



# **Entwicklung und Implementierung einer Technologie zur umweltfreundlichen Verbrennung von Kaffeefruchtfleischabfällen in El Salvador**

## Schlussbericht

Projektleitung: Michael Sattler, dipl. Biologe/dipl. Umwelting. NDS/FH  
Tel. +41 62 387 31 45  
[sattler@oekozentrum.ch](mailto:sattler@oekozentrum.ch)

Projektmitarbeit: Akos Lukacs, dipl. Maschinen-Ingenieur FH  
Tel. +41 62 387 31 36  
[lukacs@oekozentrum.ch](mailto:lukacs@oekozentrum.ch)

Dirk Hengevoss, Umwelting. MAS  
Tel. +41 62 387 31 36  
[dirk.hengevoss@fhnw.ch](mailto:dirk.hengevoss@fhnw.ch)

Langenbruck, 17. November 2010

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Projektidee und Projektziel</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Hintergrund des Projektes</i>	4
2.2	<i>Projektziel</i>	4
<b>3</b>	<b>Brennstoffanalyse Kaffeepulpe</b>	<b>4</b>
3.1	<i>Schlackenbildung/Brennstoffzusammensetzung</i>	4
<b>4</b>	<b>Entwicklung einer Ofentechnologie für Biomassebrennstoff mit hohem Wassergehalt</b>	<b>6</b>
4.1.1	Konstruktion eines Brenners mit Rekuperator	6
4.1.2	Test des Prototypen mit nassen Hackschnitzeln (60% Wassergehalt)	7
4.1.3	Test des Prototypen mit Trester (70% Wassergehalt)	7
<b>5</b>	<b>Entwicklung Pulpetrockner</b>	<b>8</b>
5.1	<i>Diplomarbeit zur Konstruktion eines Trockners für Kaffeepulpe</i>	8
5.2	<i>Umsetzung im Labor Klus</i>	8
<b>6</b>	<b>Weiterentwicklung der neuen Ofentechnologie</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnisse Verbrennungsversuche</b>	<b>10</b>
7.1	<i>Verbrennungsversuche Hackschnitzel (70% Wassergehalt)</i>	10
7.2	<i>Verbrennungsversuche Pulpe</i>	10
7.3	<i>Zusatzexperimente</i>	11
7.3.1	Verbrennungsversuche in einem Pelletbrenner	11
7.3.2	Ausgasungsversuche im Elektroofen	12
7.4	<i>Schlussfolgerung</i>	13
<b>8</b>	<b>Ergebnisse der Externen Brennstoffanalyse</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Vorzeitiges Projektende</b>	<b>14</b>
<b>10</b>	<b>Referenzen</b>	<b>15</b>

## 1 Zusammenfassung

Im Jahre 2007 wurde ein Projekt zur Entwicklung einer Technologie zur umweltfreundlichen Verbrennung von Kaffeebruchfleischabfällen durch die Fachhochschule Nordwestschweiz das Ökozentrum Langenbruck und das Cleaner Production Center El Salvador initiiert. Das Projektziel war die Verbrennung von Kaffeepulpe ohne aufwendige Vortrocknung und ohne Beigabe anderer Brennstoffe. Zudem sollte die Abwärme dieses Verbrennungsprozesses für die Trocknung der Kaffeebohnen genutzt werden. Für die erfolgreiche Verbreitung dieser Ofentechnologie in El Salvador muss eine technisch robuste und preisgünstige Einheit entwickelt werden.

Gemeinsam mit den Projektpartnern wurde ein potenzieller Standort einer Pilotanlage in El Salvador ausgewählt und zu diesem vertiefte Abklärungen getroffen. Das ausgewählte Beneficio erklärte sich bereit eine Pilotanlage in ihrer Kaffeetrocknung zu installieren.

Im Feuerungslabor des Ökozentrum Langenbruck wurde ein Prototyp der Brennertechnologie entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass mit der gewählten Technologie eine Verbrennung von Biomasse (Holz-Hackschnitzel) mit 70% Wassergehalt möglich ist. Somit waren die Voraussetzungen zur erfolgreichen Verbrennung von feuchter Kaffeepulpe gegeben.

Anschliessende Verbrennungsversuche mit importierter Pulpe aus El Salvador verliefen entgegen den Erwartungen nicht erfolgreich. Obwohl sämtliche Untersuchungen einen Heizwert der Kaffeepulpe von 17 – 18 MJ/kg Brennstoff (10% unter dem Heizwert von Holz) bestätigten, konnte in verschiedensten Versuchen kein zufrieden stellender Abbrand erreicht werden. Auf der Suche nach den Ursachen für die ungünstigen Verbrennungseigenschaften wurden am Ökozentrum Langenbruck Versuche zum Ausgasungsverhalten durchgeführt. Auch zusätzliche Verbrennungsversuche in verschiedenen Ofentypen zeigten eine übermässige Rauchentwicklung und ein vorzeitiges Erlöschen des Brennstoffes. Weiter wurde eine erweiterte Literaturstudie durchgeführt.

