



Energiezuiniger systeem voor het reguleren van de bodemtemperatuur bij Freesia

Caroline Labrie, Marcel Raaphorst



© 2010 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

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting		5
1	Inleiding	7
	1.1 Probleemstelling	7
	1.2 Doelstelling	7
2	Fase 1: inventarisatie en berekeningen	9
	2.1 Werkwijze	9
	2.2 Resultaten inventarisatie	9
	2.2.1 Alternatieve concepten voor bodemkoeling	9
	2.2.2 Resultaten interviews met telers	12
	2.2.3 Conceptkeuze	13
	2.3 Energieberekeningen bodemkoeling	13
	2.3.1 Gebruik warmtepomp en vergroten koude-overdragend oppervlak (concept 1 en 2)	13
	2.3.2 Toepassingen warmtepomp	14
	2.3.3 Energieverbruik per jaar	17
	2.3.4 Energiebesparing met een ondiepe teeltlaag (concept 3)	18
	2.3.5 Conclusies energieberekeningen	18
	2.4 Uniformiteit bodemtemperatuur	19
	2.4.1 Berekende uniformiteit	19
	2.4.2 Gemeten uniformiteit in de praktijk	20
	2.5 Rentabiliteit	21
	2.6 Discussie fase 1	23
	2.7 Conclusies fase 1	24
3	Fase 2: kasproef	25
	3.1 Werkwijze	25
	3.2 Resultaten	26
	3.2.1 Bodemtemperatuur	26
	3.2.1.1 Uniformiteit bodemtemperatuur	26
	3.2.1.2 Realisatie streeftemperatuur	27
	3.2.2 Gerealiseerde energiebesparing	31
	3.2.2.1 Productie van warmte en koude	31
	3.2.3 Uniformiteit knopinductie	35
	3.2.4 Groei en ontwikkeling	37
	3.2.5 Uniformiteit productie	37

4	Discussie en aanbevelingen	39
4.1	Energiegebruik	39
4.2	Productie	39
4.3	Aanbevelingen	41
5	Conclusies	43
	Referenties	45
Bijlage I	Vragenlijst individuele interviews	47
Bijlage II	Proefindeling	49
Bijlage III	Klimaatinstellingen	51
Bijlage IV	Gewaswaarnemingen	53

Samenvatting

Bodemkoeling in de freesiateelt kost energie. In opdracht van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw is in het kader van kas als Energiebron onderzoek gedaan naar energiebesparingmogelijkheden. In overleg met telers zijn drie concepten opgesteld en doorgerekend om te bepalen of de bodemkoeling in Freesia energiezuiniger kan. Dit vormt de eerste fase van dit project. Op basis van de resultaten is in de tweede fase van dit project een kasproef uitgevoerd met Freesia, waarbij bodemkoeling met 4 en met 8 koelslangen met elkaar is vergeleken op het gebied van energiebesparing, uniformiteit van de bodemtemperatuur, knopvorming en productie. Deze kasproef is vervolgens ook in de winter uitgevoerd met bodemverwarming.

Fase 1. Inventarisatie:

Door het aantal koelslangen voor de bodemkoeling te verdubbelen van vier naar acht (concept 1), is een energiebesparing berekend van 1,6-3,7 kWh/m² jaar⁻¹. Dit geeft met een energiebesparing op de bodemkoeling van 16-27% en een verbetering van de uniformiteit van de bodemtemperatuur. Door de vergroting van het koude-uitwisselende oppervlak hoeft namelijk 3,75°C minder ver te worden teruggekoeld om eenzelfde bodemtemperatuur te bereiken.

Het verdubbelen van de diameter van de koelslangen (concept 2) is ook een manier om het koude-uitwisselende oppervlak te vergroten. Nadeel hiervan is dat ze zwaarder en stugger zijn in de verwerking. Verder blijkt dat een warmtepomp 1,3 tot 3,4 kWh/m².jaar meer elektriciteit vraagt dan een koelmachine, maar dat hier tegenover een forse besparing (± 6 m³/m².jaar) op het gasverbruik staat.

Teelt op een ondiepe teeltlaag (concept 3) leidt niet tot energiezuinigere bodemkoeling omdat niet zozeer het volume, maar vooral de isolatie bepalend is voor de energie die nodig is om de bodemtemperatuur op het gewenste niveau te houden. Wel is hier een forse energiebesparing te behalen doordat er minder volume gestoomd hoeft te worden. Indien wordt uitgegaan van een zandbed met een diepte van 20 cm, neemt het stoomverbruik af van de gebruikelijke 7 naar circa 2,2 m³/m² jaar⁻¹. Verder onderzoek zal nog uit moeten wijzen of de doordringing van de stoom in het bed hiermee toereikend is.

Uit de rentabiliteitsberekening blijkt dat voor alle doorgerekende concepten de energiebesparing met de huidige energieprijzen te laag is om alleen hiermee de benodigde meerinvestering terug te verdienen. Bij gelijkblijvende of lagere energieprijzen, zal de verbetering van de bestuurbaarheid en uniformiteit van de bodemtemperatuur dus een meeropbrengst moeten geven. Bij Freesia is de bodemtemperatuur gedurende de periode van knopontwikkeling van grote invloed op de productie en kwaliteit. De gemeten bodemtemperatuur varieert in het bed met circa twee graden over een breedte van 1,2 m. Dit terwijl in de praktijk geprobeerd wordt om te regelen op tienden graden nauwkeurig. De verbetering van de uniformiteit van de bodemtemperatuur maakt een betere sturing mogelijk. De nauwkeurige instelling kan dan voor een groter percentage planten daadwerkelijk worden gerealiseerd.

Van de drie doorgerekende concepten is besloten om het eerste concept mee te nemen naar de kasproef. Een verdubbeling van het aantal slangen biedt naast de energiebesparing ook het voordeel van een verbeterde uniformiteit. Deze is nodig om een potentiële meeropbrengst te kunnen realiseren, welke nodig is om het systeem rendabel te maken. Ook de optie van substraatbedden biedt potentie, maar deze wordt in een ander onderzoek met chrysant als pilotgewas onderzocht.

Fase 2. Kasproef:

Door verdubbeling van het aantal koelslangen voor de bodemkoeling van vier naar acht, is een elektriciteitsbesparing gerealiseerd in de zomerperiode van 6,2% bij een warmtepomp en 9,6% bij een koelmachine, door een koelwatertemperatuur van 9,3°C in vergelijking met 7,2°C. Bij een koelwatertemperatuur van 9,75°C en 6°C, is deze besparing 16% bij een koelmachine en 27% bij een warmtepomp. In de winterperiode is de energiebesparing met bodemverwarming nihil. Met 8 slangen met een koelwatertemperatuur van 9,3°C, is de gewenste bodemtemperatuur beter te realiseren dan met 4 slangen met een koelwatertemperatuur van 7,2°C. Dit biedt potentie voor een hogere koelwatertemperatuur bij 8 slangen met daarmee een hogere energiebesparing. Bodemkoeling of -verwarming met 8 slangen geeft een uniformere bodemtemperatuur dan 4 slangen. De uniformere bodemtemperatuur heeft tot een uniformere knopinductie, maar niet tot een uniformere productie geleid. De benodigde meerproductie van ca. 1% om rendabel te zijn bij de huidige energieprijzen, is in dit onderzoek niet gerealiseerd, mogelijk door de aanwezigheid van splijters welke een spreiding in de productie gaven.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

In diverse sierteeltgewassen in het beheersen van de bodemtemperatuur een belangrijk aspect in de teeltsturing. Enkele voorbeelden hiervan zijn Freesia, Alstroemeria en Amaryllis, waarbij veel energie nodig is voor bodemkoeling. Doordat op veel bedrijven bodemkoeling en bodemverwarming plaatsvindt met slechts enkele slangen per bed, wordt de temperatuur niet egaal verdeeld, wat negatieve gevolgen kan hebben voor de uniformiteit van het gewas (Wiel 1989). Bovendien moet voor de afgifte van voldoende warmte of koude gebruik worden gemaakt van hoge temperatuur warmte en lage temperatuur koude. Vooral de productie van lage temperatuur koude kost veel energie.

Enerzijds het besparen van energie en anderzijds het bereiken van een uniformere bodemtemperatuur zodat een betere teeltsturing mogelijk is, is dan ook wenselijk. Mogelijke belemmering voor toepassing is de economische haalbaarheid. De extra investering in een alternatief koel/verwarmingssysteem moet minimaal gecompenseerd worden door de kostenbesparing in energie en de teelttechnische winst door de uniformere bodemtemperatuur.

1.2 Doelstelling

Technische doelstellingen

- Het in kaart brengen van 1) de potentiële energiebesparing 2) de economische haalbaarheid van een verdubbeling van het aantal slangen en andere alternatieven voor koeling en verwarming van de bodem in de teelt van Freesia.

Energiedoelstellingen

- Reductie primair energieverbruik voor het beheersen van de bodemtemperatuur met 20% op een relatief eenvoudige manier. Dit is het gevolg van een afname in elektriciteitsverbruik voor de koelinstallatie. Tevens is ook het doel met hetzelfde systeem energie te besparen voor verwarming van de bodem.
- Betere benutting laagwaardige warmte en koude, welke de aanschaf van een warmtepomp met aquifers kan stimuleren.
- Door een uniformere bodemtemperatuur is meer gelijktijdige oogst mogelijk, waardoor de totale oogstduur kan worden verkort en met een productieverhoging per jaar de energie-efficiëntie wordt verbeterd.

Nevendoelstellingen

- Het bereiken van een uniformere en sneller te reguleren bodemtemperatuur waardoor teeltkundige voordelen behaald kunnen worden. Een meer gelijktijdige oogst verkort de totale oogstduur en kan daarmee de productie per m² per jaar verhogen. Daarnaast kan een uniformere en verhoogde kwaliteit van het eindproduct behaald worden.

Doelgroepen

- Doelgroepen zijn in eerste instantie Freesiateren onder glas (NL: 152 ha), maar ook andere gewassen waarbij bodemkoeling/-verwarming noodzakelijk is, zoals Alstroemeriatelers onder glas (NL: 70 ha) en telers van snij-amaryllis onder glas (NL: 80 ha).

.

2 Fase 1: inventarisatie en berekeningen

2.1 Werkwijze

In deze fase zijn het draagvlak en de implementeerbaarheid van aangepaste of alternatieve bodemkoel-/verwarmsystemen geïnventariseerd, om een selectie te kunnen maken van 1 à 2 concepten waar het meeste perspectief voor bestaat. De volgende punten zijn uitgevoerd:

- Korte rondetafeldiscussie tijdens landelijke commissie vergadering Freesia. Tijdens deze vergadering is tevens de klankbordgroep aangesteld.
- Een aantal brainstorm en discussiesessies met de klankbordgroep, bestaande uit vijf Freesiatelers en een teelt-voorlichter Freesia naar mogelijkheden voor energiezuinigere bodemkoeling. Hierna zijn deze telers nog telefonisch benaderd voor nieuwe ideeën.
- Uitgebreid bilateraal overleg met vier telers (vragenlijst bijlage I). Hierbij zijn de telers individueel bezocht. Deze telers zijn geselecteerd in overleg met de klankbordgroep. De selectie bestond uit innovatieve telers die zich de laatste jaren meer dan gemiddeld hebben verdiept in het bodemkoelsysteem.
- Op twee bedrijven met verschillende bodemtypes is de bodemtemperatuurverdeling en het vochtgehalte gemeten. Deze is gemeten door een meetlint overdwars over het bed te leggen en vervolgens met een W.E.T.-sensor iedere twee cm een meting te doen. Op een bed van 1,20 m waren dit 60 metingen in de breedte. Deze reeks is uitgevoerd in het midden van het bed (in de lengte) en ook vier meter vanaf de aanvoer en retour van de koelslangen.
- Overleg met toeleveranciers over nieuwe combinaties of toepassingen van bestaande technieken.
- Uitwerken en analyseren resultaten van de inventarisatie.
- Berekenen van energiebesparing en economische rentabiliteit van de belangrijkste concepten die uit de inventarisatie naar voren zijn gekomen. Deze energiebesparing is berekend aan de hand van een modelberekening, waarbij de gegevens uit de gesprekken met telers als input zijn gebruikt. Voor het bepalen van de economische rentabiliteit is gebruik gemaakt van gegevens uit KWIN 2008 en overleg met toeleveranciers.

2.2 Resultaten inventarisatie

2.2.1 Alternatieve concepten voor bodemkoeling

Er is een aantal brainstormsessies gehouden met een klankbordgroep bestaande uit Freesiatelers en een Freesia voorlichter. Tijdens deze sessies is gebrainstormd en gediscussieerd over mogelijkheden om energie te besparen op de bodemkoeling.

Concept 1: Verdubbelen van het aantal koelslangen

Over het concept om het aantal koelslangen te verdubbelen zoals al in het projectvoorstel is omschreven, zijn de meningen verschillend, maar gemiddeld positief.

Voordeel: Energiebesparing en verhoging van de uniformiteit van de bodemtemperatuur rondom de knol.

Nadeel: Praktische toepasbaarheid. Vanwege het inbrengen en uittrekken van de slangen. De huidige plantmachine zal iets aangepast moeten worden. Volgens de machinebouwer is deze aanpassing wel te maken (Van der Poel, 2009). Er zijn telers die zes slangen gebruiken, welke ze infrezen. Hun ervaring is dat deze methode praktisch goed werkt. Uittrekken van de slangen wordt volgens een aantal telers handmatig te zwaar, maar andere telers gebruiken hiervoor al een trekker en vormt dit geen probleem.

Voor de alternatieve concepten zijn tijdens de brainstorm een aantal suggesties naar voren gebracht. Na deze brainstorm zijn de leden enige tijd later als aanvulling nog een keer telefonisch benaderd om aanvullende suggesties te geven. Ook is contact geweest met de programmacoördinatoren. Hieronder zijn de suggesties beschreven die naar voren zijn gekomen met de bijbehorende voor- en nadelen:

Suggesties andere concepten:

- Koelslangen met een grotere diameter
 - Voordeel: vergroting van het koude-overdragend oppervlak in vergelijking met slangen met een kleinere diameter. Geen extra slangen per bed.
 - Nadeel: praktisch minder eenvoudig dan standaard slangen omdat ze stugger en zwaarder zijn. Ook is de wand van slangen met een grote diameter dikker, omdat er meer stevigheid is vereist.
- Koelslangen met een dunnere wand
 - Voordeel: systeem blijft verder hetzelfde, waardoor infreesmachine niet aangepast hoeft te worden. De afgifte is met een dunne wand eenvoudiger, waardoor de koelwatertemperatuur iets hoger zou kunnen zijn. Dit gaat echter waarschijnlijk maar om tienden van graden waardoor de energiebesparing maar zeer beperkt is.
 - Nadeel: een dunnere wand gaat ten koste van de stevigheid (lekage of afknelling) van de slang, tenzij met duurdere materialen wordt gewerkt.
- Teelt op mobiel teeltsysteem op substraat
 - Voordeel: veel kleiner teeltvolume waardoor energie te besparen is met stomen. In Freesia omvat stomen 35% van de energiekosten. Per tak is ook energie te besparen, vanwege de potentiële meerproductie vanwege verbeterde stuurbaarheid van watergift en bemesting en betere ruimtebenutting. De vaste energiekosten kunnen zo over meer takken verdeeld worden. Bijkomend voordeel is de beperking van emissie naar het milieu. Er zijn goede ervaringen met teelt van Freesia op perlite in bedden. Er hoefde daarbij minder gestoomd te worden.
 - Nadeel: energiebesparing met de bodemkoeling is waarschijnlijk niet aanwezig, omdat er door de zijanten van het systeem juist meer contact is met de kaslucht. Goede isolatie is hiervoor noodzakelijk. Het kleinere teeltvolume geeft alleen enige energiebesparing bij het eenmalig sterk terug laten zakken van de temperatuur. Indien de grond eenmaal teruggekoeld is, is alleen energie-input nodig om het koude of warmte verlies naar de omgeving te compenseren. Het teeltvolume is hierbij niet meer bepalend. Dit in stand houden van de gewenste temperatuur gedurende het jaar kost de meeste energie. Ander nadeel is dat de aanschaf een grote investering vereist en het is nog niet bekend of deze rendabel is. Meer kennis over teelt van Freesia op substraat is vereist om meerproductie te kunnen behalen.
- Vaste substraatbedden
 - Voordeel: kleiner teeltvolume waardoor energie te besparen is met stomen. Net als bij teelt op mobiel substraat zijn verschillende teeltmedia mogelijk. Er is waarschijnlijk minder energieverlies via de zijanten van het systeem dan bij substraat, omdat de bodem fungeert als isolator. Bijkomend voordeel is ook hier de beperking van emissie naar het milieu en mogelijk is ook een meerproductie te realiseren vanwege betere stuurbaarheid van watergift en bemesting. Momenteel wordt met chrysant als pilotgewas onderzocht hoe een dergelijk systeem het beste gerealiseerd kan worden.
 - Nadeel: Energiebesparing met de bodemkoeling in vergelijking met de grondteelt is waarschijnlijk niet aanwezig als het volume eenmaal teruggekoeld is. Aanleg vereist een investering in grondverzet en folie en deze is alleen rendabel als het via lagere variabele kosten (energie) of meerproductie terug te verdienen is. Als de structuur afneemt, kan de vochthuishouding in de kleinere teeltlaag kritiek worden. Belangrijk hiervoor is dat er een substraat wordt gekozen waarvan de structuur goed blijft. Door het folie kunnen er geen pathogenen meer vanuit de niet gestoomde diepere lagen omhoog komen, wat in de grondteelt nog mogelijk is. Meer kennis over teelt van Freesia op vaste substraatbedden is nodig om te kunnen bepalen of het rendabel is.

- Teelt op water
 - Voordeel: hogere energie-efficiency door betere ruimtebenutting. Mogelijke verbetering productie en kwaliteit door betere stuurmogelijkheden vanwege zeer kleine buffer (alleen de plant zelf).
 - Nadeel: Hoge investering vereist. Grote aanpassingen in automatisering van o.a. planten en rooien vereist. Risico's ziekteverspreiding en zeer kleine vochtbuffer. Er is relatief veel recirculatiewater dat waarschijnlijk ontsmet moet te worden. Energiekosten van de bodemkoeling zijn afhankelijk van systeem.
- Koelen met kanaalplaten in plaats van slangen
 - Voordeel: groot oppervlak om met kleine temperatuurverschillen koude gelijkmatig over te brengen, wat ten goede komt aan de uniformiteit van de bodemtemperatuur. Kanaalplaten zoals het rootco systeem zijn stoombaar en overrijdbaar.
 - Nadeel: hoge aanschafkosten. De kosten van rootco kanaalplaten zijn € 5,- per strekkende meter (0,15 cm breed). Indien er vier kanaalplaten per bed worden gebruikt, komt dit alleen voor materiaal op € 17- per netto m² en volvelds op € 33 per netto m². Het voordeel ten opzichte van de gebruikelijke koelslangen is te gering om deze extra kosten te kunnen compenseren. Deze meerkosten moeten terugverdiend worden met energiebesparing, een betere uniformiteit en minder arbeid. Het is niet de verwachting dat dit toereikend is. Bij aanleg is veel arbeid vereist om de platen neer te leggen. Bij teeltwisseling mag de frees de platen niet raken. Bij teelt op substraat zijn de platen beter toepasbaar, omdat dan geen grondbewerking nodig is. Hierbij moet isolatie aan de zijanten mogelijk zijn, zodat er geen koude of warmte wordt verloren naar het pad tussen de bedden.
- Selectief koelen bij het groeipunt, waarbij de knollen in een soort koelnet van het rootco-systeem liggen en in de kasgrond wortelen.
 - Voordeel: de koeling vindt precies daar plaats waar het nodig is met de ingestelde temperatuur. Rooien is vergelijkbaar met de bollenteelt, waarbij met een bollennet wordt gerooid. De teelt is verder standaard in de kasgrond.
 - Nadeel: het ontwerpen van een mal voor een koelnet en plantmachines die zo precies kunnen planten is zeer kostbaar, waardoor veel afzet nodig is om de kosten per eenheid te drukken. Het areaal Freesia is te klein om dit op korte termijn te kunnen realiseren.
- Koude lucht de drain in blazen
 - Voordeel: drainage systeem is al aanwezig op 70-80 cm diepte
 - Nadeel: lucht draagt veel moeilijker koude over dan water, waardoor meer het koudetransport meer energie vraagt en de reactie van sturing veel trager is.
- Goedkope elektriciteit in daluren gebruiken om te besparen op kosten van energie. In daluren goedkope elektriciteit gebruiken om buffer te verwarmen. Deze hoogwaardige warmte gebruiken om via de absorptiemachine te koelen.
 - Voordeel: besparing energiekosten
 - Nadeel: geeft geen absolute energiebesparing, doordat er bij iedere omzetting van energie verlies optreedt. Zo is een absorptiemachine nog niet efficiënt en bovendien duur om aan te schaffen. Het is energetisch dan beter om in daluren de koelmachine te laten draaien en de koude op te slaan in een koude buffer zoals de bodem (ondiep), zodat deze de volgende dagen gebruikt kan worden. Er is dan wel een grotere koelmachine nodig.

