



Schlussbericht

zu Nr. 3.2 BNBEST-BMBF 98

BMBF-Forschungsvorhaben
Förderkennzeichen 01DH12007A / 01DH12007B

CEMUWA

Klimaschutz, Naturressourcenschutz und Bodenverbesserung durch kombinierte energetische und stoffliche Verwertung lignozelluloser landwirtschaftlicher Abfälle und Reststoffe

Climate protection, natural resources management and soil improvement by
combined **E**nergetic and **M**aterial Utilization of lignocellulosic agricultural
Wastes and residues „CEMUWA“

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft

und

S.I.G.-DR.-ING. STEFFEN GmbH
Bentwisch

Projektleiter: Prof. Nelles
Projektkoordinator: Dr. Schüch
Autoren: Dr. Schüch, Dr. Tscherpel, Dr. El Behery, Dr. Menanz,
Prof. Nelles

Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011- 30.08.2013, kostenneutral verlängert bis 31.10.2013

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01DH12007A / 01DH12007B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Inhalt

Inhalt.....	2
Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
I. Kurze Darstellung	5
1 Aufgabenstellung.....	5
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
4 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn.....	7
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
II. Eingehende Darstellung	9
1 Resultate des Forschungsvorhabens.....	9
1.1 Ist-Situation zu Potenzial sowie Bioenergie aus Stroh/ zelluloser Abfall- und Reststoffe ..	9
1.2. Reisstrohvorbereitung	12
1.3. Gewinnung von Biogas, Butanol und Ethanol aus Reisstroh.....	14
1.4. Vergleich und Bewertung der Vorbereitungsvarianten und Bioenergieerträge	22
1.5. Anlagenkonzept und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Nutzung von Stroh in einer Biogasanlage	23
1.6. Stoffliche Verwertung von Reisstroh.....	27
1.7. Sozio-ökonomische Analysen, Trainingsprogramm und Wissenstransfer	27
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	29
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,.....	29
4 Voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	30
5 Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	30
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	31
7 Danksagung	32
8 Literaturverzeichnis.....	34
9 Anhang.....	35



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteil an landwirtschaftlicher Fläche und Bevölkerungsdichte in den untersuchten norddeutschen Ländern in 2010 (Statistische Ämter der Bundesländer 2011).....	10
Tabelle 2: Jährliches Strohpotenzial unter Berücksichtigung von Humusreproduktion und Strohbedarf für die Tierhaltung (Kalkulation nach DBFZ 2011).....	10
Tabelle 3: Produktion von Gerste, Weizen und Reis in Ägypten und Deutschland (in 10 ³ Mg/Jahr) ...	11
Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung des verwendeten Reisstrohs vor der Behandlung (in % der Trockenmasse)	12
Tabelle 5: Spezifischer Biogasertrag im Ankomversuch nach 10 bzw. 35 Tagen in Abhängigkeit von der Vorbehandlungstemperatur.....	14
Tabelle 6: Ethanolkonzentration der gemischten Stämme <i>Saccharomyces cerevisiae</i> F.707 und <i>Pichia anomala</i> NCY 20 nach verschiedenen Inkubationszeiten	20
Tabelle 7: Vergleich der Effekte der Vorbehandlungsmethoden und Einschätzung des energetischen Mehraufwandes	22
Tabelle 8: Energiebedarf und Kostenermittlung für gehäckseltes bzw. gemahlenes luftgetrocknetes Reisstroh.....	23
Tabelle 9: Anteile der landwirtschaftlichen Anbauflächen für Reis in den Distrikten des Untersuchungsgebietes in 2009/2010	28
Tabelle 10: Überblick über die bewilligten Mittel und die entstandenen Ausgaben (ohne Personalkosten).....	29



