



EMISSIONSARME VERBRENNUNG UND ENERGETISCHE NUTZUNG VON SCHWACH- GASEN BIS UNTER 2.5 MJ/m³

Schlussbericht, Mai 2009

Autor und Koautoren	Martin Schmid
beauftragte Institution	Stiftung für Angepasste Technologie und Sozialökologie
Adresse	Schwengiweg 12, 4438 Langenbruck BL
Telefon, E-mail, Internetadresse	062 387 31 37, schmid@oekozentrum.ch , www.oekozentrum.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102'105
BFE-Projektleiter	Sandra Hermle
Dauer des Projekts (von – bis)	1.5.2007 – 30.5.2009
Datum	13.5.2009

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfolge bei der Verbrennung von schwachen Deponiegasen mit Heizwerten bis 8% von Erdgas im Feldtest und bis 6% im Labor rufen nach einer Nutzung dieser Technologie bei der Methanisierung von Biogas (Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz). Dort entsteht neben dem Produktgas ein schwach methanhaltiges, stark klimaschädliches Abgas. Bei diesem ist allerdings das gesamte nicht brennbare Brennstoffvolumen CO₂, welches als Flammhemmer gilt. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie geht es darum, einen neuartigen Brenner zu entwickeln und testen, welcher ein Gemisch von 5% CH₄ und 95% CO₂ vollständig verbrennen kann.

Dieses Projekt ist Teil eines Vorhabens, welches neben den Industriepartnern vom FOGA (Forschungsfonds des Schweizerischen Gas und Wasserfaches SVGW) gefördert wird. Dieses soll einen Bivalentkessel entwickeln und testen, welcher mit den oben erwähnten Schwachgasen eine Fermenterheizung ganzjährig betreiben kann. Da der durchschnittliche Wärmebedarf eines Fermenters sich im Bereich der Heizleistung des Off-Gases bewegt.

In insgesamt 5 Iterationsschritten wurde ein Brenner entwickelt und optimiert. Im weiteren konnte das Design wirtschaftlich massgeblich verbessert werden.

Die Projektziele des vorliegenden Forschungsprojektes, wie auch des Pilotprojektes im Widnau (SG) konnten allesamt erreicht werden: Der niedrigste durchschnittliche Heizwert H_u bei den Labormessungen betrug 1.24 MJ/m³_n (3.4% von Erdgas) und bestand aus 4.6% CH₄ und 95.4% CO₂. Dabei lagen die CO-Emission oberhalb von nur 890°C innerhalb der Grenzen des Projektzieles von 100 mg/m³_n @ 3% O₂. Gleichzeitig lagen die NO_x-Emissionen zwischen 860°C und 1100°C ebenfalls innerhalb der Grenzen des Projektzieles von 20 mg/m³_n @ 3% O₂. Im weiteren konnte nachgewiesen werden, dass es keinen Methanschlupf gibt: d.h. kleiner als 1 mg/m³_n CH₄ bei CO-Emissionen gemäss dem Projektziel (100 mg/m³_n @ 3% O₂). Die CO-Messung ist ein geeigneter Prekursor. Jedoch zeigte sich, dass bei so hohem CO₂-Gehalt eine extrem lange Aufenthaltsdauer in der Brennkammer notwendig wird.

Deshalb zeigte sich im Felde, dass die früher produzierte Brennkammer für PSA-Anwendungen (7% CH₄/93% CO₂) eher zu klein ausgelegt war und erhöhte CO-Emissionen auftreten können. Auch dort wurden die Ziele beim Methanschlupf (<1000ppm) in jedem Betriebsfalle bei weitem eingehalten: Der höchste gemessene Wert entspricht <30ppm. Mittlerweile sind 4 Schwachgas-Kesselanlagen in der Schweiz im kommerziellen Einsatz.

Projektziele

Bedeutung des Projekts: Methanschlupf bei der Biogasaufbereitung ist in besonderem Masse klimarelevant und belastet entsprechend die Ökobilanz. Mit dem vorliegenden Projekt sollen die Verwertungsmöglichkeiten solcher Schwachgase weiter entwickelt werden.

Als hauptsächliches quantitatives Ziel gilt es, in den Bereich von Heizwerten unter 2.5 MJ/m^3 vorzustossen. Dabei soll der Rest des Brennstoffes ausschliesslich aus CO_2 bestehen. Beim Methanschlupf wurde kein quantitatives Ziel festgelegt, jedoch wird ein Wert deutlich unter 1000 ppm (0.1 Vol.-%) erwartet, um die Technologie nicht in Frage zu stellen. Wenn ein schlüssiger Zusammenhang zwischen CO-Emissionen und CH_4 -Schlupf festgestellt werden kann, könnte die CO-Messung im Felde die ungleich komplexere Kohlenwasserstoff-Analyse (mit FID) ersetzen.

Als technisch quantitatives Ziel gilt es, per Projekt-Ende einerseits eine umsetzbare Konstruktion den Industriepartnern zur Verfügung zu stellen und andererseits an der ersten realisierten Anlage (Widnau SG) die erwähnte Abgasanalyse mit Augenmerk auf NO_x -, CO- und CH_4 -Emissionen durchzuführen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse in der letzten Berichtsperiode (Dezember 2008 bis Mai 2009)

1. LCV-FLOX-Labor-Brenner Mk V, Aufbau und Funktion

Die neuste und endgültige Form des Versuchsbrenners basiert auf einer grundlegend neuen Philosophie: Jede Düse ist mitsamt dem Abgaswärme-Rekuperator als ein einziges, keramisches Bauteil ausgebildet. Da bei Schwachgasen der Brennstoff-Volumenstrom und der Verbrennungsluft-Volumenstrom eine ähnliche Grösse aufweisen, werden pro Verbrennungsanlage ca. die Hälfte der Rekuperatoren nur mit Brennstoff oder nur mit Luft durchströmt. Im vorliegenden Fall bei sehr niedrigen Leistungen je ein Rekuperator. Der Abgasstrom wird entsprechend auf die Rekuperatoren verteilt. Im Innern der Brennkammer befindet sich weiterhin ein Leitrohr, dessen wichtigste Rolle die Bildung einer „heissesten Zone“ bildet, d.h. ein keramisches Bauteil mit möglichst wenig Verbindung zur Wand und zu den Ein- und Ausgängen der Brennkammer. Dies verhindert das früher beobachtete „Wandern“ der Reaktionszone. Im Innern dieses Leitrohres befindet sich der Fokuspunkt der Brennerdüsen. Rund um das Leitrohr befindet sich die Rezirkulationszone. Der Startbrenner fällt neu weg, bzw. ist ein integrativer Bestandteil eines der FLOX-Brennerrohre.

