

Biologische en overige grondgebonden teelten in een (semi) gesloten kas

Marcel Raaphorst
Frank Kempkes (A&F)
Jouke Campen (A&F)
Ep Heuvelink (TPK)

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is gefinancierd door het energieprogramma van het ministerie van LNV samen met het Productschap Tuinbouw.



Projectnummer: 41414073

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Business Unit Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5
: Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. : 0174 - 63 67 00
Fax : 0174 - 63 68 35
E-mail : infoglastuinbouw.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

INHOUDSOPGAVE	3
1 INLEIDING	7
1.1 Probleemstelling	7
1.2 Doelstellingen	8
2 METHODE	9
2.1 Werkzaamheden PPO	9
2.2 Werkzaamheden A & F	9
2.3 Werkzaamheden TPK	9
3 RESULTATEN	11
3.1 Vochthuishouding	11
3.2 Gasemissies	11
3.3 CO ₂ -huishouding	11
3.4 Verdeelsystemen	12
3.4.1 Warmtewisselaars	12
3.4.2 Ventilatoren	12
3.4.3 Verdampingskoeling	13
3.5 Kringloop	14
3.6 Overige duurzaamheidsaspecten	14
3.6.1 Arbo	14
3.6.2 Gewasbescherming	15
3.6.3 Condenswater	15
3.7 Scenario's	16
3.7.1 Warmte	17
3.7.2 CO ₂	17
3.7.3 Klimaat	18
3.7.4 Productieverhoging	18
3.8 Kosten en opbrengsten	18
4 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
4.1 Discussie	23
4.2 Conclusies	24
LITERATUUR	26
BIJLAGE 1: REKENWIJZE ECONOMISCH REKENMODEL	27
BIJLAGE 2: UITGANGSPUNTEN ECONOMISCH REKENMODEL	28

Samenvatting

De biologische sector wil, gegeven haar filosofie, haar duurzame energievoorziening en efficiëntie sterker te verbeteren dan de gangbare glastuinbouw. Het opslaan in een seizoensbuffer van zonnewarmte uit gekoelde kassen kan daarbij helpen. In huidig rapport wordt ingegaan op de verschillende aspecten waar verschillende gekoelde kassystemen mee te maken hebben, zoals ophoping van schadelijke gassen, voortkomend uit toediening van organische meststoffen en de problemen bij het inpassen van een luchtverdeelsysteem voor grondteelten. Ook de vochtproductie en de CO₂-productie vanuit de bodem, de opbrengstverhoging, de energiebesparing en de bedrijfseconomische haalbaarheid van de verschillende teeltscenario's voor de tomaat zijn behandeld. Hiervoor zijn met de rekenmodellen KASPRO en INTKAM verschillende scenario's doorgerekend en aan een bedrijfseconomische evaluatie onderworpen.

Om een indruk te krijgen in hoeverre het kasklimaat van de biologische teelt anders is dan die van de substraatteelt zijn interviews met telers gehouden. Hieruit is gebleken dat de verdamping vanuit de bodem zeer afhankelijk is van de grondsoort en de manier van watergeven. Over het algemeen is deze gering ten opzichte van de gewasverdamping. Verder moet, om ophoping van gasemissies uit organische meststoffen te voorkomen, altijd een kleine raamkier worden aangehouden. Een volledig gesloten kas zonder luchtuitwisseling is voor de biologische teelt hierdoor niet mogelijk. Ook de emissie van CO₂ uit de organische bemesting kan bij geringe fotosynthese tot zeer hoge concentraties leiden. Ook hiervoor moet worden geventileerd. Echter, op jaarbasis stelt de hoeveelheid beschikbare CO₂ weinig voor ten opzichte van de totale CO₂-behoefte.

Bij kaskoeling en ontvochtiging is een goede luchtverdeling essentieel. Doordat grote luchtslangen in grondteelten niet onder het gewas te plaatsen zijn lijkt een volledig gesloten kas met een koelvermogen van meer dan 500 Watt niet realiseerbaar. Wel kan met kleinere koelvermogens worden gewerkt in een semi-gesloten kas. Hiervoor bestaan twee ontwerprichtingen: tussen het gewas en boven het gewas. Voor luchtverdeling tussen het gewas lijken alleen dunne verdeelslangen van maximaal 35 cm² doorsnede mogelijk. Voor luchtverdeling boven het gewas nemen luchtslangen te veel licht weg en dienen de ventilatoren voor een goede luchtverdeling te zorgen. In hoeverre dit gerealiseerd kan worden is nog niet onderzocht. Verdampingskoeling door verneveling of deksproeiers kan in de zomer voor aanvullende koeling zorgen.

Een beter beheerst kasklimaat in een gekoelde en ontvochtigde kas kan de omstandigheden van biologische plaagbestrijders en de weerbaarheid van de planten tegen schimmelziekten verbeteren. Omdat dit bij biologische telers als een belangrijk knelpunt wordt gezien, wordt er ook veel productiewinst van kaskoeling verwacht. Ook voor de arbeidsomstandigheden geeft het beheerste kasklimaat voordelen. Wel dient bij de installatie rekening te worden gehouden met de geluidsproductie van de ventilatoren en het optreden van tocht.

Een semi-gesloten systeem voor de biologische teelt kan perspectieven bieden. Hiervoor is een eenvoudige bedrijfseconomische berekening uitgevoerd voor een semi-gesloten kas met een koelvermogen van 50 Watt per m² en vergeleken met gesloten kassen (±500 Watt/m² koelvermogen) en standaard kassen. Met de semi-gesloten kas kan de warmte-oogst vrijwel volledig in de eigen kas worden benut. Bij de economische berekening is uitgegaan van een geschatte productieverhoging ten opzichte van een standaard kas van 4,5% door een hoger CO₂-niveau en van 5% door een betere beheersing van ziekten en plagen en een energiebesparing van 39%. Verder is ervan uitgegaan dat de investeringen in een WKK, een warmtepomp, een dagbuffer, een doublet en een luchtverdeelsysteem in 10 jaar worden afgeschreven met jaarlijks 2% onderhoudskosten. Het rendement is vooral afhankelijk van het aantal draaiuren van de warmtepomp en de mate waarin de gegenereerde warmte in de volledige warmtebehoefte kan voorzien. Bij een hoog aantal draaiuren kan worden volstaan met een kleinere warmtepomp om de benodigde koude te genereren. Hier tegenover staat, dat bij een kleine warmtepomp op de koudste momenten tekort schiet en er dus aanvullende warmte moet worden ingekocht.

In theorie kan vergisting en hergebruik van het organische afvalmateriaal in de biologische teelt voor bijna 20% in de nutriëntenbehoefte en slechts 1% in de energiebehoefte voorzien. Koeling en ontvochtiging kan met het hergebruik van condenswater ook een belangrijk deel van de waterbehoefte voorzien. Bij de bedrijfseconomische berekening is hiermee echter geen rekening gehouden.

In dit verslag zijn cases behandeld met grote warmtepompen met 3000 draaiuren en kleine warmtepompen met 6000 draaiuren. Alleen de case met een semi-gesloten kas met 50 Watt/m² koeling en bij 6000 draaiuren van de warmtepomp kan bij een warmteprijs van 5 €/GJ biedt perspectieven voor een rendabele teelt.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor het gewas tomaat. Andere belangrijke vruchtgroentegewassen zoals paprika en komkommer zullen uiteraard anders reageren op kaskoeling en hebben een andere warmtebehoefte. Naar verwachting zal een semi-gesloten kas voor de biologische komkommer en paprika een min of meer vergelijkbare rentabiliteit hebben, maar om te weten of de berekende productieverhogingen ook daadwerkelijk kunnen worden gerealiseerd zijn, evenals bij de tomaat, praktijkproeven nodig.

1 Inleiding

De biologische glastuinbouw staat voor een aantal belangrijke uitdagingen in de komende jaren. Deze zijn: verlaging van de kostprijs per eenheid product, creëren van toegevoegde waarde voor haar producten (explicitering kwaliteit van productie en product) en het voldoen aan de door Platform Biologica geformuleerde doelen voor 2010, voortbouwend op de door SKAL gecontroleerde richtlijnen voor de biologische teelt. Deze richtlijnen houden in dat geen chemische gewasbeschermingsmiddelen mogen worden gebruikt en geen kunstmest. Daarnaast mag ten hoogste 170 kg N vanuit dierlijke mest worden aangevoerd (EU-richtlijn). Wat betreft energiebenutting heeft Platform Biologica een doelstelling geformuleerd dat in 2010 naast reductie van het energieverbruik ook 10% van de energievoorziening duurzaam moet plaatsvinden. Assimilatiebelichting wordt alleen in de opkweek toegestaan. De biologische sector wil, gegeven haar bedrijfsfilosofie, haar duurzame energievoorziening en efficiëntie sterker te verbeteren dan de gangbare glastuinbouw. In de afgelopen jaren is uit onderzoek gebleken dat de hoeveelheid energie op biologische glastuinbouwbedrijven vergelijkbaar tot iets lager is dan op gangbare bedrijven. Op moderne bedrijven is er geen verschil tussen gangbaar en biologisch en worden dezelfde technieken en energiemanagement gebruikt. Regelmatig treden misoogsten in de biologische teelt op. Deze hebben vooral betrekking op het onvoldoende beheersbaar zijn van ziekten en plagen, maar ook treden incidenteel fysiologische problemen op (bijv. groeistoornissen als gevolg van incompatibiliteit van ent en onderstam). Verder ligt de productie gemiddeld 20-30 % lager dan in de gangbare teelt, waardoor het energieverbruik per eenheid product vaak hoger ligt dan in de gangbare glastuinbouw [Wees et. al, 1999]

In de afgelopen jaren zijn verschillende geconditioneerde kasconcepten ontworpen, waarvan de gesloten kas bij Themato de meest bekende is. Dit soort systemen kunnen juist voor de biologische teelt een uitkomst zijn. Het gesloten kasconcept maakt een vrijwel volledige beheersing van ziekten en plagen mogelijk en kan leiden tot een belangrijke productieverhoging.

