

Voorstudie ‘Duurzaam drogen van bloembollen middels een droogsysteem met zuigende ventilatoren en actieve ontvochtiging’

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Stuurgroep Schone en Zuinige Bloembollen (KAVB, PT, EZ, R.V.O, NL en telers).



september 2014

13985

**Proeftuin Zwaagdijk – Ing. Ronald Hand
Ernens Rolde Consult – Ing. Ben Ernens**

*Proeftuin Zwaagdijk
Tolweg 13
1681 ND Zwaagdijk-Oost
Telefoon (0228) 56 31 64
Fax (0228) 56 30 29
E-mail: proeftuin@proeftuinzwaagdijk.nl*

SAMENVATTING

In de voorstudie ‘Duurzaam drogen van bloembollen middels een droogstelsel met zuigende ventilatoren en actieve ontvochtiging’ is onderzoek gedaan naar de energiebesparing van twee innovatieve droogtechnieken voor bloembollen op basis van actieve ontvochtiging. Door vocht weg te koelen en de warmte die ontstaat weer in te zetten voor de droging kun je mogelijk werken met een fors hogere energiebenutting. De technieken zijn vergeleken met het standaard droogstelsel voor bloembollen. De studie is verricht in samenwerking met Proeftuin Zwaagdijk, Maatschap Kreuk, Ernens Consult Rolde en T&B Airsystems. De uiteindelijke doelstelling is om in de toekomst tulpen te telen met een lagere Carbon Footprint met minimaal dezelfde productkwaliteit of zelfs betere dan in de huidige situatie. Beoogd resultaat was een energieberekening voor de drie technieken.

Techniek 1 Drogen met opgewarmde buitenlucht

In de standaard situatie wordt buitenlucht opgewarmd tot 25°C en door de bollen geblazen voor een drogende werking. De warme lucht met vocht wordt afgevoerd naar de buitenlucht.

Techniek 2 Drogen met HR ontvochtiger en zuigende ventilatie

In dit systeem wordt in het uitblaaskanaal van de zuigwanden een HR-ontvochtiger geplaatst. De aangezogen lucht wordt eerst door twee stuks kruisstroom warmtewisselaars geleid en komt langs een koeler die de lucht afkoelt en ontvochtigd tot 3°C. De ontvochtigde lucht (van 3°C) wordt vervolgens weer door dezelfde kruisstroomwisselaar geleid en opgewarmd tot 22°C. De warme inkomende luchtstroom vanuit de bollen wordt dus door de kruisstroomwisselaar gebruikt om uitgaande ontvochtigde (koude) lucht weer op te warmen. Alvorens de uitgaande lucht (22°C) weer in de droogcel wordt gelaten wordt een heaterblok de lucht op tot 25°C. De benodigde warmte is afkomstig van de gebruikte koeler. Tegenovergesteld wordt de koude uitgaande luchtstroom in de wisselaar gebruikt om inkomende warme lucht uit de bollencel te pre-koelen. De techniek is afkomstig uit de kaasindustrie en bespaart door de kruisstromen van warme en koude lucht mogelijk energie.

Techniek 3 Drogen met mechanische koeling en zuigende ventilatie

Bij een droogstelsel middels mechanische koeling wordt lucht aangezogen. In het uitblaaskanaal van de zuigwanden is een koeler en verwarmingsblok geplaatst. De aangezogen lucht wordt door sterke afkoeling door een koeler ontvochtigd. Vervolgens wordt de lucht met condensorwarmte van de koeler opnieuw in temperatuur verhoogd naar 25°C.

Resultaat en conclusie energievergelijking

De drie systemen zijn op basis van gelijke uitgangspunten vergeleken op energieverbruik en investeringskosten.

		Energie- verbruik voor 24h drogen (primair)	Energie- verbruik voor 24h drogen t.o.v. standaard (primair)	Kosten energie per dag	Energie- verbruik voor 24h drogen (secundair)	Aanschaf	Meer- investering
1	Drogen met opgewarmde buitenlucht	4.838 MJ		€ 53,50	4.838 MJ	€ 7.000	-
2	Drogen met HR ontvochtiger	1.645 MJ	-66 %	€ 50,24	3.930 MJ	€ 30.000	€ 23.000
3	Drogen met mechanische koeling	2.354 MJ	-51 %	€ 71,94	5.624 MJ	€ 15.000	€ 8.000

Conclusie en vervolg

Het principe van wegkoelen en de warmte die ontstaat weer inzetten kan tot primaire energiebesparing leiden in het droogproces van bloembollen ten opzichte van drogen middels verwarmde buitenlucht. Dat vergt investering in een HR ontvochtiger of mechanische koeler. De besparing op energie is echter te laag om een terugverdientijd van minder dan 20 jaar te realiseren. Het voordeel van dergelijke systemen zal dus echt gezocht moeten worden in andere aspecten.

