

Biomassa voor de energievoorziening van tuinbouwclusters

H.F de Zwart[1], M. Ruijs[2] en H.J.M. Visser[3]

1. Wageningen UR Glastuinbouw, 2. LEI Wageningen UR

Rapport GTB-1393

WAGENINGEN UR
For quality of life

ECN

Referaat
Biomassaverbranding in combinatie met een tuinbouwcluster is een reële mogelijkheid voor verduurzaming van de sector. Zo'n centrale kan behalve energie en CO_2 ook waardevolle biochar opleveren. Bij verkoop levert dit een substantiële bijdrage aan de financiële haalbaarheid. Overigens is die voor een nog groter deel afhankelijk van de SDE+ subsidie.
Wanneer de ontwikkelde technologie wordt ingezet op praktijkschaal dan zou een biomassacentrale met 8 MW thermisch vermogen en 1.4 MW elektrisch vermogen een goed hanteerbare grootte zijn. Deze zou een cluster van 15 ha kunnen bedienen (6 ha belichte Tomaat, 6 ha Paprika en 3 ha belichte Chrysant).
De biomassacentrale levert dan 91% van de verwarming en 95% van de CO_2-behoefte. De stroombehoefte wordt voor 67% door de centrale gedekt, maar die moet dan wel in de winter veel stroom bijkopen, die in de zomer wordt verdisconteerd met aan het net geleverde elektriciteit.
De biomassacentrale zal vooral draaien op biomassa die van elders wordt aangevoerd. De biomassa uit het eigen cluster vult slechts 0.3% van de behoefte in. Als alle beschikbare biomassa in Nederland zou worden gebruikt voor de energievoorziening van de tuinbouw zou ongeveer 20% van het areaal met installaties zoals in dit rapport beschreven kunnen worden bediend.

Abstract
Biomass combustion in combination with a cluster of greenhouses to provide heat, CO_2 and electricity can provide a partly solution to the sustainability of the horticultural sector. A biomass gasification plant could also provide valuable biochar, the result of partial combustion of biocarbon. This was shown to have attractive characteristics to be used in high quality potting soil.
Despite the high value of the biochar (contributing for 16% of the income from the plant), the economic feasibility of a biomass combustion plant depends heavily on governmental subsidies (SDE +).
When the developed technology is used on a practical scale, a biomass plant of 8 MW thermal power and 1.4 MW of electrical power is a sound size. Such a plant fits well with a horticultural cluster of 15 hectares, consisting of 6 ha Tomato, 6 ha Pepper and 3 hectares of Chrysanthemum.
The biomass plant produces over 91% of the heating and 95% of the CO_2 requirement and 67% of the electricity counsumed. However during winter a lot of electricity will have to be bought, which is compensated with selling to the public grid in summer.
The biomass combustion plant will mainly run on biomass is supplied from elsewhere. The biomass from the local cluster covers only 0.3% of the combusted amount. If all available biomass from Netherlands territory would be used to heat greenhouses about 20% of greenhouse industry could make use of system like described in this report.

Rapportgegevens

Rapport GTB-1393
Projectnummer: 3742208600

Disclaimer

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E glastuinbouw@wur.nl, www.wageningenUR.nl/glastuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0)10 522 51 93

Inhoud

Voorwoord **5**

Samenvatting **7**

Summary **9**

Inleiding **11**

1 Biomassaverbrandingsinstallaties met waardevolle Biochar als restproduct **13**

1.1 Biogene reststromen andere bronnen 13
1.2 Verbrandingstemperatuur en biocharkwaliteit 14

2 Inpassing van de centrale in een tuinbouwbedrijvencluster **19**

2.1 Drie bedrijven in een cluster 19
2.2 Biomassa aanvoer vanuit de drie bedrijven 20
2.3 Leverings-infrastructuur 21
2.4 Economie 23
2.4.1 Gevoeligheidsanalyse 26

3 Conclusies **29**

4 Literatuur **31**

Voorwoord

Het voorliggend rapport is het resultaat van de integratie van specifieke kennis van drie kennisinstellingen op het gebied van energietoepassingen. ECN heeft grote kennis van de omzetting van biomassa naar bruikbare energiedragers zoals elektriciteit en warmte. Wageningen UR Glastuinbouw is expert op het gebied van de toepassing van energie in de moderne, marktgeoriënteerde tuinbouw en de betekenis van biomassa-restproducten voor landbouwkundige toepassingen. LEI Wageningen UR is expert op het gebied van sociaal-economische kennis van de land- en tuinbouw, inclusief t.a.v. nieuwe (energie)toepassingen in de land- en tuinbouw.

Het rapport laat zien dat verschillende kennisinstellingen bij intensieve samenwerking tot geïntegreerde systemen kunnen komen waarin de kansrijke ontwikkelingen zijn samengevoegd.

Samenvatting

Om in de komende jaren toe te groeien naar een energieneutrale glastuinbouwsector moet er hard gewerkt worden aan de verlaging van de energiebehoefte, maar vooral ook aan de mogelijkheden om de resterende energiebehoefte op een duurzame wijze in te vullen. Het gebruik van biomassa voor warmte- en elektriciteitsproductie is daarbij een belangrijk instrument.

Biomassaverbranding in een tuinbouwsetting is een ontwikkeling op de cross over tussen het Topgebied Tuinbouw & Uitgangsmaterialen en het Topgebied Energie. Samenwerking tussen Wageningen UR en het Energieonderzoek Centrum Nederland heeft dan ook belangrijke nieuwe inzichten opgeleverd.
In de eerste plaats is vastgesteld dat het aanbod van biomassa van Nederlandse bodem groot is. Er zou jaarlijks 1500 kton droge houtachtige biomassa van hoge kwaliteit en eenzelfde hoeveelheid van wat minder hoge kwaliteit kunnen worden verbrand. Voor die eerste helft, houtachtige biomassa van constante en eenduidige kwaliteit, is vastgesteld dat bij zorgvuldige verbranding een hoogwaardige biochar als belangrijk bijproduct van de energieproductie kan worden verkregen. Deze biochar is qua eigenschappen en toepassing vergelijkbaar met Perliet waar het wordt gebruikt in de productie van substraat (c.q. potgrond) voor de hoogwaardige sierteelt. Het wordt in een volumeverhouding van ongeveer 20% bijgemengd met veen en zorgt dan voor een goede pH, een goede lucht/water verhouding in het substraat en een goed watervasthoudend vermogen. Biochar van deze kwaliteit heeft een waarde van 350 euro/ton.

De tweede helft van de biogene afvalstromen uit Nederland heeft eenzelfde verbrandingswaarde, maar zal door de wisselende kwaliteit minder hoogwaardige biochar opleveren, met een navenant veel lagere waarde. Biogene reststromen direct vanuit de Nederlandse tuinbouw vormen met een totale hoeveelheid van 60 kton droge stof per jaar slechts een heel klein aandeel in het totaal.

Bij de beproeving van verschillende verbrandingsprocessen (pyrolyse en vergassing) bij verschillende temperaturen (400, 600, 670 en 700 °C) bleek vergassing bij 670 °C de beste kwaliteit biochar op te leveren. In een continu-proces wordt de droge stof uit de biomassa voor 15% omgezet in een stabiele biochar, en wordt de resterende koolstof verstookt voor de productie van warmte en elektriciteit.

Wanneer de ontwikkelde technologie wordt ingezet op praktijkschaal dan zou een biomassacentrale met 8 MW thermisch vermogen en 1.4 MW elektrisch vermogen een goed hanteerbare grootte zijn. Zo'n centrale verbruikt 2.7 ton biomassa per uur en is een schaalgrootte waarbij de schaalvoordelen goed kunnen worden benut.
In het uitgewerkte voorbeeld is de biomassavergassingsinstallatie uitgewerkt als een nutsbedrijf dat warmte, elektriciteit en CO_2 levert aan een tuinbouwcluster.

Een biomassaverbrandingsinstallatie met deze capaciteit zou goed passen bij een tuinbouwcluster van 15 ha. Indien dit cluster 6 ha belichte Tomaat, 6 ha onbelichte Paprika en 3 ha belichte Chrysant bevat kan de gekozen biomassacentrale in 91% van de warmtevraag voorzien en 95% van de CO_2-behoefte. De dekkingsgraad van de biomassacentrale in de elektriciteitsbehoefte is gering (24%) omdat de centrale continu stroom produceert, terwijl het grootste deel van de elektriciteitsbehoefte van het cluster in de 2500 belichtingsuren ligt. In de overige uren zal de biomassacentrale dus vooral stroom leveren aan het openbare elektriciteitsnet. Tijdens de belichtingsuren is het elektrisch vermogen van de biomassa centrale te klein om in de behoefte te voorzien. Op die uren zal de centrale elektriciteit moeten inkopen. Op netto basis (jaarlijkse inkoop - jaarlijkse verkoop) wordt 33% van de stroombehoefte van het cluster vanuit het openbare net betrokken.

De biochar output van het de biomassacentrale is 3.4 kton per jaar. De inkomsten uit de verkoop van deze biochar vormen 16% van de inkomsten. Gegeven dit grote aandeel wordt het bedrijfsresultaat sterk bepaald door de prijs van de biochar. Het jaarlijkse resultaat, wat bij de prijzen die hier als referentie worden gebruikt 380 k€ per jaar bedraagt, een rendement van 2% op het geïnvesteerd kapitaal, neemt met bijna 12 k€ per jaar toe per procent stijging van de biochar-prijs, en neemt met eenzelfde hoeveelheid af per procent verlaging van de biochar-prijs. Daarmee is na het effect van een verandering in het investeringsbedrag voor de centrale en de inkoopprijs voor hout chips, de waarde van de biochar de belangrijkste invloedsfactor op het bedrijfsresultaat. Een procent verandering van het investeringsbedrag, in de referentie op 18.7 mln. euro gesteld levert een verandering van 33 k€ per jaar van het bedrijfsresultaat en een procent verandering van de hout-chips prijs geeft een 23 k€ verandering van het bedrijfsresultaat.

Het bedrijfsresultaat wordt slechts weinig beïnvloed door de energieprijzen, wat vooral komt door de dempende werking van de SDE+ subsidie.

Die SDE+ subsidie is hard nodig voor de rendabiliteit, want 34% van de inkomsten in de exploitatie van de biomassacentrale is afkomstig van de SDE+ subsidie.