Concreet zijn de voordelen:

- het benutten van duurzame energie (zonnewarmte) in plaats van fossiele energiebronnen
- het verlagen van de CO₂-emissie
- het beheersen van calamiteiten (ziekten en plagen) in de teelt door met name beheersing van de luchtvochtigheid, waardoor de kostprijs per eenheid product kan dalen.
- verhoging van de productie waardoor de kostprijs per eenheid product fors kan dalen
- het verminderen van het waterverbruik, omdat momenteel veel vocht via verdamping verdwijnt.

1.1 Probleemstelling

Een bureaustudie is nodig om de mogelijkheden en beperkingen van het (semi-) gesloten kasconcept nader in kaart te brengen. Kritische succesfactoren voor een commerciële toepassing van dit concept, uitgaande van economisch interessante ervaringen bij Themato, zijn voor de biologische glastuinbouw:

1. het kunnen voorkomen van ophoping van schadelijke gassen, voortkomend uit toediening van organische meststoffen;
2. de ontwikkeling van een praktisch hanteerbaar en goedwerkend luchtverdeelsysteem voor grondteelten.

Aan eerstgenoemd probleem is al vooronderzoek verricht door het PRI [De Visser et.al, 2004]. Toetsing van de gegevens in de zomerperiode is nog nodig vanwege hoge temperaturen en aangepaste mestvoorziening.

Het tweede probleem is besproken met leveranciers en theoretische oplossingsrichtingen lijken mogelijk.

Bovendien zijn er de volgende vragen:

1. Welke vochtproductie kan worden verwacht bij de teelt van stooktomaten mede in relatie tot het watergeefregime, welk CO₂ verloop, gelet op CO₂-productie vanuit de bodem en in welke mate wijken andere vruchtgroenten van dit patroon af;
2. Welke technische eisen dienen gesteld te worden aan vochtterugwinning via koeling in een biologische volledig gesloten situatie om de luchtvochtigheid te kunnen beheersen;
3. Welke teeltscenario's van semi-gesloten tot gesloten zijn denkbaar voor de biologische teelt;
4. Welke opbrengstverhoging is theoretisch haalbaar bij deze scenario's in vergelijking met de huidige biologische teeltwijze;
5. Wat is de bedrijfseconomische haalbaarheid van de teeltscenario 's voor tomaat en wat zijn de verwachte afwijkingen hierin voor andere vruchtgroenten.

1.2 Doelstellingen

- 1) Kwantificeren van de consequenties van semi-gesloten tot gesloten telen op vochtthuishouding, CO₂-huishouding, te verwachten opbrengst en te behalen energiebesparing bij de teelt van biologische vruchtgroenten, pilot tomaat.
 - a) Vochtthuishouding: gegeven een bepaalde luchtvochtigheidsstrategie, hoeveel vocht moet worden onttrokken en tegen welke financiële consequenties (koeling) en welk deel van de hoeveelheid ingebracht water kan worden gerecycled.
 - b) CO₂-huishouding: hoeveel CO₂ dient te worden ingebracht in de verschillende scenario's boven de CO₂ die uit de bodem beschikbaar komt.
 - c) Luchtverdeelsysteem; welke aanpassingen van het luchtverdeelsysteem zijn noodzakelijk bij grondteelten en een verschillende mate van geslotenheid.
- 2) Daarnaast worden consequenties voor andere duurzaamheidsaspecten (arbo, milieu en gewasbescherming) aangegeven
- 3) Analyse van koppeling met andere energiedragers zodat een volledig gesloten teeltconcept (kringloop van (organische) stoffen) mogelijk wordt. Hierbij kan gedacht worden aan de toepassing van biomassa-vergisting, waarbij de reststromen grotendeels op het bedrijf kunnen worden benut.

2 Methode

De geformuleerde vragen worden door de drie kennisinstellingen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Agrotechnologie en Food innovations (A & F) en Tuinbouwproductieketens (TPK) gezamenlijk vooraf beoordeeld op aanwezige kennis, oplossingsrichtingen en bijdrage aan economische haalbaarheid van de concepten. Dit alles in overleg met toeleverende bedrijven en biologische telers. Er wordt toegewerkt naar een integrale analyse en uitwerking van de verschillende concepten zowel op teeltkundig als bedrijfskundig niveau.

2.1 Werkzaamheden PPO

- Inventarisatie en analyse van klimaatgegevens (vocht- en CO₂-huishouding) van biologische tomatenbedrijven, alsmede van gehanteerde watergeefstrategieën. Verkenning van marges bij andere vruchtgroenten (nulsituatie)
- Uit oogpunt van vochtbeheersing, opbrengstmaximalisatie en te behalen energiebesparing opstellen van teeltscenario's bij verschillende gradaties van geslotenheid.
- Risico-analyse van gasvorming uit meststoffen onder zomerse omstandigheden
- Formuleren van randvoorwaarden voor de technische uitvoering van het luchtverdeelsysteem
- Bedrijfseconomische doorrekening (incl. operationele kosten) en kwalificatie van effecten op andere duurzaamheidsaspecten van scenario's voor tomaat en andere vruchtgroenten bij verschillende gradaties in gesloten telen, alsmede alternatieve opties op de middellange termijn (efficiëntie-verhoging op bedrijfsniveau)

2.2 Werkzaamheden A & F

- Doorrekening van vocht- en energiehuishouding en energieverbruik bij verschillende scenario's van semi-gesloten tot gesloten telen (KASPRO)
- Beoordeling en kwantificering van klimatologische effecten van verschillende opties voor luchtverdeelsystemen
- Verschillen van de hier beoogde concepten met de huidige standaardteelt worden weergegeven in grafieken van vochtgehalte, CO₂-concentratie en te verwachten productie (op basis van aanvullende informatie TPK)

2.3 Werkzaamheden TPK

- Doorrekening van verschillende CO₂-strategieën van semi-gesloten tot gesloten op de fotosynthesesom over het jaar, ervan uitgaande dat de temperatuursom vergelijkbaar is.

3 Resultaten

3.1 Vochthuishouding

Vanuit de bodem verdampt vocht. Dit veroorzaakt meestal een hogere luchtvochtigheid in grondteelten ten opzichte van substraatteelten. De mate van verdamping is afhankelijk van het al of niet opdrachtig zijn van de bodem en van de manier van watergeven. Het watergeven kan namelijk met druppelaars, waardoor slechts een klein deel van de bodem wordt bevochtigd, of door te gieten waardoor de hele bodem of een brede strook nat wordt. Bij gebruik van druppelaars verdampt er nauwelijks vocht uit de bodem. Over het algemeen wordt in de zomerperiode op warme zonnige dagen meer gebruik gemaakt van de gietinstallatie, terwijl in het najaar en in de winter vooral de druppelaars worden gebruikt.

De verdamping op deze natte plekken is afhankelijk van de temperatuur, de luchtvochtigheid en de mate van luchtbeweging in de kas. Een rekenmodel [<http://www.lennotech.com/calculators/verdamping.htm>] berekent bij 20°C, 1 m/s luchtbeweging en 85% RV een verdamping van 0,4 tot 0,8 mm/dag voor open water. Dit is minder dan de gewasverdamping, die onder deze omstandigheden kan oplopen tot meer dan 3 mm/dag. Bovendien verdampt een vochtige bodem minder dan open water en is de bodem lang niet altijd en over de gehele bodem nat.

Om in de scenarioberekeningen de verdamping in een biologische grondteelt met een substraatteelt te vergelijken in het kasklimaatmodel KASPRO (zie paragraaf 3.7) is verondersteld dat de LAI in een biologische grondteelt het hele jaar door met 0,25 m²/m² wordt verhoogd¹.

3.2 Gasemissies

Door het gebruik van organische bemesting kunnen gasemissies van bijvoorbeeld ammoniak ontstaan, die in een gesloten kas op kunnen hopen tot ongewenste concentraties [Pieter de Visser et al., 2004]. Dit verschijnsel wordt in de biologische teelt ondervangen door een minimum raamstand aan te houden, zodat de concentraties aanvaardbaar blijven. Een 100% gesloten kas lijkt om deze reden voor de biologische teelt dan ook niet haalbaar. In de berekeningen met het kasklimaatmodel KASPRO (zie paragraaf 3.7) is bij ieder scenario dan ook rekening gehouden met een ventilatievoud, vergelijkbaar met een minimum raamstand van 1%.

3.3 CO₂-huishouding

Organische bemesting is van oudsher een methode om CO₂ dicht bij de plant te brengen. Een voorbeeld hiervan is de broeiveur. De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt uit de organische bemesting is afhankelijk van de verhouding koolstof/stikstof (C/N-verhouding). De C/N verhouding verschilt per type meststof (zie Tabel 1), maar zal meestal tussen 10 en 30 liggen. Uitgaande van maximaal 170 kg/ha N bemesting per jaar zal hierbij ongeveer 0,5-1,5 kg/m².jr CO₂ vrijkomen. In verhouding met de reguliere CO₂-bemesting uit rookgassen (± 30-40 kg/m².jr) is dit zeer gering. Ook is dit getal kleiner dan de ademhaling van het gewas (± 2-4 kg/m².jr). Organische mest lijkt hiermee hooguit in een gesloten kas nog enige invloed te hebben op de CO₂-huishouding. In het rekenmodel KASPRO wordt een CO₂-dosering van 15-40 kg/m².jaar berekend (zie Tabel 4), welke wordt geproduceerd uit het verstookte aardgas.

¹ De LAI die bij het rekenmodel KASPRO is gehanteerd heeft geen invloed op de berekende productie, welke met het rekenmodel INTKAM is uitgevoerd.