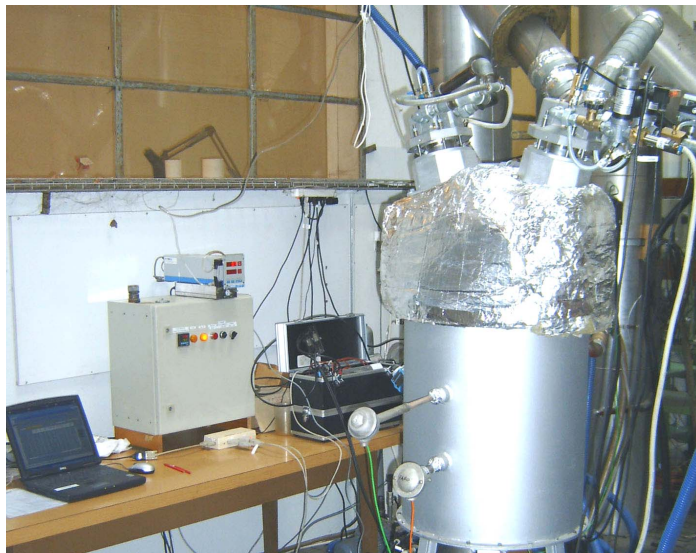


Abbildung 1 Gesamtansicht mit (v.l.n.r.) Datenerfassung, Steuerung und Methanmessgerät, Abgasanalyse, Brennkammer mit den zwei Rekuperatoren.

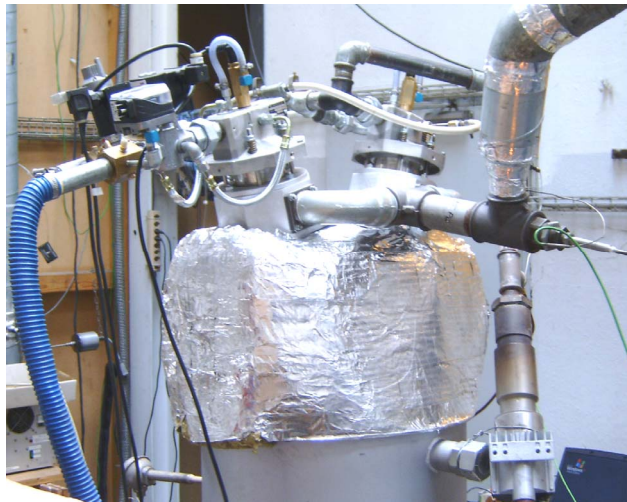


Abbildung 2 Anordnung der beiden Rekuperatoren mit gemeinsamem Abgasrohr aus der Bildmitte nach rechts oben. Rechts in der Mitte die Abgassonde und rechts unten die möglich Brennstoffvorwärmung (zur Kompensation der starken Unterkühlung der Flaschengase). Von den beiden Rekuperatoren ist der Linke gleichzeitig Startbrenner und Luftzufuhr im Nennbetrieb, der Rechte nur Brennstoffzufuhr im Nennbetrieb sowie ohne Funktion im Startbetrieb.

Der immense wirtschaftliche und technische Vorteil dieser Konstruktion ist es, Standard-FLOX-Brenner der Firma WS Wärmeprozessstechnik GmbH, Gründerin und Mitbesitzerin der Firma E-FLOX, einsetzen zu können, die nicht nur in grösseren Stückzahlen hergestellt werden, sondern durch die einteilige, keramische Konstruktion ohne Dichtungen und Fugen im heissen Bereich viel betriebsbeständiger sind. Bei einem Up-Scale kann die Anzahl der Düsenrohre erhöht werden oder der nächstgrössere FLOX-Brenner eingesetzt werden. Im vorliegenden Laborversuch wurden Rekuperatoren des Typ C80-500 eingesetzt [2].



Abbildung 3 Blick in die Brennkammer bei Betriebstemperaturen um 1150°C. Im Vordergrund (hell) das Leitrohr und die keramisch gekapselten Temperaturfühler. In der Bildmitte die beiden Rekuperator-Austrittsdüsen. Die leichten Deformationen des Leitrohres haben keinen Einfluss auf die Messresultate, wodurch anstelle eines neuen Keramikblech-Bauteiles das Leitrohr aus warmfestem Stahl der Schwachgasfackel im Tessin nochmals verwendet werden konnte, welches dort vom November 2006 bis April 2008 im Einsatz war.

