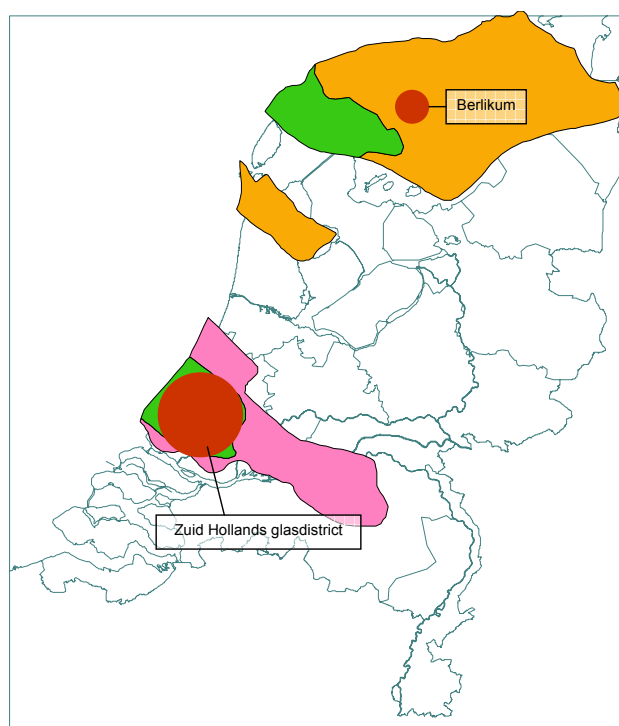
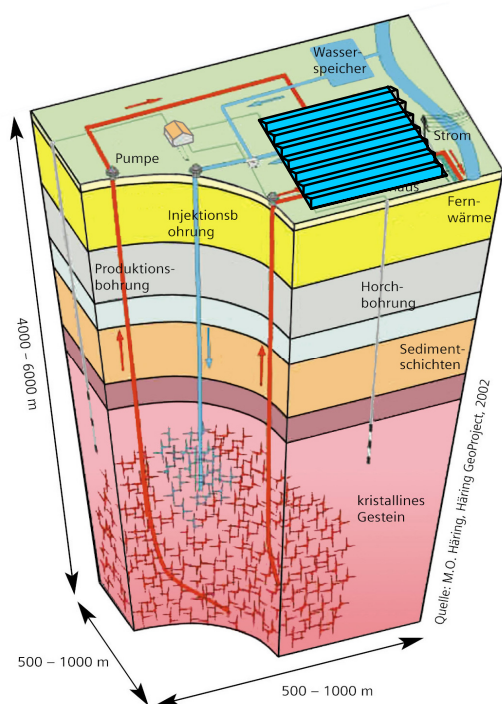


Geothermie

CO₂-vrije warmte voor duurzame glastuinbouw

H.F. de Zwart



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



provinsje fryslân
provincie fryslân



Nota 475



Geothermie

CO₂-vrije warmte voor duurzame glastuinbouw

H.F. de Zwart

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Exemplaren van dit rapport kunnen worden gedownload vanaf de website van het Productschap Tuinbouw of bij de auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Dit onderzoek is gefinancierd door:



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



provinsje fryslân
provincie fryslân



Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Eigenschappen van een geothermie bron	5
3 Warmtevraagkarakteristieken van een komkommerteelt	9
3.1 Warmtevraag van een komkommerteelt	9
3.2 Afzetpotentieel van geothermische warmte	11
3.3 Effect van alternatieven voor ketelrookgas CO ₂	12
3.4 Vergroting van het afzetpotentieel door toevoeging van een warmtepomp	12
3.5 Een geothermie-bron in combinatie met een gesloten kas	14
4 Enkele economische bespiegelingen	15
4.1 Een bron van 100 m ³ /uur voor 10 ha komkommerteelt	15
4.2 Een bron van 100 m ³ /uur voor 20 ha komkommerteelt	16
4.3 Effect van de bedrijfsgrootte	17
4.4 Effect van de gasprijs en investeringssubsidies	17
5 Algemene bespiegelingen	19
6 Conclusies	21
Bijlage I. Teeltbeschrijving komkommer	2 pp.
Bijlage II. Locaties met aardwarmte	1 p.

Samenvatting

Aardwarmte (geothermie) wordt gezien als een belangrijke kandidaat voor een bijdrage in de verduurzaming van de energievoorziening in Nederland. In de WesterGo-zone, een innovatie-gerichte regio in noord Friesland, is er dan ook veel belangstelling voor een inventarisatie naar de mogelijkheden van Geothermie voor die regio. De diepe bodemcondities lijken geschikt en er is in de regio veel ervaring met het aanleggen van diepe boorputten in verband met de zoutwinning.

De daadwerkelijke aanleg van een geothermie-bron blijft echter een investering met een ongunstig risicoprofiel omdat pas nadat de eerste boring volledig is uitgevoerd zekerheid bestaat over het debiet en de temperatuur waarmee water naar boven kan worden gehaald. Op dat moment zijn al ongeveer de helft van de totale kosten van een geothermie-bron gemaakt.

De voorliggende studie gaat evenwel niet in op dit kosten- en risico aspect, maar is geheel gewijd aan het afzetpotentieel van een bron met een zekere temperatuur en debiet in de glastuinbouw-context.

In hoofdstuk 2 wordt uiteengezet hoe de aanleg van de bron, de scheidingswisselaar en het verwarmingssysteem van de kas ingrijpen op het verwarmingsvermogen dat aan een geothermische bron kan worden betrokken. Dit kan met een paar eenvoudige formules. Ook worden er een aantal aandachtspunten gegeven die betrekking hebben op de rol van laag-temperatuur verwarmingssystemen.

De mate waarin een geothermie-bron door de tuinbouw kan worden benut hangt natuurlijk behalve van zijn capaciteit ook af van het vraagprofiel. Daartoe is in hoofdstuk 3 met behulp van een simulatiemodel een warmtevraag-patroon voor een gangbare komkommerteelt opgesteld. Deze teelt wordt bij wijze van case-studie in beschouwing genomen.

Bij de invulling van het warmtevraagprofiel van een komkommerteelt blijkt de geothermiebron evenwel een tweetal concurrenten tegen te komen die eveneens 'gratis' warmte in de aanbieding hebben. Dit zijn de warmte die vrijkomt bij de productie van CO₂ met ketel en/of WK-rookgassen en de warmte die vrijkomt bij de inzet van WK voor eigen elektriciteitsverbruik of verkoop van elektriciteit aan het openbare net.

De impact van deze 'concurrenten' wordt getoond in twee grafieken die aangeven hoeveel warmte, uitgedrukt in m³ aardgas equivalenten, vanuit de geothermiebron betrokken kan worden als functie van het geothermisch vermogen per m². Deze grafieken vormen in feite het hart van waaruit de potentieel-berekeningen kunnen worden gemaakt. Het blijkt dat wanneer er WK-units van 400 kW_{elektrisch} per ha of meer worden gebruikt, de potentiële rol van een geothermische warmtebron ongeveer wordt gehalveerd ten opzicht van de situatie waarbij een kleine WK-unit (100 kW_e per ha) wordt gebruikt.

Wanneer de kas geen rookgassen voor CO₂-dosering gebruikt, maar nog wel gebruik maakt van WK om tijdens de plateau-uren waardevolle elektriciteit te verkopen) neemt het geothermie-potentieel met zo'n 5 m³ aardgas equivalenten per m² kas per jaar toe.

Een 'gemiddelde' geothermiesituatie, waarbij een bron van 75 °C met een debiet van 100 m³ per uur voor een bedrijfsoppervlak van 10 ha is verondersteld, laat zien dat zo'n systeem 23 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar in de kas kan afzetten. Dit geldt voor het geval dat het complex van 10 ha een 2 MW_e WK-installatie exploiteert en dat 30% van het bedrijf voorzien is van een lage temperatuur verwarmingssysteem.

Wanneer er geen lage temperatuur verwarmingsinstallatie wordt gebruikt, maar uitsluitend het standaard verwarmingssysteem (10 51 mm buizen per 8 meter tralie) daalt de hoeveelheid warmte die geleverd kan worden naar 17 m³ aardgas equivalenten per m² kas per jaar.

Er is ook gerekend aan het effect van de toevoeging van een warmtepomp die de 'gratis' geothermische warmte nog verder kan terugkoelen. Er is verondersteld dat deze warmtepomp het water dat uit de geothermie-bron komt op de momenten waarop veel vraag naar warmte is uitkoelt naar 13 °C in plaats van de 28 °C die met het gewone laag temperatuur verwarmingssysteem al mogelijk was.

Aan de hand van een gedetailleerde beschreven rekenalgoritme kan worden geconcludeerd dat de toename van de hoeveelheid warmte die door de geothermie-bron + warmtepomp kan worden geleverd slechts 3 m³ aardgas per m² per jaar bedraagt, waarvan een deel afkomstig is van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.

Het feit dat er dure elektriciteit nodig is en duidelijke meer-investeringen gemaakt moeten worden, afgezet tegen de geringe toename van het gebruik van de geothermiebron, maakt de toepassing van een warmtepomp om de uitkoeling van de geothermiebron te vergroten vanuit economisch oogpunt niet gauw interessant.

In de vorige alinea werd gesproken over het gebruik van een warmtepomp. Deze machine vormt ook een belangrijke component in de momenteel sterk in de belangstelling staande (semi-) gesloten kassen, zodat de indruk zou kunnen ontstaan dat gesloten kassen en geothermie elkaar zouden kunnen ondersteunen.

Het blijkt echter dat de benutting van de zomerse warmte-overschotten één van de achilleshielen van het gesloten kas concept vormt en dat de benutting van deze warmte concurreert met de benutting van de warmte uit een geothermie-bron. De conclusie is dus dat deze twee vormen van duurzame energie elkaar feitelijk uitsluiten.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de economische waarde van verschillende uitvoeringsvormen. Hierbij is gekeken naar een situatie waarbij een bron met een capaciteit van 100 m³ water van 75 °C per uur op een komkommerteelt van 10 en van 20 ha wordt ingezet. Behalve door de geothermie-bron wordt de warmtevraag ingevuld met een WKK van 200 kW_e per ha. De CO₂ dosering vindt plaats met rookgassen.

De conclusie luidt dat wanneer een commodity gasprijs van 20 cent wordt verondersteld, de waarde die aan een geothermie-moet worden toegekend k€ 548 per jaar is wanneer de bron op 20 ha wordt ingezet en k€ 448 wanneer deze op 10 ha wordt toegepast. Wanneer wordt aangenomen dat de extra jaarkosten voor leidingen minder dan k€ 100 bedragen (wat alleszins aannemelijk is gezien het feit dat er ook nu situaties bekend zijn waar soortgelijke oppervlakken vanuit 1 ketelhuis worden bediend) is de inzet van de geothermiebron op 20 ha te verkiezen boven het gebruik van een kleiner areaal. Een verdere vergroting van het areaal waarop de bron wordt aangesloten geeft nauwelijks nog een verdere verbetering van het perspectief te zien.

De netto waarde van de warmte van de geothermie-bron, dus wanneer de bijkomende kosten (vooral elektra) er van af worden getrokken komt voor een komkommerbedrijf van 20 ha op bijna 510.000 euro per jaar.

