



Energy research Centre of the Netherlands

Verkenning co-vergassing digestaat en gras

B.J. Vreugdenhil

ECN-E--11-072

December 2011

Verantwoording

Dit werk is tot stand gekomen binnen een project van Biogas Centrum Groningen met subsidie vanuit subsidieprogramma “Koers Noord” en “Operationeel Programma Noord Nederland 2007-2013”. Daarnaast is er ook een bijdrage gevraagd aan de Provincie Groningen en de Gemeente Groningen.

Het project is erop gericht om met een groep van circa 18 bedrijven kennis en technologie te ontwikkelen ten behoeve van het opleidings- en onderzoekscentrum met alle aandacht op het vergistingsproces en alle bijbehorende processen.

Abstract

In 2010 several experiments have been performed to investigate the technical feasibility of co-gasification of digestate and grass. For certain digestate and in certain mixtures with grass, it was shown possible to co-gasify. A final test was performed in the indirect gasifier MILENA with one of these mixtures. The purpose of this research is showing the technical feasibility of co-gasification of grass and digestate, as to prevent agglomeration and/or corrosion issues, which are imminent with pure grass.

It is possible to prevent agglomeration by mixing grass with certain types of digestate in certain mixtures. The gas quality is such that it is possible to burn it in a gas engine or use it for catalytic processes. Of course with the right cleaning steps in between.

The ash coming from the process contains components that can be used as fertilizer (such as phosphor) and recovering these component by recycling char (carbon rich ash) can be increased.

The tests were limited to determining the technical feasibility and does not provide information regarding duration effects, such as wear of the bedmaterial.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Verklarende woordlijst	5
Samenvatting	6
1. Inleiding	7
2. Het probleem van digestaat en van gras	8
3. Testwerk	9
3.1 Experimentele beschrijving	9
3.2 Experimentele resultaten	12
3.2.1 Vergassen van vergist huisafval en gras in de WOB	13
3.2.2 Vergassen van vergist rioolslib en gras in de WOB	13
3.2.3 Co-vergassing van huisvuil digestaat en gras in de MILENA	15
4. Conclusie	17
Literatuur	18
Bijlage A: Samenstelling van de gebruikte brandstoffen	19

Lijst van tabellen

Tabel 1: WOB test opzet en experimentele instellingen (DigA = mest, DigB = huisvuil, DigC = rioolslib)	10
Tabel 2: MILENA experimentele instelling	10
Tabel 3: Testresultaat van de 9 agglomeratie testen	12
Tabel 4: Samenstelling rookgas en productgas van de MILENA vergassingstest.....	15
Tabel 5: Balans voor een aantal componenten tijdens de vergassing	16

Lijst van figuren

Figuur 3-1: Wervelbed vergasser (WOB)	9
Figuur 3-2: Indirecte vergasser (MILENA)	11
Figuur 3-3: Temperatuur traject vergassingstest WOB (experiment 7)	13
Figuur 3-4: Gassamenstelling experiment 7, co-vergassing gras en digestaat B	13
Figuur 3-5: Temperatuur traject vergassingstest WOB (experiment 9)	14
Figuur 3-6: Gassamenstelling experiment 9, co-vergassing gras en digestaat C	14
Figuur 3-7: Gassamenstelling productgas en rookgas uit de MILENA	15

Verklarende woordlijst

WOB	Directe biomassa vergasser
MILENA	Indirecte biomassa vergasser
DigA	Digestaat afkomstig van co-vergisting van varkensmest
DigB	Digestaat afkomstig van huisvuilvergisting
DigC	Digestaat afkomstig van rioolslibvergisting
Ca	Calcium
Cl	Chloor
K	Kalium
Na	Natrium
Mg	Magnesium
P	Fosfor
S	Zwavel
Si	Silicium

Samenvatting

Standaard agglomeratie testen in de WOB hebben laten zien dat het mogelijk is om bij de juiste keuze van digestaat en gras een significante verbetering te realiseren met betrekking tot agglomeratie gedrag. Digestaat afkomstig van vergisting van huisvuil en vergist rioolslib zijn beide kandidaten om co-vergassing mee te realiseren met gras.

Een test in de MILENA heeft laten zien dat de kwaliteit (energie inhoud) van het gas uit co-vergassing van gras en digestaat van een huisvuil vergister en gras, hoog genoeg is om in een gasmotor te kunnen worden verbrand, mits de juiste reinigingstappen worden genomen. Voorts laat deze test na 6,5 uur op 800°C nog geen indicatie zien van agglomeratie.

Een voorlopige elementenbalans laat zien dat corrosieversterkende elementen vooral in de vaste fase terecht komen. Dit neemt niet weg dat bij de keuze van materiaal voor de vergasser hiermee wel rekening dient te worden gehouden.

Een element als fosfor lijkt zich vooral over de vaste fase te verdelen, wat mogelijkheden biedt om het op een eenvoudige wijze terug te winnen uit het digestaat. De keuze voor een indirecte vergasser, waar schone as uit komt, is dan logischer dan een directe vergasser.

De WOB test met varkensdigestaat was dermate slecht dat wordt afgeraden dit te vergassen, zelfs bij lagere temperaturen. Analyses aan het digestaat laten zien dat de oorzaak zit in de extreem hoge concentratie elementen die zowel voor corrosie als voor agglomeratie kunnen zorgen. Door conventioneel te drogen blijven deze componenten in het digestaat, wat de toepasbaarheid voor vergassingsdoeleinden ongeschikt maakt. De droogstap is wat dat aangaat cruciaal voor alle digestaten.

