

Jahresbericht 2002, 2. Dezember 2002

# Vergärung von Pulpa aus der Kaffee-Produktion

Autor und Koautoren	Markus Hofmann, Urs Baier
beauftragte Institution	Hochschule Wädenswil (HSW), Umweltbiotechnologie
Adresse	Einsiedlerstrasse 31, 8820 Wädenswil
Telefon,	+41 1 789 98 22/ +41 1 789 97 14
E-mail	<a href="mailto:m.hofmann@hswzfh.ch">m.hofmann@hswzfh.ch</a> , <a href="mailto:u.baier@hswzfh.ch">u.baier@hswzfh.ch</a>
BFE Projekt-/	44155
Vertrag-Nummer	84194
Dauer des Projekts (von – bis)	Mai-Dezember 2002

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Kaffeeeverarbeitung und –produktion fällt als organischer Abfall das Fruchtfleisch (Pulpa) an. Bis jetzt wurden kaum Machbarkeitsstudien zur Vergärbarkeit und zum Biogaspotential von Kaffee-Pulpa durchgeführt. Aus diesem Grund wurden in den Labors der HSW mit gezielten anaeroben Abbauprozessen das Biogaspotential ermittelt. Des Weiteren wurde die anaerobe Abbaubarkeit, verbunden mit einer möglichen Hemmung durch Nährstofflimitationen (N-/P-) und/oder durch Inhaltsstoffe, bestimmt.

Der biogene Abfall weist einen Trockenrückstand von 16.2% auf. Für den organischen Trockenrückstand konnte ein Wert von 92.7% analysiert werden. Die im Labor durchgeföhrten Experimente mit Pulpa bei 37 °C zeigten, dass die organischen Inhaltsstoffe gut abbaubar sind, da bei entsprechenden Verdünnungen, über einen Zeitraum von 50 Tagen, Abbaugrade von 70% erreicht wurden. Für einen weitgehenden Abbau der organischen Substanz sind lange Verweilzeiten von über 30 Tagen notwendig. Die Gaserträge in den Laborversuchen sind mit 0.45 – 0.70 NL Biogas kg<sup>-1</sup> oTR<sub>abgebaut</sub> im Vergleich mit in der Literatur gefundenen Werten hoch. Es konnte eine Substratinhibition festgestellt werden.



## Projektziele

Die Kompostierung der Kaffee-Pulpa läuft aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Pulpa vorwiegend anaerob ab. Mit einer kontrollierten Vergärung der Kaffee-Pulpa werden die CH<sub>4</sub>-Emissionen verhindert. Gleichzeitig wird in Form von Biogas Energie aus den organischen Abfällen gewonnen. Die Energie (elektrisch und thermisch) kann im Prozess wieder eingesetzt werden. Bis jetzt wurden kaum Machbarkeitsstudien zur Vergärbarkeit und zum Biogaspotential von Kaffee-Pulpa durchgeführt. Es muss bei der Vergärung mit gewissen Störungen des Anaerobprozesses aufgrund von Hemmstoffen (Tannin, Terpene, Terpenoide) gerechnet werden. Da bis jetzt nur wenig Resultate aus anaeroben Versuchen mit Kaffee-Pulpa vorliegen, ist die Grösse der Hemmung und das Biogaspotential von Kaffee-Pulpa nicht bekannt.

Aus diesem Grund ist das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit, **die biotechnologischen Grundlagen zur anaeroben Vergärung von Pulpa aus der Kaffeeproduktion zu erarbeiten**. Dabei wird das Biogaspotential von Kaffee-Pulpa ermittelt und die organischen Abfälle auf mögliche Hemmungen durch Nährstofflimitationen (N-/P-) und/oder durch Inhaltsstoffe untersucht. Des Weiteren soll mit Batchversuchen und kont. Reaktorversuchen das Fermentationsverfahren (Reaktortyp, Zusammensetzung Co-Vergärung, Nährstoff-Supplementierung) soweit entwickelt werden, dass nach Abschluss des vorliegenden Projektes die Vergärung von Kaffee-Pulpa in einer Pilotierung in Costa Rica durchgeführt werden kann.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### SUBSTRATCHARAKTERISIERUNG

Das Ausgangsmaterial wurde unverdünnt mit einem Kennwood-Mixer gemixt. Für die Analyse des biogenen Abfalls musste die Probe zuerst 1:10 verdünnt und anschliessend mit einem Stabmixer homogenisiert werden.