Tabel 1 - C/N- verhouding van verschillende soorten organische stoffen

Soort meststof	C/N
Riet - stro	20/120
Bladeren	50
Onverteerd compost	25-70
Verteerd compost	10
Verteerde stalmest	14
Drijfmest	15
Overige Champignonafval	40

3.4 Verdeelsystemen

Koude wordt veelal centraal opgewekt in koelmachines (en in het bijzonder: warmtepompen), of door koeltorens. Deze koude kan direct worden toegepast of opgeslagen, meestal in de vorm van water. Voor de distributie van de koude zijn verschillende systemen bekend, zoals met alleen warmtewisselaars, met gebruik van ventilatoren of door het stimuleren van de verdamping in de kas.

3.4.1 Warmtewisselaars

Om de koude te kunnen verdelen over de kaslucht is een grote warmtewisselaar nodig. Als bijvoorbeeld de in een kas gangbare verwarmingsbuizen worden gebruikt als warmtewisselaar voor kaskoeling kan bij een kastemperatuur van 25°C en een buistemperatuur van 15°C hooguit 20 Watt/m² worden gekoeld. Als het kasdek wordt gebruikt als warmtewisselaar door er koud water overheen te laten lopen [www.klimrek.com] [De Zwart et. al., 2002], wordt het koelend oppervlak verviervoudigd ten opzichte van de verwarmingsbuizen. Bovendien is de temperatuur in de kas bij zonnig weer bovenin de kas warmer dan onderin, zodat daar met dezelfde hoeveelheid koelwater meer warmte kan worden geoogst. Een nadeel van koud water over het kasdek is de vervuiling van het glas bij een laag debiet.

3.4.2 Ventilatoren

Door gebruik te maken van geforceerde luchtbeweging (ventilatoren) kan met een kleiner oppervlak van de warmtewisselaar meer worden gekoeld. Dit is toegepast in de gesloten kas bij Themato (systeem van Innogrow), waar met een vermogen 700 Watt/m² kan worden gekoeld. De luchtbehandelingskasten bestaan uit warmtewisselaars met centrifugale ventilatoren die kunnen koelen, en eventueel herverwarmen (ontvochtigen). Het verdeelsysteem bestaat uit luchtslangen, waarin de gaatjes zodanig zijn geplaatst, dat overal in de kas even veel koele lucht wordt ingeblazen. Uit een studie over de teelt in de gesloten kas bij Themato [Raaphorst, 2005], blijkt dat koeling onderin de kas een groot ventilatievermogen vraagt om de verticale temperatuurverdeling te beheersen. Figuur 1 laat zien dat de bij Themato gebruikte luchtslangen te groot zijn om in een grondteelt toe te passen. Volgens de telers zou een diameter van 35 cm wel haalbaar zijn. Voor een goede luchtverdeling vereist dit wel meer of kortere slangen of een lager luchtdebiet (koelvermogen), omdat een smallere slang bij een gelijk debiet veel meer luchtweerstand geeft.



Figuur 1 - Systeem van Innogrow

Ook de kaskoelsystemen van Wilk van der Sande werken met ventilatoren. Deze zijn vrijwel allemaal boven in de kas aangebracht (± 1 kast per 120 m^2) en hebben geen luchtverdeelslangen. Het nadeel van dit systeem is dat het ongeveer 1% licht wegneemt. Volgens de installateur is de horizontale temperatuurverdeling goed, maar hier is nog geen onderzoek naar verricht. Een belangrijk aandachtspunt is het voorkomen van plaatselijke kouval. In 2005 is biologisch teler Ruud van Schie een proef gestart waarin 700 m^2 kas met dit systeem wordt gekoeld. Dit systeem heeft niet voldoende capaciteit om jaarrond gesloten te blijven.



Figuur 2 - Installatie van Wilk van der Sande, zoals bij kwekerij Opti-Flor in Monster (phalaenopsis)

Een tussenvorm met een groot warmte-overdragend oppervlak en een kleine ventilator is het FiWiHeX systeem. Dit systeem wordt in een demonstratieproject door Lek Habo bij Hydro Huisman te Huissen geïnstalleerd. Hiernaast is door A&F [Campen et. al, 2004] een lucht/water warmtewisselaar ontworpen, waarbij warme kaslucht wordt gekoeld door het langs een koude nevel te blazen en met luchtslangen weer terug de kas in geleiden. Beide systemen zijn ontworpen met het oog op teelten los van de grond en vergen veel ruimte. In een (biologische) grondteelt is deze ruimte veelal niet beschikbaar. Bovendien lijken beide ontwerpen economisch nog lang niet uit te kunnen.

3.4.3 Verdampingskoeling

Ten slotte kan verdampingskoeling gebruikt worden. Hier wordt de kaslucht of het kasdek bevochtigd met luchtbevochtigers of deksproeiers. Verdampingskoeling is relatief goedkoop en is vooral geschikt wanneer de RV in de kas lager dan 80% is. Dit is het geval op dagen met veel straling en bij gewassen met een beperkt verdampend vermogen. Verdampingskoeling heeft als nadelen dat het waterverbruik wordt verhoogd, dat het niet geschikt is voor ontvochtiging en dat de warmte niet wordt geoogst.

3.4.4 Geschikte verdeelsystemen voor grondteelten

Voor grondteelten lijkt een (semi-gesloten) systeem met dunne verdeelslangen tussen het gewas of een systeem zonder luchtslangen boven het gewas uitvoerbaar te zijn. Bovendien kan verdampingskoeling hierop in de zomer aanvullend zijn. Verder kan met kasdekkoeling een goede temperatuurverdeling en een efficiënte warmte-oogst worden gerealiseerd.

3.5 Kringloop

Het gewasafval dat uit kassen moet worden afgevoerd zou kunnen worden gebruikt voor vergisting, en/of voor organische bemesting. Om een indruk te krijgen met hoeveel procent een bedrijf door recycling hiermee in zijn eigen energie en nutriëntenbehoefte kan voorzien, wordt voor een tomatenbedrijf de stofstromen gekwantificeerd in Tabel 2. De gegevens uit de tabel zijn geschat met het doel inzicht te krijgen in de orde van grootte van de potentiële afvalrecycling. Bij het hergebruik van de nutriënten is ervan uitgegaan dat de uitspoeling van nutriënten verwaarloosbaar is. Uit de tabel blijkt dat ongeveer 18,5% van het nutriëntengebruik en slechts 0,72% van het energiegebruik kan worden teruggewonnen uit het organische afval.

Koeling en ontvochtiging hebben niet of nauwelijks invloed op deze cijfers.

Tabel 2 - Recycling van organisch afval op een tomatenbedrijf

A	Productie	50	kg/m ²	
B	Drogestof% productie	6	%	
C	Productie drogestof	3	kg ds/m ²	A*B/100
D	Gewicht afval ²	4	kg/m ²	
E	Drogestof% afval	17	%	
F	Afval drogestof	0,68	kg ds/m ²	D*E/100
G	Hergebruik nutriënten	18,5	%	F/(F+C)*100
H	Energieverbruik ³	1228	MJ/m ²	
I	Energie-inhoud afval	20	MJ/kg ds	
J	Rendement vergisting	30	%	
K	Energie-inhoud biogas	8,82	MJ/m ²	I*J/100*F
L	Hergebruik energie	0,72	%	K/H*100

3.6 Overige duurzaamheidsaspecten

In deze paragraaf worden de duurzaamheidsaspecten arbeidsomstandigheden, gewasbescherming en watergift behandeld. Het energieverbruik wordt in paragraaf 3.7 behandeld.

3.6.1 Arbo

Een (semi-)gesloten kas heeft op het gebied van arbeidsomstandigheden invloed op de aspecten geluid, temperatuur, luchtvochtigheid en luchtsamenstelling.

Ventilatoren produceren geluid. In de gesloten kas bij Themato, waar een groot aantal centrifugale ventilatoren hangt, is dit geluidsniveau echter aanvaardbaar. Van de overige koelsystemen met ventilatoren zijn geen metingen bekend. Bij kleinere koelvermogens en minder luchtverplaatsing zal het geluidsniveau lager zijn. Dit hangt ook af van de kwaliteit, het type en de plaats van de ventilatoren. Zo geeft een centrifugale ventilator minder geluid dan een axiale. Ook kan door vervuiling het geluidsniveau van ventilatoren stijgen terwijl de hoeveelheid luchtverplaatsing daalt.

De temperatuur en de luchtvochtigheid zijn in een (semi-)gesloten kas beter in de hand te houden dan in een standaard kas. Wel kan bij een kas in gesloten toestand het werken in direct zonlicht benauwd aanvoelen. Ook kan langdurige directe blootstelling aan de ingeblazen koele lucht (tocht) negatief uitwerken op het werkklimaat. Dit is bij de gesloten kas van Themato niet aangetoond, maar blijft een aandachtspunt tijdens de installatie.

Door minder ventilatie door de luchtramen verandert ook de luchtsamenstelling in de kas. Dit heeft niet alleen invloed op de planten (zie paragraaf 3.2), maar ook op de mensen. Voor veel voorkomende gassen

² Bron: [Raaphorst et.al, 2003]

³ Zie Tabel 4

zijn maximaal aanvaardbare concentraties (MAC-waarden) voor mensen opgesteld. Uit Tabel 3 blijkt dat voor de meeste gassen eerder schade bij planten optreedt dan bij mensen. Een uitzondering hierop is koolmonoxide (CO), waarvan de schadedrempel voor planten niet in de literatuur is gevonden. Het risico op koolmonoxide is in de biologische tuinbouw niet groter dan in de “gangbare” tuinbouw. Het kan voorkomen door onvolledige verbranding en kan dan bij CO₂-dosering in de kas terecht komen. Van methaan (CH₄) is geen MAC-waarde opgesteld, omdat van methaan het brand- en explosiegevaar hoger is dan de gezondheidsrisico's. Methaan ontstaat vooral bij anaërobe vergisting, zoals voorkomt bij natte rijstvelden. In de tuinbouw in de grond komt vergisting minder voor en wordt de emissie van methaan niet schadelijk geacht.