1. Inleiding

Biomassa kan via twee routes omgezet worden in bruikbare energie producten. De eerste route is een biologisch proces, vergisting, waarbij natte stromen biomassa in een vergister worden omgezet in biogas. Dit biogas kan verder opgewerkt worden naar aardgas kwaliteit of voor andere doeleinden (b.v. een gasmotor) gebruikt worden. Het restant wat overblijft na de vergisting (digestaat) bevat nog een aanzienlijk deel koolstof, wat niet verder kan worden vergist. In de huidige situatie is digestaat slechts beperkt als meststof afzetbaar, maar dient het te worden beschouwd als afval indien dit niet mogelijk is. Dit beperkt de toename van het aantal vergisters

De tweede route is een thermochemische route, waarbij de biomassa op hoge temperatuur kan worden omgezet in chemische producten (pyrolyse), productgas (vergassing) of elektriciteit en warmte (verbranding). Vergassing van bepaalde stromen biomassa (gras of stro) kan leiden tot agglomeratie en/of corrosie problemen. Deze problemen met moeilijkere brandstoffen hebben er toe geleid dat ze zeer beperkt worden toegepast binnen vergassingsinstallaties. In het verleden zijn er testen gedaan bij ECN met rioolslib en gras waaruit bleek dat agglomeratie onderdrukt kan worden wanneer deze simultaan vergast worden. De problemen met corrosie en agglomeratie zijn ook van toepassing voor verbranding en pyrolyse routes.

De vraag die binnen het deel project “D2.4 Digestaat ontwateren en verwerken” beantwoord dient te worden is: *“Is het technisch mogelijk om gras en digestaat in een bepaalde mengverhouding te vergassen, waarbij de agglomeratie en corrosie problemen van gras worden verminderd of vermeden door het aandeel digestaat?”*

Op basis van verkennende testen in een wervelbed vergasser en in een indirecte vergasser kan er een uitspraak worden gedaan of het 1.) mogelijk is om dit mengsel te vergassen en 2.) of er een toekomstige markt is ofwel gecreëerd kan worden om deze stromen te verwerken.

De aanpak waarvoor gekozen is:

1. Standaard agglomeratie testen in een wervelbed opstelling.
2. Haalbaarheidstest in een indirecte vergasser.

Op basis van deze test resultaten wordt vervolgens bepaald wat de technische haalbaarheid is.

Hoofdstuk 2 zal kort ingaan op de achtergrond van de gebruikte biomassa stromen.

Hoofdstuk 3 zal de test opzet en test resultaten behandelen.

Hoofdstuk 4 besluit met de conclusies over co-vergassing van gras en digestaat en de toepasbaarheid daarvan.

2. Het probleem van digestaat en van gras

Digestaat is het restproduct van vergisting, waarbij het geproduceerde gas gebruikt kan worden om elektriciteit en warmte mee op te wekken of om op te werken naar aardgas kwaliteit. Digestaat als restproduct is beperkt afzetbaar, vanwege de strenge Nederlandse meststoffenwetgeving. Wanneer teveel geproduceerd wordt of wanneer het te vergisten materiaal afkomstig is van een niet zuivere bron, dan wordt het digestaat als afval beschouwd [1,2].

Digestaat heeft dus beperkingen als het gaat om toepassing als meststof. Echter, het bevat nog wel veel componenten, zoals fosfaat, wat veel wordt toegepast als meststof. Het sluiten van de element balans vindt niet plaats als het afgevoerd moet worden als afvalstroom.

Kortom, digestaat heeft nog een bepaalde energie-inhoud die niet ten volle benut kan worden en het bevat bepaalde waardevolle meststoffen die ook verloren gaan als het afgevoerd wordt als afval.

Gras en stro (en andere snelgroeiende gewassen) komen in veelvoud voor in Nederland, maar als energiegewas worden deze nog niet veel toegepast. Deels is de oorzaak dat deze stromen agglomeratie en corrosie problemen met zich meebrengen [3-7]. De oorzaak wordt vooral toegekend aan kalium dat nodig is voor de snelle groei [5].

Testwerk uitgevoerd bij ECN in het verleden met gras en met rioolslib, in co-vergassingstesten, hebben al laten zien dat agglomeratie en corrosie verminderd kan worden. De agglomeratie mechanismen zijn door Visser [8] en van der Drift et al. [9] eerder al beschreven. Waar het op neer komt is dat vervelende componenten als kalium of met fijn stof afgevangen kunnen worden en eindigen in de cycloon as of dat ze binden met componenten uit de biomassa en een hoog smeltende verbinding aangaan. Hierdoor blijven ze in het bed, maar voorkomen ze plakkerige delen die leiden tot agglomeratie.

Deze kennis is het achterliggende idee achter de co-vergassing van gras en digestaat. Digestaat bevat mogelijk de juiste componenten en/of de fijne deeltjes.

3. Testwerk

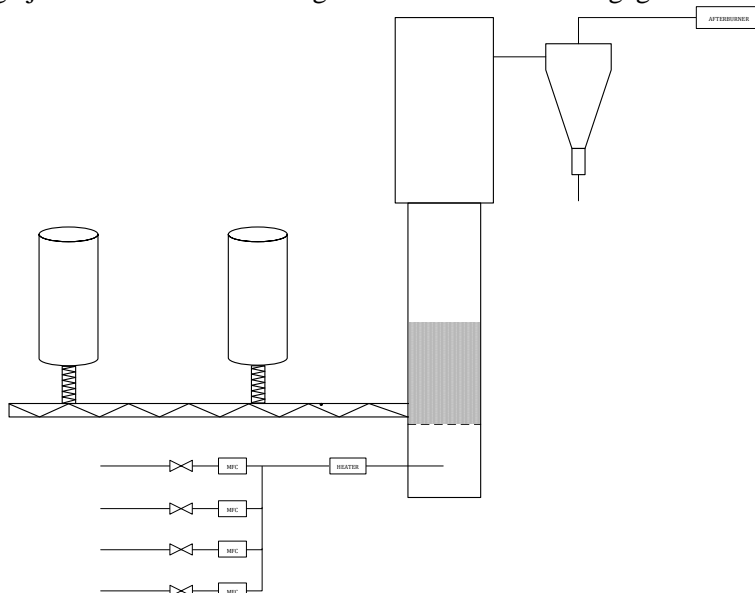
Het eerste testwerk is verricht in een wervelbed vergasser (WOB). Dit is een simpele opstelling met een brandstof debiet van circa 1 kg/u waarbij die brandstof in direct contact met lucht vergast wordt. Deze vergasser is simpel te bedienen en eenvoudig om te bouwen voor andere experimenten. De screening van het juiste mengsel is in deze opstelling relatief eenvoudig te realiseren.