Bij gebruikmaking van de SDE+ subsidie lijkt de combinatie van een biomassacentrale met tuinbouwbedrijven die de warmte en CO_2 kunnen benutten, en ook een deel van de elektriciteit, een begaanbare weg. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de benutting van biomassa uit de tuinbouwbedrijven in het cluster goed mogelijk is, maar een verwaarloosbare bijdrage aan de biomassa-behoefte van de centrale levert. Slechts 0.3% van de verstookte biomassa komt van de tuinbouwbedrijven en dit aandeel is zo klein dat dit geen invloed zal hebben op de kwaliteit van de geproduceerde biochar.

Met de getallen die in dit rapport worden geleverd kan ook eenvoudig worden gezien dat het gebruik van biomassa van Nederlandse bodem slechts een kleine bijdrage in de verduurzaming van de tuinbouwsector kan betekenen. De hier geschetste centrale verbruikt 23 kton per jaar in een cluster van 15 ha zou. Als deze getallen worden opgeschaald volgt dat het totaal van 3000 kton, waarvan de helft van minder duidelijke kwaliteit, maximaal 2000 ha kan bedienen. Dit is bijna 20% van het huidige tuinbouwareaal. Daar komt nog bij dat in zo'n 15 ha cluster met een biomassacentrale vooral de warmte- en CO_2-behoefte uit deze duurzame bron wordt gedekt, maar dat er netto 5700 MWh van elders moet worden betrokken.

Summary

In order to develop a carbon-neutral energy supply for the Dutch horticultural sector in the years ahead, a lot has to be done to lower the energy demand, but also on ways to realize the remaining demand in a sustainable way. Using biomass for heating and electricity production can be an important tool to achieve that goal.
In a joined research program of Wageningen University and Research and the Energy research Centre of the Netherlands (ECN), the possibilities of a biomass combustion plant in combination with a cluster of greenhouses was studied.

The study started with an analysis of the amount of biomass that can be gathered from the Netherlands territory. This turned out to be 1500 kton of high quality combustible biomass (dry weight) and the same amount of dry weight with a lower quality. If the high quality material is partly combusted by a well-designed and controlled gasification process, out of the biomass feed, 15% of valuable biochar can be made, while using the other carbon for generating heat and electricity. The quality and characteristics of this biochar is comparable to perlite and can therefore be used for making high quality potting soils. It can be mixed in a 20% v/v ratio with peat to get a good pH of the soil, a good water/air ratio and good water retention properties. This quality biochar is worth 350 €/ton.

The other 1500 kton of biomass products from Dutch territory gives the same amount of energy, but, due to the unknown and more variable constitution a lower quality of biochar with a lower value.
Biomass from horticulture, being about 60 kton per year (dry weight) is only a very small amount compared to the other biomass sources.

In the trials on different combustion processes (pyrolysis and gasification) at different temperatures (400, 600, 670 and 700 °C) the gasification at 670 °C appeared to provide the best result.
If the technology developed would be used on a practical scale, a plant with a thermal energy output of 8 MW and an electrical output of 1.4 MW would be reasonable scale. Such a biomass plant combusts 2.7 ton biomass per hour. In the study presented here, it is assumed that this plant is operated as a service selling heat, electricity and CO_2 to the entrepreneurs in the cluster. The prices are set in accordance to the average prices paid in the normal case.

A biomass combustion plant of this size could well be able to supply a cluster consisting of 6 ha tomato with illumination, 6 ha sweet pepper (without illumination) and 3 ha Chrysanthemum, also with illumination. Then the plant provides 91% of the heat demand of the cluster and 95% of the CO_2-demand. Direct application of the electric output for the greenhouses is low (24%) because the plant produces electricity continuously, while most of the electricity consumption of the cluster is concentrated in the 2500 hours with artificial illumination. In the remaining hours the biomass combustion plant will provide its power mainly to the public grid. After subtracting the electricity sold to the public grid from the electricity bought from the grid, 67% of the electricity demand of the greenhouse cluster can be provided by the biomass combustion plant. The missing 9% of the heat demand, 5% of the CO_2-demand and 33% of the electricity demand has to be obtained from other sources.

The biomass combustion plant produces 3.4 kton of biochar per year. When selling this biochar at a price of 350 €/ton, the biochar accounts for 16% of the income of the biomass combustion plant. The financial result of the combustion plant is 380 k€ per year, which means a 2% return on the 18.7 mln. euro investment.

The positive financial result is very dependent on the SDE+ subsidy, being 34% of the income. Without this subsidy such a plant cannot be operated because the costs heavily outreach the incomes.

With the numbers presented in this report it can be seen easily that the combustion of biomass from Dutch territory can serve only a small fraction of the energy demand of horticulture in the Netherlands. With a yearly biomass consumption of 23 kton (dry matter) the total available amount of biomass (3000 kton) could serve 130 similar biomass combustion plants. These could serve 130 × 15 = 1960 ha of greenhouses, which is about 20% of the total acreage of horticulture in the Netherlands. This 20% of the greenhouses are almost completely served in their needs for heat and CO_2, but a substantial fraction of the electricity consumption will have to come from other suppliers.

Inleiding

De Glastuinbouw toont de ambitie om in 2020 concepten voorhanden te hebben die een energieneutrale en concurrerende tuinbouw mogelijk maken. Deze ambitie wordt ingevuld door de vermindering van het absolute energiegebruik en optimalisatie van de beschikbare energie bij het gewasproductieproces. De laatste jaren is daarbij een duidelijke afname van de warmtebehoefte en verbetering van de energie efficiëntie gerealiseerd. Door de implementatie van technieken die warmteverliezen verminderen, de terugwinning van latente en voelbare warmte bij de ontvochtiging én maximale benutting van het beschikbare zonlicht zijn kasproductiesystemen mogelijk die minder dan 50% van de energie voor warmte-opwekking vereisen dan wat vlak na de millenniumwisseling gebruikelijk was. Het absolute energiegebruik is echter vrij stabiel gebleven (LEI rapport 2013-061). De afname van de warmtevraag loopt namelijk parallel aan de toename van de elektriciteitsbehoefte. Deze toename komt door de toepassing van nieuwe technieken voor klimatisering, maar vooral door de toename van het gebruik van belichting (LEI rapport 2013-061. Het grootste knelpunt bij de reductie van het energiegebruik is dus gekoppeld aan het verduurzamen van het elektriciteitsgebruik in intensieve teelten.

Het TO2 samenwerkingsproject "Vergroening Energievoorziening en verhoging van energie-efficiency bij intensieve glastuinbouw productiesystemen" benadert deze problematiek langs twee hoofdlijnen, elk op een cross over tussen het Topgebied T&U en respectievelijk Energie en High Tech Systems and Materials.

Dit rapport heeft betrekking op de cross over op het onderwerp Energie en loopt via het onderzoek naar duurzame opwekking van energie uit hernieuwbare biogene reststromen. Behalve dat het gebruik van biogene reststromen sowieso een vergroening impliceert kan bij gebruik van biomassa als brandstof door aanpassing van de verbrandingstechniek de kwaliteit van het restproduct zodanig worden beïnvloed dat het een teeltkundige waarde krijgt. Dit restproduct wordt biochar genoemd en kan worden toegepast als bodemverbeteraar in de akkerbouw en als substraat-materiaal in de tuinbouw.

Door de combinatie van de kennis rond de verbrandingstechniek (ECN) en de kennis over tuinbouwkundige toepassingsmogelijkheden van de overblijvende biochar (Wageningen UR), kan worden vastgesteld welk verbrandingsproces de grootst mogelijke toegevoegde waarde geeft. Deze analyse wordt gepresenteerd in hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 2 wordt een doorkijk gegeven naar de betekenis van een biomassa-centrale met de in hoofdstuk 1 besproken eigenschappen voor een klein cluster van tuinbouwbedrijven. Het cluster bestaat uit een tomatenbedrijf, een paprikabedrijf en een chrysantenbedrijf.

De berekeningen laten zien dat zo'n biomassa-centrale een groot deel van de warmtevraag kan invullen, maar slechts een klein deel van de elektriciteitsbehoefte. Ook de CO_2-behoefte kan slechts voor een deel worden ingevuld. Een tuinbouwcluster zal dus naast een biomassacentrale ook andere duurzame leveranciers van elektriciteit, warmte en CO_2 moeten inzetten om energieneutraliteit te kunnen realiseren.
Naast de technische implementatie van een biomassacentrale in een tuinbouwcluster bespreekt hoofdstuk 2 ook de economische parameters.

In hoofdstuk 3 worden de conclusies uit deze verkennende studie naar de combinatie van tuinbouw en biomassaverbrandingscentrales getrokken.

1 Biomassaverbrandingsinstallaties met waardevolle Biochar als restproduct

Inleiding
In de geschiedenis van de mensheid is verbranding van hout de belangrijkste manier geweest waarop energie die in koolstofverbindingen is opgeslagen toepasbaar gemaakt wordt voor verwarming en verhitting. Pas sinds de industriële revolutie is het aandeel van de verbranding van hout in de toegepaste brandstofmix naar de achtergrond geraakt. Het overgrote deel van de primaire energie die de mensheid verbruikt is momenteel afkomstig uit fossiele bron. Vanwege de toenemende zorgen om de impact van de verbranding van deze fossiele energie op de CO_2 concentratie in de atmosfeer worden allerlei initiatieven genomen om te komen tot alternatieve energiebronnen.

De toepassing van biomassa voor de productie van warmte en elektriciteit is een van die alternatieven. In de ontwikkeling van efficiënte verbrandingsinstallaties is gebleken dat de kwaliteit van het restproduct van die verbranding sterk beïnvloed wordt door het verbrandingsproces. Het blijkt zelfs dat bij een gecontroleerde, gedeeltelijke verbranding het restproduct interessante eigenschappen heeft als groeimedium voor planten. De waarde van dit restproduct, biochar, is zo groot dat het alleszins de moeite waard lijkt om te streven naar een verbranding van ongeveer 85% van de koolstof-inhoud van de biomassa om vervolgens de 15% biochar die dan overblijft te kunnen verkopen als bodemverbeteraar of als substraatmateriaal. Met name dat laatste, substraatmateriaal voor potgrond, heeft een hoge economische waarde.

In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van het aanbod van biogene reststromen in Nederland. Daarna wordt ingegaan op verschillende verbrandingstechnieken voor dit houtachtig materiaal en wordt ingegaan op de relatie tussen de verbrandingstechniek en de kwaliteit van het eindproduct; energie natuurlijk, maar ook biochar.