De uiteindelijke doelstelling die de studie nastreeft is om in de toekomst tulpen te telen met een lagere Carbon Footprint met minimaal dezelfde productkwaliteit of zelfs betere dan in de huidige situatie. Daarom is ook een berekening voor secundair energieverbruik gemaakt. Alleen de HR ontvochtiger levert daarbij besparing op. Bij mechanische koeling is het verbruik zelf hoger.

Potentiële voordelen die de nieuwe techniek mogelijk wel interessant kunnen maken zijn:

- Temperatuur en RV van de lucht zijn beter stuurbaar omdat geen buitenlucht wordt gebruikt. Dit biedt volop perspectief voor beter behoud van kwaliteit en minder uitval van bollen. Het onverwachts inlaten van buitenlucht met te hoge RV of temperatuur wordt bijvoorbeeld voorkomen.
- Uit eerste proefnemingen en berekeningen is drogen binnen 24 uur mogelijk. In de huidige situatie duurt het droogproces gemiddeld 36 uur. Mocht dit in verdere proeven worden bevestigd dan is een aanzienlijke energiebesparing mogelijk en is de terugverdientijd van de investering reëel.

In een vervolgstudie is het belangrijk de kwaliteitsvoordelen te berekenen aan de hand van praktijkproeven. In een vervolgproject zal de HR-ontvochtigstechniek geïnstalleerd en getest worden in een nieuw te ontwikkelen state-of-the-art droog- en bewaarcel bij Maatschap Kreuk. Inmiddels is de ontwikkeling hiervan begonnen.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	5
1.1 Algemene projectgegevens.....	5
1.2 Probleembeschrijving	5
1.2.1 Probleemstelling	5
1.2.2 Aanleiding	5
1.2.3 Doelstelling	6
1.2.4 Beoogde resultaten	6
2 Uitgangspunten energieberekening	6
3 Omschrijving techniek en resultaat energieberekening.....	7
3.1 Omschrijving standaard drogen en resultaat energieberekening.....	7
3.2 Omschrijving HR-ontvochtigingssysteem en resultaat energieberekening.....	7
3.3 Omschrijving mechanisch koelsysteem en resultaat energieberekening.....	9
3.4 Eindvergelijking	10
4 Conclusie en vervolg	11
BIJLAGE I Tekening HR ontvochtiger	12

1 Inleiding

1.1 Algemene projectgegevens

Titel: Voorstudie ‘Duurzaam drogen van bloembollen middels een droogstelsel met zuigende ventilatoren en actieve ontvochtiging.’

Aanvangsdatum project: 1 februari 2013

Looptijd project: 1 februari 2013 – 31 augustus 2013

Uitvoerder(s): Proeftuin Zwaagdijk, Ernens Consult Rolde, T&B Airsystems, Maatschap Kreuk.

1.2 Probleembeschrijving

1.2.1 Probleemstelling

De moderne consument vindt het steeds belangrijker om bewuste keuzes te maken. Bovenal moet de kwaliteit van tulpen goed zijn terwijl duurzaamheid een al essentiële begrip is. Op het moment hoort Maatschap Kreuk bij de top van de Nederlandse bloementeel als het gaat om duurzaamheid en kwaliteit. Maatschap Kreuk is daarin een voorloper. Nu en in de toekomst willen zij die koppositie behouden.

Op het gebied van duurzaamheid en kwaliteit constateert Maatschap Kreuk een probleem bij het drogen van bloembollen na het rooien op het veld. In de huidige situatie worden bollen na het rooien gedroogd in de schuur. Partijen die onder droge omstandigheden gedroogd zijn kunnen binnen 24 uur gedroogd worden terwijl voor nattere partijen tot wel 48 uur nodig is. Hoe korter de droogperiode hoe lager het risico op het optreden van fusarium(schimmel). Helaas schijnt de zon maar een halve dag en daardoor ontstaan met name 's-nachts situaties waarbij de droging te wensen overlaat. Nu wordt door gas te verstoken de ruimtetemperatuur verhoogd, waardoor die lucht weer vocht kan opnemen. Dit heeft slechts een beperkte energiebenutting. De kengetallen over tulpenbroei onderschrijven dit. Jaarlijks verbruikt de tulpenbroeisector 30 miljoen m³ gas (studie Het Nieuwe Telen, DLV). Het gevolg is dat een substantieel deel van onze Carbon Footprint bestaat uit energieverbruik (PPO, Carbon Footprint bloembollen). In vergelijking met andere bloemensoorten scoort de tulpensector daarom slecht in de Carbon Footprint.

