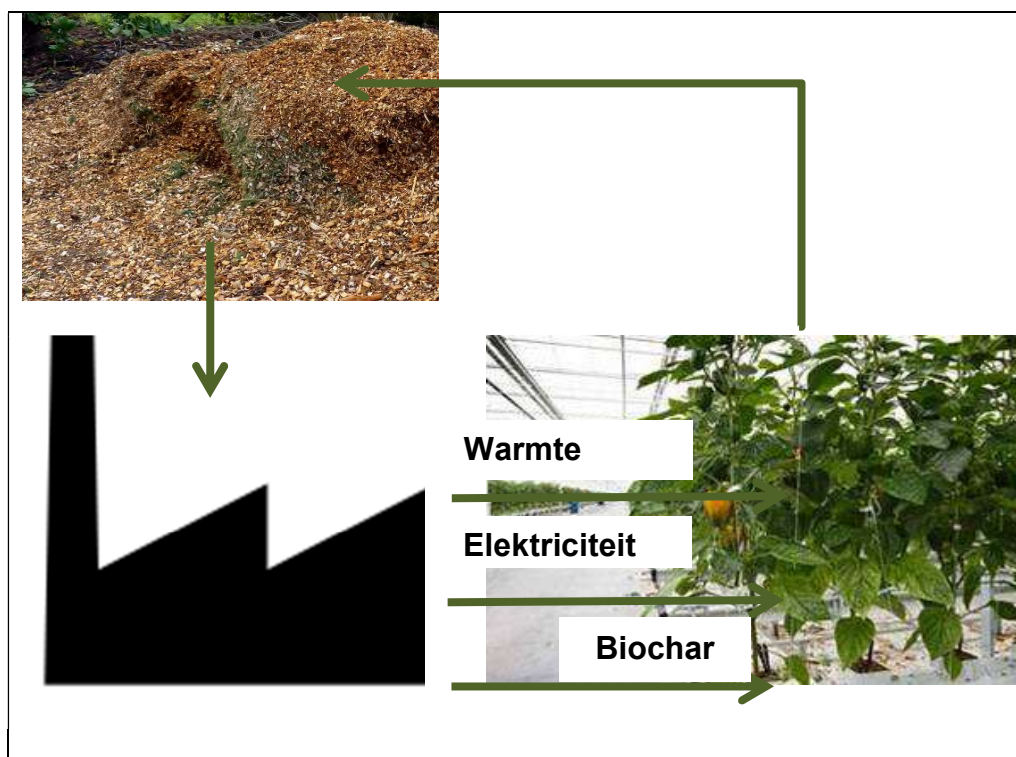


ENERCHAR: Elektriciteit, warmte en biochar uit hout en agro-residuen



Openbaar eindrapport aan RVO.

In dit openbare eindrapport worden de activiteiten en resultaten beschreven van het project. Hieronder staan de gevraagde gegevens van het project. Het rapport bevat de inhoudelijke eindrapportage en de gevraagde gegevens rond de uitvoering van het project staan in Appendix 1.

Gegevens project

- ☐ Projectnummer : TEHE116108
- ☐ Projecttitel : Enerchar: Elektriciteit, warmte en Biochar uit hout en agro-residuen
- ☐ Penvoerder en medeaanvragers: ECN>TNO (penvoerder), WUR, Dahlman Renewable technology (DRT), Klasmann-Deilmann Benelux BV.
- ☐ Projectperiode

Inhoudelijk eindrapport

Auteurs	Rian Visser (ECN>TNO)r, Chris Blok (WUR) en Robin Zwart (DRT)
Aantal pagina's	303
Opdrachtgever	Topsector Energie via RVO
Projectnaam	Enerchar
Projectnummer	TEHE116108

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

1 Inleiding

Ten aanzien van de duurzame energiedoelstellingen staan er stevige doelen op het programma zowel voor Europa, Nederland als ook de verschillende sectoren binnen Nederland die zich naar de overheid toe hebben gecommitteerd. De Rijksoverheid wil het percentage duurzame energie laten groeien: van ongeveer 5% nu, tot 14% in 2020 en 16% in 2023. In 2050 moet de energievoorziening helemaal duurzaam zijn. Op dit moment komt naast wind, duurzame energie in Nederland vooral uit biomassa en dat is met name uit organische restfracties in afval (AVI's) en uit hout.

In het bijzonder de houtprijzen zijn de afgelopen jaren flink gestegen en in plaats van de zeer benodigde versnelling in duurzame energieproductie zet het een flinke rem op het gebruik van biomassa. Vooral de 100% biomassa-installaties, stand-alone installaties op basis van hout zijn economisch niet haalbaar zonder een flinke subsidie en het economisch perspectief is er de afgelopen jaren niet beter op geworden wat niet uitnodigt tot meer investeringen in bio-energie. Goedkopere bio-brandstoffen zijn dringend gewenst.

Er is een potentie aan goedkopere biobrandstoffen in de vorm van agro-residuen, ware het niet dat vrijwel zonder uitzondering bio-residuen gepaard gaan met as-gerelateerde problemen in conventionele installaties (verslakking/agglomeratie /fouling en corrosie) die de operationele beschikbaarheid, de efficiency en daarmee de rentabiliteit enorm ondermijnen. Er zijn slechts enkele opties die dit probleem kunnen vermijden.

- 1) Weg-mengen met hoogwaardige houtstromen. Maar dit maakt slechts geringe percentages agro-residu gebruik mogelijk en daarmee geen significante kostenreductie. Mengen van verschillende agro-stromen vraagt om een significante logistieke inspanning die ook kosten met zich meebrengt en waarvan het twijfelachtig is of dit voor een relatief kleine installatie lonend is.
- 2) De problematische elementen vooraf uitwassen of op andere wijze verwijderen door voorbewerkingen. Dit is een optie die o.a. wordt gebruikt in de ECN Torwash technologie. De kosten voor de voorbewerking moeten dan lager blijven dan het prijsverschil tussen agro-residu en hoogwaardige houtstromen om kosteneffectief te kunnen zijn.
- 3) De temperaturen waarbij de problemen optreden met assen in agro-residuen worden vermeden. Lage procestemperaturen worden vaak geassocieerd met lagere energie-efficiency en daarmee lagere rentabiliteit of met een overschot aan warmte of koolstof in het proces. Zowel de stabiliteit van het proces als ook de kosten van de bio-energie vraagt voor aandacht om tot iets goeds en werkbaars te komen. Dit vraagt om innovatie!

Keuze 3) is de fundamentele technologische keuze voor EnerChar. In de eerste stap, van dit tweetrapsproces, worden bij relatief lage temperaturen onder reducerende condities de problematische as-componenten in de vaste stof gehouden en om tot een stabiel proces te komen wordt een koolstofrijk product onttrokken in de vorm van waardevolle biochar. Het gas (met weinig problematische elementen) kan dan op de conventionele manier naar energie worden omgezet bij hogere temperaturen en voldoende lucht voor volledige omzetting. De verdeling, op basis van lab-schaal ervaring, wordt geschat op 85% (C-basis) naar energie en 15% (C-basis) naar biochar, waarbij de biochar-oogst een significante bijdrage levert in zowel de stabiliteit van het proces als ook in een zeer interessante positieve kasstroom t.a.v de rentabiliteit van de installatie.

Dit twee-traps-verbrandingsproces in een wervelbed geeft dus een co-productie van energie en biochar waarbij de biochar wordt geoogst uit het bed. De technologiekeuze is gebaseerd op de mogelijkheid in 1 proces bio-energie en biochar met een zeer hoge porositeit en extreem lage teerconcentraties kunnen maken, in contrast met biochars verkregen d.m.v. pyrolyse. Het feit dat de biochar teervrij is maakt dat het een toepassing in de landbouw/tuinbouw kan krijgen.

Ook de tuinbouwsector, een zeer energie-intensieve sector, heeft de ambitie om in 2050 een volledig duurzame en economisch rendabele energievoorziening te hebben. De versnelling in deze sector zit na de successen in energiebesparing vooral in het gebruik van aardwarmte en het inzetten op energie uit biomassa(reststromen). De afgelopen jaren, echter, er zijn meer energie-installaties op hout stilgezet dan er zijn bijgebouwd. De combinatie van gestegen houtprijzen en de economische crisis zijn hier debet aan. Een combinatie van innemen agro-residuen en het leveren van energie (warmte en elektriciteit) plus biochar voor de substraten in de glastuinbouw lijken daarom zowel een heel duurzame optie waarbij ketendenken centraal staat, een optie die aansluit bij de ambities van de sector en een zeer kosteneffectieve optie bovendien. De ideale schaalgrootte, op basis van de vraag in de grotere kassencomplexen, voor een energie-installatie is 5-30 MW_{th} en het herhalingspotentieel is zeer groot.

2 Doelstelling

Voor een groter percentage Bio-energie in de duurzame energietoepassing tegen een afbouwende subsidiepercentage zal de rentabiliteit van de individuele installaties flink moeten stijgen. De vraag is hoe?

De oplossing wordt gezocht in een proces met goedkopere brandstoffen bij lagere bedrijfstemperatuur om as-gerelateerde problemen te vermijden. Hierbij worden onder reducerende condities de as-elementen zoveel mogelijk in de vaste stof gehouden maar dit genereert een nieuw probleem. Een "overschot" koolstof moet worden afgevoerd om de warmte-balans van de installatie te kunnen managen. Door zorgvuldig aandacht te besteden aan de kwaliteit van dit biochar-koolstof product wordt een additionele inkomstenbron gegenereerd. Teerproblemen worden voorkomen door in het freeboard het gas volledig te verbranden waardoor op volledige conventionele wijze het energie-gedeelte kan worden ingericht

Het project is gericht op kostenreductie van de productie van Elektriciteit en Warmte uit biomassa door:

- i) de inzet van laagwaardige agro-residuen in de brandstofmix en
- ii) het creëren van extra toegevoegde waarde door de co-productie van biochar en als veen-en lichtgewichtcomponentvervanger in potgrond (substraat) voor de glastuinbouw.