1.1 Biogene reststromen andere bronnen

Het grootste gedeelte van de biomassa-reststromen in Nederland komt uit de groenbeheerstromen van gemeenten en organisaties zoals Staatsbosbeheer, de Landschapsorganisaties en Natuurmonumenten. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de (potentiele) stromen.
Uit de tabel kan worden afgelezen dat er in 2010 bijna 300 kton aan organische drogestof vanuit bos en landschap wer verzameld. Potentieel kan dit oplopen naar ruim 1 miljoen ton droge stof.

Tabel 1
Actueel verzameld en potentieel te verzamelen hout(achtige) biomassa stromen uit het bos- en landschapsbeheer.

Bronnen	Potentieel		Oogst in 2010		Beschikbaar potentieel	
	(in m)	(in ton ds)	(in m^3)	(in ton ds)	(in m^3)	(in ton ds)
Bossen (rondhout)	1.451.100	606.560	1.163.000	462.000	360.655	174.888
Bossen (tak- en tophout)	72.555	30.328				
Bossen (totaal)	**1.513.655**	**636.88**	**1.163.000**	**462.000**	**360.655**	**174.888**
Landschap	-	257.000	-	139.000	-	118.000
Bebouwde omgeving	-	300.000	-	300.000		
Totaal		**1.193.888**	**-**	**901.000**	**-**	**292.888**

Bron: Brochure van PHN (platform Hout Nederland)

Naast deze houtachtige biomassa stromen zijn er nog grote andere biogene koolstofbronnen zoals gras (ca 125 kton/jaar) en stro (ca 90 kton/jaar in 2012; verwacht in 2020 ca 445 kton/jaar).

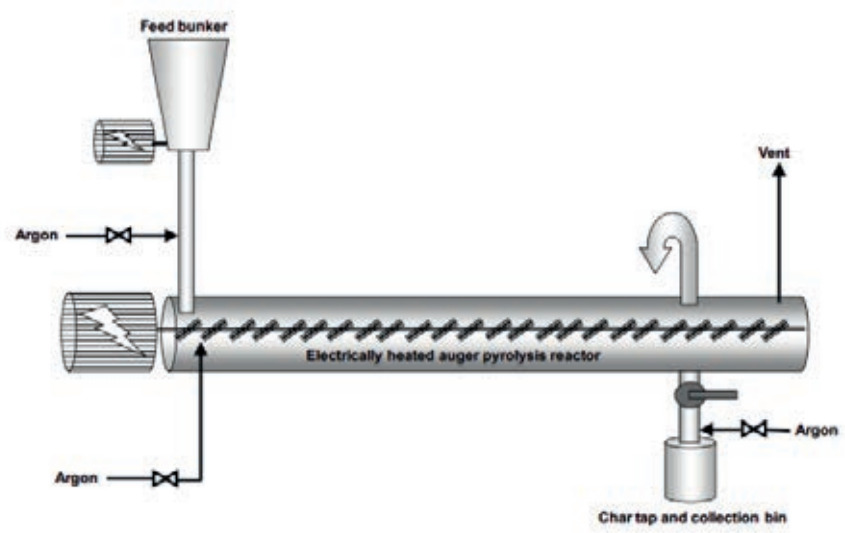
De tuinbouw levert ook een duidelijke biomassa reststroom op. De omvang van deze reststroom wordt niet periodiek gemonitord zodat diverse studies geraadpleegd zijn om hierin inzicht te krijgen. De beschikbare informatie betreft meestal indicatieve waarden. Uitgaande van een totaal areaal van ca 9500 ha wordt de omvang van de biogene reststromen (verse biomassa) vanuit de Nederlandse glastuinbouw geschat op 400-450 kton per jaar. Er is aanbod van biomassa gedurende het hele jaar, maar de piek (van 40% van het aanbod) ligt in het laatste kwartaal als gevolg van de teeltwisseling bij de glasgroenten. Bij de glasgroenten ligt het droge stof gehalte rond de 10% en bij siergewassen hoger (tot 20%). De totale hoeveelheid droge biomassa uit de glastuinbouw komt daarmee op jaarbasis, bij de huidige areaalverdeling, uit op ongeveer 50-60 kton per jaar.

Wanneer de genoemde hoeveelheden biomassa bij elkaar worden opgeteld komt het potentieel aan droge stof uit deze kwalitatief hoogwaardig biomassa reststromen op ongeveer 1500 kton per jaar.

Een bijna even grote hoeveelheid biogene energiebron wordt gevormd door het Post-consumer hout (ca. 1100 kton/jaar) bestaande uit: GFT hout, afval hout uit de bouw en verpakkingshoutafval. Dit heeft een hoge verbrandingswaarde, maar is van een meer wisselende kwaliteit en kan gemakkelijk allerlei vervuilende componenten bevatten. Dit geldt ook voor afval uit wegbermen, maar met ca 90 kton/jaar is dit een relatief kleine reststroom.

1.2 Verbrandingstemperatuur en biocharkwaliteit

Voor de gedeeltelijke verbranding van biomassa tot biochar en warmte heeft ECN twee ontwikkelingslijnen ingezet. De eerste is gebaseerd op pyrolyse en de tweede is gebaseerd op vergassing van organisch materiaal. Onderstaande figuur toont de auger pyrolyse unit van ECN, de Pyromaat.

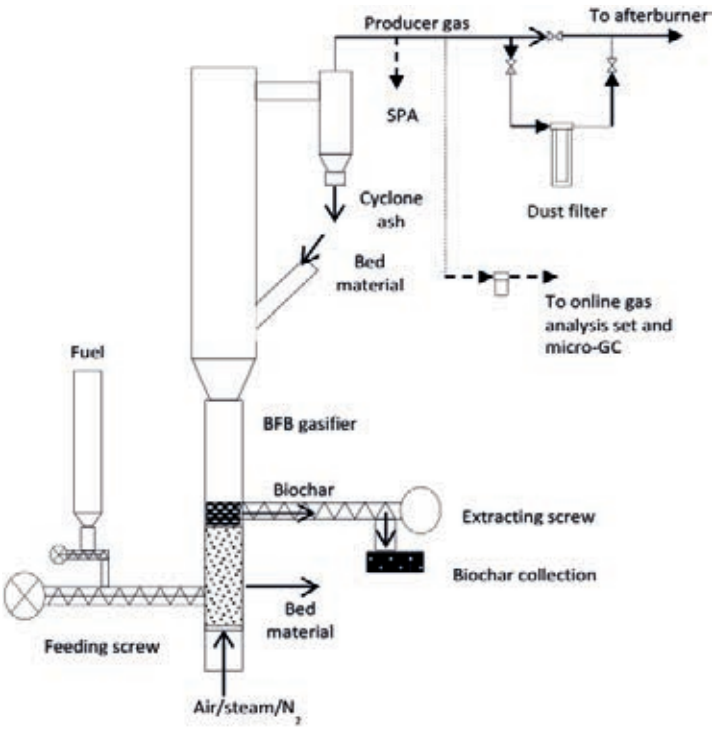


Figuur 1 *Schematische weergave van de Pyromaat Auger Pyrolyse Reactor van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN).*

De Pyromaat wordt gebruikt voor onderzoek naar de relatie tussen de omstandigheden (temperatuur, verblijftijd en luchtcondities) in de reactor en de kwaliteit van de biochar en de brandbare gassen die de reactor verlaten. Deze onderzoeksopstelling kan ruim 100 kg organisch materiaal per dag omzetten.

Voor de productie van biochar op basis van vergassing beschikt ECN over een kleine en een grote wervelbedvergasser. Onderstaande figuur toont het principe van de wervelbedvergasser.

De kleine wervelbedvergasser heeft een capaciteit van ongeveer 10 kg organisch materiaal per dag en is vooral bedoeld om het effect van de vergassingscondities op de biocharkwaliteit te monitoren. De groter wervelbedvergasser (MILENA) werkt volgens hetzelfde principe en heeft een capaciteit een 10 maal grotere capaciteit. Daarmee is deze grotere wervelbedvergasser qua capaciteit vergelijkbaar met de Pyromaat.



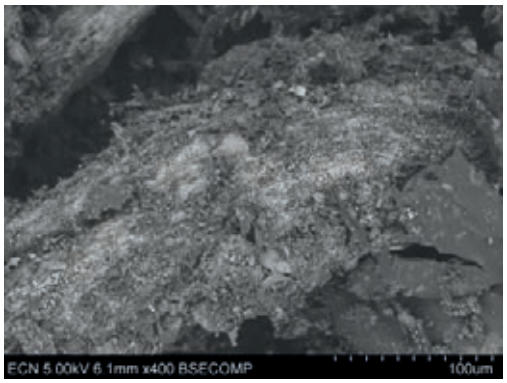
Figuur 2 *Schematische weergave van de wervelbed vergasser die ECN gebruikt voor het biochar onderzoek. De luchtstroom door het zandbed zorgt voor een homogene temperatuurverdeling en een gestaag transport van de brandstof naar boven.*

Ten behoeve van de analyse van het effect van de verbrandingstechniek op de biocharkwaliteit is de Pyromaat gebruikt voor verbranding op lage temperatuur (400 °C en 600 °C) en de wervelbedvergasser voor verbranding op hogere temperaturen (600 °C en 750 °C). Onderstaande foto's tonen SEM-beelden van het resultaat van deze experimenten. Bij deze experimenten is gebruik gemaakt van tuinbouw restmateriaal (paprika blad en stengels) als brandstof. Het viel op dat pyrolyse (dus een verbrandingsproces op lagere temperatuur) een minder poreuze biochar opleverde dan het product uit de wervelbedvergasser op hogere temperatuur.

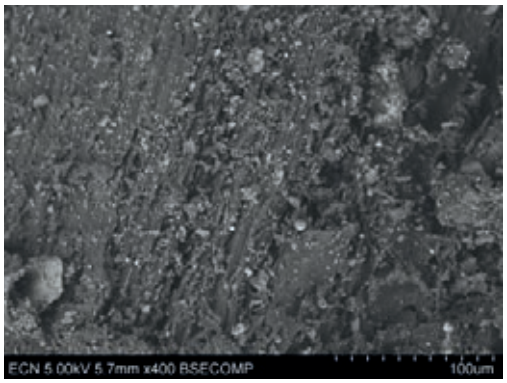
Een hoge porositeit is een belangrijk kwaliteitskenmerk voor biochars ten behoeve van landbouwkundige toepassingen en daarom zijn met de wervelbedvergasser 8 batches gemaakt ten behoeve van biochar productie uit verschillende uitgangsmaterialen. De uitgangsmaterialen betroffen schoon berkenhout, puur tuinbouwafval en mixen van deze materialen. Tabel 2 en 3 tonen de samenstellingen van deze batches en de analyseresultaten van het biocharproduct.