2. Definition des Heizwertes des Schwachgases

Für Biogas und Deponiegas reichte bisher die Näherung aus, den Heizwert H_u des Brennstoffes so zu berechnen, indem der Methangehalt in Vol-% mit dem Heizwert H_u von Methan multipliziert wurde.

$$H_{u\text{Schwachgas}} = \% \text{vol CH}_4 \times H_{u\text{CH}_4}$$

Je schwächer das Gas, je stärker sollte jedoch beachtet werden, dass der innerte Anteil des Brennstoffes nicht einfach „Nichts“, sondern ein beträchtlicher, kühlender Teil des Massenstromes ausmacht. Somit muss die Formel folgendermassen erweitert werden (Beispiel für CO_2):

$$H_{u\text{Schwachgas}} = \% \text{vol CH}_4 \times H_{u\text{CH}_4} - ((1 - \% \text{vol CH}_4) \times c_{p\text{CO}_2} \times n_{\text{CO}_2} \times (T_{\text{FG}} - T_{\text{CA}}))$$

Wobei „FG“ Abgas und „CA“ Verbrennungsluft bedeutet. Mit 5% CH_4 und 95% CO_2 (Projektziel) eingesetzt ergibt dies:

$$\begin{aligned} H_{u\text{Schwachgas}} &= 5\% \times 35.9 \text{ MJ/m}^3_n - (95\% \times 1.63 \text{ kJ/m}^3_n\text{K} \times (300 - 10)\text{K}) \\ H_{u\text{Schwachgas}} &= 1.8 \text{ MJ/m}^3_n - 0.45 \text{ MJ/m}^3_n = 1.35 \text{ MJ/m}^3_n \end{aligned}$$

Der tiefste Dauerwert für eine Prüfstufe im Forschungsprojekt lag bei $H_{u\text{SchwachgasMIN}} = 1.24 \text{ MJ/m}^3_n$ bei einem durchschnittlichen CH_4 -Gehalt von 4.6%.

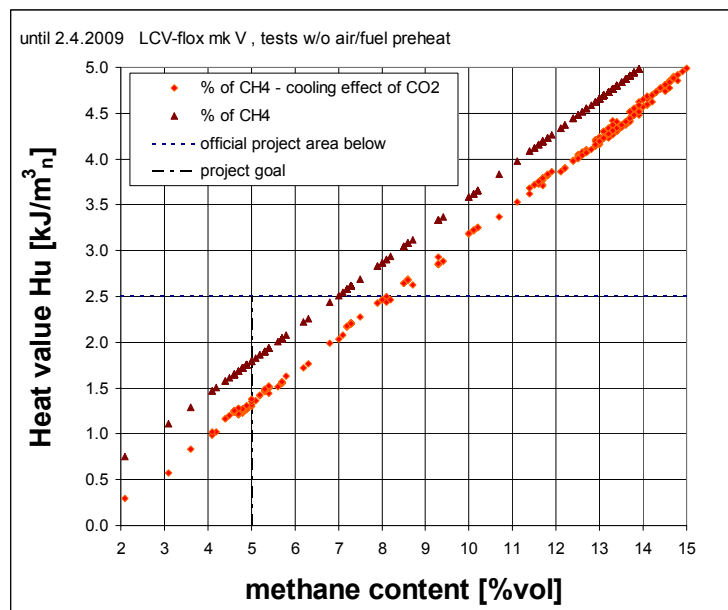


Abbildung 4 Differenz der beiden Möglichkeiten den Heizwert H_u des Schwachgases zu berechnen. Das Projektziel war, 2.5 MJ/m^3_n auf jeden Fall zu unterbieten, sowie möglichst in den Bereich von 5% Methan-Gehalt vorzustossen.

3. Resultate der Versuchsreihen (Februar bis April 2009)

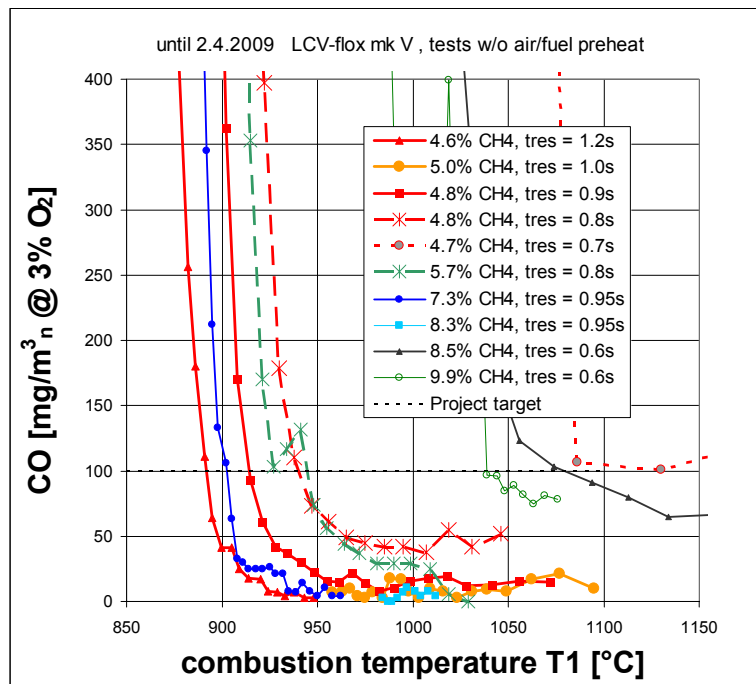


Abbildung 5 Abhängigkeit der Brennbarkeit und Verbrennungsgüte von Schwachgas (dargestellt durch den Pre-Cursor Kohlenmonoxid CO) von der Verweilzeit und der Verbrennungstemperatur. Dabei sind die wichtigsten Messkurven vom 2. April 2009 und einige weitere Messkurven von früheren Versuchen (im Februar und März) aufgeführt. Die rot gestrichelte Kurve ganz rechts (4.7% CH₄, tres = 0.7s) und die ebenfalls rote Kurve ganz links (4.6% CH₄, tres = 1.2s) zeigen eindrücklich, dass die Aufenthaltsdauer die relevante Grösse ist: Bei gleicher Gasqualität aber nur 0.7 s Aufenthaltsdauer reichen bei der einen Messung selbst 1100°C nicht aus, um das Projektziel zu erreichen. Hingegen ist bei der Kurve ganz links bei 1.2 s Aufenthalt das Projektziel selbst bei Temperaturen unter 900°C erreicht.