Om tot deze kostenreductie en optimale procescondities te komen is een innovatief onderdeel in de bodem van de installatie nodig om biochar te kunnen oogsten in een continu proces. Dit oogststelsel is op lab-schaal al bewezen en hiermee zijn 50 liter biochar geproduceerd voor een eerste verkennende potproef in de kassen van de WUR (chrysantentest). Na verdere modellering zal dit oogststelsel moeten worden opgeschaald naar de pilot-installatie en na techno-economische evaluatie waarschijnlijk in een eerste ontwerp naar commerciële schaal.

Naast de kostprijsverlaging voor bio-energie door inzet van laagwaardiger biomassa-reststromen en vooral hogere revenuen, en het daardoor stimuleren van meer inzet van bio-energie, worden ook een aantal milieudoelstellingen nagestreefd. Uit iedere ton biomassa worden nu meer producten gemaakt via een cascaderings-benadering. Ook het gedeeltelijk vervangen van veen/kalk perliet appelleert aan een directe milieudoelstelling door minder gebruik van natuurlijk bronnen (resource-efficiency) waarbij het vervangen van perliet (branden van vulkanisch glas tot poreus materiaal) ook nog een extra energieverbruik en fossiele CO₂ emissies vermijdt. Bovendien is het geheel in lijn met de EU-doelstellingen om meer kringlopen te sluiten en natuurlijk hulpbronnen te sparen. E.e.a. zal worden uitgewerkt in een LCA.

3 Werkwijze

Een pilot-schaal ontwikkeling en validatie van een twee-traps-verbrandingsproces voor de productie van bio-energie en biochar is uitgevoerd. De eerste thermische stap is onder reducerende omstandigheden bij lage temperatuur om as-gerelateerde problemen te voorkomen waardoor (goedkope) agro-residuen gebruikt kunnen worden als feedstock.

De tweede stap is een verbranding van het gas in dezelfde reactor voor energieproductie. De char wordt geoogst uit de eerste stap. Het innovatieve stuk is deze char-oogst, de tweetrapsreactor is bewezen.

De technologie is een bubbling wervelbed waarin het zand bij lage gassnelheden wordt gebubbled, bij een ondermaat lucht, waardoor een drijfslaag ontstaat van zeer poreuze char dat middels een oogststelsel naar onder wordt afgevoerd. Het gas (met teren) wordt met extra lucht in het freeboard verbrand, gekoeld bij een warmtewisselaar en met conventionele stoomcyclus naar energie omgezet. Dit stelsel heeft zich op lab-schaal bewezen.

De geproduceerde biochar wordt ingezet als veen- en lichtgewichtcomponent-ervanger in potgrond in teeltproeven in de 1 hectare proefkas van WUR in Bleiswijk. Goede resultaten zijn nodig voor de marktintroductie van de biochar in de glastuinbouw. De eerste verkenning van biochar in substraat in TO2-kasproeven in 2015 waren positief.

Op basis van de experimentele resultaten wordt een LCA en een gedetailleerde techno-economische evaluatie uitgevoerd en worden indien succesvol zal het ontwerp en de procescondities voor een 10 MWth volschaal installatie opgesteld.

4 Resultaten

4.1 Verbouwing van de pilot-vergasser

Parallel aan het Enerchar programma werd een verbouwing van de vergassingspilot uitgevoerd na goedkeuring van een ECN investeringsaanvraag. De reactor werd verbouwd zodat deze als getrapte verbrandingsinstallatie gebruikt kon worden voor de co-productie van bio-energie en biochar. D.w.z. onderin vergassing en biochar-oogst en bovenin verbranding en het terugkoelen van het gas voor energie-toepassing.



Plaatsen van de nieuwe koeler boven in de reactor

Figuur 1a. Plaatsen van de koeler



Verbouwen van de onderkant van de reactor en het maken en plaatsen van opvangbakken voor Biochar.

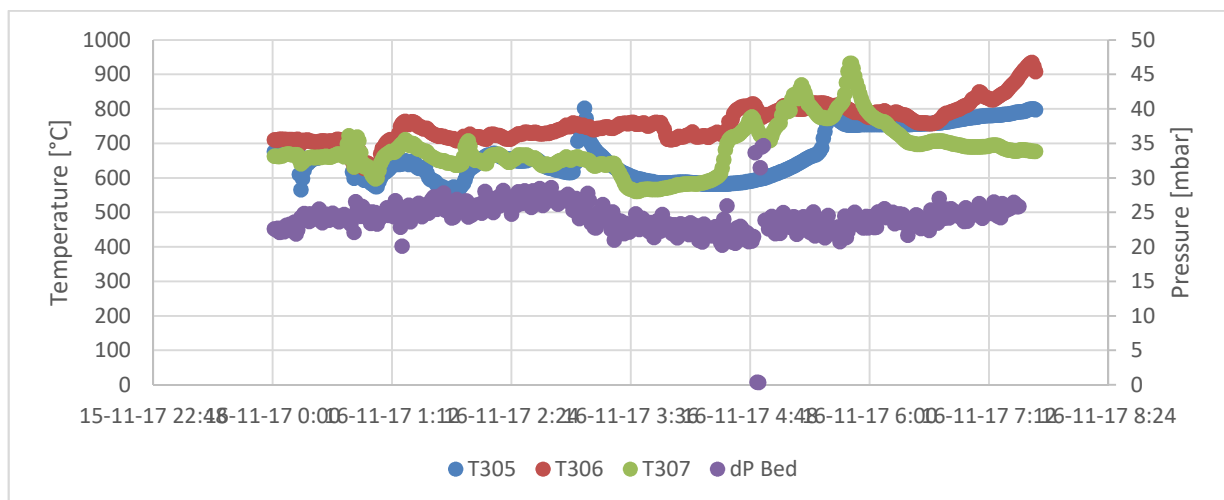
Figuur 1b. Opvangbak voor biochar onder de installatie.

4.2 Co-Productie van Biochar en Bio-energie

In 2017 zijn vooral cold-flow testen gedaan in zowel kleine installaties (WOB en lab-schaal Milena) en een eerste verkennende pilotweek in November. Begin 2018 zijn ook fluidisatietesten in de grote installatie (pilot) gedaan bij kamertemperatuur en testen bij 200 C.

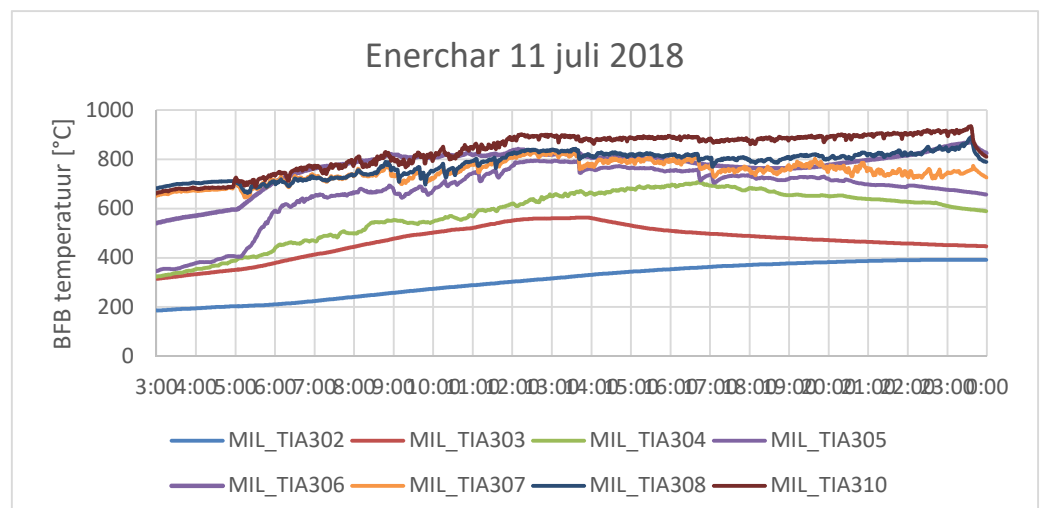
In 2018 en 2109 zijn bedrijfsperiodes van meerdere weken per jaar geweest waarbij met wisselend succes toch vaten biochar werden gemaakt. De productie van Biochar varieerde echter maar tussen de 2,5-4%.

Zie bijvoorbeeld de massabalansen van 30 januari t/m 6 Februari. De installatie heeft ongeveer een week nodig om op te warmen en werd daarna tijdens een werkweek vanaf zondag-avond meestal in ploegendienst continu bedreven. De installatie had meer dan anderhalve week nodig om af te koelen voor inspectie.



Figuur 2. Eerste resultaten van de testweek in November 2017 van de temperatuur en drukval in het bed (paars) tegen de tijd.

Tijdens de testseries in 2018 wordt de temperatuurverdeling langzaam beter. D.w.z. bij bedrijf kan de temperatuur onderin lager worden gehouden dan in het freeboard.



Figuur 3. Temperatuur TIA304 (groen) is in het bed (302 en 303 eronder) en werd geregeld om op 670-700 C te komen. De oplopende nummers van de thermocouples gaan rondom in de reactor omhoog. TIA310 (bovenste, bruine grafiek) is boven het bed waar al gas wordt verbrand.