1.2.2 Aanleiding

De aanleiding van het project is een bijeenkomst van Maatschap Kreuk, Ernens Consult Rolde, T&B Airsystems en Proeftuin Zwaagdijk. Maatschap Kreuk merkte hierbij op dat in het jaar 2011 volop antolyse voorkwam, en dat dit veroorzaakt wordt door een te hoge droogtemperatuur. Bij dit verschijnsel worden in de bol wel bladeren, maar geen bloemknop aangelegd. Ernens Consult Rolde, T&B Airsystems, Maatschap Kreuk en Proeftuin Zwaagdijk (projectgroep) hebben daarom de handen in één geslagen om te komen tot de ontwikkeling van een alternatief droogstelsel met uitstekende kwaliteit bloembollen. Door vocht weg te koelen en de warmte die ontstaat weer in te zetten voor de droging kun je werken met een fors hogere energiebenutting. Door deze methode is ook de temperatuur onder alle omstandigheden te beheersen en bij vroege stadiumontwikkeling is dan antolyse te voorkomen.

1.2.3 Doelstelling

De uiteindelijke doelstelling die Maatschap Kreuk nastreeft is om in de toekomst tulpen te telen met een lagere Carbon Footprint met minimaal dezelfde productkwaliteit of zelfs betere dan in de huidige situatie. Hiertoe dient Maatschap Kreuk nu richtinggevende keuzes te maken als het gaat om het drogen van net gerooide tulpenbollen. Maatschap Kreuk, T&B Airsystems, Ernens Consult Rolde en Proeftuin Zwaagdijk willen een ventilatiesysteem met actieve ontvochtiging ontwikkelen met flink lager energieverbruik. In dit project heeft de projectgroep een voorstudie gedaan naar de precompetitieve aspecten van deze innovatieve techniek. De voorstudie tracht de perspectieven voor wat betreft energiebesparing door actieve ontvochtiging te onderbouwen.

1.2.4 Beoogde resultaten

Het beoogde resultaat van het project was een onderbouwde voorstudie naar de precompetitieve aspecten van een systeem met zuigende ventilatoren en actieve ontvochtiging. De studie richtte zich volledig op het energie aspect van de innovatie. Het project leverde een energievergelijking op tussen drie situaties:

- Standaard situatie. Blazend ventileren met opgewarmde buitenlucht.
- Nieuwe situatie met zuigende ventilatie en actieve ontvochtiging door middel van mechanische koeling.
- Nieuwe situatie met zuigende ventilatie en actieve ontvochtiging door middel van een HR ontvochtigingssysteem.

Op basis van de voorstudie wilde de projectgroep bepalen of realisatie van het systeem in de sector reëel is. Indien de energieberekening positieve resultaten bevat is Maatschap Kreuk van plan een dergelijk systeem te installeren op het eigen bedrijf.

2 Uitgangspunten energieberekening

Proeftuin Zwaagdijk, Ernens Rolde Consult en T&B Airsystems hebben het standaard droogproces met opgewarmde buitenlucht vergeleken met twee opties van actieve ontvochtiging. Er is vergeleken op energiegebruik. De twee alternatieven waren HR ontvochtiging en mechanische koeling. De omschrijving van de technieken volgen in hoofdstuk 3. De uitgangspunten waren als volgt:

- Drie droogwanden in een geïsoleerde droogcel.
- Drogen op basis van één dag van 24 uur.
- De luchthoeveelheid per zuigwand is ingesteld op 14.000 m³/h. Voor de droogruimte in zijn geheel 42.000 m³/h.
- De droogperiode is in juni en juli en is vastgesteld op 56 dagen.
- De gewenste temperatuur van de lucht tijdens het drogen van de bollen is 25°C. Voor ΔT zal 4°C worden aangehouden.
- Het opgenomen vermogen van de ventilatoren van de zuig- en blaaswanden zijn buiten deze berekening gehouden omdat die bij iedere situatie hetzelfde is. Aan drogen middels HR ontvochtiging en mechanische koeling is zuigend ventileren gekoppeld. Uit studies door Proeftuin Zwaagdijk, Ernens Consult Rolde, Maatschap Kreuk en TB Airsystems blijkt dat zuigend ventileren ten opzichte van blazen in de huidige situatie niet meer (en zelfs minder) weerstand geeft bij het verplaatsen van lucht door de kisten met bollen. Een gelijk energieverbruik bij blazend- en zuigend ventileren is daarom het uitgangspunt in de energieberekening.

De energieberekening is gedaan door proefnemingen, cijfers en ervaring vanuit de bewaring van fruit en kaas te gebruiken. De gebruikte bronnen zijn onderzoekers van Proeftuin Zwaagdijk, Ernens Rolde Consultancy en T&B Airsystems.

3 Omschrijving techniek en resultaat energieberekening

In dit hoofdstuk volgt een omschrijving van de technieken en het resultaat van de energieberekeningen. In paragraaf 3.1 staat de standaard situatie uitgewerkt. Paragraaf 3.2 beschrijft het drogen middels HR ontvochtiging en paragraaf 3.3. mechanische koeling. In hoofdstuk 4 wordt uiteindelijk op basis van de resultaten een conclusie getrokken en aanbevelingen gedaan.

3.1 Omschrijving standaard drogen en resultaat energieberekening

In de standaard situatie wordt buitenlucht opgewarmd tot 25°C en door de bollen geblazen voor een drogende werking. De warme lucht met vocht wordt afgevoerd naar de buitenlucht. Als de buitentemperatuur hoger is dan 25°C hoeft niet verwarmd te worden. Echter dit voordeel kan omslaan in een nadeel als de te drogen bollen teveel in temperatuur gaan stijgen en uitdrogen. Ander nadeel is dat het droogvermogen van buitenlucht variabel is afhankelijk van de vochtinhoud van toegevoerde buitenlucht. Zelfs in de eindfase van het droogproces ontstaat regelmatig vochtigheid in de droogcel. Het droogproces in de huidige vorm duurt meestal 30 tot 36 uur waarbij 50 liter water wordt onttrokken per kist. De controle op het droogproces wordt over het algemeen met de hand gedaan en is een gevoelskwestie.

In de energieberekening is uitgegaan van 24 uur drogen om een betrouwbare vergelijking te maken met de andere systemen. Uit metingen en berekening aan het systeem bij Maatschap kreuk is bepaald hoeveel energie nodig is voor het opwarmen van 42.000 m³ lucht bij $\Delta T = 4$ °C. Het opwarmen van de buitenlucht zal circa 4.838 MJ kosten. De berekening die hieraan ten grondslag ligt is als volgt: $42.000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 / 3600 \text{ sec.} = 13,99 \text{ kg/sec} \times 1 \text{ J/kg K} \times 4\text{K} (\Delta T) = 56 \text{ J/sec} \times 3600 \text{ sec} \times 24 = 4.838 \text{ MJ}$. Hierbij is K de stijging van het aantal graden in temperatuur.

Er wordt in dit voorbeeld gerekend met een prijs van € 0,35 / m³ aardgas. De verbrandingswaarde van aardgas is 35,17 MJ/m³. Bij een rendement van ca. 90% resulteert dit in een energieverbruik voor het opwarmen van de buitenlucht met 4°C voor 3 stuks droogwanden van $4.838 \text{ MJ} / 35,17 \text{ MJ/m}^3 = 137,5 \text{ m}^3 / 0,9 = 152,8 \text{ m}^3$ aardgas $\times \text{€ } 0,35 / \text{m}^3 = \text{€ } 53,5$ per dag. De benodigde investering in een heaterblok is € 7.000,-