Nach der Homogenisierung der Laborproben wurden für das Substrat 6 Parameter (TR, oTR, TOC, N<sub>total</sub>, P<sub>total</sub>, pH) bestimmt.

### BATCHVERSUCHE

Als Testsysteme dienten 890 mL Laborflaschen mit einem Aluminiumverschlussdeckel. Die Batchversuche wurden in einer Doppelbestimmung angesetzt mit einem Flüssigkeitsvolumen von 400 mL und einem Gesamtvolumen von 890 mL. Die zu untersuchenden Ansätze wurden mit NaOH 2N auf einen neutralen pH-Bereich (7.1 – 7.4) eingestellt und die Flaschen mit einem aseptischen Deckel luftdicht verschlossen. In einem Wärmeschrank bei konstanter Inkubationstemperatur im mesophilen Bereich (36°C ± 2°C) wurden die Proben während 50 bis 100 Tagen inkubiert. Täglich wurde der Druck mittels Manometer abgelesen, bei Drücken über einem Bar musste der Überdruck, aus Gründen der Inhibition durch die steigende H<sub>2</sub> Löslichkeit, abgelassen und der pH-Wert, falls notwendig, auf einen neutralen pH-Bereich (7.1 – 7.4) eingestellt werden. Schliesslich wurden alle Flaschen täglich manuell geschüttelt.

## (SEMI-)KONTINUIERLICHE REAKTORVERSUCHE

Die (semi-)kontinuierlichen Reaktorversuche wurden in einer Doppelbestimmung angesetzt mit einem Flüssigkeitsvolumen von 8 Liter. Das Reaktorsystem ist in Abbildung 1 ersichtlich. Wie bei den Batchversuchen wurden die Ansätze zu Beginn der Versuche und nach jeder Feedung mit NaOH 2N auf einen neutralen pH-Bereich (7.1 – 7.4) eingestellt. Für die Gasmessungen wurden Gasschaukeln eingesetzt. Die Temperatur konnte über zwei Thermostaten im Heizbad im Bereich von  $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  geregelt werden. Diese Versuche wurden über einen Zeitraum von 35 Tagen durchgeführt. Die Suspension wurde bei einer Rührfrequenz von 100 U/min durchmischt.



Abb. 1: Gesamtansicht des (semi-)kontinuierlichen Reaktorsystems

## ERGEBNISSE

Tab. 1: Analytische Charakterisierung von Kaffee-Pulpa

Pulpa			
Trockenrückstand	TR	[g/L]	162.3
Glühverlust	oTR	[g/L]	152.5
	oTR	[% TR]	92.8
pH-Wert	pH	[ $-$ ]	5.4
Totaler organ. Kohlenstoff	TOC	[mg C/L]	53'729
Stickstoff (gesamt)	N <sub>tot</sub>	[mg N/L]	2'048
Phosphor (gesamt)	P <sub>tot</sub>	[mg P/L]	213
C : N : P (gerundet)		[ $-$ ]	100:4:0.4