De conclusie uit deze analyses was dat Lage temperatuur vergassing (bijv. van paprikaresidue bij 650-700 °C) een mooie hoge porositeit oplevert (oppervlak tot wel 350 m^2/g en dichtheid ca. 200 kg/m^3) maar wat minder biochar dan bij pyrolyse.

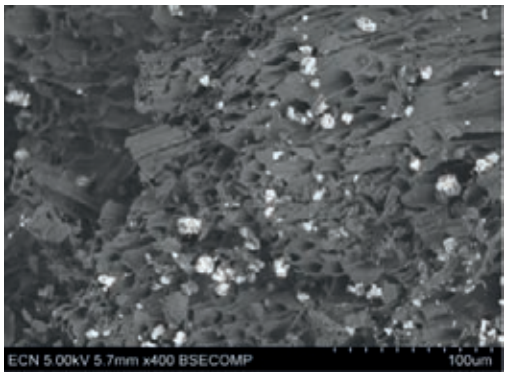
De wat lagere biochar-productie heeft het voordeel dat de installatie een hoger thermisch en elektrisch rendement oplevert en bovendien bleek dat de char niet nabewerkt hoeft te worden met hoge temperatuur (1000 °C) stoomactivatie zoals bij pyrolyse.



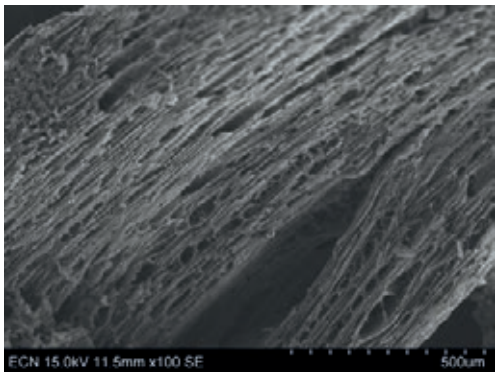
(a) Langzame pyrolyse GHW 1 400 °C, 60min



(b) Langzame pyrolyse GHW 1 600 °C, 60min

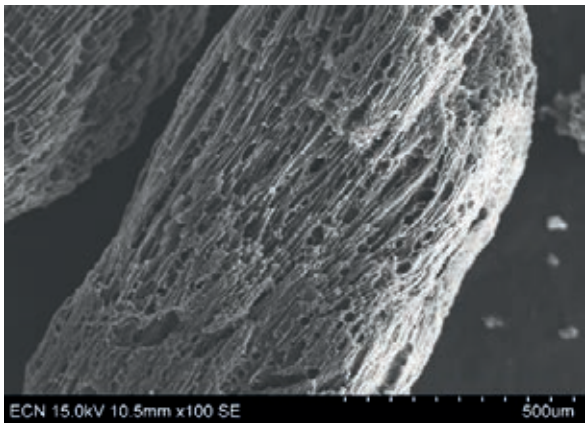


(c) Lab schaal vergassing GHW 1, air, 600 °C



(d) Lab schaal vergassing GHW 1, air, 750 °C

Figuur 3 *SEM opnamen van biochar uit tuinbouwrestmateriaal (paprika-resten) na pyrolyse (a,b) en vergassing (c,d). Van (a) naar (d) loopt de temperatuur op. Het algemene beeld van de micrsocoopopnamen is dat de biochar schooner wordt (minder neerslagdeeltjes, meer porien) naarmate de temperatuur hoger is. Vergassing lijkt in deze zin beter dan pyrolyse (vergelijk b and c, die onder dezelfde temperatuur zijn geproduceerd).*



Figuur 4 *Elektronen microscopiefoto van Biochar van paprikaresidu gemaakt bij ECN met lage temperatuur-vergassing bij 700 °C.*

Wageningen UR Glastuinbouw heeft kas- en klimaatcel proeven gedaan met drie van de geproduceerde biochars. Hieruit bleek dat deze biochars minder geschikt zijn voor gebruik in pure vorm (teveel nutrienten), maar goed gebruikt kunnen worden in mengsels met veen (Blok *et.al.,* 2016). De biochar vormt dan een vervanging van Perliet. Hierdoor kan de waarde van deze kwaliteit biochar gelijk worden gesteld aan de waarde van Perliet en is vastgesteld op 350 euro/ton.

Tabel 2

Overzicht van de door ECN geproduceerde biochars. Het reactieproduct werd continu afgevoerd om te zorgen voor een stabiele biochar productie.

#	Code	Biomass	Additives	Temp.	Remarks
1	Beech/Tomato	80% beech wood + 20% tomato leaves	5% kaolin	670	
2	Wood/Tomato	80% wood (Purmerend) + 20% tomato leaves	5% kaolin	670	
3	Wood chips -1	Wood cuttings from stadsbosbeheer Purmerend (Batch voorjaar 2015)		670	
4	Paprika waste (650)	Residues from paprika (Spain)		670	
5	Paprika waste (750)	Residues from paprika (Spain)		750	
6	Wood chips -2	Wood cuttings from stadsbosbeheer Purmerend (delivered in July, 2015)		670	Used in greenhouse experiment
7	Wood chips -3	Same feedstock as biochar 5, but processing conditions are optimised to remove dust (delivered in August, 2015)		670	
8	Beech	Beech wood chips			Used in climate chamber experiment

Tabel 3

Nutriënten samenstelling en andere karakteristieken van het reactieproduct van de 8 in tabel 2 genoemde batches in een 1:1.5 extract. De nutrient concentraties en pH zijn bepaald in een 1:1.5 (V/V) water-extract. Drooggewicht en waterretentie capaciteit (WHC), dichtheid, specifiek oppervlak (SSA), as gehalte en totaal H, C en N gehalte zijn bepaald door Eurofins (data aangeleverd door ECN).

	Paprika (650 C)	Paprika (750 C)	Beech/ Tomato	Wood/ Tomato	Beech wood	Wood – batch 1	Wood - batch 2	Wood - batch 3
pH (-)	12	12	11	12	11	9.4	9.9	10
EC (mS/cm)	9.6	11	6.8	13	0.68	0.53	0.61	0.71
NH_4 (mmol/l)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
K (mmol/l)	61	84.3	49.1	94.3	3.2	3.6	3.6	4.5
Na (mmol/l)	5.1	7.4	0.5	1	0.1	0.2	0.2	0.3
Ca (mmol/l)	0.3	0.5	0.3	3	0.3	0.2	0.3	0.2
Mg (mmol/l)	0.2	0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	0.2	0.1
Si (mmol/l)	0.1	0.2	0.3	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
NO_3 (mmol/l)	0.1	0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1
Cl (mmol/l)	47.8	65.2	23.6	48.5	0.1	0.2	0.4	0.6
SO_4 (mmol/l)	4.1	4.3	10.8	21.4	0.3	0.4	0.2	0.2
HCO_3 (mmol/l)	18.9	19.5	3.3	7.2	3.6	3.2	3.7	4.3
P (mmol/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	< 0.05	0.1	<0.05	<0.05
Fe (µmol/l)	< 0.4	< 0.4	0.4	0.9	< 0.4	0.5	0.6	0.5
Mn (µmol/l)	< 0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	2.2	0.7	0.2
Zn (µmol/l)	< 0.1	< 0.1	0.1	0.1	< 0.1	0.2	0.1	0.1
B (µmol/l)	28	35	13	9	10	8	7	6
Cu (µmol/l)	0.2	0.1	0.1	5	< 0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo (µmol/l)	<0.1	<0.1	0.5	0.9	< 0.1	<0.1	0.10	<0.1
Dry weight (%)	95.5	95.5	96.7	97.1		97.8		
WHC (%)	284	234	171	210		217		
Bulk density (kg/m^3)	104	129	131	113		102		
SSA (m^2/g d.s.)	39	29	59	81		119		
As (% w/w d.s.)	35	34	19	28		13		
total C (% d.s)	59	59	77	68		82		
total H (% d.s)	1.2	1.3	1.3	1.4		1.5		
Total N (% d.s)	0.8	0.9	0.7	1.0		0.8		
C/N ratio (mol/mol)	86	76	128	79		119		

2 Inpassing van de centrale in een tuinbouwbedrijvencluster

Inleiding
In dit onderzoek wordt de biomassacentrale opgevat als een productiefaciliteit die warmte, elektriciteit en CO_2 levert aan een cluster van tuinbouw bedrijven en daarnaast op bedrijfsmatige wijze biomassa omzet in biochar.

In overleg met specialisten op het gebied van houtvergassingsinstallaties van ECN is gesteld dat een verbrandingsinstallatie met een thermisch vermogen van 8 MW en een elektrisch vermogen van 1.4 MW een plausibele schaalgrootte is voor zo'n bedrijfsmatig opgezette productiefaciliteit. Bij deze capaciteit zijn de volumina voor de biomassa input en biochar output groot genoeg om als serieuze partij te kunnen gelden en de afmeting is ook groot genoeg om al te kunnen profiteren van schaalvoordelen voor de installatie.

Op jaarbasis verbrandt zo'n installatie 23 kton aan biomassa en produceert bijna 3.5 kton biochar.

Rondom de verbrandingsinstallatie met dit gestelde vermogen is een tuinbouwcluster geprojecteerd. Uitgaande van de beschikbaarheid van warmte en CO_2 is vastgesteld dat een cluster met 15 ha glas, gebouwd en gebruikt volgens de huidige standaarden, een passende omvang heeft. In § 2.1 wordt dit cluster verder toegelicht.

De biomassa die in de centrale wordt omgezet in biochar is voor het overgrote deel afkomstig van externe leveranciers. Slechts 0.3% van het totaal zal afkomstig zijn uit het bijbehorende tuinbouwcluster. Paragraaf 2.2 geeft de nadere onderbouwing van dit gegeven, hoewel het ook al kan worden afgeleid uit het feit dat de benodigde hoeveelheid biomassa qua ordegrootte in de buurt zit van de hoeveelheid die uit de totale Nederlandse glastuinbouw beschikbaar komt.

In paragraaf 2.3 wordt het cluster verder uitgewerkt en wordt getoond hoe warmte, stroom en CO_2 wordt geleverd en welke voorzieningen er moeten worden getroffen voor de opvang van piek-capaciteiten. Paragraaf 2.4 beschrijft de economische perspectieven. Er wordt een marktconform kader geschetst waarin de waarde van warmte, stroom, CO_2, de brandstof voor de biomassacentrale (houtchips) en het geproduceerde biochar wordt toegelicht. De verhandeling wordt afgesloten met een gevoeligheidsanalyse, waaruit blijkt welke factoren het meest bepalend zijn voor de slagingskans van deze duurzame variant voor de energievoorziening van glastuinbouw.