Da diese Anstrengungen keine schlüssige Erklärung für das schlechte Abbrandverhalten zuließen, wurde die Firma BIOS in Österreich mit einer detaillierten Brennstoffanalyse beauftragt. Durch die Verbrennungsreihe unter Laborbedingungen erhoffte man sich Erklärungen, die eine Weiterentwicklung der Technologie ermöglichen würden. Die Analysen und Versuche zeigten, dass eine Verbrennung unter Laborbedingungen möglich ist. Im Gegensatz zu den Versuchen am Ökozentrum Langenbruck wurden bei der Firma BIOS sämtliche Versuche in extern beheizten Reaktionskammern durchgeführt. Für das schlechte Abbrandverhalten unter Praxisbedingungen (ohne externe Beheizung) konnten dabei leider keine hinreichenden Erklärungen gefunden werden.

Da das Verbrennen von Kaffeepulpe in der Praxis mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist, und auch nach intensiver Prüfung und Nachforschung keine Lösungsansätze gefunden werden konnten, sah das Projektkonsortium keine Möglichkeit das Projekt in seiner ursprünglich beantragten Form erfolgreich abzuschliessen. Das Projektkonsortium hat zusammen mit den unterstützenden Stellen beschlossen, das aktuelle Projekt zu beenden.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt geben wertvolle Inputs für eine alternative Verwendung von Kaffeepulpe. Aktuell wird die Option einer Umwandlung zu Biokohle als bodenverbesserndes Substrat abgeklärt. Erste Versuche haben gezeigt dass die Umwandlung von Kaffeepulpe zu Biokohle prozesstechnisch problemlos möglich ist. Diese Technologie hat jedoch eine deutlich andere Ausrichtung als das Projekt *Pulpebrenner* und ist für den unmittelbaren Einsatz in Entwicklungsländern noch ungenügend erforscht. Das Projektkonsortium sieht die Möglichkeit nach entsprechenden Abklärungen ein neues Projekt für die sinnvolle Verwertung von Kaffeepulpe zu lancieren.

## **2 Projektidee und Projektziel**

### **2.1 Hintergrund des Projektes**

Kaffeefruchtfleischabfälle fallen bei der Kaffeeverarbeitung in sehr grossen Mengen an. Die Entsorgung ist in vielen kleinen und mittleren kaffeeverarbeitenden Betrieben nicht zufrieden stellend gelöst. Die unsachgemässe Entsorgung von Kaffeepulpe führt weltweit zu grossen Umweltproblemen hinsichtlich Gewässerverschmutzung, Bodenversauerung und Treibhausgasemissionen [1].

### **2.2 Projektziel**

Das Projekt Pulpebrenner hatte zum Ziel, eine Ofentechnologie zur umweltfreundlichen Verbrennung von Kaffeefruchtfleischabfällen (Kaffeepulpe) und Energieproduktion für die Trocknung von Kaffeebohnen weiter zu entwickeln und zu implementieren [1]. Das neue Verbrennungsverfahren sollte, im Gegensatz zu bestehender Verbrennungstechnologie, die feuchte Pulpe ohne weitere Zusätze verbrennen und eignet sich deshalb sehr für den wirtschaftlichen und ökologischen Einsatz in Entwicklungsländern.

Entscheidende Punkte der neuen Ofentechnologie:

- Verbrennung von feuchter Kaffeepulpe ohne aufwändige Vortrocknung
- Verbrennung von feuchter Kaffeepulpe ohne Zusatzbrennstoff
- Keine organischen Rückstände (Bsp. Presswasser)
- Nutzung der Abwärme zur Trocknung von Kaffeebohnen
- Angepasste Technologie für kleine und mittlere Betriebe

## **3 Brennstoffanalyse Kaffeepulpe**

### **3.1 Schlackenbildung/Brennstoffzusammensetzung**

Für die Verbrennung von Kaffeepulpe ist neben dem hohen Wassergehalt auch die chemische Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung. Einerseits muss der Heizwert genügend hoch sein und andererseits ist die Gefahr von Schlackebildung zu beachten. Die chemische Analyse des Brennstoffes ergab einen Heizwert  $H_u$  von 16'983 kJ/kg (Abb. 1). Dieser Wert ist ca. 10% tiefer als bei Holz. Möglicherweise hat durch die Trocknung und Lagerung eine Zersetzung in geringem Umfang stattgefunden, wodurch der Heizwert verringert wurde.


Die Brennstoffanalyse ergab weiter einen sehr hohen Anteil von Kalium (53.8 g/kg TS). Dieser Wert erklärt sich durch den hohen Kaliumbedarf der Kaffeepflanze. Offensichtlich wird Kalium von der Kaffeepflanze für den Aufbau der Kaffeepulpe gebraucht. Die Aschemenge ist relativ gross, aber die Tendenz zur Verglasung ist reduziert. Brennversuche in einem Pellbrenner haben gezeigt, dass grosse Mengen Asche anfallen, diese aber nicht eine feste Schlacke formt (Abb. 2).