Uiteraard hangt de waarde van de geothermische warmte vrijwel lineair af van de gasprijs die als referentie wordt genomen. Stijgt deze met een factor 1.5, dan stijgt de waarde van de geothermiebron ook met een factor 1.5.

Om de bovengenoemde waarde aan de geothermie-bron toe te kennen moet een deel van het bedrijf (ongeveer 3 ha) met laag temperatuur verwarmingssystemen uitgevoerd worden. Als dit niet wordt gedaan, en gebruik wordt gemaakt van een standaard verwarmingssysteem, dan kan er minder warmte uit de geothermie-bron worden betrokken en daalt de waarde naar k€ 360 als er 20 ha vanuit de bron wordt bediend en naar k€ 340 als de bron voor een komkommerbedrijf van 10 ha wordt gebruikt. Deze terugval in waarde van de geothermische bron is zodanig dat het gebruik van een laag-temperatuurverwarmingssysteem bedrijfseconomisch zeker interessant is.

Het vergroten van de capaciteit van de geothermie-bron door het water actief (met een warmtepomp) verder uit te koelen vereist vanuit economisch oogpunt dat de elektriciteitsprijs per kWh tenminste minder dan zo'n 40% van de gasprijs per m³ bedraagt om op variabele kosten te kunnen concurreren (dus als de gasprijs bijvoorbeeld 20 cent bedraagt moet de stroomprijs lager zijn dan 8 cent per kWh).

Om de warmtepomp te kunnen gebruiken moet de fractie van het cluster dat dan met een laag-temperatuur verwarmingssysteem wordt verwarmd evenwel fors toenemen (zo'n 3 ha extra) zodat het gebruik van de warmtepomp, nog los van de warmtepomp zelf, tot duidelijke extra kapitaalkosten leidt. Gevoegd bij het feit dat de toevoeging van de warmtepomp tot slechts een beperkte toename van de warmtelevering uit de geothermiebron leidt (ordegrootte 3 m³ aardgas equivalenten per m²) maakt dat het economisch perspectief van deze uitbreiding altijd op het randje van economische attractiviteit zal liggen.

1 Inleiding

Aardwarmte (geothermie) wordt gezien als een belangrijke kandidaat voor een bijdrage in de verduurzaming van de energievoorziening in Nederland. Dit wordt beschreven in “Duurzame Energie Glastuinbouw 2002-2020, Beleidsvisie Energietransitie” van het Productschap Tuinbouw en LTO Nederland (PT en LTO). Ook in het onderzoeksprogramma “Kas als Energiebron”, de overkoepelende titel van het energie-onderzoek van PT en LNV, vormt geothermie een speerpunt.

De provincie Friesland heeft een geschikte geologische structuur (zie bijlage) en beschikt over ruime ervaring in het aanleggen van diepe boorputten, vanwege de jarenlange zoutwinning uit ondergrondse steenzout formaties.

Het is dan ook voor de hand liggend dat bij de ideeënvorming en ontwikkeling van een duurzaam Waddenkas-concept in de WesterGo-Zone de benutting van geothermie ruime aandacht krijgt.

Het voorliggende rapport is gefinancierd door PT en LNV, de WesterGo-Zone en de provincie Friesland.

De technologie voor de benutting van aardwarmte is niet gecompliceerd, maar door de het feit dat er zeer diepe boorgaten gemaakt moeten worden is de aanleg van een geothermie-bron wel kostbaar. Ook is het risicoprofiel voor de aanleg van een geothermie-bron ongunstig. Pas als de uiteindelijke diepte na weken lang boren is bereikt kan worden vastgesteld of er water met het beoogde debiet en met de verwachte temperatuur kan worden opgepompt. Op dat moment zijn al ruim de helft van de uiteindelijke investeringskosten gemaakt.

De voorliggende studie gaat evenwel niet in op dit kosten- en risico aspect, maar belicht voornamelijk de gebruikszijde van de geothermie-bron. De economische waarde van de bron hangt namelijk vooral af van de hoeveelheid aardgas die het tuinbouwbedrijf door toepassing van aardwarmte kan besparen (en uiteraard van de kosten van dat aardgas).

De hoeveelheid gas die het bedrijf kan besparen hangt natuurlijk in eerste instantie af van de warmtevraag-karakteristiek (is het een vlak vraagpatroon of is de warmtevraag geconcentreerd in slechts een paar maanden) en het beschikbare verwarmingsvermogen dat aan de geothermie-bron kan worden ontleend. Hoofdstuk 2 gaat in op de karakteristieken van de geothermie-bron die het verwarmingsvermogen bepalen.

Voor de bepaling van het vraagpatroon dat door de geothermie-bron kan worden ingevuld speelt voor de tuinbouw evenwel nog een specifiek punt (in vergelijking met bijvoorbeeld woningbouw) en dat is dat het gasverbruik van een bedrijf niet alleen bestemd is voor warmteproductie, maar ook voor elektriciteits- en CO₂-productie. Deze beide functies kunnen niet door de aardwarmtebron worden overgenomen. Daarom wordt in hoofdstuk 3 uitgebreid stilgestaan bij de impact die deze zaken hebben op het toepassingspotentieel van geothermie in de tuinbouw. Hierbij wordt het vraagpatroon van de komkommerteelt als uitgangspunt genomen omdat de belangrijkste initiatiefnemer inzake Geothermie in de WesterGo-Zone (Hartman) de komkommer een representatief gewas voor de glasgroente-teelt in de regio acht.

In hoofdstuk 3 wordt eveneens ingegaan op de conflicterende situatie die ontstaat wanneer een geothermie-bron wordt gecombineerd met een (semi-) gesloten kassysteem.

In hoofdstuk 4 worden enkele ontwerpvarianten tegen een economische achtergrond gehouden. Hieruit komt een duidelijke richting voor de wijze waarop geothermische warmte zou kunnen worden toegepast.

In hoofdstuk 5 worden de overall conclusies uit dit onderzoek gepresenteerd.

2 Eigenschappen van een geothermie bron

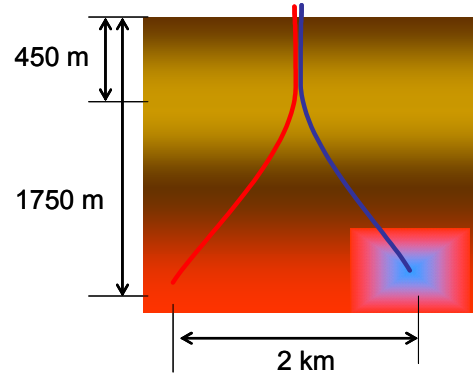
Bij een geothermie-bron onder Nederlandse omstandigheden moet gedacht worden aan het aanbrengen van een zuigput en een infiltratieput op een diepte van honderden meters onder het maaiveld. Hiernaast ziet u een schets van de wijze waarop op dit moment een bronnenpaar bij Rik van de Bosch in Bleiswijk wordt geboord.

In het eerste stuk van de boring lopen de zuig- en infiltratiebuis vlak langs elkaar door hetzelfde boorgat.

Vanaf een diepte van ongeveer 450 meter wordt de boorricting zodanig veranderd dat de ene buis schuin de ene kant wegloopt en de andere buis de andere kant op gaat.

Hierdoor kunnen de ondergrondse punten ver uit elkaar komen te liggen, terwijl vanuit één boorlocatie kan worden gewerkt.

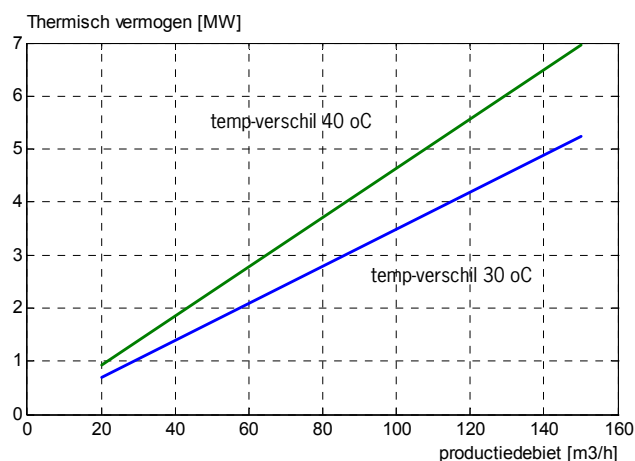
Op grote diepte loopt de temperatuur op met ongeveer 3 °C per 100 meter. Omdat echter de boorkosten sterk toenemen met de diepte zal van geval tot geval moeten worden bekeken tot welke diepte geboord wordt. Als de toename van de boorkosten niet meer opweegt tegen de waarde van het vermogen dat aan de bron onttrokken kan worden is de optimale boordiepte bereikt.



In bovenstaande tekst wordt een sterke relatie gelegd tussen de temperatuur en het vermogen. Dit is dan ook een kenmerkende eigenschap van een geothermie-bron. Energetisch vermogen is namelijk het product van een flow en een potentiaalverschil en vertaald naar thermisch vermogen in een verwarmingssysteem betekent dit.

$$\text{Thermisch vermogen} = \text{Waterdebiet} \times \text{temperatuurverschil} \times 4.18 \quad [\text{MW}]$$

Wanneer dit principe wordt toegepast op een geothermiebron die warm water met een temperatuur van 75 °C levert kan worden uitgerekend dat deze in bron bij een waterdebiet van bijvoorbeeld 100 m³ per uur 3.5 MW thermisch vermogen levert indien het water tot 45 °C wordt afgekoeld. Als er heter water uit de bron komt, het water kouder kan worden teruggepompt of met een groter debiet kan worden verpompt neemt het vermogen evenredig toe. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande grafiek.



Figuur 2.1. Thermisch vermogen van een geothermiebron als functie van het productiedebiet en het temperatuurverschil tussen aanvoertemperatuur vanuit de bron en retourtemperatuur.

Moderne verwarmingssystemen in de tuinbouw, waarbij parallel met de regeling van de aanvoertemperatuur van de verwarmingsbuizen ook het circulatiedebiet wordt geregeld op een bepaalde retourtemperatuur, realiseren bij een vermogensvraag van enige betekenis een retourtemperatuur van rond de 40 °C. Op uren met een lage vermogensbehoefte, met name wanneer gebruik wordt gemaakt van betonvloerverwarming, zijn lagere temperaturen realiseerbaar, maar juist omdat op deze uren de vermogensbehoefte klein is geeft deze systeemeigenschap nauwelijks een bijdrage in mogelijkheden om de hoeveelheid energie die uit een geothermiebron met een bepaalde productiecapaciteit kan worden onttrokken te vergroten.

