
Microgasturbines in energie-extensieve glastuinbouwbedrijven

G.L.A.M. Swinkels
N.J. van de Braak
F.L.K. Kempkes



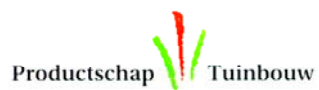
Nota P 2003-09

juni 2003

Onderzoek in het kader van het
Convenant Glastuinbouw en
Milieu



In opdracht van:



Microgasturbines in energie-extensieve glastuinbouwbedrijven

G.L.A.M. Swinkels
N.J. van de Braak
F.L.K. Kempkes

Nota P 2003-09

juni 2003

© 2003

Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG)

Niets uit deze publicatie mag elders worden vermeld, of vermenigvuldigd op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IMAG of de opdrachtgever. Bronvermelding zonder de feitelijke inhoud is evenwel toegestaan, op voorwaarde van de volledige vermelding van: auteursnaam, instituut en notanummer en de toevoeging: 'niet gepubliceerd'.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of IMAG.

Voorwoord

De overheid (ministeries van LNV en EZ) en de glastuinbouwsector (LTO Nederland) hebben in het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) afspraken gemaakt over reductie van het energiegebruik en milieubelasting door de Nederlandse glastuinbouw over de periode tot 2010. De doelstellingen zijn:

“Het terugbrengen van het fossiele energiegebruik per eenheid product tot 35 % ten opzichte van dit gebruik in 1980” en “Het aandeel duurzame energie moet toegenomen zijn tot 4 %.”

Nederlandse tuinders die energie-extensieve gewassen telen, worden evenals hun veel gas verbruikende collega's geconfronteerd met de eis hun energieverbruik terug te dringen. Juist door het lage gasverbruik is het voor deze tuinders extra moeilijk om hieraan te voldoen. De inzet van een kleine warmtekrachtinstallatie aangedreven door een microturbine maakt het wellicht mogelijk de besparingen te realiseren door zelfopwekking van de op deze bedrijven benodigde elektriciteit.

Tegen deze achtergronden zijn in de periode van november 2002 tot en met januari 2003 in opdracht van het ministerie voor LNV en het Productschap Tuinbouw (proj. nr. PT 11197) door het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG bv), de besparing op primaire energie en het economisch perspectief van zelfopwekking met een microturbine bepaald.

Inhoud

VOORWOORD.....	5
INHOUD.....	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 OPZET VAN HET ONDERZOEK.....	13
3 BESCHIKBARE MICROTURBINES	15
3.1 Inventarisatie	15
3.2 Selectie.....	18
4 UITGANGSPUNTEN	21
4.1 Radijs.....	22
4.2 Fresia	24
4.3 Sla.....	26
5 ENERGIEBESPARING EN ECONOMISCH PERSPECTIEF	29
5.1 Primaire energie	29
5.2 Kosten- en baten.....	29
5.2.1 Investerings	29
5.2.2 Onderhoud.....	30
5.2.3 Tarieven voor gas en elektriciteit	30
5.3 Analyse	31
5.3.1 Radijs.....	31
5.3.2 Fresia.....	32
5.3.3 Sla.....	33
6 CONCLUSIES	35
7 LITERATUUR.....	37

Samenvatting

Achtergronden

Voor tuinders die energie-extensieve gewassen telen met verbruiken van 10 tot 25 m³/m² (zoals radijs, sla, fnesia enz.) is het extra moeilijk hun energieverbruik terug te dringen. Met zelfopwekking van de benodigde elektriciteit door een kleine warmtekrachtinstallatie, aangedreven door een microturbine, is het misschien mogelijk de vereiste besparingen te realiseren.

In opdracht van het Productschap Tuinbouw (proj. nr. PT 11197) en het ministerie voor LNV zijn door het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG bv), de besparing op primaire energie en de daarbij horende kosten bij zelfopwekking met een microturbine van de benodigde elektriciteit onderzocht.

Daartoe zijn met behulp van een simulatiemodel (KASPRO) voor de gewassen radijs, sla en fnesia berekeningen uitgevoerd. Eerst op basis van gegevens omtrent bedrijfsuitrusting en teeltwijze in de huidige situatie (referentie) en vervolgens met gebruik van een microturbine. Om een geschikte microturbine te selecteren zijn de eigenschappen geïnventariseerd van microturbines die op de markt zijn.

De energiebesparing is bepaald door de berekende (primaire) energiegebruiken te vergelijken met de referenties. Ten slotte zijn voor de bepaling van het economisch perspectief de kosten van de microturbine afgewogen tegen de besparingen op energie.

Technische en teeltkundige aspecten

Radijs wordt jaarrond geteeld. Bij een groot deel van de bedrijven wordt heteluchtverwarming toegepast. De trend is dat op gemoderniseerde of nieuwe bedrijven in het algemeen buisverwarming wordt aangelegd. Exacte percentages van arealen heteluchtverwarming dan wel buisverwarming zijn niet bekend. Voor beide verwarmingssystemen zijn berekeningen uitgevoerd.

Bij de fnesiateelt is er een zeer grote variatie aan teeltmethoden, met gevolgen voor de elektriciteitsvraag. Hierbij spelen: wel of geen belichting; teeltduur; wel of geen koeling met koelmachines of grondwater. In dit project is uitgegaan van assimilatiebelichting en mechanische grondkoeling in een jaarrondteelt. Fnesia's worden alleen met buisverwarming geteeld.

Sla wordt jaarrond geteeld. Evenals bij radijs zijn er geen exacte gegevens bekend over de verdeling tussen heteluchtverwarming dan wel buisverwarming, de schatting is dat meer dan 90 % van het areaal heteluchtverwarming heeft. Ook bij sla zijn voor beide verwarmingssystemen berekeningen uitgevoerd.

In dit project is bij de bepaling van het elektriciteitsgebruik alleen met het verbruik van (verwarmings)pompen, branderventilatoren, CO₂-ventilator, koeling en belichting gerekend.

Voor de gevallen met heteluchtverwarming (radijs en sla) wordt alle door de turbine opgewekte elektriciteit gebruikt door de heteluchtkachels en de geproduceerde warmte wordt in de kas gebracht. De turbine is aan/uit geregeld en gekoppeld aan de verwarmingsunits.

Voor de gevallen met buisverwarming (radijs, fnesia en sla) wordt de door de turbine opgewekte elektriciteit gebruikt door pompen en ventilatoren en bij fnesia ook door de belichtingsinstallatie. De warmte die de microturbine produceert wordt bij de teelten met buisverwarming aan de ketel toegevoerd.

De turbine wordt ingeschakeld als er warmtevraag is. Dan is er namelijk elektriciteitsvraag door de branderventilator, transportpomp(en) en overdag de CO₂-ventilator.

Bij fresia wordt de turbine ook ingeschakeld als de belichting of de grondkoeling ingeschakeld is. Daar is extra warmteproductie met name in de koelperiode niet gewenst. Ook tijdens het belichten geven de armaturen regelmatig al zoveel warmte, dat geen bijverwarming nodig is. Op deze momenten kan de warmteproductie van de turbine dan ook niet nuttig worden aangewend.

De inventarisatie laat zien dat zes fabrikanten microturbines op de markt brengen met elektrische vermogens die variëren tussen 28 en 105 kW met rendementen voor opwekking van elektriciteit tussen 16 en 30% en totaal rendementen (warmte plus elektriciteit) tussen 48 en 90%. De belangrijkste criteria voor de selectie van een geschikte turbine zijn een zo laag mogelijk elektrisch vermogen, zo hoog mogelijk totaal rendement, zo laag mogelijke investerings- en onderhoudskosten en rookgassen die zonder reiniging geschikt zijn voor CO₂-dosering. Als de turbine geschikt is voor een lage gasdruk aansluiting is de investering in een gascompressor (ca. € 9.000,-) niet nodig. De "Capstone C30" komt hieruit voor de drie onderzochte gewassen als meest geschikt naar voren.

Energiebesparing

Berekeningen naar energiebesparing en economisch perspectief zijn gedaan op basis van één microturbine op een bedrijf waarbij de bedrijfsgrootte gevarieerd is. Hierbij is gebleken dat het niet mogelijk is de microturbine in te zetten op radizzen- en slabedrijven die kleiner zijn dan 5 ha. Bij deze gewassen zijn besparingen berekend die onder de 1 m³/m² a.e. blijven, hetgeen overeenkomt met procentuele besparingen van ca. 0.5%. Deze lage besparingen zijn te wijten aan het relatief kleine aandeel van de elektriciteitsvraag in vergelijking met de toch al beperkte warmtevraag. Bij de belichte fresia met grondkoeling wordt door de inzet van een microturbine meer primaire energie gebruikt dan in de referentieteelt.