Ökozentrum Langenbruck  
Centre of Appropriate Technology and Social Ecology  
Schwengistr. 12  
CH-4438 Langenbruck

Ihr Zeichen : Lukacs  
Ihr Auftrag :  
Ihr Auftrag vom : 16.01.2008  
Eingegangen am : 24.01.2008  
Probenahme : Kunde  
Prüfbericht vom : 31.01.2008  
Seite : 1 von 1

**Prüfbericht : 160548**

Prüfmuster	ID	Prüfparameter	Prüfmethode	Prüfergebnis	Einheit
Biomasse	121739	Wassergehalt (Feuchte)	DIN 51 718	18,8	% (m/m) OS
		Kohlenstoffgehalt	DIN 51 732	44,2	% (m/m) TS
		Wasserstoffgehalt		6,2	% (m/m) TS
		Stickstoffgehalt		2,8	% (m/m) TS
		Sauerstoffgehalt		38,9	% (m/m) TS
		Schwefelgehalt		DIN EN ISO 20884	0,173
		Heizwert, unterer	DIN 51 900-2	16983	J/g TS
		Magnesium	RFA	1580	mg/kg TS
		Aluminium		448	mg/kg TS
		Silicium		636	mg/kg TS
		Phosphor		1480	mg/kg TS
		Chlor		767	mg/kg TS
		Kalium		53800	mg/kg TS
		Calcium		14300	mg/kg TS
		Schwefel		1730	mg/kg TS
Mangan	31	mg/kg TS			
Eisen	2	mg/kg TS			



J. Bernath

Abbildung 1: Prüfbericht Brennstoffanalyse Kaffeepulpe. Der Heizwert von Kaffeepulpe und Holz sind sehr ähnlich.



*Abbildung 2  
Versuche zum Schlackebildungsverhalten  
von Kaffeepulpe im Labor Klus*

Die leicht entfernbare und flockige Asche enthält einen hohen Anteil Kalium in Form von Pottasche ( $K_2CO_3$ ). In Lösung mit Wasser oder auch als Streugut kann die Pottasche als Dünger auf sauren Böden verwendet werden. Einen Einsatz des Düngers in der Kaffeepflanzung ist wahrscheinlich, und würde das Gesamtprojekt um einen weiteren sehr positiven Aspekt erweitern.

## **4 Entwicklung einer Ofentechnologie für Biomassebrennstoff mit hohem Wassergehalt**

### **4.1.1 Konstruktion eines Brenners mit Rekuperator**

Nach den Berechnungen zur Auslegung des Pulverbrenners wie sie im Anhang des Projektbeschrieb [1] aufgeführt sind, wurde im Labor Klus ein Prototyp aufgebaut. Neben einem Brennraum mit Treppenrost und einem Stoker zur Brennstoffzuführung ist der speziell entwickelte Rekuperator für die Vorwärmung der Verbrennungsluft ein entscheidendes Bauteil. Ein relativ einfach gehaltener Röhrenwärmetauscher mit Vermiculite-Verkleidung wurde im Anschluss an die Brennkammer installiert. Die Rauchgase durchströmen den Rekuperator im Gegenstrom und wärmen die Verbrennungsluft (Rostluft) vor. Um die Verbrennungsluft auf ein möglichst hohes Temperaturniveau vorzuwärmen, wurde der Rekuperator so entworfen, dass die Rauchgase die Wärmetauscherrohre auf der Aussenseite anströmen. Durch diese Anordnung wird der Wärmeverlust über die Isolation dem Abgas und nicht der vorzuwärmenden Verbrennungsluft entnommen (Abb. 3+4). Auch für die Reinigung vor Ort ist diese Anordnung vorteilhafter. Durch das einfache Entfernen einer Seitenwand ist der Rekuperator voll zugänglich und ohne Spezialwerkzeuge zu reinigen.

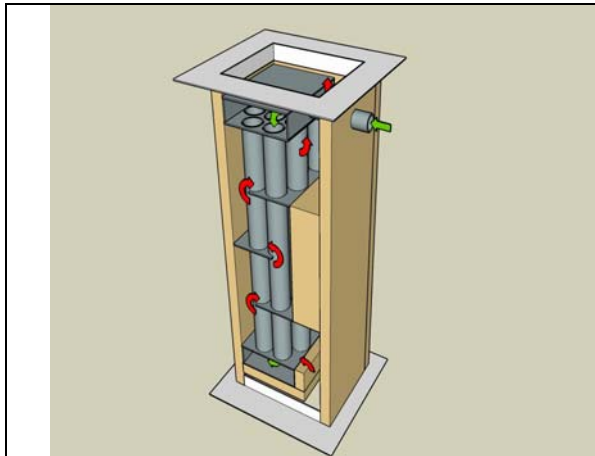


Abbildung 3: CAD-Zeichnung des Rekuperators mit Luftführungspfeilen.



Abbildung 4: Fertig aufgebauter Prototyp des Pulpebrenner (im unteren Teil die Brennkammer, im oberen Teil anschliessend der Rekuperator)

#### 4.1.2 Test des Prototypen mit nassen Hackschnitzeln (60% Wassergehalt)

Erste Versuche mit dem Prototyp und nassem Brennstoff sind positiv verlaufen. Als Brennstoff wurden über mehrere Wochen in Wasser eingelegt Hackschnitzel verwendet. Der so hergestellte Brennstoff wies einen Wassergehalt von 60% auf. Bei einer Feuerungsleistung von 35 kW wurden im Durchgang zwischen Brennkammer und Rekuperator Temperaturen von 850°C gemessen. Nach dem durchströmen des Rekuperator wurden die Abgase mit einer Temperatur von 490°C in den Kamin überführt. Im Rekuperator wurde die Temperatur der Verbrennungsluft um 380°C erhöht. Der angestrebte Wirkungsgrad des Wärmetauschers von 25% konnte somit deutlich überschritten werden. Der Versuch zeigte die gute Funktion des Rekuperators.