In de eerste series werd globaal 35-40 kg/uur aan biomassa gevoed. Hierbij werd relatief weinig biochar geoogst, n.l 1,5-4% van de ingaande koolstof-hoeveelheid. Omdat de relatief hoge debieten ook tot veel gas-productie leiden en dit ook een wilder fluidisatieregime geeft waarbij het moeilijker is om de biochar te laten drijven op het bed werden in 2019 ook nog testen gedaan met een veel lager debiet. Zie als voorbeeld Tabel 1 van de massabalansen in een test in januari/februari 2019. Hierbij werden de debieten met een factor 10 verlaagd. Helaas gaf dit geen significante verhoging van het gehalte aan biochar. Ook zijn er in een eerder stadium al testen gedaan met verschillende soorten deeltjesgrootte van de brandstof en van het bedmateriaal. Na de cold-flow testen met deze opzet werden ook warme testen gedaan in de pilot, zie Tabel 2. Ondanks dat hiermee wel een enorme verbetering van fluidisatieregime werd bereikt ging de opbrengst aan biochar toch niet significant omhoog.

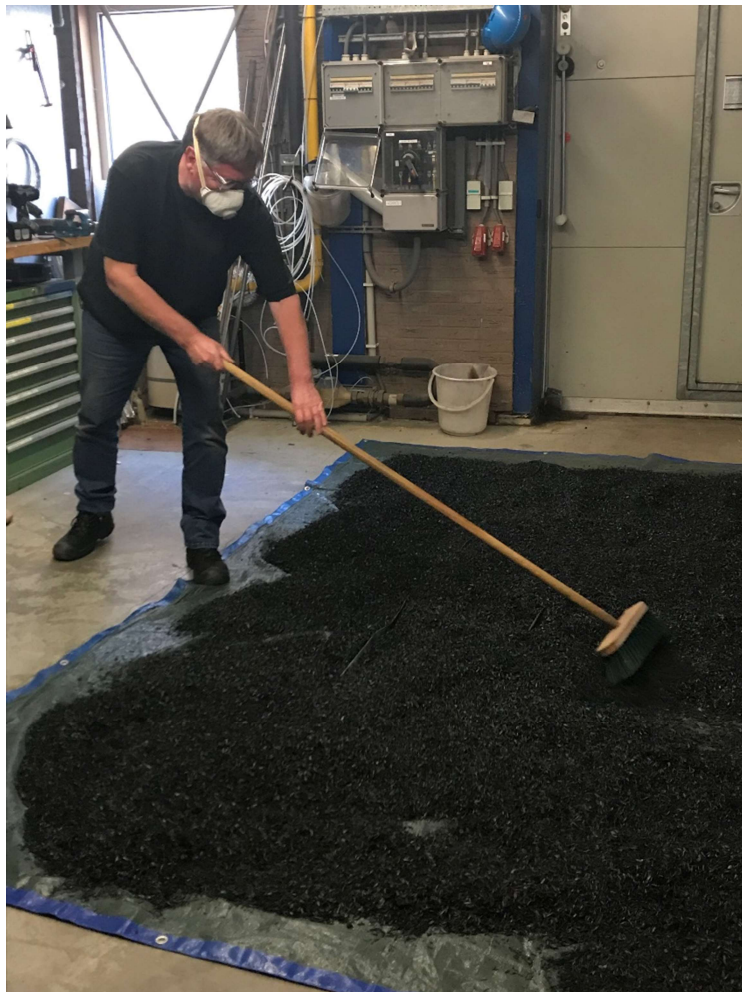
Ondanks dat de procentuele opbrengst van Biochar tegenviel zijn toch flinke hoeveelheden geproduceerd, die na analyses ook van een uitstekende kwaliteit bleken te zijn. Hoeveelheden tot 100 liter per testperiode aan wilg- en dennenmix-biochar zijn ingebracht voor pottesten.

Brandstof dennenmix					
start	stop	voedingstijd	kg		kg/h bijvul periode
			12	start gewicht	
30-1-2019 06:47	30-1-2019 08:47	2,00	6,6	bijvullen	3,3
30-1-2019 08:51	30-1-2019 10:43	1,87	5,32	bijvullen	2,85
30-1-2019 10:47	30-1-2019 11:37	0,83	10,875	einde test leeghalen	
	totale voedingstijd	4,70	13,05	kg totaal gevoed	2,78
start	stop	voedingstijd	kg		kg/h bijvul periode
			12	start gewicht	
31-1-2019 06:51	31-1-2019 08:51	2,00	5,13	bijvullen	2,56
31-1-2019 08:54	31-1-2019 10:54	2,00	6	bijvullen	3
31-1-2019 10:58	31-1-2019 12:47	1,82	6,1	bijvullen	3,36
31-1-2019 12:51	31-1-2019 14:24	1,55			
			6,2	einde test leeghalen	
	totale voedingstijd	7,37	23,03	kg totaal gevoed	3,13
start	stop	voedingstijd	kg		kg/h bijvul periode
			12	start gewicht	
1-2-2019 06:47	1-2-2019 08:13	1,43	6,45	bijvullen	4,50
1-2-2019 08:17	1-2-2019 10:11	1,90	6,42	bijvullen	3,38
1-2-2019 10:15	1-2-2019 12:09	1,90	5,75	bijvullen	3,03
1-2-2019 12:12	1-2-2019 14:12	2,00	6,55	bijvullen	3,27
1-2-2019 14:15	1-2-2019 16:00	1,75			0,00
			5,6	einde test leeghalen	
	totale voedingstijd	8,98	31,57	kg totaal gevoed	3,51
start	stop	voedingstijd	kg		kg/h bijvul periode
			11,93	start gewicht	
4-2-2019 07:25	4-2-2019 09:14	1,82	7,22	bijvullen	3,97
4-2-2019 09:18	4-2-2019 11:01	1,72	6,64	bijvullen	3,87
4-2-2019 11:06	4-2-2019 12:46	1,67	6,26	bijvullen	3,76
4-2-2019 12:50	4-2-2019 14:35	1,75	5,84	bijvullen	3,34
4-2-2019 14:41	4-2-2019 16:35	1,90	4,977	niet helemaal volgevu	2,62
4-2-2019 16:40	4-2-2019 17:30	0,83		Stop voeden	
			9,744	einde test leeghalen	
	totale voedingstijd	9,68	33,12	kg totaal gevoed	3,42
start	stop	voedingstijd	kg		kg/h bijvul periode
			11	start gewicht	
5-2-2019 08:16	5-2-2019 10:01	1,75	5	bijvullen	2,86
5-2-2019 10:01	5-2-2019 10:27	0,43			0,00
5-2-2019 12:40	5-2-2019 14:10	1,50	5,767	bijvullen	2,98
5-2-2019 14:15	5-2-2019 16:31	2,27	7	bijvullen	3,09
6-2-2019 07:35	6-2-2019 08:50	1,25	6,09		4,87
6-2-2019 08:55	6-2-2019 10:34	1,65	6,22		3,77
6-2-2019 10:38	6-2-2019 12:22	1,73	6,25		3,61
6-2-2019 12:26	6-2-2019 14:11	1,75	6,04		3,45
6-2-2019 14:16	6-2-2019 16:24	2,13			0,00
		0,00			#DIV/0!
		0,00		Stop voeden	#DIV/0!
			4,218	einde test leeghalen	
	totale voedingstijd	14,47	49,15	kg totaal gevoed	3,40

Tabel 1. Massa-balansen van de periode eind januari-begin februari 2019 (lage debiet-testen).

Test												
Datum			2-8-2017	29-9-2017	10-10-2017	16-11-2017		1-3-2018	2-3-2018	2-3-2018	11-4-2018	30-5-2018
Start			13:35	09:21	17:30	01:30		14:40	09:30	14:31	00:00	02:08
Stop			13:59	13:05	13:30	05:20		17:00	14:30	16:30	07:00	08:00
Brandstof	[-]		Beuk	Beuk	Beuk	??		Beuk	Beuk	Beuk	Dennenmix	Beuk
Deeltjesgrootte	[mm]		1-4	1-4	8			KL 1/4		fijn		2-16
Vocht gehalte	[wt% a.r.]										15	
As-gehalte	[wt% d.b.]											
Frekwentie doseerschroef	[-]	SIC302/304	45	48	6	13,7		18	21	55,4	23,7	7,5
Debiet	[kg/h]		49	53	36,7	45,4		12,4	16,5	49,8	54,3	47,4
Zand	[mm]					0,1 - 0,5	0.06 – 0.15 mm	0.06 – 0.15 mm	0.06 – 0.15 mm		0,1 - 0,5	0,1 - 0,5

Tabel 2. Testen waarbij de grootte van de zanddeeltjes en de brandstof is gevarieerd om tot een beter fluidisatie-regime te komen.



Figuur 4. Na afkoelen, is de biochar van een testperiode (1 of 2 weken) uitgestrooid om mengmonsters te nemen voor analyses en om de biochar te bevochtigen voor gebruik in de potproeven. De eerste keer is de biochar namelijk hydrofoob wat ongunstig is voor de planten. Na de eerste keer wateropname is deze hydrofobiciteit verdwenen.

4.3 Potproeven met Biochar als veen vervanger

Naast een range aan biochar-karakterisering voor substraat-toepassingen en verkennende potproeven zijn twee lange periodes van potproeven uitgevoerd met biochar als veenervanger bij de WUR (zeer uitvoerig bestudeerd en beschreven) op en een zeer praktische tests bij een professionele kweker onder leiding van Klasmann-Deilman Benelux BV op lavendel om ook een eerste reactie uit het veld te krijgen. Daarnaast was de rol van Klasmann vooral het verkennen van biochar in substraatmixen en het leveren van goede substraten aan de WUR voor beide lange pottesten.