- Beter isolerend afdek materiaal
 Voordeel: verbeteren van de isolatie geeft energiebesparing
 Nadeel: beperkte beschikbaarheid van materialen die beter isoleren dan styromull. Als materiaal is styromull al een zeer goede isolator. De witte kleur van styromull zorgt tevens voor een goede reflectie van zonnestraling. De dikte van de laag en daarmee ook de netheid van uitstrooien is van groot belang voor de isolerende werking. De energiebesparing moet de extra kosten van betere isolatie compenseren. Er zou onderzocht kunnen worden of er beter isolerende materialen zijn die in de teelt van freesia praktisch toegepast kunnen worden.
- Koelen en stomen met de WKK:
 Voordeel: Rendement van de WKK is hoger doordat de rookgassen en overtollige warmte (vooral zomers) gebruikt kan worden om te stomen en via een absorptiemachine om mee te koelen. Terugverdiend tijd verkort door elektriciteit te verkopen.
 Nadeel: investering in WKK en absorptiekoeler vereist. Absorptiekoeler is nog niet efficiënt.

2.2.2 Resultaten interviews met telers

Er zijn vier telers bezocht waarbij vragen zijn gesteld over hun manier van bodemkoelen, zoals het type koelsysteem dat wordt gebruikt, het bodemnet, setpoints en isolatie (vragenlijst Bijlage I). Twee van respondenten telen op lichte zavel, een op zware zavel en een op zanderig tot vrij zware grond.

Koelsysteem en bodemnet

Het systeem dat het meeste wordt toegepast in de Freesiateelt is een koelmachine. Van de 129 Freesia bedrijven (CBS, 2008) zijn er vijf die een warmtepomp hebben. Van de vier respondenten hadden drie telers een warmtepomp met aquifer. De koelvermogens van de warmtepomp of koelmachine zijn berekend op het koelen van (bijna) de gehele tuin en bij sommigen op meer vanwege mogelijke areaaluitbreiding. Gemiddeld was dit vermogen rond de 350 kW per ha. De bodemtemperatuur wordt geregeld met kleppen die gestuurd worden op een bodemtemperatuursensor. Het aantal bedden per aansluiting varieert van 6 tot 12. Met zes bedden en vier slangen (twee lussen) zijn dit 12 aanvoer en 12 retourslangen die via een semileiding zijn aangesloten op de hoofdleiding. De diameter van de slangen varieert van 20 tot 25 mm. De diepte van de slangen varieert van 4 tot 7 cm diep. Allen werken met vier koelslangen per 1,20 m bed (paadje 40 cm) en 8 knollen per regel. Dus twee knollen per slang per regel. De knol wordt strak tot 2 cm naast de slang geplant zodat de bovenkant van de knol in het algemeen net onder de slang is geplaatst. Sinds twee jaar is het ook machinaal mogelijk om in plaats van 5 cm naast de slang, nu strak naast de slang te planten (Van der Poel, 2009). Daar is het groeipunt aanwezig waar de koeling voor nodig is.

Setpoints

De watertemperatuur om te koelen varieert per teler. Deze gaat met 5 tot 9°C het bodemnet in en komt met 8 tot 11°C het bodemnet weer uit. De eerste twee weken na plantdatum is de streef temperatuur van de bodem 17°C. De warmte die door het stomen in de grond is gekomen moet er dan uit worden gekoeld. Vlak voor de knopaanleg totdat de hoofdtak en de haken goed ontwikkeld zijn is de streef temperatuur 15-15,5°C. Dit is een periode van ongeveer 10 à 12 weken. Daarna wordt de bodemtemperatuur meestal op 17°C gehouden omdat er bij hogere temperaturen meer problemen met *Fusarium* kunnen ontstaan. Per teelt moet de bodemtemperatuur dus gedurende 10 tot 12 weken 15-15,5°C zijn. De rest van de ca. 25 weken durende teelt volstaat de natuurlijke bodemtemperatuur. De periode dat de bodemtemperatuur op 15-15,5°C wordt gehouden is gedurende een kleine helft van de teelt. Er vinden in Freesia ongeveer 2,1 teelten plaats per jaar. Er wordt het gehele jaar door geplant. Dus maar ongeveer de helft van de teelten die in de kas staan hoeven zomers gekoeld of 's winters verwarmd te worden. Vanaf eind maart tot begin oktober (27 weken) vindt bodemkoeling plaats om deze 15-15,5°C te realiseren in de teelten waar de knop gevormd moet worden. Van half oktober tot half maart (22 weken) is dit bodemverwarming. In het voorjaar en najaar is gedurende een paar weken de natuurlijke bodemtemperatuur 15-15,5°C en is nauwelijks koeling of verwarming nodig.

Isolatie

Als isolatiemateriaal waarmee de bodem wordt afgedekt, wordt zaagsel met daarop styromull gebruikt. De dikte van de laag zaagsel varieert per bedrijf van 0,5 tot 3 cm en van de laag styromull van net bedekt tot ruim één cm. In het voor- en najaar wordt door een van de telers de helft gestrooid van de hoeveelheid die in de zomer en winter wordt gestrooid.

2.2.3 Conceptkeuze

Op basis van de conceptideeën die naar voren zijn gekomen is samen met de klankbordgroep een keuze gemaakt welke concepten verder doorgerekend worden. Zoals al in het projectvoorstel is vermeld, is als eerste concept het verdubbelen van het aantal koelslangen (1) doorgerekend in combinatie met een koelmachine en in combinatie met een warmtepomp. Als tweede concept is het vergroten van de diameter van de koelslangen (2) gekozen. Als derde concept is gekozen om het energieverbruik en de aanlegkosten van vaste substraatbedden (3) te berekenen.

Deze keuze is gebaseerd op een afweging tussen energiebesparing, verbetering van de uniformiteit, praktische haalbaarheid en investeringskosten.

2.3 Energieberekeningen bodemkoeling

2.3.1 Gebruik warmtepomp en vergroten koude-overdragend oppervlak (concept 1 en 2)

Bij bodemkoeling in Freesia is veelal een aanvoertemperatuur tussen 5 en 9°C nodig, waarbij dit koelwater bij een temperatuur tussen 8 en 11°C retour komt (resultaten inventarisatie). Deze retourtemperatuur is erg laag om als warmte-oogst in een aquifer te worden teruggepompt.

Hiervoor kan een vergroot aantal koelslangen een uitkomst bieden. Door het vergroten van het koude-overdragend oppervlak kan met een hogere aanvoertemperatuur en een hogere retourtemperatuur worden gewerkt. Bij een verdubbeling van het aantal koelslangen (concept 1) verdubbelt het koude-overdragend oppervlak. Hierdoor halveert het benodigde verschil tussen de gemiddelde grondslangtemperatuur en de bodemtemperatuur. Om een bodemtemperatuur te realiseren van 15°C, hoeft het koelwater vanwege het grotere koude-uitwisselend oppervlak dus minder koud te zijn. In onderstaande tabel (Tabel 1.) is een rekenvoorbeeld gegeven. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde koelwatertemperatuur van 6°C bij het gebruik van 4 slangen per bed. De retourtemperatuur is dan gemiddeld 9°C. De gemiddelde watertemperatuur in de slangen is het gemiddelde van de aan- en afvoer temperatuur. $(6+9)/2 = 7,5$. Het verschil van deze slangtemperatuur t.o.v. de gewenste bodemtemperatuur is $15-7,5 = 7,5$ °C. Bij verdubbeling van het oppervlak van de slang, kan dit verschil dus worden gehalveerd. De helft van het verschil van 7,5°C is 3,75°C. Om een bodemtemperatuur te realiseren van 15°C, is door de verdubbeling van het oppervlak een koelwatertemperatuur nodig van gemiddeld $15-3,75 = 11,25$ °C. Dus een aanvoertemperatuur van 9,75 °C en een retour van 12,75°C.

Tabel 1. Voorbeeld koelwatertemperatuur bij een grondtemperatuur van 15°C

	Aanvoer-temperatuur (°C)	Retour-temperatuur (°C)	Gemiddeld verschil bodem-grond-slang
4 slangen/bed	6	9	$15-(6+9)/2 = 7,5$
8 slangen/bed	9,75	12,75	$15-(9,75+12,75)/2 = 3,75$

In de winter worden de grondslangen ook wel gebruikt voor verwarming. Bij meer slangen in de bodem zal ook de verwarming efficiënter kunnen worden uitgevoerd. Vanwege de vergroting van het warmte-overdragend oppervlak, hoeft het water in de slang namelijk minder ver opgewarmd te worden om eenzelfde bodemtemperatuur te realiseren.

Naast een verbeterde temperatuurverdeling in de grond kan de warmtepomp veel efficiënter draaien. De koelwatertemperatuur hoeft namelijk $3,75^{\circ}\text{C}$ minder te worden afgekoeld en de retourwatertemperatuur is $3,75^{\circ}\text{C}$ hoger. Hoe hoog de energiebesparing in de praktijk uitvalt hangt af van de wijze waarop de warmtepomp wordt gebruikt.

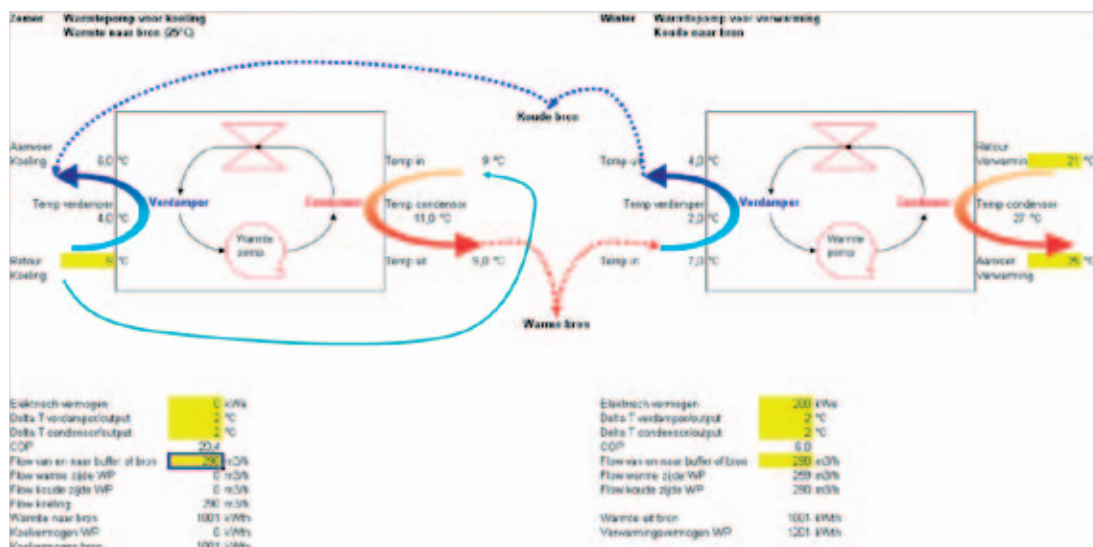
Indien niet het aantal, maar de diameter van de slangen wordt vergroot is het energetisch principe hetzelfde. Op deze manier wordt namelijk ook het koude-overdragend oppervlak vergroot. Bij een slangdiameter van 32 mm in plaats van 25 mm, is het koude-overdragend oppervlak 33% groter. Om ongeveer eenzelfde energiebesparing te bereiken als met een verdubbeling van het aantal slangen, zal dus ook de diameter minstens verdubbeld moeten worden. In plaats van een diameter van 25 mm, zal dan een slang van 50 mm moeten worden gebruikt. Deze koude-afgifte zal wel trager zijn, omdat er relatief meer inhoud is ten opzichte van het warmte-uitwisselend oppervlak. Een slang met een diameter van 25 mm heeft een oppervlak van $2\pi \cdot 12,5 = 79 \text{ mm}^2$ en een inhoud van $\pi \cdot 12,5^2 = 491 \text{ mm}^3$ per mm lengte. Een slang met een diameter van 50 mm heeft een omtrek van $2\pi \cdot 25 = 157 \text{ mm}$ en een inhoud van $\pi \cdot 25^2 = 1963 \text{ mm}^2$ per mm lengte. Een slang met een dubbele diameter heeft een dubbel koude-uitwisselend oppervlak ($491/79$), maar een vier keer zo grote inhoud ($1963/157$). Wat de koude-afgifte nog iets trager maakt is dat een slang met een diameter van 50 mm een wanddikte van 4,5 mm nodig heeft om stevig genoeg te zijn. Bij een slang met een diameter van 32 mm geeft een wanddikte van 2 mm al voldoende stevigheid. Met een dunnere wand vindt gemakkelijker koude-uitwisseling plaats, waardoor de koelwatertemperatuur enkele tienden van graden verhoogd zou kunnen worden. Deze extra besparing hiervan is echter zeer klein.

Als de koelwatertemperatuur gelijk zou blijven, maakt de diameter of het aantal slangen voor de hoeveelheid water die rondgepompt moet worden niet uit. Het gaat tenslotte om de energieoverdracht per tijdseenheid. In een dikke slang zit er weliswaar meer water in het systeem, maar dit water mag langzamer stromen dan bij dunne slangen om dezelfde hoeveelheid energie per tijdseenheid over te brengen. Omdat echter de watertemperatuur wordt verhoogd om energie te besparen, moet de stroomsnelheid niet lager worden. Er moet dan dus meer water per tijdseenheid worden rondgepompt om eenzelfde hoeveelheid energie over te brengen. Het energieverbruik van de waterpomp zal hierdoor iets stijgen, maar dit is vele malen minder dan de energiebesparing die bij de koelmachine of warmtepomp wordt bespaard.

2.3.2 Toepassingen warmtepomp

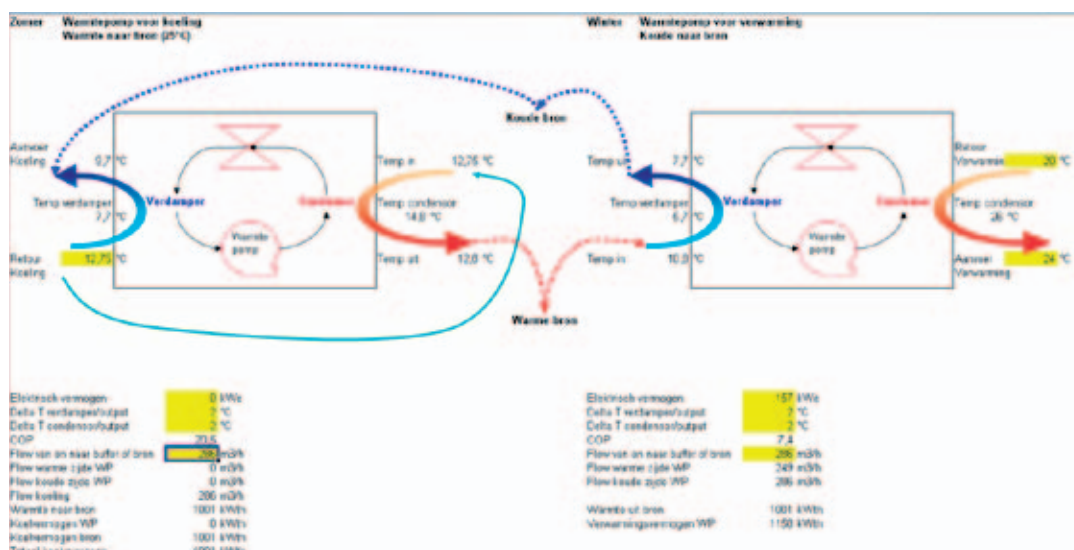
De meest energiezuinige toepassing van een warmtepomp is door hem alleen te gebruiken op de momenten dat warmte nodig is. Wanneer alleen koude nodig is, zou alleen gebruik mogen worden gemaakt van de koude bronnen die in de winter door de warmtepomp zijn afgekoeld.

Dit wordt uitgebeeld in onderstaande grafiek. Deze is gebaseerd op een rekenmodel in Excel. De uitgangspunten hiervan zijn weergegeven onderin de figuur. In de zomer staat de warmtepomp uit. Koelwater van 6°C wordt uit de koude bron opgepompt en het retourwater van 9°C gaat naar de warme bron. Door rendementsverliezen van warmtewisselaars en de aquifer zal het water in de warme bron 2°C afkoelen en in de koude bron 2°C opwarmen. In de winter wordt het water uit de warme bron dan opgepompt met een temperatuur van 7°C en in een warmtepomp afgekoeld tot 4°C . In de warmtepomp wordt door afkoeling van het koelwater het verwarmingswater weer opgewarmd (in dit geval tot 25°C) met een verwarmingsvermogen van $\pm 1200 \text{ kW}_{\text{th}}$ bij een elektrisch vermogen van 200 kW_e . Het koelvermogen in de zomer ligt op $\pm 1000 \text{ kW}_{\text{th}}$.



Figuur 1.

Als de koelwatertemperatuur 3,5 °C hoger is en de verwarmingswatertemperatuur 1 °C lager is dan is 21% minder elektriciteit (157 kW_e) nodig voor hetzelfde koelvermogen omdat de COP van de warmtepomp verbetert.

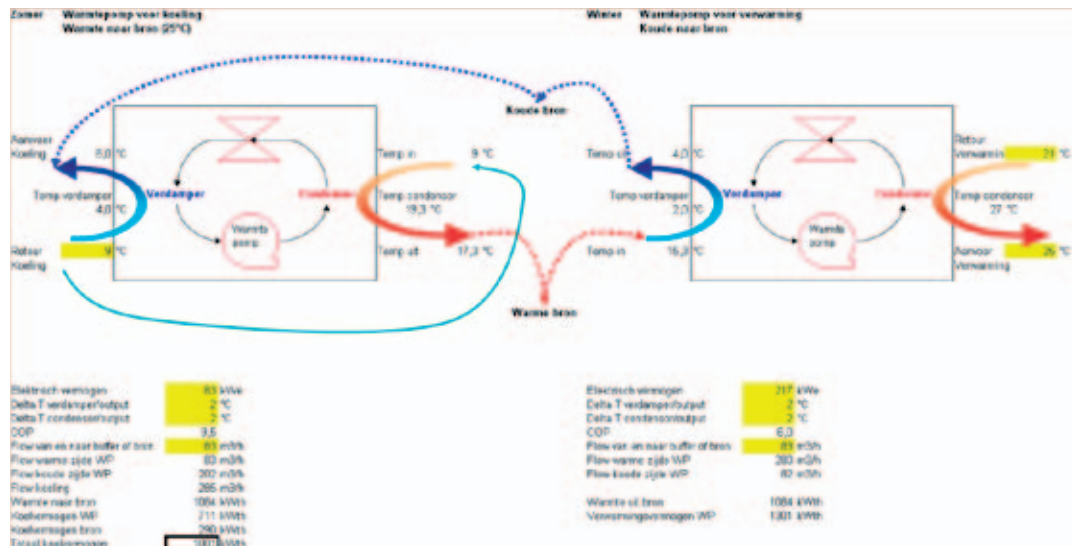


Figuur 2.

