

BRANDERONDERZOEK**Ten behoeve van de verbranding van laag calorisch ammoniakrijk
biomassa stookgas**

Fred Verhoeff (ECN)
Christiaan van der Meijden (ECN)
Huub Ratering (HoST)
Erik de Kant (HoST)
Harrie Bos (Stork Thermeq)

Revisies		
A		
B		
Opgesteld door:	Goedgekeurd/vrijgegeven door:	ECN Biomassa
F. Verhoeff		
Geverifieerd door:		
J. Beesteheerde	H.J. Veringa	

Colofon

Project nummer: 2020-02-12-14-009.

Het onderhavige rapport beschrijft de resultaten van een project ingediend door ECN, HoSt en Stork Thermeq en uitgevoerd bij ECN met financiële ondersteuning vanuit het programma Duurzame Energie Nederland (DEN). Het DEN-programma wordt uitgevoerd door NOVEM (het huidige SenterNovem) in opdracht van het ministerie van Economische Zaken:

SenterNovem
P.O. Box 8242
NL-3503 RE UTRECHT
Tel: (+31) 30 239 34 93
Contactpersoon voor dit project: de heer dr. J. Daey Ouwens
Internet: www.senternovem.nl.

Novem geeft geen garantie voor de juistheid en/of volledigheid van gegevens, ontwerpen, constructies, producten of productiemethoden voorkomende of beschreven in dit rapport, noch voor de geschiktheid daarvan voor enige bijzondere toepassing. Aan deze publicatie kunnen geen rechten worden ontleend. Overname en publicatie van informatie uit dit rapport is toegestaan, op voorwaarde van bronvermelding.

Het onderzoek is uitgevoerd door:

Energieonderzoek Centrum Nederland
Westerduinweg 3
Postbus 1
1755 ZG PETTEN
Contactpersoon:
Ir. F. Verhoeff

HoST B.V.
Industrieplein 3
Postbus 920
7553 LL HENGELLO
Contactpersonen:
Ing. H. Ratering
Ir. E. de Kant

Stork Thermeq B.V.
Langelermaatweg 12
Postbus 33
7550 AA HENGELLO
Contactpersoon:
Ir. H.G. Bos

Datum rapportage: september 2004

SenterNovem
Catharijnesingel 59
P.O.Box 8242
NL-3503 RE Utrecht
the Netherlands

Verantwoording

Dit is het eindrapport van het project “Branderonderzoek t.b.v. de verbranding van laag calorisch ammoniakrijk biomassa stookgas”, ECN projectnummer 7.5223. Dit project is uitgevoerd door ECN, HoST en Stork Thermeq en mede gefinancierd door NOVEM, projectnummer: 2020-02-12-14-009.

Trefwoorden

Verbranden, gas, ammoniakrijk, laagcalorisch, kippenmest, vergassing

Abstract

In the Netherlands large quantities of chicken manure form an increasing disposal problem. A method to overcome this problem is to use this manure as an (CO₂ neutral) energy source. It is possible to gasify the manure, to cool and de-dust the product-gas and to burn the product-gas in a gas burner. The advantage of such a system over direct combustion of chicken manure is that gas cleaning is done before the combustion takes place. In that way, the gas volume is much smaller and solid particles are removed before they melt in the flame, thus preventing slagging and fouling problems in the boiler.

Up till now little is known about the combustion behaviour of low calorific NH₃-rich product-gas, originating from chicken manure. In this report the results are described of combustion tests performed with this product-gas in a special designed Low-Calorific-Gas-burner. The tests were executed in the laboratories of ECN, in cooperation with burner manufacturer Stork Thermeq and HoSt, Engineers and Consultants in Energy.

The test results show that efficient combustion of this gas is possible, but that under specific conditions flame stability can be a problem. Further, the results show that additional measures have to be taken with regard to SO₂-, NO_x-, chlorine- and dust emissions in order to meet the emission regulations in the Netherlands.

To promote flame stability it is recommended to install an adjustable air supply on the burner and to increase the product gas temperature and the combustion air temperature to a maximum.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	6
LIJST VAN FIGUREN	6
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	9
2. DOEL VAN HET ONDERZOEK	9
3. WERKWIJZE	9
4. BESCHRIJVING VAN DE TESTOPSTELLING	10
4.1 Algemeen	10
4.2 BIVKIN	10
4.3 Stookgaskoelers	11
4.4 Stookgasreiniging	11
4.5 De branderinstallatie	12
4.6 Meet- en regelsystemen	15
5. DE WERKING VAN DE BRANDER	16
5.1 Functionele test en inbedrijfname	16
5.2 Bedrijfservaringen met de brander tijdens de inbedrijfstellingsfase	17
5.3 Uitvoering van de brandertesten	18
5.3.1 Eerste testen met houtpellets (bruine pellets)	18
5.3.2 Eerste testen met kippenmest	19
5.3.3 Brandermodificaties	20
6. DE WERKING VAN DE GEMODIFICEERDE BRANDER	20
6.1 Testen met houtpellets (Wit)	20
6.2 Testen met kippenmest	21
7. ROOKGAS EMISSIES	22
7.1 Dioxinemetingen	23
7.2 “End of pipe” maatregelen	24
8. KETELVERVUILING	24
9. CONCLUSIES	25
10. AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK	26
BIJLAGE A RESULTATENOVERZICHT VAN DE BRANDERTESTEN	27
BIJLAGE B ANALYSEDATA VAN WITTE HOUT PELLETS, BRUINE HOUT PELLETS EN KIPPENMEST	28

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 4.1	<i>Ontwerpgegevens voor de brander en de vlampijpketel</i>	13
Tabel 6.1	<i>Invloed van de luchtverdeling over de brander op de emissies</i>	21
Tabel 6.2	<i>Samenstelling van het met stikstof verdunde stookgas op het moment dat de vlam doofde in vergelijking met de samenstelling van 100% kippenmestgas</i>	22
Tabel 7.1	<i>Overzicht gemeten emissies versus normgrenswaarden</i>	23

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 4.1	<i>BIVKIN vergasser installatie van ECN met branderinstallatie</i>	10
Figuur 4.2	<i>Foto van stookgaskoeler en luchttoevoer</i>	11
Figuur 4.3	<i>Foto van de cycloon</i>	11
Figuur 4.4	<i>Foto van de brander voordat hij in de ketel gemonteerd is</i>	12
Figuur 4.5	<i>Foto van de brander na inbouw in de ketel</i>	12
Figuur 4.6	<i>Warmwaterketel, gereed om afgeleverd te worden</i>	14
Figuur 4.7	<i>Schematische weergave van de brander</i>	14
Figuur 4.8	<i>Schema ketelwater temperatuur regeling</i>	16
Figuur 5.1	<i>Ketel koelwatersysteem na modificaties</i>	17
Figuur 8.1	<i>Foto van de vervuiling van de vlampijpen na de testen</i>	25
Figuur 8.2	<i>Foto van 1 ketelpijp, met losgemaakte aanslag</i>	25

SAMENVATTING

In Nederland wordt een grote hoeveelheid kippenmest geproduceerd. De afzet van deze mest vormt een steeds groter probleem. Een van de methoden om dit probleem op te lossen is, om de kippenmest als een CO₂-neutrale brandstof in te zetten voor de energieopwekking.

Bekend is dat het mogelijk is om kippenmest te vergassen, het productgas te koelen en te ontstoffen en om vervolgens het gas te verbranden in een gasbrander. Het voordeel van een dergelijk systeem in vergelijking met een systeem van directe verbranding is, dat de gasreiniging plaatsvindt voorafgaand aan de verbranding. Hierdoor is het te reinigen gas volume klein en zijn de vaste deeltjes uit de gasstroom verwijderd voordat ze in de vlam smelten en allerlei vervuilingproblemen in de ketel kunnen veroorzaken. Ook kan een standaard gasketel worden ingezet.

Tot nu toe is weinig bekend over het verbrandingsgedrag van laag calorisch, ammoniak rijk stookgas afkomstig van kippenmest. In dit rapport wordt verslag gedaan van testen die uitgevoerd zijn met een brander die speciaal voor kippenmestgas door Stork Thermeq (STQ), HoSt en ECN is ontworpen en door STQ is gebouwd. Het stookgas is geproduceerd in de bestaande circulerend wervelbed vergasser BIVKIN die op het terrein van ECN in Petten aanwezig is. De brander is geplaatst in een warmwaterketel die speciaal voor deze testen is aangeschaft.

De testresultaten laten zien dat het systeem -- kippenmest vergassen, gas koelen en ontstoffen en vervolgens het gas verbranden in een brander -- goed, betrouwbaar en met een hoog verbrandingsrendement kan werken, maar dat er aanvullende maatregelen genomen moeten worden met betrekking tot SO₂, NO_x, chloor en stof emissies. Dit, om aan de emissie-eisen voor “stand-alone” installaties voor de verbranding van vervuilde biomassa stromen te voldoen. Ook kan onder specifieke omstandigheden de vlamstabiliteit een probleem vormen. Aanbevolen wordt om bij een industriële brander de lucht beter instelbaar te maken. Daarnaast wordt verhoging van de stookgas- en verbrandingsluchttemperatuur aanbevolen. De verwachting is dat met een op die manier aangepaste brander 100% kippenmestgas stabiel verbrand kan worden.

1. INLEIDING

In Nederland is er een groot overschot aan kippenmest. Een methode om kippenmest nuttig toe te passen is om het te gebruiken als brandstof voor de opwekking van energie. Door kippenmest te vergassen in een vergassingsinstallatie, kan het omgezet worden in een stookgas. Dit stookgas kan (na beperkte afkoeling en reiniging) verbrand worden in een gasbrander, waarna met de vrijgekomen warmte heet water of stoom gemaakt kan worden die nuttig toegepast kan worden. Voordeel van dit systeem boven directe verbranding is dat reiniging van het gas kan plaatsvinden voordat het is verbrand. Hierdoor zijn de te reinigen gas volumes klein en is de vaste stof verwijderd voordat het in de vlam kan smelten en allerlei problemen in de ketel kan veroorzaken. Het gas kan goed gecontroleerd worden verbrand, waardoor naar verwachting problemen rond CO-, NO_x- en dioxinevorming kunnen worden vermeden. Ook kan een standaard gasketel worden ingezet.

Vanwege de beperkte technische risico's, relatief lage investering en het hoge thermische rendement is een dergelijk systeem het meest veelbelovend voor decentrale toepassingen op de korte termijn, op locaties waar een biomassa afvalstroom zoals kippenmest beschikbaar is en waar voldoende warmtevraag is.

2. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Ondanks de relatieve eenvoud van een gecombineerd vergassing/verbranding systeem bestaan er nog steeds technische vragen, die onderzocht dienen te worden. We noemen:

- Is het geproduceerde stookgas voldoende stabiel te verbranden, ook als het om relatief natte laag calorische brandstoffen gaat zoals bij kippenmest of als de stookgassamenstelling sterk varieert?
- Is het mogelijk om, ondanks de hoge NH₃ concentraties in het kippenmest stookgas, het stookgas zo te verbranden dat aan de NO_x emissie eis kan worden voldaan?
- Is dioxine vorming een probleem?
- Geven de resterende concentraties aan fijn stof in het stookgas problemen in de water/stoom ketel na de brander en wordt het koolstof in de as volledig verbrand?

Doel van het onderzoek is om op bovenstaande vragen een antwoord te vinden.

3. WERKWIJZE

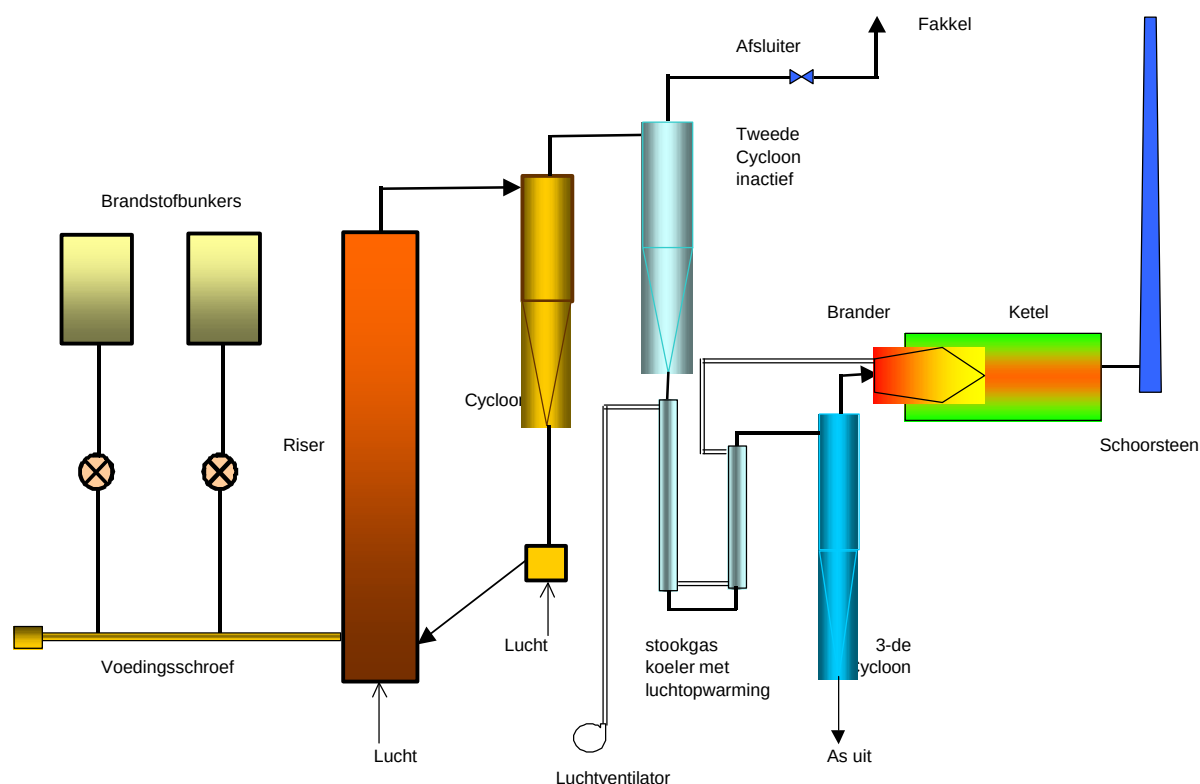
Achter de bestaande ECN biomassa vergasser (BIVKIN), koeler en stofreiniging (dmv een cycloon) is een nieuwe warmwaterketel geplaatst met een brander, welke speciaal voor laag calorisch, ammoniak rijk gas is ontworpen. Deze configuratie is getest met "normaal" stookgas van houtpellets en met laag calorisch kippenmestgas. Tijdens de testen is het werkgebied van de brander onderzocht en zijn de relevante rookgaszijdige emissies gemeten (SO₂, NO_x, CO, C_xH_y, O₂, CO₂, e.d.). De resultaten worden gerapporteerd in een vertrouwelijk en een openbaar eindrapport.

4. BESCHRIJVING VAN DE TESTOPSTELLING

4.1 Algemeen

De experimenten zijn uitgevoerd in de ECN biomassa vergassingsinstallatie BIVKIN (**BI**omassa **V**ergassings- en **K**arakteriserings-**I**nstallatie). De BIVKIN is een atmosferisch bedreven circulerend wervelbed vergassingsinstallatie met een maximale thermische capaciteit van 500 kW_{th}.

In Figuur 4.1 wordt schematisch de testopstelling weergegeven zoals die bij ECN staat opgesteld. In het kader van dit onderzoeksproject zijn de in de figuur aangegeven “brander”, “ketel” en “schoorsteen” aan de installatie toegevoegd. De rest van de apparatuur was reeds bij ECN aanwezig of is recent geplaatst (stookgaskoelers, derde cycloon).



Figuur 4.1 BIVKIN vergasser installatie van ECN met branderinstallatie

4.2 BIVKIN

De BIVKIN van ECN wordt gebruikt voor de productie van stookgas uit biomassa. Het is een atmosferische circulerend wervelbed vergasser van nominaal 500 kW_{th} (bij ongeveer 100 kg/h brandstof voeding). De BIVKIN is ontworpen voor een productie van 200 m³/h (nat) stookgas.

De BIVKIN bestaat uit meerdere voedingsbunkers, een reactorvat (riser) met brandstof-, lucht-, zuurstof-, stikstof- en stoomtoevoer, een circulatieloop met cycloon en loop-seal, een tweede cycloon voor het afvangen van as en een fakkels. Met BIVKIN zijn in het verleden testen uitgevoerd met o.a. wilg, beuk, meranti, sloophout, vers hout, bermgras, plaatmateriaal, sloophout / rioolslib, sloophout / papier-residuslib, stro, cacao- en zonnebloemschilfers.

Tot nu toe is BIVKIN zodanig bedreven dat de tweede cycloon as afvangt dat (als regel) via kleppen onder de cycloon uit de installatie wordt afgevoerd. Deze situatie is voor aanvang van dit project gewijzigd. De tweede cycloon en de fakkels zijn nu niet meer actief: het stookgas verlaat met de as de tweede cycloon aan de onderkant, waardoor de cycloonwerking verloren gaat. Alle as die met het stookgas mee de eerste cycloon verlaat, gaat met de stookgasstroom mee onder uit de tweede cycloon

en gaat vervolgens door naar de koelers, waarin het stookgas wordt afgekoeld en lucht wordt opgewarmd.

4.3 Stookgaskoelers

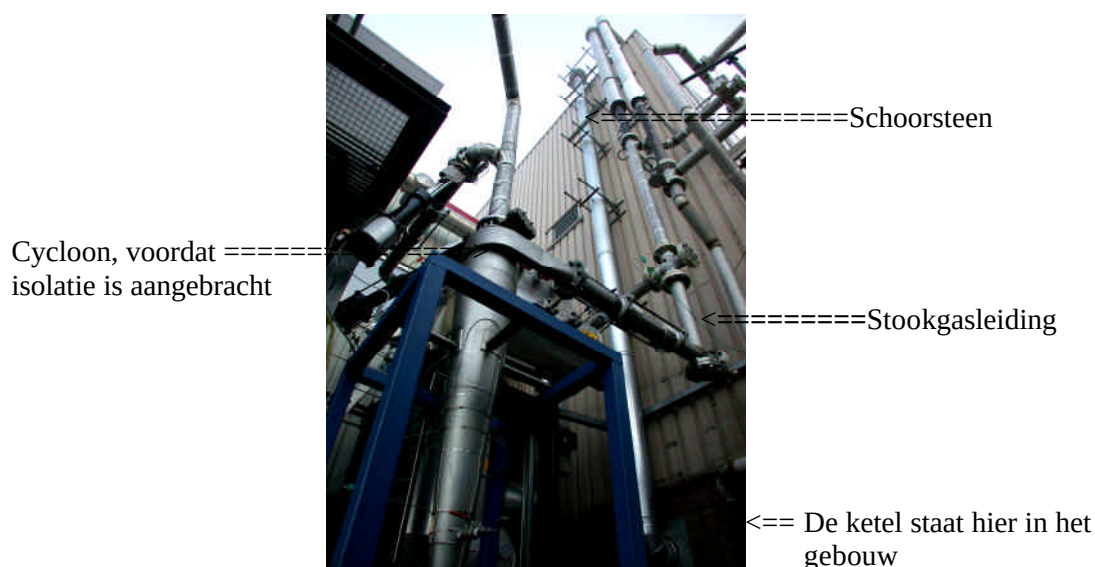
Het stookgas wordt in stookgaskoelers afgekoeld tot globaal 300 °C. Dit gebeurt in pijpen waar omheen koude lucht stroomt.

De koellucht wordt door middel van een ventilator op druk gebracht en in meestroom met het stookgas aan de koeler toegevoerd. De hete lucht die de koeler verlaat heeft een temperatuur die ongeveer 50 °C onder de stookgastemperatuur ligt. Deze hete lucht wordt aan de brander toegevoerd, waar zij dienst doet als verbrandingslucht voor het stookgas.



Figuur 4.2 Foto van stookgaskoeler en luchttoevoer

4.4 Stookgasreiniging



Figuur 4.3 Foto van de cycloon

Nadat het stookgas is afgekoeld, gaat het gas naar een cycloon, waar de vliegas uit de stookgasstroom wordt verwijderd. Een foto van de cycloon is gegeven in Figuur 4.3.

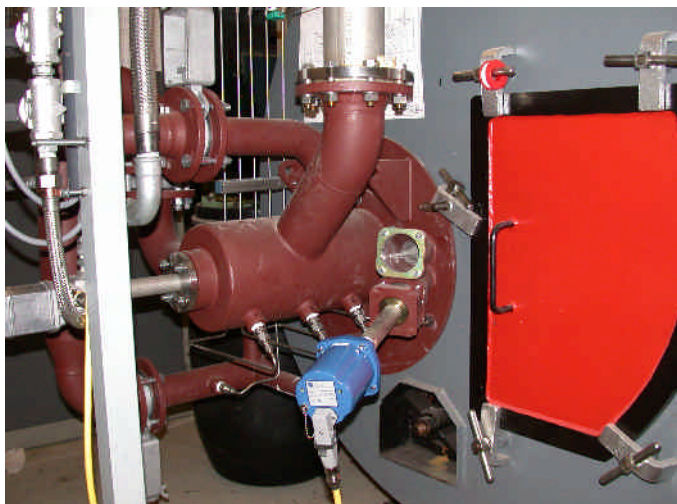
Nadat het stof uit het stookgas is verwijderd wordt het naar de brander gevoerd.