Economisch perspectief

Voor de Capstone C30 Low pressure, geldt een investering van € 32.400. In het geval van buisverwarming is een warmtewisselaar nodig (€ 6.000). Een indicatie van de totale onderhoudskosten is 0.7 eurocent per kWh. Dit maakt dat de microturbine bedrijfseconomisch gezien alleen bij de buisverwarmde radizenteelt een verwaarloosbaar voordeel oplevert.

Knelpunt bij het toepassen van microturbines in extensieve glastuinbouw is het lage elektriciteitsverbruik waardoor grote bedrijfsoppervlakken nodig zijn om ten minste één turbine te plaatsen. De belichtende fresiateeler heeft een hoger elektriciteitsverbruik, maar heeft daarmee tegelijkertijd een onbalans in warmte- en elektriciteitsbehoefte. Hierdoor wordt weliswaar een financieel voordeel bereikt bij bedrijven tot ca. 1.5 ha, maar ontstaan bij gangbare bedrijfsoppervlakken grote warmteoverschotten waardoor meer primaire energie gebruikt wordt dan in de referentieteelt.

1 Inleiding

Warmtekrachtkoppeling (WKK) is een zeer geschikte techniek om de energieconversie van aardgas in elektriciteit, warmte en CO₂ te verbeteren. De inzet ervan in de glastuinbouw vormt een belangrijk onderdeel van de realisatie van doelstellingen van het Glami convenant.

Door de liberalisering van de elektriciteitsmarkt is het bedrijfseconomisch perspectief voor WKK in de glastuinbouw verslechterd, waardoor de groei tot stilstand is gekomen. De ontwikkeling van de microturbine lijkt echter een techniek op te leveren met betere bedrijfseconomische perspectieven, waardoor de energetische voordelen van WKK weer benut kunnen worden. Een microturbine behoeft minder onderhoud dan een gasmotor en produceert rookgassen met een kwaliteit die zonder zuivering kunnen worden ingezet als CO₂-bron voor de glastuinbouw (minder NO_x en minder onvolledig verbrande koolwaterstoffen dan bij een gasmotor). Een groot nadeel van turbines in het algemeen is echter de veel hogere luchtvermaat waardoor veel meer warme rookgassen (en energie) door de schoorsteen verdwijnen als bij een tuinbouwketel of gasmotor WKK. Een ander nadeel is de hoge aanschafprijs.

Nederlandse tuinders die energie-extensieve gewassen telen met verbruiken van 10 tot 25 m³/m² (zoals radijs, sla, fnesia enz.) moeten evenals de veel meer gas verbruikende collega's met gewassen als tomaat, paprika, roos enz. hun energieverbruik terug dringen. Door het lage gasverbruik is het extra moeilijk voor deze tuinders om hieraan te voldoen. Met zelfopwekking van de benodigde elektriciteit door een kleine warmtekrachtinstallatie, aangedreven door een microturbine, is het misschien mogelijk de vereiste besparingen te realiseren.

Hoe groot de besparing op primaire energie uitvalt en welke kosten daarmee gemoeid zijn, is echter niet duidelijk.

Het hier beschreven project is er vooral op gericht, om voor de tuinders met een laag gasverbruik (10 tot 25 m³/m²) te onderzoeken, of zelfopwekking met een microturbine van de benodigde elektriciteit, een goede methode is om hun energiegebruik te reduceren.

Positie t.o.v. lopende projecten.

- E.On Benelux, onderdeel van de grootste private Europese elektriciteitsproducent, verwacht dat de kleine of microgasturbines de rol van de gasmotor in de glastuinbouw kunnen gaan overnemen. Gasturbines zijn effectiever en schoner dan gasmotoren en vergen bovendien minder onderhoud. Het bedrijf heeft daarom, als proefproject bij een glastuinbouwbedrijf in Tinte (gemeente West-Voorne), een microgasturbine geplaatst om stroom, warmte en CO₂ op te wekken. De proef wordt uitgevoerd met de T100 microturbine van de Zweedse producent Turbec. Deze heeft een opgesteld elektrisch vermogen van 100 kW en een warmteproductie van 170 kW. In het project van E.On wordt de microturbine vooral beschouwd als vervanger van de gasmotor in de WK-installaties voor de energie-intensieve glastuinders. De aandacht is met name gericht op de hoeveelheid CO₂ in (en de bruikbaarheid van) de rookgassen ten behoeve van CO₂-dosering.

- IMAG voert in het kader van het Energieprogramma PT/LNV in samenwerking met E.On tevens het project "Microturbine als branderventilator" uit, om te onderzoeken, hoe door

integratie van microturbine en ketelbrander nog efficiënter CO₂, elektriciteit en warmte geproduceerd kunnen worden voor de energie-intensieve glastuinbouwbedrijven.

2 Opzet van het onderzoek

In grote lijnen is dit project als volgt opgezet:

Met behulp van het kasklimaatmodel KASPRO¹ zijn aan de hand van de teeltgegevens van de gewassen radijs, sla en fnesia berekeningen uitgevoerd om gegevens van het energieverbruik te genereren. Hierbij zijn de buitenomstandigheden overeenkomstig het referentiejaar voor de glastuinbouw gebruikt (Breuer, 1989). De inhoud en werking van KASPRO is in essentie beschreven door De Zwart (1996). Om de effecten van de inzet van microturbines op het energiegebruik te kunnen berekenen, is een module voor heteluchtverwarming toegevoegd en de module voor WKK-berekeningen aangepast.

Voor de bepaling van de teeltgegevens is informatie verzameld omtrent bedrijfsuitrusting en teeltwijze zowel uit de KWIN (2001) als bij gewasspecialisten en een aantal tuinders in de praktijk. Vervolgens zijn met deze gegevens simulaties uitgevoerd met KASPRO om een referentie van het energieverbruik bij deze gewassen te verkrijgen.

Om vast te stellen welke microturbines geschikt zouden zijn om bij deze gewassen in te zetten, is geïnventariseerd welke microturbines op de markt worden gebracht en wat de specifieke eigenschappen daarvan zijn. Vervolgens is aan de hand van het huidige energiegebruik (uit de referentieberekening) een selectie gemaakt.

Daarna is de energiebesparing bepaald die met de inzet van een microturbine behaald kan worden. Daartoe zijn met behulp van KASPRO opnieuw simulaties van de teelt van de drie gewassen uitgevoerd, maar nu met inzet van de geselecteerde microturbine. Vervolgens zijn de berekende (primaire) energiegebruiken vergeleken met de referenties. Ten slotte zijn de kosten van de microturbine afgewogen tegen de besparingen op energie voor de bepaling van het economisch perspectief.

¹ *Kaspro is een dynamisch model dat het klimaat en energieverbruik berekent van een moderne tuinbouwkas. Het bevat de bedrijfsuitrusting, klimaatregeling en -setpoints zoals die in de praktijk gebruikt worden.*

3 Beschikbare microturbines

3.1 Inventarisatie

In dit hoofdstuk is een inventarisatie gemaakt van beschikbare microturbines en hun technische specificaties en kosten. Alle in dit hoofdstuk genoemde turbines zijn geschikt voor aardgas als brandstof en produceren rookgas dat zonder reiniging voor CO₂-dosering gebruikt kan worden.

Capstone

Land USA
internet <http://www.microturbine.com>
Distributeur Geveke (NL)



Capstone Turbine Corporation is marktleider in ultra-lage-emissie, hoog betrouwbare microturbine systemen. Capstone heeft in 1998 als eerste de microturbine-technologie op de commerciële markt geïntroduceerd, het resultaat van meer dan tien jaar onderzoek en meer dan 750 000 test-uren. Capstone MicroTurbine™ systemen zijn wereldwijd in gebruik, o.a. in de volgende gebieden:

- Hybride elektrische voertuigen
- Energie uit biomassa
- Micro-WKK
- Peak shaving
- Stand-by power

Capstone werkt aan een productie van 20 000 microturbines per jaar.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
C30 Low	28	64	25	57*	82
C30 High	30	66	26	57*	83
C60 High	60	123	28	57*	85

*Op basis van uitkoeling van de rookgassen tot 60 °C

De microturbines van Capstone zijn modulair uitbreidbaar naar 300 kW en hebben ten opzichte van de concurrenten het voordeel van een luchtgelagerde as waardoor geen smeermiddelen nodig zijn en de milieudruk afneemt.