Aangezien de gemiddelde temperatuur in een aquifer rond 12°C ligt zullen bovenstaande voorbeelden in de praktijk niet voorkomen omdat met een retourwatertemperatuur van 9 of 12,75 °C de warme bron niet of nauwelijks worden opgewarmd.

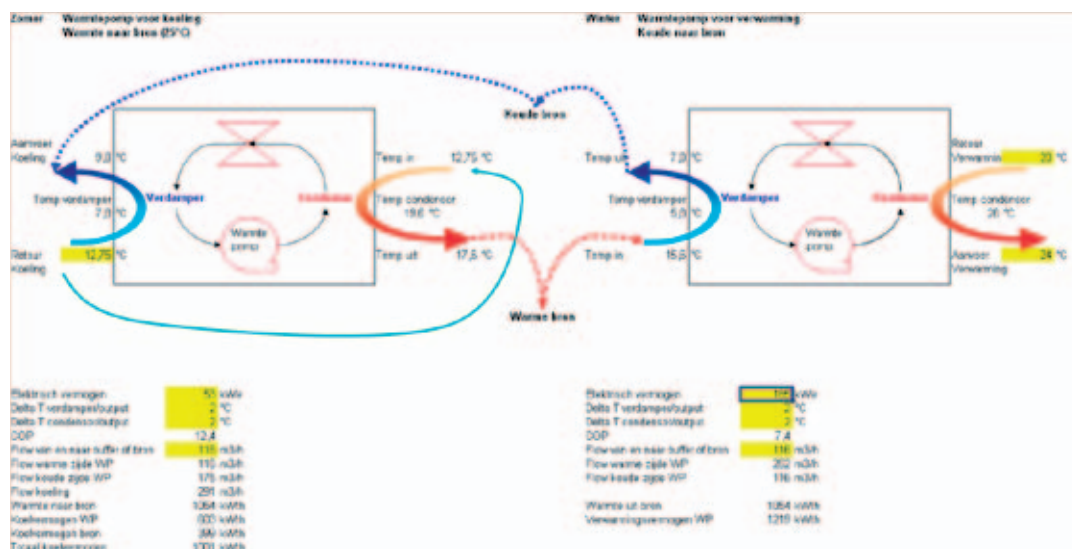
De meest energiezuinige toepassing van een warmtepomp is door deze alleen te gebruiken op momenten dat warmte nodig is. Bij toepassing van een warmtepomp met aquifer voor bodemkoeling zal de warmtepomp ook in de zomer moeten draaien om water met een voldoende hoge temperatuur naar de warme bron te kunnen pompen. Dit gaat ten koste van de efficiëntie van het systeem.

In de praktijk wordt daarom de warmtepomp toch ook in de zomer gebruikt zodat het water naar de warme bron een acceptabele temperatuur krijgt. Dit is uitgebeeld in onderstaande figuur, waarbij de warmtepomp het water naar de warme bron tot 17,5°C verwarmt. Om een gelijk koelvermogen te houden moet de warmtepomp wel meer vermogen leveren (83 kW_e in de zomer en 217 kW_e in de winter. De bronpompen hoeven echter veel minder hard te draaien (83 tov 290 m³/h). Dit komt omdat in de zomer voor koeling ook gebruik wordt gemaakt van het koelwater uit de warmtepomp en omdat in de winter veel warmer water uit de warme bron kan worden opgepompt. Het totale verwarmingsvermogen wordt hierdoor ook iets groter (1301 tov 1201 kW_{th}).



Figuur 3.

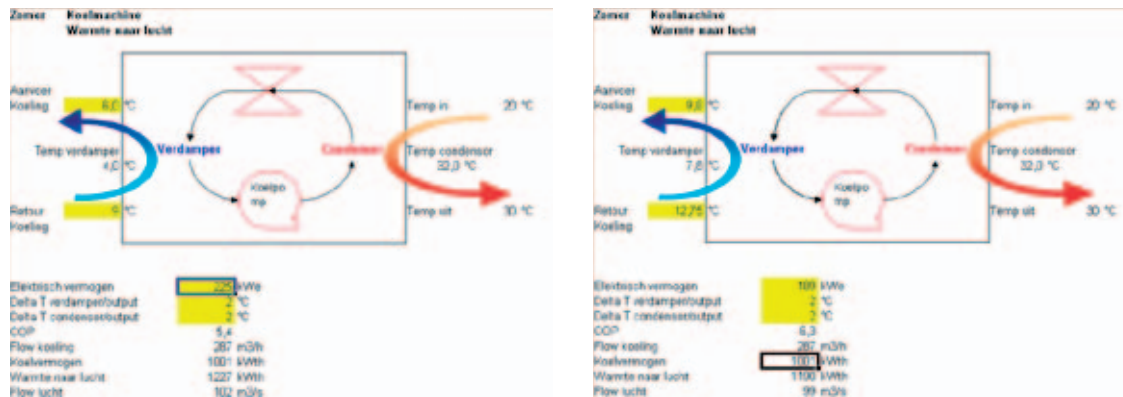
Als de koelwatertemperatuur 3,75°C hoger mag zijn dan geeft dat een belangrijk voordeel omdat de warmtepomp in de winter minder ver weg hoeft te koelen. Als daarbij in de winter ook met 1°C lagere slangtemperatuur de grondverwarming kan worden gebruikt geeft dit nog meer energiebesparing. Hierdoor stijgt de COP in de winter van 6,0 naar 7,4 (zie figuur). Om toch genoeg warmte op te nemen is wel meer “flow” uit de warme bron nodig (116 tov 83 m³/h). Het benodigde elektrische vermogen daalt van 83+217=300 naar 53+165=218 kW_e. Dit is een besparing van 27% op de elektriciteitsvraag van de warmtepomp. Ondanks dit lage elektriciteitsverbruik wordt hierbij slechts 9% (1219 tov 1301 kW_{th}) minder warmte geproduceerd.



Figuur 4.

Toepassing van alleen een koelmachine

Bij een koelmachine wordt ervan uitgegaan dat de koelmachine met buitenlucht van 20°C wordt gekoeld, welke tot 30°C wordt opgewarmd. Bij een koelwatertemperatuur van 6,0 °C is een COP van 5,4 te realiseren. Voor de benodigde 1001 kWh koelvermogen is dan 225 kW_e elektrisch vermogen nodig. Dit is ongeveer 25% minder dan bij gebruik van een warmtepomp, maar een koelmachine geeft geen bruikbare warmte af.



Figuur 5.

2.3.3 Energieverbruik per jaar

Als ervan wordt uitgegaan dat een Freesiabedrijf jaarlijks 30 kWh_{th} voor bodemkoeling en 130 kWh_{th} (= 15 m³ ae) voor verwarming nodig heeft, kan voor verschillende situaties worden berekend wat het totale energieverbruik is (Tabel 2.).

Tabel 2.

Apparaat	koel-temp.	zomer	winter	el.vraag	Besparing elektra	Warmte-productie	Besparing ¹ tov koelmachine bij 6°C
	°C	kWe	kWe	kWh/m²	tov 6°C	m³ ae/m²	m³ ae/m²
Warmtepomp	6	0	200	9,0		6,1	6,35
Warmtepomp	9,75	0	157	7,1	22%	5,9	6,58
Warmtepomp	6	83	217	13,5		6,7	5,93
Warmtepomp	9,75	53	165	9,8	27%	6,2	6,27
Koelmachine	6	225	0	10,1		0,0	(referentie) 0,00
Koelmachine	9,75	189	0	8,5	16%	0,0	0,36

¹ Indien elektrisch rendement gascentrale 50%

Uit de tabel blijkt dat het gebruik van de warmtepomp in de zomer het totale elektriciteitsverbruik sterk verhoogt ten opzichte van het gebruik van de koelmachine in alleen de winter. Verder blijkt dat een warmtepomp 1,3 tot 3,4 kWh/m².jaar meer elektriciteit vraagt dan een koelmachine, maar dat hier tegenover een forse besparing (± 6 m³/m².jaar) op het gasverbruik staat. Ten slotte blijkt ook dat het verhogen van de aanvoertemperatuur met 3,75°C leidt tot 16-27% besparing op het elektriciteitsverbruik. In de laatste kolom is de totale besparing weergegeven ten opzichte van gebruik van een koelmachine met een koelwatertemperatuur van 6°C. Hierbij is de besparing op elektriciteit (omgerekend naar aardgas equivalenten: voor 1 kWh elektriciteit is in een centrale 0,23 m³ aardgas nodig) en de warmteproductie bij elkaar opgeteld.

2.3.4 Energiebesparing met een ondiepe teeltlaag (concept 3)

Stomen

In de Freesiateelt wordt gemiddeld $7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jaar}^{-1}$ gebruikt om te stomen. In de praktijk wordt tot ongeveer 40 cm diep gestoomd. Indien op een ondiepe laag wordt geteeld is minder energie nodig om te stomen. Als er wordt uitgegaan van een vast substraatbed met een diepte van 20 cm, welke is ingegraven waardoor de bodem als isolator werkt en daarmee vergelijkbaar is met de grondteelt, levert dit in theorie een besparing op van 50% op de stoomkosten. In de praktijk ligt dit minder eenvoudig. De besparing op stoomkosten is namelijk sterk afhankelijk van het type substraat en het vochtgehalte. Een luchtig substraat zoals kleikorrels is eenvoudiger te verhitten dan een vaster substraat zoals zand omdat de soortelijke warmte per m^3 lager is en omdat de stoom dieper doordringt. Een droog substraat is eenvoudiger te verhitten dan een vochtig substraat omdat het minder energie kost om lucht te verhitten dan om water te verhitten.

Een voorbeeldberekening: een ingegraven substraatbed van 20 cm diep met zand, welke wordt verhit naar 80°C . De soortelijke warmte van droog zand is ongeveer $1,4 \text{ MJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$. Dit betekent dat het opwarmen met 60°C ca. $84 \text{ MJ}/\text{m}^3$ kost. Hiervoor moet $2,8 \text{ m}^3$ aardgas worden verstoekt, ofwel $0,56 \text{ m}^3/\text{m}^2$ voor 20 cm zandbed. Nat zand zal echter al snel het dubbele vragen en komt dan op ruim $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Water verhitten kost meer energie dan het verhitten van zand. Voordeel van zand is dat het minder vocht bevat dan bijvoorbeeld veen. Wat nog wel onderzocht moet worden is of de stoom diep genoeg doordringt in nat zand. Voor een teelt als Freesia met twee teelten per jaar, zou het energiegebruik voor stomen op deze substraatbedden op ca. $2,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jaar}^{-1}$ komen. Als de stoom voldoende door zou dringen, zou dit ten opzichte van de gebruikelijke $7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ jaar}^{-1}$ een forse besparing betekenen. Oplossingsrichtingen om het bed gelijkmatig te ontsmetten zijn eventueel: magnetronontsmetten, stomen met onderbemaling, gebruik van andere substraten (bijv. kleikorrels) (Raaphorst en Van Weel, 2009). De genoemde besparingen zijn berekend op basis van simulaties. Om de werkelijke energiebesparing van een dergelijk systeem te kunnen bepalen zijn proeven vereist.

Bodemkoeling

Energiebesparing op bodemkoeling door de ondiepe teeltlaag geldt alleen indien de bodemtemperatuur in korte tijd moet stijgen of dalen. Als de teeltlaag eenmaal de gewenste temperatuur heeft, is het alleen de mate van isolatie en niet meer het volume van de teeltlaag die bepaald hoeveel energie er nodig is om de gewenste temperatuur te behouden. De energiebesparing op bodemkoeling vanwege een ondiepe teeltlaag is dus nihil.

2.3.5 Conclusies energieberekeningen

Door verdubbeling van het koude-overdragend oppervlak door gebruik van twee keer zo veel slangen of slangen met een dubbele diameter kan het verschil tussen de koelwatertemperatuur en de gewenste bodemtemperatuur worden gehalveerd. Uitgaande van een koelwatertemperatuur met een aanvoer van 6°C en een gewenste bodemtemperatuur van 15°C , kan door deze halvering de aanvoertemperatuur van het koelwater met $3,75^\circ\text{C}$ worden verhoogd. Dit geeft een hogere COP van de warmtepomp of eventueel de koelmachine. Hierdoor kan het elektriciteitsverbruik voor bodemkoeling met 1,5 - 3,5 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ worden verlaagd. Dit is een besparing op het elektriciteitsverbruik van de bodemkoeling met 16 tot 27%.

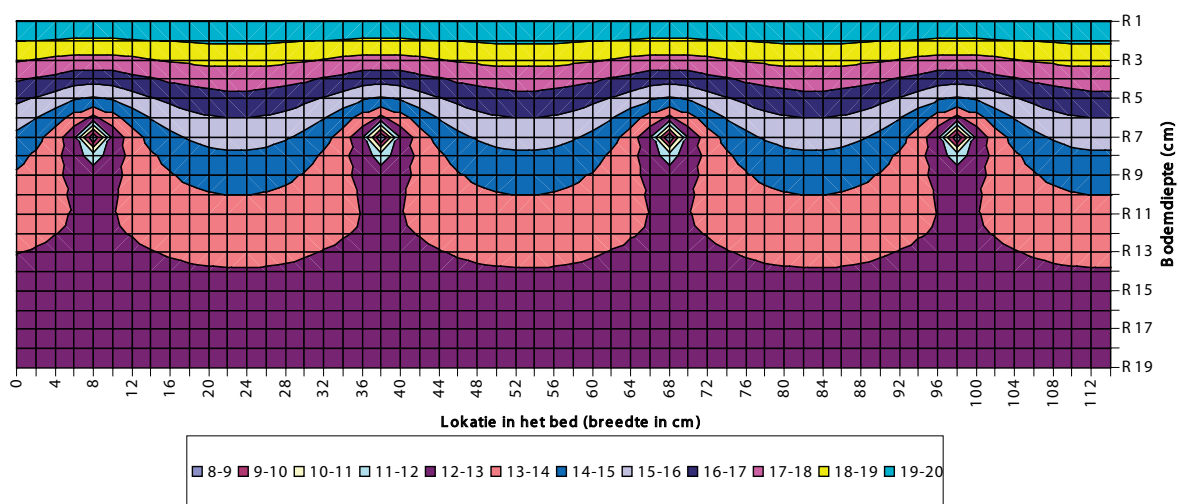
Een warmtepomp gebruikt voor bodemkoeling meer elektriciteit dan een koelmachine maar doordat bij een warmtepomp de warmte wordt benut, bespaart dit bij een gemiddeld Freesiabedrijf $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgas voor de verwarming in de winter.

Een ondiepe teeltlaag geeft een lager energieverbruik om te stomen, welke afhankelijk is van het type substraat en het vochtgehalte. De benodigde energie om de bodemkoeling op de gewenste temperatuur houden, wordt bepaald door de isolatie en niet door de diepte van de teeltlaag.

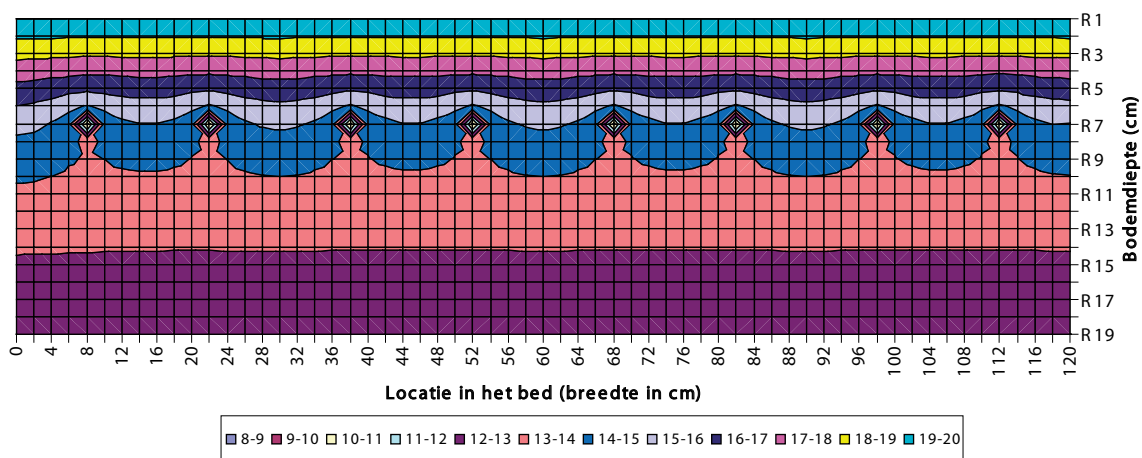
2.4 Uniformiteit bodemtemperatuur

2.4.1 Berekende uniformiteit

In onderstaande figuren is een schematische weergave gegeven van de koudeverdeling in de bodem bij het gebruik van vier slangen met een koelwatertemperatuur van 6°C (Figuur 6.) en acht slangen met een koelwatertemperatuur van 9,75°C (Figuur 7.). Er is in beide berekeningen uitgegaan van een kasttemperatuur van 20°C en een onderbodemtemperatuur van 12°C. Dit is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid waarbij alle slangen even koud zijn. In werkelijkheid is er sprake van om en om een aanvoer en een retourslang. De bovenste drie cm van de bodem is vergelijkbaar met de bodemisolatie. De slangen liggen in werkelijkheid met de bovenkant 3 cm diep. Er is te zien dat met acht slangen de bodemtemperatuur uniformer is. De diepte waarop de knollen zouden liggen (net onder de slangen) heeft minder temperatuurvariatie bij acht slangen dan bij vier slangen. Bij vier koelslangen liggen de knollen links en rechts naast de koelslang (acht per regel). Bij acht koelslangen ligt er één knol per koelslang (8 per regel).



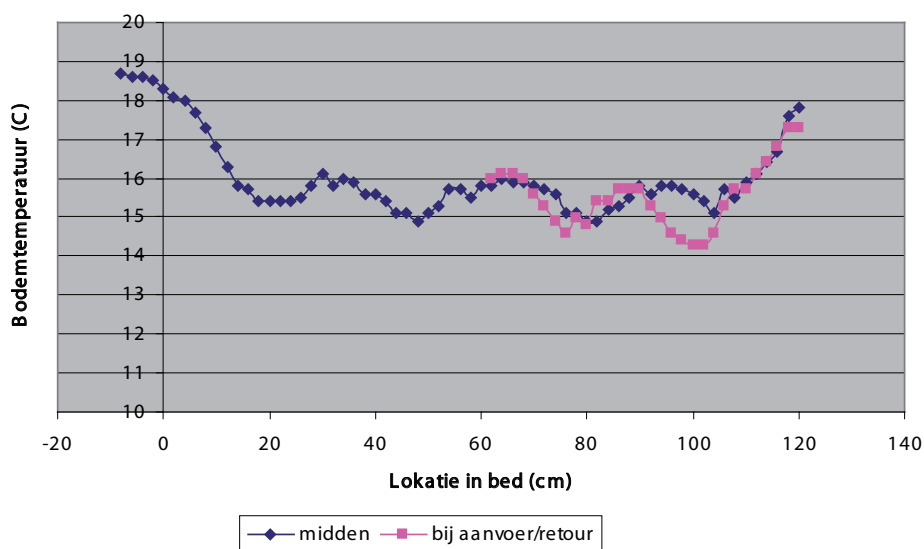
Figuur 6. Schematische weergaven van de bodemtemperatuur met vier koelslangen (♦) per 1,20 bed met een koelwatertemperatuur van 6°C



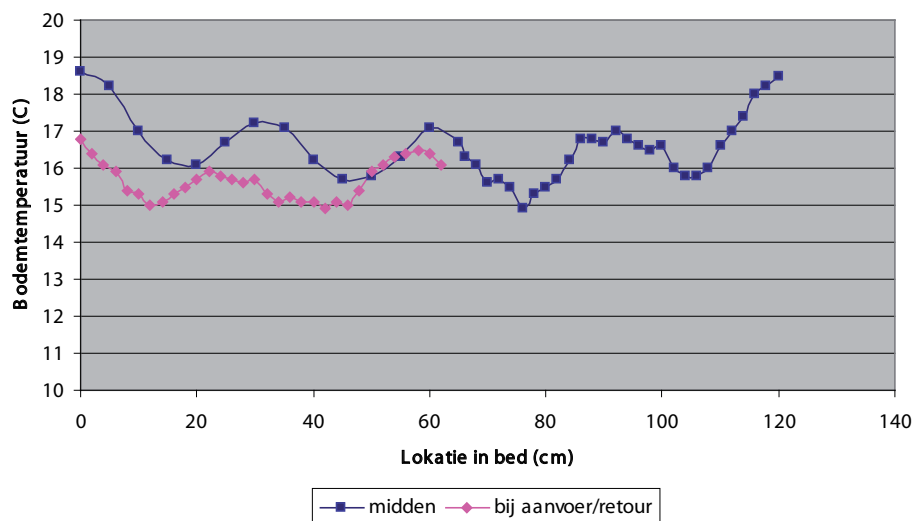
Figuur 7. Schematische weergaven van de bodemtemperatuur met acht koelslangen (♦) per 1,20 bed met een koelwatertemperatuur van 9,75 °C

2.4.2 Gemeten uniformiteit in de praktijk

Bij twee telers is de uniformiteit van de bodemtemperatuur gemeten. Er liggen hierbij vier slangen en de bovenkant van de slangen ligt op 3 cm diepte. Op beide bedrijven is goed te zien dat de bodemtemperatuur aan de zijkanten van het bed oploopt, omdat in het pad geen bodemkoeling aanwezig is. Meer in het midden van het bedbreedte en bedlengte varieert de bodemtemperatuur tussen de 14,9 en 16,1°C op het eerste bedrijf. Op het tweede bedrijf varieert deze van 15 tot 17,1°C. Er is geen duidelijk verschil in de variatie te zien tussen de metingen in het midden van de bedlengte en vier meter vanaf de aanvoer en retour. Het vochtgehalte was ca. 23% op het bedrijf met zware zavel en ca. 25% op het bedrijf met zanderige grond. Het isolatiemateriaal op het bedrijf met zware zavel was styromull. Op het bedrijf met zandgrond was het isolatiemateriaal zowel zaagsel als styromull.