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jährliche Menge an anfallendem Stroh und anderer landwirtschaftlicher Reststoffe und Koppelprodukte in Deutschland im Jahr 2010 (DBFZ 2011, eigene Darstellung)	9
Abbildung 2: Faseranteile vor und nach Vorbehandlung in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur	13
Abbildung 3: Lösliche Bestandteile in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur.....	13
Abbildung 4: Einfluss von Zerkleinerung und thermischer Vorbehandlung bei 100 °C auf den spezifischen Biogasertrag.....	15
Abbildung 5: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 1: spezifischer Biogas- und Methanertrag ohne Gülleanteil	16
Abbildung 6: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 2: spezifischer Biogas- und Methanertrag ohne Gülleanteil	16
Abbildung 7: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 3: spezifischer Biogas- und Methanertrag der Güllemonovergärung.....	17
Abbildung 8: Einfluss der anaeroben Vergärung auf die Faserzusammensetzung von Reisstroh für die Vorbehandlungstemperaturen 20 bzw. 100 °C.....	17
Abbildung 9: 15 h growth of <i>C. acetobutylicum</i> in RSH 170°C	19
Abbildung 10: 95 h growth of <i>C. acetobutylicum</i> in RSH 170°C	19
Abbildung 11: Arbeitsplan der Laborversuche.....	20
Abbildung 12: Ergebnisse der Ethanolherstellung im Labormaßstab	20
Abbildung 13: Laborreaktor zur Ethanolproduktion, 20 l Volumen.....	21
Abbildung 14: Ethanolversuchsreaktor, 300 l Volumen.....	21
Abbildung 15: Anlagenkonzept für eine Biogasanlage mit integrierter Extrudertechnologie für den Einsatz von faserreichen Substraten	24
Abbildung 16: Erfahrungsaustausch auf der Versuchsstation des ARC in Kairo	28



I. Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

Wissenschaftliches Ziel des Forschungsprojektes CEMUWA ist die Entwicklung von Technologien zur Nutzbarmachung von landwirtschaftlichen Abfall- und Reststoffen. Die kombinierte energetische und stoffliche bzw. stoffliche Nutzung steht dabei im Vordergrund. Damit soll ein Beitrag zum Klimaschutz und Naturressourcenmanagement in Ägypten und Deutschland geleistet werden.

Am Beispiel von Reisstroh werden Methoden zur Vorbehandlung, zur anschließenden Konversion in Bioenergieträger wie Biogas, Ethanol und Butanol angepasst sowie die bodenverbessernde Wirkung der Reststoffe untersucht. Die verschiedenen Methoden werden außerdem bezüglich ihrer energetischen und ökonomischen Bilanz verglichen. Hauptziel ist die Entwicklung eines Nutzungskonzepts für Reisstroh in Ägypten.

Teilziele sind dabei:

- Vermeidung direkter Emissionen durch die Verbrennung von Reisstroh auf dem Feld
- Substitution von mineralischen Düngern
- Substitution von fossilen Energieträgern und damit Einsparung von Treibhausgasen
- Schließung von Nährstoff- und Stoffströmen als auch Schutz und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch die Rückführung der Bioenergiereste

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die zentrale Aufgabe der Landwirtschaft ist die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln, was speziell in Agrarland Ägypten mit seiner stark steigenden Einwohnerzahl wichtig ist. Die effiziente Nutzung der begrenzten landwirtschaftlichen Nutzfläche, Wasserressourcen und Düngern ist hier von essenzieller Bedeutung. Das politische Ziel ist es dabei möglichst niedrige Treibhausgas Emissionen zu verursachen und den Verbrauch natürlichen Ressourcen zu minimieren.

Der Schwerpunkt des Vorhabens CEMUWA liegt in Ägypten. Deshalb wird hier auf dessen spezielle Bedingungen eingegangen. Aus der intensiven und steigenden landwirtschaftlichen Produktion resultieren große Mengen an Ernteresten wie z.B. von Baumwolle, Bananenplantagen, Getreide (Stroh), Baumresten von Obstgehölzen und andere. Diese pflanzlichen Abfälle erreichen eine Menge von 28,7 Millionen Megagramm (Mio. Mg) pro Jahr. Ungefähr 53 % dieses Abfalls (ca. 9,9 Mio. Mg) wird im ländlichem Raum als Brennstoff in sehr ineffizienten (<10%) Verbrennungsanlagen bzw. traditionellen Öfen genutzt. Obwohl es verboten ist, wird Stroh auch noch direkt auf dem Feld verbrannt. Ein Resultat ist der Verlust von Energie und negative Wirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Außerdem führt die traditionelle Art der Lagerung von z.T. kontaminierten Pflanzenresten (Schädlinge, Pflanzenkrankheiten und Keime) zu Problemen auf den Farmen und in den Wohnhäusern. Zum Beispiel wird das massenhafte Auftreten von Fliegen gefördert, welche Krankheiten übertragen können.