Turbec

Land Zweden
internet <http://www.turbec.com>
Distributeur Geveke (NL)



Turbec is in 1998 ontstaan uit Volvo Aero en ABB. Het bedrijfsconcept is het ontwikkelen van microturbine technologie voor kleinschalige energieopwekking. Na het ontwikkelen en testen van prototypes verscheen het eerste commerciële product, de T100 CHP

microturbine. De T100 CHP heeft een lange levensduur, lage kosten en behoeft weinig onderhoud.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
T100 CHP	105	167	30	48	78

Bowman

Land UK (hoofdvestiging), USA en Japan
 internet <http://www.bowmanpower.com>
 Distributeur FP Turbomachinery BV (Zoetermeer, NL)



Bowman Power Systems (BPS) heeft een TurbogentM serie van kleine compacte WKK systemen van 80 kW_e, voor gedistribueerde krachtopwekking en mobiele krachtopwekking.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
TG80 CG	80	150	27	51	78
TG80 BG recuperated	80	150 (0% bypass) 219 (25% bypass) 288 (50% bypass)	27 24 21	51 66 76	78 90 97
TG80 SG	80	385	16	74	90

Ingersoll-Rand Powerworks

Land USA
 internet <http://www.irpowerworks.com>
 Distributeur Ingersoll-Rand



Ingersoll-Rand is een multinationale fabrikant van industriële and commerciële producten. In 1994 is begonnen met de recuperatortecnologie welke een doorbraak betekende op het gebied van microturbine systemen. In 1997 is Powerworks opgericht en vanaf 2001 is een serie microturbines leverbaar.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
70 LM	70 (max 92)	130	28	52*	80
70 SM	70 (max 92)	135	27	52*	79

*Op basis van uitkoeling van de rookgassen tot 60 °C

Cummins Northwest, Inc

Land USA
 internet <http://www.cumminsnorthwest.com>
 Distributeur diverse vestigingen in de US



Cummins Power Generation is een internationale producent van elektrische generatoren, generators, warmtekracht systemen en gerelateerde accessoires, componenten en service.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
GTAA hoge druk	28	31	23	25	48
GTTA lage druk	30	32	25	26	51
GTAB hoge druk	60	67	25	28	53

Elliott

Land USA
 internet <http://www.elliott-turbo.com>
 Distributeur o.a. Elliot UK, Elliot Italië



Elliott is een internationale producent van stoom turbines, turbochargers, microturbines en gas expanders. Elliott machines zijn o.a. ingezet voor olie en gaswinning in de Noordzee.

Type	Elektrisch vermogen, kW	Thermisch vermogen, kW	Elektrisch rendement, %	Thermisch rendement, %	Overall rendement, %
TA 80	80	264	28	64	92

3.2 Selectie

In deze paragraaf is een selectie gemaakt uit de beschikbare microturbines beschreven in paragraaf 3.1. De turbine die het meest geschikt is voor inzet in de Nederlandse energie-extensieve glastuinbouwteelten is gekozen op basis van de volgende criteria:

- Door het relatief lage elektriciteitsverbruik van extensieve teelten dient het elektrisch vermogen van de turbine zo laag mogelijk te zijn.
- Het overall rendement dient zo hoog mogelijk te zijn.
- Investeringskosten dienen zo laag mogelijk te zijn.
- Onderhoudskosten dienen zo laag mogelijk te zijn.
- De rookgassen dienen zonder rookgasreiniging geschikt te zijn voor CO₂-dosering.
- Een turbine geschikt voor een lage gasdruk aansluiting verdient de voorkeur. Er is dan is geen extra gascompressor nodig (extra kosten ca. € 9.000).
- Een turbine die zonder al te veel rendementsverlies in deellast kan draaien verdient de voorkeur.
- Een turbine die geen smeermiddelen nodig heeft verdient de voorkeur. Hierdoor is de milieubelasting lager.

Voor investeringskosten wordt een bedrag van € 1.000 per kW_e gehanteerd. De onderhoudskosten bedragen 0.7 €ct per geproduceerde kWh.

In Tabel 1 is van de hierboven aangegeven microturbines, per selectie criterium de mate van geschiktheid aangegeven.

Tabel 1 Mate van geschiktheid per selectie criterium van de microturbines. (++ zeer goed; + goed; • neutraal; – matig; – – slecht)

Fabrikant	Type	Elektrisch vermogen	Overall rendement	Milieubelasting	Leverbaar	Rookgassen geschikt	Lage druk	Deellast	Eindoordeel
Capstone	C30 Low	++	+	++	++	+	–	++	++
	C30 High	++	+	++	++	+	–	++	++
	C60 High	+	+	++	++	+	–	++	+
Turbec	T100 CHP	–	+	+	+	+	•	•	+
Bowman	TG80 CG	+	+	•	++	+	•	•	+
	TG80 BG rec	+	++	•	++	+	•	•	+
	TG80 SG	+	+	•	++	+	•	•	+
IR Pow.	70 LM	+	•	•	–	+	•	•	–
	70 SM	+	–	•	–	+	•	•	–
Cummins	GTAA hoge druk	++	– –	•	– –	+	–	•	– –
	GTAA lage druk	++	– –	•	– –	+	+	•	– –
	GTAB hoge druk	+	– –	•	– –	+	–	•	– –
Elliot	TA 80	+	++	•	+	+	•	•	+

De Capstone C30 low pressure natural gas turbine met luchtgelagerde as en een minimaal gebruik van smeermiddelen komt als meest geschikte microturbine naar voren. Deze turbine heeft een laag elektrisch vermogen bij een voldoende hoog

totaalrendement, is in Nederland leverbaar (incl. onderhoud) en geniet de grootste bekendheid en ervaring op microturbinegebied. Ook kan de Capstone C30 eventueel in deellast gedraaid worden.

Temperatuur van de rookgassen

Turbines hebben, indien er geen gebruik wordt gemaakt van warmtewisselaars, hoge rookgastemperaturen (ca. 270 °C, bij *simple cycle*¹ turbines nog hoger). In deze studie is er van uit gegaan dat voor de teelten met heteluchtverwarming de turbine in de kas geplaatst wordt. Hierdoor zullen aanvullende maatregelen getroffen moeten worden om de rookgastemperatuur terug te brengen. Hierbij moeten de rookgassen tot een niveau van ongeveer 100 °C worden teruggekoeld, voordat ze direct in een ruimte, in dit geval de kas, mogen worden toegepast. Technisch gezien is het niet mogelijk om een extra grote luchtvermaat voor de turbine toe te passen, zodat kaslucht als bypass buiten de turbine om bijgemengd moet worden.

¹ Bij *simple cycle* turbines worden de uitlaatgassen niet gebruikt om de inlaatlucht voor te verwarmen, dus daardoor ook niet gekoeld.

4 Uitgangspunten

Voor drie gewassen (radijs, sla en fnesia) is nader vastgesteld wat voor deze teelten de gebruikelijke bedrijfsuitrusting is en welke klimaatsetpoints gebruikt worden. Het werkelijke elektriciteitsverbruik op deze energie extensieve bedrijven, is vaak lastig te achterhalen. Door het lage elektriciteitsverbruik, kan een kleine verstoring als gevolg van externe bedrijfsfactoren, zoals bijvoorbeeld één aansluiting voor bedrijf én bedrijfswoning en/of andere bedrijfsactiviteiten, die allemaal over dezelfde meter lopen, het beeld van het werkelijke verbruik ten behoeve van de teelt vertroebelen. In dit project is bij de bepaling van het elektriciteitsgebruik alleen gerekend met het verbruik van (verwarmings)pompen, branderventilatoren, CO₂-ventilator, grondkoeling en belichting gerekend. Koelcellen zijn buiten beschouwing gelaten aangezien deze bij de onderzochte gewassen vrijwel niet gebruikt worden.

Heteluchtverwarming

Bij gebruik van de microturbine in combinatie met heteluchtverwarming wordt de door de turbine opgewekte elektriciteit geleverd aan de heteluchtkachels en de geproduceerde warmte in de kas gebracht. Theoretisch (en in de berekeningen uit hoofdstuk 5) kan hierbij het aantal heteluchtkachels teruggebracht worden ten gevolge van de door de turbine geproduceerde warmte. In de praktijk zal dit echter niet gebeuren aangezien het thermisch vermogen van een heteluchtkachel een stuk hoger ligt dan het thermisch vermogen van de microturbine.

Nu zijn er twee opties voor het integreren van de microturbine met de heteluchtkachels. Bij de eerste optie wordt het aantal heteluchtkachels zodanig gekozen dat de door de microturbine geproduceerde elektriciteit altijd volledig benut wordt door de (ventilatoren van de) heteluchtkachels. In de praktijk zal dan nog wel een laag netto elektriciteitsverbruik mogelijk zijn dat veroorzaakt kan worden door allerlei randapparatuur. Omdat dit verbruik varieert en geen elektriciteitsoverschot mag optreden kan hierop niet gedimensioneerd worden

De tweede optie is het afstemmen van het aantal heteluchtkachels aan het gewenste verwarmingsvermogen van 150 W/m².