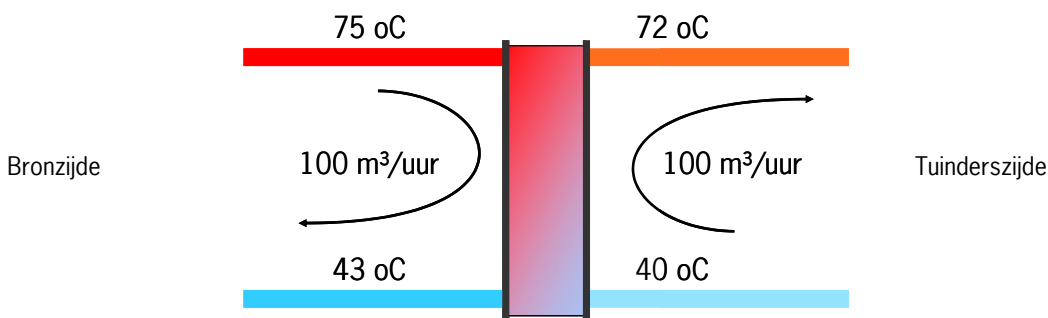
Omdat uit het bovenstaande blijkt dat naast de temperatuur het debiet een net zo grote rol speelt, zal bij het uitvoeren van een boring ook de structuur van de bodem op grote diepte van belang zijn. Vanuit een compacte, rotsachtige structuur zal moeilijker water kunnen worden onttrokken dan vanuit een zanderige structuur.

Met name omdat er veel onzekerheid bestaat over de structurele eigenschappen van deze diepe bodemlagen is er altijd een duidelijke kans op het mislukken van de aanleg van een geothermie-bron.

Het plaatje op de vorig bladzijde illustreert dat de koude zijde van het bronnenpaar het afgekoelde water injecteert op grote afstand van het warme aanzuigpunt. Vanwege deze grote afstand, en het enorme bodemvolume waarin dit water wordt verspreid kan een geothermie-bron tientallen jaren blijven functioneren zonder dat de temperatuur van de warme put gaat dalen. Daar komt nog bij dat een deel van de warmte op die diepten het gevolg is van warmteproductie in de aardkorst, zodat het afgekoelde water ook in enige mate actief wordt opgewarmd (en niet alleen opwarmt door menging met de omgevingstemperatuur).

Naast de temperatuur en het debiet waarmee water naar boven kan worden gehaald is nog een derde aspect onlosmakelijk met een geothermie-bron verbonden, namelijk de scheidingswisselaar waarmee het aquiferwater wordt gescheiden van het water dat in het verwarmingssysteem circuleert.

In deze scheidingswisselaar moet warmte door een scheidende metalen plaat worden overgedragen waardoor er een temperatuurverschil nodig is om een bepaald vermogen over te dragen. Het water aan tuinderszijde zal dus altijd wat kouder zijn dan aanvoerwater vanuit de geothermie-bron en het water dat terug stroomt naar de infiltratiebron zal altijd wat warmer zijn dan het retourwater uit het tuinbouwbedrijf. Onderstaande figuur illustreert dit.

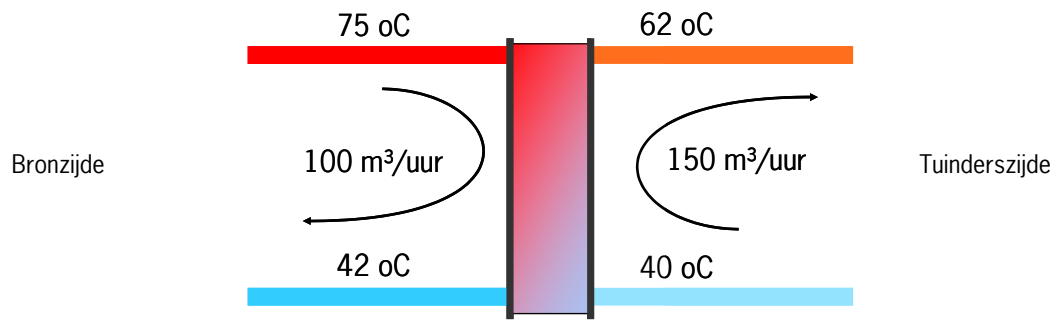


Figuur 2.2. Warmte-overdracht en temperatuurverliezen bij een scheidingswisselaar

Omdat in Figuur 2.2 de waterdebieten aan beide zijden gelijk zijn is het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour eveneens gelijk (32 °C). Ook de temperatuurverliezen aan de warme en aan de koude zijde zijn gelijk (in dit voorbeeld 3 °C). In de afgebeelde situatie wordt een vermogen van 3.7 MW overgedragen.

De kwaliteit van de warmtewisselaar kan worden afgemeten aan de verhouding tussen overgedragen vermogen en temperatuurverlies. Dit noemt men de kA-waarde en die is in bovenstaande geval 1230 kW/K.

Overigens kan bij een gegeven kA-waarde, brontemperatuur en retourwatertemperatuur het vermogen dat over de wisselaar wordt uitgewisseld (en dus uit de bron betrokken) nog iets worden opgevoerd door het debiet aan tuinderszijde te verhogen. Dit wordt getoond in Figuur 2.3.

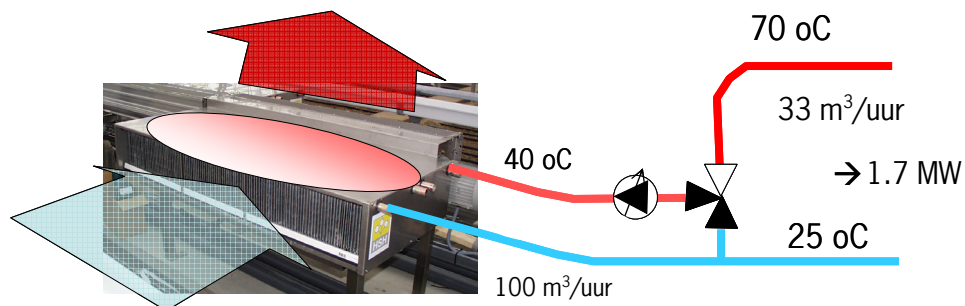


Figuur 2.3. Verbetering van de uitkoeling van de geothermische bron door het opvoeren van het debiet aan tuinderszijde (vergelijk met Figuur 2.2).

Doordat het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van de geothermiebron wordt vergroot (33 °C in plaats van 32 °C) neemt het vermogen dat uit de geothermiebron kan worden betrokken met 3 % toe (naar 3.8 MW). De voorwaarde voor deze verbetering van de warmte-overdracht is evenwel dat het verwarmingssysteem aan tuinderszijde dit vermogen bij deze lagere temperatuur (62 in plaats van 72 °C) kan afgeven. Dit zal afhankelijk zijn van het VO (verwarmend oppervlak) van dat verwarmingssysteem.

In de praktijk zal er dus altijd een afweging moeten worden gemaakt of het goedkoper is om middels een vergroot VO (of een verwarmingssysteem op basis van luchtbehandelingskasten) het thermisch vermogen van een aardwarmtebron te verhogen of om een groter geothermie debiet aan te boren en gebruik te maken van een standaard verwarmingssysteem.

In dit kader is wellicht het onderstaande plaatje nog verhelderend.



Figuur 2.4. Lage temperatuurverwarming met luchtbehandelingssystemen

In Figuur 2.4 is getoond dat bij gebruik van een luchtbehandelingssysteem tot een zeer grote uitkoeling kan worden gekomen. Hierdoor zou het vermogen van een geothermiebron die 100 m³ water per uur op 75 °C levert kunnen oplopen tot zo'n 5.5 MW (dus ongeveer 50% meer dan in de uitgangssituatie van Figuur 2.2).

Overigens hoeft bij gebruik van dergelijke luchtbehandelingskasten als verwarmingseenheden niet het volledige kasoppervlak als zodanig te worden uitgevoerd. Het is in Figuur 2.4 al zichtbaar dat de units 100 m³ water van 40 °C per uur gebruiken. Deze hoeveelheid kan worden betrokken uit het retourwater van het standaard verwarmingssysteem dat in Figuur 2.2 voor de uitkoeling van het water zorgde. De fractie van het kasoppervlak dat met dergelijke units zou moeten worden uitgerust volgt uit de berekening $1.7/5.5 = 30\%$.

3 Warmtevraagkarakteristieken van een komkommerteelt

Inleiding

De komkommer kan worden gekarakteriseerd als een zwaargestookte groenteteelt. Het gewas groeit goed onder warme en vochtige omstandigheden. Daarbij is de kas vrijwel jaarrond in gebruik. Alleen in de periode van half november tot begin december staan kassen leeg. In bijlage I is een meer uitgebreide beschrijving van de gangbare komkommerteelt gegeven.

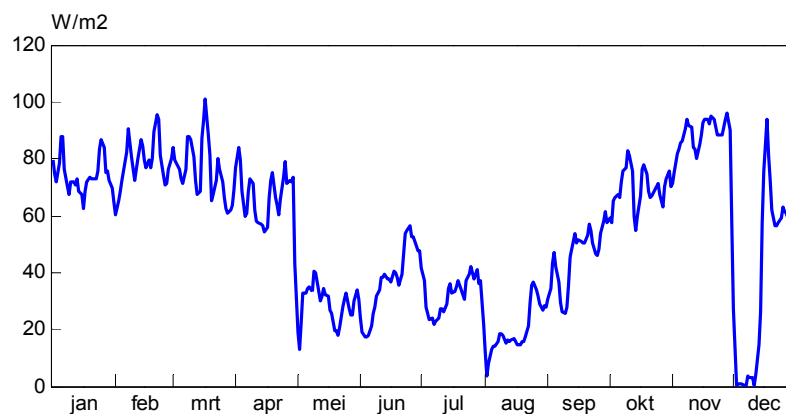
Deze teelteigenschappen resulteren in een aanzienlijke warmtevraag over een grote periode van het jaar. Het jaarlijks gasverbruik ligt gemiddeld op ruim $45 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jr})$.

Uit de teeltbeschrijving kan evenwel ook worden afgeleid dat de komkommerteelt een grote CO_2 -vraag heeft. In het vorige hoofdstuk is reeds aangegeven dat één van de belangrijke kenmerken van geothermie is dat er geen CO_2 bij de warmteproductie vrijkomt. Omdat de regio Noord-Friesland op dit moment niet over een CO_2 -doseringsinfrastructuur beschikt zullen tuinbouwbedrijven in principe hun eigen CO_2 te produceren. Veelal zal hiervoor een WK-installatie worden gebruikt.

Over het algemeen zal een vergroting van de WK-installatie middels een toename van de beschikbaarheid aan CO_2 tot een vergroting van de gewasproductie leiden en vertegenwoordigt de te verkopen elektriciteit een grote waarde. Aan de andere kant is capaciteit van het elektriciteitsnet in de regio Noord Friesland beperkt. Bovendien zal bij gebruik van grote WK-units (meer dan 500 kW/ha) vaak de hoeveelheid afvalwarmte zó groot zijn dat bij onverminderde productie van elektriciteit en CO_2 grote warmteoverschotten ontstaan die vernietigd moeten worden. Grote machines moeten daarom frequenter in deellast draaien waardoor ze relatief duurder worden. Daarom ligt het geïnstalleerd WK-vermogen van het gros van de onbelichte glasgroentebedrijven die elektriciteit aan het openbare net leveren rond de 400 tot $500 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}$ per hectare. Hartman verwacht evenwel dat grootschalige elektriciteitslevering in de nabije toekomst niet tot de kernactiviteiten van het bedrijf zal gaan behoren, waardoor in zijn bedrijfsfilosofie een aanzienlijk kleiner WK-vermogen zal worden gebruikt (rond de $200 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}$ per hectare). Teneinde echter een compleet beeld te geven wordt in paragraaf 3.2 de ruimte voor geothermie voor verschillende WK-capaciteiten getoond. Deze relaties worden ook getoond voor het geval er alternatieven voor de CO_2 uit WK en ketel beschikbaar zouden zijn.