4.5 De branderinstallatie

Het afgekoelde en van stof ontdane stookgas wordt in de brander samengebracht met de uit de koeler afkomstige hete lucht. Foto's van de brander zijn gegeven in de Figuren 4.4 en 4.5.



Figuur 4.4 Foto van de brander voordat hij in de ketel gemonteerd is



Figuur 4.5 Foto van de brander na inbouw in de ketel

De ontwerpcondities voor de brander en ketel met toebehoren zijn gegeven in Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Ontwerpgegevens voor de brander en de vlampijpketel

		houtpellets	Kippenmest
Temperatuur rookgas uit schoorsteen	°C	180	180
Luchtvermaat	-	1,3	1,3
Gasdebiet	Nm ³ /h	197	191
Luchttemperatuur	°C	300	300
Gastemperatuur	°C	325	325
Cp lucht	kJ/kgK	1,29	1,29

Gassamenstelling			
CO	vol%dr	14,90	5,70
H ₂	vol%dr	11,50	9,30
CO ₂	vol%dr	15,90	20,00
CH ₄	vol%dr	4,20	1,74
C ₂ H ₄	vol%dr	1,20	0,76
C ₂ H ₆ incl. restant CxHy	vol%dr	0,50	0,32
N ₂ incl. rest	vol%dr	51,80	59,40
H ₂ O	vol%	17,00	28,00
NH ₃	ppm dry	1500 - 2000	20000 - 40000
H ₂ S	ppm	-	100 - 800
HCl	mg/Nm ³	-	10
Teren	g/Nm ³	5-12	5-12
Stofconcentratie	mg/Nm ³	1.500	2.500
Low Caloric Value (dry)	MJ/Nm ³	6,10	3,15

Luchthoeveelheid			
Debiet	Nm ³ /h	273	140

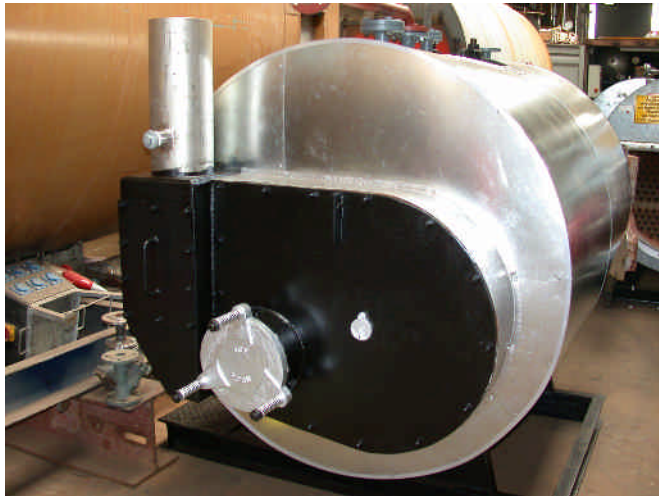
Rookgassamenstelling			
CO ₂	vol%	14,0%	12,6%
H ₂ O	vol%	16,1%	24,9%
O ₂	vol%	2,9%	2,1%
N ₂	vol%	66,9%	60,4%
Arg	vol%	0,0%	0,0%
Totaal	vol%	100,0%	100,0%

Rookgashoeveelheid			
Rookgasdebiet	kg/s	0,16	0,11
	Nm ³ /s	0,12	0,09
Dichtheid	kg/m ³	1,28	1,23

Energie naar brander (15°C ref. temperatuur)			
Verbrandingswaarde gas	kW	257	115
Voelbare warmte gas	kW	26	25
Voelbare warmte verbrandingslucht	kW	36	18
Netto energie naar brander met lucht en gas	kW	319	158
Gemiddelde berekende Cp	kJ/kg.K	1,33	1,33

Bepaling temperatuur rookgas			
Cp rookgas	kJ/kg.K	0,21	0,14
Adiabatische temperatuur rookgas uit brander	°C	1.541	1.110
Temperatuur rookgas uit schoorsteen	°C	180	180
Warmteoverdracht in ketel	kW	284	134
Ketelrendement		89%	85%

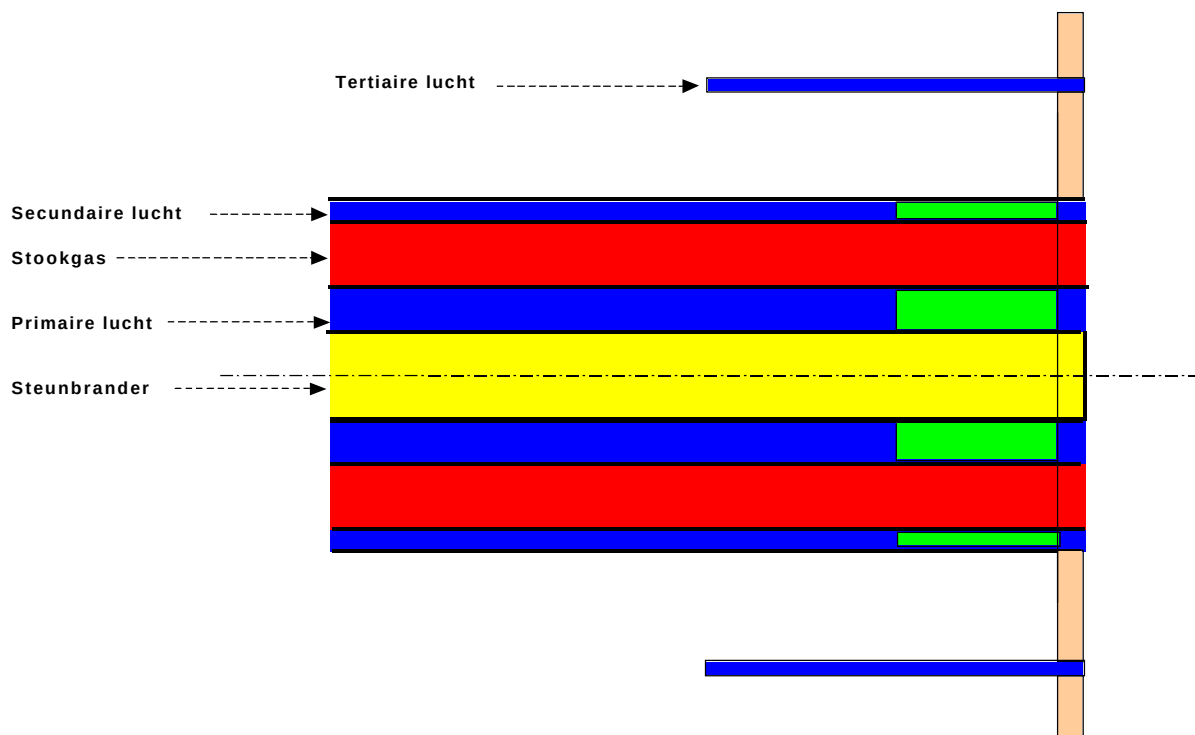
De brander is geplaatst in een heetwaterketel (Figuur 4.6). De bij de verbranding vrijkomende warmte wordt in de ketel aan het water overgedragen, waardoor de watertemperatuur stijgt naar 95 °C. Het hete water wordt door middel van luchtkoelers aan de buitenlucht afgekoeld en opnieuw aan de ketel toegevoerd (gesloten watersysteem). Een ketelwater regelsysteem zorgt er voor dat de ketel op een constante temperatuur en druk wordt bedreven.



Figuur 4.6 Warmwaterketel, gereed om afgeleverd te worden

De brander is geplaatst voor de vuurgang van de vlampijpketel (niet zichtbaar op de foto). In de vuurgang vindt de uitbrand plaats. Via een keerkast komen de rookgassen in de vlampijpen van de ketel, waar ze worden afgekoeld tot 180 °C. Ze verlaten het systeem via de schoorsteen naast het ketelhuis (zie Figuur 4.3).

De brander is schematisch weergegeven in Figuur 4.7.



Figuur 4.7 Schematische weergave van de brander

In het centrum van de brander bevindt zich de steunbrander. Deze aardgasgestookte steunbrander is altijd in bedrijf en zorgt er voor dat er altijd een ontstekingsbron aanwezig is.

Lucht wordt op drie niveaus in de brander gebracht: primaire lucht, secundaire lucht en tertiaire lucht. Door middel van kleppen in de luchttoevoer kan de luchtverdeling over de brander ingesteld worden. Door het getrapt toevoeren van de verbrandingslucht wordt bij de brandermond een

reducerend milieu gecreëerd waardoor NO_x vorming wordt tegengegaan. Dit is vooral van belang bij het verstoken van kippenmest gas, omdat daar veel NH_3 inzit, wat zonder nadere maatregelen tot een hoge NO_x uitstoot zou leiden.

4.6 Meet- en regelsystemen

Verzameling meetgegevens

In de vergasser, de koelers en het brandersysteem worden op tientallen posities de temperatuur en de druk gemeten. Bij de vergasser wordt ook het gewicht van de voedingbunker gemeten en het debiet van lucht en N_2 naar de vergasser, de sealpot en de voedingsschroef. Van het stookgas worden de concentraties aan C_xH_y , CO , CO_2 , H_2 en O_2 bepaald (op basis van droog gas). In de uitlaat van de ketel worden de concentraties O_2 , CO_2 , CO , C_xH_y , SO_x , NO , NO_2 en NO_x gemeten. Voor NO_x wordt het resultaat in mg/m_n^3 berekend met het molecuulgewicht van NO_2 . Voor C_xH_y is het resultaat in ppm een maat voor het aantal koolstofatomen, dus voor CH_2 .

Alle hierboven genoemde meetgegevens worden elke minuut automatisch opgeslagen. De overige componenten in het stookgas en het rookgas (NH_3 , H_2S , COS , Teer, stof, HF , zware metalen) worden een paar keer per dag bepaald via analyse achteraf. Het gehalte aan stof in het stook- en rookgas wordt bepaald uit de gewichtstoename van een filter waar een bekende hoeveelheid gas door heen is geleid. Voor de bepaling van NH_3 wordt een bekende hoeveelheid stookgas door een wasfles geleid met een vloeistof die NH_3 bindt. De hoeveelheid NH_3 in de wasvloeistof wordt later geanalyseerd. Voor teer wordt de SPA methode gebruikt. Dit houdt in dat een vast volume stookgas door een absorbeermiddel wordt geleid. De teersamenstelling en teerhoeveelheid wordt met behulp van een gaschromatograaf achteraf bepaald. Voor de bepaling van het dioxinegehalte in het rookgas zijn een beperkt aantal monsters genomen met behulp van zgn. "PUF-Plugs" welke in een gecertificeerd extern laboratorium op dioxine zijn geanalyseerd.