3.2 Omschrijving HR-ontvochtigingssysteem en resultaat energieberekening

In dit systeem wordt in het uitblaaskanaal van de zuigwanden een HR-ontvochtiger geplaatst. De aangezogen lucht wordt eerst door twee stuks kruisstroom warmtewisselaars geleid en komt langs een koeler die de lucht afkoelt en ontvochtigd tot 3°C. De ontvochtigde lucht (van 3°C) wordt vervolgens weer door dezelfde kruisstroomwisselaar geleid en opgewarmd tot 22°C. De warme inkomende luchtstroom vanuit de bollen wordt dus door de kruisstroomwisselaar gebruikt om uitgaande ontvochtigde (koude) lucht weer op te warmen. Alvorens de uitgaande lucht (22°C) weer in de droogcel wordt gelaten warmt een heaterblok de lucht op tot 25°C. Tegenovergesteld wordt de koude uitgaande luchtstroom in de wisselaar gebruikt om inkomende warme lucht uit de bollencel te koelen. De techniek is afkomstig uit

de kaasindustrie en bespaart door de kruisstromen van warme en koude lucht veel energie. In bijlage 1 vindt u een tekening met uitleg over de techniek.

Door actief te drogen middels HR-ontvochtiging is de verwachting dat het droogproces in minder dan 24 uur voltooid is. Voordeel is dat de kans op schimmelinfecties kleiner is en de kwaliteit van de bollen beter. Ook logistiek is de kortere droogperiode zeer gunstig. De droogcapaciteit bepaald grotendeels de rooihoeveelheid per dag. Indien per 24 uur gedroogd kan worden dan zal de rooihoeveelheid per dag bijna kunnen verdubbelen. In de energieberekening is net als bij de andere systemen 24 uur als uitgangspunt genomen.

De ontvochtiging geschiedt zowel in de kruisstroomwisselaars als ook in het koelerblok. Het benodigde koelvermogen bedraagt circa 62 kW bij een verdampingstemperatuur van -2°C . De ontvochtiging bedraagt circa 79 liter/h bij de inkomende conditie van de lucht van 25°C en 75% R.V. Bij een aanname van een COP^{*1} van de compressorkoelinstallatie op circa 3,5 kan eenvoudig het opgenomen vermogen worden bepaald. Dit bedraagt dan $62 \text{ kW} / 3,5 = 17,7 \text{ kW}$ p/u. Het opgenomen vermogen van de ventilatoren van de HR-ontvochtiger bedraagt daarnaast circa $3 \times 444 \text{ W} = 1,33 \text{ kW}$ p/u. Het energieverbruik voor de droogcel is dan: **19,03 kW** x 24h = 457 kwh. Door dit te vermenigvuldigen met 3,6 ontstaat het energiegebruik in MJ. Dat is $457 \text{ kwh} \times 3,6 = \mathbf{1.645 \text{ MJ}}$. Het benodigd verwarmingsvermogen om de uitgaande lucht te verwarmen van 22°C naar 25°C bedraagt circa 7,4 kW. Dit vermogen wordt gerealiseerd middels de condensorwarmte van de koelinstallatie en verbruikt dus geen energie. De energiebesparing ten opzichte van het standaard droogproces is dan $(1.645 - 4.838)/4.838 \times 100\% = \mathbf{66\%}$. Daarin is dus alle extra elektriciteitsverbruik ten opzichte van de standaard situatie in meeberekend.

Uitgaande van Carbon Footprint dient ook het secundair energiegebruik gerekend te worden. Elektriciteit heeft een opwekkingsrendement van 42%. Eén Kwh is 3,6 MJ. Gecorrigeerd met het opwekkingsrendement is de secundaire energie per kwh $(3,6/0,42) = 8,6 \text{ MJ}$. Het energiegebruik (secundair) komt dan uit op $457 \text{ kwh} \times 8,6 = 3.930 \text{ MJ}$. In dat geval is de besparing lager, namelijk $(3.930 - 4.838)/4838 \times 100\% = \mathbf{19\%}$.

Om de besparing in geld te berekenen wordt een prijs per kwh gehanteerd van € 0,11 / kWh. De berekening is als volgt: $19,03 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times € 0,11 = \mathbf{€ 50,24 \text{ per dag}}$ De besparing is dan € $53,50 - € 50,24 = \mathbf{€ 3,26 \text{ per dag}}$. Uitgaande van 56 droogdagen is de besparing jaarlijks € 182,56. De aanschaf van de HR ontvochtiger kost € 30.000. De meerinvestering ten opzichte van de standaard situatie is dan € 23.000,- inclusief alle aansluitingen en regelwerk (standaard investering = € 7.000,-). De terugverdientijd op de investering is dan meer dan meer dan 20 jaar en daarmee alleen met energiebesparing niet terug te verdienen.