Da Brennstoff mit 70% Wassergehalt einen um 40% tieferen Heizwert im Vergleich mit Brennstoff mit 60% Wassergehalt aufweist, waren weitere Versuche mit nasser Biomasse als Brennstoff notwendig.

#### 4.1.3 Test des Prototypen mit Trester (70% Wassergehalt)

Nach der erfolgreichen Erprobung des Prototypen mit Hackschnitzeln erfolgte ein weiterer Test mit einem Brennstoff der den geforderten Wassergehalt von 70% aufwies. Als Brennstoff wurde Apfeltrester (Rückstände aus der Herstellung von Apfelsaft mit 90% Wassergehalt) mit Sägemehl (5% Wassergehalt) gemischt. Dieser Brennstoff wies genau 70% Wassergehalt auf, war jedoch in der Konsistenz deutlich kompakter als Hackschnitzel.

In dem mit trockenem Brennstoff gestarteten Brennversuch erlosch das Feuer langsam, ab dem Zeitpunkt der nassen Brennstoffzugabe. Die Verbrennung des Brennstoffes aus Apfeltrester und Sägemehl mit 70% Wassergehalt war nicht erfolgreich.

Der Grund für diesen Misserfolg liegt vermutlich in der klar, von Hackschnitzeln und auch Pulpe unterschiedlichen Konsistenz. Durch den sehr kompakten Brennstoff konnten im Feuerraum die Schritte Trocknung und Ausgasung/Verbrennung nicht gestuft ablaufen. Dies führte zu einer Verdrängung der Reaktionszone und schliesslich zum kompletten Erlöschen des Feuers (Abb. 5).



*Abbildung 5:  
Durch den nassen und sehr kompakten  
Brennstoff zurückgedrängte Reaktionszone  
im Brennraum des Prototyp*

## **5 Entwicklung Pulpetrockner**

Da entgegen den ursprünglichen Informationen zum Projektstart, die Pulpe deutlich feuchter aus dem Verarbeitungsprozess ausscheidet, muss für eine Verbrennung die Pulpe vortrocknet werden. Verschiedenen Technologien wurden evaluiert, mit dem Ziel eine Vortrocknung kostengünstig, ohne Presswasseranfall und mit minimalem Energieinput zu realisieren. Die Evaluation hat ergeben, dass die Vortrocknung mit Umgebungsluft in einem Konvektionstrockner mit Vibrationsvorschub optimal bewerkstelligt werden kann.

### ***5.1 Diplomarbeit zur Konstruktion eines Trockners für Kaffeepulpe***

An der Berner Fachhochschule wurden von Simon Bättscher im Rahmen einer Bachelorarbeit verschiedene Trocknungsverfahren für Kaffeepulpe geprüft. Mit der Unterstützung von externen Experten konnte auf umfangreiches Wissen im Trocknungsbereich zurückgegriffen werden, was die Entwicklung eines viel versprechenden Trockners erlaubte. Der Konvektionstrockner für die Vortrocknung der Pulpe wurde von Herr Bättscher ausgelegt und gezeichnet. Mit der Übergabe der Konstruktionspläne wurde die Diplomarbeit erfolgreich abgeschlossen.

### ***5.2 Umsetzung im Labor Klus***

Der Pulpetrockner wurde im Dezember 08 nach den Konstruktionsplänen von Herr Bättscher im Labor Klus gebaut. Der Aufbau anhand der Pläne der Berner Fachhochschule erlaubte die baulichen Details in der Praxis zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern. So konnte genügend Erfahrung im Aufbau des Pulpetrockners gewonnen werden, um für die Umsetzung in El Salvador eine angepasste Technologie zu liefern (Abb. 6+7).

Da zeitgleich mit der Fertigstellung des Trockners die im Kapitel 7 dargestellten Schwierigkeiten auftraten, wurden die Praxisversuche auf Grund der unsicheren Projektsituation zurückgestellt und bis zum Projektende nicht mehr durchgeführt. Auch die geplante zusätzliche Bachelorarbeit für die weitere Optimierungen wurde nicht durchgeführt.



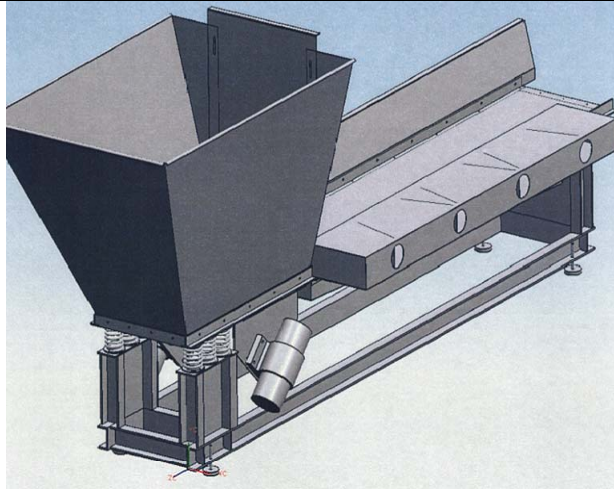


Abbildung 6: CAD-Pläne des Pulpetrockners aus der Bachelorarbeit der Berner Fachhochschule