Vervolgens is de indirect MILENA vergasser gebruikt om het mengsel te testen dat vanuit de screening in de WOB de beste resultaten gaf. Tijdens deze test zijn ook meerdere analyses uitgevoerd om inzicht te krijgen op de elementen balans. Op basis hiervan kan een indicatie gegeven worden of corrosie een probleem kan vormen en of de as kan worden opgewerkt voor de meststoffen.

3.1 Experimentele beschrijving

In de WOB staat lucht in direct contact met de biomassa. Een klein deel van de biomassa wordt verbrand, waarbij de vrijgekomen warmte gebruikt wordt voor de omzetting van de rest van de biomassa. Met behulp van mass flow controllers (MFC) kunnen er verschillende vergassingsmedia (lucht, stoom, zuurstof) de WOB ingestuurd worden. Voor deze experimenten is gekozen om direct met lucht te vergassen. Als bedmateriaal is zand gekozen.

Via twee aparte voedingsbunkers kan het mengsel van gras en digestaat getest worden. De bunkers zijn geijkt, maar worden achteraf nog een keer gewogen om het exacte debiet te bepalen. Door trillingen in de installatie wil het debiet soms anders zijn dan waarop de bunker geijkt is. In onderstaande figuur is schematisch weergegeven hoe de opstelling eruit ziet.



Figuur 3-1: Wervelbed vergasser (WOB)

In de WOB zijn verschillende testen gedaan (zie Tabel 1), waarbij de mengverhouding van het gras met het digestaat gevarieerd werd. Daarbij zijn er drie soorten digestaat gebruikt, een op basis van varkensmest co-vergisting (DigA), een afkomstig van huisvuilvergisting (DigB) en een rioolslib (DigC). Voor de co-vergassing zijn EKO gras pellets gebruikt.

De digestaten zijn gedroogd voorafgaand aan de test, waarna de bunkers zijn gekalibreerd om het debiet in te stellen. De gekozen mengverhouding is gebaseerd op werk van Visser [8] dat een aantal ratio's voorstelt als richtlijnen voor agglomeratie effecten. De belangrijkste componenten die in deze ratio's voorkomen zijn K, Na, S, Cl, Si, Ca, Mg en P. Op basis van de as samenstelling van de twee brandstoffen kunnen deze berekend worden en is gekomen tot de volgende tabel met instellingen.

Tabel 1: WOB test opzet en experimentele instellingen (DigA = mest, DigB = huisvuil, DigC = rioolslib)

<i>WOB test plan en instellingen</i>				
Exp.	Gras (g/h)	DigA (g/h)	DigB (g/h)	DigC (g/h)
1	1128	-	-	-
2	910	178	-	-
3	863	-	154	-
4	871	-	220	-
5	654	-	278	-
6	n/d	-	n/d	-
7	435	-	365	-
8	423	-	307	-
9	414	-	-	468
T _{vergassing}		750 – 900°C via standaard test protocol		
Lucht op bed		16 L/min		
Stikstof op voedingschroef		1L/min		
Hoeveelheid bed materiaal		1060 gram		
Deeltjesgrootte gras		< 4 mm		
Deeltjesgrootte digestaat		< 4 mm		

Op basis van deze testen is een keuze gemaakt om in de MILENA verder te testen met het beste mengsel. De test in de MILENA heeft plaats gevonden bij 1 set instellingen, waarbij de tijd gebruikt is om te meten aan gassamenstelling, teer en alkali's. Deze instelling staan in Tabel 2.

Tabel 2: MILENA experimentele instelling

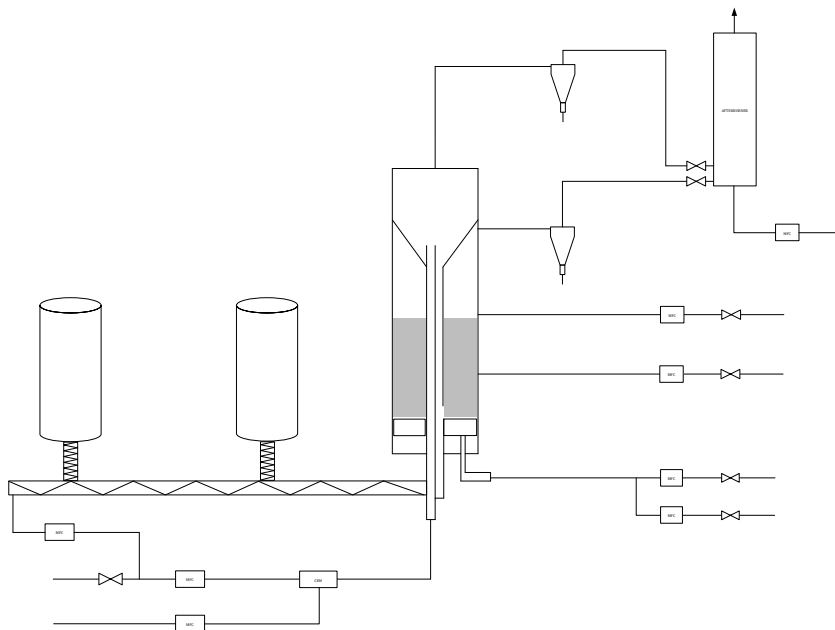
<i>MILENA instellingen</i>		
Gras debiet	2,8	kg/h
Digestaat debiet	3,0	kg/h
T _{vergassing}	800	°C
T _{verbranding}	855	°C
Hoeveelheid bedmateriaal (zand)	40	kg
Deeltjesgrootte gras	< 4	mm
Deeltjesgrootte digestaat	< 4	mm
Stoom op de riser	1	kg/h
Primaire lucht combustor	100	L/min
Secundaire lucht combustor	20	L/min
CO ₂ op de schroef	1	L/min
CO ₂ op de riser	2	L/min
Methaan op de combustor	4	L/min

De keuze om te vergassen in een indirecte vergasser heeft te maken met de volledige uitbrand van de as en de kwaliteit van het geproduceerde productgas. De WOB produceert gas met circa 50 vol% stikstof, waardoor de toepassingen beperkt zijn. Ook is de verbrandingswaarde van het gas dusdanig laag, ~4 MJ/Nm³, dat het ook voor gasmotoren moeilijker kan zijn om het te verbranden. Via een indirecte vergassing, waarbij het productgas vrijwel geen stikstof bevat, kan het gas voor meerdere routes worden gebruikt. Dit gas is na een relatief eenvoudige

reiniging geschikt voor gasmotoren. Toepassingen als gasturbines of katalytische opwerking naar aardgas kwaliteit “Groen Gas” zijn mogelijk na extra gasreiniging.

