from the grid.

HCS at a higher temperature than is customary at present combined only with a (semi-)closed greenhouse means that cooling towers must be used to generate the required cooling, with only a marginal increase in energy savings. This study shows that it makes more sense to separate the cooling

and heating sources and to make use of two independent source systems for heating and cooling. The energy saving (54%) is substantial with a favourable payback time (less than 2 years).

The use of an absorption heat pump (AHP) combined with CHP in a closed greenhouse and heat storage of 40 °C combined with a double source system is very promising as heating and cooling can then be generated at any time. Substantial savings are also achieved. Compared to the current closed greenhouse, there are virtually no additional costs and the payback time is virtually nil. This system offers good prospects for the semi-closed greenhouse.

Alternatives in semi-closed greenhouse	Residual heat greenhouse	CHP+4-source	CHP+AHP
Energy saving (%)	-6%*	54%	54%
Payback time (years)	1.6	1.9	0.1

* The energy reference is based on the combination of an open greenhouse (0.6 ha) and a closed greenhouse (1 ha).

Energy saving with a geothermal source

The further cooling of the available heating from the geothermal source is an important aspect to optimize the cost price of the heating. Using a heat pump to raise the temperature of the residual heat flow from the greenhouse leads to good energy savings. The investment in the heat pump is however a major cost item, so the payback time is long.

Less cooling down of the geothermal source in a first greenhouse and immediate use by means of VLTH in a second greenhouse offers opportunities and leads to substantial energy savings. The cost savings amply offset the necessary investment in VLTH.

Options for cooling geothermal source	Geo+HP	Geo+VLTH
Energy Saving (%)	33%	93%
Payback Time (years)	Longer than project time	Shorter than 1 year

Electricity generation from geothermal sources with ORC is only possible from a temperature of about 100 °C. The electricity yield from the used energy is still very low at that temperature, namely about 5% (based on available energy from the source). It was found, however, that the use of ORC produces no energy savings when applied with geothermal energy.

Recommendations

Based on the potential energy savings and the payback times calculated in this study, we would recommend starting up a follow-up programme aimed at further technical analysis and elaboration of the concept. This should lead to the initiation of pilot projects for

- CHP with VLTH in an existing greenhouse
- The (semi-)closed greenhouse with CHP and double-source system
- The (semi-)closed greenhouse with CHP, AHP and double-source system
- The open greenhouse with further cooling down of a geothermal source by VLTH
- Storage of heating from an external source (e.g. a data centre) in the soil at a higher temperature than currently permitted in the soil policy, without year-round balancing at 12 °C.