De eerste optie heeft tot gevolg dat bij een bedrijfsoppervlak van 1 ha bijna vier keer zo veel verwarmingscapaciteit geïnstalleerd is dan gangbaar in de praktijk, waardoor er ook vier maal zoveel heteluchtkachels geplaatst moeten worden. Pas bij een bedrijfsoppervlak van 3.8 ha wordt de gangbare verwarmingscapaciteit (en aantal heteluchtkachels) bereikt. Gevolg van een overgedimensioneerde verwarmingscapaciteit is een kortere draaitijd per start-stop en meer start-stops. De minimale draaitijd van een heteluchtinstallatie varieert in de praktijk van 2 tot 5 minuten en gezien het feit dat bij een turbine een zekere aanlooptijd nodig is en het aantal start-stops zo laag mogelijk gehouden moet worden is deze optie bij de kleinere bedrijven ongewenst.

De tweede optie betekent dat bij bedrijven die kleiner zijn dan een bepaald oppervlak door de microturbine die op vollast draait een overschot aan elektriciteit geproduceerd wordt. Gezien het feit dat er geen elektriciteit aan het openbare net teruggeleverd wordt, zou de turbine (wanneer in bedrijf) altijd in deellast (met een lager rendement) moet draaien. In de praktijk betekent dit dat deze optie alleen toepasbaar is vanaf een bepaalde bedrijfs grootte, die in paragraaf 5.3 bepaald wordt.

Beide opties hebben als probleem dat bij kleine bedrijfsoppervlakken de elektriciteitsproductie slecht aansluit bij de elektriciteitsvraag en sluiten hiermee de

toepassing van een microturbine op de kleinere heteluchtverwarmde energie-extensieve bedrijven vrijwel uit. De berekeningen in dit rapport zijn gebaseerd op de tweede optie.

Buisverwarming

Ook bij buisverwarming sluit de elektriciteitsproductie van de microturbine slecht aan bij het verbruik. In dit onderzoek is de microturbine zodanig geïmplementeerd dat bij een verwarmingssysteem bestaande uit een ketel met buisverwarming, de door de turbine opgewekte elektriciteit geleverd wordt aan de elektriciteitsverbruikers, waarbij de geproduceerde warmte via een warmtewisselaar aan de ketel wordt gevoed. De regeling van de turbine (aan/uit) is zodanig, dat de turbine ingeschakeld wordt als er warmtevraag is. In dat geval is er namelijk ook elektriciteitsvraag veroorzaakt door de branderventilator, transportpomp(en) en overdag de CO₂-ventilator, terwijl de door de turbine geproduceerde warmte nuttig kan worden gebruikt. Ook hier zal sprake zijn van een minimaal benodigd bedrijfsoppervlak waarboven geen elektriciteitsoverschot optreedt.

In de volgende paragrafen worden de teelten van radijs, sla en fnesia beschreven zoals die in de berekeningen gebruikt zijn.

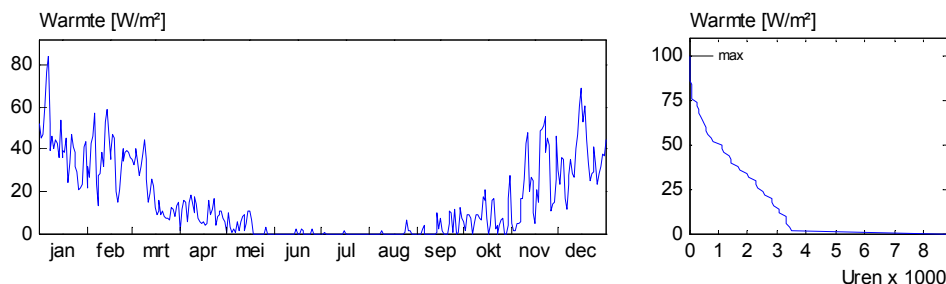
4.1 Radijs

Radijzen worden jaarrond geteeld bij een temperatuur van 12 °C overdag en 8 °C in de nacht. Als verwarming wordt bij een groot deel van de bedrijven heteluchtverwarming toegepast. Percentages met betrekking tot de penetratiegraad van heteluchtverwarming dan wel buisverwarming zijn niet bekend. Echter, de trend is dat op gemoderniseerde of nieuwe bedrijven in het algemeen buisverwarming wordt aangelegd. De luchtverwarming vindt plaats door een aantal heteluchtkanonnen te plaatsen. Deze heteluchtkachels kunnen niet in vermogen gevarieerd worden, ze hebben een aan/uit regeling en verbruiken ongeveer 10 á 13 m³ aardgas per uur. Er worden zoveel kachels geplaatst dat er een verwarmingscapaciteit van ongeveer 150 W/m² bereikt wordt. In het geval van buisverwarming wordt er geen minimum buistemperatuur toegepast. Er wordt in deze teelt niet geschermd, niet belicht, niet gekoeld en er is geen warmteopslagbuffer aanwezig.

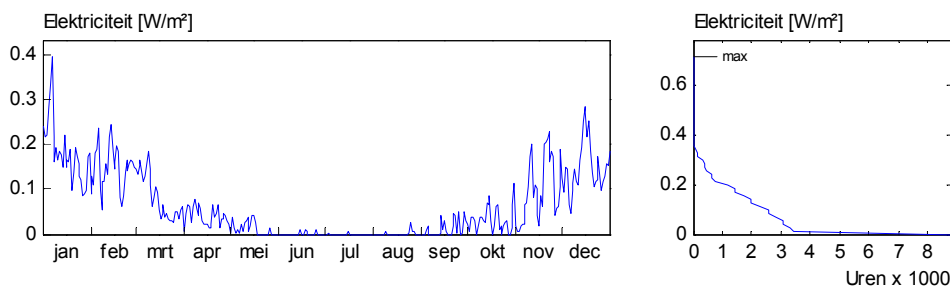
Heteluchtverwarming

Zoals beschreven bij de uitgangspunten wordt de microturbine samen met de heteluchtkachels aan/uit geregeld waarbij gedimensioneerd is op een thermisch vermogen van 150 W/m². Dit betekent dat het aantal heteluchtkachels afhankelijk is van het bedrijfsoppervlak en dat bij bedrijven met minder dan een gegeven oppervlak een elektriciteitsoverschot ontstaat.

In Figuur 1 en Figuur 2 zijn de jaarverlopen en de jaarbelastingduurkrommen van respectievelijk warmte- en elektriciteitsvraag van een heteluchtteelt van radijs weergegeven.



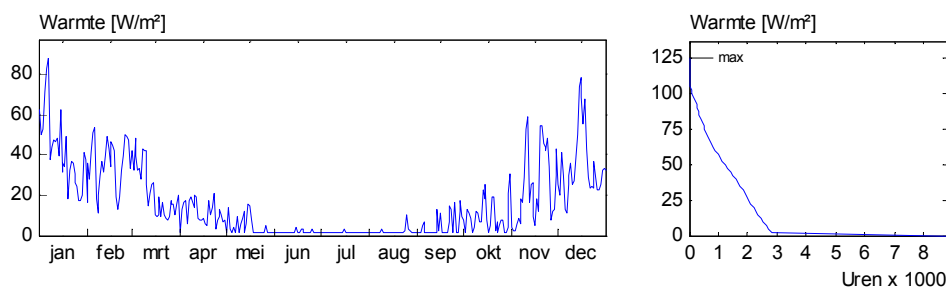
Figuur 1 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van warmtevraag voor een standaard heteluchtteelt van radijs.



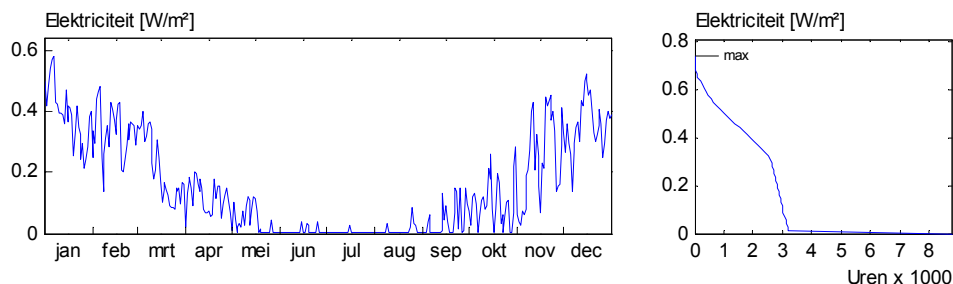
Figuur 2 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van elektriciteitsvraag voor een standaard heteluchtteelt van radijs

Buisverwarming

In Figuur 3 en Figuur 4 zijn de jaarverlopen en de jaarbelastingduurkrommen van respectievelijk warmte- en elektriciteitsvraag van een radijsteelt met buisverwarming weergegeven.



Figuur 3 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van de warmtevraag voor een buisverwarmde standaard radijzenteelt.