Figuur 8. Bodemtemperatuur gemeten over de breedte van het bed op een bedrijf met zware zavel in de namiddag op een zonnige dag



Figuur 9. Bodemtemperatuur gemeten over de breedte van het bed op een bedrijf met zanderige grond in de namiddag op een zonnige dag

2.5 Rentabiliteit

Concept 1: verdubbeling aantal koelslangen

In deze berekening is er vanuit gegaan dat een koelmachine of warmtepomp en het leidingwerk en vier slangen per 1,20 bed al op het bedrijf aanwezig is. Uitgaande van de KWIN cijfers (2008) kost de aanleg van een koelsysteem € 2,- /m² voor aanleg van leidingen incl filters en kleppen en € 1,50 /m² voor koelslangen (10 per 3,20 m kap). Om het aantal koelslangen te verdubbelen in een bestaand systeem zijn extra aansluitpunten op de leidingen nodig, zwaardere leidingen, een grotere pomp en het dubbele aantal koelslangen. Bij eenzelfde koelwatertemperatuur zou de stroomsnelheid vanwege de dubbele slangen mogen halveren en zou de waterhoeveelheid verdubbelen waardoor geen grotere pomp nodig is. Omdat in dit concept de koelwatertemperatuur wel wordt verhoogd, moet de stroomsnelheid gelijk blijven om ongeveer net zoveel energie af te kunnen geven als de enkele slangen met lagere koelwatertemperatuur. De stroomsnelheid blijft dus gelijk, maar er moet meer water worden rondgepompt. Daarvoor is een grotere pomp nodig. Dit is een investering van circa € 1600,- per bedrijf extra ten opzichte van een kleinere pomp. De extra energiekosten van de pomp zijn nihil. Het verdubbelen van het aantal aansluitpunten en verzwaren van het systeem maakt de aanleg van het systeem ongeveer twee keer zo duur. Dit is dus € 2/ m² extra aanlegkosten ten opzichte van een enkel systeem. Een verdubbeling van het aantal slangen kost € 1,50 /m² extra. Bij elkaar geeft dit een meerinvestering van € 3,58 /m². Met een afschrijving van 15% geeft dit een jaarlijkse afschrijving van € 0,53 /m² jaar⁻¹ en onderhoud van 0,035 /m² jaar⁻¹, totaal € 0,56 /m² jaar⁻¹ (Tabel 3.). De energiebesparing door verdubbeling van het aantal slangen is 1,6 - 3,7 kWh/m² jaar⁻¹. Als de investering alleen op energiebesparing terugverdiend moet worden is deze rendabel vanaf een energieprijis van € 0,15-0,35 /kWh. Bij een huidige elektriciteitsprijs van € 0,08 /kWh is de energiekostenbesparing € 0,13- 0,30 /m² jaar⁻¹. Een verbetering in productie en kwaliteit doormiddel van een uniformere bodemtemperatuur van ca. € 0,35 /m² jaar⁻¹ is dus noodzakelijk om de extra investering terug te verdienen. Uitgaande van de huidige energieprijzen en een takprijs van € 0,14 komt de benodigde meeropbrengst overeen met 2 à 3 takken/m² jaar⁻¹. Bij een productie van 352 takken/m² jaar⁻¹ (KWIN freesia belicht jaarrond) is dit een benodigde meerproductie van ca. 0,7%. Er komen nog enige kosten bij om deze extra takken te oogsten, maar dit zal grotendeels worden gecompenseerd door de arbeidstijdverkortings door een uniformere oogst. Vanwege de uniformiteit hoeft per teeltronde immers minder vaak door het gewas gelopen te worden om te oogsten. Experimenteel onderzoek zal uit moeten wijzen of deze meeropbrengst realiseerbaar is. Vanwege de mogelijke teeltduurverkortings is dit wel aannemelijk.

Tabel 3. Extra aanlegkosten van een systeem met acht in plaats van vier koelslangen.

	Nieuwwaarde (€)		Afschrijving	Onderhoud
Leidingen incl.filters en kleppen, excl. slangen	2,00	/m ²	15%	1%
4 extra slangen 25 mm polyetheen	1,50	/m ²	15%	1%
Extra grote pomp	0,08	/m ²	7%	5%
Investering aanleg	3,58	/m ²		
Jaarlijkse afschrijving en onderhoud	0,56	/m ²		
Energiebesparing	0,13-0,30	/m ²		

Concept 2: verdubbeling diameter koelslangen

Koelslangen met een diameter van 50 in plaats van 25 mm hebben een hogere kostprijs. Het aantal aansluitpunten blijft gelijk, alleen is er een pomp met een groter debiet nodig. Koelslangen met een diameter van 50 mm hebben een kostprijs van € 1,50 per strekkende meter. De meerprijs van de koelslangen is in dit geval € 3,00 /m².

De energiebesparing door verdubbeling van het aantal slangen is 1,6 - 3,7 kWh/m² jaar⁻¹. Bij een elektriciteitsprijs van € 0,08 /kWh is dit een kostenbesparing van € 0,13- 0,30 /m² jaar⁻¹.

Slangen met een diameter van 32 mm hebben een kostprijs van € 0,75 per strekkende meter. Dit geeft een meerprijs van € 0,75 /m² ten opzichte van slangen met een diameter van 25 mm. De besparing op elektriciteit is dan 0,5 -1,2 kWh/m² jaar⁻¹, uitgaande van een elektriciteitsprijs van € 0,08 /kWh is dit een kostenbesparing van € 0,04-0,10 /m² jaar⁻¹. Deze investering is met deze elektriciteitsprijs dus niet rendabel. Een opbrengstverhoging is met dit systeem namelijk niet te verwachten, omdat de uniformiteit nauwelijks verbetert.

Tabel 4. Extra aanlegkosten van een systeem met koelslangen met een diameter van 50 in plaats van 25 mm

	Nieuwwaarde (€)		Afschrijving	Onderhoud
Leidingen incl.filters en kleppen, excl. slangen	1,00	/m ²	15%	1%
extra kosten slangen 50 mm polyetheen	3,00	/m ²	15%	1%
Extra grote pomp	0,08	/m ²	7%	5%
Investering aanleg	4,08	/m ²		
Jaarlijkse afschrijving en onderhoud	0,65	/m ²		
Energiebesparing	0,13-0,30	/m ²		

Tabel 5. Extra aanlegkosten van een systeem met koelslangen met een diameter van 32 in plaats van 25 mm

	Nieuwwaarde (€)		Afschrijving	Onderhoud
Leidingen incl.filters en kleppen, excl. slangen	1,00	/m ²	15%	1%
extra kosten slangen 32 mm polyetheen	0,75	/m ²	15%	1%
Extra grote pomp	0,08	/m ²	7%	5%
Investering aanleg	2,83	/m ²		
Jaarlijkse afschrijving en onderhoud	0,47	/m ²		
Energiebesparing per jaar	0,04-0,10	/m ²		

Concept 3: ondiepe teeltlaag

Teelt op substraatbedden is een voorbeeld van het telen op een ondiepe teeltlaag. Momenteel vind onderzoek plaats met chrysant als pilotgewas om te bepalen hoe een dergelijk systeem er precies uit moet zien om zo goed mogelijk aan alle eisen van een systeem te voldoen. In de ontwikkeling van dat systeem wordt ook een bedrijfskundige analyse uitgevoerd. Om alvast een indicatie te hebben van de rentabiliteit wordt in onderstaande berekening uitgegaan van een bed van ongeveer 20cm diep met folie op de bodem met daarop een drainslang en substraat. Als substraat wordt zand gebruikt, omdat hierbij de structuur ook na langdurig gebruik goed blijft. Eerder onderzoek laat zien dat Freesia goed groeit op zand (Schröder, 1994 en Van Os et al, 1996).

De berekening van de kosten van een substraatbedden systeem is weergegeven in Tabel 6. Hierbij is uitgegaan van een bedrijf van 2 hectare. Een koelsysteem is hierbij al aanwezig. In deze berekening is het koelsysteem dus niet aangepast. Hiervoor wordt verwezen naar bovenstaande berekeningen van concept 1 en 2. Omdat de koelslangen tijdens de teeltwisseling met de hijsverwarming mee omhoog kunnen, zijn geen extra kosten berekend om deze in het substraatbedden systeem aan te leggen. In de grondteelt wordt deze er immers ook bij iedere teeltwisseling uit gehaald. Voorwaarde van het systeem is dan wel dat er met machines overheen gereden kan worden om de koelslangen in te freeze.

In de berekening vormt het substraat zelf en de stoombare folie de grootste kostenpost. Als het systeem tien jaar mee gaat, komt het totaal op 2,09 euro/m² per jaar. Voor sommige bedrijven zullen een aantal materialen uit de tabel al aanwezig zijn, dus die kunnen wat lagere kosten hebben.

Indien de stoom voldoende doordringt in de teeltlaag kan 4,8 m³ gas/m² jaar¹ bespaard worden omdat er minder diep gestoomd hoeft te worden, maar dit zal eerst uitgetest moeten worden. Bij een gasprijs van € 0,23 /m³ is dit een kostenbesparing van € 1,10 m² jaar¹. In dit geval zou er daarnaast nog minimaal € 1,09 /m²jaar¹ extra verdiend/bespaard moeten worden om rendabel te zijn. Mogelijkheden hiervoor liggen in reductie van meststoffengebruik door recirculatie en door productieverhoging. Al zal de productieverhoging nog wel leergeld kosten voordat die daadwerkelijk gerealiseerd kan worden.

Andere mogelijkheid is om bij iedere teelt het substraat te vervangen in plaats van te stomen. Met twee teelten per jaar is dit €12/m² jaar¹ substraatkosten, tegenover een besparing door niet meer te stomen van 7*0.23= € 1,61 m² jaar¹. Experimenteel onderzoek zal uit moeten wijzen of een meerproductie en daarmee de rentabiliteit van substraatbedden realiseerbaar is.

Tabel 6. Indicatie aanlegkosten substraatbeddensysteem, uitgaande van een bedrijf van 2 hectare

	totaal	Per m ²
Stoombaar folie	110.000	5,50
Arbeid loonwerker grondverzet	45.000	2,25
Arbeid folie monteren	25.000	1,25
Drainslang incl aansluitingen, put pomp e.d.	15.000	0,75
Aanpassen installatie	7.500	0,38
Ontsmetter	75.000	3,75
Diversen loonwerker	20.000	1,00
Substraat (zand) € 30/m ³ * 0,20 m diep		6,00
Totale investering aanleg		20,88
Jaarlijkse afschrijving (indien afschrijven in 10 jaar)		2,09
Energiebesparing per jaar op stomen		1,10

2.6 Discussie fase 1

Door aanleg van meer of dikkere koelslangen is het mogelijk om met minder energie de gewenste bodemtemperatuur te realiseren. Het doel van 20% energiebesparing op bodemkoeling kan met een verdubbeling van het aantal koelslangen worden bereikt. Dit omdat het koelwater minder ver hoeft te worden teruggekoeld om eenzelfde bodemtemperatuur te bereiken is 16-27% van deze energie te besparen.

De energiebesparing voor alle doorgerekende concepten is met de huidige energieprijzen echter te laag om alleen hiermee de benodigde meerinvestering terug te verdienen. Bij gelijkblijvende of lagere energieprijzen, zal de verbetering van de stuurbaarheid en uniformiteit van de bodemtemperatuur dus een meeropbrengst moeten geven. Bij Freesia is de bodemtemperatuur gedurende de periode van knopontwikkeling van grote invloed op de productie en kwaliteit. De gemeten bodemtemperatuur varieert in het bed met circa twee graden. Dit terwijl in de praktijk geprobeerd wordt om te regelen op tienden graden nauwkeurig. De verbetering van de uniformiteit van de bodemtemperatuur maakt een betere sturing mogelijk. De nauwkeurige instelling kan dan voor een groter percentage planten daadwerkelijk worden gerealiseerd. Experimenteel onderzoek is vereist om te bepalen of de te realiseren meeropbrengst van ca. 0,7% aanwezig is om de extra investering terug te verdienen en de energiebesparing te realiseren. Vanwege de mogelijke teeltduurverkortening vanwege een verbetering in uniformiteit is dit wel aannemelijk. De uniformiteit van het plantmateriaal zal hierop ook van invloed zijn.

Van de drie doorgerekende concepten is besloten om het eerste concept uit te voeren in een kasproef. Een verdubbeling van het aantal slangen biedt naast de energiebesparing ook het voordeel van een verbeterde uniformiteit. Deze is nodig om een potentiële meeropbrengst te kunnen realiseren, welke nodig is om het systeem rendabel te kunnen maken. Ook de optie van substraatbedden zou potentie kunnen bieden, maar dit systeem is teelttechnisch nog onzeker. Dit systeem vereist vergaand onderzoek, welke inmiddels met chrysant als pilotgewas wordt uitgevoerd. Daarom zal deze in de kasproef met Freesia nog niet worden meegenomen.

2.7 Conclusies fase 1

- Door verdubbeling van het aantal koelslangen voor de bodemkoeling van vier naar acht, is een energiebesparing mogelijk van 1,6 - 3,7 kWh/m² jaar-1. Dit geeft met een energiebesparing op de bodemkoeling van 16-27%.
- Het verdubbelen van de diameter van de koelslangen is ook een manier om het koude-uitwisselende oppervlak te vergroten. Nadeel hiervan is dat de slangen duurder zijn en moeilijker te verwerken tijdens de teeltwisseling. Ook is geen verbetering van de uniformiteit te verwachten.
- Teelt op een ondiepe teeltlaag (20cm zand) leidt niet tot energiezuinigere bodemkoeling, maar wel tot energiezuiniger stomen (grote indicatie circa 2,2 m³/m² jaar-1 i.p.v. 7).
- Een warmtepomp vraagt 1,3 tot 3,4 kWh/m².jaar meer elektriciteit dan een koelmachine, maar een forse besparing (± 6 m³/m².jaar) op het gasverbruik.
- De gemeten bodemtemperatuur varieert in het bed met circa twee graden over een breedte van 1,20 cm. Een verbetering van de uniformiteit van de bodemtemperatuur maakt een betere sturing mogelijk.
- Voor alle doorgerekende concepten blijkt de energiebesparing met de huidige energieprijzen te laag om alleen hiermee de benodigde meerinvestering terug te verdienen. Bij gelijkblijvende of lagere energieprijzen, zal de verbetering van de stuurbaarheid en uniformiteit van de bodemtemperatuur een meeropbrengst moeten geven. Voor een verdubbeling van het aantal koelslangen is een meerproductie vereist van ca. 0,7%. Vanwege een verbetering van de uniformiteit is dit waarschijnlijk haalbaar.

Experimenteel onderzoek is vereist om te bepalen of de te realiseren meeropbrengst van genoemde concepten aanwezig en voldoende is om de extra investering terug te verdienen.

3 Fase 2: kasproef

3.1 Werkwijze

In een kasproef met Freesia is het systeem met acht koelslangen uitgetest gedurende de zomerperiode (planting 19 juni 2009 t/m laatst oogst 23 november 2009) en gedurende de winterperiode (planting 11 december 2009 t/m einde verwarmingsperiode 19 februari 2010). Deze periodes zijn de meest kritische periodes om de gewenste bodemtemperatuur te bereiken. Ter vergelijking is ook het huidige systeem met vier slangen in de bodem in deze proef meegenomen. De teelt vindt plaats in de grond omdat dit nog gangbaar is in de praktijk. De kasproef is gehouden bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk. De kasoppervlakte is 144 m². De grondsoort is kalkrijke humeuze lichte klei op zavel. Om de bodem in te verschromen is in 2007 flugzand gebruikt. Bij start van de proef tuinturf ingewerkt. De gebruikte cultivar is Ambassador.

De volgende punten maken deel uit van fase 2:

- Kasproef met daarin om en om twee proefvelden met vier koelslangen per bed en twee proefvelden met acht koelslangen per bed. Deze proefveldjes bevinden zich in dezelfde kas, dus het bovengronds klimaat is gelijk. Zo kan het effect van beide types bodemkoeling goed met elkaar vergeleken worden. De twee randbedden zijn niet als proefveld meegenomen. De schematische weergave van de proefindeling is weergegeven in Bijlage II.
Bij 4 slangen was de volgorde van de slangen (lussen) retour, 2 keer aanvoer, retour. De 8 knollen per regel zijn links en rechts van de slangen geplant. Bij 8 slangen was de volgorde 2 keer aanvoer, 4 keer retour, 2 keer aanvoer. Hier had iedere knol zijn eigen slang. De knollen zijn bij beide behandelingen geplant op 1,5 a 2 cm vanaf de slang. De plantdiepte was zo dat de bovenkant van de knol gelijk was aan de bovenkant van de slang. De knollen zijn handmatig geplant met het groeipunt omhoog.
- Meten van temperatuurverdeling in de bodem en koelwatertemperaturen en berekenen gerealiseerde energiebesparing.
- Gewasregistraties ten behoeve van bepalen effect op uniformiteit. Deze bestaan uit knopontwikkeling, kwaliteit en productie in teeltsnelheid, aantal en gewicht.
- Klimaatregistraties. De klimaatinstellingen van de zomer en winterperiode staan in Bijlage III.

Kasinrichting

- Grondbewerking: 1) spitten (50 cm), 2) stomen, 3) frezen (30cm), 4) koelslangen erin, 5) planten, 6) aanrollen, 7) bovenlangs water geven, 8) zaagsel strooien, 9) styromull strooien.
- Type slang: polyetheen koelslangen, buitenmaat 25 mm.
- Diepte koelslangen: bovenkant slang op 3cm diepte, dus 3 cm grondbedekking
- Afdek materiaal: 6 geperste balen zaagsel per kas en daarboven op 6 zakken styromull (grofheid 4-5 mm). Zaagsel en styromull beiden ook in de paden.
- Elektrisch vermogen koelmachine: 5 kW elektrisch vermogen
- Koelwatertemperatuur bedden met enkele slangen ca. 6 C, bedden met dubbele slangen ca. 9,5 C. (bodemtemperatuur sturen op 15°C).(koelen tot uiterlijk week 44)
- Schermdoek: open bandjesscherp (LS15)
- CO₂-darmen (dunne zwarte) 1 per bed.
- Assimilatiebelichting: 4000 lux (in de praktijk pas na 25 september aan).
- Verwarmingsnet: 32-ers. 1 lus per 1,60m.
- Luchtbevochtiging met verneveling
- Steunmateriaal: 2 lagen gaas van 120 cm breed en een maaswijdte van 15 bij 15 cm (8 mazen).
- Palen van 1,20 meter lang (30 cm de grond in).
- Watergift in het begin bovendoor, daarna via inline slangen: 4 inline slangen per bed, 20 mm doorsnee, drukcompenserend en afsluitbaar (onder een bepaalde druk, 1.5 Bar). Ongeveer 1,2 l/h, druppelpunten om de 15 cm.
- Sensoren PAR, CO₂, RV, kastemp, planttemperatuur (1 per kas), bodemtemperatuur (middelste twee bedden 8 sensoren per bed).