Tabel 3 - MAC-waarden en schadedrempels voor planten van verschillende stoffen.

stof	MAC-waarde (8 uur) [www.ser.nl]	Schadedrempel planten [Esmeijer, red. 1999] [Visser et.al., 2004]
	mg/m ³	mg/m ³
CO ₂	9000	4000
CO	29	?
NH ₄	14	0,150
C ₂ H ₄	330	0,009
NO ₂	4	0.192
NO	30	0,313
N ₂ O	152	0,075
H ₂ S	18	?

3.6.2 Gewasbescherming

In een volledig gesloten kas kunnen insecten en ziektekiemen moeilijk naar binnen komen. In een semi-gesloten kas is dit voordeel veel minder aanwezig. Ook indien insectengaas is aangebracht kunnen ziektekiemen niet worden tegengehouden. Toch kan ook een semi-gesloten kas voordelen bieden voor de beheersbaarheid van plagen en ziekten. Vooral het voorkomen van extreem hoge kastemperaturen en langdurig vochtige of droge perioden kunnen ziekten worden voorkomen en de biologische plaagbeheersing effectiever worden gemaakt. In de biologische teelt vindt geen chemische gewasbescherming plaats. Toch heeft ook het verminderen van biologische gewasbescherming een duurzaam effect.

Uit het teeltonderzoek bij *Themato* [Raaphorst, 2005] bleek dat de beheersing van witte vlieg en spint veel eenvoudiger was in de gesloten kas dan in de open kas. Dit werd enerzijds toegeschreven aan het feit dat de insecten moeilijk van buitenaf naar binnen konden. De beheersing van rupsen was echter lastiger.

Onduidelijk is, wat hiervan de oorzaak is geweest.

Zolang het gewas niet te lang nat slaat, krijgen Meeldauw en Botrytis minder kans om te ontkiemen. Indien met koeling een te lage RV kan worden voorkomen, wordt bovendien de verspreiding van meeldauwsporen tegengegaan. Het creëren van een gelijkmatige RV in een (semi-) gesloten kas staat of valt met een goede horizontale en verticale temperatuurverdeling. Hiermee dient in het ontwerp en bij de installatie rekening te worden gehouden. Ook moet worden voorkomen dat in de buurt van de warmtewisselaar koude en natte plekken ontstaan.

3.6.3 Condenswater

Naast de in de volgende paragraaf berekende energiebesparing, geeft het hergebruiken van het condenswater milieuwinst doordat er minder gietwater hoeft te worden ingekocht. In Tabel 4 is de vochtafvoer voor verschillende situaties weergegeven. In systemen met een groot koelend vermogen wordt relatief meer vocht ($\pm 55\%$ latente warmte bij 500 Watt/m²) afgevoerd dan bij systemen met een laag koelend vermogen ($\pm 30\%$ latente warmte bij 50 Watt/m²). Bij de gesloten kas wordt volgens de berekeningen ruim 500 l/m².jaar afgevoerd, wat neerkomt op bijna 70% van de wateropname.

De kwaliteit van het condenswater kan zeer goed zijn. Hoewel bij de proef bij PPO te veel koper in het condenswater gevonden werd, was dit niet het geval bij het systeem van Themato. Verder bevat condenswater nauwelijks natrium (Na) en chloride (Cl) en daardoor zal bij het gebruik ervan minder drainage nodig zijn dan bij gebruik van leidingwater of bronwater. Bovendien vindt de oogst van condenswater vooral in de zomer plaats. Aangezien in de zomer ook de grootste waterbehoefte is, is voor dit condenswater minder opslagcapaciteit nodig dan voor regenwater.

De kosten van gietwater zijn erg laag ten opzichte van de energiekosten. Daarom worden de besparingen door het hergebruik van condenswater in de economische evaluatie (zie paragraaf 3.8) niet meegenomen.

3.7 Scenario's

De belangrijkste verschillen tussen een gesloten kas en een biologisch gesloten kas zijn:

- Meer vochtproductie via de bodem
- Luchtverversing is nodig om schadelijke gassen uit de mest af te voeren. In een normale biologische kas gebeurt dit door minimaal 1% luchtraamkier aan te houden. In een gesloten biologische kas zal dit gebeuren door verse lucht bij de luchtbehandelingskasten erbij te mengen. De kas komt hierdoor op overdruk waarmee de schadelijke gassen via de kieren worden afgevoerd. De ramen blijven dus gesloten. Aangezien de buitentemperatuur in de meeste gevallen lager is dan de kasluchttemperatuur, zal dit een extra koelend effect hebben en zal er minder warmte afgevoerd hoeven te worden. Echter, met de schadelijke gassen zal ook een deel van de CO₂ naar buiten stromen. Daarom moet het gebruik van buitenlucht in ieder geval overdag zo veel mogelijk worden beperkt.
- Voor de gesloten kas geldt dat een minimumbuis voor de activering van het klimaat niet nodig is aangezien er met geforceerde luchtbeweging wordt gewerkt. Indien de kas gesloten is wordt de minimumbuis daarom niet ingesteld. Voor de vergelijking is de situatie voor de referentiekas berekend zonder minimumbuis.

De overige uitgangspunten voor alle situaties zijn:

- Modern biologisch glastuinbouwbedrijf
- Warmtebuffer: 100 m³/ha
- Maximaal 130 kg gedoseerd. CO₂ per uur per hectare
- Energiescherm aanwezig (sluit alleen 's nachts bij buitentemperatuur onder de 4°C)
- De gehanteerde stooktemperatuur (Dag/Nacht) verloopt van 19/19 tot 18/16°C

Deze aspecten worden in de scenario-berekeningen meegenomen. De volgende situaties worden geanalyseerd:

1. Standaard kas met minimumbuis
- 1a. Standaard kas zonder minimumbuis
2. Volledig gesloten kas.
3. Gedurende de nacht wordt geventileerd op temperatuur en vocht.
4. Vocht wordt afgevoerd via de luchtramen.
5. Gesloten kas met een maximum koelvermogen van 50 Watt/m².

Voor de 6 hierboven beschreven situaties zijn klimaats-, energie- en productie-cijfers berekend. Deze berekeningen zijn bij situatie 2, 3 en 4 gedaan voor een koude bron temperatuur van 10°C en een maximaal debiet van 500 m³/ha uur, wat bij opwarming tot 19°C neerkomt op een koelvermogen van ruim 500 Watt/m² ((19 - 10)°C * 500 m³/h * 4200000 J/m³.K / 3600 sec/uur / 10000 m³/ha = 525 J/s.m²). Bij situatie 5 is gerekend met een beperkt koelvermogen van 50 Watt/m², waarbij de luchtramen pas worden gebruikt als de koeling tekortschiet. De koeling blijft wel draaien bij geopende ramen. Aan de hand van het gerealiseerde klimaat is voor alle situaties de productie vergeleken met de referentiesituatie.

In Tabel 4 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 4 - Klimaats-, energie- en productieberekeningen per m² kas voor 6 verschillende situaties.

Situatie	1	1a	2	3	4	5
Omschrijving	Standard met minimumbuis	Standard	Gesloten kas	Met ventilatie in de nacht	Vochtvoer via de ramen	Semi-gesloten (50 Watt/m ²)
Warmteverbruik [MJ]	1503	1228	1440	1396	1225	1332
Afgevoerde warmte [MJ]	-	-	2216	2146	1273	897
Maximale warmteonttrekking [W]			496	502	530	50
Afvoer vocht [kg]			516	502	263	115
Hoeveelheid CO ₂ dosering [kg]	39,7	28,2	15,1	15,1	27,9	23,4
CO ₂ niveau tijdens uren dat het licht is (setpoint 1000 ppm)	695	656	989	969	690	775
Maximale luchttemperatuur (°C)	32,5	32,5	31,7	31,7	28,8	30,4
Uren ramen open	5837	5534	0	1655	5600	2605
Productieverhoging (%)	1,4		19,5	17,0	3,0	4,5

3.7.1 Warmte

Om de verschillende situaties goed met elkaar te kunnen vergelijken wordt de kas verwarmd met het normale verwarmingssysteem. Het gebruiken van de minimumbuis heeft bij de normale kas een verhoogd verbruik van 8,7 m³ (275 MJ) per m² tot gevolg.

In de (semi-)gesloten kassen zal de verwarming (gedeeltelijk) via de luchtbehandelingskasten lopen, waarbij het warme water uit de aquifer in combinatie met een warmtepomp wordt gebruikt. Dit heeft tot gevolg dat de warmte welke bij de ontvochtiging wordt onttrokken aan de lucht via het verwarmingssysteem weer aan de lucht wordt teruggevoerd. Door deze teruggevoerde warmte is het warmtegebruik voor de (semi-)gesloten kas hoger dan voor de normale kas zonder minimum buis (1a). De hoeveelheid warmte nodig voor de verwarming van de kas is minder dan de hoeveelheid die wordt onttrokken aan de kas (1440/2216=65%). De koude bron heeft een vaste temperatuur van 10°C en het maximale debiet is ruim voldoende om de hoeveelheid warmte af te voeren volgens de ingestelde regeling.

3.7.2 CO₂

De hoeveelheid beschikbare CO₂ is bij alle situaties gerelateerd aan het warmteverbruik en de mate van warmtebuffering. Zo is bij situatie 1a minder CO₂ beschikbaar dan bij situatie 1, omdat er minder aardgas wordt verstoekt in verband met het niet aanhouden van een minimum buis. Bij de situaties 2, 3 en 4 is de hoeveelheid beschikbare CO₂ afhankelijk van in welke mate de afgevoerde warmte met behulp van een warmtepomp wordt hergebruikt. Hoe meer deze afgevoerde warmte wordt hergebruikt, hoe minder aardgas wordt verstoekt en hoe minder CO₂ beschikbaar komt. In de berekening is de hoeveelheid beschikbare CO₂ verondersteld op basis van geen hergebruik van de afgevoerde warmte. Omdat in de praktijk de warmte-oogst wel zal worden hergebruikt, wordt in de economische berekeningen (zie Tabel 5 en Tabel 6) daarom rekening gehouden met kosten voor zuivere⁴ CO₂ doordat bij energiebesparing minder CO₂ uit aardgas vrijkomt.