Figuur 4 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van de elektriciteitsvraag voor een buisverwarmde standaard radijzenteelt.

In Tabel 2 zijn de jaartotalen van warmte- en elektriciteitsverbruik in de radijsteelt weergegeven. Het primaire brandstofverbruik is bepaald door rekening te houden met het rendement van de elektriciteitscentrale (zie paragraaf 5.1).

Tabel 2 Jaartotalen van warmte- en elektriciteitsverbruik van de referentie radijzenteelt

	Warmte [MJ/m ²]	Gas [m ³ /m ²]	Elektriciteit [MJ/m ²]	Elektriciteit [kWh/m ²]	Primair [MJ/m ²]
Luchtverwarming	477	15.1	2.00	0.56	482
Buisverwarming	477	15.9	4.87	1.35	512

Het gasverbruik bij de luchtverwarming ligt lager dan bij de buisverwarming. Dit houdt verband met het hogere rendement van de heteluchtkachels (alle warmte komt in de kas).

4.2 Fresia

De fresiateelt wordt gekenmerkt door een zeer grote variatie aan teeltmethoden (bijv. wel of niet jaarrond), en mede daardoor ook in de bedrijfsuitrusting, die een grote invloed kan hebben op de elektriciteitsvraag van het betreffende bedrijf. Hierbij moet gedacht worden aan het wel of niet belichten van de teelt, en de mate en wijze van koeling (wordt er gekoeld met koelmachines of wordt er grondwater gebruikt). Voor dit project is uitgegaan van een jaarronde teelt met assimilatiebelichting en mechanische grondkoeling. Fresia's worden geteeld met een cyclus van ca. twee teelten per jaar. Voor een evenwichtige bedrijfsvoering worden drie plantdata gebruikt, elk 3 tot 4 weken ten opzichte van elkaar verschoven. De fresiateelt wordt van 15 september tot 1 maart 14 tot 20 uur per dag belicht met 3000 lux op 75% van het bedrijfsoppervlak. Boven de 125 W/m² instraling door de zon wordt de assimilatiebelichting afgeschakeld. In de niet-belichte periode wordt een kasluchttemperatuur van 8 °C overdag en 6 °C 's nachts aangehouden. In de belichte periode geldt een temperatuur van de 14 °C overdag en 12 °C 's nachts.

Op RV wordt in principe niet geregeld, maar voor de zekerheid wordt (in het najaar) een lage minimumbuis ingezet. Grondkoeling wordt vanaf 1 juni tot 1 september toegepast (geïnstalleerd vermogen 6 W_e/m²). Hierbij wordt per maand telkens 25% van het bedrijfsoppervlak ingeschakeld. De koeling vindt plaats door middel van een elektrische

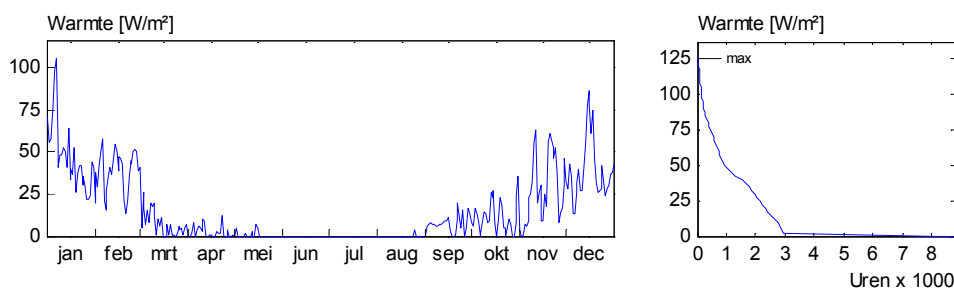
koelmachine. De koelmachine slaat aan indien de grondtemperatuur op 10 cm diepte stijgt tot boven de 14.5 °C.

Fresia's worden alleen met buisverwarming geteeld.

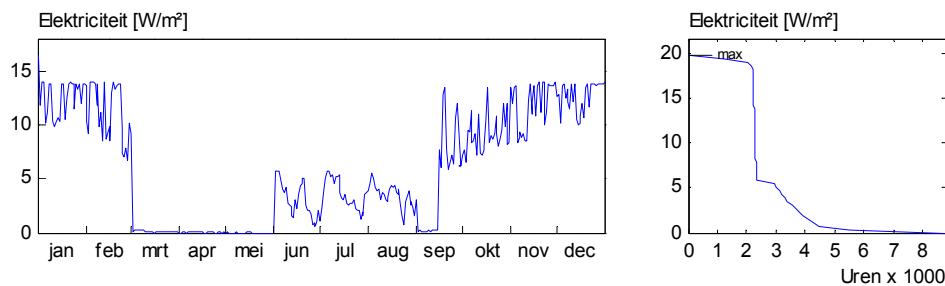
De microturbine wordt ingeschakeld wanneer:

- er warmtevraag is, en dus elektriciteitsvraag van de branderventilator en pompen,
- de belichting ingeschakeld is,
- de grondkoeling ingeschakeld is.

Door de lage teelttemperaturen is extra warmteproductie als bijproduct van de elektriciteitsopwekking met name in de koelperiode meestal niet gewenst. Daarnaast is ook tijdens het belichten de warmteafgifte van de armaturen al zodanig hoog, dat er niet bijverwarmd hoeft te worden. Ook op deze momenten kan de warmteproductie van de turbine meestal niet nuttig worden aangewend. In Figuur 5 en Figuur 6 zijn de jaarverlopen en de jaarbelastingduurkrommen van respectievelijk warmte- en elektriciteitsvraag van een fresiateelt weergegeven.



Figuur 5 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van de warmtevraag voor een buisverwarmde standaard fresiateelt



Figuur 6 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van de elektriciteitsvraag voor een buisverwarmde standaard fresiateelt

In Tabel 3 zijn de jaartotalen van warmte- en het elektriciteitsverbruik van de fresiateelt weergegeven.

Tabel 3 Jaartotalen van warmte- en elektriciteitsverbruik van de referentie fresiateelt

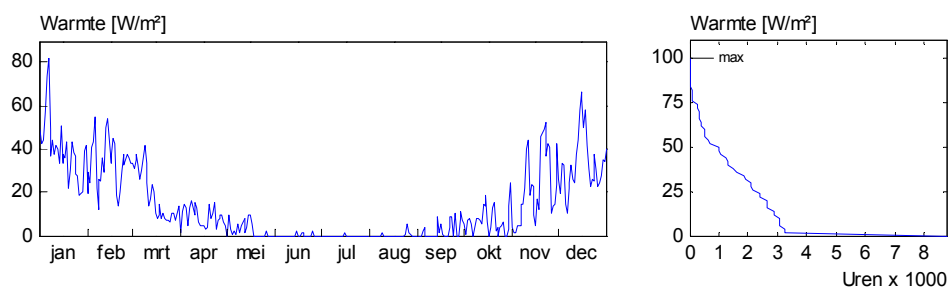
	Warmte [MJ/m ²]	Gas [m ³ /m ²]	Elektriciteit [MJ/m ²]	Elektriciteit. [kWh/m ²]	Primair [MJ/m ²]
Buisverwarming	450	15.0	189	52.6	842

4.3 Sla

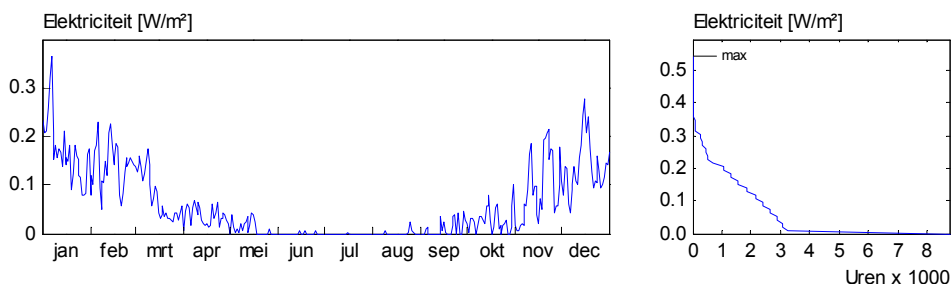
Sla wordt jaarrond geteeld bij een temperatuur van 12 °C overdag en 7 °C 's nachts. Er zijn geen exacte gegevens bekend over de verdeling heteluchtverwarming dan wel bedrijven waar buisverwarming wordt toegepast, maar door deskundigen uit de sector wordt ingeschat dat de overgrote meerderheid van de slabedrijven (meer dan 90%) heteluchtverwarming heeft. De luchtverwarming wordt uitgevoerd op gelijke manier als bij de radijzenteelt, door een aantal heteluchtkanonnen te plaatsen, zodanig dat er een verwarmingsvermogen van 150 W/m² geïnstalleerd is. Ook bij sla wordt in het geval van buisverwarming geen minimumbuis toegepast. Ook wordt er niet geschermd, belicht of gekoeld en is er geen warmteopslagbuffer aanwezig.