Vanwege een technische storing tijdens het uitschakelen van de bodemverwarming is de winterproef na de verwarmingsperiode (19 februari 2009) noodgedwongen beëindigd. Dit was in de negende week, waardoor productiegegevens van de winterproef ontbreken.

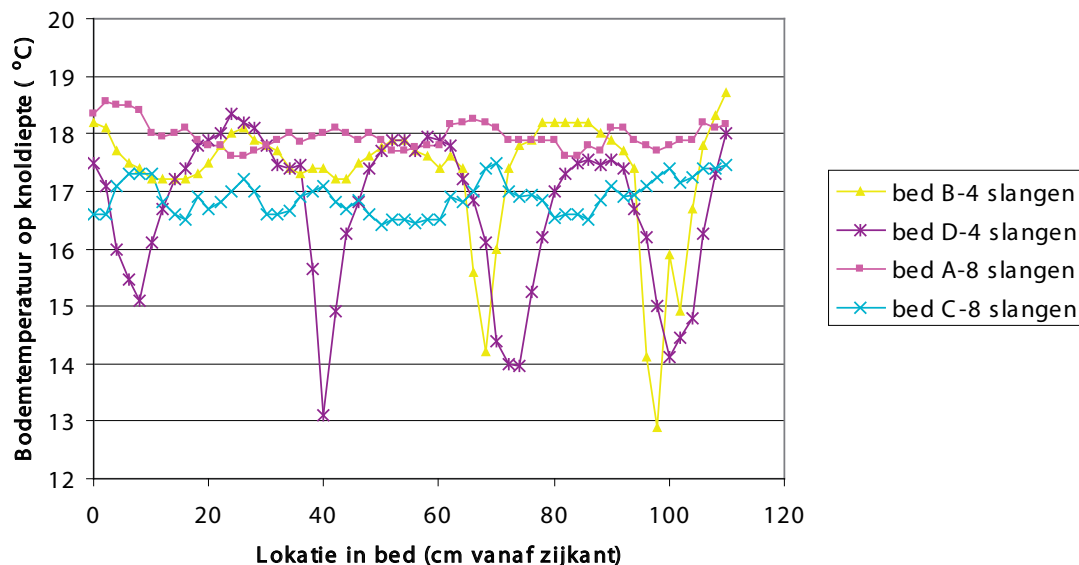
3.2 Resultaten

3.2.1 Bodemtemperatuur

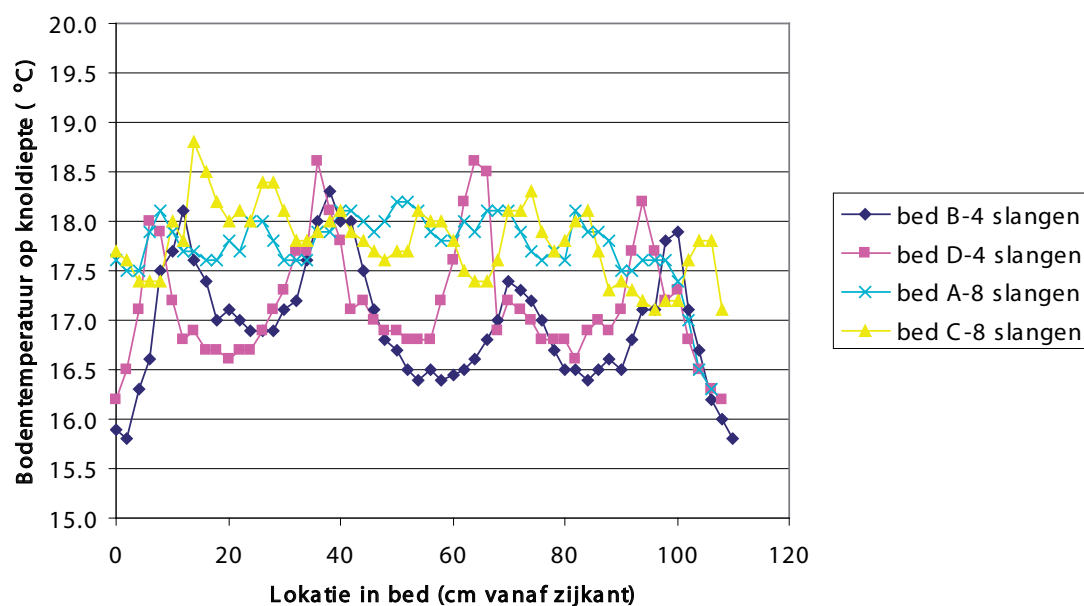
3.2.1.1 Uniformiteit bodemtemperatuur

Zowel in de zomer- als in de winterperiode is bij het gebruik van 8 slangen per bed een uniformere bodemtemperatuur over de bedbreedte gerealiseerd dan met 4 slangen per bed. Dit is bepaald door tijdens de zomer en winterperiode momentmetingen uit te voeren, waarbij de bodemtemperatuur is gemeten om de twee centimeter over de breedte van het bed. Hier is een duidelijk verloop van de bodemtemperatuur waargenomen.

Hierbij is in de zomerperiode de bodemtemperatuur rondom de slang het laagst en verder van de slang af het hoogst. Bij een streefwaarde bodemtemperatuur van 17°C varieert de bodemtemperatuur in de bedden met 4 slangen met ca. 4°C verschil (tussen de ca 14°C en 18°C) veel sterker dan in de bedden met 8 slangen, waar bodemtemperaturen met ca. 1,5°C varieerden (tussen de ca. 16,5°C en 18°C) (Figuur 10.). In de winterperiode is dit verschil tussen de behandelingen eveneens te zien, met een hogere bodemtemperatuur dichtbij de slangen dan tussen de slangen. De variaties zijn in de winter met ca. 2°C bij 4 slangen en ca. 1°C bij 8 slangen kleiner dan in de zomer.



Figuur 10. Gemiddelde bodemtemperatuur gemeten om de 2 cm in de bedden met 4 en 8 koelslangen in de proefkas in Bleiswijk met een koelwatertemperatuur van resp. 6 en 9 °C (10 aug 2009 in de middag buitentemperatuur 24°C). Streefwaarde bodemtemperatuur 17°C



Figuur 11. Gemiddelde bodemtemperatuur gemeten om de 2 cm in de bedden met 4 en 8 verwarmingsslangen in de proefkas in Bleiswijk met een verwarmingstemperatuur van gemiddeld 20°C. (5 februari 2010 in de middag buitentemperatuur 5°C). Streefwaarde bodemtemperatuur 17,5°C

3.2.1.2 Realisatie streeftemperatuur

Bij de hoge buitentemperaturen tijdens de zomerproef bleek dat met 8 koelslangen met een koelwatertemperatuur van minimaal 9°C de bodemtemperatuur beter op de streefwaarde kan worden houden dan met 4 koelslangen met een koelwatertemperatuur van minimaal 6°C (Figuur 12.). Bij 4 slangen is de gerealiseerde bodemtemperatuur op de pieken ca. 1,5°C boven de streefwaarde. In deze figuur is ook te zien dat bij aanpassing van de streefwaarde, deze met 8 slangen eerder wordt gerealiseerd.

De gerealiseerde gemiddelde koelwatertemperaturen waren iets hoger dan de streefwaarden, door de warme zomer was het uitgangswater warmer dan verwacht. Bij 4 slangen (streef 6°C) was dit 7,2°C. Hier is 450 uren gekoeld. Bij 8 slangen (streef 9°C) was dit 9,3°C. Hier hoefde minder uren mee te worden gekoeld (435 uren) (Tabel 7.).

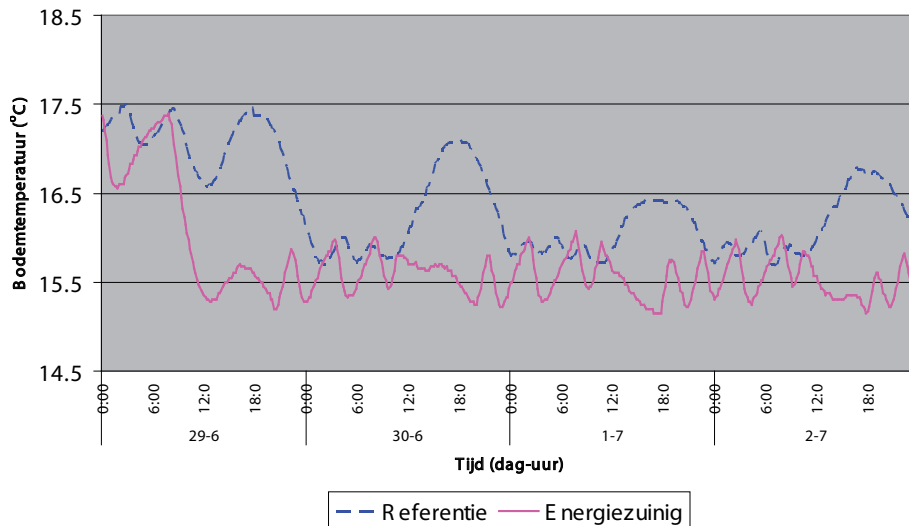
De hoeveelheid thermische energie die aan de bodem is onttrokken bedraagt in de kassen 403 en 404 respectievelijk 44 en 46 kWh/m². In de bedden met 4 slangen is dus 5% meer koeling gebruikt. De gemiddelde bodemtemperatuur lag in deze bedden slechts een klein beetje (0,06 °C) lager.

Tabel 7. Kengetallen tijdens de bodemkoeling

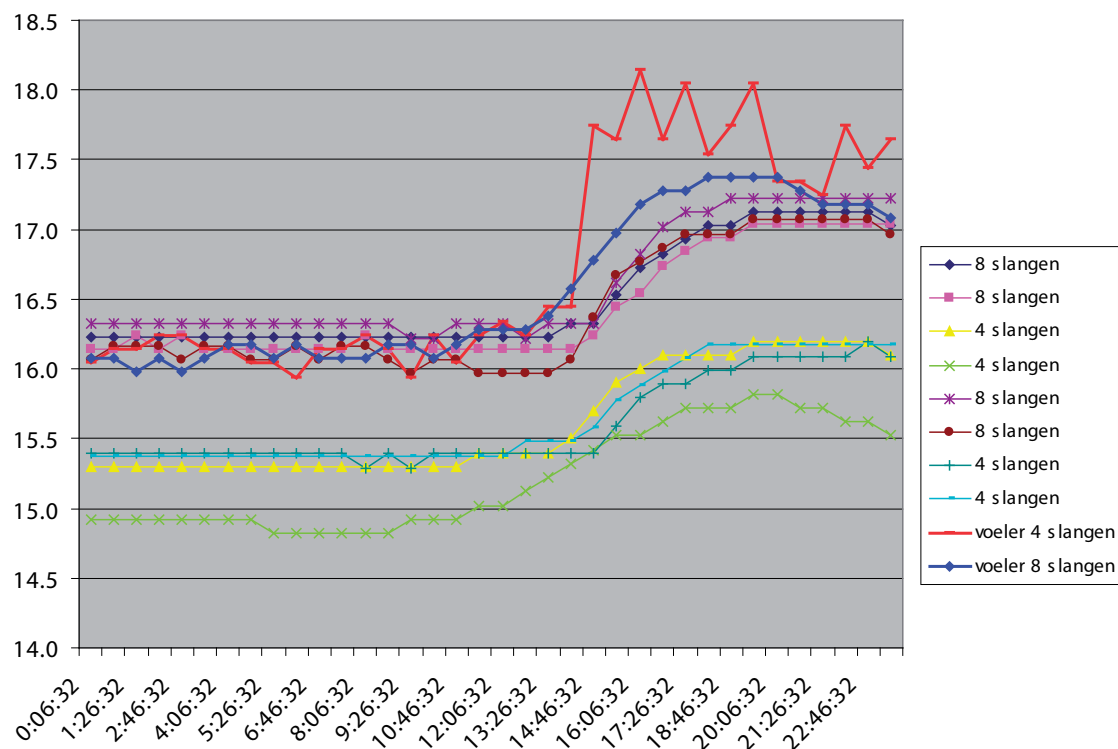
	koeling	watertemperatuur	thermische energie	
			kWh/m ²	MJ/m ²
4 slangen	450	7.2	44	160
8 slangen	435	9.3	46	166

In de winterproef is echter niet te zien dat met 8 slangen de streefwaarde sneller wordt bereikt dan met 4 slangen (Figuur 13.). Voor dit verschil tussen zomer en winter zijn een aantal verklaringen mogelijk. Ten eerste is de locatie van de stuursensoren van belang. Bij 4 slangen stond in de winterperiode de stuursensor dicht bij de slang en werd de streeftemperatuur van 17,5 °C bij de stuursensor snel bereikt en sloeg de verwarming uit (rode lijn in grafiek). De rest van het bed zal daardoor minder snel de streefwaarde bereiken.

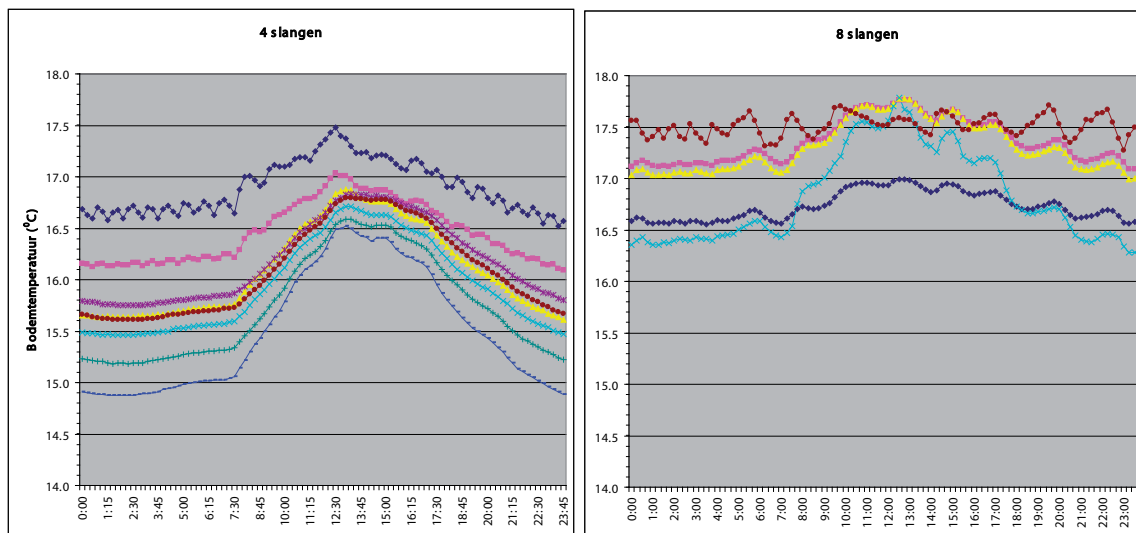
Andere verklaring is dat ondanks styromull de zon nog van grote invloed is op de opwarming van de bodem. Deze invloed van de zon gedurende de dag in de winterperiode is duidelijk te zien in Figuur 14., waar de bodemtemperatuur midden op de dag het hoogst is. Het verschil tussen bodem- en kasttemperatuur biedt geen verklaring, want dit verschil was in de winter een halve graad groter dan in de zomer (Tabel 8.).



Figuur 12. Aanpassing en handhaving van de bodemtemperatuur van 17,5 naar 15,5°C tijdens een warme week, met 8 slangen met een koelwatertemperatuur van 9°C (energiezuinige) en 4 slangen met een koelwatertemperatuur van 6°C (referentie). Kasttemperatuur etmaal 22°C, maximum 32°C. Gemiddelde van 4 temperatuurloggers



Figuur 13. Aanpassing van de streefbodemtemperatuur van 16 naar 17,5°C op 26 januari (om 14 uur buitentemperatuur -4°C, kasttemperatuur 16°C (zonnig). Watertemperatuur bij 8 slangen is begrensd op maximaal 20°C. Watertemperatuur bij 4 slangen is begrensd op maximaal 21°C



Figuur 14. Gemiddelde bodemtemperatuur van acht sensoren per behandeling indien deze binnen 15 cm vlak naast elkaar zijn gezet (4 februari, streef 17,5°C)

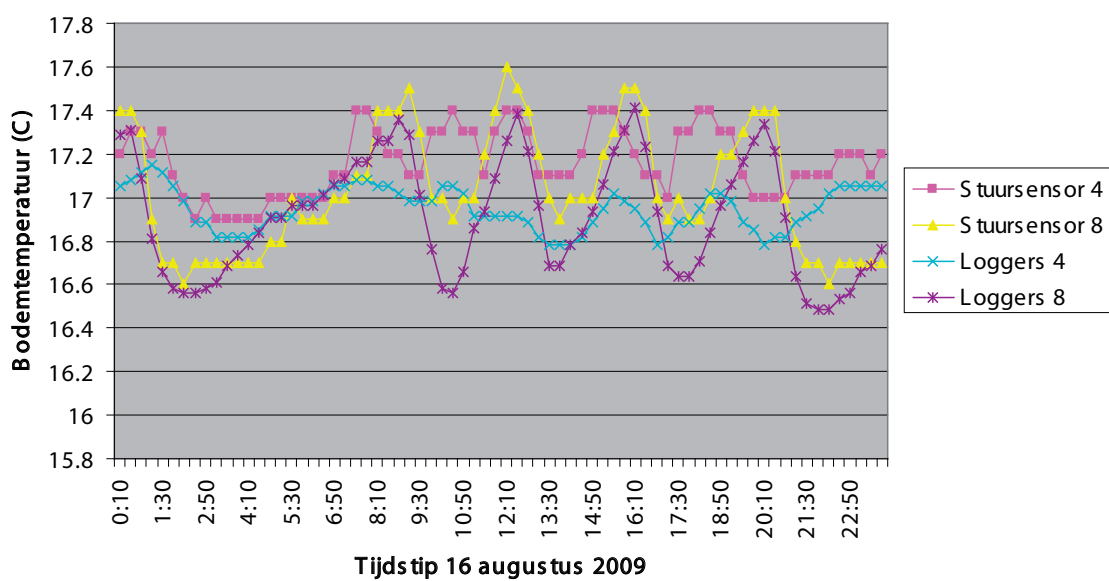
Tabel 8. Verschil gemiddelde kas- en bodemtemperatuur gedurende de koel- en verwarmingsperiode

	Kastemperatuur etmaal (°C)	Bodemtemperatuur etmaal (°C)	Verschil kas- en bodemtemperatuur (°C)
Zomer	19.9	16.1	3.8
Winter	12.1	16.4	-4.3

In de winterperiode kon de streefwaarde van de bodemtemperatuur met de stuursensoren op de plaatsen van de stuursensoren goed worden gerealiseerd. Het bleek echter moeilijk om in beide behandelingen gemiddeld over het bed dezelfde bodemtemperatuur te realiseren. Dit is sterk afhankelijk van de locatie van de sensoren ten opzichte van de slang. De sensoren waren in de knollenrij zo goed mogelijk ter diepte van de bovenkant van de knol ingegraven. Bij nacontrole bleek de sensor van 4 slangen 2 cm van een retourslang te liggen en de sensor van 8 slangen ca. 4 cm van een retourslang. Tijdens de winterperiode is de gerealiseerde gemiddelde bodemtemperatuur op andere locaties in het bed rond de knollen met 8 slangen 0,3°C warmer en met 4 slangen 0,4°C kouder geweest dan de temperatuur die de stuursensoren registreerden en waarop werd geregeld (Tabel 9.). Figuur 13. is ook te zien hoe snel de bodemtemperatuur bij de stuursensor stijgt na een aanpassing in de streefwaarde. Hier is te zien dat deze bij 4 slangen (rode lijn) sneller stijgt dan bij 8 slangen en daarna naar een hogere temperatuur doorschiet, uit slaat, terugzakt, aanslaat en weer doorschiet (zaagtandgrafiek). Aangezien het verschil in watertemperatuur in de slangen tijdens de winterproef slechts 1°C is, is de onrustige regeling bij 4 slangen waarschijnlijk beter te verklaren door de locatie van de sensor. Als de sensor dicht bij de slang ligt, zoals bij de 4 slangen, slaat de koelmachine vaker aan/uit. Tijdens de zomerperiode is de bodemtemperatuur rondom de stuursensoren met 4 en 8 slangen ongeveer even rustig, alleen schiet de gemiddelde bodemtemperatuur in het bed 8 slangen wat door naar beneden (Figuur 15.).