Figuur 5. Gebruik van 5 verschillende substraatmixen waarbij de 4^e van links het mengsel met biochar is . Dit mengsel lijkt het beste over de hele pothoogte te wortelen. Ondanks dat boven de grond weinig verschil te zien was wordt het betere wortelstelsel wel geassocieerd met een betere plantweerbaarheid tegen ziekten en droogte.

4.3.1 *Cyclamentest*

Een van de lange pottests met biochar als veenervanger was de cyclaamtest uitgevoerd in Bleiwijk door de WUR. Hieronder is de pottestbeschrijving door WUR.

A cyclamen cultivation was organised in 1 litre pots with 40 pots/m². There were seven tables in the greenhouse. Each table received seven fields, one for every of the seven treatments. A field consisted of 15 pots each. Therefore there were 7 repetitions per treatment, and each table is regarded as an experimental block. Within the tables, the treatment positions were random.

For the effect of biochar concentration, biochar-peat mixes were compared to a 15/85-v/v perlite/peat reference. Peat was mixed with different percentages of the ECN>TNO biochar (0, 20, 35 and 50%-v/v) and with 20%-v/v of an American biochar for comparison.



Figuur 6. Een foto tijdens een projectbespreking bij de cyclamentest.

In more details the goals were:

1. Determine the influence of biochar on water and nutrient retention during cultivation.
2. Determine the influence of biochar on biomass production.
3. Determine the effect of biochar on plant quality.
4. Determine the effect of biochar on the effective application and survival of a beneficial micro-organism. The organism chosen for these testes were bacillus



Figuur 8. On the left a cyclamen plant grown on a substrate with 20% biochar and without perlite. Root growth is excellent over the full height of the pot. On the right-hand side the reference material of 100% peat, lime and perlite as lightweight compound (white grains).

During cultivation, the weight of 3 pots per plot was measured 2 times a weeks after the last irrigation cycle and before and after the first irrigation cycle to measure the water uptake during the cycle and the water retention between two cycles.

At the end of the cultivation, the number of flowers and flower buds were counted on the 10 pots per repetition. The leaves and flowers biomass of 10 pots/repetition was weighed. The root of 2 pot/repetition are washed and weighed.

One 1:1,5 extraction and an as analyses was realised on a combined samples of each treatments three times during the cultivation (before, during and after).

For the treatments including *Bacillus*, the original quantity of *Bacillus* DNA present in the mix was analysed before the cultivation on each inoculated mix. The quantity was also measured after 1 month, before flowering and after the cultivation on a sample of each repetition of each inoculated treatment and the reference.

The mixtures prepared have the following labelling

Table 3. Description of the treatments

Code	Rooting medium	Repetition	Volume per table
Re0	Peat + 15%v/v perlite 3	7	12.75 l peat + 2.25 l perlite
E20	80/20% vv peat /Enerchar	7	3 l char + 12 l peat
E35	65/35% vv peat /Enerchar	7	5.25 l char + 9.75 l peat
E50	50/50% vv peat /Enerchar	7	7.5 l char + 7.5 l of peat
R20	80/20% vv peat /Roguechar	7	3 l char + 12 l peat
ReB	peat + 15%v/v perlite 3 + <i>Bacillus</i>	7	12.75 l inoculated peat + 2.25 l perlite
B20	80/20% vv peat /Enerchar + <i>Bacillus</i>	7	3 l inoculated char + 12 l peat

Inoculum was prepared with 100 ml Serenade® diluted in 1000 ml of distilled water. The active ingredient of Serenade® was **Bacillus subtilis** at 10^9 c.f.u./ml. The recommended dose was 8 l/ha and one treatment cover 2.4 m². 2 ml would have been enough according to the recommendation but a dose of 10^8 c.f.u./ g dry biochar was used in previous experiment (Leyh & Blok 2019). This concentration would require 450ml of Serenade® for the 4.5 kg dry biochar. To limit the effect on plant but guarantee the visibility at measurement a compromise (100 ml) was selected.

Table 4. Description of the inoculated treatment

Treatment	Total dry mass	Volume Serenade®	Estimated cell quantity	Final Bacillus concentration
	Gr	ml	c.f.u.*	c.f.u./ gr dry matter
Re0	20 000	0	0	0
B20	18 000	100	10^{11}	$5.6 \cdot 10^6$
ReB	20 000	100	10^{11}	$5.0 \cdot 10^6$

* c.f.u. = cell forming units

The wet neutralised biochar was inoculated with 1 l of inoculum in a 50 l container. The biochar was mixed by hand thoroughly. The inoculated biochar was covered and left 24h at room temperature. The biochar was then mixed to 73 l of peat (B20). 18 litres of peat are wetted with 7.5 l of demineralized water and inoculated with 1 l of inoculum. The inoculated peat was covered and left 24h at room temperature. The inoculated peat was mixed by hand before to be mixed with 73 l of non-inoculated peat (ReB).

Two harvest were realised, 2 tables at the beginning of the flowering and 5 tables at the end of the experiment.

During the harvest, the buds and flowers of 10 plants were counted per plant. The leaves were separated from the tuber. The fresh weight of the total leaves was measured, same for the flowers and buds of one plant together. The tuber was removed from the root by rotating it. The tuber was also weighed.

2 pots per repetition were rinsed to separate the roots from the ground. The roots were then washed in a bucket of water and gross elements were removed by hand. The washed roots were pressed by hand to remove the excess water and weighed wet.

Only the total biomass production and flower production are given here as a summary of the pot trial result.

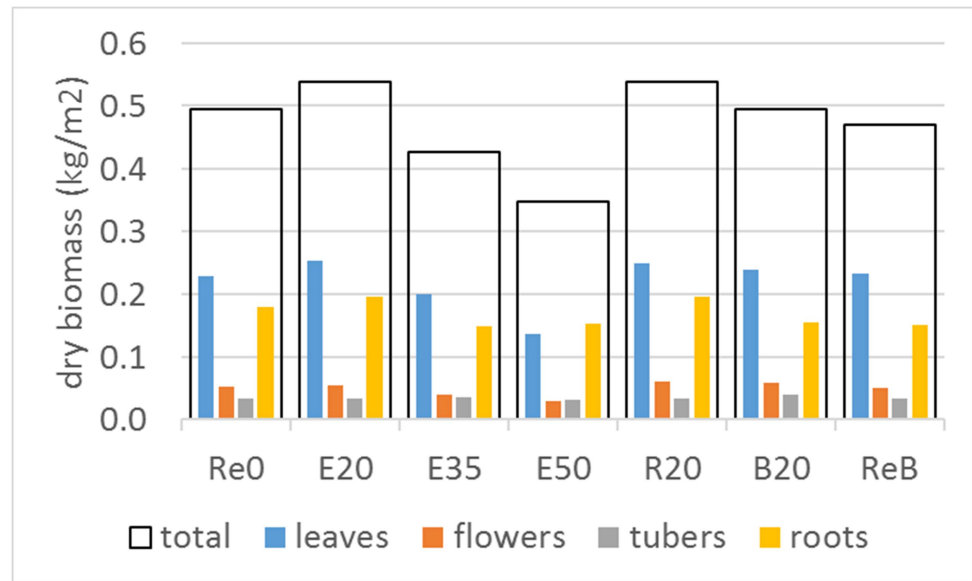


Figure 9. Total biomass production and the division between leaves, flowers and tubers & roots below ground.

In this case, the flowers are the product of interest as the plant value depends on its ornamental quality.

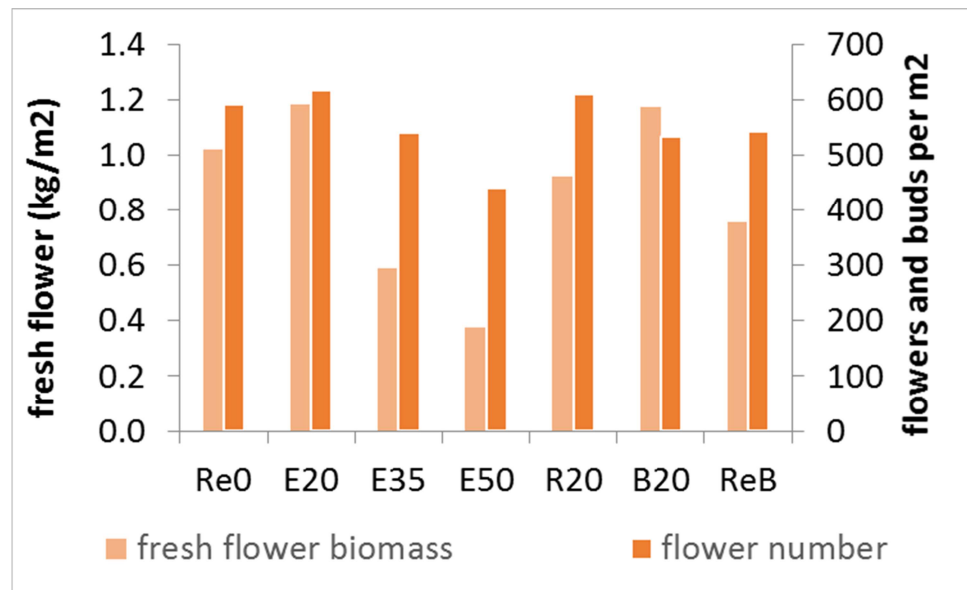


Figure 10. Fresh flowers per treatment, in both the number of flowers and the fresh flower weight (size).