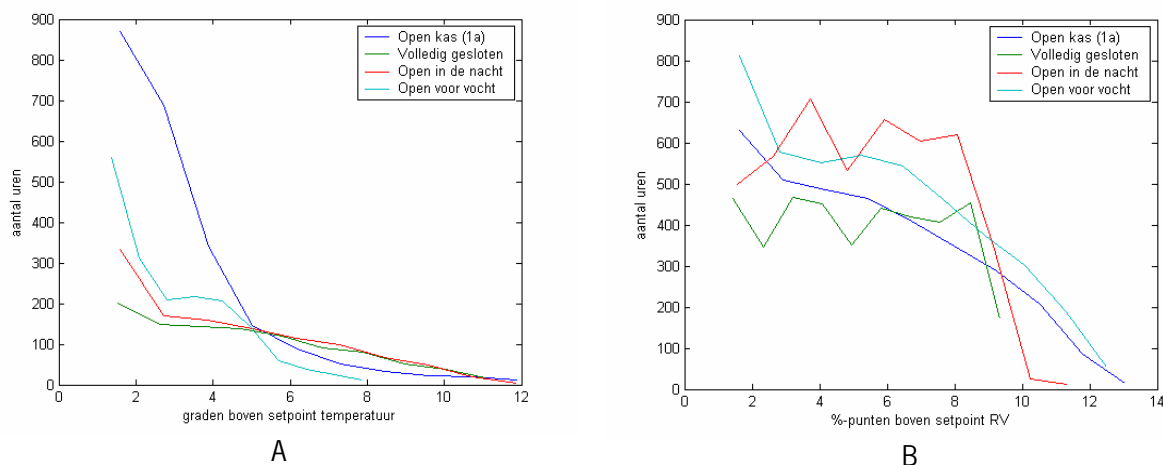
De hoeveelheid benodigde CO₂ is veel lager voor kassen waarbij weinig (1% raamstand) wordt geventileerd. Een deel van de gedoseerde CO₂, wordt opgenomen door het gewas en een ander deel gaat via lekventilatie naar buiten. In het geval dat het vocht en de warmte via de ramen wordt afgevoerd neemt de benodigde CO₂ dosering aanzienlijk toe omdat door de ventilatie overdag veel CO₂ verloren gaat.

⁴ Hoewel nog niet aan regels gebonden, is het gebruik van zuivere CO₂ alleen in de biologische teelt toegestaan als het een nevenproduct of restproduct is [Van Wees et.al. 1999].

3.7.3 Klimaat

Het ventileren in de nacht heeft geen nadelige gevolgen voor het klimaat. De hoeveelheid warmte die moet worden afgevoerd neemt wel iets af.

In de berekeningen is geen beveiliging voor de luchttemperatuur gebruikt (om bij temperatuuroverschrijding alsnog te gaan ventileren, ook overdag) omdat er voldoende koelcapaciteit beschikbaar is.



Figuur 3 - Hoeveel uren de luchttemperatuur boven het setpoint komt (A), en de relatieve luchtvochtigheid boven het setpoint komt (B) voor de verschillende situaties

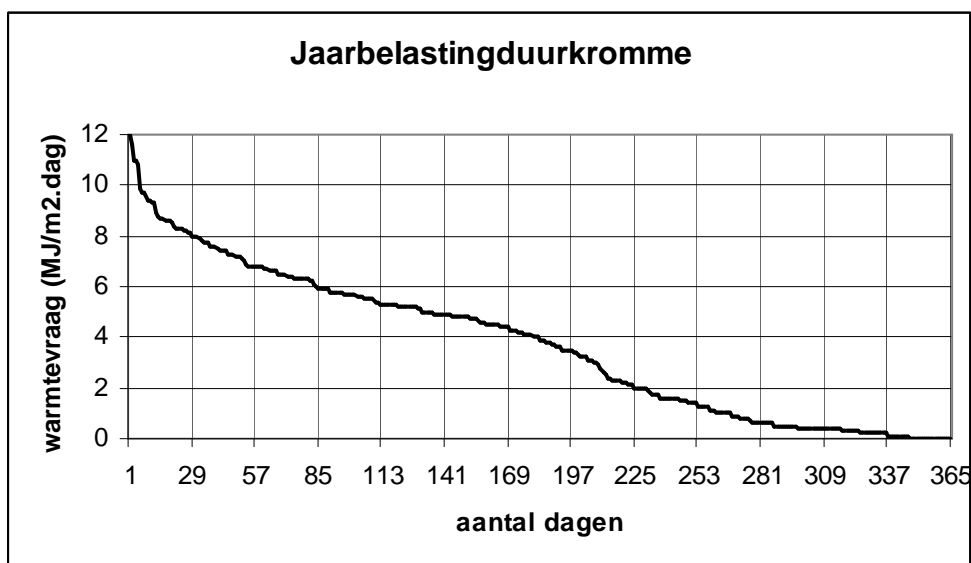
De gesloten kas en de kas die alleen in de nacht wordt geopend laten minder uren zien met een temperatuur net iets boven het setpoint. Dit verschil met de koeling met de ramen wordt voornamelijk veroorzaakt door de regeling. Het vermogen dat door de ramen wordt afgevoerd door deze te openen is minder groot dan via het koelsysteem. De luchtvochtigheid is in de kas die 's nachts geopend kan worden meer uren net iets boven het setpoint dan de volledig gesloten kas en de open kas. Dit komt omdat de open kas 's nachts meer moeite heeft het vochniveau in de hand te houden dan overdag. Daarnaast wordt overdag in de gesloten kas het vochniveau rond het setpoint gehouden waardoor er ook uren zijn dat dit setpoint wordt overschreden ten gevolge van de regeling. Indien de maximale capaciteit van de koeling wordt behaald worden de ramen gebruikt om de rest van de warmte af te voeren.

3.7.4 Productieverhoging

De berekende productieverhoging in de gekoelde kassen varieert van 3,0% voor de kas met vochtafvoer via de ramen, tot 19,5% voor de volledig gesloten kas (zie Tabel 4). Ook de standaard kas met gebruik van een minimum buis realiseert door een hogere beschikbaarheid van CO₂ een iets hogere productie. De berekende productieverhoging is gebaseerd op de verschillen in CO₂-niveau, temperatuur en luchtvochtigheid. Productieverhoging door een betere beheersing van ziekten en plagen is in deze berekeningen niet meegenomen.

3.8 Kosten en opbrengsten

De kosten van kaskoeling zijn afhankelijk van de uitvoering. Om de verschillende uitvoeringen met elkaar te vergelijken is een economisch model gemaakt. De rekenwijze van het model staan beschreven in Bijlage 1. Uit het model blijkt dat vooral het aantal draaiuren van de warmtepomp en de waarde van de geleverde warmte de belangrijkste rentabiliteitsfactoren van de gekoelde systemen zijn. Bij een hoog aantal draaiuren van de warmtepomp moet de geleverde warmte ook gedurende een hoog aantal uren worden afgezet. Bij een hoge bedrijfstijd is de waarde van warmte laag. In het gebruikte economische model is uitgegaan van de jaarbelastingduurkromme van de warmtevraag in een tomatenbedrijf in 2002 (representatief jaar) berekend met Pregas [Raaphorst, 1999].



Figuur 4 - Jaarbelastingduurkromme van de warmtevraag bij een standaard tomatenbedrijf in 2002.

Uit deze jaarbelastingduurkromme is bepaald dat een installatie met een vermogen van $12 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dag}$ ($=139 \text{ Watt/m}^2$) een bezettingspercentage heeft van 31% ofwel een bedrijfstijd van 2723 uur. Als de verwarmingsinstallatie hierop zou worden gedimensioneerd dan hoeven de met warmte beleverde (tomaten)bedrijven noch een andere verwarmingsinstallatie aan te schaffen noch een gascontract te sluiten en kan daardoor een hoge warmteprijs van ruim € 5,- per GJ ($\approx € 0,15$ per m^3 aardgas, uitgaande van $0,03 \text{ GJ/m}^3$ aardgas) worden bedongen.

Het belangrijkste voordeel van een hoog aantal draaiuren is, dat kan worden volstaan met een kleinere warmtepomp en WKK om de benodigde hoeveelheid koude en warmte te produceren. Doordat de warmte bij veel draaiuren niet altijd nuttig kan worden gebruikt (koude kan worden gebufferd in de aquifer, hoogwaardige warmte niet) heeft de geproduceerde warmte dan een lagere waarde.

In de volgende paragraaf worden twee berekeningen uitgewerkt

1. met 3000 draaiuren van de warmtepomp van een waarde van de intern gebruikte warmte van € 6,- per GJ en een waarde van de verkochte warmte van € 5,- per GJ;
2. met 6000 draaiuren van de warmtepomp van een waarde van de intern gebruikte warmte van € 5,- per GJ en een waarde van de verkochte warmte van € 2,50 per GJ.

De genoemde waardebepalingen voor warmte zijn gebaseerd op schattingen, uitgaande van de waarde van de commodity van aardgas en van de waarde van verwarmingscapaciteit. Een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten in het rekenmodel staan vermeld in Bijlage 2. Beide berekeningen hebben een gelijke warmte-afvoer, warmte-oogst, doublet-grootte, dagbuffergrootte en energiebesparing.