Tabel 9. Gemiddelde bodemtemperaturen over de koel- en verwarmingsperiode

Zomer	Bodemtemperatuur stuursensor (°C) (n=1)	Gemiddelde bodemtempe- ratuur loggers in knollenrij (°C) (n= 4)	Gemiddelde afwijking (°C)
4 slangen	16.1	16.1	0
8 slangen	16.0	16.1	+0,1
Winter	Bodemtemperatuur stuursensor (°C) (n=1)	Gemiddelde bodemtempe- ratuur loggers in knollenrij (°C) (n= 12)	Gemiddelde afwijking (°C)
4 slangen	16,4	16,0	- 0,4
8 slangen	16,4	16,7	+0,3



Figuur 15. Bodemtemperatuur stuursensoren en loggers op een relatief warme dag (16 augustus 2009, kasttemperatuur etmaal 22°C, maximum 29°C (namiddag). Streefwaarde bodemtemperatuur 17°C. Gemiddelde van 4 temperatuurloggers

3.2.2 Gerealiseerde energiebesparing

Voor bodemkoeling in de zomerperiode levert het gebruik van 8 slangen per bed een elektriciteitsbesparing van 6,2% bij een warmtepomp en 9,6% bij een koelmachine. Het gaat hierbij om respectievelijk 0,7 en 0,9 kWh/m².jaar. Dit is minder dan de vooraf berekende 16% (warmtepomp 27%). Dit is veroorzaakt door het kleinere gerealiseerde verschil in watertemperatuur tussen beide systemen dan waar in de berekeningen van was uitgegaan. Wel was het bij beide systemen geen probleem om de gewenste bodemtemperatuur te handhaven. Dit geeft perspectief om de koelwatertemperatuur nog verder op te voeren, zodat het koelwater met minder elektriciteit kan worden geproduceerd.

Voor bodemverwarming in de winterperiode levert het gebruik van 8 slangen per bed nauwelijks energiebesparing op. De hoeveelheid benodigde warmte is lager dan verwacht en de verschillen in watertemperatuur tussen beide systemen zijn kleiner dan in de zomer. De thermische energie voor bodemverwarming is gemeten tussen 21 december en 19 februari. In deze periode is voor de afdeling met 4 slangen 7,3 kWh/m² en in de afdeling met 8 slangen 8,2 kWh/m² aan warmte gebruikt. Dit is een verschil van 12% en heeft geleid tot een 0,7°C hogere bodemtemperatuur in de afdeling met 8 slangen. Dit verschil is te wijten aan de bodemtemperatuur-sensoren voor de aansturing van de bodemverwarming. Deze gaven in de afdeling met 8 slangen een iets te lage temperatuur aan en in de afdeling met die in de afdeling met 4 slangen een iets te hoge temperatuur ten opzichte van de gemiddelde bodemtemperatuur tijdens een ijking. Deze afwijking ligt niet aan de sensoren zelf, maar aan de plaatsing van de sensoren. Hoe dichter deze tegen de slang is geplaatst, hoe hoger de temperatuur is die de sensor aangeeft.

Bij een gemiddelde kastemperatuur van 11,7°C en een gemiddelde bodemtemperatuur van 16,3°C betekent een 0,7°C hogere bodemtemperatuur ongeveer $0,7/(16,3-11,7)=15\%$ meer opwarming. Met 12% meer thermische energie is dus 15% meer opwarming gemeten voor de afdeling met 8 slangen. Dit verschil is dermate klein dat mag worden aangenomen dat het totale warmteverbruik onafhankelijk is van het aantal slangen.

Tijdens de proeven met bodemkoeling en bodemverwarming is in de zomerproef voor koeling ongeveer 160 MJ/m² aan thermische energie aan de bodem onttrokken. In de winterproef is ongeveer 30 MJ/m² aan thermische energie toegevoerd via de bodemverwarming. 30 MJ staat gelijk aan 1 m³ aardgas met een ketel.

Aan de bodem wordt in de winter dus veel minder verwarmd dan in de zomer gekoeld. Aangezien een warmtepomp meer warmte maakt dan koude ontstaat hier een onbalans. Het grootste deel van de restwarmte wordt dus ingezet voor kasverwarming, waar hogere watertemperaturen (ca. 40°C) voor worden gevraagd. De besparing met een warmtepomp kan hoger zijn als er laagwaardiger toepassingen voor de restwarmte worden gevonden, omdat dan de efficiëntie toeneemt.

3.2.2.1 Productie van warmte en koude

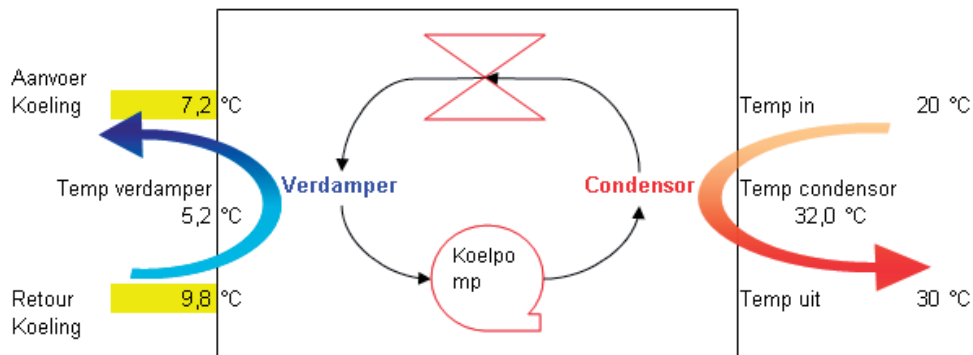
De in de winter benodigde warmte en de in de zomer benodigde koude kunnen worden opgewekt met enerzijds een combinatie van koelmachine en verwarmingsketel of anderzijds een warmtepomp.

Koelmachine (productie koelwater) en verwarmingsketel

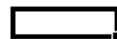
Als het koelwater wordt aangemaakt met een koelmachine van 100 kW_e met een condensortemperatuur van 32°C en een temperatuur van de verdamper van 5,2°C dan krijgt de koelmachine een COP voor koude van ongeveer $(5,7-1)=4,7$ en is een koelvermogen van 469 kW_{th} te realiseren (Figuur 16.).

De COP is bepaald met de volgende formule:
$$COP := 50\% \times \frac{273 + T_{\text{condensor}}}{T_{\text{condensor}} - T_{\text{verdamer}}}$$

Zomer Koelmachine
Warmte naar lucht



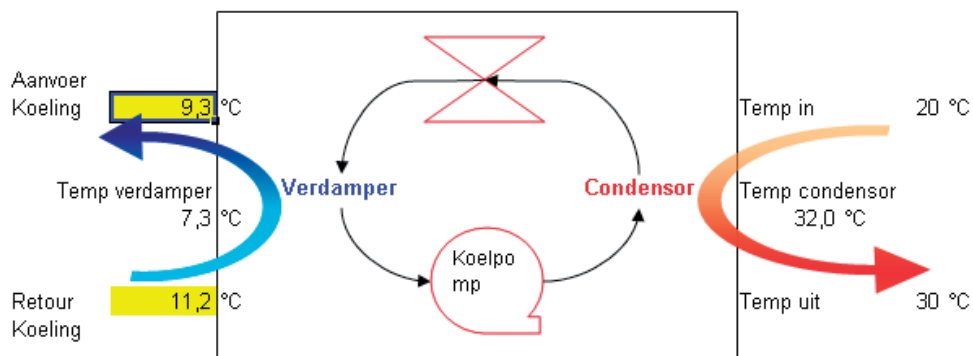
Elektrisch vermogen	100 kWe
Delta T verdamper/output	2 °C
Delta T condensor/output	2 °C
COP	5,7
Flow koeling	155 m3/h
Koelvermogen	469 kWth
Warmte naar lucht	569 kWth
Flow lucht	47 m3/s



Figuur 16. Schema voor het bepalen van de COP van een koelmachine bij koelwater van 7,2°C (4 slangen)

Als de condensortemperatuur mag stijgen naar 7,3°C om een koelwatertemperatuur van 9,3°C te verkrijgen dan stijgt de COP voor koude naar $(6,2-1)=5,2$ zal het koelvermogen stijgen naar 517 kW_{th} (Figuur 17.). Hiermee zal de koelmachine $(1-469/517)=9.3\%$ minder elektriciteit nodig hebben.

Zomer Koelmachine
Warmte naar lucht



Elektrisch vermogen	100 kWe
Delta T verdamper/output	2 °C
Delta T condensor/output	2 °C
COP	6,2
Flow koeling	235 m3/h
Koelvermogen	517 kWth
Warmte naar lucht	617 kWth
Flow lucht	51 m3/s

Figuur 17. Schema voor het bepalen van de COP van een koelmachine bij koelwater van 9,3°C (8 slangen)

Bij bodemverwarming met een verwarmingsketel zal het voor het energieverbruik niet uitmaken of de bodem wordt verwarmd met 8 slangen of met 4 slangen. De hoeveelheid benodigde thermische energie blijft immers gelijk en het thermische rendement van een ketel wordt nauwelijks verbeterd als de bodemverwarming een lagere aanvoertemperatuur nodig heeft.

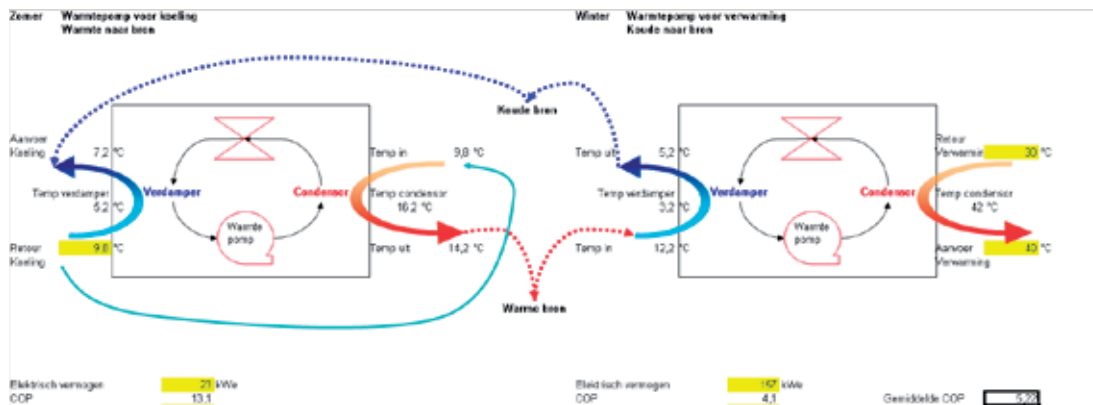
Verhouding bodemverwarming en bodemkoeling

Het warmteverbruik van de bodemverwarming is veel kleiner dan de warmte-onttrekking tijdens grondkoeling. Als alleen wordt uitgegaan van de beproefde perioden dan ligt de verhouding bodemkoeling/bodemverwarming op 46:8. Als ervan wordt uitgegaan dat deze verhouding representatief is voor een praktijkbedrijf, betekent dit dat een warmtepomp veel meer warmte produceert dan nodig voor bodemverwarming. Het grootste gedeelte van de warmte uit de warmtepomp zal dan voor buisverwarming moeten worden benut.

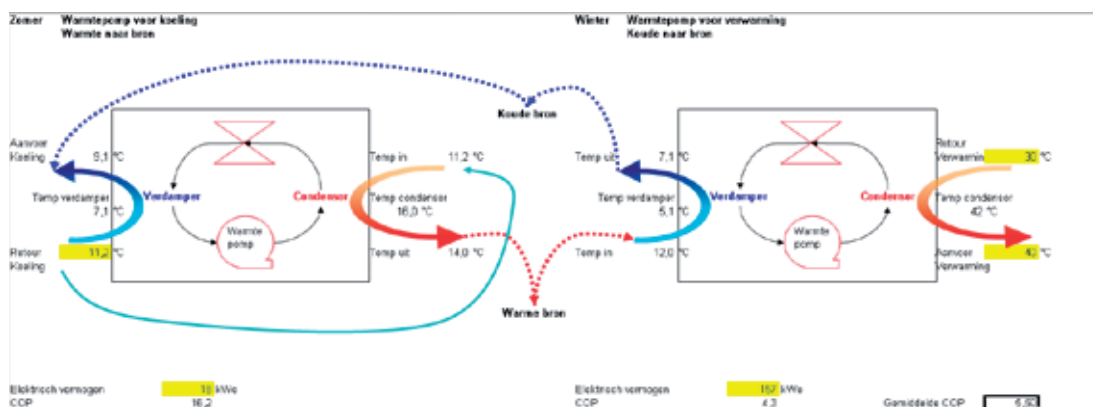
Warmtepomp

Het rendement van een warmtepomp is voor een groot deel afhankelijk van de benodigde watertemperaturen voor koeling en voor verwarming. Bij 8 slangen hoeft het koelwater 2,1°C minder koud te zijn dan bij 4 slangen. Aangezien de bodemverwarming veel minder vermogen vraagt dan de bodemkoeling, ligt de watertemperatuur bij bodemverwarming slechts enkele graden boven de bodemtemperatuur. In de proef lagen de watertemperaturen voor 8 en 4 slangen zelfs zeer dicht bij elkaar, per fase variërend tussen 16 en 20°C. Aangezien de bodemtemperatuur bij 8 slangen 0,7°C hoger lag wordt er van uitgegaan dat bij 8 slangen met een $\pm 0,7^\circ\text{C}$ lagere watertemperatuur kan worden volstaan voor de bodemverwarming. Aangezien dit verschil erg klein is en het aandeel van de grondverwarming in de totale verwarming van de warmtepomp klein is, kan worden gesteld dat het voor het rendement van de warmtepomp in de winter nauwelijks uitmaakt of de bodem met 4 of 8 slangen wordt verwarmd. In Figuur 18. en Figuur 19. worden de koel- en verwarmingssituaties weergegeven voor een situatie met 4 of 8 slangen bij gebruik van een warmtepomp. Dit ter vergelijking met de situaties met een koelmachine (Figuur 16. en Figuur 17.).

Zowel bij 4 als bij 8 slangen is ervan uitgegaan dat de warmtepomp in de winter een temperatuur van 40°C moet kunnen produceren voor de kasverwarming. Bovendien moet de warmtepomp in de zomer ook op een laag pitje (respectievelijk 23 en 18 kWe) draaien om het retourwater uit de koelslangen op te warmen tot de temperatuur van de warme bron ($\pm 14^\circ\text{C}$). De energiebesparing van 8 slangen ten opzichte van 4 slangen in de bodem is te zien aan de hogere COP bij 8 slangen. Deze kan in de zomer zelfs oplopen tot 16,2 omdat de verwarmingstemperatuur zo laag ligt. In de winter is de COP bij 8 slangen 4,3 en gemiddeld over het hele jaar is deze 5,5, wat ongeveer 5% hoger is dan bij de situatie met 4 slangen.



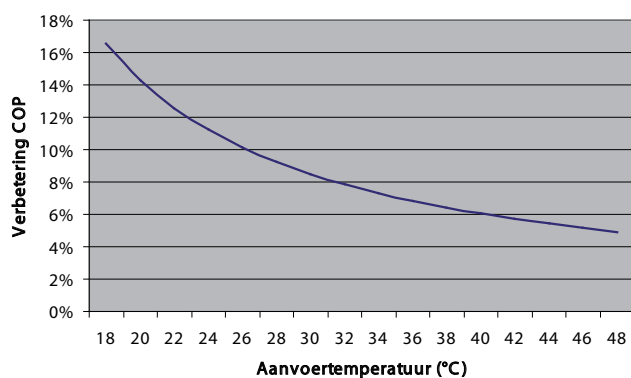
Figuur 18. Schema van het rendement van een warmtepomp bij koelwater van 7,2°C (4 slangen)



Figuur 19. Schema van het rendement van een warmtepomp bij koelwater van 9,3°C (8 slangen)

Energievraag bij verschillende configuraties

De meeste Freesiabedrijven koelen met behulp van een koelmachine en gebruiken vier grondslangen per bed. Voor bedrijven die overgaan op een warmtepomp en/of een bed met 8 slangen verandert de energievraag. In Tabel 10. staat aangegeven wat de elektriciteitsvraag is bij zowel een koelmachine of een warmtepomp en 4 of 8 slangen per bed. Hierbij is uitgegaan van de gebruikte koude in de proefkas (45 kWh/m² ofwel 162 MJ/m²). Het gebruik van 8 in plaats van 4 slangen, geeft bij een koelmachine 9,6% besparing op de elektriciteitsvraag. Bij een warmtepomp is dat slechts 6,2%. Deze lage besparing ligt voornamelijk aan het feit dat de warmtepomp aan de zijde van de condensor een hogere temperatuur moet leveren dan eerst werd aangenomen. Hoe hoger de condensortemperatuur is, hoe minder effect een hogere temperatuur van de verdamper heeft op de COP (Figuur 20.). Voor de koudeproductie vergt een warmtepomp zo'n 12% meer elektriciteit dan een koelmachine. Daar staat tegenover dat een warmtepomp ook warmte levert (Tabel 11.).