In de terugverdientijd is de verbetering van de bolkwaliteit en de kortere droogtijd niet meeberekend. De HR ontvochtiging is een aanzienlijke winst voor de kwaliteit van de bollen door de snellere droging. De ontvochtiging van de luchthoeveelheid in de HR-unit bedraagt in ons voorbeeld ca. 79 kg/h. Indien er totaal 10 kisten (2 x 5 hoog) voor de zuigwand zijn geplaatst, dan bedraagt de vochtonttrekking per kist 7,9 kg/h ($79 \text{ kg/h} / 10$). Indien de vochtonttrekking ieder uur gelijk zou blijven dan kon $7,9 \text{ kg/h} \times 24 \text{ uur} = 157 \text{ liter}$ onttrokken worden. Naarmate het droogproces vordert zal echter de vochtonttrekking per kist verminderen. Toch moet het alleszins mogelijk worden geacht om 50 ltr. water per kist in minder dan 24 h te onttrekken. In de standaard situatie is het de vraag of 50 ltr. behaald kan worden. Zowieso dient 30-36 uur gedroogd te worden. Al met al is de HR ontvochtiger dus een kwaliteitswinst voor de bollen.

*¹COP= *Coëfficiënt of Performance*. Wanneer een warmtepomp bijvoorbeeld een COP-waarde heeft van 4, dan gebruikt de pomp 25% aandrijfenergie om 100% nuttige warmte te produceren. Een COP van vier betekent 1 kilowattuur aan stroom erin stoppen en 4 kilowattuur aan warmte terug krijgen.

3.3 Omschrijving mechanisch koelsysteem en resultaat energieberekening

Bij een droogstelsel middels mechanische koeling wordt lucht aangezogen. In het uitblaaskanaal van de zuigwanden is een koeler en verwarmingsblok geplaatst. De aangezogen lucht wordt door sterke afkoeling door een koeler ontvochtigd. Vervolgens wordt de lucht met condensorwarmte van de koeler opnieuw in temperatuur verhoogd naar 25°C. Een apart heaterblok is niet nodig zodat alleen energie nodig is voor de koeler. Voordeel is dat de luchtvochtigheid en temperatuur gestuurd kunnen worden door sterker te koelen of te verwarmen waar nodig.

In deze berekening wordt de totale ontvochtiging ingesteld op circa 79 liter/h bij de inkomende conditie van de lucht van 25°C 75% R.V. voor het koelerblok. Dit uitgangspunt is gekozen om een goed vergelijk te krijgen met de HR unit in paragraaf 3.2. Die hoeveelheid ontvochtiging is nodig om binnen 24 uur de drogen. De uitgaande conditie van de lucht uit de mechanische koeler in dat geval circa 14°C en 97% R.V. te zijn. Lucht wordt dus afgekoeld van 25°C naar 14°C. Het benodigde koelvermogen bedraagt dan circa 109 kW bij een verdampingstemperatuur van +5°C. De COP van deze compressorkoelinstallatie stellen we op circa 4. Het opgenomen vermogen van de koelcompressor bedraagt dan 109 kW / 4,0 = **27,25 kW**. Het energiegebruik voor 24h bedraagt dan 27,25 kW x 24 = 654 kWh. Dat staat gelijk aan 654 kWh x 3,6 = **2.354 MJ**. Het benodigd verwarmingsvermogen van 14°C 97% naar 25°C 52% R.V. bedraagt circa 51,2 kW. Dit vermogen wordt volledig gerealiseerd middels de condensorwarmte van de koelinstallatie en levert dus geen energieverbruik op. De energiebesparing ten opzichte van het standaard droogproces is dan $(2.354 - 4.838) / 4.838 * 100\% = 51\%$. Daarin is dus alle extra elektriciteitsverbruik ten opzichte van de standaard situatie in meeberekend.

Om in deze situatie de besparing uit te drukken in geld is een prijs per kWh gehanteerd van € 0,11 / kWh. De berekening is als volgt: 27,25 kW x 24h x € 0,11 = € 71,94 per dag. De besparing blijkt dan in geld juist een kostenstijging te geven van € 71,94 - € 53,50 = **€ 18,44 per dag**. Uitgaande van 56 droogdagen is de stijging jaarlijks **€ 940,44**. De aanschaf van de mechanische koeling kost € 15.000. De meerinvestering ten opzichte van de standardsituatie is dan € 8.000,- inclusief alle aansluitingen en regelwerk (standaard investering = € 7.000,-). Van terugverdientijd op de investering is geen sprake omdat een kostenstijging zich voordoet. Belangrijke overweging is dat de verbetering van de bolkwaliteit en kortere droogtijd niet is meeberekend net als bij de HR ontvochtiger.