3.8.1 Laag aantal draaiuren

Uit Tabel 5 blijkt dat in alle situaties ongeveer 40% energie wordt bespaard. Echter, bij een laag aantal draaiuren van de warmtepomp en een hoge waarde van de geleverde warmte is geen van de situaties winstgevend. Bij situatie 4 (ventilatie gedurende de nacht) is het verlies het grootst doordat met een vrijwel gelijke capaciteit minder warmte wordt geogst en een minder hoge productie wordt gerealiseerd. Bij situatie 5 (50 Watt/m^2 koelvermogen) blijft het verlies beperkt en zou met andere uitgangspunten (langere afschrijvingstermijn of minder warmteverlies) wellicht winst kunnen worden gemaakt.

Verder blijkt situatie 1a (standaard kas) een beter resultaat te geven dan situatie 1 (standaard teelt met minimum buis). Dit komt doordat de energiebesparing hoger is dan de productiederving door lagere CO_2 -dosering. Hierbij is er wel van uitgegaan dat het wegnemen van de minimum buis niet leidt tot meer ziekten

in het gewas.

De benodigde investeringen voor de koelsystemen kunnen oplopen tot meer dan € 100,- per m², waardoor de jaarkosten van de investeringen de energiekosten overtreffen. Ook de inkoop van zuivere CO₂ is, zeker bij lage koelcapaciteiten, een niet onbelangrijke kostenpost.

Tabel 5 - Berekening van de winst bij 3000 draaiuren van de warmtepomp en een hoge waarde van geleverde warmte (getallen per m²)

Situatie		1	1a	2	3	4	5
Omschrijving		Standard met minirumbuis	Standard	Gesloten kas	Met ventilatie in de nacht	Vochtvoer via de ramen	Semi-gesloten (50 Watt/m ²)
Koelvermogen WP+bron	W			500	500	500	50
Hoeveelheid CO ₂ dosering	kg/jr	39,7	28,2	15,1	15,1	27,9	23,4
Productieverhoging klimaat	%	1,4		19,5	17,0	3,0	4,5
Productieverhoging gewasbescherming	%			5	5	5	5
Afgevoerde warmte	MJ/jr			2216	2146	1273	897
Benodigde warmte	MJ/jr	1503	1228	1440	1396	1225	1332
Koude naar aquifer	MJ/jr			1231	1192	707	498
Koelvermogen warmtepomp	W			205	199	118	83
Vermogen WKK	We			59	57	34	24
Gasverbruik WKK	m ³ /ha.uur			184	178	106	74
Thermisch vermogen WKK en WP	Wth			343	332	197	139
Warmte WKK en warmtepomp	MJ/jr			3705	3588	2128	1500
Hulpenergie	kWh/jr			24	24	14	10
Investering WP	€			27,59	26,72	15,85	11,17
Investering WKK+RGR	€			32,24	31,22	18,52	13,05
Investering luchtbehandeling en verdeling	€			35,00	35,00	35,00	7,00
Investering dagbuffer	€			2,14	2,14	2,14	0,21
Investering doublet	€			16,41	15,90	9,43	6,64
Totale investering	€			113,39	110,99	80,95	38,08
Jaarkosten investering	€/jr			17,58	17,20	12,55	5,90
Energiekosten WKK	€/jr			12,51	12,12	7,19	5,06
Kosten zuivere CO ₂	€/jr			1,51	1,51	2,79	2,34
Elektriciteitskosten hulpenergie	€/jr			1,71	1,66	0,98	0,69
Totale kosten	€/jr			33,31	32,49	23,51	14,00
Besparing warmtegebruik intern	€/jr	-1,65		7,37	7,37	7,37	7,37
Verkoop warmte aan open kas	€/jr			9,47	9,16	3,45	0,09
Meeropbrengst productie	€/jr	0,49		8,92	8,00	2,85	3,40
Totale opbrengsten	€/jr	-1,16		25,76	24,53	13,67	10,86
Winst/Verlies	€/jr	-1,16		-7,55	-7,96	-9,83	-3,14
Energiebesparing gekoelde kas	%			-52%	-47%	13%	39%
Te leveren warmte	MJ/ha.jr			1894	1833	690	18
Te beleveren open kassen	ha/ha			1,54	1,49	0,56	0,01
Energiebesparing totale oppervlakte	%			40%	41%	44%	39%

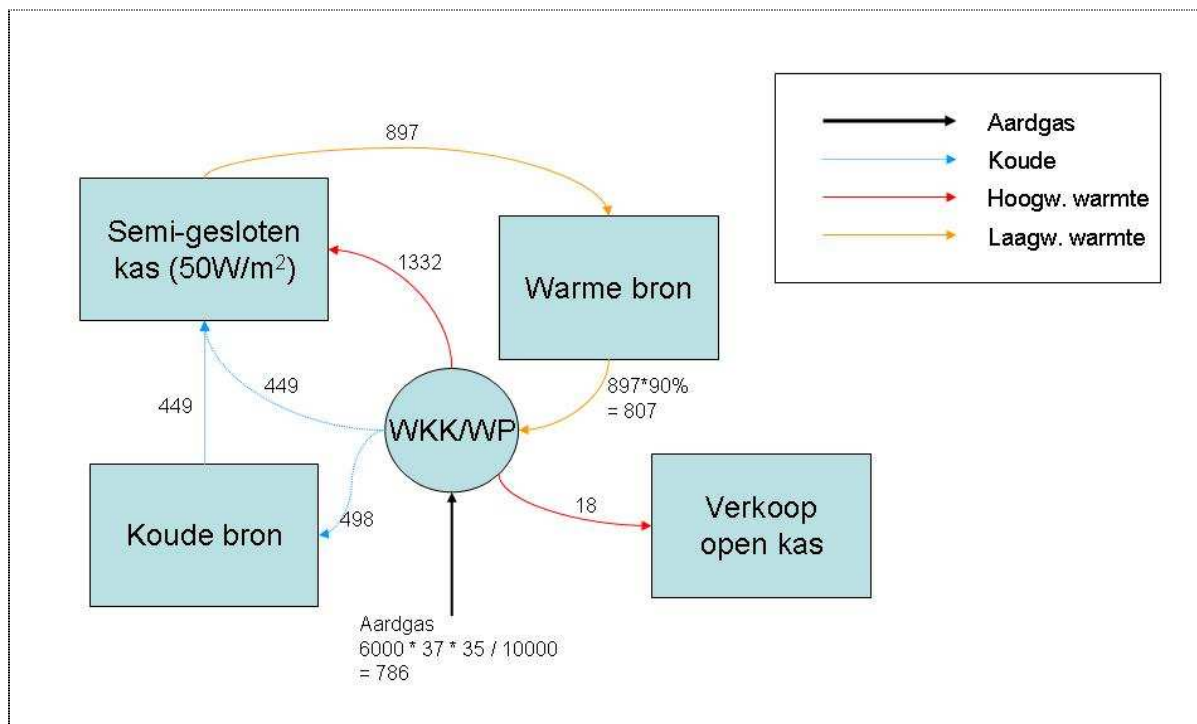
3.8.2 Hoog aantal draaiuren

In Tabel 6 zijn alleen de veranderde waarden ten opzichte van Tabel 5 en de financiële waarden weergegeven. Als wordt uitgegaan van een lage prijs voor de hergebruikte warmte lijkt alleen situatie 5 als koelsysteem perspectieven te bieden. Het maakt verlies ten opzichte van een standaard teelt zonder minimum buis, maar winst ten opzichte van een standaard teelt met minimum buis. Ook is het resultaat beter dan bij een hoge warmteprijs en een laag aantal draaiuren zoals in Tabel 5). Situatie 5 is dan ook nauwelijks afhankelijk van de prijs van de te leveren warmte, doordat het nauwelijks warmte levert (zie Figuur 5). Wel moet bij situatie 5 worden opgemerkt dat er extra kosten voor een verwarmingsketel en gasaansluiting zullen moeten worden gemaakt omdat het vermogen van de WKK en de WP (69 W/m²) niet voldoende is om op de koudste dagen voldoende warmte te leveren. Ook zal bij een hoog aantal draaiuren het gebruik van schermen en temperatuurintegratie interessanter worden, omdat dit de pieken in de warmtevraag kan afvlakken.

Aangezien gerekend is met een vaste COP is de berekende energiebesparing onafhankelijk van het aantal draaiuren van de warmtepomp.

Tabel 6 - Berekening van de winst bij 6000 draaiuren van de warmtepomp en een lage waarde van geleverde warmte (getallen per m²)

Situatie		1	1a	2	3	4	5
<i>Omschrijving</i>		<i>minimumbuis met standaard</i>	<i>standaard</i>	<i>Gesloten kas</i>	<i>Met ventilatie in de nacht</i>	<i>Vochtvoer via de ramen</i>	<i>Semi-gesloten (50 Watt/m²)</i>
Koelvermogen warmtepomp	W			103	99	59	42
Vermogen WKK	We			29	28	17	12
Gasverbruik WKK	m ³ /ha.uur			92	89	53	37
Thermisch vermogen WKK en WP	Wth			172	166	99	69
Investering WP	€			13,80	13,36	7,93	5,58
Investering WKK+RGR	€			16,12	15,61	9,26	6,53
Investering luchtbehandeling en verdeling	€			35,00	35,00	35,00	7,00
Investering dagbuffer	€			2,14	2,14	2,14	0,21
Investering doublet	€			16,41	15,90	9,43	6,64
Totale investering	€			83,48	82,01	63,76	25,97
Jaarkosten investering	€/jr			12,94	12,71	9,88	4,03
Energiekosten WKK	€/jr			10,95	10,60	6,29	4,43
Kosten zuivere CO ₂	€/jr			0,60	0,60	1,25	1,29
Elektriciteitskosten hulpenergie	€/jr			1,71	1,66	0,98	0,69
Totale kosten	€/jr			26,20	25,57	18,40	10,44
Besparing warmtegebruik intern	€/jr	-1,65		6,14	6,14	6,14	6,14
Verkoop warmte aan open kas	€/jr			4,74	4,58	1,73	0,04
Meeropbrengst productie	€/jr	0,49		8,92	8,00	2,85	3,40
Totale opbrengsten	€/jr	-1,16		19,79	18,72	10,72	9,59
Winst/Verlies	€/jr	-1,16		-6,41	-6,85	-7,68	-0,85



Figuur 5 - Weergave van de energiestromen bij de semi-gesloten kas volgens Tabel 6 (in MJ/m².jr)

3.8.3 Andere vruchtgroenten

Bij paprika en komkommer, naast tomaat de belangrijkste vruchtgroenten in Nederland, kan de rentabiliteit van gekoelde systemen afwijken van de beschreven situaties voor tomaat. Zo wordt bij tomaat minder geschermd en is het warmtegebruik hoger dan bij komkommer en paprika. Daardoor kan bij komkommer en paprika ook iets minder worden bespaard op het warmtegebruik. Ook kan het plaatsen van luchtslangen tussen het snelgroeende komkommengewas en het houtige paprikagewas lastiger zijn dan bij tomaat.