As can be seen from the graph above, the 20% biochar samples (E20, R20 and B20) gave the best results, even better than the reference on the number of flowers indicating that using biochar can not only successfully replace a large fraction of the peat but even results in a better performance. From the 20% Biochar samples, the ECN>TNO biochar performed best as it not only had more, but also larger flowers compared to the American commercial biochar (R20) or the Biochar with bacillus (B20). The performance of the 35% and 50% biochar was less than the 20% biochar replacing peat. From the analyses performed during the trial it was concluded that nitrogen was adsorbed on the biochar at the beginning of the growth

period which limited the available nutrients for the plants in the 35% and 50% biochar substrates.

In conclusion from the Cyclamen test:

- The addition of 20%-v/v biochar has a positive effect on total biomass flower quantity and flower size.
- Biochar contributes to a stable buffering of the peat acidity. The assumed alkalinity of the biochar was lower than the practical alkalinity. It is assumed that ECN biochar can buffer 5,8 mol H⁺/m³ and rogue biochar can buffer 25,56 mol H⁺/m³. The assumption of the biochar's buffers capacity are correct. Less lime is used when biochar is added
- The addition of biochar above 20%-v/v decreases biomass production. The hypothesis is a nutrient, nitrogen, shortage at the beginning. With proper fertilisation the peat replacement by biochar is assumed potentially to be as high as 35 to 50%-v/v before becoming limited by water retention capacity.
- Survival of the inoculated microorganism's population stabilized at 10⁻³ g DNA / g dry rooting media. No positive effect of the microorganisms on biomass production was found. The advantage of having Bacillus during cultivation could be an improved resistance against fungal pathogen. However, the fungal pathogen never became a true problem.

4.3.2 Aardbei-proef

De tweede lang potproef was met aardbeiplanten. Hiermee werd voor de eerste keer ook een eetbaar gewas gekweekt op de substraten met biochar. ECN>TNO Biochar was na veelvuldige analyses and Phyto-testen schoon en betrouwbaar gebleken als substraat-ingrediënt en daarom kon deze stap worden gemaakt. De volledige, gedetailleerde test zal als publicatie worden uitgebracht. Hieronder volgt een verkorte versie met de belangrijkste resultaten. Naast de vervanging van veen door biochar in significante percentages om een impact te hebben op verminderd veengebruik, wordt ook in deze test een tweede doelstelling meegenomen om te kijken of biochar een drager kan zijn voor gunstige organismen als positief effect op plantweerbaarheid tegen ziektes. Gekozen is voor Trichoderma harzianum als gunstig organisme tegen de bekende aarbeziekte Phytophthora. Hieronder volgt een verkorte rapportage van de aarbeiproef door WUR.

Four mixtures of growing media were prepared for this experiment. On each mixture, the pH, EC and the total volume of peat and/or biochar were taken into account in order to have the same values after the liming of the mixtures with a target value of pH 5.5. The Table below shows the calculations for the peat and biochar volumes, as well as the total amount of CaCO₃ and water that was applied for each treatment.

Table 5. Calculation for the preparations of the mixtures of growing media

Mixtures of growing media	No. pots	Volume/substrate (litre)			substrate (Kg)		Initial pH	Initial		water (lit)	water/peat (% v/v)
		Peat	Biochar	Total	Peat	Biochar		EC (µS/cm)	CaCO ₃ (Kg)		
Peat	168.0	336.0		336.0	73.4		4.2	110	1.2	113.3	33.7
10/90% v/v biochar/peat	84.0	151.2	16.8	168.0	33.0	3.7	4.4	88	0.5	42.0	25.0
20/80% v/v	84.0	134.4	33.6	168.0	29.4	7.4	4.6		0.4	33.7	20.0

biochar/peat								67.2			
30/70% v/v											
biochar/peat	84.0	117.6	50.4	168.0	25.7	11.1	4.6	59.5	0.4	23.5	14.0
Total	420.0	739.2	100.8	840.0	161.5	22.2					
* Density of peat		0.2185	kg/L								
**Density of biochar		0.2201	kg/L								

The pH and EC were measured in a 1:1.5 solution extraction. To calculate the amount of kilograms of substrate to be used for each mixture, the bulk density of the peat and the biochar were measured. The addition of CaCO_3 was calculated following the ratio of 3.5 gr/L.

When all the mixtures were prepared, pots of 2 liters were filled according to the correspondent treatment on weight base. Meanwhile, one plant of strawberry (variety Elsanta) was planted on each pot and thereafter distributed in the greenhouse according to the planned setup.

Figure 11. Planting and distribution of the treatments in the greenhouses.



The planting date was on the 26th of March 2019 and 2 days later the inoculation of *Trichoderma harzianum* was done. The infection of *Phytophthora cactorum* was carried out 3 weeks after planting.

After the *Phytophthora* inoculation the incidence of the disease was recorded 2 times per week by visual observation of wilting and/or stunting of the plants. Whenever a plant showed those symptoms, a cut in the crone of the plant was done in order to confirm the presence of *Phytophthora*.

At the end of the growing period, the fruit and the fresh and dry biomass mass of the above and belowground tissues were collected. Plants were selected per treatment in order to account the number of fruits, to weight of the above ground tissues and the roots in fresh and dry.

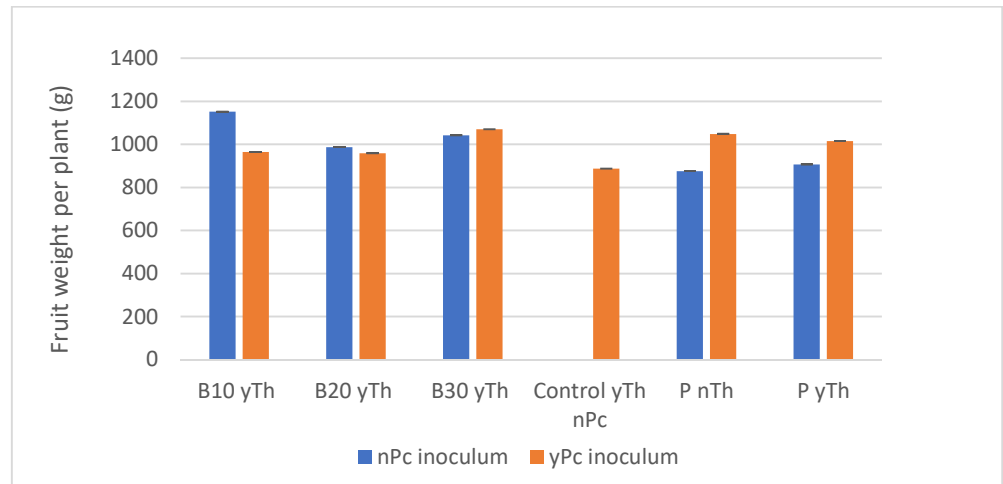


Figure 12. Overview of yield in gram of fresh fruit per plant for the treatments with biochar levels, and simultaneous application of *Trichoderma harzianum* or *Phytophthora*.

In the Figure above, a small positive effect of biochar on fruit yield can be seen but no effect of *Trichoderma harzianum* and a small positive effect of *Phytophthora cactorum* on fruit yield.

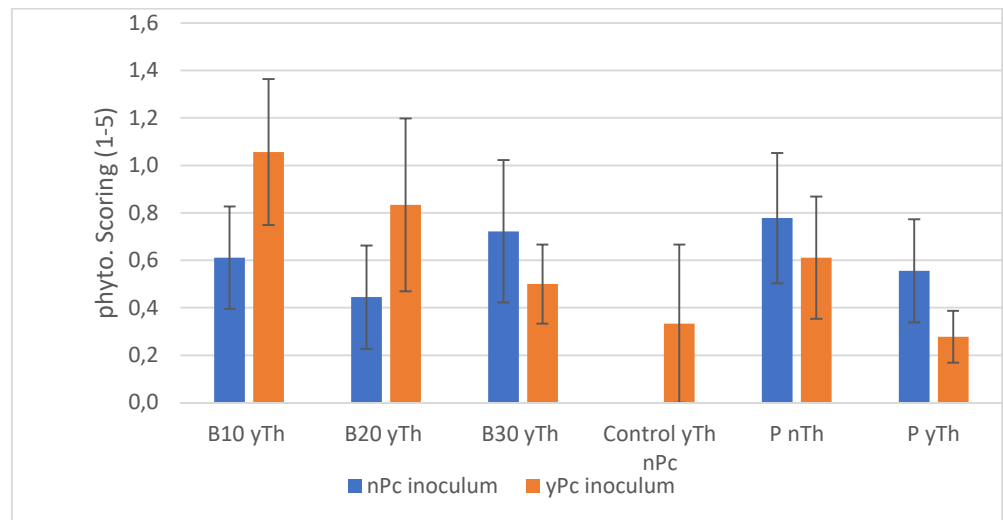


Figure 13. Overview of *Phytophthora* severity score per plant for the treatments with biochar levels, and simultaneous application of *Trichoderma harzianum* or *Phytophthora*.

The Figure 13 above shows a decrease of *Phytophthora* with an increase in *Trichoderma* treated biochar. As the variation in outcomes is really big, these data are not statistically significant. The score on the vertical axis in the Figure above is based on the score system as shown in the Figure 14 below.



Figure 14. Visual score chart based on the various stages of strawberry disease due to Phytophthora.