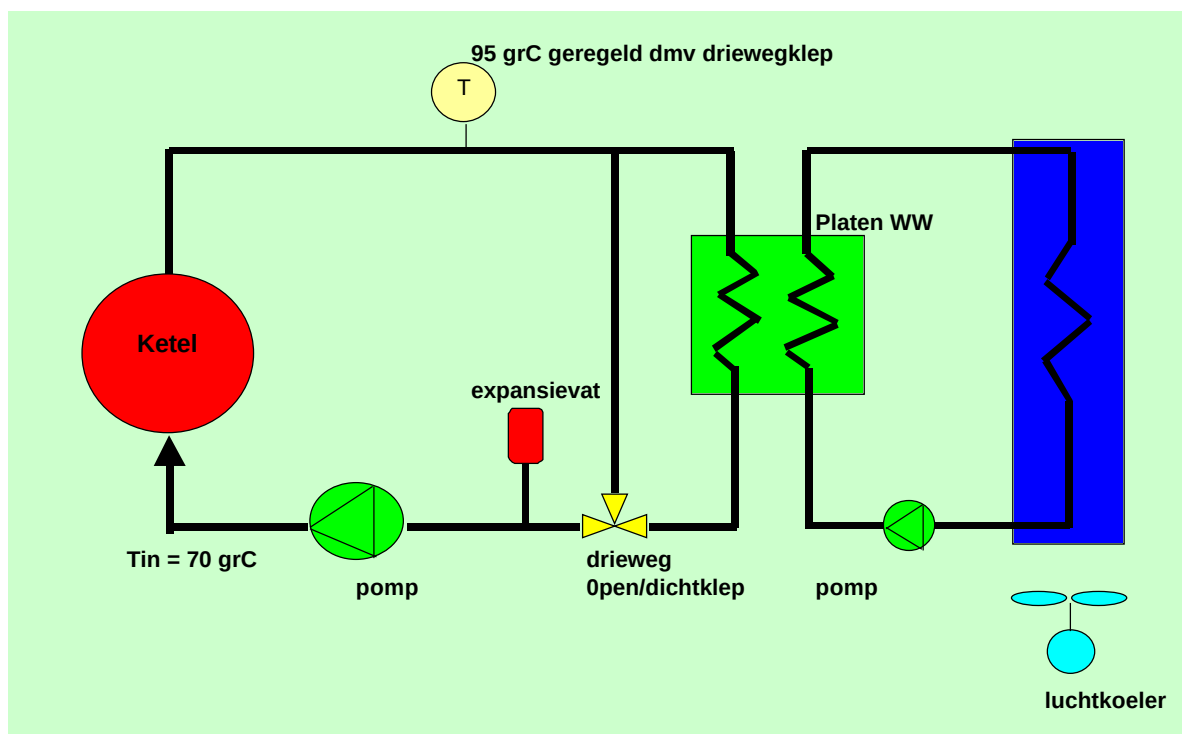
Regeling vergasser

De gegevens over temperatuur, druk, gewicht voedingsbunkers en belangrijke componenten in het stookgas zijn voor de operators van de vergasser direct zichtbaar of opvraagbaar op een computerscherm. Voor een groot aantal parameters zijn grenswaarden in te stellen. Overschrijding van die grenswaarden leidt tot een waarschuwing op het computerscherm of (bij potentieel gevaar) tot direct afschakelen van de installatie of een deel daarvan. Voor het geval dat deze beveiliging niet of niet snel genoeg werkt, is de vergasser apart beveiligd tegen overdruk door middel van een breekplaat.

Op basis van de gegevens over druk en temperatuur beslist de operator van de vergasser of het debiet aan brandstof, lucht of N_2 naar de vergasser moet worden veranderd, of dat bedmateriaal (zand) moet worden aangevuld. De vergasser werkt normaal dus met een handmatige regeling. Er is ook een automatische regeling voor bedrijf onder verbrandingscondities. Die is bedoeld om de vergasser op temperatuur te houden gedurende korte perioden tussen vergassingstests of als hij 's nachts onder verbrandingscondities doordraait.

Ketel regeling

De gegevens over temperatuur en druk van de heetwaterketel zijn voor de operators direct zichtbaar of opvraagbaar op een computerscherm. De meeste gegevens zijn ook lokaal op een laptop en op bedrijfsinstrumenten af te lezen. De ketelwatertemperatuur wordt geregeld door een systeem met een circulatiepomp, kleppen en luchtkoelers. Stijgt de ketelwatertemperatuur boven een ingestelde waarde, dan gaat automatisch de open/dicht driewegklep naar de luchtkoeler open en circuleert het water via de luchtkoeler, waar het afkoelt. Een schema van deze regeling is gegeven in Figuur 4.8. De ketel is d.m.v. een temperatuurbewaking tegen overdruk en te hoge temperaturen beveiligd.



Figuur 4.8 Schema ketelwater temperatuur regeling

Branderregeling en beveiliging

De brander is beveiligd door middel van een flamerod in de steunbrander. De steunbrander moet altijd in bedrijf zijn voordat stookgas aan de brander kan worden toegevoerd. Ook moet er altijd voldoende lucht aan de brander worden toegevoerd om het gas te verbranden. Dit wordt bewaakt door de luchthoeveelheid naar de brander te meten door middel van een venturi in de luchtleiding na de ventilator. De luchthoeveelheid wordt met de hand ingesteld met een klep bij de ventilator.

De luchtstroom wordt in drieën gesplitst voordat hij naar de brander gaat. De verdeling van de lucht gebeurt door middel van handinstelbare kleppen in de luchtleidingen. De verdeling van de lucht over de brander wordt bepaald door middel van drukmetingen over de brander.

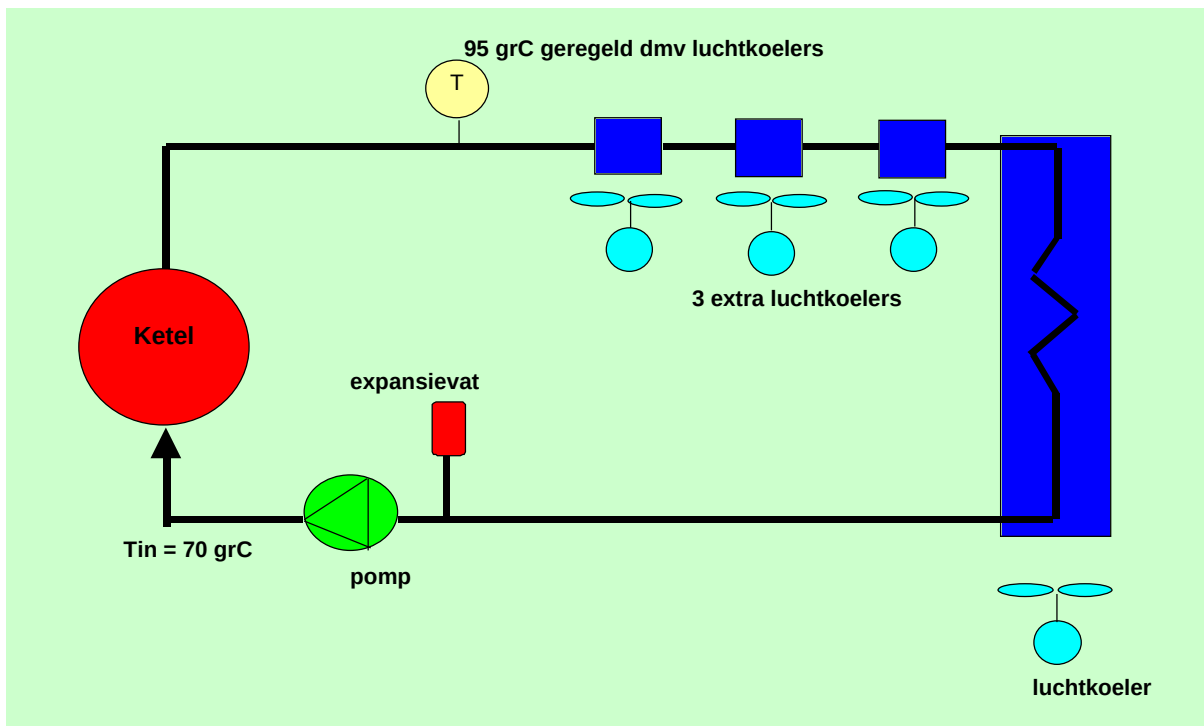
5. DE WERKING VAN DE BRANDER

5.1 Functionele test en inbedrijfname

De ketel en de brander zijn compleet bij ECN afgeleverd. Na plaatsing en aansluiting van de brander en de ketel is een aantal testen uitgevoerd om de goede werking te controleren. Achtereenvolgens is een lektest, een functionele test en een serie operationele testen uitgevoerd. Tijdens de lektest is waar mogelijk de installatie op lichte overdruk gebracht en is gecontroleerd of alle onderdelen van de installatie naar behoren gemonteerd en dicht waren. Alleen rond de brander werd enige lekkage geconstateerd. Dit is verholpen. Vervolgens is het systeem functioneel getest om te controleren of alles mechanisch naar behoren functioneerde, alle kleppen schakelden en de beveiligingen goed werkten. Na enige aanpassingen (o.a. aarding van de ketel om de waterniveaubeveiliging op de ketel goed te laten werken) is ook dit akkoord bevonden waarna de steunbrander is ontstoken. Hierdoor werd de ketel opgewarmd en de bemetseling uitgestookt. Al snel was duidelijk dat de warmteafvoer uit de ketel niet goed functioneerde: het rondgepompte water werd niet voldoende afgekoeld, waardoor de ketelwatertemperatuur bleef stijgen en de druk in de ketel hoger dreigde te worden dan is toegestaan. Op dat moment moest de installatie worden uitgeschakeld. Hierdoor kon geen stabiel

bedrijf gevoerd worden en moest eerst de oorzaak van de te geringe warmteafvoer worden weggenomen.

Door Figuur 5.1 te vergelijken met Figuur 4.8 is te zien hoe het warmteafvoersysteem is gemodificeerd om er voor te zorgen dat er wel voldoende warmte kon worden afgevoerd.