Der Reisanbau ist in Ägypten nicht in allen Regionen erlaubt. Das Ministerium für Wasserressourcen und Bewässerung erlaubt den Anbau in Gebieten nahe dem Mittelmeer, an den Northern Lakes, am Suez Kanal und an den Eastern Lakes. Diese Gebiete befinden sich in Kafr El- Sheikh, Behaira,



Dakahlia, Sharqiya, Gharbiya und Damitta Governorates. Gründe hierfür sind der Erhalt eines minimalen Frischwasserdrucks um das Eindringen von Seewasser in der Küstenzone zu verhindern, speziell in Gebieten, die unter dem Meeresniveau liegen und die dort vorherrschenden moderaten Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit, welche den Wasserverbrauch beim Reisanbau reduzieren.

In Ägypten entstehen durch die jährliche Verbrennung von mindestens 3 Mio. Mg Reisstroh auf dem Feld erhebliche Emissionen, wichtige Nährstoffe gehen verloren. In Deutschland wird der Strohüberschuss bisher nur selten energetisch genutzt. Die kombinierte energetische und stoffliche Verwertung von Stroh kann einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz leisten. Sie bietet die Möglichkeit vielfältig nutzbare Bioenergie (Butanol, Ethanol, Biogas) zu produzieren, durch die Rückführung der Bioenergie Reste Mineraldünger zu substituieren und Nährstoffkreisläufe zu schließen als auch die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern. Indirekt kann damit auch zur Verringerung der Gefahr der Bodenversalzung beigetragen werden.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

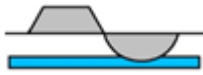
Das Projekt wurde mit einer Laufzeit von zwei Jahren. Von deutscher Seite aus (BMBF) wurde es mit Start September 2011, von ägyptischer Seite (STDF) mit Start Mitte November 2011 genehmigt. Nach einer kostenneutralen Projektverlängerung endete das Projekt gemeinsam Ende Oktober/Mitte November 2013.

Im ersten Teil stand die Recherche zum Stand der Technik in Deutschland und Ägypten sowie der Mengen und der derzeitigen Verwertung von Stroh und in Ägypten auch anderer landwirtschaftlicher Reststoffe im Vordergrund. Während eines gemeinsamen Workshops im Februar 2012 in Kairo wurden die Ergebnisse diskutiert, Schwerpunkte gesetzt und der weitere Ablauf präzisiert.

Im Ergebnis der umfangreichen Literaturrecherche wurden Vorbehandlungsmethoden für die verschiedenen Konversionsmöglichkeiten identifiziert und das Untersuchungsprogramm abgestimmt. Abweichend von der ursprünglichen Planung erfolgte die Durchführung der Biogas und Butanolversuche ausschließlich an der Universität Rostock und der S.I.G und die Ethanolversuche am ARC.

Während Workshops im Mai und Oktober 2012 in Deutschland (Rostock, Bentwisch und Magdeburg) wurden erste Ergebnisse zu den getesteten Vorbehandlungsmethoden mit den ägyptischen Wissenschaftlern diskutiert und die nächsten Arbeiten abgestimmt. In einem Workshop im November 2012 in Kairo und der Forschungsfarm El Boussaly in der Nähe von Alexandria wurden Projektergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie die Versuche (Ethanollabor und -reaktor, Pflanzenversuche) besichtigt. Es waren dabei nicht nur die direkten Projektmitarbeiter, sondern auch interessierte Mitarbeiter von ARC involviert. Ein Abschlussworkshop im Oktober 2013 konnte aufgrund der politischen Situation leider nicht durchgeführt werden.

Für die Versuche mit Reisstroh in Rostock wurde originales Reisstroh aus Ägypten verwendet. Der Transport gestaltete sich sehr aufwändig und führte zu einem verspäteten Start der praktischen Arbeiten in Rostock. Die Versuche zur Biogas bzw. Butanolproduktion liefen von September 2012 bis August 2013 immer im Anschluss an die Aufbereitungsvariante. Die ägyptischen Partner begannen die Versuche zur Vorbehandlung und Ethanolproduktion im November 2011. Im Labormaßstab



waren diese Versuche erfolgreich, zwei Reaktoren für die nächsten Ausbaustufen wurden fertiggestellt, konnten aber aus finanziellen Gründen nicht in Betrieb genommen werden.

Parallel zu den Versuchen zur energetischen Nutzbarmachung von Reisstroh liefen beim ägyptischen Partner sehr umfangreiche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung. Diese waren: als Anzuchtmaterial, als Kultursubstrat, als Mulch als Kompostsubstrat sowie in Mischung mit verschiedenen Komposten und Mikroorganismen. In Rostock wurde im September 2013 der Effekt des Gärrückstandes auf das Pflanzenwachstum getestet.