Heteluchtverwarming

De inpassing van de microturbine in de heteluchtverwarmde slateelt is overeenkomstig met de radijzenteelt. Ook hier is gedimensioneerd op verwarmingscapaciteit. In Figuur 7 en Figuur 8 zijn de jaarverlopen en de jaarbelastingduurkrommen van respectievelijk warmte- en elektriciteitsvraag van een jaarrond slateelt met heteluchtverwarming weergegeven.



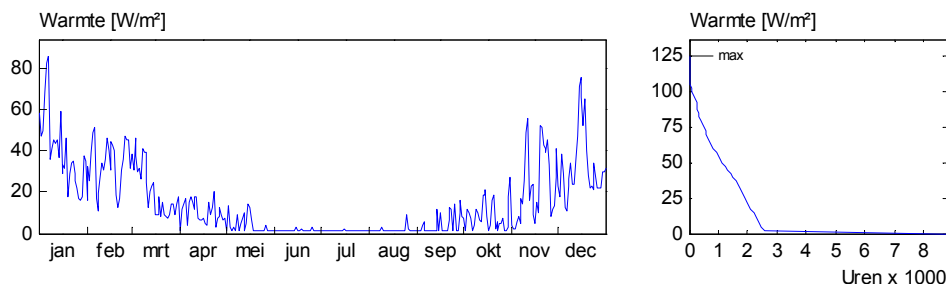
Figuur 7 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van warmtevraag voor een hetelucht verwarmde standaard slateelt.



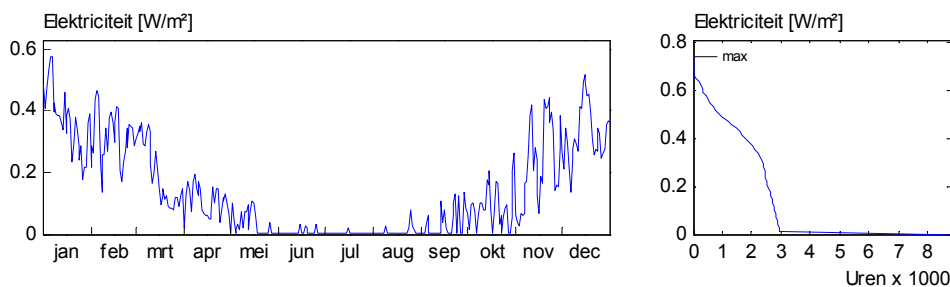
Figuur 8 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van elektriciteitsvraag voor een hetelucht verwarmde standaard slateelt.

Buisverwarming

In Figuur 9 en Figuur 10 zijn de jaarverlopen en de jaarbelastingduurkrommen van respectievelijk warmte- en elektriciteitsvraag van een slateelt met buisverwarming weergegeven.



Figuur 9 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van warmtevraag voor een buisverwarmde standaard slateelt.



Figuur 10 Jaarverloop (li) en jaarbelastingduurkromme (re) van elektriciteitsvraag voor een buisverwarmde standaard slateelt.

In Tabel 4 zijn de jaartotalen van warmte- en het elektriciteitsverbruik van de slateelt weergegeven. De buisverwarming gebruikt iets meer gas dan de luchtverwarming door het hogere rendement van de heteluchtkanonnen en de grotere thermische traagheid van de buisverwarming.

Tabel 4 Jaartotalen van warmte- en elektriciteitsverbruik van de referentie slateelt

	Warmte [MJ/m ²]	Gas [m ³ /m ²]	Elektriciteit [MJ/m ²]	Elektriciteit. [kWh/m ²]	Primair [MJ/m ²]
Luchtverwarming	440	13.9	1.84	0.51	445
Buisverwarming	445	14.8	4.49	1.25	478

5 Energiebesparing en economisch perspectief

5.1 Primaire energie

Een doorsnee verwarmingsketel die in de Nederlandse glastuinbouw wordt gebruikt converteert aardgas met een rendement van 95 % (op onderwaarde) naar warmte. Dit betekent dat door het verstoken van 1 m³ aardgas 30 MJ warmte vrijkomt. Een heteluchtkachel converteert aardgas met een rendement van 100 % (op onderwaarde) waardoor 31.6 MJ warmte vrijkomt. Naast deze warmte produceren ketel en heteluchtverwarming per m³ aardgas ook nog eens 1.78 kg CO₂ die gebruikt kan worden voor de CO₂-dosering.

Naast warmteproducenten zijn ketel en heteluchtverwarming ook energieverbruikers in de vorm van elektriciteit die bij de referentiesituatie uit het openbare net onttrokken wordt en in de situatie met microturbine (voor een deel) zelf opgewekt wordt.

Wanneer 1 m³ aardgas wordt verbrand in een gasturbine dan wordt deze primaire energie omgezet in warmte en elektriciteit waarbij de precieze waarden afhangen van het elektrisch en thermisch rendement van de turbine. Wanneer het elektriciteitsverbruik van een tuinbouwbedrijf niet uit het openbare net afgenomen wordt, maar door de microturbine opgewekt wordt, (waarbij de geproduceerde warmte nuttig kan worden gebruikt) kan het omzettingsrendement worden verhoogd van 50% (van een moderne elektriciteitscentrale) tot maximaal 100% bij luchtverwarming en ongeveer 80% (overallrendement) bij buisverwarming. Bovendien komt bij het gebruik van een microturbine CO₂ beschikbaar voor dosering.

Om de primaire energiebesparing door het gebruik van een microturbine te kunnen bepalen zijn eerst voor elke teelt referentieberekeningen gedaan op basis van de uitgangspunten uit hoofdstuk 4. Hierna zijn voor elke teelt berekeningen gedaan waarbij een microturbine ingezet is.

Voor de gewassen radijs en sla zijn zowel met heteluchtverwarming als met buisverwarming berekeningen uitgevoerd, voor fnesia alleen met buisverwarming omdat heteluchtverwarming in de praktijk niet voorkomt.

5.2 Kosten- en baten

5.2.1 Investerings

Voor het toepassen van een microturbine in de extensieve glastuinbouw zijn een aantal investeringen nodig. Een goede benadering van de investeringen voor een 'kale' unit bedragen ongeveer € 1.000 per kW elektrisch. Voor de Capstone C30 Low pressure, die als uitgangspunt dient voor de berekeningen, geldt een investering van € 32.400 (Geveke, 2003). Dit is een unit in industriële omkasting, voor een net-parallel bedrijf inclusief turbine, generator, controle systeem en generator beveiliging. Doordat de Capstone C30 Low pressure geschikt is voor lage gasdruk (tot max. 1 bar) is geen externe gascompressor nodig (ca. € 9.000). In het geval van buisverwarming met een ketel is een warmtewisselaar nodig waarvan de kosten ongeveer € 6.000 bedragen. De hoogte van de installatiekosten is niet bekend. Voor de situatie met heteluchtverwarming is hiervoor 5% van de investering aangenomen (€ 1.620) en voor de situatie met

buisverwarming 10% (€ 3.840). De jaarlijkse kapitaalkosten (annuïteit) zijn berekend met een levensduur van 10 jaar zonder restwaarde en een rentepercentage van 6.5 %.

5.2.2 Onderhoud

Over het algemeen vereist een WKK met gasturbine minder onderhoud dan een WKK met gasmotor. Een indicatie van de totale onderhoudskosten is 0.7 eurocent per kWh. Een voordeel van de Capstone turbine is de luchtgelagerde as waardoor geen (dure) smeermiddelen nodig zijn.

5.2.3 Tarieven voor gas en elektriciteit

Voor de tuinders in de beschermde gasmarkt, die aardgas gebruiken in een warmtekrachtinstallatie geldt een speciale gasprijs die lager is dan de normale tuinbouwgasprijs. Deze prijs wordt, net als de tuinbouwgasprijs, per kwartaal aangepast aan de gemiddelde zware stookolieprijs tijdens de zes maanden voorafgaand aan het betreffende kwartaal. De WKK-gasprijs voor het eerste kwartaal van 2003 is € 0,15097 per m³. De WKK-gasprijs is vrijgesteld van REB (regulerende energiebelasting). De 1,06 eurocent/m³ BSB (brandstofbelasting) moet door de tuinder wel worden betaald, maar kan achteraf worden teruggevraagd bij de belastingdienst.