Een tweede reden voor indirecte vergassing is dat de as die uit de combustor komt geen koolstof bevat en daardoor als schone as (als de brandstof geen afval bevat) wordt beschouwd. Tevens kan dit een geconcentreerde bron zijn van meststoffen, zoals fosfor. In het geval van directe vergassing, bevat de as altijd koolstof, wat dan met extra regels krijgt te maken vanwege onder andere brandgevaar.

In Figuur 3-2 is schematisch weergegeven hoe de labschaal MILENA vergasser bij ECN is opgebouwd. De bunkers op de voedingschroef worden voor een experiment gevuld met de brandstof. Deze dient relatief droog te zijn om voedingsproblemen te voorkomen. Ook is er de mogelijkheid om methaan op het verbrandingsbed te voeden om de temperatuur constant te houden. Voor een kleine labschaal installatie is dit nodig omdat het verlies vele malen groter is ten opzichte van grotere installaties. De installatie bevat twee cyclonen, in het productgas en in het rookgas, om de balans te kunnen maken over de as verdeling. Als bedmateriaal is zand gebruikt.



Figuur 3-2: Indirecte vergasser (MILENA)

De werking van de indirecte vergassing is gebaseerd op het scheiden van verbranding en pyrolyse. In een verticale buis wordt biomassa via pyrolyse omgezet in een gas door het in contact te brengen met heet bedmateriaal. Naast gas ontstaat er ook char (restant van de biomassa en bevat veel koolstof) wat met het bedmateriaal wordt gerecycled naar de verbrandingszone. Dit is een gefluidiseerd bed, waar de char verbrand wordt met lucht en waardoor het bedmateriaal weer opwarmt. De cycloon in het productgas vangt stof en koolstof af (ook aangeduid als char) en de cycloon in het rookgas vangt alleen stof af (as).

3.2 Experimentele resultaten

Van de in totaal 10 experimenten zal er voor 3 experimenten in meer detail op de resultaten worden in gegaan. De eerste twee zijn standaard agglomeratie testen in de WOB met het digestaat op basis van de vergisting van huisvuil en met rioolslib (resp. nummer 7 en 9 in Tabel 1). Het derde experiment dat behandeld wordt is het uiteindelijke vergassingsexperiment in de indirecte vergasser MILENA.

Tabel 3: Testresultaat van de 9 agglomeratie testen

<i>WOB test plan en resultaat</i>					
Exp.	Gras (g/h)	DigA (g/h)	DigB (g/h)	DigC (g/h)	Draaitijd en T _{agglomeratie} (min / °C)
1	1128	-	-	-	338 / 825
2	910	178	-	-	91 / 750
3	863	-	154	-	396 / 875
4	871	-	220	-	293 / 800*
5	654	-	278	-	349 / 850*
6	n/d	-	n/d	-	419 / 865
7	435	-	365	-	429 / 900
8	423	-	307	-	385 / 875
9	414	-	-	468	506 / 935

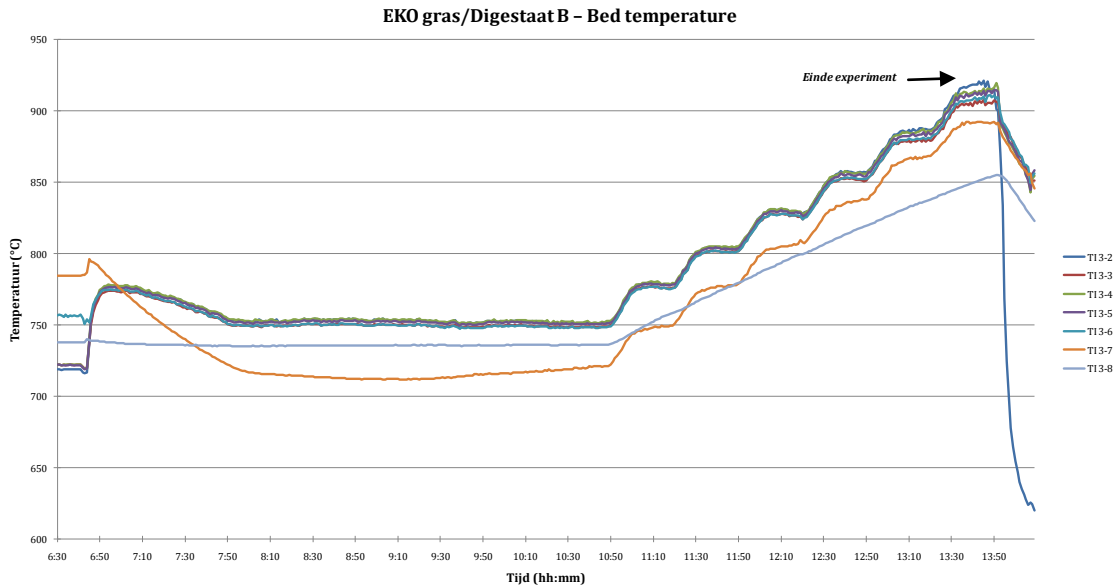
* Experiment vroegtijdig gestopt wegens verstopping

Test nummer 1 is de WOB vergassingstest met gras, waarbij eerst 4 uur lang op 750°C vergast werd waarna de temperatuur stapsgewijs verhoogd is. Hier bleek dat gras na circa 338 minuten op 825°C agglomerde. Dit is de referentie geweest op basis waarvan experiment 7 en 9 hieronder verder behandeld worden. De agglomeratie test gaat tot 900°C en wanneer dit gehaald wordt, wordt de test als geslaagd beschouwd. Alleen experiment 7 en 9 zijn tot de 900°C gekomen.