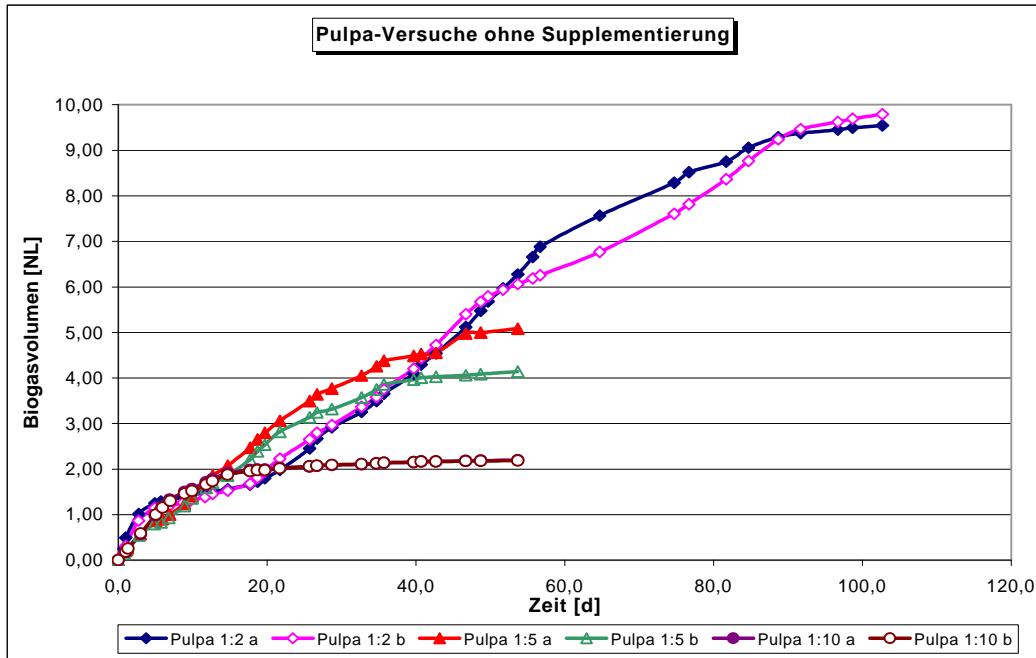


Abb. 2: Biogasproduktion des Batchversuches ohne Supplementierung

Kaffee-Pulpa zeichnet sich aus durch einen tiefen pH-Wert (5.4) und einen hohen organischen Gehalt von 92.8%. Für den biogenen Abfall wurde ein Nährstoffverhältnis von 100:4:0.4 ermittelt. Das Nährstoffverhältnis ist somit C-lastig.

Der Anteil an ungelösten organischen Stoffen ist recht gering. Die (semi-)kontinuierlichen Reaktorversuche mit der Pulpa zeigten, dass der hohe Anteil an ungelösten Stoffen zur Verschlammung und insbesondere im Labormassstab zu hydraulischen Problemen führen kann.

Verfolgt man die organische Trockensubstanz (oTR) über die gesamte Versuchsdauer, so ist ein guter Abbau des organischen Materials feststellbar. Die anaerobe Abbaubarkeit der organischen Substanz von Kaffee-Pulpa bei  $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  liegt bei 70%. Für einen weitgehenden Abbau der organischen Substanz sind lange Zeiträume von über 30 Tagen notwendig.

Es konnten für den anaeroben Abbau keine Stickstoff-, Phosphor- oder Spurenelement-Limitationen festgestellt werden, jedoch eine moderate Substrathemmung bei den höher konzentrierten Ansätzen mit einem Substrat-Anteil von 50%.

Mit den verwendeten Pulpakonzentrationen konnten spezifische Gaserträge von durchschnittlich  $0.57 \text{ Nm}^3 \text{ Biogas} / \text{kg oTR abgebaut}$  erreicht werden. In Tabelle 2 ist ersichtlich, dass die aktuellen Werte für die spezifischen Biogasproduktionsraten höher sind als die angegebenen Literaturwerte. Eine Steigerung der Gasproduktion durch die Zugabe von Stickstoff und Phosphor wie auch von Spurenelementen konnte nicht festgestellt werden.

Tab. 2: Spezifische Biogasproduktionsraten des Batchversuches ohne Supplementierung

	Nm <sup>3</sup> Biogas / kg TR abgebaut	Nm <sup>3</sup> Biogas / kg oTR abgebaut
Batchversuch	0.56	0.57
„Literatur“	0.36	0.45