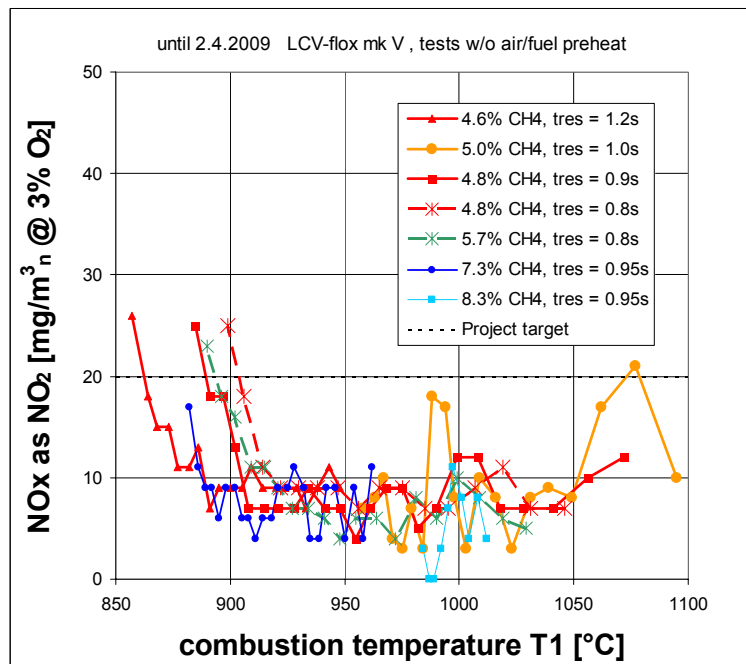


Abbildung 6 Stickoxid-Emissionen der Messreihen vom 2. April 2009. Als FLOX[®]-typische Anomalie zeigt sich eine Zunahme von NOx bei schlechter (kalter, ungenügend gemischter) Verbrennung, allerdings auf einem ebenfalls typischen sehr tiefen Niveau. Ein Erdgas-befuerter Heizkessel darf gemäss LRV 80 mg/m³n bei 3% Rest-O₂ nicht überschreiten.

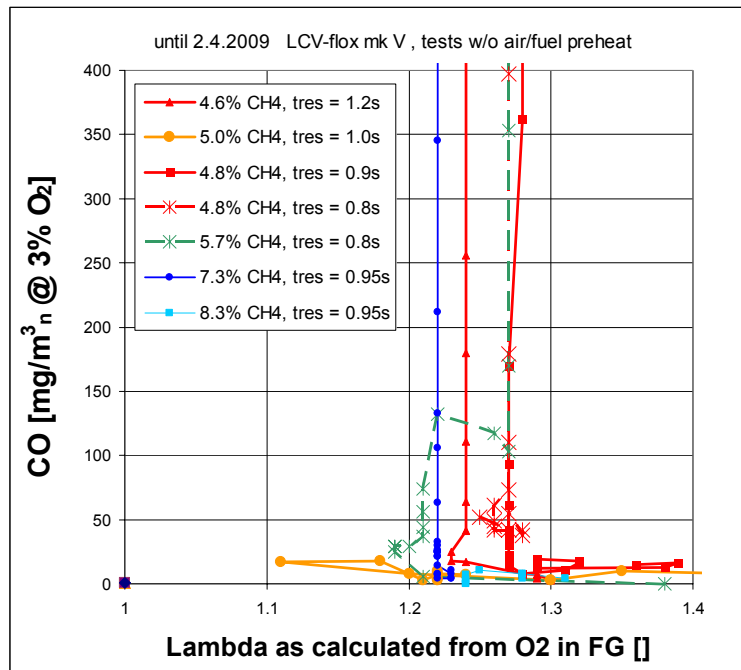


Abbildung 7 Darstellung der Emissionen bezogen auf die „scheinbare“ Luftüberschuss-Zahl im optimierten Betrieb. Obwohl es sich beim Luftüberschuss um das -überstöchiometrische Verhältnis von Luftsauerstoff in der Verbrennungsluft zum Brennstoff handelt, wird üblicherweise der Sauerstoffgehalt im Abgas gemessen. Dies führt bei Schwachgasen zu einem Messfehler, welcher jedoch regelungstechnisch „gut“ ist, weil sich der minimale Luftüberschuss bei zunehmender Reaktionsunwilligkeit (steigendem CO₂-Gehalt) um das Mass des Fehlers erhöht.

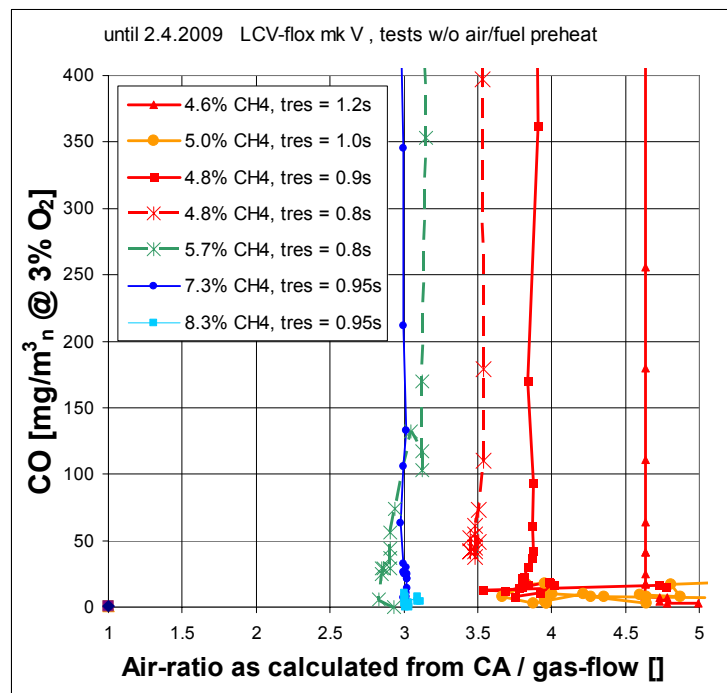


Abbildung 8 Darstellung der effektiven Luftüberschuss-Zahl im optimierten Bereich durch Verrechnung des Verbrennungsluft-Massenstromes mit jenem des Methananteils im Brennstoff. Diese ist jedoch regelungstechnisch wie erwähnt nicht relevant – gibt jedoch Aufschluss auf den nötigen und auch zu erwärmenden Massenstrom der Feuerungsanlage und die entsprechenden Strömungsverhältnisse in den Rekuperatoren und Düsen. Der effektive Luftbedarf an Luft pro umgesetzttem Brennstoff nimmt bei abnehmender Reaktivität, d.h. zunehmendem CO₂-Gehalt, deutlich zu.