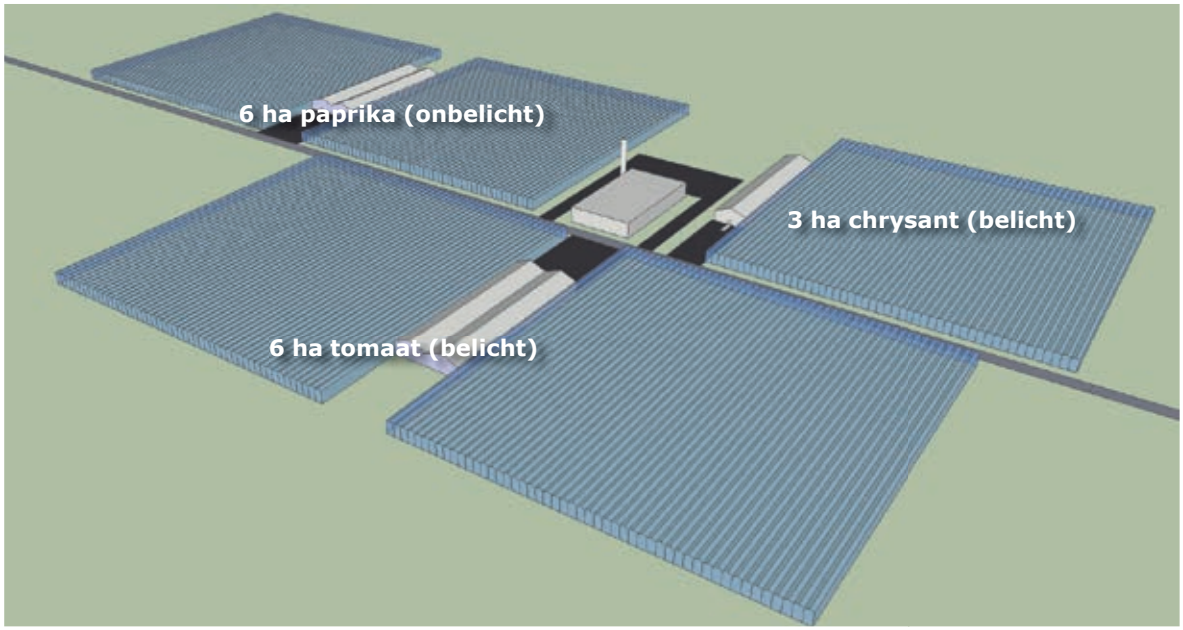
2.1 Drie bedrijven in een cluster

Omdat tomaat in Nederland nog altijd het meest geteelde glasgroentegewas is vormt de tomatenteelt het hart van het cluster rond de biomassacentrale. Nieuwe tomatenbedrijven maken bijna zonder uitzondering gebruik van assimilatiebelichting en daarom is er voor een belichte tomatenteelt gekozen. Tomatenbedrijven met belichting kenmerken zich door de toepassing van een hoge belichtingsintensiteit (100 W/m²). De lampen worden veel gebruikt, zodat het elektriciteitsverbruik van het tomatenbedrijf op 250 kWh per m² per jaar uitkomt. Een kenmerkende eigenschap van een belichte tomatenteelt is dat de teeltwisseling in september plaatsvindt. Hierdoor is staat er in de winterperiode een volgroeid gewas in de kas dat door de inzet van belichting volop in productie is. Wanneer de tomatenteelt volgens de nieuwste teeltinzichten in een moderne kas wordt uitgevoerd bedraagt de warmtevraag zo'n 1000 MJ/m² per jaar en is de warmtebehoefte van een 6 ha groot bedrijf dus om en nabij 60 TJ per jaar

Naast het tomatenbedrijf bevat het cluster ook een groot paprikabedrijf. In tegenstelling tot de tomatenteelt wordt er in de paprikateelt vrijwel niet belicht. Ervaringen hebben uitgewezen dat de internationale concurrentieverhoudingen zodanig zijn dat het voor paprika niet loont om in de winter in Nederland paprika te kunnen leveren. Het paprikabedrijf ruimt de kas in november en begint in december met de nieuwe teelt. De paprika wordt iets warmer geteeld en heeft een warmtevraag van gemiddeld 1100 MJ/m² per jaar. In het beschouwde cluster is de omvang van het paprikabedrijf ook 6 ha en het verbruik dus 66 TJ per jaar.

Als derde bedrijf is een chrysantenbedrijf gekozen. Chrysant is een veel geteeld gewas met een bescheiden warmtevraag en een wat lagere elektriciteitsbehoefte dan tomaat. Het geïnstalleerde belichtingsvermogen bedraagt 55 W/m². Bij een chrysantenbedrijf met een jaarrond-teelt is steeds een derde deel van het bedrijf in de lange-dag-fase en maakt daar tot 18 belichtingsuren per dag. 2/3 deel van het bedrijf daarentegen is in de korte dag fase. Dat deel belicht maximaal 11 uur. Gemiddeld is het aantal belichtingsuren op een chrysantenbedrijf 1775 uur per jaar. Het elektriciteitsverbruik van het chrysantenbedrijf komt daarmee op 110 kWh/(m² jaar). De warmtevraag is gemiddeld 1160 MJ/m² per jaar en met een oppervlak van 3 ha is het warmteverbruik van dit deel van het cluster dus 34 TJ.

Onderstaande plaatje geeft een impressie van het geschetste cluster.



Figuur 5 *Biomassa verwerkingsinstallatie, omringd door 15 ha Glastuinbouw.*

2.2 Biomassa aanvoer vanuit de drie bedrijven

In de inleiding is gesteld dat de biomassa aanvoer vanuit de drie tuinbouwbedrijven marginaal is (0.3%). Een paprikateelt heeft nauwelijks organisch afval tijdens het groeiseizoen. Alleen bij het ruimen van de kas, eind november, komt biomassa vrij. De bruikbare biomassa bestaat uit de bovengrondse plantdelen. Dit betreft ongeveer 45 ton groen afval per jaar met een droge stof percentage van ongeveer 10% stof (Ruijs en Jukema, 2013). Dit betekent dus 4.5 ton droge stof per ha. De biomassa in de wortels, ongeveer 0.5 ton droge stof per ha, kan bij gebruik van het gangbare teeltmedium (steenwol) niet worden verbrand omdat het geheel vergroeid is met de steenwolvezels. Alleen wanneer zou worden overgestapt op organische substraat materialen, zoals kokosvezel, of wanneer er op een NFT-systeem zou worden geteeld kan de droge stof die in de wortels zit worden verbrand. Bij gebruik van kokosvezel vormt het substraat zelf dan overigens een veel grotere bron van brandbare biomassa en komt er ongeveer 5 ton droge stof per ha extra voor de verbranding beschikbaar.
Bij Paprika komt het gewasafval komt voornamelijk (75%) bij de teeltwisseling in het najaar vrij (en bij gebruik van een verbrandbaar substraat komt zelfs bijna 90% vrij in die teeltwisselingsmaand)

Ook in de tomatenteelt vormt het niet-oogstbare deel van de plant een bron van biomassa dat in een verbrandingsinstallatie verbrand zou kunnen worden. Ook hierbij gaat het om zo'n 50 ton versgewicht per ha en ook hier komt dit voornamelijk tijdens de teeltwisseling beschikbaar. Afhankelijk van het feit of het gaat om een belichte teelt of om een onbelichte teelt komt het vrij in september of ook weer eind november. Voor de biomassa in de wortels geldt hetzelfde als voor de teelt van de paprika, wat wil zeggen dat alleen wanneer het substraatsysteem wordt aangepast ten opzichte van wat nu gangbaar is de biomassa uit de wortels verbrand zou kunnen worden.

De chrysantenteelt geeft een kleine, maar continue stroom van biomassa vanuit het verpakking- en sorteer proces waarbij stelen op lengte worden gemaakt en de onderste blaadjes worden verwijderd. In totaal is dit echter niet meer dan 1 tot 2 ton droge stof per ha per jaar ofwel 20 tot 40 kg droge stof per ha per week. Bij de gestelde arealen van 6, 6 en 3 ha bedraagt de totale hoeveelheid droge stof uit dit cluster 62 ton per jaar. Dit is ongeveer 0.3% van de totale behoefte van een biomassacentrale die qua omvang is afgestemd op dit cluster.

Het feit dat het meeste van dit organische tuinbouw-afval in dit cluster in twee weken beschikbaar komt (de teeltwisselingsweek van de tomatenteelt in september en de teeltwisselingsweek van de paprika in november) is voor de biomassacentrale geen probleem. De 30 ton droge stof die bijvoorbeeld in de teeltwisselingsweek uit de tomatenkas komt vormt slechts zo'n 7.5% van de hoeveelheid biomassa die in een week in de centrale wordt verbrand. De variatie in biochar kwaliteit door het af en toe bijmengen van biomassa uit de tuinbouw zal dus uiterst gering zijn.

2.3 Leverings-infrastructuur

De biomassacentrale heeft een vrijwel constante levering van warmte, stroom en CO_2, maar de afname van de tuinbouwbedrijven is variabel door het seizoen en over de dag. Warmte kan in de vorm van opgewarmd water goed gebufferd worden. Hiervoor heeft de warmte-infrastructuur in totaal 2000 m³ opslagcapaciteit. In verband met risicospreiding en de beperking van leidingdiameters is deze opslagcapaciteit in drie verschillende buffers ondergebracht, naar rato van het bedrijfsoppervlak van de deelnemende bedrijven. Ondanks het grote thermische vermogen zullen er dagen zijn waarop er additionele verwarming nodig zal zijn. Daartoe heeft de biomassa-centrale een gasverwarmingsketel met een capaciteit van 4 MW die op koude dagen extra warmte kan produceren en tevens een backup-functie levert.

Elektriciteit kan niet kosteneffectief worden gebufferd. Op momenten dat de centrale stroom produceert die niet direct op de tuinbouwbedrijven kan worden benut wordt de stroom aan het openbare net geleverd. Vaak zal de elektriciteitsvraag aanzienlijk groter zijn dan de 1.4 MW die de centrale kan leveren. Op momenten dat de belichting op het tomatenbedrijf en het chrysantenbedrijf gelijktijdig aan staat is er zo'n 7.8 MW aan vermogen nodig. In dat geval moet er dus 6.4 MW uit het openbare net toegevoegd aan het lokale elektriciteitsnet in het cluster.