Figuur 5.1 *Ketel koelwatersysteem na modificaties*

5.2 Bedrijfservaringen met de brander tijdens de inbedrijfstellingsfase

Na (maar ook tijdens) het oplossen van bovengenoemde problemen is onderzocht hoe de brander functioneerde. Daarbij werd het volgende geconstateerd:

- De verbrandingslucht wordt als primaire, secundaire en tertiaire lucht aan de brander toegevoerd. De luchtverdeling is te regelen met kleppen. Dit werkt naar tevredenheid.
- Zodra er lucht op de brander staat is de steunbrander goed te starten en te stoppen, maar door heftige turbulentie in de vlam is de steunvlam onrustig en niet blauw (zoals verwacht werd), maar blauw met gele tongen. De vlam brandde minder stabiel dan gewenst en viel soms uit, wat een keteltrip veroorzaakte. Om de stabiliteit van de steunbrander te vergroten is de steunbrander verplaatst. Dit heeft iets geholpen, maar verdere optimalisatie bleef gewenst.
- BIVKIN wordt in de verbrandingsmode opgestart. Tijdens het opstarten wordt er dus rookgas aan de brander toegevoerd en geen stookgas. Als BIVKIN op temperatuur gekomen is wordt de luchtstroom naar BIVKIN teruggenomen en de brandstoftoevoer vergroot. Hierdoor ontstaat er een groot tekort aan zuurstof in BIVKIN en de brandstof wordt omgezet in een brandbaar gas. Dit omschakelen van rookgas naar stookgas veroorzaakt grote veranderingen van het stromingspatroon en de gassamenstelling in de vlam. Deze veranderingen waren zo groot en snel dat de vlam vaak doofde. Dit probleem kon omzeild worden door tijdens het overschakelen het rook/stookgas via de fakkelt van BIVKIN af te fakkelen. Zodra BIVKIN goed in de vergassingsmode in bedrijf is, wordt de klep na de derde cycloon geopend en enige tijd later de fakkeltklep gesloten, zodat er (voor de brander) een vloeiende overgang is van rookgas naar stookgas, wat het probleem oploste.
- Zodra de brander op stookgas brandt, verandert de kleur van de vlam van een blauwachtige aardgaskleurige vlam (afkomstig van de steunbrander) naar een oranje/gele vlam (qua uiterlijk een beetje vergelijkbaar met een olievlam).

- Stopt men de tertiaire luchttoevoer, dan trekt de vlam zich terug in de branderkeel en wordt de vlam helderder en heter.
- Vergroting van de tertiaire luchthoeveelheid (terwijl de primaire en secundaire lucht wordt verminderd) heeft het tegenovergestelde effect: de vlam wordt roder en donkerder (lagere temperatuur).
- Verandert men de luchtverdeling naar de brander, dan heeft dit grote invloed op de NO_x emissie. De invloed op de overige emissies is gering. Hier wordt in het hoofdstuk 4.3 nader op ingegaan.
- Na enige tijd liep de stookgaszijdige drukval over de brander sterk op. Dit leidde tot een te hoge druk in BIVKIN en moest de brander uit bedrijf genomen worden. Inspectie leerde dat het stookgaskanaal in de brander bijna verstopt was door aangekoekte as. De brander is daarop zodanig gewijzigd dat het verstoppingprobleem werd opgelost.
- Onder bepaalde condities traden er drukpulsaties op in de lucht- en rookgaskanalen en de vlampijpketel. Dit heeft tot schade aan de schoorsteen geleid, waardoor de schoorsteen moest worden vervangen. De drukpulsaties werden voor het eerst geconstateerd tijdens de proeven met kippenmest.

5.3 Uitvoering van de brandertesten

Na de inbedrijfstellingsfase zijn er metingen uitgevoerd om de werking van de brander te demonstreren tijdens het verstoken van gas afkomstig van houtpellets en van kippenmest.

Doel van deze brandertesten is:

- Gegevens genereren met betrekking tot de invloed van de luchtverdeling over de brander op de brander performance.
- Het inregelen van de brander, zodat een stabiele vlam wordt gecreëerd en optimale emissies worden bereikt onder houtgas en kippenmestgas condities.
- Het vaststellen van deze emissies onder hout- en kippenmestgas bedrijf.
- Nagaan in hoeverre de ketel vervuult na de beperkte testen.

In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan over de resultaten van deze metingen.

5.3.1 Eerste testen met houtpellets (bruine pellets)

In week 45 en 46, 2003 zijn proeven uitgevoerd met het verstoken van gas afkomstig van bruine houtpellets (zgn. bruine Labee). Voor de brandstofanalyse wordt verwezen naar de Bijlage B.

Allereerst is de relatie vastgesteld tussen de drukval over de brander en het verbrandingslucht debiet door de primaire, secundaire en tertiaire lucht toevoeren van de brander. Deze relaties worden gebruikt om de luchtverdeling over de brander te bepalen.

Op 7 november 2003 is een indicatieve meetserie uitgevoerd waarbij de luchtverdeling over de brander is gevarieerd. Dit om de invloed hiervan op de NO_x emissie te onderzoeken. Het resultaat laat zien dat de NO_x emissie sterk beïnvloed wordt door de luchtverdeling. De NO_x emissie varieerde tussen 550 en 1400 ppm, waarbij de hoogste waarde werd bereikt in de situatie dat er bijna geen tertiaire lucht aan de brander wordt toegevoerd. De laagste waarde werd bereikt als er maximaal tertiaire lucht wordt toegevoerd. Dit komt overeen met de verwachtingen. Als erg veel tertiaire lucht wordt toegevoerd is er bij de brandermond een zuurstof tekort. Door de hoge temperaturen en het gebrek aan zuurstof ter plaatse wordt de gevormde NO_x weer afgebroken tot N₂.

Op 12 november is de installatie relatief stabiel in bedrijf geweest onder deellast condities. (De steunbrander was uitgeschakeld, zodat de warmteontwikkeling met ongeveer 30 kW daalde. Tevens was de BIVKIN teruggenomen naar ongeveer 90% belasting (6 m/s lineaire gassnelheid i.p.v. 7 m/s). Onder deze condities bleef het ketelwater ongeveer 100 °C (want op dat moment waren de problemen met de warmteafvoer nog niet opgelost).

De gemiddelde proceswaarden over de stabiele periode (18:45 tot 23:11) zijn gegeven in Bijlage A, kolom 1. De stookgassamenstelling kon gedurende deze periode niet gemeten worden vanwege problemen met de monsternamen.

Op 26 november is de brander de gehele dag op bruine houtpellets in bedrijf geweest. Gedurende de dag is de luchtverdeling over de brander gevarieerd en de luchtvermaat gewijzigd. Ook is die dag de installatie 3 uur lang onder stationaire condities bedreven. De gemiddelde proceswaarden over deze stabiele bedrijfsperiode zijn vermeld in Bijlage A, kolom 2. Tijdens deze periode stond de secundaire luchttoevoer geheel gesloten en de primaire en tertiaire lucht helemaal open.

Constateringen met houtpellet testen

- De onverbrand verliezen bij houtbedrijf zijn zeer laag (zowel CO als $C_xH_y < 20$ ppm).
- Zolang het zuurstofpercentage in de rookgassen hoger blijft dan 2% heeft de luchtvermaat geen noemenswaardige invloed op de NO_x emissie of de overige emissies van de brander.
- De NO_x concentratie bij houtpellet bedrijf is rond 500 ppm. De laagste NO_x concentraties worden verkregen bij minimale primaire en secundaire lucht (70% van stoichiometrisch) en rest tertiair.
- Als de tertiaire luchttoevoer wordt gesloten stijgt de NO_x naar 2000 ppm of hoger. Tertiaire lucht heeft dus grote invloed op de NO_x vorming.
- Tijdens de testen werd een NO_x reductie van 75% gedemonstreerd, alleen door wijzigingen in de luchtverdeling naar de brander.
- De SO_x concentratie komt met 54 vppm dry overeen met de verwachte waarde gebaseerd op H_2S metingen in het stookgas.

5.3.2 Eerste testen met kippenmest

In week 48 is de brander beproefd op stookgas afkomstig van kippenmest (voor een analyse: zie Bijlage B). Ondanks het feit dat het stookgas van redelijk goede kwaliteit was ($CH_4 = 2$, $CO = 9$, $H_2 = 8$ en $CO_2 = 17$ vol%dr.) wilde de brander niet op dit gas ontsteken en stabiel branden.

Daarom is, na experimenten met het langzaam verhogen van de kippenmesthoeveelheid, besloten om een meting te doen met een mengsel van 60% kippenmest en 40% witte houtpellets. Bij een hoger percentage kippenmest werd de brander instabiel en ging hij uit. Ook ontstonden er onder die omstandigheden drukpulsaties in de ketel en de schoorsteen, wat doordraaien belemmerde.

Op 28 november 2003 is gedurende 4 uur 60% kippenmest/40% witte houtpellets verstoekt en zijn de instellingen niet gewijzigd, zodat onder stabiele omstandigheden metingen uitgevoerd konden worden. De resultaten zijn in Bijlage A, kolom 3 gegeven.

Constateringen met kippenmest testen

- De steunbrander blijft regelmatig uitvallen. Deze brandt niet stabiel genoeg en zal verbeterd moeten worden.
- Met de geteste branderuitvoering was geen stabiel bedrijf op 100% kippenmest te realiseren. Wel brandde hij goed op 60% kippenmest, 40% houtpellets.
- Bij hogere mengverhoudingen aan kippenmest werd de brander instabiel en ging pulseren. De drukvariaties hebben waarschijnlijk de schoorsteenschade veroorzaakt die tijdens een latere inspectie is geconstateerd.
- De SO_x concentratie tijdens kippenmest bedrijf (gemengd met houtpellets) bedraagt ongeveer 300 mg/Nm^3 (11% O_2) en komt daarmee overeen met de verwachte waarde gebaseerd op H_2S metingen in het stookgas.
- De samenstelling van het stookgas geproduceerd tijdens 100% kippenmest vergassing was beter dan verwacht. De reden hiervoor was de relatief lage as- en vocht concentratie. Ondanks deze relatief goede gassamenstelling kon de brander niet ontstoken worden op dit gas. Een mogelijke

oorzaak hiervoor kan zijn de lagere lucht- en stookgastemperatuur voor de brander. Beide temperaturen lagen globaal 50 °C beneden de ontwerpwaarde.

5.3.3 Brandermodificaties

Na de eerste meetseries is besloten om de brander te modificeren. Dit omdat:

1 De steunbrander regelmatig uitviel

De steunbrander viel regelmatig uit bij het overschakelen van verbrandingsbedrijf op vergassingsbedrijf. Het omschakelen van rookgas naar stookgas veroorzaakte grote veranderingen in het stromingspatroon en de gassamenstelling van de vlam. Deze veranderingen waren zo groot en snel dat de vlam vaak doofde. Bij de BIVKIN testopstelling kan men tijdens het opstarten gebruik maken van een fakkel. In een industriële installatie zal er echter in het algemeen geen fakkel beschikbaar zijn.