Elektriciteit

De elektriciteitsprijs is lastiger te bepalen. Voor de radijs- en slateelt kan, door de lage energie-intensiteit (elektrisch), er van worden uitgegaan dat de aansluitwaarde van deze bedrijven kleiner is dan 3 x 80 A. Met deze aansluitwaarde kan een maximaal elektrisch vermogen van 91.5 kW afgenomen worden, wat ruimschoots voldoende is voor deze teelten en bedrijfsuitrusting. Voor de fresiateelt met grondkoeling en assimilatiebelichting kan voor bedrijven met enige omvang deze 3 x 80 A norm overschreden worden. Hoewel grondkoeling en assimilatiebelichting in principe niet gelijktijdig zijn ingeschakeld, is bij een geïnstalleerd elektrisch koelvermogen van 6 W/m² bij een bedrijfsoppervlak van 1.5 ha. het maximale af te nemen vermogen al bereikt. Bij assimilatiebelichting met een geïnstalleerd elektrisch vermogen van 20 W/m² en een bedrijfsoppervlak van 0.5 ha. is er al een elektriciteitsafname van 100kW. De norm van 3 x 80 A aansluitwaarde en een verbruik van 500.000 kWh/jr worden gehanteerd als grens voor kleinverbruiker, dan wel grootverbruiker, beiden met een eigen tariefsysteem. Globale richtprijzen voor de elektriciteit zijn in Tabel 5 weergegeven.

Tabel 5 Elektriciteitsprijzen voor groot- en kleinverbruik

Afname [kWh/jr]	Piek [ct/kWh]	Dal [ct/kWh]
minder dan 500 000	16	11
meer dan 500 000	9	3

5.3 Analyse

Aan de hand van de teeltgegevens van de gewassen radijs, sla en fnesia zijn met het simulatiemodel KASPRO jaarrond simulaties uitgevoerd voor de referentieteelt en een teelt waarbij een microturbine voor de elektriciteitsproductie is ingezet. Op basis van de uitkomsten van de simulaties zijn vervolgens berekeningen gedaan naar het primaire energiegebruik en kosten voor gas en elektriciteit. Uitgangspunt is één microturbine op een bedrijf waarbij berekeningen zijn gedaan voor toenemend bedrijfsoppervlak. In onderstaande grafieken zijn per gewas en per verwarmingssysteem (hetelucht-, of buisverwarming) drie kengetallen bepaald, te weten:

- De besparing aan primaire energie ten opzichte van de referentieteelt. Voor de referentieteelt is dit het gasverbruik van de heteluchtverwarming/ketel, plus de elektriciteitsinkoop waarvan het opwekkingsrendement 40%¹ is (centrale). Voor de situatie met een microturbine is dit het gasverbruik van heteluchtverwarming plus turbine, plus de resterende inkoop van elektriciteit tegen 40% omzettingsrendement.
- De extra kosten ten opzichte van de referentieteelt. Dit is het verschil tussen de kosten voor gas en elektriciteitsinkoop van de referentieteelt en de teelt met een microturbine, waarbij in het tweede geval de annuïteit van de microturbine met toebehoren ook meegerekend is. De gebruikte tarieven voor gas en elektriciteit zijn die uit Tabel 5.
- Het dekkingspercentage voor de elektriciteitsvraag. Dit is het gedeelte van de elektriciteitsvraag welke door de microturbine ingevuld wordt.

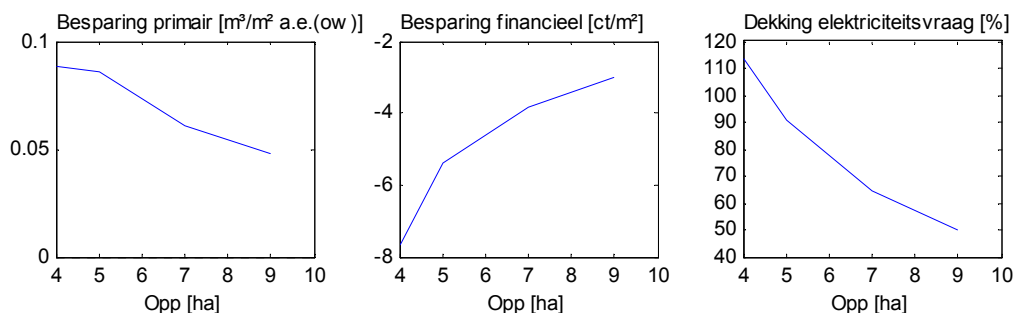
5.3.1 Radijs

In Figuur 11 zijn de kengetallen voor de heteluchtverwarmde radijzenteelt weergegeven. De bedrijfsoppervlakken waarbij een elektriciteitsoverschot optreedt zijn buiten beschouwing gelaten (zie uitgangspunten in hoofdstuk 4). Hiermee begint het bedrijfsoppervlak waarbij de microturbine toegepast kan worden zonder elektriciteit te vernietigen bij 4.5 ha.

Uit de eerste grafiek blijkt dat altijd minder dan 0.1 m³/m² aardgas equivalenten aan primaire energie bespaard wordt. Op een totaalverbruik van 15 m³/m² (482 MJ/m²) betekent dit een procentuele besparing van 0.6 %. De behaalde besparing is zowel absoluut als procentueel marginaal.

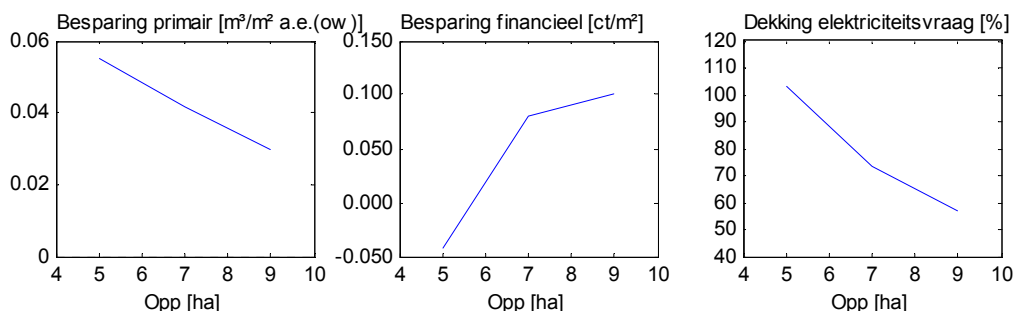
Economisch gezien is het onder de in dit rapport geldende aannames niet interessant om een microturbine toe te passen t.b.v. het eigen elektriciteitsverbruik. Er zal namelijk altijd een financieel verlies geleden worden dat 8 ct/m² bedraagt bij 4.5 ha.

¹ Gemiddelde parkrendement dat als referentie geldt voor de GLAMI doelstellingen



Figuur 11 Jaarlijkse besparing van primaire energie, financiële besparing en dekkingpercentage van de elektriciteitsvraag van een heteluchtverwarmde radijzenteelt als functie van het bedrijfsoppervlak, bij inzet van één microturbine per bedrijf.

In Figuur 12 zijn de kengetallen voor de buisverwarmde radijzenteelt weergegeven. De bedrijfsoppervlakken waarbij een elektriciteitsoverschot optreedt zijn weer buiten beschouwing gelaten. Inpassing van een microturbine is hier mogelijk vanaf 5 ha. De besparing aan primaire energie blijft altijd onder de $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ a.e.}$ en is nog lager dan bij een heteluchtverwarmde radijzenteelt. Dit is naar verwachting omdat bij gebruik van een warmtewisselaar een deel van de turbinerookgassen afgelucht wordt, terwijl bij heteluchtverwarming alle warmte die door de turbine wordt geproduceerd benut wordt. Financieel gezien kan bij grote bedrijven een verwaarloosbare winst behaald worden.

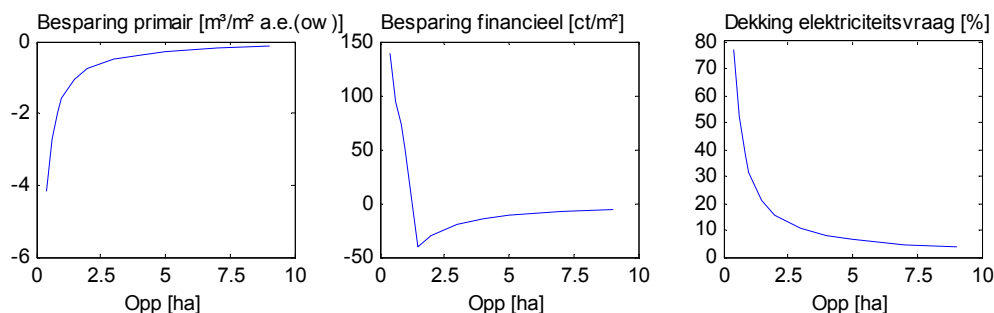


Figuur 12 Jaarlijkse besparing van primaire energie, financiële besparing en dekkingpercentage van de elektriciteitsvraag van een buisverwarmde radijzenteelt als functie van het bedrijfsoppervlak, bij toepassing van één microturbine per bedrijf.