Abbildung 7: Pulpetrockner im Labor Klus kurz vor der Fertigstellung

## 6 Weiterentwicklung der neuen Ofentechnologie

Der im Kapitel 4 beschriebene Prototyp wurde weiter optimiert und mit einem zusätzlichen Brennkammervolumen und Sekundärlufteindüsung ergänzt. Der neue Prototyp (Abb. 8) wurde modular aufgebaut um allfällige zusätzliche Optimierungen schnell umsetzen zu können. Weiter erlaubt diese Möglichkeit einzelne Teile direkt in El Salvador weiter zu verwenden.



Abbildung 8: Modular aufgebauter Prototyp im Labor Klus.

## 7 Ergebnisse Verbrennungsversuche

### 7.1 Verbrennungsversuche Hackschnitzel (70% Wassergehalt)

Für die Versuche wurden waldfrische Hackschnitzel mit hohem Wassergehalt, die zusätzlich in Wasser eingelegt waren, verwendet. So konnte der geforderte Wassergehalt von 70% erreicht werden.

Nach einigen Versuchen konnten im Ofen mit zusätzlichem Brennkammervolumen die geeigneten Parameter für Luft- und Brennstoffzufuhr für eine Verbrennung von nassen Holz hackschnitzeln mit 70% Wassergehalt gefunden werden. Abb. 9 zeigt die feuerungstechnischen Parameter des Pulpebrenners mit nassen Holz hackschnitzeln. Um 14:38 wurde die Brennstoffzufuhr von Hackschnitzel mit 60% Wassergehalt auf Hackschnitzel mit 70% Wassergehalt umgestellt. Nach 2 Stunden wurde der Temperaturtiefpunkt mit anschließender stationärer Betriebsphase erreicht. Die Verbrennung von Biomasse mit einem Wassergehalt von 70% verlief somit erfolgreich.

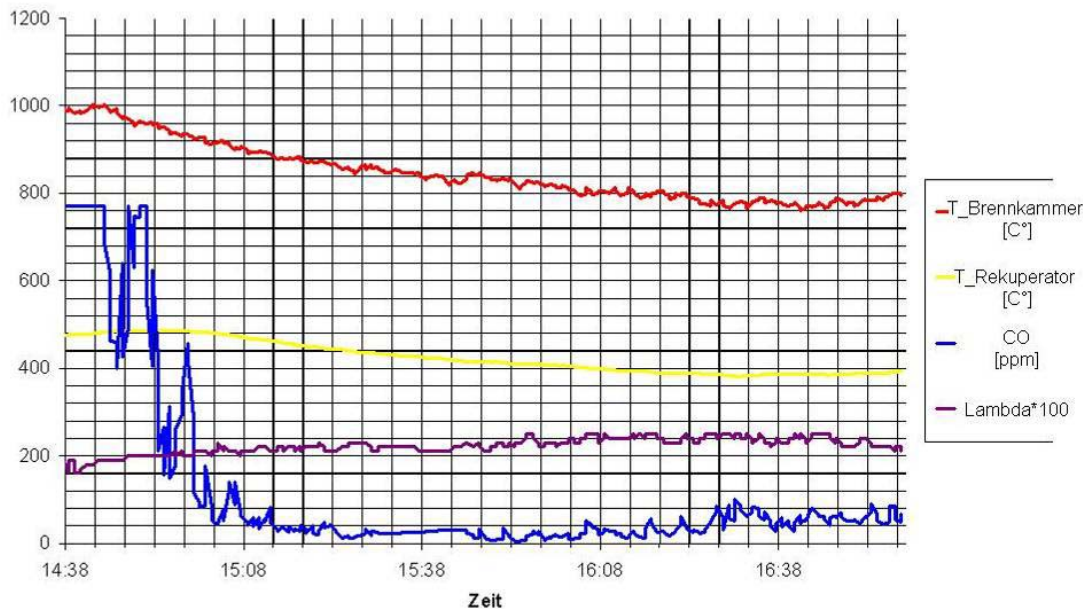


Abbildung 9: Feuerungstechnische Parameter des Pulpebrenner bei Betrieb mit nassen Holz hackschnitzeln mit 70% Wassergehalt (Start Beschickung mit nassen Hackschnitzel um 14:38).

### 7.2 Verbrennungsversuche Pulpe

Anschliessend an die erfolgreichen Versuche mit nassen Holz hackschnitzeln wurden Versuche mit Pulpe gleichen Wassergehalts (70% Wassergehalt) durchgeführt. Die Pulpe wurde extra in unbearbeitetem Zustand aus El Salvador importiert um möglichst realitätsnahe Versuchsparameter zu erreichen. Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, erlosch das Feuer beim Versuch den Ofen mit Kaffeepulpe zu betreiben innert weniger Minuten. Kaffeepulpe mit hohem Wassergehalt konnte im Versuchsofen nicht erfolgreich verbrannt werden.