3.1 Warmtevraag van een komkommerteelt

In onderstaande figuur ziet u het jaarverloop van de warmtevraag van een komkommerteelt zoals die in Bijlage I wordt beschreven voor een gemiddeld Nederlands jaar.

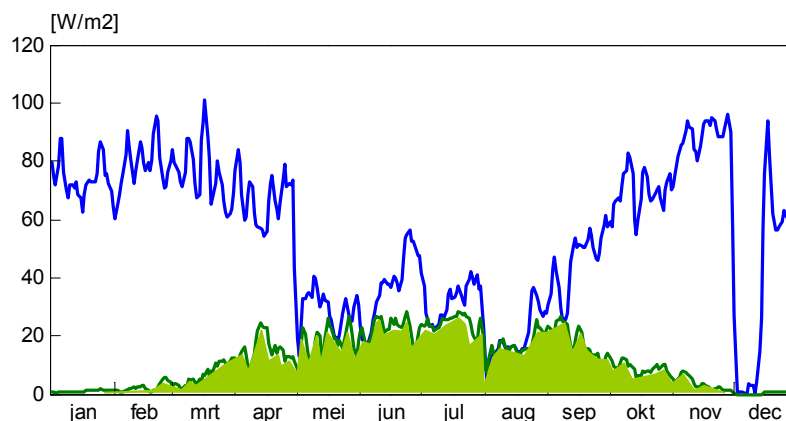


Figuur 3.1. Daggemiddelde warmtevraag van een komkommerteelt in een gemiddeld Nederlands jaar.

In de figuur zijn de discontinuïteiten door de aanplant van nieuwe gewassen duidelijk zichtbaar. Begin december staat de kas 2 weken leeg en wordt de kas allen maar vorstvrij gehouden.

De warmtevraag is ook in de zomer nog aanzienlijk (ongeveer 30% van de winterse warmtevraag) in verband met de minimumbuis-instellingen en het feit dat de isolatiegraad van de kas in de zomer lager is. Het scherm wordt dan immers niet meer gesloten.

Een belangrijk deel van de warmtevraag wordt ingevuld door de warmte die vrijkomt bij de CO₂-dosering. In onderstaande figuur is deze hoeveelheid als een oppervlak onder de lijn van de warmtevraag getekend.



Figuur 3.2. Invulling van de warmtevraag met afvalwarmte uit de CO₂-dosering.

Naast afvalwarmte uit de CO₂-dosering is er bij een kas ook afvalwarmte uit de elektriciteitsproductie vanuit de WK-installatie. Deze hoeveelheid is sterk afhankelijk van de capaciteit van de WK-unit en de wijze waarop deze wordt ingezet. Indien de WK-unit zoveel mogelijk draaiuren maakt (dus helemaal warmte- en CO₂-vraag gestuurd dan toont de onderstaande tabel bij een aantal WK-vermogens de hoeveelheid warmte die de kas op jaarbasis naast de afvalwarmte vanuit de CO₂- en elektriciteitsproductie nog nodig heeft.

Tabel 3.1. Maximale hoeveelheid aardgasequivalenten die de kas kan gebruiken bij verschillende WK-capaciteiten nadat de afvalwarmte vanuit de CO₂-dosering en elektriciteitslevering is ingezet.

Vermogen WKK	Maximaal warmteafzetpotentieel
100 kW _e /ha	34.6 m ³ a.e.
200 kW _e /ha	27.2 m ³ a.e.
300 kW _e /ha	19.4 m ³ a.e.
400 kW _e /ha	14.6 m ³ a.e.
500 kW _e /ha	14.6 m ³ a.e.
600 kW _e /ha	13.1 m ³ a.e.

De tabel laat een duidelijke afname van het afzetpotentieel zien.

Het afzetpotentieel kan nog iets worden vergroot wanneer de WK-installatie 's in de dal-uren en/of de uren waarop er weinig CO₂ gevraagd wordt stil wordt gezet. Dit zal een optie zijn wanneer de nachtprijzen voor elektriciteit zo laag zijn dat zelfs de variabele kosten niet opwegen tegen de elektriciteitsopbrengst. Deze situatie wordt evenwel niet verder uitgewerkt.

Naast het feit dat de warmtevraag de uiteindelijk beperkende factor is voor het afzetpotentieel, is ook het vermogen van de geothermie-bron een beperkende factor. Dit wordt uitgewerkt in de volgende paragraaf.

3.2 Afzetpotentieel van geothermische warmte

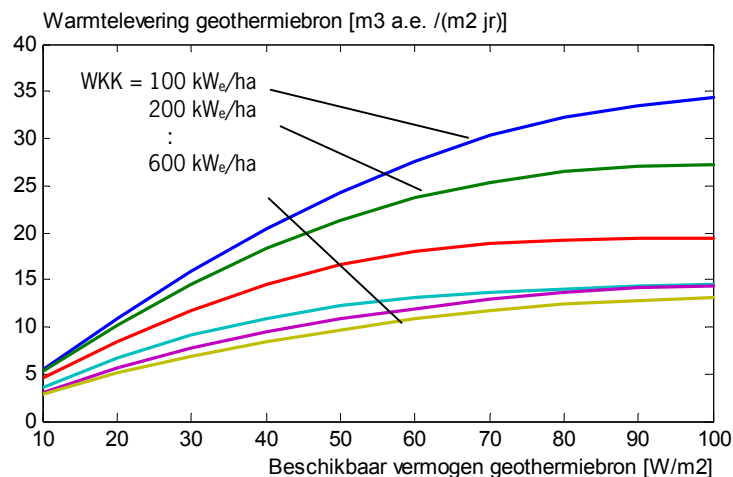
Wanneer een geothermische bron water van 75 °C met een debiet van 100 m³ per uur levert kan een kas daaruit een maximaal vermogen van 3.8 MW betrekken indien het retourwater op 40 °C uit de kas terug komt (zie Figuur 2.3). Met luchtbehandelingskasten als verwarmingsunits kan dit zelfs 5.5 MW worden (zie Figuur 2.4).

Als deze geothermie-bron wordt opgenomen in het ketelhuis van een 10 hectare afmetende komkommerkas betekent dit dat het geothermie-vermogen respectievelijk 38 of 55 W/m² bedraagt.

Op momenten dat de kas, na aftrek van de afvalwarmte-productie van WK en ketel voor CO₂, een warmtevraag heeft die kleiner is dan dit vermogen zal de geothermie-bron deze warmtevraag volledig kunnen invullen. Is de warmtevraag groter, dan zal de ketel extra verwarmingsvermogen moeten leveren.

Uiteraard neemt de totale warmte-afzet van de geothermie-bron toe met het beschikbare vermogen en zal de warmte-afzet kleiner zijn als er door het gebruik van een grotere WK-installatie meer afvalwarmte op het bedrijf om gaat.

De onderstaande grafiek toont deze verbanden voor de komkommerteelt.



Figuur 3.3. Warmteleveringspotentieel van een geothermiebron aan een komkommerkas in een gemiddeld Nederlands jaar als functie van het vermogen van de geothermiebron in afhankelijkheid van het WK-vermogen op het bedrijf. De CO₂-voorziening van de kas wordt middels rookgassen uit ketel en WK-installatie gerealiseerd. De WK wordt geregeld op warmtevraag en maakt dus zoveel mogelijk draaiuren. Er is in de berekeningen rekening gehouden met de mogelijkheid om geothermie-warmte over een periode van 4 uur te bufferen.

Figuur 3.3 laat zien dat in het bovenbeschreven geval, waar de geothermie-bron, omgerekend naar een vermogen per oppervlakte-eenheid, 38 W/m² kan leveren, de jaarlijkse warmte-afzet in geval er een kleine WK-eenheid van 200 kW_e per hectare wordt gebruikt 18 m³ a.e. per m² per jaar zal bedragen.

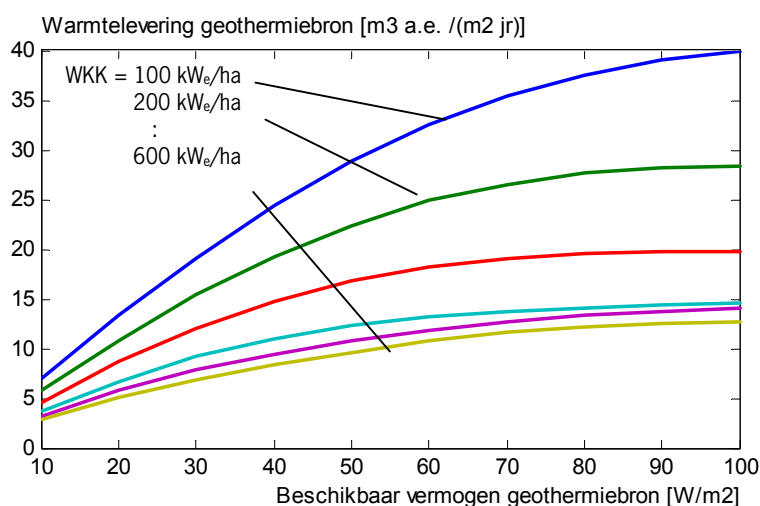
Bij een kleinere WK-unit zal de warmte-afzet iets toenemen, maar bij grotere units (vooral bij 300 of 400 kW_e per ha) neemt het afzet potentieel flink af.

Door combinatie van de informatie uit hoofdstuk 2, waar het vermogen dat uit een bron kan worden betrokken kan worden bepaald in afhankelijkheid van de hardware-eigenschappen van de bron en het verwarmingssysteem, en de informatie in Figuur 3.3 kan van allerlei varianten het afzetpotentieel worden bepaald.

Wanneer de waarde van de warmte die kan worden afgezet groter is dan de jaarkosten die met de geothermie-bron samenhangen is de aanleg van een geothermie-bron een aantrekkelijke optie. Immers, nadat de bron in bedrijf is genomen wordt een (belangrijk) deel van de warmtevraag van het bedrijf onafhankelijk van de energie-kosten. Het gebruik van een WK-installatie heeft ook al een dempende werking op de rol van de gasprijs op het bedrijfsrendement (omdat de gasprijs in behoorlijke mate gecorreleerd is met de waarde van elektriciteit), zodat alleen het verbruik van de ketel tijdens perioden met een grote warmtevraag en ter aanvulling van de CO₂ uit de ketelrookgassen nog een sterke relatie met de gasprijs heeft.

3.3 Effect van alternatieven voor ketelrookgas CO₂

Uit Figuur 3.2 bleek dat een belangrijk deel van de warmtevraag van de kas wordt ingevuld door afvalwarmte uit de CO₂-dosering. Indien deze CO₂ vanuit een andere bron dan de ketel of de WK zou kunnen worden betrokken neemt de hoeveelheid warmte die uit de geothermie-bron kan worden ingezet toe. De afvalwarmte van de WK in verband met de elektriciteit blijft echter nog altijd wél een rol spelen. Figuur 3.4. laat zien hoeveel warmte vanuit de Geothermiebron kan worden betrokken indien CO₂-dosering geen rol zou spelen.