5.3.2 Fresia

In Figuur 13 zijn de kengetallen voor de buisverwarmde en belichte fresiateelt weergegeven. Omdat deze teelt tijdens het belichten een hoog elektriciteitsverbruik heeft kan de turbine op deze momenten bij nagenoeg elk bedrijfsoppervlak worden ingezet waarbij de geproduceerde elektriciteit volledig wordt benut. Toch blijkt uit de figuur dat er geen besparing van primaire energie behaald wordt omdat met name bij kleine bedrijven een warmteoverschot ontstaat. Economisch gezien wordt tot ca. 1.5 ha geld bespaard, met een maximum rond de 1 €/m^2 wanneer de dekkinggraad de 100% nadert. Voor grotere fresiabedrijven biedt een microturbine financieel gezien geen soelaas omdat het voordeel van uitgespaarde inkoop minder is doordat een deel van de elektriciteit tegen het goedkopere tarief (boven 500 MWh) ingekocht kan worden.

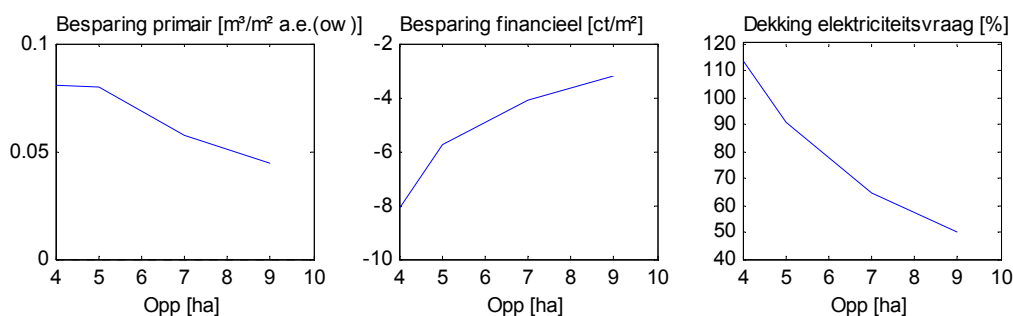
Concluderend kan gesteld worden dat het toepassen van een microturbine voor de belichte fresiateelt onder de in dit rapport geldende aannames geen primaire energiebesparing zal opleveren maar dat bij kleine bedrijven tot ca. 1.5 ha economisch voordeel behaald wordt.



Figuur 13 Jaarlijkse besparing van primaire energie, financiële besparing en dekkingpercentage van de elektriciteitsvraag van een buisverwarmde fresiateelt als functie van het bedrijfsoppervlak, bij één microturbine per bedrijf.

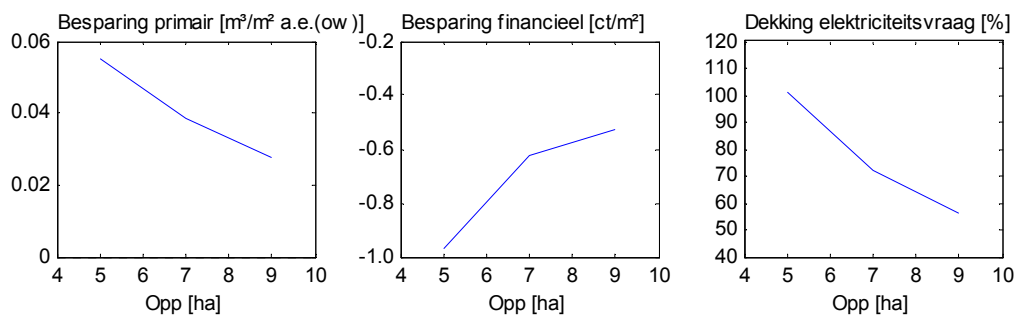
5.3.3 Sla

In Figuur 14 zijn de kengetallen voor de heteluchtverwarmde slateelt weergegeven. De figuur vertoont veel overeenkomsten met de radijzenteelt. Zo wordt pas bij een bedrijfsoppervlak groter dan 4 ha alle geproduceerde elektriciteit benut en zal de microturbine financieel gezien geen voordelen bieden. De besparing bedraagt maximaal $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2$ a.e. bij een totaalverbruik van ruim $14 \text{ m}^3/\text{m}^2$.



Figuur 14 Jaarlijkse besparing van primaire energie, financiële besparing en dekkingpercentage van de elektriciteitsvraag van een heteluchtverwarmde slateelt als functie van het bedrijfsoppervlak, bij toepassing van één microturbine per bedrijf.

In Figuur 15 zijn de kengetallen voor de buisverwarmde slateelt weergegeven. Ook hier vertoont de figuur veel overeenkomsten met de radijzenteelt. Inpassing van een microturbine is mogelijk vanaf 5 ha. De besparing aan primaire energie blijft altijd onder de $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^2$ a.e. en is ook hier lager dan bij een heteluchtverwarmde teelt. Financieel gezien biedt een microturbine bij de buisverwarmde slateelt geen perspectief.



Figuur 15 Jaarlijkse besparing van primaire energie, financiële besparing en dekkingpercentage van de elektriciteitsvraag van een buisverwarmde slateelt als functie van het bedrijfsoppervlak, bij één microturbine per bedrijf.

6 Conclusies

De hoeveelheid primaire energie, die op energie-extensieve glastuinbouwbedrijven bespaard kan worden door toepassing van WK-installaties aangedreven door een microturbine is voornamelijk afhankelijk van het opgestelde vermogen waarbij alle warmte en elektriciteit nuttig gebruikt kan worden en het aantal draaiuren. Doordat de warmte- en elektriciteitsvraag in de energie-extensieve glastuinbouw zeer beperkt is en er een grote onbalans is tussen warmtevraag en elektriciteitsvraag (zonder teruglevering van elektriciteit), kan pas bij zeer grote bedrijfsoppervlakken één Capstone microturbine van 28 kW_e (kleinst verkrijgbare vermogen) opgesteld worden. Bij fresia, een belichte teelt met een lage warmtevraag, kan weliswaar de elektriciteit benut worden maar ontstaat een warmteoverschot.

Voor de gewassen radijs en sla zijn de elektriciteitsbehoeftes bij de heteluchtverwarmde teelten zo laag dat pas bij bedrijfsoppervlakken vanaf 4.5 tot 5 ha de door de microturbine geproduceerde elektriciteit volledig gebruikt kan worden. De maximale besparingen van primaire energie die bij deze gewassen gehaald worden liggen zowel bij hetelucht- als buisverwarming altijd lager dan 0.1 m³/m² a.e. Economisch gezien biedt het toepassen van een microturbine, onder de aannames in dit rapport, alleen bij de buisverwarmde radijzenteelt een verwaarloosbaar voordeel.

Knelpunt bij het toepassen van microturbines in extensieve glastuinbouw is het lage elektriciteitsverbruik waardoor grote bedrijfsoppervlakken nodig zijn om ten minste één turbine te plaatsen. De belichtende fresiateler heeft een hoger elektriciteitsverbruik, maar heeft daarmee tegelijkertijd een onbalans in warmte- en elektriciteitsbehoefte. Hierdoor wordt weliswaar een financieel voordeel bereikt bij bedrijven tot ca. 1.5 ha, maar ontstaan bij gangbare bedrijfsoppervlakken grote warmteoverschotten waardoor meer primaire energie gebruikt wordt dan in de referentieteelt. Bij bedrijven die gebruik maken van andere elektriciteitsgebruikende uitrusting zoals bijvoorbeeld koelcellen, iets wat bij de hier behandelde energie-extensieve gewassen nauwelijks voorkomt, zou bij een kleiner oppervlak de microturbine de passende hoeveelheid elektriciteit leveren. Echter, evenals bij de belichte fresia zou dit leiden tot warmteoverschotten. Zeker bij koelcellen omdat die de grootste elektriciteitsbehoefte in de zomer hebben.

7 Literatuur

Agro-energy, 2003. www.agro-energy.nl

Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1989 Reference Year for Dutch Greenhouses, Acta Horticulturae 248, 1989

De Zwart H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. IMAG-DLO rapport 96-05, 236 blz.

Geveke Motoren (C.J. Groen), 2002. Schriftelijke informatie

Geveke Motoren (C.J. Groen), 2003. Schriftelijke informatie

Hey G., 2003. Gewasonderzoeker PPO-Naaldwijk, telefonische informatie.

Janse J., 2003. Gewasonderzoeker PPO-Naaldwijk, telefonische informatie.

Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw (KWIN), 2000-2001

Van Luijk, 2002, hetelucht sla/tomaatteler, telefonische informatie

Van Kuijvenhoven, 2003. Fresiateler. Telefonische informatie. www.kuyvenhoven.com