De steunbrander viel ook tijdens normaal bedrijf regelmatig uit, waardoor een brandertrip volgde. Modificatie van de steunbrander was daarom noodzakelijk om tot een betrouwbare branderinstallatie te komen.

2 De brander stabiliteit verbeterd moest worden

Het was niet mogelijk om de brander te bedienen op 100% kippenmestgas, ondanks de relatief goede samenstelling van het stookgas dat geproduceerd werd met de gebruikte kippenmest (de mest bevatte relatief weinig as en vocht). Bij meer dan 60 à 80% kippenmest ging de brander uit.

De brander is daarom uit de ketel gehaald en op de volgende punten aangepast:

- De instroming van het stookgas in de brander is gewijzigd.
- De steunbrander is verplaatst.
- De brandermond is aangepast.

Na het aanbrengen van deze modificaties is in week 13 van 2004 een nieuwe proevenserie uitgevoerd.

6. DE WERKING VAN DE GEMODIFICEERDE BRANDER

Na de modificatie van de brander bleek de stabiliteit van de vlam aanzienlijk verbeterd te zijn. De steunbrander had een veel strakkere, meer stabiele vlam en de brander kon tijdens de overgang van verbrandingsmode naar vergassingsmode zonder problemen in bedrijf gehouden worden; dit was met de niet gemodificeerde brander niet gelukt.

6.1 Testen met houtpellets (Wit)

De proevenserie is begonnen met het vergassen van 100% witte hout pellets (zgn. witte Labee pellets; voor samenstelling zie Bijlage 2). Op deze pellets was de brander probleemloos te bedienen. Er ontstond echter in de vergasser een ophoping van koolstof in het asterugvoersysteem, waardoor *de vergasser* door temperatuurfluctuaties uit bedrijf dreigde te gaan. Op dat moment is besloten om 60% kippenmest bij de stoken. Omdat kippenmest een veel lossere en fijnere structuur heeft dan houtpellets werd verdere koolstof ophoping in de vergasser voorkomen en kon de vergasser in bedrijf gehouden worden. Met het mengsel 40% witte houtpellets, 60% kippenmest is een meetserie uitgevoerd om de invloed van de luchtverdeling over de brander te onderzoeken. Het resultaat is weergegeven in Tabel 6.1.

Uit onderstaande Tabel 6.1 blijkt een grote invloed van de luchtverdeling op met name de NO_x emissie. De NO_x (NO + NO₂) emissie bedraagt 2205 ppm als er veel primaire lucht wordt

toegevoerd, er geen tertiaire lucht wordt toegevoerd en de secundaire luchthoeveelheid klein is. Deze NO_x waarde daalt naar 449 ppm als er 100% primaire en 100% tertiaire lucht wordt toegevoerd en geen secundaire lucht. Met uitsluitend een herverdeling van lucht is onder deze omstandigheden dus al een NO_x reductie te realiseren van bijna 80%.

Vergelijkt men de hoeveelheid stikstof in de brandstof met de stikstof die als NO_x de ketel verlaat dan blijkt dat bij een juiste luchtverdeling over de brander slechts 6% van de stikstof in de brandstof omgezet wordt in NO_x. Dit is een zeer laag percentage, bijvoorbeeld in vergelijking met oliestoken, waarbij al snel 30% van de stikstof in de brandstof wordt omgezet in NO_x.

Onder alle bovenstaande testomstandigheden brandde de brander stabiel met een krachtige heldere vlam en waren de CO en C_xH_y emissies minimaal.

Tabel 6.1 *Invloed van de luchtverdeling over de brander op de emissies*

Brandstof mengsel: ongeveer 40% witte houtpellets en 60% kippenmest

Datum 30 maart 2004

Stand Primaire luchtklep	Stand secundaire luchtklep	Stand tertiaire luchtklep	O ₂ vol% droog	C _x H _x ppm droog	CO ppm droog	NO ppm droog	NO ₂ ppm droog	Opmerkingen
100	100	100	2,7	3,1	0	918	0	
100	100	40	2,7	3,1	0	1133	0	
100	100	30	3	6,1	0	1611	0	
100	100	20	2,4	3,1	0	1902	0	
100	100	20	3,1	6,1	0	1909	0	
100	100	0	2,9	3,1	0	2040	0	Luchttemp = 221; Stookgastemp = 253 C
100	40	100	2,6	3,1	0	742	0	
100	40	40	2,4	3,1	0	901	0	
100	40	20	2,7	3,1	0	1899	80	
100	40	0	2,3	6,1	0	2095	110	
100	20	100	3,2	3,1	0	510	0	
100	0	100	2,7	3,1	4,2	449	0	
100	0	40	2,5	3,1	2,9	564	0	
100	0	0	1,5	6,1	0	1960	48,8	Lucht uitgeregeld; geen stabiele situatie
40	100	100	2,4	3,1	0	747	0	
40	100	40	2,9	0	0	952	17	
40	100	20	2,4	0	0	1580	63	
40	100	0	2,2	3,1	0	1838	97,7	
40	40	100	2,8	0	0	703	0	
40	20	100	2,7	3,1	2	490	0	
40	0	100	2,7	0	3,9	488	0	
20	20	100	2,9	0	4,1	537	0	emissiewaarden fluctueren

6.2 Testen met kippenmest

Na de proeven met een mengsel van houtpellets en kippenmest is geprobeerd om het percentage kippenmest langzaam te verhogen. Dit om te zien of de brander op 100% kippenmestgas kon branden. Tot een verhouding van 60% kippenmest 40% pellets verliep de verbranding probleemloos. Werd het percentage kippenmest verder verhoogd, dan begon de helderheid van de vlam met een frequentie van 15 tot 30 seconden te variëren van helder wit/geel naar grijs oranje. Werd de toevoer van pellets geheel gestopt, dan werden de fluctuaties groter, totdat de vlam even helemaal uitging en dan weer aanging. Dit aan- en uitgaan van de vlam gaf dermate grote drukpulsaties in het stookgassysteem en de ketel, dat na enige tijd de vlambeveiliging aansprak en de brander tripte. Er was geen enkele branderinstelling te vinden waarbij bovenstaand verschijnsel niet optrad. Geconcludeerd werd daarom dat de brander goed brandde op een mengsel van 60% kippenmest en 40% houtpellets. Verhoging van het percentage kippenmest leidde tot instabiele verbranding en een brandertrip.

De kwaliteit van de kippenmest die aan de vergasser werd toegevoerd was relatief goed. Het vochtpercentage was laag, waardoor er stookgas geproduceerd werd met een relatief hoge

verbrandingswaarde. De oorzaak van het niet branden van het kippenmestgas is derhalve niet duidelijk. Om hier meer zicht op te krijgen is de vergasser op 60% kippenmest en 40% pellets bedreven en is vervolgens stapsgewijs meer stikstof aan de vergasser toegevoerd, zodat de verbrandingswaarde van het stookgas langzaam afnam, totdat de brander uitging. De samenstelling van het stookgas op het moment dat de vlam instabiel werd en uitging is gegeven in Tabel 6.2. Ook is in deze tabel weergegeven de samenstelling van 100% kippenmestgas, zoals dit op 28 november 2003 is gemeten (maar waar de brander niet op wilde branden).

Tabel 6.2 *Samenstelling van het met stikstof verdunde stookgas op het moment dat de vlam doofde in vergelijking met de samenstelling van 100% kippenmestgas*

	stookgassamenstelling verdunt met stikstof waarbij de brander uitging (vol%dr)	stookgassamenstelling bij 100% kippenmest- vergassing (vol%dr)
CO	10	9
CO ₂	13,4	17
H ₂	7,4	8
CH ₄	2,2	2

Uit deze tabel blijkt dat het kippenmestgas waarop de brander niet wilde branden een vergelijkbare samenstelling heeft als het met stikstof verdunde gas. Het uitgaan van de vlam lijkt dus te liggen aan de hoeveelheid brandbare componenten in het stookgas, maar ook andere hypothesen zijn mogelijk:

1. Het branderontwerp is niet optimaal voor het verstoken van kippenmest. In het huidige ontwerp kan de lucht tijdens bedrijf niet bijgesteld worden. Bij grotere branders kan dit in het algemeen wel, waardoor mogelijk in grotere branders het kippenmestgas wel goed te verbranden is.
2. De luchttemperatuur voor de brander was tijdens de proef 60 tot 70 °C lager dan het ontwerp. Ook de stookgastemperatuur was 50 - 70 °C te laag. Deze te lage temperaturen kunnen grote invloed hebben op de stabiliteit van de vlam.

Minder voor de hand liggende hypothesen zijn:

3. In het kippenmest gas zitten gasvormige componenten die een dovend effect hebben op de vlam.
4. De samenstelling van het stookgas uit BIVKIN varieert zodanig dat de brander uitgaat zoals hierboven beschreven. Deze variatie in samenstelling kan niet on-line gemeten worden, want daarvoor is de traagheid in het gas analysesysteem te groot.
5. Het volume in de stookgasleidingen is zo groot dat in combinatie met een geringe drukval over de brander er vuurhaard trillingen ontstaan waardoor de vlam dooft.

Nader onderzoek is nodig om te achterhalen of de genoemde hypothesen de werkelijke oorzaken zijn van het doven van de vlam bij 100% kippenmestgas.

7. ROOKGAS EMISSIES

Een overzicht van de gemeten emissies en de richtlijnen zoals beschreven in de 'Circulaire: Emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval' (KVI120002023389) is gegeven in onderstaande Tabel 7.1:

Tabel 7.1 Overzicht gemeten emissies versus normgrenswaarden

Grenswaarden voor stand-alone installaties en gemeten waarden in mg/m _n ³						
	Stand-alone schone stromen (bij 6% O ₂)	Stand-alone vervuilde stromen (bij 11% O ₂)	voor modificatie		na brander modificatie	
			Bruine hout pellets (bij 11% O ₂)	Kippenmest + Bruine hout pellets (bij 11% O ₂)	Kippenmest + Witte hout pellets (bij 11% O ₂)	Kippenmest + Witte hout pellets (bij 11% O ₂)
Tertiaire lucht % kippenmest (gewicht nat)			open 0	open 61	open 61	dicht 62
NO _x (<20 MWth) ¹⁾	100 - 200	70-130	536	623	540	1818
SO ₂	200	40	72	309	175	-
Stof	20	5	116	299	367	-
Cd + TI ²⁾		0,05	Cd = 0.001	Cd = 0.00025	Cd = 0.002	-
Hg ²⁾		0,05	-	-	-	-
Som zware metalen		0,5	0,3	0,5	2,7	-
HCl		10	18,4	28,2	18,2	-
HF		1	<0,1	<0,1	<1	-
VOS		10	1	1	0	0
CO		50	1	9	0	0
Dioxinen en furanen (ng TEQ)		0,1				

1) NO_x norm is afhankelijk van rendement.
2) TI en Hg zijn niet gemeten, op basis van de hoeveelheden in de brandstof zou dit geen probleem moeten zijn.