Test nummer 2 met digestaat afkomstig van varkensmest co-vergisting was geen succesvolle test omdat dit materiaal gedroogd was aangeleverd. Door water te verdampen zijn grote hoeveelheden mineralen en zout (Na) achtergebleven in het digestaat wat testen onmogelijk maakte. Analyses aan het digestaat achteraf hebben dit ook bevestigd (zie bijlage A). De agglomeratie trad in deze test al bij 750°C op.

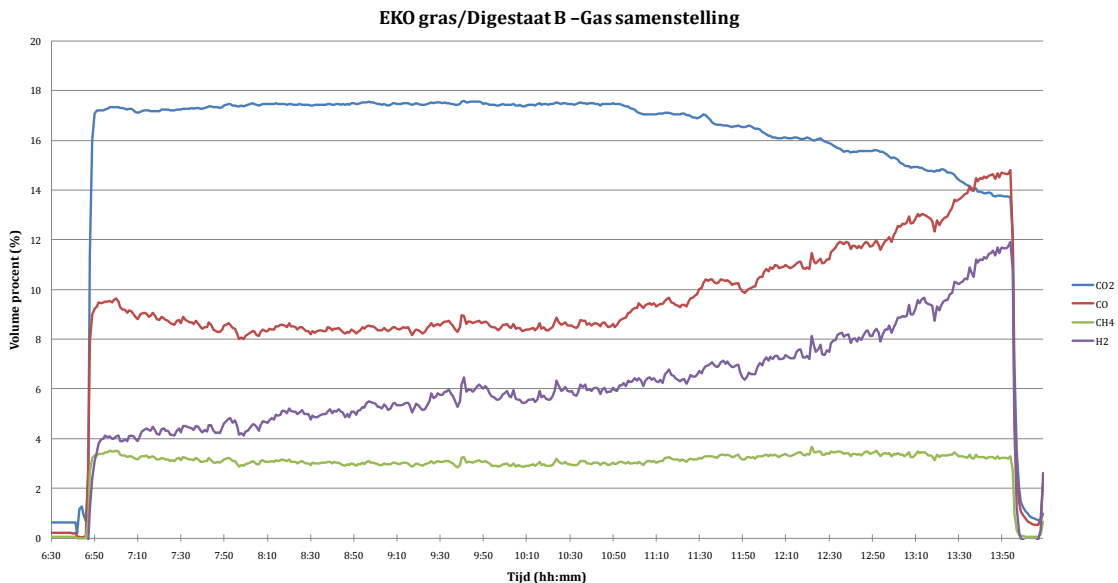
3.2.1 Vergassen van vergist huisafval en gras in de WOB

In Figuur 3-3 is te zien hoe gedurende 4 uur de temperatuur stabiel op 750°C staat. Daarna wordt stapsgewijs de temperatuur verhoogd. Wanneer de temperatuurlijnen uit elkaar beginnen te lopen, dan is dat het punt waarop agglomeratie optreedt. Dit is een zichzelf versterkend effect, omdat dit een inhomogeen bed met koude en hete zones geeft. In de hete zones wordt het agglomeratie proces versneld en kan het bed in korte tijd volledig defluidiseren. Bij experiment 7 bij 900°C in de vergasser gaan de temperaturen uit elkaar lopen en treedt er agglomeratie op.



Figuur 3-3: Temperatuur traject vergassingstest WOB (experiment 7)

Het interessante aan Figuur 3-4 in combinatie met Figuur 3-3 is de verandering in gassamenstelling wanneer de temperatuur waarbij vergast wordt significant wijzigt. Dit is het directe gevolg van de water gas shift evenwicht. Een evenwicht tussen water, CO, CO₂ en H₂.



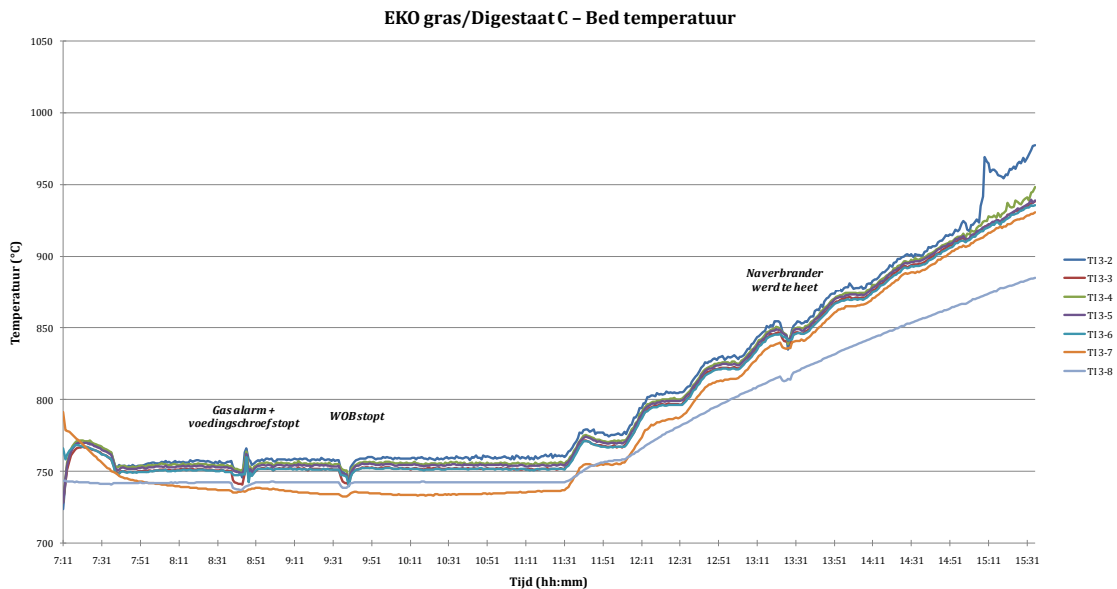
Figuur 3-4: Gassamenstelling experiment 7, co-vergassing gras en digestaat B

3.2.2 Vergassen van vergist rioolslib en gras in de WOB

Met het rioolslib is gekozen om vergelijkbaar te gaan zitten qua samenstelling als het experiment van gras met digestaat afkomstig van huisvuil vergisting. De reden is dat met