Figuur 3.4. Warmteleveringspotentieel van een geothermiebron aan een komkommerkas indien de CO₂-voorziening van de kas niet uit rookgassen zou plaatsvinden. De kas staat bloot aan een gemiddeld Nederlands jaar. Net als bij Figuur 3.3. wordt de WK geregeld op warmtevraag en maakt dus zoveel mogelijk draaiuren. Er is in de berekeningen rekening gehouden met de mogelijkheid om geothermie-warmte over een periode van 4 uur te bufferen.

Voor de curves die horen bij kleine WK-vermogens blijken bij de beschikbaarheid van alternatieve CO₂-bronnen naar behoorlijk hogere eindpunten te lopen. Zo neemt het afzetpotentieel van een 40 W/m² geothermiebron op een komkommerbedrijf met 100 kW_e WK-vermogen toe van 21 naar 24 m³ aardgas equivalenten. Bij grote WK-vermogens of bij kleine geothermie-vermogens speelt de beschikbaarheid van alternatieve CO₂ echter slechts een kleine rol.

3.4 Vergroting van het afzetpotentieel door toevoeging van een warmtepomp

Behalve door vergroting van het VO, zoals uiteengezet in hoofdstuk 2, zou de afkoeling van het water uit de geothermiebron ook vergroot kunnen worden door toevoeging van een warmtepomp.

De impact hiervan kan eveneens vrij gemakkelijk worden doorgerekend. Immers, het vermogen van de geothermie-bron loopt lineair toe met het temperatuurverschil dus als de warmtepomp het retourwater in plaats van 25 °C (zoals in Figuur 2.4) op 10 °C weet te brengen kan het water met ongeveer 13 °C in de infiltratieput worden teruggevoerd. Het vermogen dat dan aan de aquifer wordt onttrokken volgt dan uit de formule van pagina 4 en blijkt te groeien naar 7.2 MW. Om deze extra 1.7 MW te onttrekken gebruikt de warmtepomp echter wel zo'n 500 kW elektrisch vermogen zodat het totaal geleverde vermogen van het geo-thermie systeem, inclusief de warmtepomp 7.7 MW wordt. De totale hoeveelheid warmte die het systeem vervolgens kan leveren laat zich weer aflezen uit Figuur 3.3 of 3.4 (afhankelijk van de CO₂-dosering die van toepassing is), maar in de kosten van deze warmte moet dan wel nog worden meegerekend dat ongeveer 20% van de toename van de warmte-afzet die de warmtepomp-optie heeft gerealiseerd (dus niet 20% van de totale warmte-afzet) geen 'gratis' geothermie warmte is, maar relatief dure elektriciteit.

Een rekenvoorbeeld zal dit verduidelijken.

Rekenvoorbeeld voor de berekening van het effect van de toevoëging van een warmtepomp aan een geothermiesysteem

1. Stel het vermogen van de geothermiebron zonder warmtepomp vast.
Als we uitgaan van een bron die 100 m³ per uur levert op 75 °C aan een 10 ha kassencomplex waarvan 30% met luchtbehandelingskasten zoals afgebeeld in Figuur 2.4 is uitgevoerd. Zonder warmtepomp kan het geothermiesysteem dan 55 W/m² leveren (namelijk 5.5 MW gedeeld door 100.000 m²).
2. Kijk hoeveel warmte er bij dat vermogen kan worden afgezet
Als wordt aangenomen dat er een WK-installatie van 200 kW_e/ha (dus 2 MW op het bedrijf van 10 ha) wordt gebruikt en er geen alternatieve CO₂-bronnen voor handen zijn dan blijkt uit Figuur 3.3 dat deze geothermiebron 23 m³ aardgas equivalenten per m² levert.
3. Bereken het nieuwe vermogen van het geothermiesysteem door toevoëging van de warmtepomp.
Indien in het geval zonder warmtepomp de geothermiebron werd afgekoeld van 75 naar 28 °C en de plaatsing van de warmtepomp het water naar 13 °C terugkoelt dan neemt het vermogen dat aan de geothermiebron wordt onttrokken toe met $62/47 = 1.32$. (62 °C is het temperatuurverschil tussen bron en infiltratieput na gebruik van de warmtepomp en 47 °C is het verschil zonder warmtepomp (maar met een verwarmingssysteem voor laagwaardige warmte op 30% van het totale oppervlak).
De toename van het vermogen dat aan de bron wordt onttrokken is dus $0.32 * 5.5 = 1.7$ MW. Door de COP van de warmtepomp (gesteld op 4.5 voor warmte en dus 3.5 voor koude) komt hier nog 500 kW elektrisch vermogen bij zodat de uiteindelijke toename van het vermogen van het geothermie+warmtepomp systeem 2.2 MW bedraagt. Het totaal vermogen wordt daarmee 7.7 MW en dat is 77 W/m². Overigens moet bij gebruik van de warmtepomp een groter deel van het kasoppervlak met een laagtemperatuur verwarmingssysteem worden uitgerust. Immers, de 2.2 MW extra vermogen komt beschikbaar op een temperatuurniveau van ongeveer 40 °C en om dit vermogen te kunnen gebruiken moet zo'n 3 ha extra met een laag temperatuur verwarmingssysteem worden uitgevoerd. Het totale kasoppervlak met een laag temperatuur systeem wordt daarmee bijna 6 ha.
4. Kijk hoeveel warmte er bij dit vergrote vermogen kan worden afgezet.
Bij gelijk WK-vermogen en wijze van CO₂-dosering blijkt dit 26 m³ aardgas equivalenten te zijn.
5. 22% van de toename van de warmte-afzet komt uit elektrisch vermogen (namelijk $1/COP_w = 1/4.5 = 0.22$)
De toename van de warmteafzet bedraagt 3 m³ aardgasequivalenten, wat overeenkomt met 95 MJ, oftewel 26 kWh. 22% hiervan is bijna 6 kWh elektrische energie.
6. Conclusie:
Door toevoëging van een warmtepomp met, in dit voorbeeld, een thermisch vermogen van 2.2 MW, neemt de jaarlijkse hoeveelheid warmte die aan de geothermie-bron kan worden onttrokken met 2.3 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar toe, maar daarvoor neemt het elektriciteitsverbruik wel met 6 kWh per m² per jaar toe.
Het kasoppervlak dat in dit geval moet worden voorzien van een laag-temperatuur verwarmingssysteem neemt toe van 30% naar bijna 60% en de warmtepomp maakt $95 \cdot 10^6 / (22 * 3600) = 1200$ equivalente vollast-uren.

3.5 Een geothermie-bron in combinatie met een gesloten kas

(Semi-) gesloten kassen staan momenteel volop in de belangstelling. Het blijkt dat voortschrijdende engineering-inspanningen hebben geleid tot een dusdanige kostenbesparing dat de zomerse koeling die vanuit teeltkundig perspectief zeer gewenst is, bedrijfseconomisch in beeld begint te komen.

De extra financiële opbrengsten die de hoge investeringen rechtvaardigen staan grofweg voor de helft op het conto van de verbeterde productie(kwaliteit) en voor de andere helft uit besparing op de gaskosten. Immers, een (semi-) gesloten kas wordt voor ongeveer de helft verwarmd middels de warmte die in de zomer vanuit de warme kassen is verzameld. Een groot bijkomend voordeel, en sleutel tot de slagingskans, van het gebruik van deze warmte in de winter is dat hierbij tegelijkertijd koude wordt gemaakt voor de daaropvolgende zomer. Dit gebeurt met een warmtepomp.

De warmtevraag die bij een gesloten kassysteem met de warmtepomp wordt ingevuld is grofweg dezelfde warmtevraag die door een geothermiebron zou kunnen worden ingevuld (namelijk alle warmte die niet reeds door afvalwarmte van de WK of afvalwarmte uit de CO₂-dosering wordt ingevuld).

Dit betekent dat de geothermiebron en de gesloten kas elkaar dus in de weg zitten voor wat betreft de invullen van de warmtevraag en elkaar dus feitelijk uitsluiten.

4 Enkele economische bespiegelingen

Uit de voorgaande hoofdstukken is naar voren gekomen dat de toepasbaarheid van Geothermie niet belemmerd wordt door ingewikkelde technische problemen. Het zijn vooral de economische randvoorwaarden die bepalen of geothermie wel of geen optie is.

In dit hoofdstuk worden enkele economische bespiegelingen gepresenteerd zoals die kunnen worden opgesteld aan de hand van de grafieken die in Figuur 3.3 en 3.4 zijn gepresenteerd. Dit wordt gedaan aan de hand van het voorbeeld dat in het vorige hoofdstuk in kwantitatieve zin is uitgewerkt, maar ook voor het geval dat dezelfde bron zou worden ingezet voor een situatie waarbij dezelfde bron op 20 ha in plaats van 10 ha zou worden geplaatst.

4.1 Een bron van 100 m³/uur voor 10 ha komkommerteelt

Wanneer we ervan uitgaan dat het water dat uit de geothermiebron wordt opgepompt 75 °C is en dat dit kan worden afgekoeld tot 43 °C (Figuur 2.2) hebben we te maken met een bron van 3.7 MW. In dit geval wordt er geen laag temperatuur verwarmingsnet aangelegd.

Indien bij deze situatie wordt uitgegaan van de inzet van een WK-installatie van 200 kW_e per ha en van het gebruik van rookgassen als CO₂-bron kan uit Figuur 3.3 worden afgelezen dat er met deze bron dan 17 m³ a.e. per m² kasoppervlak kan worden afgezet. Bij een commodity gasprijs van 20 cent per m³ levert deze geothermiebron dus een economische waarde van $17 \times 100000 \times 0.20 = \text{€ } 340,000$ euro.

Indien de reële jaarkosten van de geothermie-bron lager zijn dan k€ 340 heeft de investering in de bron een eindige terugverdientijd.

Wanneer bijvoorbeeld de aanleg van de bron 4 miljoen euro kost en de jaarlijkse lasten van de bron (onderhoud, elektriciteitsgebruik) k€ 40,- bedragen dan is de terugverdientijd $4000/300 = 13.3$ jaar.

Indien 30% van het bedrijfsoppervlak wordt uitgerust met een laag-temperatuur verwarmingssystemen, dan stijgt het vermogen dat aan de bron kan worden onttrokken naar 5.5 MW. Wanneer dit wordt ingezet op 10 ha kas kan er 23 m³ a.e. aan warmte worden afgezet. Bij een commodity gasprijs van 20 cent per m³ vertegenwoordigt dit een waarde van k€ 460. De ventilatoren van verwarmingssystemen die de retourtemperatuur op 25 °C kunnen brengen zullen evenwel een duidelijke hoeveelheid elektriciteit gebruiken (geschat op 5 kWh per m² per jaar). Er is dus $5 \times 30000 = 150$ MWh elektriciteit nodig, wat bij een stroomprijs van € 80 per MWh neerkomt op k€ 12 extra stroomkosten per jaar. De netto waarde van de geothermische warmte wordt in dit geval dus k€ 448.