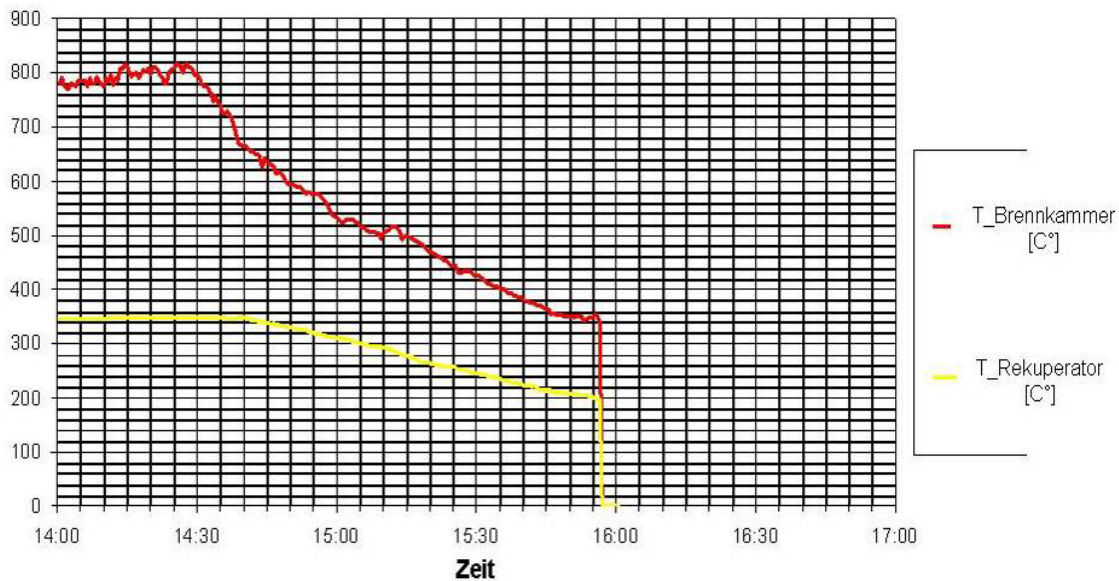


Abbildung 10: Temperaturen von Brennkammer und Rekuperator beim Betrieb mit nasser Pulpe mit 70% Wassergehalt (Start Beschickung mit nasser Pulpe um 14:30). Der schnelle Temperaturrückgang widerspiegelt das Erlöschen des Feuers.

### 7.3 Zusatzexperimente

#### 7.3.1 Verbrennungsversuche in einem Pelletbrenner

Die aufgetretene Situation von völlig unterschiedlichem Verhalten des Brennstoffes bei sehr ähnlicher chemischer Zusammensetzung und Heizwert und gleichem Wassergehalt war überraschend und gab Anlass zu weiteren Abklärungen.

Um mit geringem Zusatzaufwand wichtige Informationen für das unerwartete Verbrennungsverhalten der Pulpe zu erhalten, wurden Versuche in einem Standard-Pelletbrenner (Abb. 11) durchgeführt. Die Versuche haben ergeben, dass trockene Pulpe ohne regelmäßige mechanische Durchmischung des Glutbettes nur ungenügende Verbrennungseigenschaften aufweist. In den Versuchen konnte durch die Beimischung von Holzpellet die Verbrennung der Pulpe verbessert werden.



Abbildung 11: Getrocknete Kaffeepulpe brennt in einem Pelletbrenner ohne mechanische Durchmischung nur durch Beimischen einer Zündquelle zufrieden stellend. Im Versuch wurden 50 Gew.-% Pellet beigemischt.

### 7.3.2 Ausgasungsversuche im Elektroofen

Um die Brenngasentwicklung der Kaffeepulpe bei unterschiedlichen Temperaturen zu untersuchen, wurden Ausgasungsversuche in einem Elektroofen durchgeführt. So konnte die Gasentwicklung und dessen Brennbarkeit bei unterschiedlichen Brennstofftemperaturen ermittelt werden. Die Versuche zeigten, dass ab einer Temperatur von ca. 600°C bei trockener Pulpe als Brennstoff eine selbst erhaltende Gasflamme entstand (Abb. 12). Dies bestätigt die Ergebnisse aus der Brennstoffanalyse, welche Kaffeepulpe als Biomasse mit gutem Heizwert ausweist.