Von den ägyptischen Partnern wurden in den zwei Reisanbaugebieten El-Behira und Kafr El-Sheikh sozio-ökonomische Analysen mit Hilfe von Umfragen sowie im Rahmen eines Trainingsprogramms verschiedene Schulungsmaßnahmen durchgeführt. Hier wurden im ersten Schritt Forschungspartner und Landwirtschaftsberater über die Möglichkeiten der Verwertung von Reisstroh und anderen landwirtschaftlichen Reststoffen sowie Projektergebnisse informiert. Völlig neu war dabei die Vorstellung der Bioenergieproduktion. Es wurden drei Gruppen gebildet: Reisstrohsammlung, Bioenergie, Marketing. Im zweiten Schritt sollten Farmer anhand von Demonstrationsversuchen auf der Forschungsfarm El Boussaly von dem möglichen Nutzen von Reisstroh überzeugt werden.

Im letzten Projektabschnitt wurden die untersuchten Aufbereitungsmethoden bewertet. Um die verschiedenen Vorbehandlungsvarianten vergleichen zu können, wurden die Leistungsaufnahme der verwendeten Aggregate sowie die Bioenergieerträge zusammengestellt. In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde der zusätzliche Aufwand für eine Aufbereitung von Stroh in einer typischen Biogasanlage unter deutschen Bedingungen untersucht.

4 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn

Weltweit laufen Untersuchungen zur Nutzbarmachung der Ressource „Stroh“. Die Konversion von lignocellulosen Abfall- und Reststoffen zu nutzbaren und energiereichen Produkten erfordert einen mehrstufigen Prozess, welcher physikalische, chemische oder biologische Aufbereitungsschritte umfassen kann ((Grethlein & Converse, 1991); (Grethlein, 1984)). Die Vergärbarkeit kann durch die Verwendung von Enzymen verbessert werden (Smith, Anderson, Senior, Aidoo, & Wood, 1987); (Howard, E., E.L., & S., 2003)). Die Aufbereitungsmethoden werden wie folgt klassifiziert: “Physikalische Vorbehandlung”, “Chemische Vorbehandlung”, “Physikalisch-chemische Vorbehandlung” und “Biologische Vorbehandlung”. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methoden findet sich in (Taherzadeh, 2008). Eine effektive wirtschaftliche Vorbehandlung muss folgende Erfordernisse erfüllen: Verbesserung der Zuckerbildung bzw. der Desintegration der Hemicellulose/Cellulose, Vermeidung des Abbaus der Kohlenhydrate, Vermeidung der Bildung von Inhibitoren der Hydrolyse bzw. Fermentation, minimierter des Energiebedarf, Reduzierte Kosten für die Reaktionsreaktoren, minimierter oder kein Chemikalieneinsatz ((Taherzadeh, 2008); (Sun, 2002)). Die den Veröffentlichungen zugrunde liegenden Versuche fanden oftmals im sehr kleinen Labormaßstab statt. Es werden oft nur Teilergebnisse dargestellt, die z.T. schwer nachvollziehbar sind. Einige Versuche bzw. technische Lösungen für Stroh erschienen auch für Reisstroh anwendbar, insbesondere für Biogas. Im Projekt wurden mehr als 50 Veröffentlichungen internationaler und



nationaler Forschungsinstitutionen ausgewertet aus denen sich dann das Untersuchungsprogramm abgeleitet hat.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Dieses Deutsch-Ägyptische Projekt wurde von der Universität Rostock koordiniert und zusammen mit deutschen und ägyptischen Partnern durchgeführt: Agriculture Research Center (ARC), Central Laboratory for Agricultural Climate (CLAC), Agricultural Engineering Research Institute (AENRI) Ministry of Agriculture, Egypt, Cairo University, Faculty of Agriculture und der S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH. Weiterhin wurde der Fachhochschule Magdeburg und dem Praxispartner STIRL (Krakow) zusammengearbeitet.

II. Eingehende Darstellung

1 Resultate des Forschungsvorhabens

der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,

1.1 Ist-Situation zu Potenzial sowie Bioenergie aus Stroh/ zelluloser Abfall- und Reststoffe

In Arbeitspaket 1 wurde die Ist-Situation zu Stroh/zelluloser Abfällen und Reststoffen in Ägypten und Deutschland (Norddeutschland) analysiert.