Uitgaande van CO_2 afvang en reiniging produceert de biomassacentrale ongeveer 1.2 ton CO_2 per uur, wat neerkomt op 80 kg/ha per uur. Omdat de piek-behoefte aan CO_2 in het cluster groter is, namelijk 2.28 ton per uur, maar geconcentreerd is over de dagperiode, terwijl de productie een continu-proces is, wordt er uitgegaan van het gebruik van een CO_2-buffer. Uitgaande van 10 nacht-uren waarop er in de zomer geen CO_2 door de kassen zal worden afgenomen zou een buffercapaciteit van 12 ton een volledige benutting van de CO_2 gedurende de zomer mogelijk maken. Zo'n grote buffer wordt echter hooguit slechts 3 maanden volledig benut en vormt de rest van het jaar een investering met een beperkt rendement. Daarom wordt hier uitgegaan van een buffercapaciteit van 6 ton en wordt het tekort aan doseercapaciteit ingevuld met zuivere CO_2. Deze zuivere CO_2-voorziening vormt direct ook een backup-systeem in geval van haperingen of onderhoud aan de CO_2-productie.

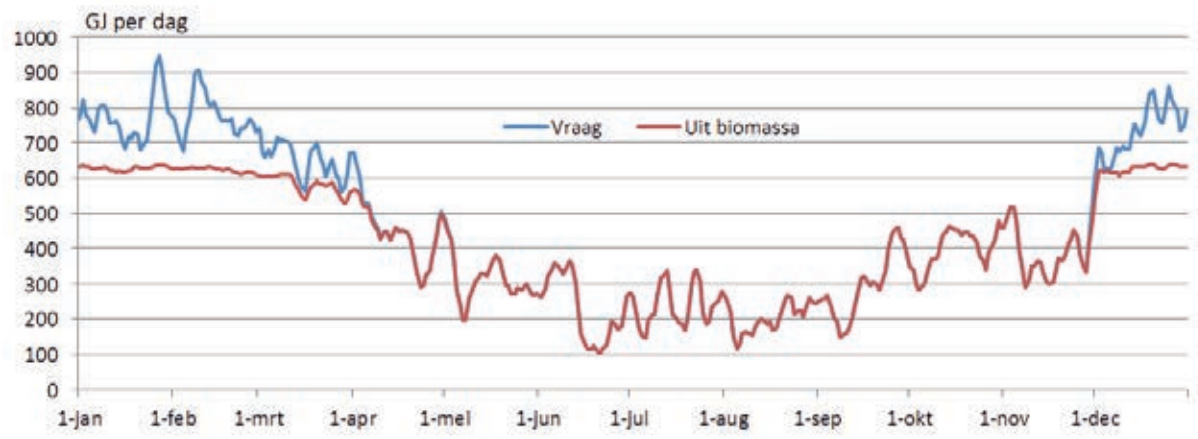
Onderstaande figuur laat het gecombineerde warmtevraag-patroon van het cluster over het jaar zien. Ook is de invulling van de warmtevraag door het cluster In de figuur getekend. Deze is iets lager dan wat een 8 MW thermisch vermogen verwacht mag worden omdat de CO_2-onttekking uit de rookgassen een geringe hoeveelheid warmte vergt. De grafiek toont de dagverbruiken en –producties. De variatie in het benodigde vermogen over het etmaal is groot, met uitschieters naar 25 MW bij het opstoken van de kas in de morgen wat op zonnige dagen in de winter een paar uur later naar 0 kan zijn afgenomen. Warmte is echter heel goed bufferbaar in de vorm van opgewarmd water, waardoor er voor de berekening van de warmte-afzet vanuit een centrale faciliteit prima met een etmaalwaarden kan worden gerekend.

Het is duidelijk dat het grootste deel van de warmteproductie van de centrale nuttig kan worden ingezet, maar dat in de zomerperiode ofwel de warmte-overschotten moeten worden vernietigd in koeltorens, ofwel de centrale in deellast zal moeten gaan draaien.

Deellastbedrijf komt de kwaliteit van de biochar-productie niet ten goede en bovendien zijn de variabele opbrengsten van CO_2, biochar en stroom (dankzij de SDE+ subsidie) hoger dan de variabele kosten van de te verbranden biomassa. Hierdoor zal de installatie dus altijd op volle capaciteit draaien, uitgezonderd in perioden van onderhoud, en zal het zomerse warmte-overschot worden vernietigd.

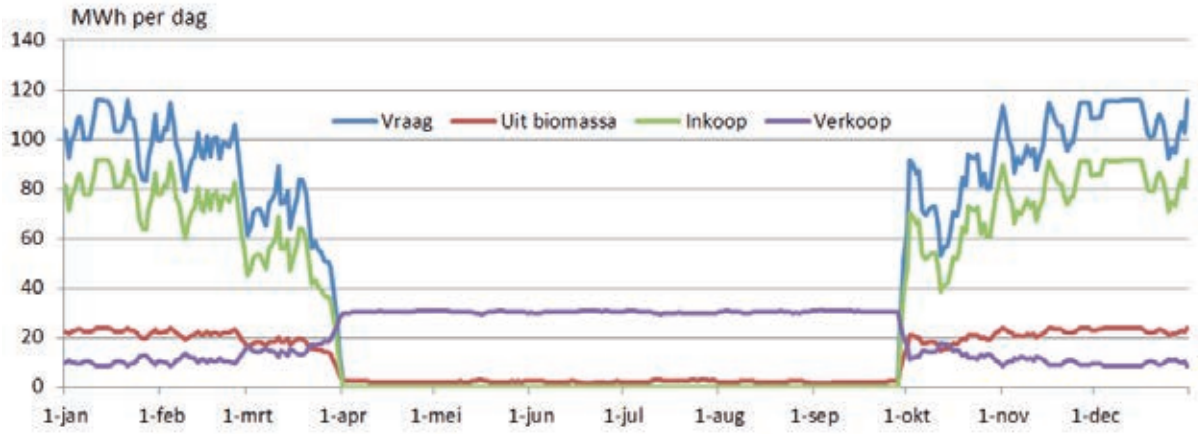
In koude periodes levert de biomassacentrale ongeveer 2/3e van de benodigde warmte. Het ontbrekende vermogen zal dan door hulpketels (olie- of gasgestookt) moeten worden geleverd.

Op jaarbasis kan er 151 TJ aan warmte uit biomassa in het genoemde cluster van 15 ha worden afgezet. Naast deze hoeveelheid warmte uit biomassa is er nog 15 TJ aan warmte uit een andere bron nodig. Het cluster wordt dus voor 151/166 = 91% met warmte uit de biomassacentrale bediend.



Figuur 6 *Dagelijks vraag naar warmte in het cluster en de invulling daarvan uit de biomassa centrale.*

Voor elektriciteit is de dekkingsgraad veel lager. Er was al aangegeven dat er op de momenten dat alle lampen in het cluster zijn ingeschakeld 6.4 MW aan elektrisch vermogen moet worden ingekocht. In de zomer wordt de meeste stroom die geproduceerd wordt verkocht aan het openbare net. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande grafiek.



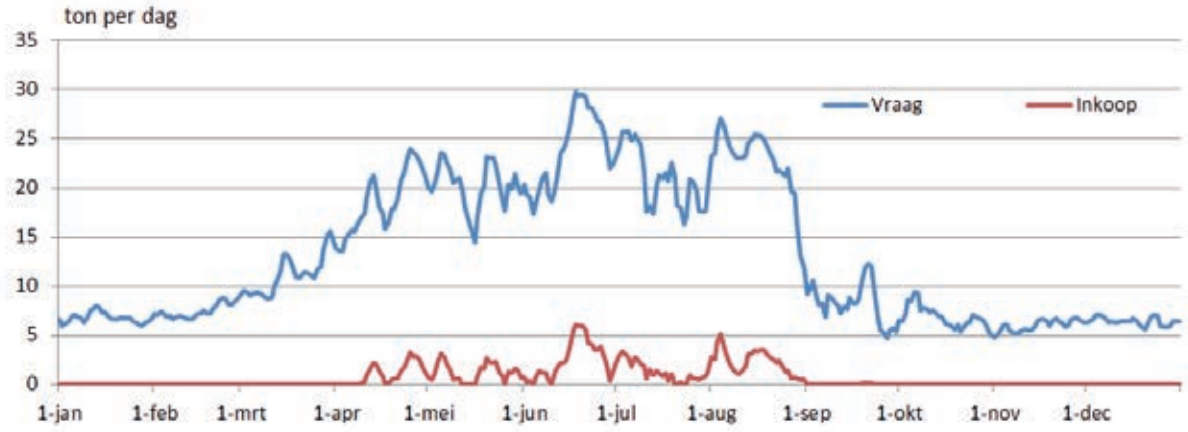
Figuur 7 *Dagelijkse vraag, productie, inkoop en verkoop van elektriciteit.*

Het profiel van de elektriciteitsvraag wordt geheel bepaald door de belichting. In de onderliggende berekeningen is aangenomen dat de tuinbouwbedrijven de belichting gebruiken van 1 oktober tot 1 april, maar in de praktijk zullen de overgangen uiteraard niet zo scherp zijn als in de grafiek wordt getoond. Sommige telers zullen zelfs in de zomer in donkerder perioden nog wel eens de belichting inschakelen.

Op jaarbasis bedraagt de elektriciteitslevering van de biomassacentrale aan het tuinbouwcluster 4190 MWh. De elektriciteitsvraag van het cluster bedraagt 17250 MWh zodat er 13080 MWh vanuit het openbare net betrokken moet worden. De dekkingsgraad voor elektriciteit bedraagt 4190 /17250 = 24%.

Behalve aan de tuinbouw levert de biomassa centrale ook stroom aan het openbare net. Met 7350 MWh is dat zelfs meer dan de levering aan het tuinbouwcluster. Dit is een regelrecht gevolg van het feit dat de buffering van elektriciteit kostentechnisch niet interessant is, de elektriciteitsproductie volcontinu plaatsvindt en de belichting lang niet altijd gebruikt wordt. De Figuur toont daarom in de hele winterperiode voor elke dag zowel inkoop als verkoop van elektriciteit.

De vraag naar CO_2 is eveneens verre van constant over het jaar en over de dag, maar CO_2 kan met de aangenomen kosten van 8000 euro per ton opslagcapaciteit (zie verderop) wél kosteneffectief worden gebufferd. Onderstaande grafiek toont de dagelijkse vraag naar CO_2, de levering van die CO_2 door de biomassacentrale en de additionele levering van zuiver CO_2 om de incidentele capaciteitstekorten op te lossen. Er is een CO2-opslag systeem verondersteld dat gedurende de nacht 6 ton CO_2 kan accumuleren om dit in de daaropvolgende dag als extra capaciteit bovenop de 1.2 ton per uur die de centrale produceert te kunnen leveren.