Figuur 20. Invloed van de aanvoertemperatuur bij verwarming op de verbetering van de COP als de aanvoertemperatuur bij koeling stijgt van 7,2 naar 9,3°C

Tabel 10. Elektriciteitsvraag (kWh/m²) bij vier verschillende configuraties en een koudevraag van 162 MJ/m².jaar en de mogelijke besparing op de elektriciteitsvraag door gebruik van 8 ipv 4 bodemslangen per bed

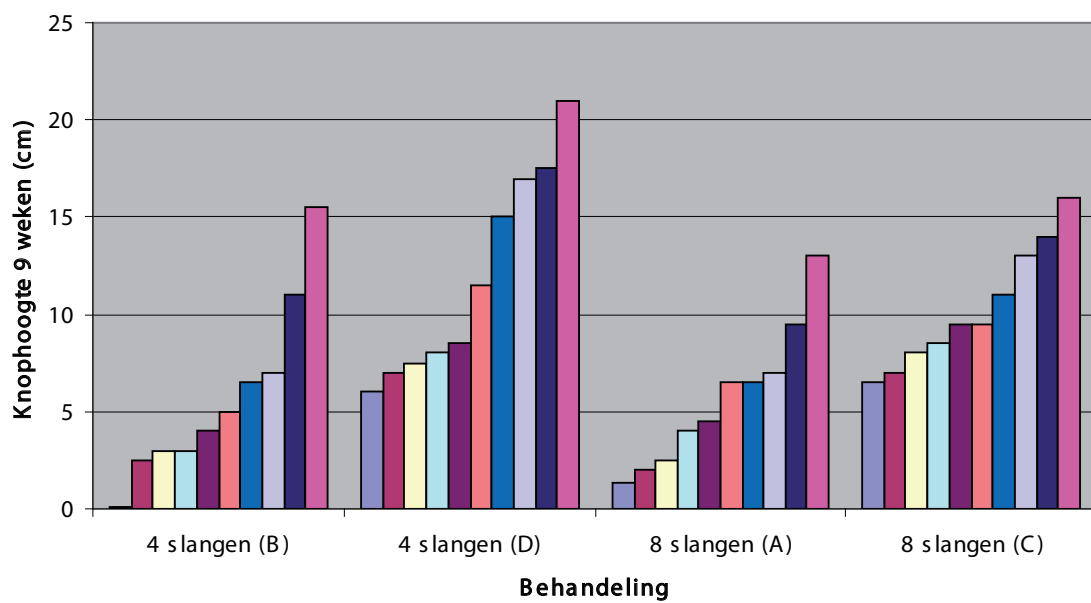
Energieproductie	Slangen (#/bed)	COP koude	elektriciteitsvraag (kWh/m ²)	besparing 8 slangen
Koelmachine	4	4,7	9,6	
Koelmachine	8	5,2	8,7	9,6%
Warmtepomp	4	4,2	10,7	
Warmtepomp	8	4,5	10,0	6,2%

Tabel 11. COP van een warmtepomp en warmteproductie (MJ of m³ ae/m².jaar) bij 4 of 8 slangen per bed

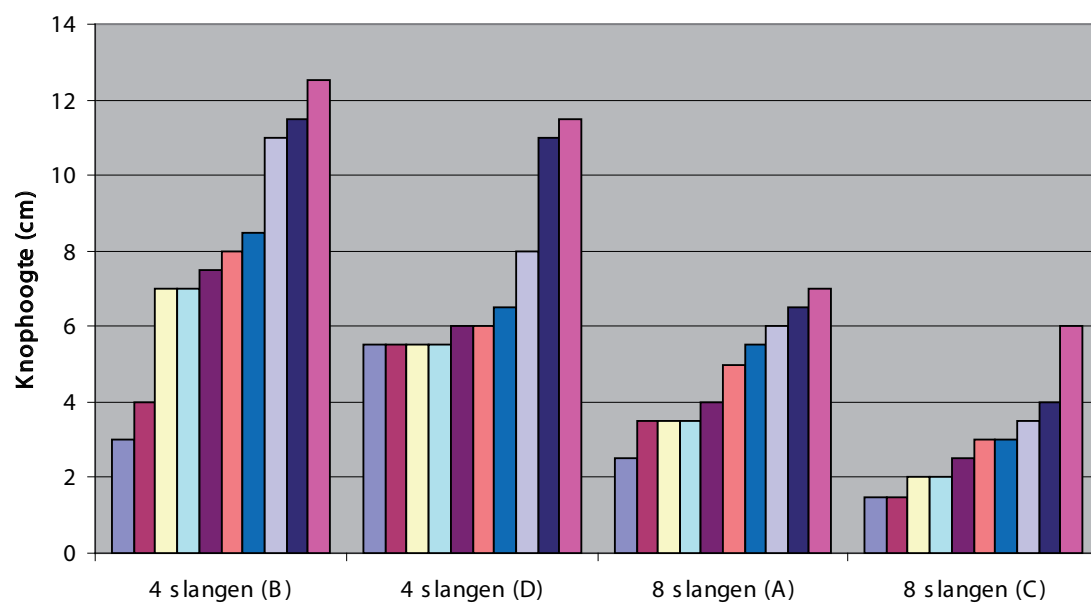
Slangen (#/bed)	COP warmte	Warmteproductie (MJ/m ² .jaar)	Warmteproductie (m ³ /m ² .jaar)
4	5,22	200	6,3
8	5,5	198	6,3

3.2.3 Uniformiteit knopinductie

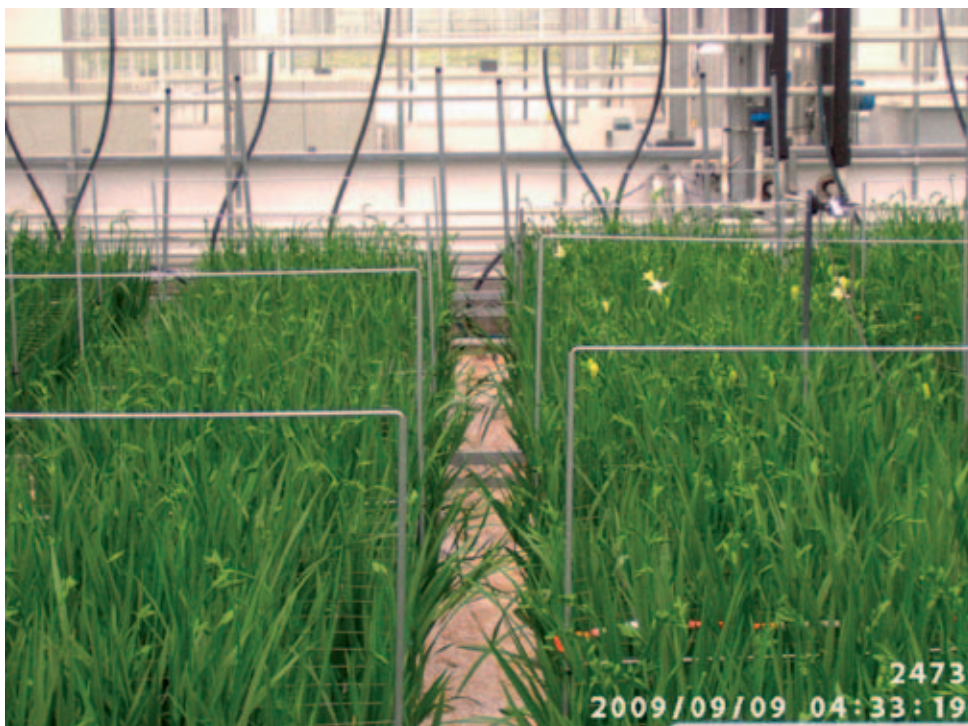
Zowel in de zomerperiode als in de winterperiode was de knophoogte 9 weken na plantdatum bij 8 slangen uniformer dan bij 4 slangen. In de zomerperiode was de standaardafwijking bij 4 slangen 5,8 cm en bij 8 slangen 4,1 cm (Figuur 21.). In de winterperiode was de standaardafwijking bij 4 slangen 2,7 cm en bij 8 slangen 1,7 cm (Figuur 22.). De gemiddelde knophoogte 9 weken na plantdatum in de zomerperiode was bij 4 slangen 8,8 cm en bij 8 slangen 8,0 cm. In de winterperiode was de knop met 7,6 cm bij 4 slangen langer dan bij 8 slangen met 3,8 cm. Dit zou naast de uniformere bodemtemperatuur ook een deel van het verschil in uniformiteit veroorzaken kunnen hebben. In Figuur 23. is te zien dat de takken in de zomerperiode (9 september) bij 8 slangen uniformer staan dan bij 4 slangen.



Figuur 21. Knopphoogte van 10 planten per bed op 21 augustus 2009 (plantdatum 19 juni 2009)



Figuur 22. Knopphoogte van 10 planten per bed op 17 februari 2010 (plantdatum 11 december 2009)



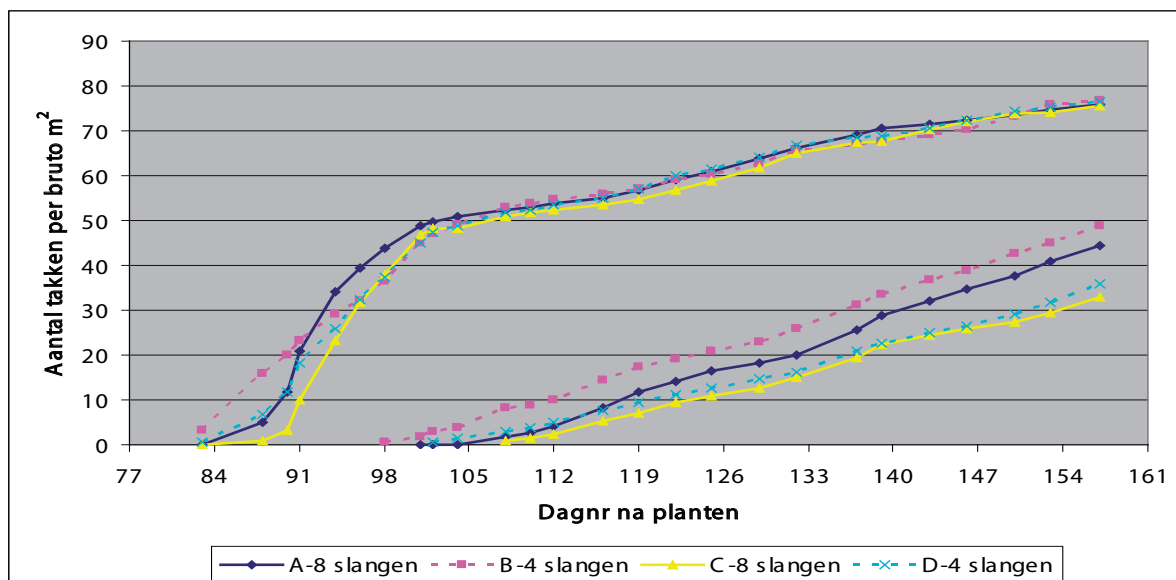
Figuur 23. Uniformere ontwikkeling van de hoofdtak in bed met 8 slangen (links) in vergelijking met bed met 4 slangen (rechts) op 9 september 2009 (plantdatum 19 juni 2009)

3.2.4 Groei en ontwikkeling

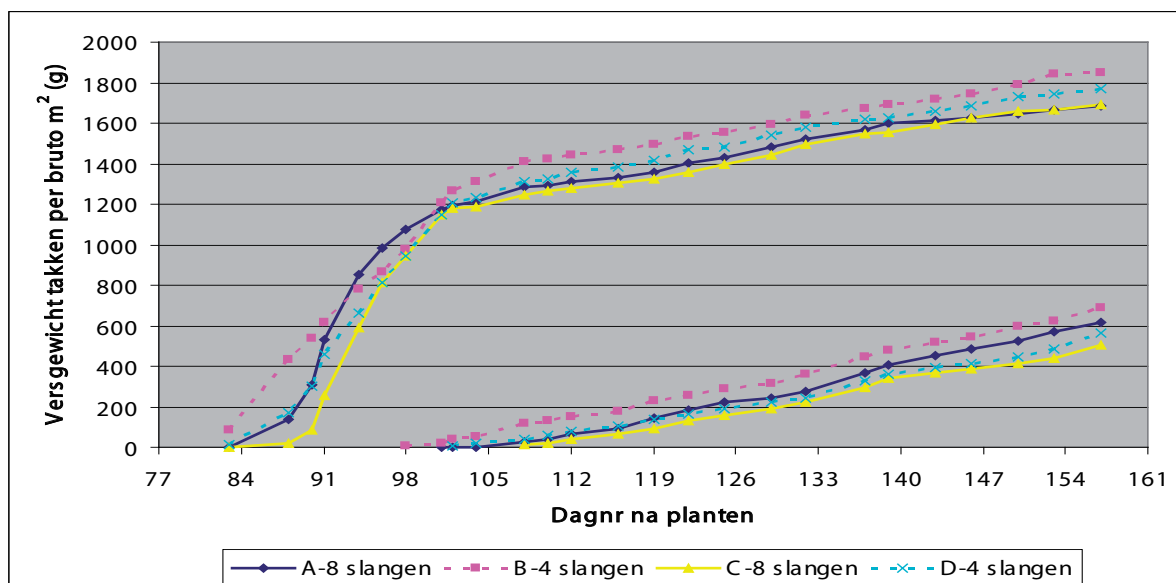
Naast de knopgrootte is er weinig verschil in groei en ontwikkeling tussen de behandelingen. De waarnemingen zijn weergegeven in Bijlage IV. Aan het einde van de zomerproef is het aantal splijters geteld. Voor de bedden met 4 slangen was dit 21% en 48% en voor de bedden met 8 slangen was dit 46% en 49%, dus geen betrouwbaar verschil tussen beide systemen.

3.2.5 Uniformiteit productie

In de zomerperiode is de productie bij de behandeling met vier koelslangen eerder begonnen zowel van de hoofdtakken als de haken (Figuur 24.). Dit is te verklaren doordat de bodemtemperatuur minder uniform is. De takken die vlak naast de koelslang stonden, zijn waarschijnlijk kouder geweest dan gemiddeld en hebben daardoor een snellere knopinductie gehad dan gemiddeld. De verwachting was ook dat de behandeling met acht koelslangen eerder klaar zou zijn, omdat daar minder takken zijn die gemiddeld juist warmer zijn geweest en daarmee later te oogsten zijn dan gemiddeld. Dit is echter niet gerealiseerd. Het aantal takken en het geoogste versgewicht (Figuur 25.) varieerde sterker tussen de bedden dan tussen de behandelingen, dus er is geen betrouwbaar effect van de behandeling aangetoond. De winterteelt moest beëindigd worden voordat productiecijfers konden worden waargenomen. Op basis van het verschil in knopgrootte kan wel een grove inschatting worden gemaakt. Een variatie bij 4 slangen in knopgrootte tussen 3 cm en 12 cm zoals in Figuur 22., betekent in het voorjaar twee weken verschil en in het najaar 4 weken verschil tot einde oogstperiode. Bij 8 slangen is deze variatie ongeveer de helft kleiner, maar ook trager. Waarschijnlijk door de 0,7°C hogere gerealiseerde gemiddelde bodemtemperatuur.



Figuur 24. Cumulatief aantal hoofdtakken (start dag 84) en haken (start rond dag 100) van twee proefvakken per behandeling vanaf plantdatum (19 juni 2009) van de behandeling met 4 koelslangen (referentie) en 8 koelslangen (energiezuinig)



Figuur 25. Cumulatief versgewicht van hoofdtakken en haken ((start dag 84) en haken (start rond dag 100) van twee proefvakken per behandeling vanaf plantdatum (19 juni 2009) van de behandeling met 4 koelslangen (referentie) en 8 koelslangen (energiezuinig)

De taklengte verschilde niet tussen de behandelingen. Bij 8 slangen waren de takken gemiddeld 50,3 cm en bij 4 slangen 50,4 cm. De standaardafwijking was voor de haken bij 8 slangen met 4,9 cm lager dan bij 4 slangen met 5,3 cm. Voor de hoofdtakken was de standaardafwijking respectievelijk 3,5 en 3,6 cm.

4 Discussie en aanbevelingen

Het temperatuurverschil tussen het koelwater van 4 slangen en 8 slangen is zeer bepalend voor de energiebesparing. Vanwege de goede realisatie van de gewenste bodemtemperatuur in de zomerperiode met 8 slangen in vergelijking met 4 slangen, zou het verschil in koelwatertemperatuur tussen beide behandelingen groter mogen zijn dan nu is gerealiseerd, waardoor beter de vooraf berekende energiebesparing gerealiseerd had kunnen worden. Met 8 slangen in vergelijking met 4 slangen is een hogere koelwatertemperatuur mogelijk en een uniformere bodemtemperatuur.

4.1 Energiegebruik

In principe is de hoeveelheid thermische energie die wordt onttrokken bij bodemkoeling onafhankelijk van de temperatuur waarmee de koeling plaatsvindt. Uit de metingen is echter gebleken dat de bedden met minder koelslangen en een lagere koelwatertemperatuur 5% meer koelenergie nodig hadden. Dit is mogelijk te verklaren doordat ook een iets lagere bodemtemperatuur is gerealiseerd. Ook is het mogelijk dat er meer koeling verloren is gegaan in het distributienet tussen de koelmeter en de grondslangen.

Bij beide systemen was het geen probleem om de gewenste bodemtemperatuur te handhaven. Dit geeft perspectief om de koelwatertemperatuur nog verder op te voeren, zodat het koelwater met minder elektriciteit kan worden geproduceerd. Bij de berekeningen is de elektrische energie voor de distributie van koelwater verwaarloosd. Het valt te verwachten dat een systeem met 8 slangen meer pompenergie nodig heeft dan een systeem met 4 slangen. Er wordt bij 8 slangen immers over een langer traject water rondgepompt. Daar staat tegenover dat het koelwater in een bed met 8 slangen minder debiet per slang nodig heeft omdat het water minder snel afkoelt.

Aan de bodem wordt in de winter veel minder verwarmd dan in de zomer gekoeld. Aangezien een warmtepomp meer warmte maakt dan koude ontstaat hier een onbalans. Verreweg het grootste deel van de van de warmte uit de warmtepomp moet via de buizen worden toegediend. De buistemperatuur ligt veelal hoger dan de temperatuur van de grondslangen. In deze studie is hiervoor een watertemperatuur van 40°C aangenomen.

Het gebruik van 8 slangen per bed levert geen energiebesparing voor de bodemverwarming. Een verwarmingsketel heeft geen baat bij een iets lagere bodemtemperatuur en een warmtepomp produceert jaarrond meer warmte dan dat het voor bodemverwarming kan gebruiken. De besparing met een warmtepomp kan hoger zijn als laagwaardiger toepassingen voor de restwarmte worden gevonden.

4.2 Productie

Dat de uniformere bodemtemperatuur wel heeft geresulteerd in een uniformere knopvorming, maar niet in een uniformere productie kan verschillende oorzaken hebben. Een daarvan is de aanwezigheid van splijters. Dit zijn knollen die in een vroeg stadium zijscheuten maken, waardoor de snee van de hoofdscheuten en zijscheuten door elkaar loopt en het geheel minder gelijktijdig wordt naar het einde toe. De aanwezigheid van splijters heeft te maken met afkomst. Zo splijten knollen van knollen meer dan knollen van kralen (Pfaff, 1991). Ook de preparatie is van belang. Het verkorten van de 30°C periode tijdens de preparatie, verminderd de hoeveelheid splijters. Als deze knollen na de hierop volgende koude periode van knopinductie weer bij 30°C werden behandeld, nam het aantal splijters weer toe (Doorduyn, 1987). Zonder splijters had de teelt waarschijnlijk eerder geëindigd kunnen worden omdat de splijters meestal trager zijn dan de hoofdscheut, wat een productieverhoging per jaar had kunnen geven. Dit is echter niet uit dit onderzoek te concluderen. Voor vervolgonderzoek wordt aanbevolen om een partij met weinig risico op splijters te gebruiken en de aanwezige splijters in vroeg stadium (ca. 4 weken na plantdatum) te verwijderen.

Als dit niet de oorzaak zou zijn, komt de vraag naar voren of de streefwaarden van bodemtemperatuur voor de knopsturing zoals die in de praktijk vanuit ervaring worden gebruikt en die ook in de proef is gedaan, wel de juiste zijn als een betere realisatie van de streeftemperatuur in de bodem niet leidt tot een betere uniformiteit. Nader onderzoek zou kunnen bepalen in hoeverre bijvoorbeeld temperatuurintegratie van de bodemtemperatuur toe te passen is bij knopinductie. Vanwege de variatie in bodemtemperatuur door het bed, speelt ook de uniformiteit van de locatie van het groeipunt ten opzichte van de slang een rol. Ook de uniformiteit van de partij knollen kan hierbij een rol spelen (Heij 2004). De streefwaarden variëren per cultivar en zijn op basis van praktijkervaring per cultivar bepaald.