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat aanvullende rookgasreiniging nodig is om aan de gestelde emissie eisen te voldoen:

- Ondanks de grote NO_x reductie die gemeten wordt als er veel tertiaire lucht wordt toegevoerd is de NO_x uitwerp hoger dan de norm, zodat in de praktijk een DeNO_x unit geplaatst zal moeten worden
- Ook de SO₂ is hoger dan toegestaan, wat een ontzwaveling van de rookgassen noodzakelijk maakt.
- Hetzelfde geldt voor de stofuitwerp en de som van de zware metalen. Uit nadere analyse van de meetgegevens blijkt dat 80% van de zware metalen mangaan is. Wordt het stof goed afgevangen, bijvoorbeeld door een doekfilter, dan zijn ook de zware metalen geen probleem meer.
- De HCl uitstoot is te hoog. Ook HCl zal dus verwijderd moeten worden.
- De uitbrand is uitstekend. Er bevindt zich nagenoeg geen CO of VOS in het rookgas; er wordt hier ruim aan de norm voldaan.

7.1 Dioxinemetingen

Naast de reeds gerapporteerde emissies zijn er ook periodiek emissies van Polychloor- Dibenzo-*para*-Dioxines en Dibenzofuranen (PCDD/Fs of 'dioxine') gemeten. De bemonstering van de PCDD/Fs is uitgevoerd door middel van patronen met organische adsorbent (polyurethaan schuim, z.g. PUF-plugs). De rookgas monsters, variërend in het volume tussen 0.3 en 0.7 Nm³, zijn genomen in de rookgaskanaal van de ketel. De dioxine analyse is extern uitgevoerd volgens een Europese standaardmethode EN-1948-2/3.

Tijdens de bemonstering waren de bedrijfsomstandigheden gedurende relatief korte tijd redelijk stabiel. Bekend is echter dat de dioxine emissie langdurig sterk beïnvloed kan worden door variaties in de bedrijfsvoering.

De resultaten van de dioxine metingen lieten zien, dat tijdens de metingen de dioxine emissies hoger waren dan de norm. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden uit het feit dat voorafgaande aan de monsternamen niet lang genoeg stabiel bedrijf is gevoerd. Tijdens het veelvuldig opstarten en stoppen van de brander is er veel onverbrande stof in de ketel neergeslagen. Bekend is dat onverbrande koolstof een katalytische werking heeft op dioxinen. De bedrijfstijd voorafgaand aan de monsternamen is te kort geweest om dit opstarteffect te neutraliseren, waardoor er hogere concentraties dioxinen zijn gemeten dan men redelijkerwijs verwacht. De resultaten van de dioxinemetingen worden daarom genegeerd, als zijnde onbetrouwbaar en niet representatief.

Verwacht mag worden dat onder praktijkomstandigheden de dioxine emissie laag zal zijn. Mocht echter in de praktijk blijken dat tijdens de verbranding van kippenmest de dioxinenorm wordt overschreden, dan kan een relatief eenvoudige “end of pipe” oplossing doeltreffend zijn.

7.2 “End of pipe” maatregelen

Zoals uit dit hoofdstuk blijkt vormen bij de verbranding van kippenmest de emissies van NO_x, SO₂, stof, HCl (en mogelijk dioxinen) een probleem.

Door het installeren van een doekfilter (eventueel met injectie van actieve kool voor het filter) in combinatie met een deNO_x/deDioxin katalysator in de uitlaat van de ketel, kunnen in feite alle genoemde emissieproblemen opgelost worden, zonder dat dit de werking van de vergassing/verbrandingsinstallatie zelf beïnvloed. Het is echter nog niet bekend of dergelijke technologieën zonder problemen toepasbaar zijn voor kippenmest-rookgas, zodat aanbevolen wordt om de toepassing van deze technologieën onder deze omstandigheden nader te onderzoeken.

8. KETELVERVUILING

Het stookgas dat aan de brander wordt toegevoerd wordt van stof ontdaan door middel van een cycloon (Figuur 4.3). Omdat een cycloon geen erg hoog vangstrendement heeft zit er nog een niet te verwaarlozen hoeveelheid stof in het stookgas.

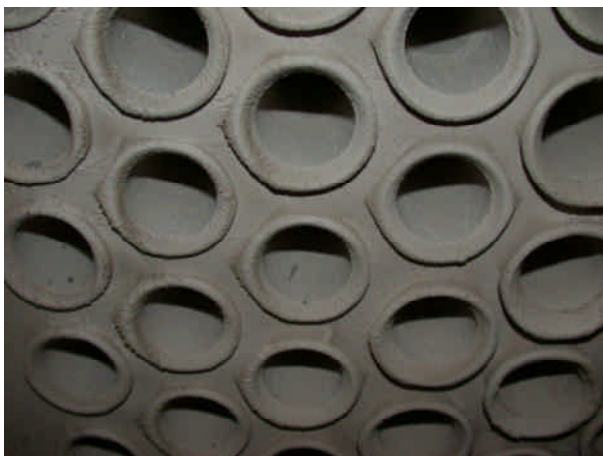
Een belangrijke onderzoeksvraag is of dit resterende stof aanleiding geeft tot vervuiling van de ketel. Omdat het stof in het stookgas voor het grootste deel bestaat uit onverbrande koolstof zal, bij een goede verbranding, veel koolstof verbranden en zullen ook de teervormende componenten verbranden. De verwachting was dan ook dat het resterende stof geen problemen zou opleveren.

In de loop der tijd steeg echter de ketel uitlaatemperatuur aanzienlijk. In het begin was deze temperatuur rond de 200 °C, aan het eind van de proeven stabiliseerde de temperatuur zich op ongeveer 320 °C. Vooral gedurende de proeven met kippenmest is de ketel uitlaatemperatuur sterk opgelopen.

Een aannemelijke verklaring is, dat door de vele startpogingen (en de tijdens deze pogingen vaak slechte verbranding) er veel vliegias in de ketel is neergeslagen.

Na afloop van de brandertesten is de ketel geopend en geïnspecteerd. De vlampijpen waren licht vervuild. De onderste laag was zwart, de toplaag was licht van kleur.

De foto's van deze inspectie zijn gegeven in de figuren 10 en 11.



Figuur 8.1 Foto van de vervuiling van de vlampijpen na de testen



Figuur 8.2 Foto van 1 ketelpijp, met losgemaakte aanslag

Geen enkele vlampijp was verstopt en de stoflaag was zo dun dat er geen toename in de weerstand over de ketel waargenomen kon worden. De stoflaag is echter wel belemmerend voor de warmteoverdracht waardoor de schoorsteen temperatuur opliep tot 320 °C. Daarna stabiliseerde deze temperatuur zich.

9. CONCLUSIES

Uit de brandertesten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Onder een grote verscheidenheid aan bedrijfscondities en stookgassamenstellingen is de brander betrouwbaar te starten, te stoppen en continu te bedrijven.
2. Het onverbrand verlies is zeer laag. In de rookgassen wordt minder dan 20 ppm CO en C_xH_y gemeten en de resterende vliegassen zijn wit van kleur; ze bevatten dus nauwelijks onverbrande koolstof.
3. De verbrandingslucht wordt als primaire, secundaire en tertiaire lucht aan de brander toegevoerd. De luchtverdeling is te regelen met kleppen. Dit werkt naar tevredenheid.
4. De brander kan goed bedreven worden met een stookgas dat afkomstig is van een mengsel van 60% kippenmest en 40% houtpellets. Het stookgas bevat dan globaal 12,5% CO, 10% H_2 en 3% CH_4 . Wordt het percentage brandbare componenten lager, dan ontstaan er drukpulsaties in het systeem.
5. Bij een concentratie brandbare componenten in het stookgas van 10% CO, 7% H_2 en 2,2% CH_4 ontstaan er zodanige pulsaties in het systeem dat de vlambewaking aanspreekt en de brander uitgaat. Stookgas afkomstig van 100% kippenmest bevat lagere percentages brandbare componenten en is dus niet met deze brander stabiel te verbranden.
6. De brander is uitgerust met primaire, secundaire en tertiaire luchttoevoer. De turbulentie van deze luchtstromen is een ontwerpgegeven. Onjuiste ontwerpkeuzen kan een mogelijke oorzaak zijn van het niet kunnen verstoken van 100% kippenmestgas.
7. Tijdens alle proeven was zowel de luchttemperatuur als de stookgas temperatuur voor de brander rond 60 °C lager dan de ontwerpwaarde. Verhoging van beide temperaturen zal een stabiliserende werking hebben op de vlam.
8. Door de luchtverdeling over de brander te veranderen kan men de performance van de brander sterk beïnvloeden. Stopt men de tertiaire luchttoevoer, dan trekt de vlam zich terug in de branderkeel en wordt de vlam helderder en heter.
9. Vergroting van de tertiaire luchthoeveelheid (terwijl de primaire en secundaire lucht wordt verminderd) heeft het tegenovergestelde effect: de vlam wordt roder en donkerder (lagere temperatuur).