Anderzijds zouden paprika en komkommer meer productieverhoging uit kaskoeling kunnen realiseren dan tomaat. Bij paprika komt dat doordat bij kaskoeling minder hoeft te worden geschermd in de zomer en doordat een paprika beter gedijt onder vochtige omstandigheden. Bij komkommer kan de snelle reactie op een verhoogde CO₂-concentratie en een verhoogde RV tot meer productieverhoging leiden dan bij tomaat. Ook door de grote gevoeligheid voor vele ziekten en plagen kan komkommer meer baat hebben bij een beter geconditioneerd kasklimaat.

4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

4.1 Discussie

De haalbaarheid van gekoelde kassystemen in de biologische teelt is bepaald op basis van vele veronderstellingen. Hier worden enkele veronderstellingen ter discussie aangevoerd.

- Uit de simulaties van het kasklimaat blijkt de luchtvochtigheid ook met gekoelde systemen regelmatig boven het setpoint te komen. Dit kan zijn veroorzaakt doordat bij de simulaties nog niet de meest optimale regeling is gevonden. Aangezien in de gesloten kas van Themato de RV wel in de hand is gehouden is er voor de bedrijfseconomische haalbaarheid van uitgegaan dat in alle gekoelde situaties de RV geen probleem is.
- Er is nog niet gekwantificeerd in hoeverre kaskoeling en ontvochtiging leiden tot een verminderde behoefte aan (biologische) gewasbeschermingsmiddelen en tot reductie van uitval door ziekten en plagen. In de praktijk is gesproken over 20% productieverhoging door het voorkomen van misoogsten, maar in dit rapport is voorzichtigheidshalve uitgegaan van 5% productieverhoging voor alle gekoelde systemen, onafhankelijk van de uitvoering.
- Het gebruik van de ramen om vocht af te voeren, levert wel een hogere energiebesparing, maar is volgens de berekeningen minder rendabel dan het continu sluiten van de kas. Dit komt doordat met dit systeem het koelvermogen niet kan worden verlaagd terwijl de hoeveelheid geogoste warmte wel lager is dan in een gesloten kas. Dat met dit systeem relatief meer hoogwaardige warmte wordt geogst (om te koelen is per GJ minder koelwater nodig dan om te ontvochtigen) is in de berekeningen echter niet als voordeel meegenomen.
- De hoeveelheid benodigde CO₂ zal afnemen in gekoelde systemen. De hoeveelheid beschikbaar CO₂ neemt echter nog meer af. In het bedrijfseconomische rekenmodel is een schatting van de benodigde hoeveelheid zuivere CO₂ weergegeven. Aangezien er nog discussie bestaat over de toepassing van zuivere CO₂ in de biologische teelt is nog niet duidelijk in hoeverre dit in de toekomst mag worden gebruikt.
- De waarde van de warmte kan per situatie verschillend zijn. Bij een laag aantal bedrijfsuren is er van uitgegaan dat er geen aanvullende warmtelevering nodig is en is gerekend met een interne warmteprijs van € 6,- per GJ (€ 0,18 per m³ aardgas) en een iets lagere externe warmteprijs (€ 5,- per GJ). Bij 6000 bedrijfsuren kan de warmte niet altijd nuttig worden afgezet. Daarom is bij 6000 bedrijfsuren de waarde van de intern geleverde warmte verkleind tot € 5,- per GJ en de waarde van de warmteafzet gehalveerd tot € 2,50 per GJ. Deze uitgangspunten zijn echter afhankelijk van de afstand van de externe warmtelevering en de kosten die gemoeid zijn met het transport van de warmte. Een nadere analyse hiervan valt buiten het bereik van dit onderzoek.
- De afschrijvingstermijn voor het hele systeem is gesteld op 10 jaar en een onderhoudspercentage van 2%. Hoewel een doublet langer bruikbaar is en het onderhoud van de WKK al in de gasprijs is verdisconteerd, is hier uitgegaan van een voorzichtige benadering.
- De COP (coefficient of performance) voor de productie van koude van de warmtepomp is gesteld op 3,5. Dit getal moet naar boven of naar beneden worden bijgesteld, afhankelijk van de temperatuur van het ingaande en uitgaande water.
- De investeringsprijzen van de luchtverdelingssystemen zijn geschat en afhankelijk van de uitvoering.
- Subsidies zijn in de economische evaluatie buiten beschouwing gelaten.
- Voor de elektriciteitsopwekking is in dit rapport uitgegaan van een WKK. Voor de biologische teelt zou ook groene stroom een optie kunnen zijn in verband met het milieuvriendelijke aspect ervan. Hierbij wordt minder warmte geproduceerd, maar zal ook minder CO₂ beschikbaar komen. Hier wordt in dit rapport niet verder op ingegaan.

4.2 Conclusies

Met 50 Watt/m² koeling kan voldoende warmte worden geoogst om het eigen bedrijf in de warmtebehoefte te voorzien. Uitgaande van de lage kosten en de geringe transportkosten van warmte en een gelijke invloed op het biologische evenwicht, biedt een semi-gesloten kas betere economische perspectieven dan een volledig gesloten kas.

De belangrijkste milieuwinst van (semi)gesloten systemen zit in het hergebruik van de warmte-oogst. Indien 90% van de geoogste warmte kan worden hergebruikt leidt dit tot ± 40% besparing voor alle gekoelde systemen. Dit leidt wel tot een toename van de hoeveelheid benodigde zuivere CO₂, vooral in het met warmte beleverde bedrijf.

Aangezien de biologische gewassen altijd in de grond worden geteeld, lijkt een verdeelsysteem waarbij de luchtslangen een grotere diameter hebben dan 35 cm niet haalbaar. Hiermee wordt een volledig gesloten kas voor de biologische teelt technisch moeilijk realiseerbaar. Naast een systeem met dunnere slangen tussen het gewas, is een verdeelsysteem boven het gewas met ventilatoren zonder luchtslangen een alternatief. Een nadeel hierbij is de schaduwwerking. Over de temperatuurverdeling van dit systeem zijn geen metingen bekend. Ook kan kasdekkoeling in een semi-gesloten kas worden toegepast. FiWiHeX-warmtewisselaars zijn in een bodemgebonden teelt door hun grote volume helemaal niet in te passen.

In verband met de gasemissies uit organische bemesting is een 100% gesloten kas voor de biologische teelt niet mogelijk. Verversing van de kaslucht met (eventueel geconditioneerde) buitenlucht zal altijd nodig zijn.

Bij volledig gesloten systemen kan ruim 500 liter water per m².jaar worden onttrokken en opgeslagen voor eventueel hergebruik. Uitgaande van een wateropname van 750 liter/m².jaar, voorziet het condenswater bij een gesloten teelt voor bijna 70% in de wateropname. Bij semi-gesloten teelten is dit percentage lager.

Als alleen wordt gekeken naar de CO₂-effect leidt vermindering van het gebruik van de minimum buis een kleine productiederving die ruimschoots wordt gecompenseerd door de energiebesparing.

De hoeveelheid CO₂ die in de kaslucht terecht komt door gasemissies vanuit organische bemesting, is met maximaal 1,5 kg/m².jaar zeer klein ten opzichte van de gebruikelijke jaarlijkse actieve CO₂-dosering van ±40 kg/m².jaar.

De arbeidsomstandigheden doen in een gekoeld kassysteem niet onder voor een standaard kas. Bij een juiste installatie kunnen, door een koeler klimaat in de zomer, de arbeidsomstandigheden juist prettiger zijn. Wel vereist het door ventilatoren geproduceerde geluid aandacht bij de installatie van de gekoelde systemen.

De organische afvalstroom in de glastuinbouw kan door biomassavergisting hooguit voor 0,72% in de benodigde energiebehoefte voorzien. Indien rekening wordt gehouden met 50% energiebesparing door warmte-oogst kan dit nog steeds slechts 1,4% worden. Hergebruik van het organische afvalstroom kan wel 18% besparing op het nutriëntengebruik geven.

Volgens de gehanteerde uitgangspunten zijn de gekoelde kassystemen niet rendabel. Van belang is de waarde van de te leveren warmte. Indien de warmte niet nuttig aan andere kassen kan worden geleverd, kunnen alleen de systemen met een laag koelvermogen (semi-gesloten) rendabel. Bij een warmteprijs van meer dan 6 €/GJ zullen alle gekoelde systemen van 6000 draaiuren per jaar rendabel zijn. Dit komt neer op een gasprijs van ruim € 0,18 per m³.

Een hoog aantal draaiuren van de warmtepomp geeft een lagere investeringsbehoefte. Het zal een uitdaging zijn om een hoog aantal draaiuren te realiseren met een goede afvlakking van de warmtevraag. Schermen en temperatuurintegratie kunnen hierbij helpen, maar bij 6000 draaiuren van de warmtepomp en

bij een koelvermogen van 50 Watt/m² zal bij een thermisch vermogen van 69 Watt/m² regelmatig aanvullende warmte nodig zijn. Indien hierdoor de waarde van de interne warmtelevering met 17% daalt van € 6,- naar € 5,- per GJ dan is 6000 draaiuren nog steeds interessanter dan 3000 draaiuren.