Met de installatie van een laag-temperatuur verwarmingssysteem op 3 ha zal zo'n € 600.000 gemoeid zijn, zodat de totale investering, uitgaande van dezelfde kosten voor de bron van M€ 4, nu op M€ 4.6 uit zal komen. Als ook hier weer de jaarlijkse lasten van de bron op k€ 40,- worden gesteld komt de terugverdientijd evenwel op $4.6/0.408 = 11$ jaar, wat korter is dan in het eerstgenoemde geval.

Het is dus te verwachten dat de toevoeging van een laag temperatuur verwarmingssysteem de moeite waard is.

Tenslotte is nog een berekening gemaakt voor het vermogen dat aan de bron kan worden onttrokken indien er een warmtepomp zou worden gebruikt die het water nog verder terugkoelt (naar 13 °C).

In dat geval bleek dat er 26 m³ aardgas door de geothermie+warmtepomp combinatie te worden geleverd. Dit heeft bij een aardgas-prijs van 20 cent per m³ een jaarlijkse waarde van k€ 520, maar daarvoor moest wel 600 MWh elektriciteit in de warmtepomp worden gestopt. Daarnaast moet in geval van het gebruik van een warmtepomp zo'n 6 hectare van het complex van 10 ha worden uitgerust met laag-temperatuur verwarmingssystemen waardoor het elektriciteitsverbruik voor al deze ventilatoren ongeveer 300 MWh per jaar bedraagt.

Bij een elektriciteitsprijs van € 80,- per MWh is de netto waarde van de warmte die door de geothermie+warmtepomp combinatie wordt geleverd dus $k\text{€ } 520 - k\text{€ } 72 = k\text{€ } 448$.

Deze netto waarde is gelijk aan de netto waarde in de voorgaande case. De elektriciteit zal dus aanzienlijk goedkoper moeten zijn dan de gehanteerde € 80,- per MWh wil de toevoeging van de warmtepomp rendabel kunnen zijn.

4.2 Een bron van 100 m³/uur voor 20 ha komkommerteelt

Indien dezelfde geothermie-bron voor een kasoppervlak van 20 hectare zou worden ingezet dan wordt het vermogen dat per m² beschikbaar is gehalveerd. Het beschikbaar geothermie-vermogen per m² kas is dan 18.5 W/m².

Indien ook bij deze situatie wordt uitgegaan van de inzet van een WK-installatie van 200 kW_e per ha en van het gebruik van rookgassen als CO₂-bron kan uit Figuur 3.3 worden afgelezen dat er met deze bron dan 9 m³ a.e. per m² kasoppervlak kan worden afgezet. Bij een commodity gasprijs van 20 cent per m³ levert deze Geothermie-bron dus een economische waarde van $9 \times 200000 \times 0.20 = \text{€ } 360,000$ euro.

Wanneer dit wordt vergeleken met de waarde van de geothermie-bron in de vorige paragraaf is het duidelijk dat de waarde van de bron voor een complex van 20 ha met k€ 20 is toegenomen ten opzichte van de waarde van de bron op 10 ha. Hierbij moet echter nog wel worden meegenomen dat de kosten voor de verdeling van de warmte over 20 ha wat groter zouden kunnen zijn dan wanneer slechts 10 ha van deze warmte zou moeten worden voorzien. Bij een goed gekozen lay-out van het verwarmingssysteem rond de geothermie bron zullen deze evenwel niet opwegen tegen de k€ 20, die de geothermiebron jaarlijks extra opbrengt zodat geconcludeerd kan worden dat de bron op 20 ha aantrekkelijker is dan op 10 ha. De verkorting van de terugverdientijd is echter vrij beperkt (naar 12.5 jaar in plaats van 13.3 jaar)

Indien een deel van het bedrijfsoppervlak wordt uitgerust met laag-temperatuur verwarmingssystemen, dan stijgt het vermogen dat aan de bron onttrokken naar 5.5 MW. Wanneer dit wordt ingezet op 20 ha kas kan er 14 m³ a.e. per m² kas aan warmte worden afgezet. Bij een commodity gasprijs van 20 cent per m³ vertegenwoordigt dit een waarde van k€ 560. Omdat het oppervlak waarop het laag-temperatuur verwarmingssysteem moet worden geplaatst bepaald wordt door het absolute vermogen van de bron (en niet door het bron-vermogen per m² kascomplex) blijft het oppervlak wat de laag-temperatuur verwarmingssystemen moet worden uitgevoerd net als voor het 10 ha complex op 3 ha. Op deze 3 ha zal, net als in de voorgaande situatie zo'n 5 kWh/(m² jr) nodig zijn voor de aandrijving van de ventilatoren. Het elektriciteitsverbruik van het verwarmingssysteem komt dan dus op $5 \times 30000 = 150$ MWh. Bij een stroomprijs van € 80 per MWh betekent dit weer k€ 12 extra stroomkosten per jaar. De netto waarde van de geothermische warmte wordt in dit geval dus k€ 548.

Wanneer opnieuw wordt uitgegaan van 4.6 M€ investeringskosten voor geothermie-bron en laag temperatuur verwarmingssysteem en ook hier de jaarkosten van de bron op k€ 40 worden gesteld komt de terugverdientijd op $4.6/0.508 = 9$ jaar.

Ook hier geldt dus dat de toepassing van de bron op 20 ha vanuit bedrijfseconomisch oogpunt gunstiger is dan het gebruik van een bron op 10 ha.

Tenslotte is nog een berekening gemaakt voor het vermogen dat aan de bron kan worden onttrokken indien er een warmtepomp zou worden gebruikt die het water nog verder terugkoelt (naar 13 °C). Het vermogen dat aan de bron kan worden onttrokken loopt dan op naar 38 W/m².

Kijkend in Figuur 3.3 blijkt dat er dan 18 m³ aardgas aan warmte equivalenten per m² kas per jaar door de geothermie+warmtepomp combinatie te worden geleverd. Dit heeft bij een aardgas-prijs van 20 cent per m³ een jaarlijkse waarde van k€ 720. Van de toename van de warmte-afgifte (zijnde 4 m³, namelijk van 14 naar 18 m³) komt 22% evenwel uit elektriciteit. 22% van 4 m³ a.e. op een oppervlak van 20 ha is 1500 MWh elektriciteit.

In geval van het gebruik van een warmtepomp moet ongeveer 6 ha van het totale complex met een luchtverwarmingssysteem worden uitgevoerd en dat zal op jaarbasis ongeveer 300 MWh stroom verbruiken.

Bij een elektriciteitsprijs van € 80,- per MWh is de netto waarde van de warmte die door de geothermie+warmtepomp combinatie wordt geleverd dus $k\text{€ } 720 - k\text{€ } 144 = k\text{€ } 576$.

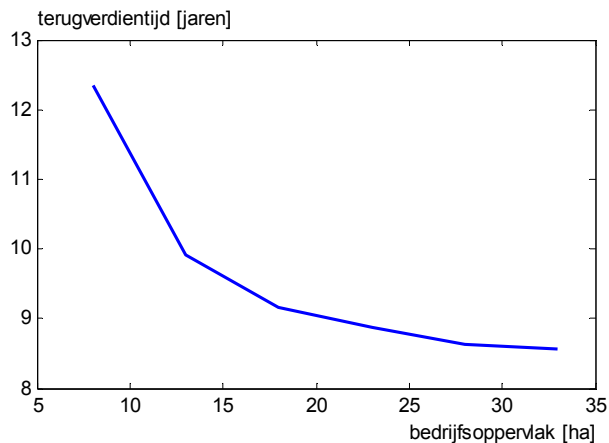
Indien de jaarkosten van een 2.2 MW warmtepomp + 3 ha laag temperatuur verwarmingssysteem lager zijn dan k€ 28,- per jaar zou het gebruik van een warmtepomp op een 20 ha areaal het perspectief verbeteren ten opzichte van de situatie waarin het geo-thermie water tot slechts 28 °C wordt uitgeoeld.

Het is niet ondenkbaar dat deze uitbreiding met lagere jaarkosten gebouwd kan worden dus op grote clusters zou de inzet van de warmtepomp rendabel kunnen zijn. Omdat het allemaal maar net uitkan zal de terugverdientijd evenwel nauwelijks dalen.

4.3 Effect van de bedrijfsgrootte

In de vorige twee paragrafen is het economisch perspectief voor twee cases doorgerekend. Een groter bedrijfsoppervlak gaf daarbij een gunstiger perspectief.

In onderstaande figuur is de terugverdientijd als functie van het bedrijfsoppervlak weergegeven voor het geval de geothermie-bron niet actief met een warmtepomp wordt uitgekoeeld, maar waarbij er wel op 3 hectare een verwarmingssysteem op basis van gedwongen convectie is geplaatst (dus waarbij ventilatoren voor een grote uitkoeling zorgen).



Figuur 4.1. Terugverdientijd wanneer een geothermiebron met een debiet van 100 m³/uur en water van 75 °C wordt gebruikt voor de verwarming van een komkommerteelt. De tuinder gebruikt rookgas-CO₂ uit de ketel en vanuit de WK-rookgassen. Deze WK heeft een capaciteit van 200 kW_e per ha. 3 hectare is steeds verwarmd met een laag temperatuur verwarmingssysteem, waarbij een investering van k€ 600 gemoeid is. Er is gerekend met een gasprijs van 20 cent.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat het nauwelijks zin heeft om de geothermie bron voor nog grotere oppervlakken dan 20 ha in te zetten. De terugverdientijd wordt nauwelijks meer korter, terwijl er steeds meer kosten zullen ontstaan in verband met het verdelen van de warmte vanuit de bron naar een steeds groter complex (deze meerkosten zijn niet in het bovenstaande plaatje meegenomen).

4.4 Effect van de gasprijs en investeringssubsidies

De economie rond de toepassing van geothermie kent vrijwel uitsluitend vaste kosten (alleen het elektriciteitsverbruik om het water over de bronnen te verpompen leidt tot variabele kosten) en de opbrengsten zijn uitsluitend vermeden uitgaven voor gas. De gevoeligheid voor de gasprijs is dan ook zeer groot. In de bovenbeschreven voorbeelden blijkt dat bij een gasprijs van 20 cent per m³ en een investeringsniveau van 4 miljoen euro voor een bronnenpaar waarvan de productiebron 100 m³ water van 75 °C levert in de komkommerteelt tot een terugverdientijd van rond de 10 jaar komt. Bij een bron op 10 ha was de terugverdientijd meer en bij gebruik op een oppervlak van 20 ha was de terugverdientijd iets minder.

Wanneer in plaats van met een gasprijs van 20 cent gerekend zou zijn met 30 cent, dan zouden de terugverdientijden rond de 8 jaar zijn uitgekomen en bij een gasprijs van 40 cent zou de terugverdientijd rond de 5 jaar hebben gelegen.

Vanuit de kostenkant hebben investeringssubsidies een zeer groot effect op het bedrijfseconomisch perspectief. Omdat de kosten eigenlijk uitsluitend te maken hebben met de investering zou een subsidie van 40% op de investering tot een daling van de terugverdientijd met vrijwel hetzelfde percentage leiden.