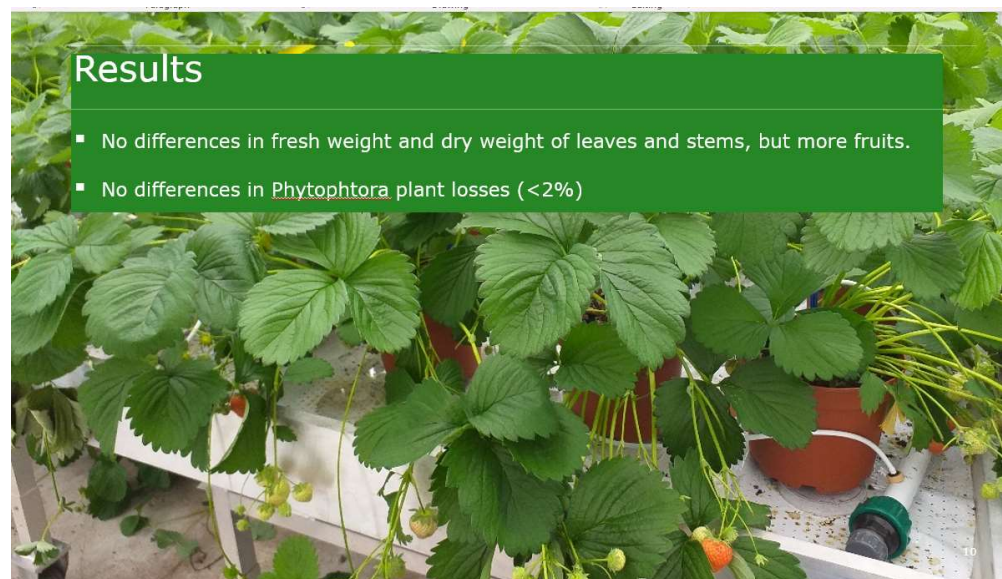


Figure 15. Conclusions sheet of this research as presented at the Biochar II Conference in Italy in September 2019.

In conclusion on the strawberry trials:

- The experiments showed the biochar used can be mixed with peat to create safe and convincing potting soil mixes, suitable for the growth of strawberries at a level equal to or slightly higher than that for peat without biochar. Biochar can be used in quantities of at least 30% v/v.
- The addition of Trichoderma did not increase the Trichoderma levels with more than one order of magnitude and in all cases the levels dropped off two orders of magnitude in a matter of weeks. It seems Trichoderma is not able to compete with the species resulting from fertigating the potting soils (with or without plants). It is quite possible Trichoderma is very sensitive to the water content (or

- air content) of the mixes as potting soils are stored at moisture contents of 20-30% v/v and used at moisture contents of 50-70% v/v/.
- Biochar could be used as carrier for the *Trichoderma* initially, but it died within two weeks. There is enough evidence in literature and practise not to abandon this path right away. There is evidence that the biochar is so stable that other sources of organic carbon are needed for the *Trichoderma* to survive.
 - The *Phytophthora* added proved to be present but not active. In this case the chances are the rooting media were not wet enough to allow *Phytophthora* to become pathogenic. If that was the case, the moisture level for pathogenicity would be over 70% v/v.

4.4 Life Cycle Analysis (LCA)

De taak om een life-cycle assessment uit te voeren heeft inmiddels geleid tot een wetenschappelijke publicatie



BIOCHAR REPLACES PEAT IN HORTICULTURE: ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF COMBINED BIOCHAR & BIOENERGY PRODUCTION

Lydia Fryda ^{1,*}, Rianne Visser ¹ and Jannick Schmidt ²

¹ Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, part of TNO, P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands

² 2-0 LCA consultants, Denmark

Article Info:

Received:
4 October 2018
Revised:
3 December 2018
Accepted:
19 December 2018
Available online:
31 March 2019

Keywords:

Biochar
Peat
LCA
Bioenergy
Gasification
Substrate
Horticulture

ABSTRACT

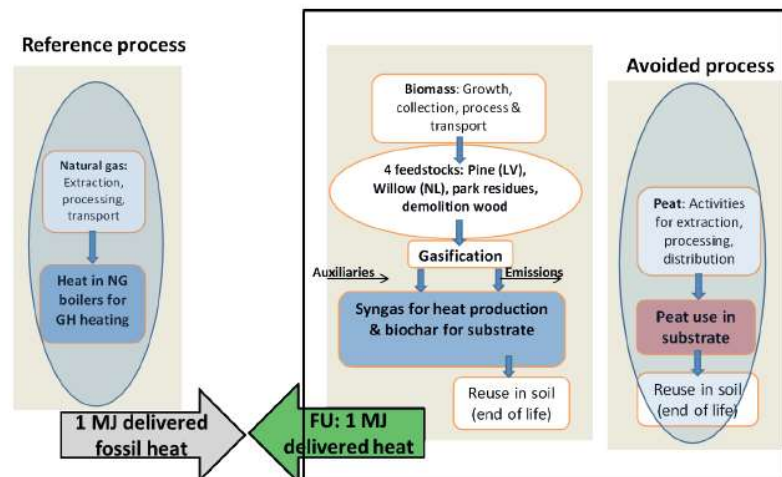
Horticulture in temperate climate zones is energy intensive and the use of peat as the main ingredient in substrates releases additional GHG emissions during mining and processing. This paper evaluates the environmental impact of the co-production and application of bioenergy and biochar using agricultural and woody feedstock to replace natural gas and peat in horticulture by means of a life cycle analysis (LCA), including the timing of CO₂ release and uptake, the decay of peat and biochar and the carbon stability of biochar and peat. Lab-scale data on biochar carbon recalcitrance compared to peat (~80% vs. 40% respectively) indicate that spent biochar-based substrates in soil are a carbon storage tool. The combination of bioenergy replacing fossil energy, biochar replacing peat in substrate and long term storage of the spent biochar in soil, contribute to GHG reductions.

Een van de belangrijkste stappen in het LCA proces is het definiëren van de functionele unit.

Zoals hieronder aangegeven is er gekozen voor 1MJ warmte in de kas. Het proces van bio-energie in combinatie met biochar productie wordt vergeleken met de warmte geleverd door fossiele energie (zoals de huidige standaard in de kassen) en neemt het vermeden proces van veen-ontginning en gebruik als substraat mee.

Voor vier verschillende feedstock is bekeken naar de supply chain. Dennenhout uit de Baltische staten, Wilg uit Nederland als snelgroeiend gewas, Park residues als de stroom van bos- en parkonderhoudsmaterialen zoals aangeboden door Staatsbosbeheer (o.a. aan de Stadsverwarming Purmerend) en sloophout A van pellets ook uit Nederland.

Binnen de functionele unit is ook het end-of-life gebruik na de kas-toepassing van het substraat meegenomen. De huidige praktijk is dat gebruikt veensubstraat vaak gemengd met compost wordt toegepast als bodemverbeteraar voor volle grond landbouw toepassingen. Als Biochar ook in de volle grond wordt toegepast na de toepassing in de kas dan is er een significant verschil in de stabiliteit van de koolstof tussen veen en biochar. Koolstof in gebruikt substraat kan uit een heel snelle cyclus (veen vergaat snel en een half-life van 16 jaar is aangenomen) naar een veel langzamere koolstofcyclus worden gebracht. Hiervoor is de oxidatiestabiliteit van biochar experimenteel bepaald. De door ECN>TNO gemaakte biochar heeft bij oxidatie door waterstofperoxide een stabiliteit van 90-98%. Er is zeer conservatief gerekend met 70% recalcitrante koolstof die dan voor langere tijd in de bodem kan worden opgeslagen. Dat komt overeen met 2.56 CO₂ equivalenten per kg biochar koolstof. De half-life van Biochar is zeer conservatief gehouden op 200 jaar. De CO₂ sequestration (opslag) waarde van Biochar is dan 2.98 kg CO₂ equivalenten per kg biochar binnen de tijdshorizon van 100 jaar die is gekozen binnen het software systeem Simapro.



Figuur 16. Grafische representatie van de functional unit en de vermeden fossiel brandstof en veenwinning.

Alle genoemde data die zijn geïnventariseerd leiden na invoering en met inachtneming van de ISO-standaarden binnen Simapro tot environmental impact resultaten Hieronder staan de resultaten voor wilg als feedstock.

TABLE 9: Characterised impact results for 1 MJ of produced gas based on willow wood.

Impact category	Unit	Total	Biochar as peat substitute	Electricity, medium voltage	Syngas factory Infrastructure	Biomass, willow
Global warming	kg CO ₂ eq	-0.0119	-0.0227	0.00266	6.26E-05	0.0079
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	6.44E-06	-4.5E-09	-2.7E-08	1.87E-07	6.19E-06
Non-ren.energy	MJ primary	0.108	-0.00011	0.0456	0.000654	0.0602
Carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq	7.4E-05	-3.1E-08	4.3E-05	1.12E-06	2.88E-05
Non-carcinogens	kg C ₂ H eq	8.62E-05	-6.6E-08	4.31E-05	2.51E-06	3.98E-05
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	0.0543	-0.00064	0.0374	-0.00015	0.0173
Ozone layer depletion	kgCFC-11 eq	8.01E-10	-8.6E-13	9.64E-11	4.92E-12	6.79E-10
Respiratory organics	kgC ₂ H ₄ eq	2.58E-06	-1.4E-09	2.27E-07	3.83E-08	2.16E-06
Aquatic ecotoxicity	kgTEG water	0.277	-0.00032	0.00464	0.00819	0.257
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	0.112	-6.8E-05	-0.0126	0.00307	0.12
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq	0.000141	-7.3E-08	2.13E-05	1.46E-06	0.000118
Land occupation	m ₂ org.arable	9.16E-05	-4E-08	-5.2E-05	2.28E-05	0.000118
Aquatic acidification	kg SO ₂ eq	2.44E-05	-1.3E-08	3.4E-06	3.43E-07	2.04E-05
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	8.86E-07	-1.1E-09	2E-07	4.83E-08	6.19E-07
Mineral ext.	MJ surplus	0.000144	-4.4E-07	2.9E-05	2.05E-05	9.27E-05

Tabel 6 (no 9 in de originele publicatie). De impact resultaten van de LCA studie op basis van de functionele unit van 1 MJ warmte.