4. Zusammenfassung der Resultate und Beurteilung

- Die Projektziele konnten erreicht werden:
 - der tiefste Heizwert bei reinem CO₂ als „Hemm“gasanteil im Brennstoff lag mit 4.6% CH₄ / 95.4% CO₂ und 1.24 MJ/m³ übertraf die Erwartungen.
 - die dabei gemessenen CO- und NO_x-Emissionen lagen deutlich unter den Projektzielwerten.
 - Das neu eingesetzte Design der Rekuperatoren übertraf die Erwartungen und stellte eine Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungsluft und Abgastemperatur von nur 270 K ein (= 75% Wirkungsgrad des keramischen Wärmetauschers). Die Bedingung für den autothermen Betrieb einer Abfackelungsanlage bei 5% CH₄-Gehalt sind also gegeben.
- Allerdings steigt bei CO₂ als „Hemm- oder Löschgas“ (Inertgas scheint gemäss den Erfahrungen nicht der richtige Ausdruck zu sein) der Bedarf an Verweilzeit und somit spezifischem Brennkammervolumen exponentiell. Dadurch konnten trotz Bereitstellung von hohen Kapazitäten von CO₂-Flaschen-Batterien die Versuche nicht bei 4 bis 8, sondern bei nur noch 1 bis 2 kW_{th} durchgeführt werden. Deshalb war die vorliegende Anlage nicht mehr autotherm betreibbar. Es lässt sich jedoch auf Grund des Oberflächen/ Volumen-Verhältnisses darstellen, dass dies bei entsprechendem Up-Scaling ohne weiteres möglich ist.
- Es hat sich herausgestellt, dass zur sauberen Verbrennung bei materialschonenden und gut erreichbaren Temperaturen zwischen 900 und 1000°C eine Verweilzeit von rund 1s nötig ist. Dabei ist auch eine erhöhte spezifische Luftmenge von ca. $\lambda = 3.5$ nötig. Dies bedeutet, dass eine Anlage im Idealfall
 - 11 Liter/kW spezifisches Brennkammer-Volumen aufweist. Das ist sieben Mal mehr als zu Projektbeginn mit N₂ als Verdünnungsgas bestimmt, und auch in der Literatur für schwache Gase mit N₂ in Porenbrennern angegeben wird [1].
 - der Durchsatz der Anlage dann 40 Bm³/h/kW beträgt (Brennstoff und Luft).

5. Ermittlung des Methan-Schlupfs

Wenn eine Biogasanlage durch den Prozess des Methanisierens (Aufkonzentrieren) für die Einspeisung ins Erdgasnetz 8% des Gases in Form eines Offgases an die Atmosphäre abführt, bedeutet dies, dass sich die Klimabelastung der gesamten Anlage (ohne Berücksichtigung der grauen Energie durch den Bau und Betrieb) und des Produkts, nämlich des Biogases selbst um 150% erhöht.

Um eine ins Erdgasnetz speisende Biogasanlage mit FLOX[®]-Brenner als Methan-Emissions-frei bezeichnen zu dürfen, wurde die Bestimmung des Methanschlupfs des Brenners als wichtiges Projektziel erklärt. Mit Hilfe eines FID-Gerätes (FID = Flammenionisationsdetektor) wurden deshalb die Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC) des Schwachgas-Brenners gemessen. Dieses Gerät misst Volumenbestandteile im Millionstel-Bereich (ppm) und wird mit Erdgas (CH₄) oder Propan (C₃H₈) geeicht. Als Nullgas wird Wasserstoff verwendet.

Da im Normalbetrieb die Emissionen zu gering ausfielen, um als Messresultat gedeutet werden zu können, wurde die Verbrennung künstlich verschlechtert. Aus diesen Messungen entstand dann ein Diagramm, welches den Zusammenhang zwischen CO-Emissionen und HC-Emissionen darstellt. Um die Lesbarkeit bezüglich Methan zu verbessern, wurde das Mess-Resultat (ppm) als mg CH₄ pro Normkubikmeter bei 3% Restsauerstoff angegeben. 714 mg CH₄ entsprechen 1000 ppm HC = 0.1%.

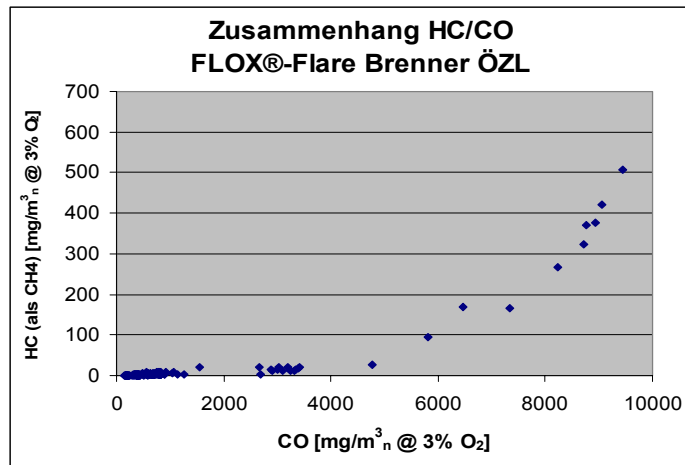


Abbildung 9 Gut sichtbarer Zusammenhang zwischen CO und HC bei unvollständiger Verbrennung. 10'000 ppm = 1% unverbranntes CO im Abgas. Das Methan-Schlupf-Ziel (<0.1%) wäre am oberen Ende der Diagrammfläche.