5 Algemene bespiegelingen

Hieronder worden kort een aantal punten aangestipt waarvoor binnen dit project geen ruimte was om nader uit te werken, maar die interessante aspecten van geothermie belichten

Geothermie en energiebesparende maatregelen

Het belangrijkste verschil tussen een geothermiebron en andere warmtebronnen voor de tuinbouw is dat er nauwelijks variabele kosten mee gemoeid zijn. Wanneer een tuinder over een bron beschikt, dan maakt het bijna niets meer uit of hij er nou veel of weinig water uit betreft. Dit is ook de achtergrond van het feit dat de toevoeging van de warmtepomp tot niet zoveel equivalente vollasturen leidt. Deze zal namelijk alleen bij een hoge vermogensbehoefte gaan draaien teneinde zoveel mogelijk energie uit de geothermie-bron te halen. Zodra de vermogensbehoefte afneemt wordt de warmtepomp als eerste uitgeschakeld en wordt volstaan met een kleinere benutting van de geothermische energie (*i.e.* een geringere uitkoeling van het water).

Het gevolg hiervan is dat bij gebruik van geothermie vooral energiebesparende maatregelen die de piek van de vermogensbehoefte verlagen interessant zijn. Dit betekent dat ontwikkelingen zoals beter isolerende kasdekken voor een kas die over een geothermiebron niet zo van belang zijn, maar de toepassing van bijvoorbeeld een dubbel scherm wel.

Geothermie en clusters

Een andere belangrijke eigenschap van een geothermiebron is het feit dat er een grote schaalgrootte vereist is om de boring rendabel te maken. In de hier behandelde situatie, waarbij er naast de geothermiebron gebruik werd gemaakt van warmte/kracht en ketelrookgassen voor CO₂-dosering bleek 20 ha een oppervlak dat goed past bij een bron die 100 m³ water van 75 °C kan leveren. Deze grote vereiste schaalgrootte is zeker niet synoniem met een voorkeur voor clusters. Wanneer clusters worden samengesteld op basis van van wederzijds voordeel tussen belichtende en niet belichtende tuinders past geothermie sowieso al slecht omdat de geothermie-warmte dan in concurrentie komt met de WK-afvalwarmte.

Het zijn dus vooral niet belichtende clusters die perspectief geven. Zo'n niet belichtend cluster heeft dan evenwel nauwelijks extra voordeel ten opzichte van een groot solitair bedrijf. Immers, het probleem bij de benutting van geothermie ligt altijd in het invullen van de piek-behoefte en die zijn bij een cluster nauwelijks anders dan bij een solitair bedrijf met een groot aantal afdelingen.

De prettige bijkomstigheid hiervan is dat de ontwikkelingsmogelijkheden van geothermie niet gehinderd worden door allerlei afstemmings- en volloop problemen waarmee de ontwikkeling van een cluster altijd te kampen heeft.

Geothermie en elektriciteitsproductie

In de hier behandelde voorbeelden is uitgegaan van het gebruik van WK en ketel-CO₂. Deze units voorzien in CO₂ en elektriciteit en de afvalwarmte daarvan is zodanig dat er in de zomer nauwelijks nog een warmtevraag overblijft en de geothermiebron 4 maanden in het jaar goeddeels stil staat.

Als alle elektriciteit uit het openbare net zou worden ingekocht en de CO₂ uit een alternatieve bron zou worden betrokken zou de hoeveelheid warmte die aan de geothermie-bron kan worden onttrokken, en daarmee de CO₂ emissie reductie fors toenemen (rond de 30%). Als ingekochte CO₂ en elektriciteit goedkoop zijn zou het economisch perspectief hierdoor wellicht ook nog wat kunnen verbeteren.

Echter, omdat de omzettingsrendementen van moderne WK-motoren vergelijkbaar zijn met de rendementen in het openbare net, zal de vermindering van het gasverbruik van de WK direct leiden tot een vrijwel gelijke vermeerdering van de CO₂ emissie elders in het openbare elektriciteitsnet. Wanneer vanuit nationale emissiereductie doelstellingen wordt geredeneerd is dit dus een vestzak-broekzak kwestie en zouden andere dan emissiereductie overwegingen leidend moeten zijn om de uitfasering van tuinbouw-WKK als positief te bestempelen.

Concessies

Om een geothermie-bron te kunnen exploiteren moet een exploitant concessierechten van de overheid verwerven. In de huidige wetgeving worden zulke concessies gegeven voor een gebied van 1.5 bij 3 km ondergronds oppervlak. Dit betreft dus 450 ha, wat veel groter is dan het kasoppervlak dat door een geothermiebron kan worden bediend. In glastuinbouwconcentratiegebieden zullen er dus gemakkelijk concurrerende belangen van verschillende potentiële geothermie exploitanten kunnen ontstaan.

Het huidige "wie het eerst komt, die het eerst maalt" beleid maakt dat geïnteresseerden zo lang mogelijk in stilte hun ideeën uitwerken om concurrenten bij de concessieverlening voor te kunnen zijn.

6 Conclusies

Wanneer de onzekerheden rond de debieten en temperaturen die het aanleggen van een geothermie-bron even terzijde worden gelegd kan de potentie van een bron voor de warmte-afzet in de glastuinbouw gemakkelijk worden berekend. De toegepaste verwarmingssystemen bepalen de retourtemperatuur van het water dat uit de kas komt. Tezamen met de specificaties van de scheidingswisselaar, de temperatuur van de geothermiebron en het debiet dat aan de bron kan worden onttrokken kan het vermogen van een geothermiebron worden vastgesteld. In hoofdstuk 2 worden de daarvoor benodigde formules uiteengezet en passeren enkele aandachtspunten de revue. Wanneer het aldus te bepalen vermogen wordt toebedeeld aan een zeker kasoppervlak volgt een beschikbaar geothermie-vermogen per m².

Bij de inzet van dit 'gratis' vermogen speelt de warmtevraag van de kas, welke gekoppeld is aan de teelt, de belangrijkste rol. Daarnaast zijn er echter ook twee belangrijke concurrenten die eveneens 'gratis' warmte in de aanbieding hebben. Dit zijn de warmte die vrijkomt bij de productie van CO₂ met ketel en/of WK-rookgassen en de warmte die vrijkomt bij de inzet van WK voor eigen elektriciteitsverbruik of verkoop van elektriciteit aan het openbare net.

In hoofdstuk 3 wordt de invloed van deze 'concurrenten' getoond in twee grafieken. De grafieken zijn opgesteld voor een onbelichte komkommerteelt zoals die in grote lijnen momenteel door Hartman B.V. in Sexbierum wordt gehanteerd.

Het blijkt dat wanneer er WK-units van 400 kW_e per ha of meer worden gebruikt, de potentiële rol van een geothermische warmtebron ongeveer wordt gehalveerd ten opzicht van de situatie waarbij een kleine WK-unit (100 kW_e per ha) wordt gebruikt.

Wanneer de kas geen rookgassen voor CO₂-dosering gebruikt, maar nog wel gebruik maakt van WK om tijdens de plateau-uren waardevolle elektriciteit te verkopen) neemt het geothermie-potentieel met grofweg 5 m³ aardgas equivalenten per m² kas per jaar toe.

Een 'gemiddelde' geothermiesituatie, waarbij een bron van 75 °C met een debiet van 100 m³ per uur voor een bedrijfsoppervlak van 10 ha is verondersteld, laat zien dat zo'n systeem 23 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar kan leveren. Hierbij is er van uitgegaan dat op het complex van 10 ha een 2 MW WK-installatie wordt toegepast en dat 30% van het bedrijf voorzien is van een lage temperatuur verwarmingssysteem (luchtbehandelingskasten waarin de lucht middels ventilatoren wordt verwarmd).

Wanneer er geen luchtbehandelingskasten, maar overal een standaard verwarmingssysteem gebruikt zou worden daalt de hoeveelheid warmte die afgezet kan worden naar 17 m³ aardgas equivalenten per m² kas per jaar.

Er is ook gerekend aan het effect van de toevoeging van een warmtepomp teneinde de uitkoeling van de geothermiebron verder te vergroten. Hiervoor is een rekenschema opgesteld, wat aangeeft dat de vergroting van de uitkoeling van de bron van 28 naar 13 °C het warmte-afzetpotentieel vanuit het geothermie+warmtepomp systeem onder overigens gelijke omstandigheden met 3 m³ aardgas doet toenemen. 22% van die toename komt evenwel niet uit de geothermie-bron, maar komt voort uit de 6 kWh/m² aandrijf-energie voor de warmtepomp.

Uit de geringe toename van de warmte-afzet (14% toename), in vergelijking met de forse toename van het totale vermogen vanuit het geothermie+warmtepomp systeem, blijkt al dat het bedrijfsoppervlak waarop deze combinatie wordt ingezet eigenlijk te klein is. De warmte-afzet curve is bij deze vermogens (bijna 80 W/m²) al behoorlijk in de verzadiging gekomen. Het stapsgewijs doorlopen van het gepresenteerde rekenschema geeft echter al gauw uitsluitsel over het effect van de toevoeging van de warmte op een groter bedrijfsoppervlak.

Tenslotte wordt in paragraaf 3.5 ingegaan op de mogelijkheid van de combinatie van een gesloten kas en de benutting van een geothermie-bron. De conclusie hierbij is dat deze twee vormen van duurzame energie elkaar feitelijk uitsluiten.

In hoofdstuk 4 worden nog enkele bespiegelingen op de economische waarde van verschillende uitvoeringsvormen gegeven. De conclusie luidt dat wanneer een gasprijs van 20 cent wordt verondersteld de waarde die aan een geothermie-bron die 100 m³ water met een temperatuur van 75 °C per uur levert moet worden toegekend ongeveer k€ 548 per jaar is. Dit geldt in geval deze bron op een complex van 20 ha wordt ingezet, waarvan ongeveer 3 ha

met laag-temperatuur verwarmingssystemen is uitgerust. Hierbij is er dan ook uitgegaan van het gebruik van 200 kW_e WKK per ha (dat is 4 MW_e voor het totaal van 20 ha) en het gebruik van rookgassen voor de CO₂-dosering. Het gebruik van laag temperatuur verwarmingssystemen op een deel van het bedrijf blijkt lucratief, want de waarde van de geothermische warmte indien er een gewoon verwarmingssysteem wordt gebruikt is beduidend lager. Het opvoeren van het vermogen van de geothermie-bron met behulp van een warmtepomp blijkt bij de gehanteerde stroomprijs van € 80,- per MWh op het randje van economische attractiviteit. De terugverdientijd zal hierdoor evenwel nauwelijks terug kunnen lopen omdat een warmtepomp, in tegenstelling tot een geothermie-bron, nu eenmaal nog altijd grote variabele kosten heeft. Bij een COP van 4.5 geeft 1 kWh elektriciteit 0.51 m³ aardgas-equivalenten aan warmte dus als 1 m³ aardgas 20 cent kost gaat een warmtepomp (met COP 4.5) pas bij een stroomprijs onder de 10 cent per kWh goedkopere warmte leveren.