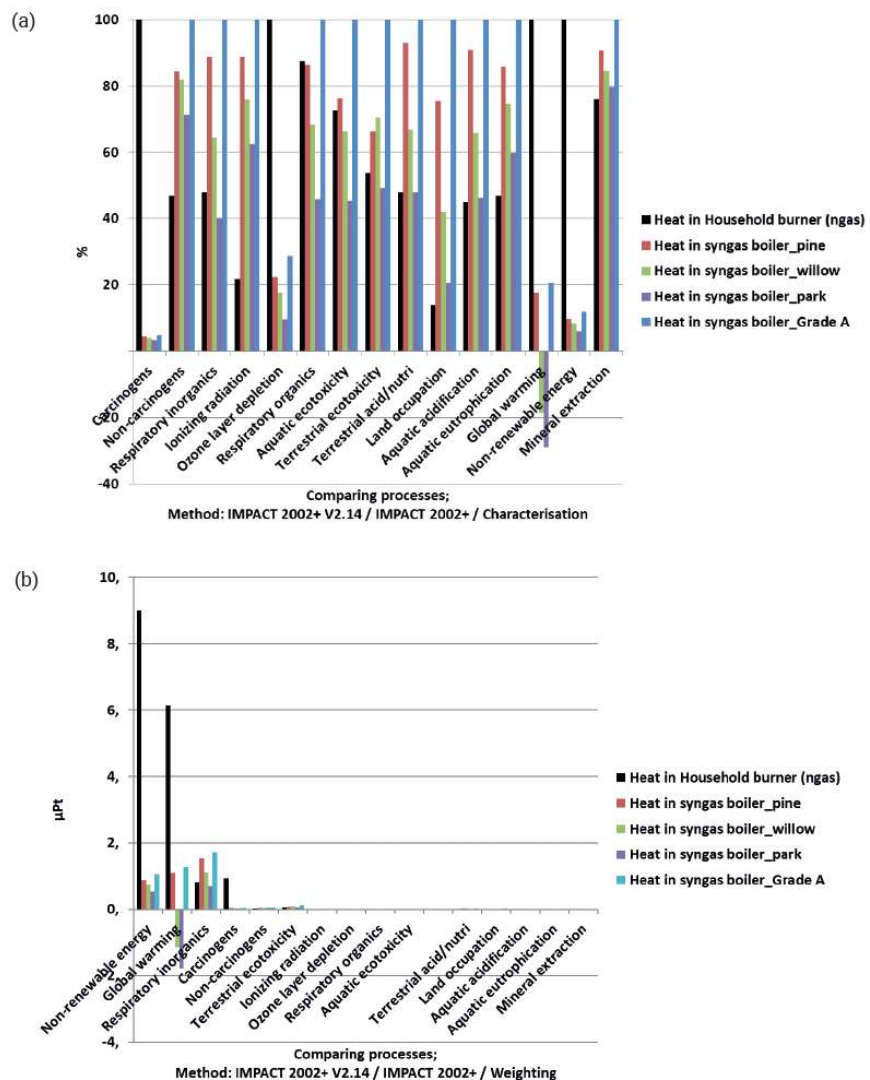


FIGURE 7: Comparison of 1 MJ of heat delivered using the four feedstock types with the reference natural gas heating: (a) characterised results and (b) weighted results.

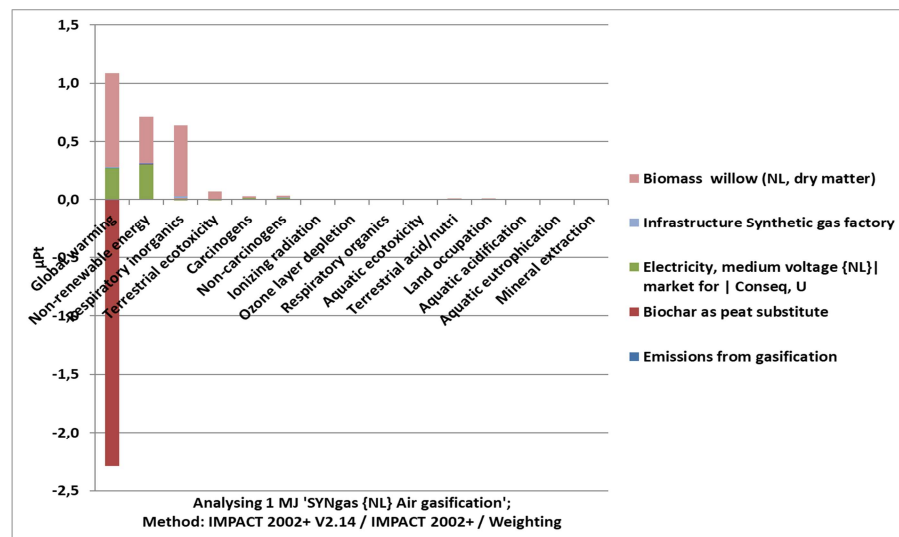
Figuur 17. (in de originele publicatie figuur 7). De belangrijkste bevindingen in de staaftogrammen hierboven is dat vrijwel ieder scenario een verbetering t.a.v. de klimaatbijdrage van aardgasgebruik oplevert. De reden dat sloophout A er zo slecht uitkomt is omdat is aangenomen dat hiervan onvoldoende aanwezig zal zijn waardoor milieuvriendelijkere alternatieven toch weer moeten worden ingezet.

Wat verder opvalt is dat de global warming voor wilg en park residues negatief zijn. De verschillend voor de verschillende feedstock zitten hier ook in de aannames. Er is uitgegaan van alleen de park residues als volledig CO₂ neutrale stroom (let wel, vervoer en bewerking hebben wel een CO₂-belasting maar de feedstock zelf niet). Voor wilg is een teruggroei tijd genomen van 2 jaar en om het verschil te laten zien tussen snelgroeiende gewassen en langzaam groeiende gewassen is voor het dennenhout een teruggroei tijd van 20 jaar gerekend. Hier zou ook uitgegaan kunnen zijn van volledige duurzame bosbouw waarbij er op ieder tijdstip net zoveel CO₂ wordt opgenomen als er wordt uitgestoten. Voor deze aanname is hier niet

gekozen en daarmee is wederom een zeer conservatieve benadering gekozen. Toch komen zowel de residuen als ook de wilg op een negatieve klimaatbijdrage (dat is dus een positief resultaat).

Om dit verder toe te lichten zijn hieronder de gewogen resultaten van wilg gepresenteerd. Uitgesplits is hier dus wel een negatieve klimaatbijdrage gerekend voor het direct vrijkomen van CO₂ terwijl de wilg in twee jaar teruggroeit maar komt het netto resultaat van alle bijdragen dus wel negatief uit. De gehele negatieve bijdrage komt door het gebruik van biochar als veen vervanger, inclusief de carbon storage in de volle grond na gebruik als veen vervanger in de kas.

Zo is te zien dat zelfs zonder aanname van duurzaam perceelbeheer (even veel opname door nieuwe planten als uitstoot door het omzetten naar energie en biochar) dat het veen vervangen en vooral het maken van een koolstofproduct dat materiaal uit de korte koolstofcyclus naar een langere koostofcyclus brengt en in de bodem kan opslaan tot een negatief klimaat effect kan leiden (het tenovergestelde van global warming). Hiermee is het een alternatief voor CO₂ opslag in de bodem en in plaats van alleen opgeslagen te zijn kan biochar ook nog als bodemverbetering worden toegepast.



Figuur 18. Effecten van de biochar als vervanging van veen zijn vooral te zien als de negatieve rode balk die het effect op “global warming” aangeeft. Zelfs als de gebruikte elektriciteit voor chippen en transport als vooral fossiele (Ned mix) wordt genomen en als de emissies van de wilg niet worden aangenomen als gehaald uit duurzaam bosbeheer, dan nog zijn de negatieve emissies groter dan de positieve emissies. Netto is er dan sprake van een negatieve emissie.

4.5 Techno-economische evaluatie en marktimplementatie

Reactor design and economics

Het begin voor de techno-economische evaluatie zoals uitgevoerd voor Dahlman Renewable Technology (DRT) was het komen tot een reactor ontwerp dat op een economisch verantwoorde manier naar de markt gebracht zou kunnen worden. De uitvoering van de DRT werkzaamheden is hieronder beschreven in het engels.

The original biochar reactor as foreseen by ECN part of TNO is a staged bubbling fluidized bed (BFB) combustor which means that the hot sand bed is operated under sub-stoichiometric air conditions (gasification) and that above the hot sand bed additional air is introduced to further combust the released gases. The biochar is collected by means of a char overflow, as presented schematically in Figure 1.

For DRT the challenge was to check how biochar could be collected within a dual fluidized bed reactor as presented schematically in Figure 2. The biomass is fed into a central riser pipe A where hot sand from a surrounding combustion zone D is converting the biomass into a gas and char. As of the small dimensions of the central riser pipe high velocities cause the hot sand to circulate internally. Within the settling chamber B, the velocity drops as a result of which char and sand drop via a down-comer C into the combustion zone. The product gas is released from the settling chamber B, whereas flue gas is released from the freeboard D.

Although the highest velocity is achieved in the riser A (app. 7 m/s), the char is being released via the product gas side (velocity in settling chamber B app. $\frac{1}{2}$ m/s) and the flue gas side (velocity in freeboard D app. 1 m/s). As such an identical design of biochar production as on the direct BFB reactor could be foreseen; a char overflow pipe in the fluidized bed combustion zone. As an alternative direct extraction from the down-comer has been evaluated, as the down-comer could be considered as an overflow pipe as well.