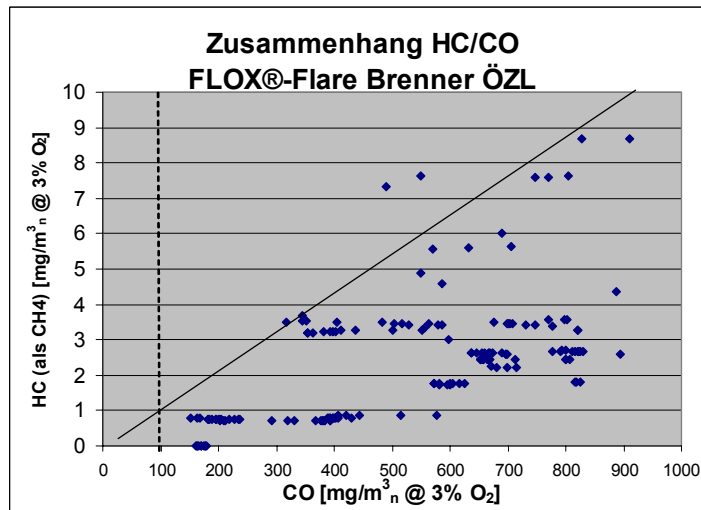


Abbildung 10 Starke Vergrößerung des unteren Bereiches: Bei Einhaltung des Projektzieles punkto CO-Emissionen sind die HC-Emissionen geringer als 1 mg CH₄ / m³_n, womit klar wird, dass CO als sicherer Pre-Cursor verwendet werden darf.

Die Messungen mit FID-Methode haben gezeigt, dass der Methan-Schlupf deutlich geringer ist, als messbar – und das Projektziel bei CO (Kohlenmonoxid) ca. 1'000 mal strenger ist.

CO ist ein teil-oxidierter Brennstoff. Die Oxidation muss schon gestartet sein, ist aber noch nicht abgeschlossen. Da Wasserstoff schneller reagiert als Kohlenstoff, könnte dies folgendermassen aussehen:

$\text{CH}_4 + 4 \text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (der Zwischenschritt bei unvollständiger Verbrennung ist unterstrichen)

Die Messungen haben gezeigt, dass bei einer unvollständigen Verbrennung die Wahrscheinlichkeit mehr als 100-fach grösser ist, CO anzutreffen, als CH₄.

Weil sich ein verlässlicher Zusammenhang zwischen den beiden Emissionen darstellen liess, wurden danach die Kontroll-Messungen im Felde nur noch mit der konventionellen Gasanalyse durchgeführt, welche CO auf wenige ppm genau bestimmen vermag, jedoch keine Aussage zu Kohlenwasserstoffen macht.

6. Wiederholung der Feldmessungen mit Schwachgas an der Anlage in Widnau (SG)

Auf Grund der Erkenntnisse im Labor wurde im Winter 2007/8 beim Industriepartner e-flox ein Brenner gebaut, ebenfalls mit separater aber zusätzlich regelbarer Vorwärmung von Luft und Brennstoff. Dieser Brenner ist nun in Widnau SG auf einer landwirtschaftlichen Biogas-Anlage eingesetzt, welche mittels einer PSA-Anlage (Druckwechsel-Adsorption) unseres Industriepartners Acrona-Systems Ltd. das Gas aufkonzentriert (methanisiert) und ins Erdgasnetz einspeist. Der Vorteil dieses Brenners gegenüber dem Labormodell ist die Regelbarkeit der Rekuperation und die Modulierbarkeit. Dadurch kann ohne Überhitzungsgefahr mit Erdgas oder Biogas zugefeuert werden und damit den Heizwärmebedarf des Fermenters der Biogasanlage ganzjährig abgedeckt werden – in einem Bereich von 50 bis 120 kW. Die Biogasanlage in Widnau SG weist drei Inputstränge auf: Rindergülle, festes Grüngut und zu hygienisierende, hauptsächlich flüssige, Speiseresten .



Abbildung 11 Industrie-Prototyp verbrennt die PSA-Abgase der Biogas-Anlage Widnau SG. Zusätzlich kann mit diesem Modell darüber hinaus auch mit höheren Leistungen und Bio- oder Erdgas-Zuführung dem Wärmebedarf des Fermenters gefolgt werden. Diese Pilotanlage wird unterstützt durch den Forschungsfonds des SVGW.



Abbildung 12 Brennwertkessel zur Nutzung der im Flox-Brenner erzeugten Wärme zur Heizung des Fermenters und der Hygienisierung der Speiseresten.

Leider bestätigte sich die jüngste Erfahrung im Labor im Felde: Bei sehr hohem CO₂-Gehalt im Brenngas ist die Brennkammer des ersten Feldtest-Schwachgasbrenners zu klein und die Verbrennung somit ungenügend. Bei gleichen Brennkammer-Geometrien und Dimensionen wie bei der sehr emissionsarmen Brennkammer im Tessin.

Bezüglich des Methanschlupfes kann jedoch gesagt werden, dass auch beim schlechtesten gemessenen Betriebszustand (im obigen Diagramm, 4520 mg CO) der CH₄-Schlupf weniger als 20 mg/m³_n @ 3% O₂ beträgt – und somit rund 35 mal geringer ist als das Projektziel von 0.1 vol% (714 mg/m³_n @ 3% O₂). Die wichtigen Erkenntnisse zur Brennkammer-Grösse sind selbstverständlich mittlerweile in die Konstruktion eingeflossen.