Wanneer een bedrag van 4 miljoen euro voor de aanleg van het bronnenpaar wordt aangehouden k€ 600 voor het laag-temperatuur verwarmingssysteem blijkt de terugverdientijd in geval zo'n bron op 20 ha wordt aangesloten op 9 jaar uit te komen. Een groter tuinbouwareaal per bron heeft nauwelijks effect. Het verhogen van de referentieprij voor gas werkt sterk door in het perspectief. Een verdubbeling van de gasprijs naar 40 cent per m³ brengt de terugverdientijd op 5 jaar.

Bijlage I. Teeltbeschrijving komkommer

Inleiding

In tegenstelling tot vrijwel alle andere vruchtgroentegewassen, wordt komkommer meerdere malen per jaar geplant (een winterteelt, een zomerteelt en een najaarsteelt).

In de komkommerteelt bestaan verschillende teeltsystemen, waarvan het paraplusysteem het meest gangbare is. Hierbij wordt de hoofdstengel tot de draad (op ongeveer 4 meter hoogte) omhooggaand geteeld. Daarna wordt de hoofdstengel getopt en worden de ranken over de draad gehangen. Er wordt wel geëxperimenteerd met het hogedraadsysteem (zoals bij tomaat), maar door de snelle groei van komkommer is het indraaien, laten zakken en het bladplukken zeer arbeidsintensief.

De kwaliteit van de vruchten aan de hoofdstengel ('stamvruchten') is hoger dan van de rankvruchten. De teruglopende vruchtkwaliteit is de hoofdreden voor het meerdere malen per jaar planten. De teeltwisselingperioden in het late voorjaar en in augustus zijn heel kort, of zelfs nihil omdat het nieuwe gewas tussen het vorige gewas wordt geplant. De teeltwisseling in de winter duurt langer. Bij een aantal tuinders wordt geen najaarsteelt komkommer geplant, maar een herfstteelt tomaat. Reden hiervoor waren een tijd lang de goede prijzen voor (groeve) herfst-tomaten en het verminderen van de ziektedruk (bijvoorbeeld komkommerbontvirus). In de hier gebruikte teeltbeschrijving wordt evenwel uitgegaan van drie komkommerteelten.

Hieronder wordt verder ingegaan in de gangbare kas en de gangbare klimaatregeling

Kas

Moderne groentekassen worden opgetrokken uit units van ongeveer 4 ha bij een goothoogte van 5 meter. De gangbare traliemaat is 8 meter (2 kappen van 4 meter) en de pootafstand is 4.5 meter.

Het verwarmingssysteem is opgebouwd uit 51 mm buizen in het ondernet, die tevens dienst doen als transportnet. Op een tralie van 8 meter liggen 10 van deze buizen. Daarnaast hangen er nog half zoveel 28 mm buizen in een bovennet. Het bovennet fungeert als condensornet, maar ook als secundair net wanneer een groot verwarmingsvermogen noodzakelijk is. De buistemperaturen zijn begrensd op 75 en 60 °C voor respectievelijk het onder- en boven-net.

De kas is uitgerust met een rookgas-verdeelsysteem voor de CO₂-dosering waarmee maximaal 180 kg CO₂ per ha per uur kan worden toegediend.

In een referentiesituatie wordt uitgegaan van een ketel met een capaciteit van 120 m³aardgas/(ha uur) en er is een warmte-opslag buffer met een waterinhoud van 120 m³/ha.

Gewas- en teeltgegevens

Gangbare plantdata voor een komkommerteelt met drie teelten zijn week 50 (14 dec), week 18 (1 mei) en week 31 (1 augustus). De teeltwisselingen in het voorjaar en in augustus vinden plaats door tussenplantingen, waardoor de kas eigenlijk niet leeg komt te staan. Tussen herfstteelt en de nieuwe winterteelt zit soms wel meer dan 4 weken, maar omdat het bedrijf bij Hartman bijna een cluster in zichzelf is wordt in deze berekeningen slechts 2 weken leegstand aangehouden.

Kasklimaat

Komkommers worden warm geteeld. Op kwekerij Hartman wordt voor de nanacht (vanaf 01:00) en de dagperiode een stooklijn van 22 °C aangehouden en voor de voornacht (vanaf zonsondergang tot 01:00) wordt 18 °C gehanteerd.

In de koude periode van het jaar (vanaf eind september) staat de ventilatielijn ver boven de stooklijn (5 tot 6 °C hoger). Er wordt derhalve weinig warmte afgelucht, zodat op heldere dagen hoge etmaaltemperaturen kunnen worden behaald. Op 1 februari wordt dit terug gebracht tot 3 °C

Vanaf half april is het zaak de etmaaltemperatuur te drukken, zodat in die periode de ventilatielijn slechts 1 °C boven de stooklijn wordt gelegd. Deze temperaturen zijn dag en nacht gelijk.

In principe wordt vanaf 1 augustus tot 1 mei wordt gedurende de nacht gebruik gemaakt van een minimum buis op het ondernet van 40 °C (vanaf 01:00). Overdag wordt deze evenwel in het globale stralingstraject van 100 tot 200 W/m² afgebouwd zodat in de praktijk de minimumbuis overdag veelal uit staat. In de avond is de minimum-buis eveneens uit.

Er wordt ook een maximum buistemperatuur gehanteerd (65 °C). Dit betekent dat het geaccepteerd wordt dat de kasluchttemperatuur onder de stooklijn wegzakt als het buiten koud is.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht boven de 87% RV komt. De regelactie is beperkt, met name als het buiten koud is, namelijk 1% raamopening per % overschrijding van de RV wanneer het buiten kouder dan 5 °C is. Als het buiten warmer dan 10 °C is wordt het raam met 2% per % overschrijding op de RV geopend.

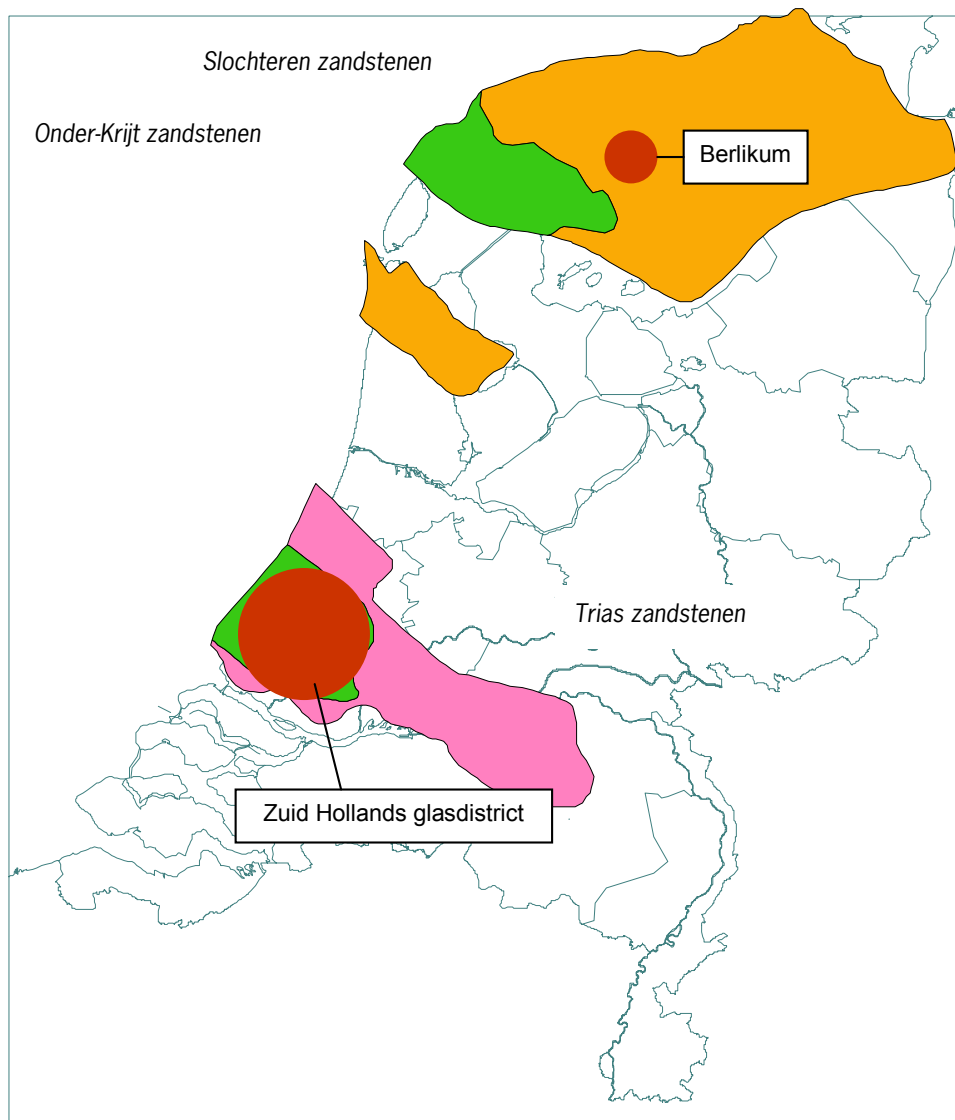
De CO₂-dosering vindt plaats door middel van ketelrookgassen en rookgassen vanuit de WK van zonopkomst tot een uur voor zonsondergang. De doseersnelheid is 180 kg/uur, maar wordt getemperd indien de bijbehorende warmteproductie tot een warmte-overschot zou leiden. Anders gezegd: de buffer wordt zodanig gevuld dat er tijdens de gehele doseerperiode CO₂-gedoseerd kan worden. De warmtevraag is daarmee leidend voor de CO₂ dosering. Het setpoint voor de CO₂-concentratie in de kas is 650 ppm in de periode van 14 december tot 1 april en in de rest van het jaar (behoudens tijdens de teeltwisselingen) 750 ppm. Overigens zullen deze concentraties niet gehaald worden wanneer er serieus op temperatuur gelucht moet worden.

Er wordt een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 ultra plus gebruikt tussen 15 oktober en 1 mei. In het koudste deel van het jaar (vanaf 14 december tot half januari) wordt dit scherm alleen geopend bij hoge stralingsniveaus (meer dan 100 Wm⁻²) en buitentemperaturen boven 7°C.

In de warmere perioden blijft het scherm bij het eerste ochtendlicht al open. Wanneer de RV minder dan 0.5% onder het setpoint komt wordt het scherm op een vochtier van 4% getrokken en bij blijvend te hoge RV wordt het scherm na een half uur geheel geopend. Het transparante scherm wordt niet als schaduw scherm ingezet. In de gevel is een beweegbaar gevelscherm geplaatst, dat gelijktijdig met het horizontale scherm geopend en gesloten wordt.

Er wordt in de standaardteelt geen temperatuurintegratie toegepast. Daarnaast wordt er ook geen gebruik gemaakt van minimumraamstanden.

Bijlage II. Locaties met aardwarmte



Ligging van de meest geschikte gebieden voor de winning van aardwarmte (Van de Braak e.a., 2001).

Bruin: Slochteren zandstenen,

Paars: Trias zandstenen.

Groen: Onder-Krijt zandstenen,

Onder Krijt zanden overlappen de Slochteren zandstenen resp. Trias zandstenen