Figuur 8 *Dagelijkse vraag van CO_2 en de benodigde inzet van ingekochte zuivere CO_2. Het verschil tussen de blauwe en rode lijn is de CO_2-levering door de biomassacentrale (uitgaande van een buffercapaciteit van 6 ton).*

Op jaarbasis kan er 4600 ton CO_2 vanuit de biomassacentrale aan het tuinbouwcluster worden geleverd en moet er 260 ton van een externe leverancier worden betrokken. De biomassa verbranding voorziet daarmee in 95% van de CO_2-behoefte. In de winterperiode blijft het merendeel van de CO_2 die de centrale produceert echter onbenut. Ondanks de hoge dekkingsgraad van de CO_2-behoefte van de tuinbouw is de benuttingsraad van de vrijkomende CO_2 uit de centrale daarom niet meer dan 45%.

2.4 Economie

Om een inzicht te kunnen geven in de economische perspectieven van de een biomassacentrale in combinatie met een tuinbouwcluster is een rekenmodel opgesteld waarin de kosten en opbrengsten voor de centrale worden uitgerekend.

Uitgangspunt is dat de biomassacentrale een soort nutsvoorziening voor de drie omliggende tuinders vormt en dat deze tuinders niet meer dan anders betalen voor warmte, stroom en CO_2. Marktconforme prijzen dus. Hoewel de prijzen voor deze commodity's over de jaren sterk variëren en voor de individuele tuinder van allerlei contacten afhankelijk zijn kunnen er toch wel plausibele prijzen worden genoemd.

Voor warmte is 7.9 euro per GJ, de equivalent van een gasprijs van 25 cent per m³, een goed herkenbare referentieprijs (KWIN Glastuinbouw 2014-2015). De prijs van elektriciteit-inkoop voor grootverbruikers varieert sterk, zelfs over het etmaal, maar een getal van 70 euro per MWh is goed verdedigbaar (KWIN Glastuinbouw 2014-2015).

Voor hoge kwaliteit zuivere CO_2 wordt vaak een all-in prijs van 120 euro per ton genoemd en daarom is die hier gehanteerd (KWIN Glastuinbouw 2014-2015).

De geproduceerde elektriciteit wordt niet alleen aan de tuinders in het cluster verkocht, maar ook aan het openbaar net. De verkoopwaarde van elektriciteit is gemiddeld lager dan de inkoopprijs en wordt hier op 55 euro per MWh gesteld (KWIN Glastuinbouw 2014-2015).

Behalve de bovengenoemde commodity's levert de biomassacentrale ook een goede kwaliteit biochar. Er is op dit moment nog geen ontwikkelde markt voor biochar. De waarde van biochar moet dus worden geschat aan de hand van de kostprijs van perliet waarvoor het een alternatief vormt waar perliet als component van potgrond wordt gebruikt. Langs deze weg is de waarde vastgesteld op 350 euro per ton.

Tenslotte vormt de SDE+ subsidie op de voortgebrachte duurzame energie een belangrijke inkomstenbron voor de biomassacentrale. Voor de bepaling van de SDE+ bijdrage 2015 is het berekeningsschema van RVO aangehouden (RVO, 2015). Hierbij is uitgegaan van de techniek 'Thermische conversie WKK; Biomassa ≤ 10 MWe' . De absolute geldelijke bijdrage wordt berekend op basis van de jaarproductie van warmte en elektriciteit (in MWh) maal de voorlopige bijdrage SDE+ 2015 fase 3. De voorlopige SDE+ bijdrage is het basisbedrag in fase 3 minus de voorlopige correctiefactor voor 2015. De jaarproductie wordt daarbij begrensd door het product van het totaal nominaal vermogen (warmte én elektriciteit) van de 'centrale' en het maximum aantal subsidiabele vollasturen (= 4241 uur/jaar).

Onderstaande tabel toont de genoemde prijzen en de daaruit resulterende opbrengsten.

Tabel 4

Overzicht van hoeveelheden, prijzen en opbrengsten van de biomassacentrale.

Opbrengsten					
			prijs		**bedrag**
Levering uit biomassa aan tuinbouw					
Warmte levering	151	TJ	7.90	€/GJ	1190 k€
Elektralevering	4187	MWh	70	€/MWh	293 k€
CO2 levering	4.6	kton	120	€/ton	551 k€
Additioneel inkopen en doorleveren aan tuinbouw					
Warmte behoefte	15	TJ	7.90	€/GJ	116 k€
Elektra inkoop (direct doorleveren)	13067	MWh	70	€/MWh	915 k€
CO2 inkoop (direct doorleveren)	0.26	kton	120	€/ton	31 k€
Levering aan derden					
Elektralevering uit Biomassa aan openbaar net	7348	MWh	55	€/MWh	404 k€
Biochar (uitgaande van 15 % char bij droge chips)	3.42	kton	350	€/ton	1195 k€
SDE+ bijdrage (op basis van 2015 cijfers voor energie uit biomassa)					2539 k€
Totaal opbrengsten					7234 k€

Naast de opbrengsten voor de centrale staan natuurlijk de kosten. Een centrale met de beoogde capaciteit vergt een investering van bijna 19 mln euro en brengt dus forse kapitaallasten en onderhoud en afschrijvingskosten met zich mee. De investeringsbedragen voor de centrale zijn ontleend aan inschattingen van ECN-experts op dit gebied.

De grote investeringen brengen natuurlijk forse kapitaallasten met zich mee, maar ook de variabele kosten in de vorm van in te kopen houtchips zijn hoog. Dit heeft vooral te maken met het feit dat er hoge eisen aan de kwaliteit van de te verbranden biomassa moeten worden gesteld omdat anders de kwaliteit van de geproduceerde biochar niet gegarandeerd kan worden.
Onderstaande tabel geeft het overzicht van de kosten.

Tabel 5

Overzicht van componenten, prijzen en kosten van de biomassacentrale.

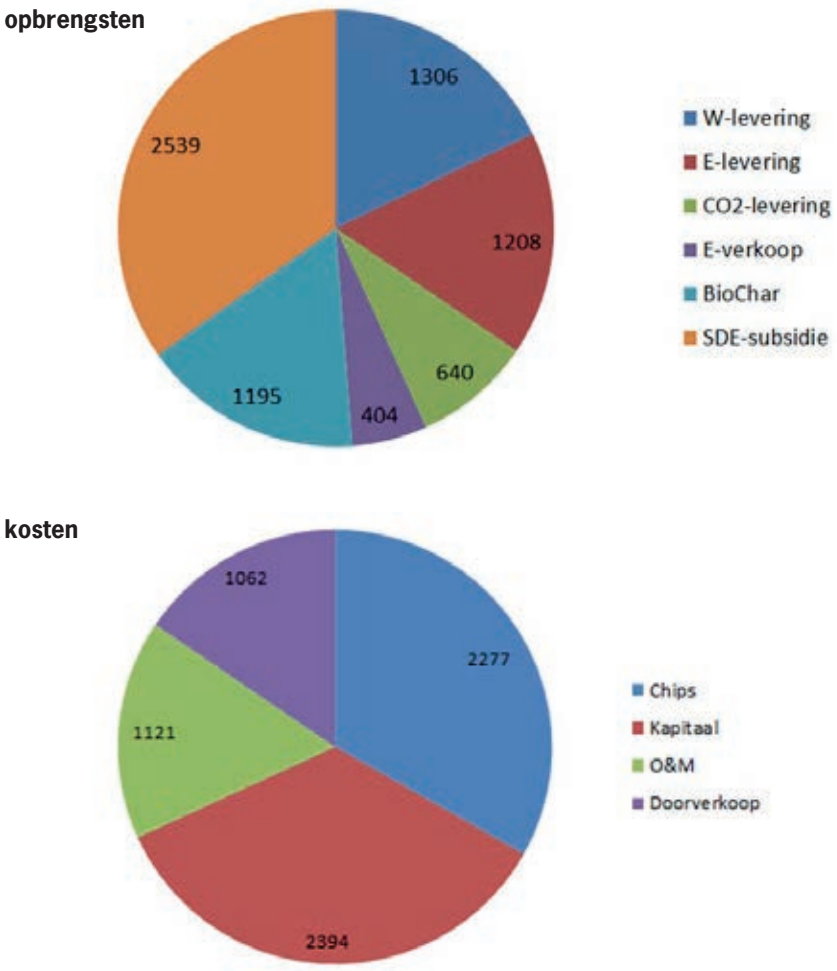
Kosten				
Houtchips (verbrandingsw.	14 GJ/ton)	23 kton	100 €/ton	2277 k€
Inkoop t.b.v. invulling capacitietstekort				
Warmte behoefte		15 TJ	7.90 €/GJ	116 k€
Elektra inkoop		13067 MWh	70 €/MWh	915 k€
CO2 inkoop		0.26 kton	120 €/ton	31 k€
Investeringen				
BFB vergasser +ketel +stoomturbine		2200 € per kW thermisch met biochar		*17600 k€*
Verwarmingsketel (4 MW)		20 € per kW thermisch		*80 k€*
Extra investering voor CO2		800 € per kg/hr doseer cap		*960 k€*
Extra investering CO2 opslag		8000 € per ton opslag cap		*48 k€*
→ Kapitaalslasten op basis van annuiteit		13% van de investering		2394 k€
O&M kosten		6 % van de investering		1121 k€
Totaal kosten				6854 k€

Het saldo van de kosten en opbrengsten komt op een positief resultaat van 380 k€/jaar, ofwel 2% van de investering.

Dit rendement wordt behaald met een jaarlijkse SDE+ bijdrage van 2.54 mln. euro.

De onderstaande grafieken geven een helder beeld van de aandelen van de verschillende kosten en opbrengsten posten op het totaal. Hieruit blijkt dat aan de opbrengstenkant de rendabiliteit vooral afhangt van de SDE+ subsidie en van de marktwaarde van de energielevering aan het cluster. De verkoop van biochar vormt ook een substantiële inkomstenbron.

Aan de kostenkant komt de grote impact van de kosten voor de houtchips direct op, maar uiteraard is de investering een heel grote post.