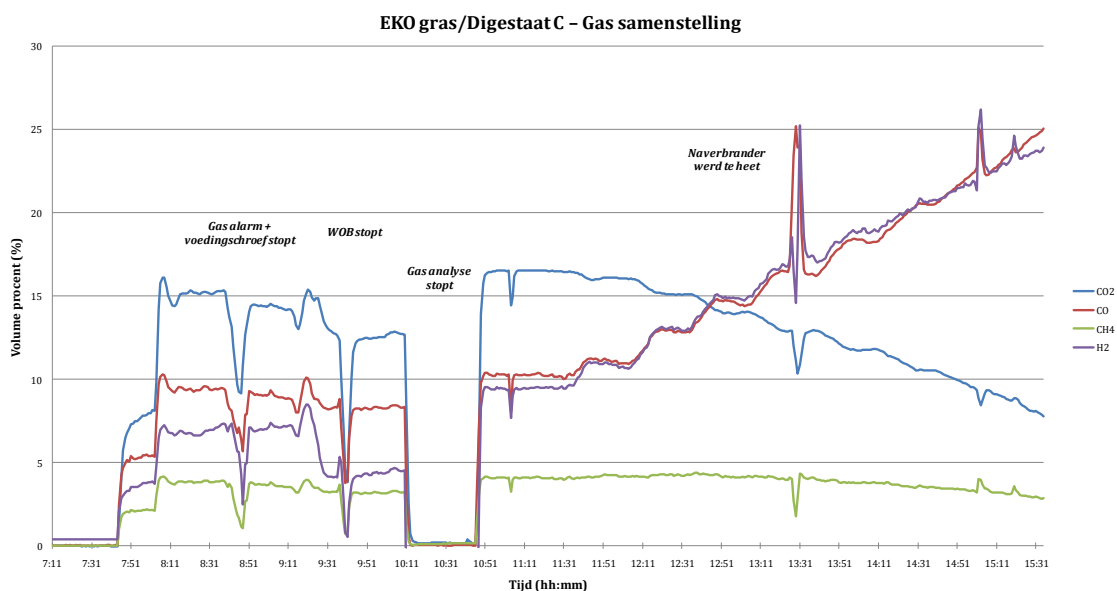
rioolslib in het verleden al goede resultaten behaald zijn en verwacht wordt dat dit beter zal presteren dan huisvuil digestaat.

In Figuur 3-5 is het temperatuurprofiel weergegeven, waaruit duidelijk wordt dat de vergassing tot boven de 900°C goed gaat. Bij 935°C gaat één van de thermokoppels een afwijkende temperatuur aangeven, wat duidt op agglomeratie. Vanuit agglomeratie preventie is dit een zeer geslaagde test geweest.



Figuur 3-5: Temperatuur traject vergassingstest WOB (experiment 9)

Tijdens de test zijn er wel een aantal haperingen geweest, een voedingschroef die vast loopt, de WOB die een stop meemaakt en gasanalyse die uitvalt. Echter dit zijn korte onderbrekingen geweest op de vergassing en zorgen vooral voor een wat onrustiger beeld, maar niet zozeer op het stoppen van de test. Ook in deze test (zie Figuur 3-6) is duidelijk de water gas shift reactie te zien.

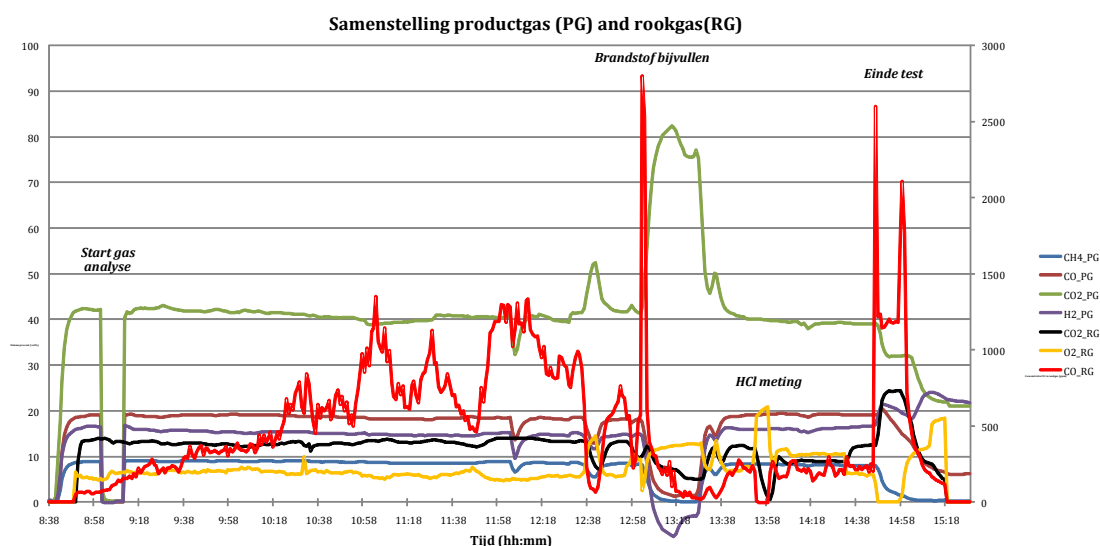


Figuur 3-6: Gassamenstelling experiment 9, co-vergassing gras en digestaat C

Uit de reeks testen die gedaan zijn met verschillende mengverhoudingen en verschillende brandstoffen, zijn test 7 en 9 de twee testen die aan de verwachtingen voldoen. Voor de vervolg test in de MILENA is een keuze gemaakt voor het digestaat afkomstig van vergisting van huisvuil.

3.2.3 Co-vergassing van huisvuil digestaat en gras in de MILENA

Voor de test in de MILENA is gekozen voor het digestaat van vergist huisvuil in combinatie met gras. De testduur is één dag waarop verschillende metingen uitgevoerd zijn. In Figuur 3-7 is de gassamenstelling gegeven die uit de MILENA komt. De test liep vrij stabiel tot 14:45, waarop een drukstijging in de rustkamer van de riser werd geconstateerd. Dit betekent dat de uitlaat van de vergasser dicht zat, waardoor het experiment na 6,5 uur is gestopt. De vergassing was stabiel rond 800°C en de verbranding rond 855°C. Vergassing van 100% gras laat al een agglomeratie bij 750°C binnen 2 uur zien [10].