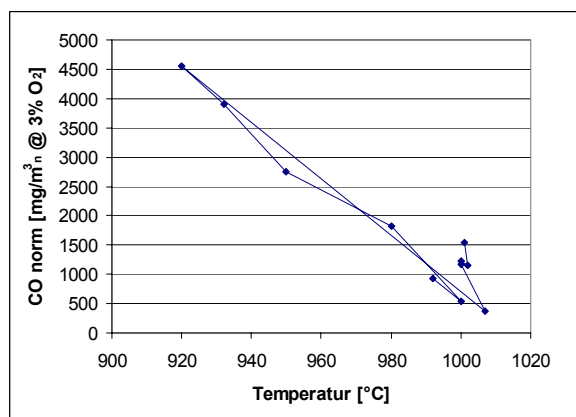


Abbildung 13 Verhalten des FLOX-Brenners in Widnau bei 7% CH₄ / 93% CO₂ und ca. 80 kW Heizlast.

7. Besuch einer der 4 bisher realisierten kommerziellen Anlagen, Inwil (LU)



Abbildung 14 Begehung der Biogasanlage „Swiss Farmer Power“ in Inwil mit Sandra Hermle und Bruno Guggisberg. Links die Schwachgasverbrennungsanlage auf dem Dach und rechts die kondensierende Kesselanlage im darunter befindlichen Kesselhaus.

8. Paralleler Langzeittest mit nachgerüsteter Schwachgas-Deponiefackel

Wie in der letzten Berichtsperiode beschrieben, läuft im Tessin parallel ein 18 monatiger Dauertest einer Schwachgasfackel. Diese Verbrennungseinrichtung zeigte in bisher rund 380 Betriebstagen keinen einzigen selbstverschuldeten Ausfall. Insgesamt 11 Ausfalltage wurden durch einen Blitzschlag (Gewitter) und weiteren Stromnetz-Ausfällen verursacht.

Unter Berücksichtigung der Messungen von Methanschleupf in Abhängigkeit der CO-Emissionen in (Kapitel 4) können die Projektergebnisse im Felde wie folgt zusammengefasst werden:

Die im Felde gemessenen CO-Emissionen liegen um einen Faktor 10 bis 50 unter dem Projektgrenzwert von 100 mg/m³_n. Die im Felde gemessenen NO_x-Emissionen liegen etwa Faktor 6 bis 10 unter den schweizerischen LRV-Grenzwerten für Erdgasfeuerungen (kein Projektziel definiert), und der

Methanschlupf beträgt auf Grund des im Labors ermittelten Zusammenhangs (HC/CO) $<<0.1 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$ und somit mehr als 10'000 mal weniger als das Projektziel (von $<0.1 \text{ Vol\%}$) erlaubt hätte.

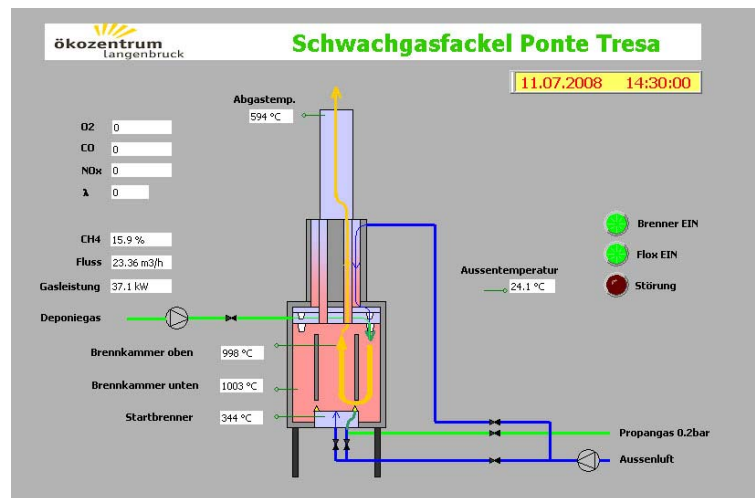


Abbildung 15 Bildschirm-Ansicht der Online-Abfrage. Das Emissionsmessgerät ist jeweils nur dann angeschlossen, wenn Personal des Ökozentrums auf der Deponie ist. Deshalb zeigen die Werte oben Links ($\text{O}_2/\text{CO}/\text{NO}_x/\lambda$) null. Auf einer Tabelle werden zusätzlich zu den obigen Zahlen der Gaszählerstand seit letztem Datei-Wechsel, sowie die Drehfrequenz des Ventilators angezeigt – ein sehr wertvolles Mass zur Bestimmung der Leistungsreserven der Fackel. Auf Grund dieses Wertes werden Änderungen in der Besaugung der Deponie geplant, um die Kapazität möglichst gut zu nutzen.