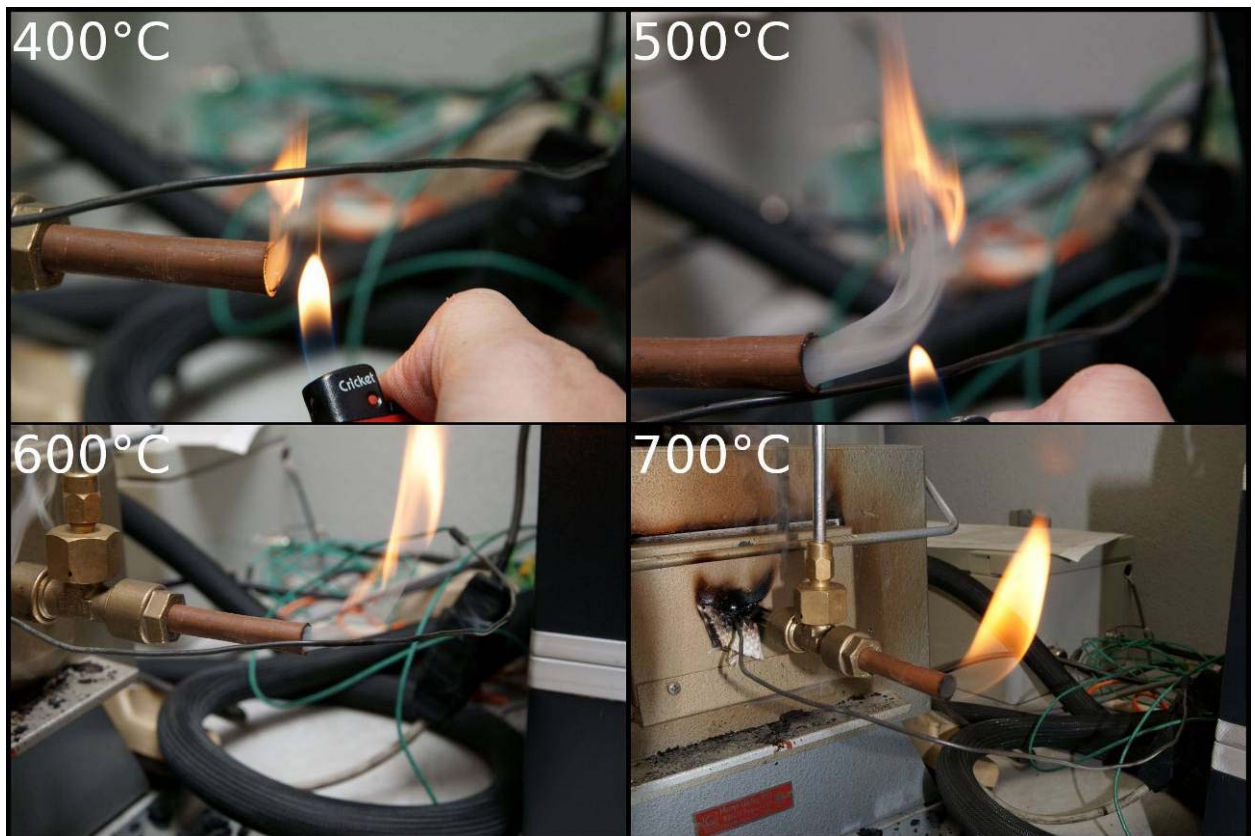


Abbildung 12: Die Versuche haben gezeigt, dass ab 600°C Brennstofftemperatur eine selbst erhaltende Flamme möglich ist. Unterhalb dieser Temperatur brennt das Gas nur, wenn eine Zündquelle vorhanden ist.

Analoge Versuche wurden mit nasser Pulpe (70% Wassergehalt) durchgeführt. Hier entstand erst bei ca. 1000°C Brennstofftemperatur eine selbst erhaltende Flamme. Abb. 13 zeigt, dass die Ausgasungsphase von brennbarem Gas bei nasser Pulpe zeitlich leicht versetzt und kürzer (tiefere Gaskonzentration) ausfällt als bei trockenen Hackschnitzeln und trockener Pulpe.

Die Versuche haben indikativen Charakter und erlauben keine exakte Bestimmung von Ausgasungstemperaturen oder -volumina. Die Grundannahme, dass Kaffeepulpe als Brennstoff verwendet werden kann, wurde klar bestätigt.

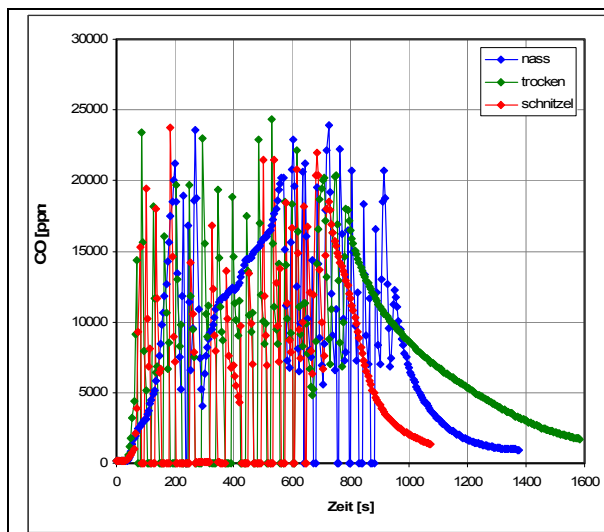


Abbildung 13: CO-Werte als Indikator für die Ausgasung des Brennstoffes. Die Ausgasungsphase bei nasser Pulpe ist zeitlich leicht versetzt und kürzer (tiefere Gaskonzentration) als bei trockenen Hackschnitzeln und trockener Pulpe.