Uitgaande van Carbon Footprint dient ook het secundair energiegebruik gerekend te worden. Elektriciteit heeft een opwekkingsrendement van 42%. Eén Kwh is 3,6 MJ. Gecorrigeerd met het opwekkingsrendement is de secundaire energie per kwh $(3,6 / 0,42) = 8,6$ MJ. Het energiegebruik (secundair) komt dan uit op 654 kwh * 8,6 = 5.624 MJ. In dat geval is er een stijging van energiegebruik, namelijk $(5.624 - 4.838) / 4.838 * 100\% = 16\%$.

3.4 Eindvergelijking

In paragraaf 3.1. t/m 3.3 zijn drie droogsystemen vergeleken op energieverbruik en investering. In tabel 1 staan de resultaten per systeem.

		Energie- verbruik voor 24h drogen (primair)	Energie- verbruik voor 24h drogen t.o.v. standaard (primair)	Kosten energie per dag	Energie- verbruik voor 24h drogen (secundair)	Aanschaf	Meer- investering
1	Drogen met opgewarmde buitenlucht	4.838 MJ		€ 53,50	4.838 MJ	€ 7.000	-
2	Drogen met HR ontvochtiger	1.645 MJ	-66 %	€ 50,24	3.930 MJ	€ 30.000	€ 23.000
3	Drogen met mechanische koeling	2.354 MJ	-51 %	€ 71,94	5.624 MJ	€ 15.000	€ 8.000

Zowel de HR ontvochtiger als de mechanische koeling geven besparing op direct energieverbruik ten opzichte van de standaard werkwijze. Echter de kosten voor energie worden alleen bij de HR ontvochtiger verwaarloosbaar lager. Bij mechanische koeling worden de kosten aan energie juist hoger. Bij secundaire energie is het opwekkingsrendement van elektriciteit opgenomen in de berekening. Te zien is dat het verbruik dan hoger uitvalt en bij drogen met mechanische koeling zelfs 16% boven de standaard situatie zit. De HR ontvochtiger is duurder in aanschaf maar bespaard op termijn meer energie in vergelijking met optie 1 en 3.

4 Conclusie en vervolg

Het principe van wegkoelen en de warmte die ontstaat weer inzetten kan tot besparing leiden op energie in het droogproces van bloembollen ten opzichte van drogen middels verwarmde buitenlucht. Dat vergt investering in een HR ontvochtiger of mechanische koeler.

De besparing op energie is echter te laag om een terugverdientijd van minder dan 20 jaar te realiseren. Het voordeel van dergelijke systemen zal dus echt gezocht moeten worden in kwaliteitsaspecten.

De uiteindelijke doelstelling die de studie nastreeft is om in de toekomst tulpen te telen met een lagere Carbon Footprint met minimaal dezelfde productkwaliteit of zelfs betere dan in de huidige situatie. Daarom is ook een berekening voor secundair energieverbruik gemaakt. Alleen de HR ontvochtiger levert daarbij besparing op. Bij mechanische koeling is het verbruik zelf hoger.

Potentiële voordelen die de nieuwe techniek mogelijk wel interessant kunnen maken zijn:

- Temperatuur en RV van de lucht zijn beter bestuurbaar omdat geen buitenlucht wordt gebruikt. Dit biedt volop perspectief voor beter behoud van kwaliteit en minder uitval van bollen. Het onverwachts inlaten van buitenlucht met te hoge RV of temperatuur wordt bijvoorbeeld voorkomen.
- Uit eerste proefnemingen en berekeningen is drogen binnen 24 uur mogelijk. In de huidige situatie duurt het droogproces gemiddeld 36 uur. Mocht dit in verdere proeven worden bevestigd dan is een aanzienlijke energiebesparing mogelijk en is de terugverdientijd van de investering reëel.

In een vervolgstudie is het belangrijk de kwaliteitsvoordelen te berekenen aan de hand van praktijkproeven. In een vervolgproject zal de HR-ontvochtigingstechniek geïnstalleerd en getest worden in een nieuw te ontwikkelen state-of-the-art droog- en bewaarcel bij Maatschap Kreuk. Inmiddels is de ontwikkeling hiervan begonnen.

BIJLAGE I Tekening HR ontvochtiger