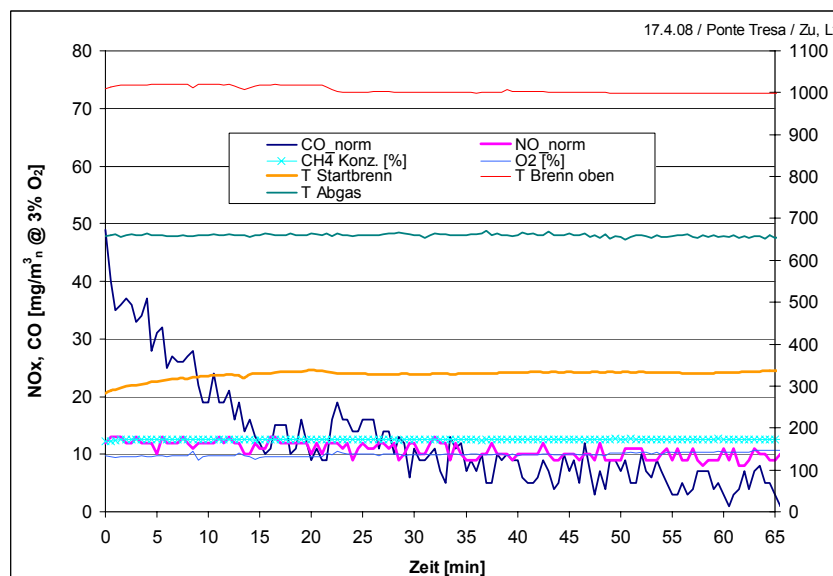


Abbildung 16 Ausschnitt vom Ende der Aufwärmphase (sichtbar durch Anstieg der Kühlluft-Temperatur im Startbrenner und Anstieg des Luftüberschuss', bei gleicher geregelter Brennkammertemperatur) und Beginn des Stationärbetriebes. Die Skala der Emissionen endet bei $80 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$, weil dies dem gebräuchlichsten Schweizer NO_x -Grenzwert (LRV) für Gasheizungen entspricht. Die NO_x -Emissionen des FLOX-Schwachgasbrenners liegen um einen Faktor 6 bis 10 tiefer. Die NO_x -Emissionen werden als NO und NO_2 gemessen und dann als NO_2 angegeben.

Nationale Zusammenarbeit

Das vorliegende Projekt ist ein Arbeitspaket eines Entwicklungsprojektes „Emissionsarme Nutzung von Schwachgasen“ mit einem Gesamtumfang von ursprünglich 330'000 CHF, heute ca. 560'000 CHF. Daran partizipieren die Schweizer Industriepartner: *Acrona Systems Ltd.*, *Ryll (Schweiz)* in Form der Firma *Eigensatz*, der deutsche Brennerhersteller *e-flox GmbH*, sowie der *FOGA* (Forschungsfonds des Schweizerischen Gas und Wasserfaches *SVGW*). Im Rahmen der Schwachgas-Fackel-Dauererprobung sind im weiteren beteiligt: der Kanton Tessin, das Bundesamt für Umwelt BafU, sowie Myclimate und die Deponietechnik-Firma TDU GmbH.

Geplante Umsetzungsprojekte (siehe auch internationale Zusammenarbeit) finden mit zudem mit der Deponietechnik-Firma Oester-Braun-Messtechnik statt. Beratend steht Professor Zeyer der ETH Zürich dem Konsortium zur Seite.

Internationale Zusammenarbeit

Dieses Projekt ist Resultat des Erfolgs des Projektes Bio-Pro des 6. EU-Rahmenprogrammes. Das aktuelle Projekt hat bis auf die Zusammenarbeit mit dem erwähnten deutschen Brennerhersteller keine internationale Anbindung. Durch die Vermittlungstätigkeit des Ökozentrums zwischen dem BafU und der Deponietechnik-Firma TDU GmbH ist ein Engagement in Osteuropa und Asien (Ukraine und Usbekistan) entstanden, bei welchem evtl. ähnliche Systeme eingesetzt werden könnten.

Im Sommer 2008 führte das Ökozentrum Langenbruck beim deutschen Brennerhersteller e-flox einen Workshop zum gemeinsamen Lernen aus allen bisherigen Erfahrungen im Labor und im Felde.

Es ist geplant mit dieser Technik auch Schwachgase aus der Röstung (Torrefaction) von Biomasse-Reststoffen zu lagerbarem, hochwertigen Brennstoff zu verwenden. Dazu bildet sich zur Zeit ein Entwicklungs-Konsortium mit Partnern aus Österreich, Tschechien, Deutschland und den Niederlanden unter der Leitung des Ökozentrums Langenbruck und der Hochschule des Waadtlandes (HEIG-VD).

Im Rahmen der SNF-Ausschreibung „SCOPES“ wird ein Projektzusammenarbeit [3] mit langjährigen Partnern des Ökozentrum Langenbruck in der Ukraine aufgebaut.

Bewertung des Projektes und Fazit

Das Projekt hat alle Ziele gut erreichen können, allerdings unter Beanspruchung von höheren finanziellen Mitteln und mehr Zeit. Parallel konnte eine bereits eindrückliche Umsetzung der Erkenntnisse in industriellen Produkten erreicht werden: Parallel zum Forschungsprojekt konnte eine Pilotanlage mit Unterstützung des SVGW erstellt werden und danach sofort und ebenfalls während dem Forschungsprojekt drei kommerzielle Anlagen. Durch die lange Dauer der Akquisition fanden Forschung und Umsetzung also beinahe gleichzeitig statt, sodass die erste Anwendung in Widnau SG darunter leiden musste, dass gewisse Erkenntnisse erst nach der ersten Inbetriebnahme vorliegen konnten. Dieses zusätzliche „Lehrgeld“ hat sowohl die Ressourcen der umsetzenden Firma Acrona Systems Ltd. (früher Verdesis Suisse SA), als auch des Herstellers e-flox GmbH belastet. Andererseits ist es gerade sehr positiv zu bewerten, dass die Umsetzung der Forschungsergebnisse so schnell erfolgen kann. Das Potential der Anwendungen der FLOX®-Schwachgasbrenner ist riesig und das Interesse der Industrie entsprechend hoch.

Ich möchte mich bei allen Projekt-Teilnehmern herzlich für die kooperative, unbürokratische und erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken.

13.5.2009 / ms

Referenzen

- [1] Voss, S.; Al-Hamamre, Z.; Trimis, D.; Verbrennung von Schwachgasen in Porenbrenner, Emissionsverhalten und Verbrennungsstabilität: *Beitrag zum Freiburger Forschungsforum 2007*; Bergakademie TU Freiberg.
- [2] Wüning, J.G.; Produktebeschreibung des keramischen FLOX-Brenners C80; http://www.flox.com/documents/de_C80.pdf; Renningen 2008
- [3] Borisovich, Y. M.; Puknyukh, A.; Schmid, M. R.; TRANS CLEAN POWER: Transition in landfill technology and waste management – GHG emission and Energy perspective in Ukraine and Switzerland, SNF-Proposal, Langenbruck, 2009