Figuur 3-7: Gassamenstelling productgas en rookgas uit de MILENA

Op basis van deze testresultaten is een balans gemaakt, waarbij een door ECN ontwikkeld model is gebruikt om de massa en energie balans te berekenen. Uit dit model volgt het volgende resultaat. De droge gasconcentraties zijn gemeten en de natte volgen uit het model. Het model berekent vervolgens ook de hoeveelheid rookgas en stookgas.

Tabel 4: Samenstelling rookgas en productgas van de MILENA vergassingstest

Samenstelling productgas				Samenstelling rookgas			
		Nat	Droog			Nat	Droog
CO	[vol%]	10,9	18,3	O2	[vol%]	5,8	6,3
H2	[vol%]	8,9	15	CO2	[vol%]	9,6	10,6
CO2	[vol%]	23,8	40	N2	[vol%]	74	81,4
O2	[vol%]	0	0	Ar	[vol%]	0,9	1
H2O	[vol%]	40,5	-	H2O	[vol%]	9,1	-
CH4	[vol%]	5,2	8,8	Rookgas debiet	[nm3/h]	7,37	6,7
N2	[vol%]	4,8	8		[kg/h]	11,2	10,63
Ar	[vol%]	0,05	0,09				
C2H2	[vol%]	0,1	0,2	Warmte inhoud productgas			
C2H4	[vol%]	2,8	4,6	HHV	[kJ/nm3]	7669	12880
C2H6	[vol%]	0,2	0,4		[kJ/kg]	6710	9516
C6H6	[vol%]	0,4	0,7	LHV	[kJ/nm3]	7081	11893
C7H8	[vol%]	0,1	0,1		[kJ/kg]	6196	8787
Teer	[mg/nm3]	14000	23513				
Stookgas debiet	[nm3/h]	5,44	3,24				
	[kg/h]	6,21	4,38				

Met behulp van de balans over de vergasser zijn de gasdebieten bekend. Aan de hand van de analyses aan bedmateriaal, char (cycloonas van het productgas), as (cycloonas van het rookgas), voeding en het productgas is een balans te maken voor de verschillende elementen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van wat er in gaat en wat er uitkomt. De rookgas analyse is mislukt en zorgt ervoor dat de balans minder compleet is. De hieronder gepresenteerde balans is een indicatie, want het experiment is niet herhaald daar waar dit het werk betrouwbaarder en nauwkeurig zou maken. De opzet van het project was in eerste instantie bedoeld om de technische haalbaarheid van het co-vergassen aan te tonen. Onderstaande balans toont de componenten K, Na, P en Cl.

Tabel 5: Balans voor een aantal componenten tijdens de vergassing

IN	K	Na	Cl	P
	totaal (g)	totaal (g)	totaal (g)	totaal (g)
Gras	407	27	117	50
Digestaat	156	156	68	72
Bedzand voor	84	4	n/d	3
Totaal	646	187	185	124
Uit	K	Na	Cl	P
	totaal (g)	totaal (g)	totaal (g)	totaal (g)
Productgas	4	1	16	2
Char	81	25	n/d	27
Rookgas (mislukt)	-	-	-	-
As	34	11	n/d	9
Bedzand na	283	61	n/d	24
Totaal	403	97	16	63

De componenten balans is niet sluitend te maken voor kalium, natrium, chloor en fosfor (en voor andere ascomponenten evenmin). Het tijdstip waarop monsters genomen worden en de manier waarop kan de balans beïnvloeden. Vanwege het beperkte onderzoeksbudget is dit slechts 1 maal gedaan, maar toch laat Tabel 5 een aantal interessante dingen zien.

Allereerst is de afvangst van b.v. kalium, natrium en fosfor in de vaste fase hoog (as, char en bedzand). Het productgas bevat voor deze componenten minder dan 1% (1,6% voor fosfor). Dit terwijl chloor toch voor bijna 10% in het productgas terecht komt. Chloor kan in combinatie met kalium voor een zeer agressieve corrosie zorgen (vele malen erger dan HCl), maar kalium wordt goed weggevangen in de vaste fase. De redenatie hier is dat wanneer chloor vooral naar de gasfase gaat en kalium naar de vaste fase, dat de mogelijkheid op KCl kleiner wordt. Het wordt dan waarschijnlijker dat chloor als minder corrosief HCl in de gasfase terecht komt.

Fosfor wordt in dit experiment redelijk goed afgevangen in de char (productgas) en relatief weinig in de as van de combustor (net als K en Na). Echter, wanneer fosfor teruggewonnen dient te worden dan is het noodzaak dat hier geen koolstof bij meekomt. In de praktijk zal de char gerecirculeerd worden naar de combustor om volledig uit te branden, waarna de fosfor zich zal verdelen over het bed, het rookgas en over de as in het rookgas.

Eerdere experimenten [11] hebben al laten zien dat het kiezen van een andere vergassingstemperatuur invloed kan hebben op de verdeling van de as componenten over de gas en de vaste fase. Dit in combinatie met de mengverhouding van de brandstoffen is een mogelijkheid voor verdere fine-tuning van de vergasser voor optimale prestaties op het gebied van bruikbaar gas, minimale corrosie en minimale agglomeratie.

4. Conclusie

WOB experimenten laten zien dat het mogelijk is om bij de juiste keuze van digestaat en gras een significante verbetering te realiseren m.b.t. agglomeratie gedrag. Digestaat afkomstig van vergisting van huisvuil en vergist rioolslib hebben zijn beide kandidaten om co-vergassing mee te realiseren met gras.

Een test in de MILENA heeft laten zien dat de kwaliteit (energie inhoud) van co-vergassingsgas van gras en digestaat van een huisvuil vergister, hoog genoeg is om in een gasmotor te kunnen worden verbrand, mits de juiste reinigingstappen worden genomen. Voorts laat deze test na 6,5 uur op 800°C nog geen indicatie zien van agglomeratie.

Een voorlopige elementen balans laat zien dat corrosie versterkende elementen vooral in de vaste fase terecht komen en dus niet in het gas. Dit neemt niet weg dat bij de keuze van materiaal voor de vergasser hiermee wel rekening dient te worden gehouden.