## 7.4 Schlussfolgerung

Das unerwartete Verbrennungsverhalten der Kaffeepulpe kann auch mit den beschriebenen, einfachen Zusatzexperimenten nicht abschliessend erklärt werden. Einerseits zeigen sämtliche Praxisversuche massive Schwierigkeiten bei der Verbrennung von Kaffeepulpe, andererseits weisen chemische Analysen und einfache Laborversuche auf einen hohen Heizwert hin. Die Autoren vermuten, dass sich die Pulpe durch eine Reaktion an der Brennstoffoberfläche leicht "versiegelt" und so eine schnelle Ausgasung verhindert. Es wird auch vermutet, dass die formstabile Asche eine relativ gute Isolationseigenschaft aufweist und dadurch ein Erreichen der Reaktionstemperatur in einer grösseren Brennstoffansammlung verlangsamt wird. Beiden Phänomenen könnte durch eine mechanische Aufmischung des Glutbettes entgegen gewirkt werden. Allerdings ist diese mechanische Durchmischung mit deutlichem Mehraufwand in der Konstruktion verbunden, was die Bestrebungen, eine robuste und preisgünstige Ofentechnologie zu entwickeln, erschweren. In der Hoffnung die entscheidenden Hinweise für das weitere Vorgehen in der Entwicklung der Ofentechnologie zu erhalten wurden zusätzliche Verbrennungsversuche in Auftrag gegeben.

## 8 Ergebnisse der Externen Brennstoffanalyse

In der externen Analyse wurde der potentielle Brennstoff Kaffeepulpe eingehend untersucht. Die durchgeführten Versuche bestätigen Kaffeepulpe als potentiellen Brennstoff. Auf dem Prüfstand weist Kaffeepulpe ein ähnliches Abbrandverhalten wie Weichholz auf wenn auch mit schwierigen Eigenschaften bezüglich Partikel und Verschlackung [2]. Bei der externen

Analyse der Firma BIOS wurden sämtliche Versuche in extern beheizten Reaktionskammern durchgeführt. Diese Versuchsanordnung ist für eine detaillierte Analyse des Abbrandes notwendig, spiegelt aber nur bedingt die Situation in einem realen Ofen wieder. Der grosse Unterschied liegt darin, dass in einem realen Ofen die Brennkammer und der Brennstoff durch das Abbrennen des Brennstoffes erhitzt werden müssen. Dies ist in einem elektrisch beheizten Laborreaktor nicht der Fall.

Auf Grund der Resultate der Analyse gehen wir davon aus, dass eine Versiegelung der Brennstoff-Oberfläche und/oder die Entstehung einer thermisch isolierenden Schicht einen kontinuierlichen Abbrand verhindern.

Somit bestätigen die Theorie und Laborversuche die Kaffeepulpe als potenziellen Brennstoff. In der Praxis sind jedoch sämtliche Versuche die Kaffeepulpe zu verbrennen gescheitert.

## **9 Vorzeitiges Projektende**

Das Projektkonsortium sieht keine Möglichkeit, das Projekt in seiner ursprünglich beantragten Form erfolgreich abzuschliessen. Daher wurde das Projekt vorzeitig beendet.

Im Verlaufe des Projektes wurden verschiedene andere Optionen für eine sinnvolle Verwertung von Kaffeepulpe angedacht. Die aus Sicht des Projektkonsortiums besten Optionen für eine sinnvolle Verwendung von Kaffeepulpe werden im Folgenden kurz vorgestellt.

- Die bisherigen Erkenntnisse aus dem Projekt Pulpebrenner zeigen die massiven Schwierigkeiten bei der Verbrennung von Kaffeepulpe. Es wäre möglich mit dem Einsatz aufwändiger Prozesstechnik Kaffeepulpe zu verbrennen. Eine solche Neuentwicklung wäre auf Grund des hohen Preises nicht in kleinen und mittleren Betrieben in einem Entwicklungsland einsetzbar. Diese Option wird daher nicht weiter verfolgt.
- Das aufkommen neuer Trocknungstechnologien mittels dampfdurchlässiger Membranen könnte eine Möglichkeit bieten, Pulpe auf einen Wassergehalt von <50% zu trocknen. Die anschliessende Verwendung als Brennstoff in einer Co-Verbrennung ist dann zu prüfen. Zurzeit liegen noch keine Resultate aus Praxisversuchen mit der dampfdurchlässigen Membran vor. Daher kann auch diese Option vorerst nicht aktiv verfolgt werden.
- Die Erfahrungen aus dem Projekt Pulpebrenner zeigen eine mögliche sinnvolle Verwertung der Kaffeepulpe durch Pyrolyse. Bei dieser Technologie wird aus der Kaffeepulpe durch Erhitzen Kohle und Asche hergestellt. Diese Biokohle kann, ausgebracht auf landwirtschaftlich genutzten Böden, zur nachhaltigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beitragen. Die Schweizer Firma DELINAT beschäftigt sich aktuell intensiv mit dieser Technologie der Biomassereststoff-Verwertung. Erste Versuche haben gezeigt dass die Umwandlung von Kaffeepulpe zu Biokohle prozesstechnisch problemlos möglich ist. Diese Technologie hat jedoch eine deutlich andere Ausrichtung als das Projekt Pulpebrenner und ist noch ungenügend erforscht für einen unmittelbaren Einsatz. Das Ökozentrum Langenbruck verfolgt diese Technologie aufmerksam.

Die verschiedenen Möglichkeiten einer Verwertung von Kaffeepulpe werden weiter verfolgt, und gegebenenfalls in Form eines neuen Projektes aufgegriffen.

## **10 Referenzen**

1. Projektbeschrieb Pulpebrenner (19.3.2008)
2. Brennstoffanalyse BIOS 2010