10. Voert men alle lucht direct in de branderkeel toe als primaire en secundaire lucht, dan wordt met 60% kippenmestgas/40% houtpellets een NO_x emissie van rond 2200 ppm gemeten. Voert men maximaal tertiaire lucht toe dan daalt de NO_x in de rookgassen tot rond de 450 ppm. Er wordt op die manier dus een NO_x reductie in de brander gerealiseerd van bijna 80%.
11. Onder de omstandigheid dat maximaal tertiaire lucht toegevoerd wordt, wordt slechts 6% van de stikstof in de brandstof omgezet in NO_x. Dit is zeer weinig; bij "normale" oliebranders wordt al snel 30% van de stikstof in de brandstof omgezet in NO_x.
12. Zolang het zuurstofpercentage in de rookgassen hoger blijft dan 2% heeft de luchtvermaat geen noemenswaardige invloed op de NO_x emissie of de overige emissies van de brander.
13. Hoewel voorkomen kan worden dat de bulk van de stikstof in de brandstof wordt omgezet in NO_x, kan met alleen primaire maatregelen niet aan de NO_x norm voor biomassa conversie-installaties (van 70 of 130 mg/Nm³[11% O₂]) worden voldaan. Bij het verbranden van kippenmestgas uit een vergassingsinstallatie zal er dus bijvoorbeeld een DENOX installatie nageschakeld moeten worden.
14. Tijdens de proeven liep de schoorsteentemperatuur geleidelijk op van 200 °C (bij een nagenoeg schone ketel) naar 320 °C (bij een vervuilde ketel). Daarna stabiliseerde deze temperatuur. Hieruit blijkt dat het in het stookgas aanwezige stof in eerste instantie neerslaat in de vlampijpen van de heetwaterketel. Na enige tientallen uren bedrijfstijd stabiliseert de stoflaag in de pijpen en neemt de warmteoverdracht niet verder af.
15. Het stofgehalte in de rookgassen bedraagt 300 à 400 mg/Nm³. Hiermee voldoet een industriële installatie niet aan de emissie eisen voor biomassa conversie installaties. Het stookgas zal dus voorafgaand aan de verbranding beter ontstof moeten worden of er zal een stoffilter achter de ketel in de rookgasstroom geplaatst moeten worden.
16. Het SO₂ gehalte in de rookgassen bedraagt bij gas van 60% kippenmest/40% houtpellets globaal 175 mg/Nm³ [11%O₂]. Hiermee wordt zonder aanvullende maatregelen niet voldaan aan de emissierichtlijn van 40 mg/Nm³[11%O₂] bij vervuilde stromen. In de praktijk zal er dus ontzwaveld moeten worden.
17. Een end-of-pipe oplossing kan de te hoge emissies voorkomen. Door het installeren van een doekfilter (eventueel met actief kool injectie voor het filter) in combinatie met een deNOx/deDioxin katalysator in de uitlaat van de ketel, kunnen in feite alle emissieproblemen opgelost worden, zonder dat de vergassing/verbrandingsinstallatie zelf aangepast hoeft te worden.

Samengevat kan gesteld worden dat het systeem - kippenmest vergassen, gas koelen en ontstoffen en vervolgens het gas verbranden in een brander - goed, betrouwbaar en met een hoog verbrandingsrendement kan werken, maar dat er aanvullende maatregelen genomen moeten worden met betrekking tot SO₂, NO_x, Chloor en stof. Dit, om aan de emissie-eisen voor "stand-alone" installaties voor de verbranding van vervuilde biomassa stromen te voldoen. Om de vlamstabiliteit te verbeteren wordt aanbevolen om de lucht beter instelbaar te maken. Daarnaast wordt verhoging van de stookgas- en verbrandingsluchttemperatuur aanbevolen. De verwachting is dat met een op die manier aangepaste brander 100% kippenmestgas stabiel verbrand kan worden.

10. AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

- Aanbevolen wordt om een betere cycloon te testen. Wordt een betere cycloon gebruikt dan daalt de stofbelasting van de ketel, waardoor de ketel minder zal vervuilen en de stofemissies naar de omgeving zal verminderen.
- Ook wordt aanbevolen om testen uit te voeren met een nageschakeld deNOx/deDioxin systeem. Het is nog niet bewezen dat deze technologie geschikt is voor dit type rookgas.

BIJLAGE A RESULTATENOVERZICHT VAN DE BRANDERTESTEN

Proefnummer		1	2	3	4	5	6
Datum aanvang		12-nov-03	26-nov-03	28-nov-03	30-mrt-04	30-mrt-04	31-mrt-04
Tijd aanvang	[uur:min]	18:45	16:00	16:31	11:22	14:40	15:15
Tijd eind	[uur:min]	23:11	19:09	21:19	17:15	16:10	17:28
Brandstof 1	[-]	Houtpellet bruin	Houtpellet bruin	Kippenmest	Kippenmest	Kippenmest	Kippenmest
Brandstof debiet 1	[kg/h]	78,8	99,8	63,4	56,4	56,9	53,9
Vochtgehalte brandstof 1	[gew%]		9,5	28			16,10
Asgehalte brandstof 1	[gew% d.s.]		1,70	13,5	15,50	15,50	15,50
Brandstof 2	[-]	-	-	Houtpellet wit	Houtpellet wit	Houtpellet wit	Houtpellet wit
Brandstof debiet 2	[kg/h]			40,9	36,9	36,4	33
Vochtgehalte brandstof 2	[gew%]			9,5	9,5	9,5	9,5
Asgehalte brandstof 2	[gew% d.s.]			1,7	1,7	1,7	1,7
% kippenmest (nat gewicht)		0	0	61%	60%	61%	62%
Vergasser							
Bedmateriaal	[-]	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand
Korrelgrootte bedmateriaal - min	[mm]	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Korrelgrootte bedmateriaal - max	[mm]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Primaire lucht naar vergasser	[Nm ³ /h]	78,2	82,8	82,8	87,8	87,8	87,9
Temp. primaire lucht	[°C]	14,0	15,0	200,0	15,0		18,0
Lucht naar sealpot	[Nm ³ /h]	22,02	22,02	22,02	22,02	22,00	22,02
Totaal N2 toevoer	[Nm ³ /h]	2,2	2,2	2,2	2,18	2,16	2,16
Reactor temp. (gemiddeld)	[°C]	843,0	849	808	823	820	849
Temp. onder in reactor	[°C]	862	860	813	827	823,2	842,7
Temp. boven in reactor	[°C]	844	837	803	819	816,6	854,9
Temp. na eerste cycloon (TI 19)	[°C]	795	805	780,0	786	785,0	826,0
Stookgas samenstelling	[-]	(1)	(1)				
CO	[vol% dr.]	-	14,3	13,7	12,5	12,4	12,6
H ₂	[vol% dr.]	-	9,7	9,8	10,3	10,3	10,2
CO ₂	[vol% dr.]	-	15,5	16,4	16,3	16,4	15,8
CH ₄	[vol% dr.]	-	3,1	3,4	3,1	3,1	3,1
C ₂ H ₂	[vol% dr.]	-	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
C ₂ H ₄	[vol% dr.]	-	1,4	1,7	1,4	1,5	1,4
C ₂ H ₆	[vol% dr.]	-	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1
C ₆ H ₆	[ppm dr.]	-	2400	2138	1946	1918	2107
Tolueen	[ppm dr.]	-	471	608	502	507	325
N ₂	[vol% dr.]	-	52,9	54,6	51,6	51,4	53,5
NH ₃	[ppm dr.]	-		18187	15309		
HCl	[ppm dr.]	-	-				
Cl	[mg/Nm ³]	-					
H ₂ S	[ppm dr.]	-	121	571	180	180	-
COS	[ppm dr.]	-	<25	7	11	11	-
Teer SPA (vanaf xyleen) S2	[g/Nm ³]	-	-	2,43	5,80	-	-
Brander							
Aardgas naar steunbrander (vaste waarde)	[Nm ³ /h]	0	4	4	4	4	4
Lucht naar steunbrander (vaste waarde)	[Nm ³ /h]	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Berekend Stookgasdebiet (nat, indicatief)	[Nm ³ /h]	173,0	180,0	200,0			
Stookgas inlaat temperatuur (BRD_03T51)	[°C]	272,0	296,0	314,0	255,0	257,0	274,0
Overdruk stookgas t.o.v. vuurhaard (BRD_03P51)	[mbar]	19,2	4,4	2,7	10,3	10,0	12,5
Luchtdebiet naar brander	[Nm ³ /h]	267	345	335	329		313
Verbrandingslucht inlaat temperatuur (BRD_2T51)	[°C]	221,0	246,0	251,0	221,0	222,0	236,0
Overdruk prim.lucht t.o.v. vuurhaard (BRD_02P51)	[mbar]	1,6	45,5	21,7	7 - 50	26,4	24,9
Overdruk sec lucht t.o.v. vuurhaard (BRD_02P52)	[mbar]	20,0	0,0	19,5	0 - 28	0,0	22,5
Overdruk tert. lucht t.o.v. vuurhaard (BRD_2P53)	[mbar]	22,0	44,1	21,2	0 - 45	30,4	0,0
Overdruk vuurhaard (BRD_02P54)	[mbar]	1,1	1,6	2,8	1,6	1,6	2,5
Rookgas uitlaattemperatuur ketel (BRD_02T52)	[°C]	199,0	251,0	317,0	272,0	287,0	323,0
Rookgassamenstelling							
O ₂	[vol% dr.]	3,5	2,1	2,3	3,0	3,2	3,0
CO ₂	[vol% dr.]	15,8	16,8	16,3	15,7	15,6	15,6
C _x H _y	[ppm dr]	3	3	-	0 - 1000	1	1
VOS bij 11% O ₂		1	1			0	0
CO	[ppm dr]	7	2	14	0 - 3750	0	0
CO bij 11% O ₂		5	1	9		0	0
NO	[ppm dr]	1026	482	569	-	471	1540
NO ₂ (vaak defect, normaal 10% van NO)	[ppm dr]	0	5	-	-	-	50
NO _x	[ppm dr]	974	495	569	-	471	1599
NO _x bij 11% O ₂	[mg/Nm ³]		536	623	-	540	1818
N ₂ O	[ppm dr]	5	3	5	-	4	17
SO _x -> indicatief	[ppm dr]	85	54	-	-	201	137

(1) De hier gegeven stookgassamenstelling (CO, H₂, CO₂, O₂, CH₄) is door monsternamen problemen niet betrouwbaar gemeten, waardoor de massabalans niet sluitend is.

BIJLAGE B ANALYSEDATA VAN WITTE HOUT PELLETS, BRUINE HOUT PELLETS EN KIPPENMEST

Overzicht samenstelling van kippenmest, witte houtpellets en bruine houtpellets

		Bruine hout Pellets	Witte hout Pellets	Kippenmest
As	% a.r	2.9	0.2	15,52
Vocht	% a.r	4.7	7	16,1
Vluchtig	% a.r	71.6	76.4	59
C	% a.r	47.3	44	33,5
H	% a.r	5.5	6.3	4,8
O	% a.r	39.3	42.8	25,9
N	% a.r	0.28	0.14	3,42
S	% a.r	0.05	0.01	0,76
Cl	% a.r	0.052	0.006	5368
F	% a.r	0.003	-	-
Br	% a.r	-	-	-
HHV	KJ/kg a.r	18573	17963	13229
LHV	KJ/kg a.r	17263	16420	12088

waarden zijn ter indicatie

bron bruine en witte houtpellets (Labee): Phyllis

bron kippenmest: Phyllis, gecorrigeerd voor werkelijk gemeten

as, vocht en chloorgehalte

Phyllis ID-number 1448 2243 1872