Een element als fosfor lijkt zich vooral over de vaste fase te verdelen, wat mogelijkheden biedt om het op een eenvoudigere wijze terug te winnen uit het digestaat. Echter de balans in de gepresenteerde experimenten was met 50% ontbrekend niet goed. De keuze voor een indirecte vergasser, waar schone as uit komt, is wel logischer dan een directe vergasser, waar het aandeel onverbrand voor extra eisen zorgt.

De WOB test met varkensdigestaat was dermate slecht dat wordt afgeraden dit te vergassen. Analyses aan het digestaat laten zien dat de oorzaak zit in de extreem hoge concentratie elementen die zowel voor corrosie als voor agglomeratie kunnen zoeken. Door conventioneel te drogen blijven deze componenten in het digestaat, wat de toepasbaarheid voor vergassingsdoeleinden ongeschikt maakt. De droogstap is wat dat aangaat cruciaal voor alle digestaten.

Literatuur

1. S. Kavidass, G.L. Anderson and G. Norton: *Why Build a Circulating Fluidized Bed Boiler to Generate Steam and Electric Power* (2000).
2. K. Hemmes, R.W.R. Zwart, A.B.J. Oudhuis and H. van Hest: *Inzet van biomassa/afvalstromen in het droogproces van GIBO*, ECN-C--05-080, (2005).
3. L. Wang, C.L. Weller, D.D. Jones and M.A. Hanna: *Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production*. *Biomass and Bioenergy* 32 (7) 573-581 (2008).
4. J.N. Knudsen, P.A. Jensen and K. Dam-Johansen: *Transformation and Release to the Gas Phase of Cl, K, and S during Combustion of Annual Biomass*. *Energy Fuels* 18 (5) 1385-1399 (2004).
5. M. Bartels, W. Lin, J. Nijenhuis, F. Kapteijn and J.R. van Ommen: *Agglomeration in fluidized beds at high temperatures: Mechanisms, detection and prevention*. *Progress in Energy and Combustion Science* 34 (5) 633-666 (2008).
6. L.E. Fryda, K.D. Panopoulos and E. Kakaras: *Agglomeration in fluidised bed gasification of biomass*. *Powder Technology* 181 (3) 307-320 (2008).
7. H.J.M. Visser, S. van Lith and J.H.A. Kiel: *Agglomeration due to biomass ash-bed material interactions in fluidised bed reactors*. In: 12th European Conference on Biomass for Energy, 17-21 June 2002, Amsterdam, the Netherlands, (2002).
8. H.J.M. Visser: *The influence of fuel composition on agglomeration behaviour in fluidised bed combustion*, ECN, Petten, ECN-C-04-054 (2004).
9. A. van der Drift and C.M. van der Meijden: *Biomassa-mengsels, reductie van kosten en problemen bij CFB-vergassing door inzet van brandstofmengsels*, ECN, Petten, ECN-C--04-024 (2004).
10. L.P.L.M. Rabou, A. van der Drift, C.M. van der Meijden, B.J. Vreugdenhil, A. Bos, C. Lievens, R. Smit and R.W.R. Zwart: *BioGG Substituut aardgas (SNG) uit biomassa*, ECN-E--09-043, (2009).
11. B.J. Vreugdenhil: *Alkali distribution for low temperature gasification*, ECN, Petten, ECN-E--10-103, (2010).

Bijlage A: Samenstelling van de gebruikte brandstoffen

Parameter	EKO gras	DigA	DigB	DigC	Unit
As (550°C)	12,1%	14,9%	56,1%	26,3%	% dry
H ₂ O	11,4%	7,2%	2,3%	7,9%	% wet
Vluchtig	71,0%	64,9%	33,8%	62,7%	% dry
HHV	18574	17835	9127	17769	kJ/kg dry
C	44,1%	44,4%	22,4%	39,3%	% dry
H	5,6%	5,6%	2,7%	5,8%	% dry
N	2,5%	2,2%	1,4%	6,0%	% dry
O	35,6%	37,9%	19,0%	26,0%	% dry
Al	1630	994	17965	11535	mg/kg dry
Ca	9468	13850	48140	22995	mg/kg dry
Cl	6300	14578	3484	1097	mg/kg dry
Fe	1023	2132	19630	32149	mg/kg dry
K	21932	14233	8040	6301	mg/kg dry
Mg	1437	6660	9926	5733	mg/kg dry
Na	1457	15872	7793	1426	mg/kg dry
P	2698	11792	3688	34629	mg/kg dry
S	2200	5319	5517	11574	mg/kg dry
Si	6927	8200	98224	17196	mg/kg dry
As	1,4	< 1,2	7,3	12,7	mg/kg dry
B	19,8	46,7	63,6	31,0	mg/kg dry
Ba	11,6	37,4	389,8	229	mg/kg dry
Br	-	< 10	< 10	41,0	mg/kg dry
Cd	0,1	0,2	0,9	1,3	mg/kg dry
Co	0,3	19,3	18,6	5,3	mg/kg dry
Cr	3,3	12,0	70,7	31,8	mg/kg dry
Cu	6,2	68,2	85,7	368	mg/kg dry
F	-	19,0	485,0	145	mg/kg dry
Hg	-	-	-	0,3	mg/kg dry
Li	-	5,5	19,1	3,3	mg/kg dry
Mn	57,5	218	375,6	418	mg/kg dry
Mo	3,1	2,0	3,9	6,8	mg/kg dry
Ni	1,9	8,3	21,9	19,8	mg/kg dry
Pb	1,2	4,5	245,1	86,6	mg/kg dry
Sb	0,2	1,5	25,1	4,9	mg/kg dry
Se	1,1	< 1,2	2,9	4,2	mg/kg dry
Sn	0,2	< 0,53	12,9	20,1	mg/kg dry
Sr	32,3	42,1	193,5	212	mg/kg dry
Ti	55,2	40,0	1319,1	706	mg/kg dry
V	2,4	4,0	23,7	15,3	mg/kg dry
W	-	38,9	275,4	21,6	mg/kg dry
Zn	24,8	226	429,3	953	mg/kg dry