Voor het reguleren van de bodemtemperatuur is de locatie van de logger van belang voor een rustige regeling volgens de gewenste streefwaarde bij het groeipunt. Vanwege de korte bedlengte waren de verschillen in watertemperatuur tussen de aanvoer en retourslang kleiner dan in de praktijk. Ook geeft in de praktijk een mengklep een rustigere regeling van de koelmachine dan een aan/uit regeling. Als de klimaatcomputer een variërende aanvoertemperatuur voor de koelsslangen kan berekenen dan is het beste om de sensor waarop de koelmachine aan/uit slaat bij de aanvoerslang te plaatsen. De bodemtemperatuur blijft het meest constant (gedurende de tijd) door niet op een constante aanvoertemperatuur te regelen, maar die te laten variëren. De locatie van de sensor dicht bij het aanvoerwater en een regeling met een kleine hysteresis geeft dan de meest constante bodemtemperatuur (gedurende de tijd). Hysteresis houdt in dat bijvoorbeeld de koeler aanslaat op bijvoorbeeld 9°C en weer uitgaat bij 7 °C (in dit voorbeeld meet je bij de aanvoerslang). Hoe wijder die twee niveaus uit elkaar liggen (dus hoe groter de hysteresis) hoe rustiger de koelmachine loopt (langer aan en langer uit), maar hoe groter de verschillen tussen de hoogste en de laagste bodemtemperatuur (gedurende de tijd) zullen zijn. Heeft de computer alleen een aan/uit regeling, dan is het beste om de sensor in de buurt van de retourslang te plaatsen. Als de koellast hoog is (zomer) zal het namelijk langer duren voordat de temperatuur aan de retourzijde na het aanslaan van de koelmachine zakt (c.q. de streefwaarde bereikt) dan wanneer de koellast klein is (voor-/najaar). Het gevolg is dan dat de koelmachine vanzelf langer gaat draaien bij hoge koellast dan bij lage koellast. Hoe dicht bij de slang, hoe vaker de koel/machine aan/uit slaat, maar hoe constanter de bodemtemperatuur zal blijven (Zwart, 2010). Het verschil in temperatuur tussen de aanvoer en de retourslang wordt in de praktijk benut/ gecompenseerd door de retoursslangen midden in het bed en de aanvoerslangen aan de buitenzijde van het bed te plaatsen. Omdat het pad niet verwarmd of gekoeld wordt, is in de praktijk vaak te zien dat de knollen die aan de buitenzijde van de slang langs het pad staan, sneller (winter) of trager (zomer) zijn dan midden in het bed. De knollen op deze rij dicht bij de slang plaatsen dan de andere knollen is een manier om ook de buitenste knollenrij dicht bij de gewenste temperatuur te krijgen.

De vereiste ca. 0,7% meeropbrengst in productie zoals berekend in de eerste fase (pagina 16), is in dit onderzoek niet gerealiseerd en de investering in 8 slangen in plaats van 4 slangen kan daardoor alleen rendabel worden indien de energieprijzen hoger worden dan de gehanteerde energieprijzen of een uniformere productie kan worden gerealiseerd. Meer uniformiteit leidt tot teeltversnelling indien de traagste planten eerder productierijp zijn. Waarschijnlijk is met een meer uniforme partij en minder splijters wel enige verbetering in uniformiteit van de productie te realiseren. De bodemtemperatuur en de knopvorming is immers wel uniformer met 8 slangen. Een verkorting van de teeltduur bespaart energie per tak doordat er per tak minder hoeft te worden belicht en gestookt en de extra investering sneller is terugverdiend.

4.3 Aanbevelingen

Een uniformere bodemtemperatuur zorgt voor een uniformere knopvorming, maar om ook een uniforme productie te realiseren lijkt het aan te bevelen om partijen knollen te selecteren die minder gevoelig zijn voor het ontstaan van splijters. Zo zijn knollen van kralen minder gevoelig voor splijters dan knollen van knollen. Als toch splijters ontstaan, dienen deze in een zo vroeg mogelijk stadium verwijderd te worden om de uniformiteit in teeltduur te verbeteren. Welke andere factoren een rol spelen in de uniformiteit vereist nader onderzoek.

Voor realisatie van de gewenste bodemtemperatuur kunnen in het algemeen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Een systeem met 8 slangen geeft een uniformere bodemtemperatuur dan een systeem met 4 slangen en is in de zomer energiezuiniger. Het aantal slangen in combinatie met de watertemperatuur en de isolatie bepaalt of de capaciteit voldoende is. Hoe meer slangen, hoe dichter de koelwatertemperatuur bij de gewenste bodemtemperatuur mag liggen.
- Zorg voor een goede verdeling van het isolatiemateriaal over de bodem. Hoe hoger de isolatie, hoe beter de gewenste bodemtemperatuur kan worden gerealiseerd en hoe minder energie het kost.
- Zorg ervoor dat het voelgedeelte van de bodemtemperatuursensor waarop wordt gestuurd ongeveer net zo diep is geplaatst als de bovenkant van de knol.
- Plaats de bodemtemperatuursensor waarop wordt gestuurd net zo ver van de slang af als het midden van de knol.
- Houdt er rekening mee dat wanneer de sensor bij een aanvoerslang staat, de koelmachine vaker aan en uit slaat en sneller reageert dan wanneer de sensor bij een retourslang staat. Hierdoor zijn de pieken en dalen in de bodemtemperatuur kleiner gedurende de tijd. Wanneer de sensor verplaatst wordt van een retourslang naar een aanvoerslang, zullen in geval van koeling de knollen in het gehele bed gemiddeld warmer worden. Dit kan verholpen worden door de streef temperatuur naar beneden bij te stellen.
- Controleer met een andere bodemtemperatuursensor of de gewenste bodemtemperatuur wordt gerealiseerd. Doe dit op een aantal plaatsen ter hoogte van de bovenkant van de knol en op eenzelfde afstand van de slang als de knol.
- Zorg voor een goede ijking van de bodemtemperatuursensoren.

5 Conclusies

- Door verdubbeling van het aantal koelslangen voor de bodemkoeling van vier naar acht, is een elektriciteitsbesparing gerealiseerd in de zomerperiode van 6,2% bij een warmtepomp en 9,6% bij een koelmachine, door een koelwatertemperatuur van 9,3°C in vergelijking met 7,2°C. Het gaat hierbij om respectievelijk 0,7 en 0,9 kWh/m².jaar. Bij een koelwatertemperatuur van 9,75°C en 6°C, is deze besparing 16% bij een koelmachine en 27% bij een warmtepomp. In de winterperiode is de energiebesparing met bodemverwarming nihil.
- Met 8 slangen met een koelwatertemperatuur van 9,3°C, is de gewenste bodemtemperatuur beter te realiseren dan met 4 slangen met een koelwatertemperatuur van 7,2°C. Dit biedt potentie voor een hogere koelwatertemperatuur bij 8 slangen met daarmee een hogere energiebesparing.
- Bodemkoeling of -verwarming met 8 slangen geeft een uniformere bodemtemperatuur dan 4 slangen.
- De uniformere bodemtemperatuur heeft tot een uniformere knopinductie, maar niet tot een uniformere productie geleid.
- De benodigde meerproductie van ca. 1% om rendabel te zijn bij de huidige energieprijzen, is in dit onderzoek niet gerealiseerd, mogelijk door de aanwezigheid van splijters welke een spreiding in de productie gaven.

Referenties

Doorduyn, J. 1987.

Snelle rustdoorbreking Freesia vermindert ook splijten. Vakblad voor de Bloemisterij 11.

Heij, G., Kersten, M., Slootweg, C., 2004.

Vitaliteit van freesiaknollen. Proefstation Plant en Omgeving.

KWIN, 2008.

Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Pfaff, H., N. van Dijk, F. Maas, J. Doorduyn. 1991.

De teelt van freesia. Informatie en kennis Centrum Akker- en Tuinbouw.

Schröder, C.J.M., 1994.

Beheersing van substraattemperatuur bij fresia in een gesloten systeem. Proeftuin Noord-Limburg. Horst.

Van der Poel, H., 2009.

Hans van der Poel Machinebouw. Persoonlijke communicatie.

Van Os, E., M. Ruijs, J. Doorduyn, G. Janssen. 1996.

Oriënterend onderzoek bedrijfssystemen bij Freesia. IMAG. Wageningen.

Van Weel, P. en M. Raaphorst. 2009.

Wageningen UR Glastuinbouw. Persoonlijke communicatie.

Wiel, V. d. 1989.

De invloed van grondtemperatuur en licht op het duimen, het bloeitijdstip, de produktie en de kwaliteit van freesia.

Stichting Proeftuin Noord-Limburg. Horst.

Zwart, H.F., 2010.

Persoonlijke communicatie.

Bijlage I Vragenlijst individuele interviews

1. Type koelsysteem:

- Hoe wordt koude gemaakt?

.....
.....

- Pomp:..... kW opha
- Debiet in m³/uur (plaatje pomp)

.....

2. Cyclus:

- Aantal slangen per bed.....
- Bedbreedte.....
- diepte slangen.....
- diepte knollen.....
- lengte slangen.....
- diameter slangen.....
- aantal aansluitpunten met hoofdleiding.....
- setpoints bodemtemperatuur.....

- watertemperatuur systeem inen uit.....

- Hoeveel bedden worden dan gekoeld op dat circulatiesysteem?

- Type isolatiemateriaal.....

- Hoeveel isolatiemateriaal per m²?.....

3. Welk systeem wordt het meeste toegepast bij Freesia?

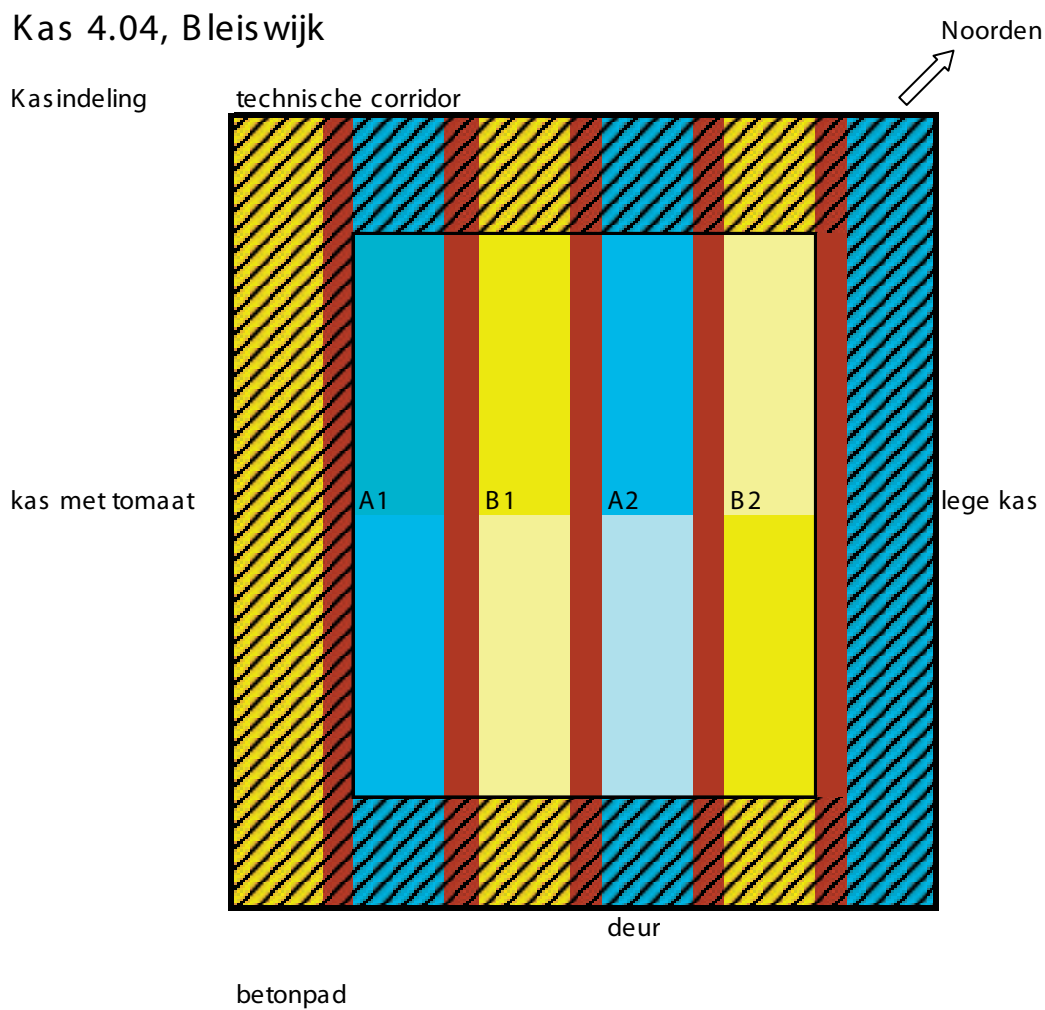
.....

4. Homogeniteit bodemtemperatuur

- type bodem?

Bijlage II Proefindeling

Kas 4.04, Bleiswijk



Legenda

	randrij
	bed met behandeling A (4 bodemkoelslangen)
	bed met behandeling B (8 bodemkoelslangen)

lichte kleur = productiemetingen (4 bij 1,20 m)

donkere kleur = destructieve metingen (4 bij 1,20 m)

bed = 13 m bij 1,20 m, pad is 0,40 m.

Bijlage III Klimaatinstellingen

Teeltperiode mei t/m oktober	Kas 4.04
Kastemperatuur en ventilatie	
Streef temperatuur	Overdag 17-20 °C 's nachts 12-15 °C
Temperatuur maximaal	27°C
Stoken:	10°C
Minimum raamstand	5% luwe zijde 0% windzijde
Ventilatietemperatuur luwe zijde	's nachts 11°C overdag 11°C geen lichtverhoging want temperatuur wordt toch te hoog
windzijde	18-20°C. Instellen via p-band (luw nu 1,5°C en wind 3°C). Vanaf 23°C ventilatie maximaal.
Schermen	> 600 W doek dicht als schaduw scherm. De eerste dagen tegengesteld schermen om de grondtemperatuur niet verder te laten oplopen. Dit houdt in overdag bij 100 W dicht laat lopen en 's nachts open. Bij bovenkomst van de planten schermen rond 500 W/m ²
Verneveling	Regelen op vochtdeficit. Tussen 8.00 – 9.00uur 78-80%. Hierna naar 75% tot +/- 19.30 uur daarna 70% (omrekenen) Puls: 10 seconde aan, 30 seconde uit, daarna indien nodig pauzetijd korter (tot 10 sec).
Ontvochtiging	Regelen op vochtdeficit >83-85%: start luchtkier (en doekkier) > 88% minimum buis erin. (omrekenen)
Belichting	Vanaf augustus: na 9:00 nog geen 100W/m ² lampen aan en boven 200W/m ² weer uit. Vanaf eind september 16 uur voor zon onder lampen aan. 20-24 uur altijd uit. boven 250W/m ² uit.
CO ₂	100 kg/ha/u (= balletje beide kassen op 12) Streef 700 ppm zodra lampen aan. Kan in de praktijk vaak niet gehaald worden.
Bodemtemperatuur	Eerste week na planten 17-18°C. Daarna 15,5°C.
Watergift	Eerste week om de 1-4 dagen (zodat de bovenlaag vochtig blijft) Varieert van 1 l/m ² dag tot 5 a 6 l/m ² dag. Afhankelijk van de plant grootte Overheen gieten tot een plantgrootte van ongeveer 60 cm verdient de voorkeur in het voorjaar en de zomer. Als er gedruppeld wordt dan is de gift ongeveer 1 liter/ 700 joules. Voorkeur beurten van 250 ml/keer.
Teeltperiode dec-maart	Kas 4.04
Streef temperatuur	Start ruimtetemperatuur: 10 °C minimaal realisatie (stook). Ruimtetemperatuur mag ook verder oplopen, mochten de buitenomstandigheden dit veroorzaken.
Temperatuur minimaal	10°C
Stoken:	10°C (buistemp 40°C)
Ventilatietemperatuur luwe zijde	16°C Minimum raamstand luwe zijde 2% Vorstgrens: onder -1 tot +3°C buistemp dicht (lichtafhankelijk)
Ventilatietemperatuur windzijde	<9°C buistemp windzijde helemaal dicht
Ontvochtiging	RV : Als de planten boven de grond komen onder de 92% houden.
Schermen	Onder buistemperatuur van 5°C in de nacht. (>600 W doek dicht als schaduw scherm).
Verneveling	Pas vanaf voorjaar: Tussen 8.00 – 9.00uur 78-80%. Hierna naar 75% tot +/- 19.30 uur daarna 70%. Puls: 10 seconde aan, 30 seconde uit, daarna indien nodig pauzetijd korter (tot 10 sec).
Belichting (+/- 4000 lux)	Vanaf eind september 16 uur voor zon onder lampen aan. 20-24 uur altijd uit. Vanaf feb boven 250W/m ² uit. Als de lampen aan zijn ook dicht tussen 00:00 en zon op ivm lichtuitstoot. (assdoek kier 25% toegestaan).
CO ₂	100 kg/ha/u (= balletje op 12) Streef 700 ppm zodra lampen aan. Kan in de praktijk vaak niet gehaald worden.
Bodemtemperatuur	Start grondtemperatuur: 17-18 °C. Na 2 tot 3 weken naar 15,5°C.

Bijlage IV Gewaswaarnemingen

				Behandeling			
Gegevens	Seizoen	Plantleeftijd	start	4 slangen		8 slangen	
		(weken)		Gemiddeld	Stdev	Gemiddeld	Stdev
plantlengte boven knol (cm)	Winter	0					
		4		37.3	4.8	35.8	4.3
		9		77.6	5.0	74.8	6.8
	Zomer	0					
		4		34.3	2.7	34.9	4.1
		9		78.2	3.9	80.1	5.6
		23		93.7	6.2	95.6	5.7
lengte hfdtak	Winter	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		7.6	2.7	3.8	1.7
	Zomer	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		8.8	5.8	8.0	4.1
		23					
knol (g)	Winter	0	3.1				
		4		5.1	1.8	4.6	1.7
		9		3.4	1.4	3.3	0.8
	Zomer	0	9.7				
		4		10.9	2.4	11.2	3.7
		9		1.7	0.5	1.8	0.7
		23		17.1	6.3	14.9	3.3
drooggewicht knol (g)	Winter	0	1.3				
		4		1.2	0.5	1.0	0.5
		9		0.7	0.3	0.6	0.1
	Zomer	0	3.4				
		4		2.4	0.7	2.3	0.9
		9		0.3	0.1	0.3	0.1
		23		5.2	2.2	4.5	1.1
blad (g)	Winter	0					
		4		6.5	2.1	6.3	1.7
		9		23.7	5.0	23.4	4.2
	Zomer	0					
		4		7.8	1.8	8.7	2.1
		9		45.1	14.7	44.0	11.5
		23		43.1	8.4	36.5	6.6
hoofdtak (g)	Winter	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		0.6	0.3	0.3	0.2
	Zomer	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		1.0	0.9	1.0	0.8
		23		32.9	19.6	21.4	10.8

(vervolg)				Behandeling			
Gegevens	Seizoen	Plantleeftijd	start	4 slangen		8 slangen	
		(weken)		Gemiddeld	Stdev	Gemiddeld	Stdev
aantal bladeren	Winter	0					
		4		7.7	0.7	7.7	0.6
		9		11.9	0.9	12.5	0.8
	Zomer	0					
		4		8.1	1.3	8.5	1.3
		9		16.0	5.3	15.0	3.7
		23		10.3	1.3	9.3	1.0
bladoppervlak (cm ²)	Winter	0					
		4		86.7	24.7	81.3	19.4
		9		432.0	73.5	408.6	86.9
	Zomer	0					
		4		94.0	22.3	96.0	24.4
		9		667.8	220.1	621.3	129.2
		23		677.9	95.5	607.6	51.3
drooggewicht blad (g)	Winter	0					
		4		0.6	0.2	0.6	0.2
		9		2.8	0.6	2.6	0.5
	Zomer	0					
		4		0.8	0.2	0.9	0.2
		9		5.2	1.7	4.9	1.2
		23		5.5	1.1	4.6	0.7
drooggewicht hoofdtak (g)	Winter	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		0.0	0.0	0.0	0.0
	Zomer	0					
		4		0.0	0.0	0.0	0.0
		9		0.1	0.1	0.1	0.1
		23		3.8	2.4	2.5	1.4
versgewicht totaal (g)	Winter	0	3.1				
		4		11.5	3.7	10.9	3.3
		9		27.7	6.3	27.0	4.3
	Zomer	0	9.7				
		4		18.7	3.2	19.9	4.5
		9		47.8	15.0	46.8	12.6
		23		92.3	23.8	72.7	16.1
drooggewicht totaal (g)	Winter	0	1.3				
		4		1.8	0.6	1.6	0.6
		9		3.5	0.9	3.3	0.5
	Zomer	0	3.4				
		4		3.2	0.7	3.3	0.9
		9		5.6	1.7	5.3	1.4
		23		14.4	3.3	11.6	2.3