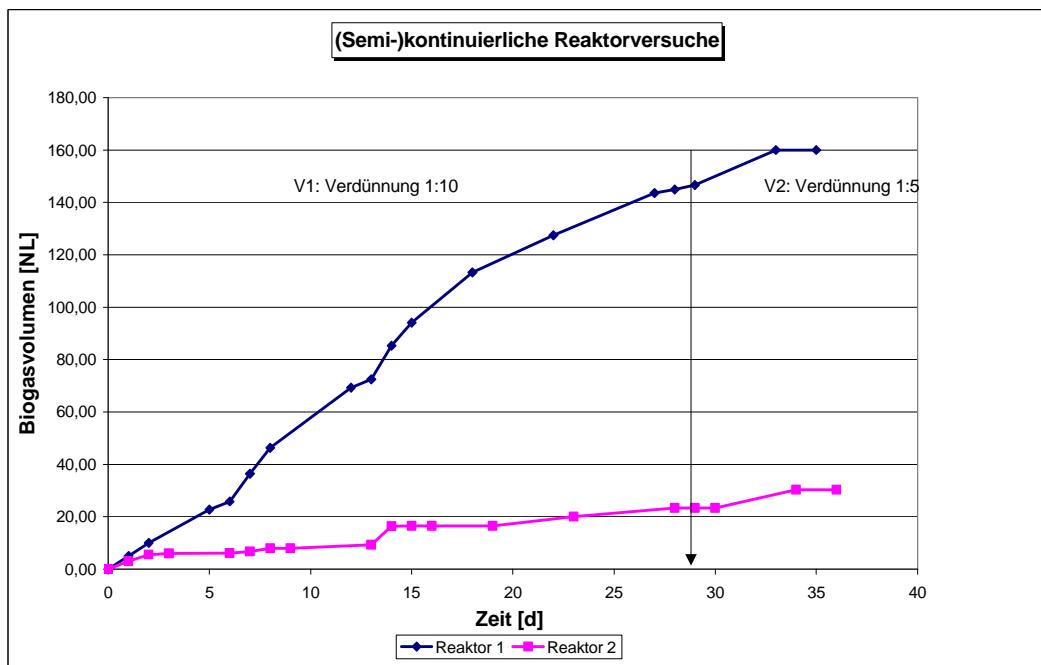


Abb. 3: Biogasproduktion der (semi-)kontinuierlichen Reaktorversuche

Die (semi-)kontinuierlichen Versuche mit Pulpa wurden während einem Zeitraum von 35 Tagen durchgeführt. Die Dauer der Versuchphasen (V1 und V2) wurden einerseits bestimmt durch die Substratmenge bzw. hydraulischen Störungen (V2), zum anderen wurde eine neue Versuchphase mit höherer Raumbelastung eingeleitet, wenn die Resultate sich auf einem konstanten Niveau bewegten (V1).

In der Abbildung 3 sind die aufsummierten Gasproduktionen von den (semi-)kontinuierlichen Reaktorversuchen über die gesamte Versuchsdauer aufgetragen. Auffallend ist, dass die Gasproduktion im Reaktor 2 sehr tief ist, was auf ein undichtes Reaktorsystem schliessen lässt.

Eine ausführliche Darstellung der Resultate findet sich in [2].

## Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt „Vergärung von Pulpa aus der Kaffee-Produktion“ wurde mit der Unterstützung des BFE, Engeli Engineering, SVGW/FOGA und der Firma NFZ Handels AG realisiert.

## Bewertung und Ausblick

Für den Rohstoff Kaffee-Pulpa wurde ein Nährstoffverhältnis von 100:4:0.4 ermittelt. Gemäss dem für die Vergärung optimalen Nährstoffverhältnis (C:N:P) von 100-200:5:1 weist die analysierte Probe Pulpa eine geringe Stickstoff und eine Phosphor-Limitation auf. In den Batchversuchen konnten jedoch keine Limitationen für den anaeroben Abbau festgestellt werden. Somit lässt sich Kaffee-Pulpa direkt und ohne Zusatz von weiteren Substraten anaerob vergären, der Abbaugrad der organischen Substanz liegt mit 70% hoch und die erreichbare Biogasproduktionsrate liegt im Bereich der Literaturwerte.

Der anaerobe Abbau erfolgt langsam was auf den hohen Anteil an Faserstoffen und einen tiefen Gelöststoffgehalt zurückzuführen ist. Eine vorgeschaltete Hydrolyse könnte eine bessere Abbaubarkeit zur Folge haben. Ebenfalls scheint eine höhere Durchmischung der Proben während des Abbaus sinnvoll zu sein.

Das verwendete Reaktorsystem für die (semi-)kontinuierlichen Laborversuche hat sich als nicht geeignet erwiesen. Sowohl die Beprobung als auch die Feedung konnten nicht optimal durchgeführt werden. Durch den hohen Anteil an Fasern und ungelösten Stoffen kam es zur Verschlammung und somit zu hydraulischen Problemen sowie zu einer schlechten Durchmischung.

Mit den in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen zur Vergärung von Kaffee-Pulpa aus der Kaffee-Produktion sollte nun die Vergärung von Pulpa in einer Pilotierung in Costa Rica durchgeführt werden können.

## Referenzen

- [1] M. Hofmann, U. Baier: **Vergärung von Pulpa aus der Kaffee-Produktion**, Zwischenbericht BFE Projekt 44155, Juli 2002
- [2] M. Hofmann, U. Baier: **Vergärung von Pulpa aus der Kaffee-Produktion**, Schlussbericht BFE Projekt 44155, Frühjahr 2003