Figuur 9 *Aandeel van de verschillende kosten- en opbrengstcomponenten van de biomassacentrale.*

2.4.1 Gevoeligheidsanalyse

Gegeven de aandelen van de verschillende componenten in het bedrijfsresultaat kan verwacht worden dat het financieel rendement van de biochar verbrandingsinstallatie vooral afhangt van de SDE+ subsidie, de investeringen en de prijs voor houtchips. Zonder SDE+ subsidie is een dergelijke installatie verre van kostendekkend.
De andere componenten kunnen door veranderende marktomstandigheden stijgen of dalen. Onderstaande tabel geeft de verandering van het resultaat per procent verandering van één van de invloedsfactoren die in het economisch model zijn opgenomen.

Tabel 6
Veranderingen in het bedrijfsresultaat per procent verandering in de prijs van de belangrijkste invloedsfactoren.

Invloedsfactor	Effect op bedrijfsresultaat [k€/jaar per procent]
Investering BFB vergasser+ketel+stoomturbine	-33.3
Houtchips	-22.8
Biochar	12
Elektriciteitsprijs omhoog	7
CO_2	5.5
Warmteprijs omhoog	1.6

Zo geeft de tabel aan dat wanneer de investeringen in de installatie met 1% stijgen, het resultaat afneemt met 33 k€ per jaar en, omgekeerd, bij 1% lagere investeringskosten het bedrijfsresultaat met 33 k€ per jaar toeneemt. Het effect van de kostprijs voor houtchips ligt wat lager qua orde van grootte (bijna 23 k€ per jaar). De verkoop van biochar is een belangrijke component in de bedrijfsvoering van de biomassacentrale. Een verandering van de waarde heeft dan ook een flinke invloed op het bedrijfsresultaat. Een prijsverhoging van 1% doet het bedrijfsresultaat met 12 k€ toenemen.

De marktwaarde van stroom en CO_2 doet per procent verandering het bedrijfsresultaat met zo'n 6 k€ per jaar veranderen.

Warmte representeert de laagste waarde. Het bedrijfsresultaat wordt dus weinig beïnvloed door een stijging of daling van de warmteprijs.

Bij de berekening van het effect van veranderingen van de warmte- en stroomprijs is rekening gehouden met het effect van deze energiedragers op de SDE+ subsidie. Een hogere waarde van energie leidt tot een lagere SDE+ subsidie en een verlaging van energieprijzen leidt tot een toename van de SDE+ subsidie.

3 Conclusies

Dit rapport is het resultaat van een project waarin Wageningen UR Glastuinbouw. LEI Wageningen UR en Energieonderzoek Centrum Nederland vanuit hun disciplines hebben onderzocht welke betekenis biomassacentrales kunnen hebben voor de verduurzaming van de Nederlandse glastuinbouw.
Uit deze gezamenlijke aanpak volgen de volgende conclusies:

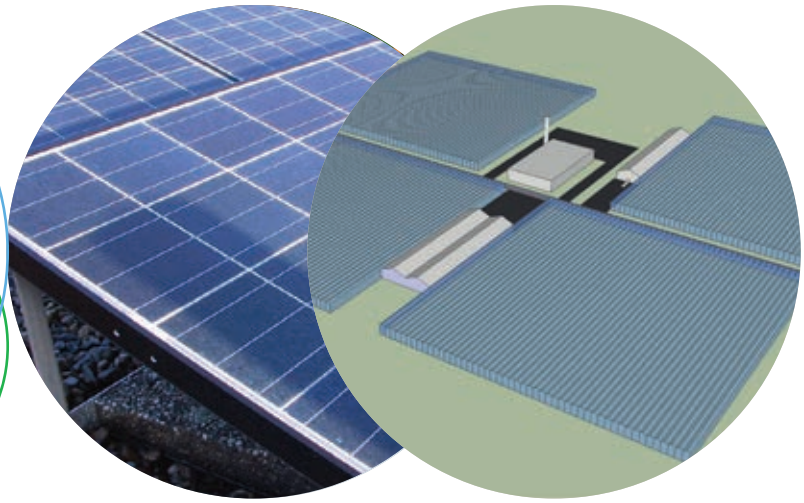
- Van Nederlandse bodem kan er jaarlijks zo'n 1500 kton droge stof van hoge kwaliteit (dat wil zeggen: constant en van bekende oorsprong) uit biomassa worden verbrand.
  Wanneer deze brandstof via goed gecontroleerde vergassing wordt verbrand kan energie worden opgewekt en een hoogwaardige biochar worden geproduceerd. Restmateriaal uit de tuinbouw vormt slechts een heel klein deel van deze biomassastroom; 3 tot 4%.
  Naast deze 1500 kton is er ongeveer dezelfde hoeveelheid aan houtachtig materiaal uit GFT-hout, bouwhout en andere biogene reststromen. Deze biomassa is minder uniform en slechter traceerbaar en levert daarom een lagere kwaliteit biochar.
- Goed gecontroleerde verbranding van een goede kwaliteit biomassa in een vergassingsinstallatie op een temperatuur van 670 °C levert een waardevol biochar product op. Deze biochar is qua eigenschappen vergelijkbaar met perliet, een veel gebruikt additief in veen-mengsels voor substraten in de hoogwaardige sierteelt.
- Een biomassacentrale op behoorlijke praktijkschaal (8 MW thermisch, 1.4 MW elektrisch, 1.2 ton CO_2 per uur en 3.4 kton biochar per jaar) past goed bij een 15 ha glastuinbouwcluster. De centrale dekt dan vrijwel de gehele warmtevraag (91%).
  Indien er belichtende tuinbouwbedrijven deel uit maken van zo'n cluster zal er wel een grote hoeveelheid elektriciteit van elders moeten worden betrokken aangezien het benodigde elektrisch vermogen al gauw de productiecapaciteit van de biomassacentrale zal overtreffen. De centrale zal sowieso voor elektra netgekoppeld moeten zijn omdat de stroomproductie een constante hoeveelheid is en de vraag vanuit het tuinbouwcluster veel groter dan de productie zal zijn wanneer de belichting ingeschakeld wordt (ongeveer 2500 uur per jaar), maar de rest van de tijd veel lager zal zijn dan de productie.
  Ook CO_2 zal gedeeltelijk vanuit extern geleverde bron worden betrokken, tenzij de investeringen voor korte termijn opslag van rookgas CO_2 (etmaalbuffering) beduidend onder de 8000 euro per ton opslagcapaciteit zakken.
- Indien de biomassacentrale de warmte, stroom en CO_2 tegen praktijk-conforme prijzen aan het tuinbouwcluster kan verkopen, de biochar tegen een goede prijs kan worden verkocht (350 € per ton) en gebruik gemaakt kan worden van de SDE+ regeling met een vergelijkbare vergoeding als in 2015, levert de een biomassacentrale een bedrijfsresultaat van 380 k€ per jaar. Dat is een rendement van 2% op het geïnvesteerd kapitaal bij een jaarlijkse SDE+ bijdrage van 2.54 mln. euro.
  Uiteraard wordt het rendement beter wanneer de investeringskosten kleiner zouden worden, maar het rendement is ook sterk afhankelijk van de prijs van de biomassa die moet worden ingekocht. De biomassa reststromen vanuit het tuinbouwcluster zijn namelijk verwaarloosbaar klein ten opzichte van de 23 kton aan biomassa die de centrale jaarlijks nodig heeft. Het cluster levert slecht 60 ton droge stof, nog geen 0.3% van de behoefte.
- De waarde van de biochar ook een grote invloed op het bedrijfsresultaat. Biochar is daarmee niet zomaar een bijproduct van de centrale. Een procent verandering van de prijs van de biochar doet het bedrijfsresultaat met bijna 12 k€ per jaar veranderen.
- Het bedrijfsresultaat wordt slechts weinig beïnvloed door veranderingen van de energieprijzen. Dit komt door de dempende werking van de SDE+ subsidie.
- Al met al kan gesteld worden dat de combinatie van een biomassacentrale met tuinbouwbedrijven die de warmte en CO_2 kunnen benutten, en ook een deel van de elektriciteit, een begaanbare weg is. Het kan echter eenvoudig worden gezien dat het gebruik van biomassa van Nederlandse bodem slechts een kleine bijdrage in de verduurzaming kan betekenen. Als een centrale die 23 kton per jaar verbruikt passend is voor een cluster van 15 ha zou, gegeven het aanbod van 3000 kton, waarvan de helft van minder duidelijke kwaliteit, maximaal 2000 ha kunnen bedienen. Dit is ongeveer 20% van het huidige tuinbouwareaal. Daar komt nog bij dat in zo'n cluster met een biomassacentrale vooral de warmte uit deze duurzame bron wordt gedekt, maar dat er netto 5700 MWh (33% van het elektriciteitsverbruik) van elders moet worden betrokken.

4 Literatuur

Bondt N., B. Janssens en A. de Smet.
Afval uit de landbouw. LEI Nota 10-061 (2010).
ECN. SDE+ 2015.
subsidieaanvraag CHARCO2
Korthout, H. en H. Gudde.
Reststromen tuinbouw in kaart. Kenniscentrum plantenstoffen; www.plantenstoffen.nl, 15 januari 2013.
Kroon, P.
Toelichting SDE+ berekening $CHARCO_2$. Interne notitie, ECN, 273-2015
Ruijs, M.N.A. en G.D. Jukema, 2013.
Kosten van afvalverwerking voor glasgroentebedrijven. LEI VR13-003, LEI, Den Haag.
RVO. SDE+ 2015.
Zo vraagt u subsidie aan voor de productie van duurzame energie. Internet brochure, RVO, 2015.
Velden, N.J.A. van der en P.X. Smit, (2013).
Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2012. LEI, onderdeel van Wageningen UR, (LEI-rapport 2013-061) - 68 p.
Vermeulen, P. (ed), 2014.
kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw; Kengetallen voor Groenten – Snijbloemen – Pot- en plantenteelten. Rapport GTB-5067, Editie 23, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
Blok, C., I. Regelink, J. Hofland-Zijlstra, M. Streminska, B. Eveleens and P. Bolhuis, 2016.
Perspectives for the use of biochar in horticulture, Wageningen UR (University & Research centre) Glastuinbouw, Report GTB-1388.

Geraadpleegde personen
C. van der Meijden (ECN)

To explore the potential of nature to improve the quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wageningenur.nl/glastuinbouw

Glastuinbouw Rapport GTB-1393

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en stimuleert de ontwikkeling van innovaties gericht op een duurzame glastuinbouw en de kwaliteit van leven. Dat doen wij door toepassingsgericht onderzoek, samen met partners uit de glastuinbouw, toeleverende industrie, veredeling, wetenschap en de overheid.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.