As the down-comer due to the high temperatures in the reactor is expanding downwards, connecting a char overflow pipe that should allow extraction of the biochar from the bottom has been evaluated as not possible. Thermal stress would be too high requiring a complex gas tight mechanical seal and compression packing within the fluidized bed. A char overflow pipe installed in the bubbling fluidized bed combustion system would be like the concept within the direct fluidized bed system, with the overflow pipe freely expanding upwards without the need for seals or packings.

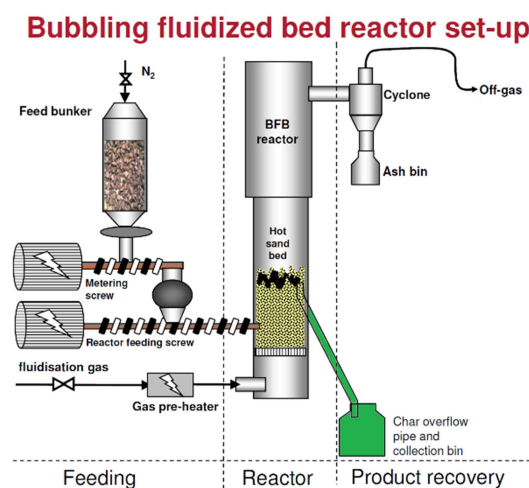


Figure 19 Schematics of direct BFB reactor reactor

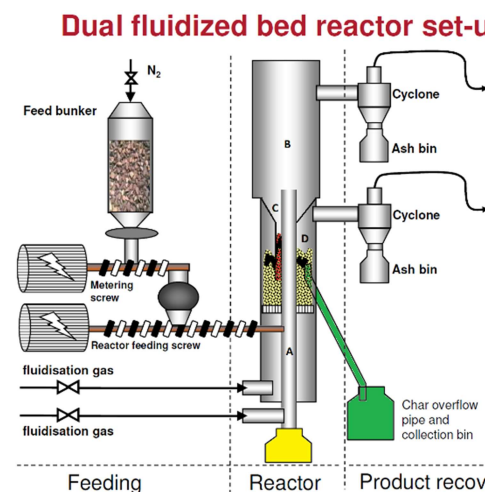


Figure 20 Schematics of dual FB

Challenges for the new reactor design

The extraction via the char overflow pipe will from selection of the alloy and the connection through the refractory lined wall result in similar complexity as the

extraction from ashes and inert from the bottom of the central riser. The extraction from the riser however is centralized and ash and sand are directed by nozzles towards the central pipe. Within the overflow design for the biochar this is more difficult to control.

An additional challenge is for the temperature control in the freeboard. For the biochar to be suitable the char should not be carbonized completely. As a result, the system is operated at lower temperatures, releasing still volatile char into the combustion zone. This char, however, will in a reactor designed for biochar (unlike in a regular gasifier) need to flow to the top of the bed causing further gasification of the char on the top of the bed. The gases released will burn in the freeboard, increasing the temperature in the freeboard and as such increasing the further gasification of the char. Consequently, the temperature might no longer be controllable.

Conclusions on the reactor design and implications for the economic evaluation

Although the quality of the produced biochar from the pilot reactor in Petten was very good and lead to successful pot tests in which the soil improvement capability was verified, it was decided that the fluidized bed technology was not the most ideal technology for biochar production. The low production capacity of 2½ to 4% of the biomass input, together with the complexity of the biochar extraction and the operational challenges in temperature control lead ECN part of TNO to conclude to change the reactor philosophy. Based on that DRT did not design the dual fluidized bed system in further detail and the final economic assessment was not further pursued.

5 Conclusies en aanbevelingen

- Bijna alle doelstellingen in het project zijn gehaald behalve de opschaling van de technologie.
- Biochar is geproduceerd in zeer goed kwaliteit en in voldoende kwantiteit om pottesten uit te voeren.
- De pottesten geven met 30% veen vervanger en zonder perliet zeer goede resultaten. 50% veen vervanger had meer water moeten hebben maar deze aanpassingen zouden tot nog hogere vervangingspercentages van veen kunnen leiden.
- LCA laat goede resultaten zien, zeker als potgrond na gebruik in de kas in de volle grond wordt ingezet. Het heeft dan echte carbon storage kwaliteiten. (CO₂-negatieve emissies).
- Biochar is wereldwijd een booming topic en ECN>TNO loopt mee voorop.
- Wereldwijd wordt gezocht naar de goede technologie voor opschaling die de biochar-productie kosteneffectiever kunnen maken, maar deze is nog niet gevonden. Daarom is er zeker nog een goede reden om hier aan verder te werken met de goede bevindingen en nieuwe ideeën opgedaan in dit Enerchar project. De biochar-kennis zal verder worden gebruikt, de gerealiseerde tweedeling in 1 reactor met vergassing onderin bij lage temperatuur en verbranding bovenin met energierterugwinning zal ook worden behouden. Alleen de onderkant van de reactor zal opnieuw worden ontworpen om tot hogere percentages biochar te kunnen komen.
- De verwachting is om toch binnen een paar jaar met een marktrijp concept te kunnen komen waarbij de ideale locatie bij een kassencomplex wordt verwacht. Naast de aardgasvervanging voor warmte (en/of elektriciteit), kan eigen residu verwerkt worden, kan biochar als substraat voor de planten geproduceerd worden en over niet al te lang ook bio-CO₂ uit de reactor gebruikt worden als gasvormige meststof ter vervanging van fossiel CO₂ (TNO en partners voeren per 1/3/2020 het project Bio-CO₂ voor de glastuinbouw uit).

Appendix 1

Uitvoering van het project

□ De problemen (technisch en organisatorisch) die zich tijdens het project hebben voorgedaan en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost .

De technologie waarbij biochar komt drijven als het poreus is geworden werkte wel maar het oogsten van deze char bleek in de pilot-opstelling toch veel moeilijker dan in de lab-schaalopstelling. Er is nog van alles geprobeerd om toch tot een werkende technologie te komen. Er is gewerkt met gebruikmaking van de variatie in fluidisatie die optreedt bij grotere installaties waarbij de oogstpunten naar de stille zones werd verplaatst. Er is nog een ruimer (een soort oppervlakteschraper) gebruikt om de biochar in beweging te krijgen, maar uiteindelijk is geconcludeerd dat er bij een grotere installatie altijd zoveel variatie in de fluidisatie zal zijn dat de biochar die komt bovendrijven op sommige plekken toch weer in het zandbed gemengd zal worden. Dit resulteerde in een te magere opbrengst van 2,5-4% biochar uit biomassa die te mager is om commercieel te gaan implementeren.

□ Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan

De techno-economische evaluatie niet is uitgevoerd omdat de pilot-testen lieten zien dat met een productie van 2.5-4% biochar de technologie zoals nu voorzien niet rendabel zou zijn. Er is met toestemming van RVO geld overgezet van DRT (economische evaluatie) naar ECN>TNO om een nieuw idee in de technologische vernieuwing te kunnen starten

□ Toelichting op de verschillen tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten.

Binnen de toegekende budgetten is er geen significant verschil tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten. Behalve dat er meer constructie voor de pilot-verbouwing bij ECN>TNO zelf is uitgevoerd ipv besteld buiten de deur. Daardoor zijn er iets meer uren besteed en iets minder kosten gemaakt maar het werk is wel conform plan uitgevoerd..

□ Toelichting wijze van kennisverspreiding

- Jaarlijkse tussenrapportage aan TKI-BBE/RVO. ☺
- Presentatie projectresultaten tijdens TKI-BBE en/of RVO events ☺
- Publicaties op Websites projectpartners ☺
- Tenminste 1 publicatie in een peer-reviewed internationale tijdschrift . ☺
- Tenminste 2 conferentiebijdragen (nationale en internationale biomassaconferenties). ☺, Namelijk:
 - Venice 2018: 4.3 ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BIOENERGY: Environmental impact assessment of combined biochar & bioenergy production
 - Venice, dec. 2016 ENERGY AND BIOCHAR: TWO PRODUCTS FROM RESIDUAL WOOD AFTER COMPOSTING
 - H.J.M. Visser, L. Fryda.
- Organiseren van een Event voor tuinders om de resultaten te verspreiden ☺
 - presentatie substraatdag in Bleiswijk (WUR)

Article

Biochar for Horticultural Rooting Media Improvement: Evaluation of Biochar from Gasification and Slow Pyrolysis

Chris Blok ^{1,*}, Caroline van der Salm ¹, Jantineke Hofland-Zijlstra ¹, Marta Streminska ¹, Barbara Eveleens ¹, Inge Regelink ², Lydia Fryda ³ and Rianne Visser ³

¹ Wageningen Plant Research, Glasshouse Horticulture, Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, The Netherlands; Caroline.vanderSalm@wur.nl (C.v.d.S.); jantineke.hofland-zijlstra@wur.nl (J.H.-Z.); marta.streminska@wur.nl (M.S.); barbara.eveleens@wur.nl (B.E.)

² Wageningen Environmental Research, Wageningen University & Research, Droevendaalsesteeg 3, 6708 PB Wageningen, The Netherlands; inge.regelink@wur.nl

³ Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands; fryda@ecn.nl (L.F.); h.visser@ecn.nl (R.V.)

* Correspondence: chris.blok@wur.nl; Tel.: +31-317-485-679

Agronomy **2017**, *7*, 6; doi:10.3390/agronomy7010006

BIOCHAR REPLACES PEAT IN HORTICULTURE: ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF COMBINED BIOCHAR & BIOENERGY PRODUCTION

Lydia Fryda ^{1,*}, Rianne Visser ¹ and Jannick Schmidt ²

¹ Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, part of TNO, P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands
² 2-0 LCA consultants, Denmark

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”