Of de rentabiliteit van gekoelde systemen bij andere vruchtgroentegewassen afwijkt van die bij tomaat hangt vooral af van de mate waarin deze gewassen reageren op geconditioneerde omstandigheden. Hiervoor zijn nog geen onderzoeksresultaten bekend.

4.3 Aanbevelingen

Aangezien systemen met een laag koelvermogen minder investering vergen, beter in te passen zijn en in de in dit rapport genoemde situaties ook rendabel zijn, dient hier vooral de aandacht op te worden gevestigd.

Veel van de gestelde conclusies zijn niet specifiek voor de biologische teelt en kunnen ook worden gebruikt in de geïntegreerde teelt. Het gebruikte bedrijfseconomische rekenmodel is onafhankelijk van de teeltwijze, mits de juiste parameters bekend zijn.

Gemeten moet nog worden in hoeverre een gelijkmatige temperatuurverdeling door de verschillende luchtverdeelsystemen (met of zonder luchtslangen) kan worden gerealiseerd.

In dit rapport wordt op basis van een teelt bij *Themato* verondersteld dat het gebruik van (biologische) gewasbeschermingsmiddelen in gekoelde systemen zal afnemen. Om te weten of en in welke mate dit ook geldt voor semi-gesloten systemen zijn praktijkproeven aan te bevelen.

Aangezien in de biologische teelt met wisselteelten wordt gewerkt, dient een gekoelde kas voor de biologische teelt ook voor andere gewassen dan tomaat rendabel te zijn. Praktijkonderzoek voor komkommer en paprika is nodig om hier meer inzicht in te krijgen.

Een nadere analyse van de waarde van warmte voor de glastuinbouw als functie van het aantal draaiuren van de warmtepomp kan een nauwkeuriger inzicht geven van de te behalen rentabiliteit van de gekoelde systemen.

Omdat met warmte-opslag de behoefte aan aardgas sterk vermindert, verlaagt ook het CO₂-aanbod. Om productiederving te vermijden moet de mogelijkheid open worden gehouden om ook zuivere CO₂ in de biologische toe te passen.

Literatuur

Campen, J.B., H.F. de Zwart (2004) Multifunctioneel gebruik van een tuinbouwkas met kelder. Voorstudie naar technisch en economisch perspectief. Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen.
[http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/68BBA6EB6EA11985C1256F90004E8FAA/\\$File/EindrapportKoudwaterkelder.pdf](http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/68BBA6EB6EA11985C1256F90004E8FAA/$File/EindrapportKoudwaterkelder.pdf)

Esmeijer, Marleen (red). (1999) CO₂ in de glastuinbouw. Brochure. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.

Raaphorst, M, L. Nijs, W. Voogt en M. Schepman-Haaring (2003) Quick Scan emissies. PPO Glastuinbouw, Naaldwijk. Intern rapport

Raaphorst, Marcel (2005) Optimale teelt in de gesloten kas. Teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004. PPO Glastuinbouw, Naaldwijk.

Raaphorst, M.G.M. (1999) Documentatie van het PBG rekenmodel gasverbruik. Proefstation voor Bloemisterij en glasgroente, Naaldwijk. Intern verslag 200.

Visser, Pieter de, Ton Gorissen en Wolter van der Zweerde (2004) Gasemissies na toediening van organische meststoffen in de glastuinbouw. Plant research international, Wageningen.
http://www.syscope.nl/upload/project_alinea_555.pdf

Wees, A. van der, J. Lenferink (1999) Discussienota Biologische Glastuinbouw. Informatie- en Kenniscentrum landbouw, Ede.

Zwart, H.F. de, E.G.O.N. Jansen, H. Loeffen (2002) Kaskoeling en aquiferlading door middel van een dakbevoeiingssysteem. Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen. Rapport 082.
[http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/2951471313AA674EC1256E5800357BE9/\\$File/Rapportdakbevoeiingnieuw.pdf](http://www.tuinbouw.nl/website/ptcontent.nsf/vwAllOnID/2951471313AA674EC1256E5800357BE9/$File/Rapportdakbevoeiingnieuw.pdf)

Bijlage 1: Rekenwijze economisch rekenmodel

Rekenwijze van het rekenmodel waarvan de resultaten zijn getoond in Tabel 5 en Tabel 6 van dit rapport. De gebruikte uitgangspunten (zie Bijlage 2) zijn cursief gedrukt.

- Koelvermogen, CO₂-dosering, productieverhoging, afgevoerde warmte en benodigde warmte zijn gebaseerd op de gegevens uit Tabel 4 van dit rapport.
- De hoeveelheid koude die naar de aquifer moet worden gepompt is bepaald door de afgevoerde warmte, het *rendement van de aquifer* (90%) en het deel dat niet direct door de warmtepomp of de dagbuffers wordt gekoeld (*aandeel aquifer koeling* (50%)).
- De warmtepomp (WP) is gedimensioneerd om in het gestelde aantal *draaiuren WP* (3000 of 6000 uur) in de jaarlijkse koelbehoefte te voorzien.
- De WKK is gedimensioneerd om de warmtepomp van elektriciteit te voorzien bij een gestelde *COP* (3,5) en gesteld *elektrisch rendement van de WKK* (37%).
- Het gasverbruik van de WKK is berekend op basis het elektrisch vermogen en het *elektrisch rendement van de WKK*.
- De hoeveelheid warmte die door de WKK en de warmtepompen wordt gegenereerd, is bepaald door het aantal *draaiuren van de WP* en de *COP* van de warmtepomp en van de *rendementen van de WKK* (37% elektrisch en 50% thermisch)
- De benodigde hulpenergie voor het verdelen van de koude en het pompen van water van en naar de aquifer is recht evenredig met de afgevoerde warmte.
- De investeringen in de warmtepomp en de WKK zijn recht evenredig met de vermogens.
- De investeringen in de luchtbehandelingen en verdeling zijn geschat.
- De investering in de dagbuffer is recht evenredig met het koelvermogen.
- De investering in het doublet is gebaseerd op het *aantal draaiuren van de koude aquifer* (2500 uur) en de hoeveelheid koude die naar de aquifer moet worden gepompt.
- De jaarkosten van de investeringen zijn bepaald met een gelijk *afschrijvingspercentage*, *onderhoudspercentage* en *rentepercentage* (10, 2 en 3,5%)
- De energiekosten van de WKK zijn gebaseerd op het vermogen WKK, het *aantal draaiuren WP* en de *gasprijs* (onderhoudskosten van de WKK zijn in de gasprijs verrekend) en de *capaciteitskosten* (170 €/m³/uur) van de gasaansluiting voor de WKK
- De verbruik van zuivere CO₂ is gebaseerd op de CO₂-behoefte, het gasverbruik van de WKK en het aantal *draaiuren WP*. Bij het aantal draaiuren is gerekend dat de WKK en de warmtepomp zo min mogelijk op warme dagen kunnen draaien en dus ook niet op de dagen met de meeste CO₂-behoefte. De kosten van zuivere CO₂ is het product van het verbruik en de *CO₂-prijs* (0,08 €/kg).
- De elektriciteitskosten van de hulpenergie zijn recht evenredig met het verbruik en de *elektriciteitsprijs* van 0,07 €/kWh.
- De interne besparing van het warmtegebruik is, aangezien overal de gehele warmtebehoefte kan worden gedekt met hergebruikte warmte, gelijk aan het warmteverbruik van de referentie tegen de *interne warmteprijs* van 5-6 €/GJ.
- De verkoop van warmte aan derden is gebaseerd op de warmte die niet intern kan worden benut, tegen een *externe warmteprijs* (2,5 - 5 €/GJ). Het percentage geogste warmte dat kan worden benut (*benutte warmte*) is ingesteld op 90%.
- De meeropbrengst van de productie is recht evenredig met de productiestijging en gebaseerd op de *omzet minus de afzetkosten* van een standaard tomatenteelt van 35,- €/m².jaar.
- De winst of het verlies is het verschil tussen de totale kosten en de totale opbrengsten.
- De energiebesparing van de gekoelde kas is het energieverbruik van de WKK plus de benodigde hulpenergie ten opzichte van het energieverbruik van de standaard kas.
- De te belevaren open kassen is de het aantal hectare kassen dat door 1 hectare gekoelde kassen van warmte kan worden voorzien.
- De energiebesparing van de totale oppervlakte is de energiebesparing indien alle warmte uit de gekoelde kassen wordt benut in de gekoelde kas en de te belevaren open kassen (rekening houdend met de *benutting warmte*).

Bijlage 2: Uitgangspunten economisch rekenmodel

	<i>Tabel 5</i>	<i>Tabel 6</i>	
Draaiuren WP	3000	6000	
Draaiuren koeling aquifer	2500	2500	
COPkoude WP	3.5	3.5	
aandeel aquifer koeling	50%	50%	
rendement aquifer	90%	90%	
Rendement WKKe	37%	37%	
Rendement WKKth	50%	50%	
Afschrijving	10%	10%	
Onderhoud	2%	2%	
Rente	3.5%	3.5%	
Benutting warmte	90%	90%	
Gasprijs WKK	0.17	0.17	€/m3
Capaciteitskosten WKK	170	170	€/m3/h
Warmteprijs intern	6	5	€/GJ
Warmteprijs extern	5	2,5	€/GJ
Elektriciteitsprijs	0.07	0.07	€/kWh
CO2-prijs	0.08	0.08	€/kg
Benutting gas uit ketel voor CO2	40%	40%	
Warmtegebruik standaard	1228	1228	MJ/m2
Omzet - afzetkosten	35	35	€/m2