Strohpotenzial - Deutschland / Norddeutschland

(Überschuss-)Stroh wird in Deutschland nicht als Abfall sondern als Koppelprodukt der Getreideproduktion oder landwirtschaftlicher Reststoff betrachtet. Stroh wird auf verschiedene Weise genutzt: als Tierfutter und / oder Einstreu, stofflich für verschiedene Produkte, energetisch in speziellen Strohheizwerken, überwiegend allerdings als organischer Dünger zur Humusreproduktion als Rohstoff. In den letzten Jahren wurde Stroh in verschiedenen Studien als bedeutende erneuerbare Ressource für Bioenergie identifiziert. Einige Biogasanlagen setzen Stroh schon jetzt zusammen mit anderen Substraten ein, wobei oftmals eine Hydrolysestufe mit Enzymeinsatz vorgeschaltet wird.

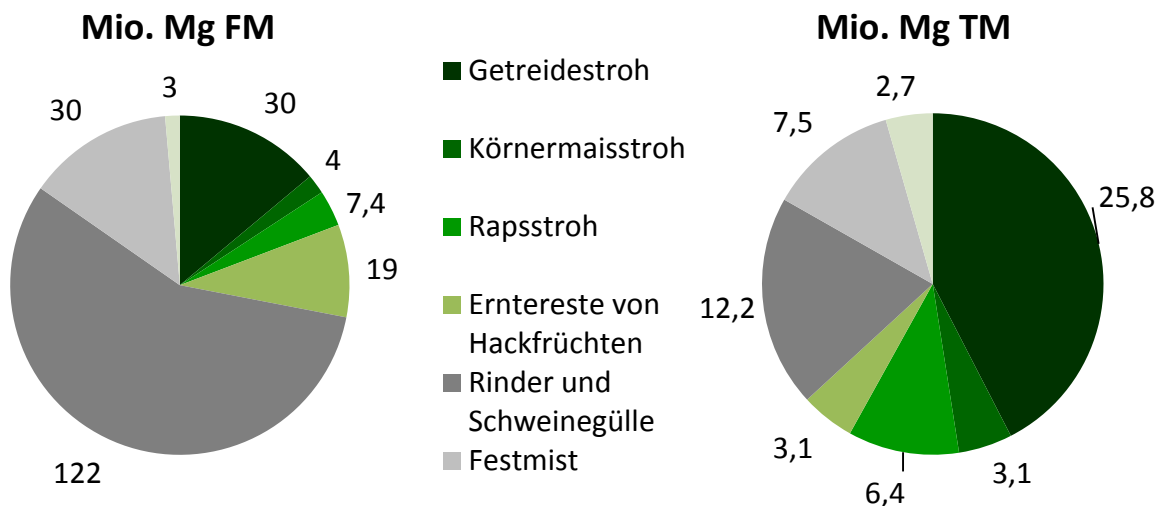


Abbildung 1: Jährliche Menge an anfallendem Stroh und anderer landwirtschaftlicher Reststoffe und Koppelprodukte in Deutschland im Jahr 2010 (DBFZ 2011, eigene Darstellung)

Nach einer Studie des Deutschen Biomasseforschungszentrums in 2011 beträgt das nationale jährliche Potenzial an Stroh (Getreide, Körnermais, Raps) 83 Mio. Megagramm Frishmasse (Mg FM) bzw. ca. 35 Mio. Mg Trockenmasse (TM), wobei das Getreidestroh den größten Anteil hat. Da diese Zahlen an sich beindruckend aber wenig aussagekräftig sind wurden ausgewählte Bundesländer genauer betrachtet.



Im Rahmen des EU-Projektes „Baltic Manure“ (BSR) und einer Masterarbeit wurden die vorgestellten Daten erhoben und veröffentlicht. Das untersuchte Gebiet gehört zur Baltic Sea Region umfasste die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Brandenburg. Diese Daten wurden entsprechend der Anforderungen des Projektes CEMUWA ausgewertet.

Alle untersuchten Bundesländer sind landwirtschaftlich geprägt. Den höchsten Anteil an landwirtschaftlicher Fläche hat Schleswig-Holstein. Gleichzeitig ist die Bevölkerungsdichte vergleichsweise gering. Am niedrigsten ist sie in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anteil an landwirtschaftlicher Fläche und Bevölkerungsdichte in den untersuchten norddeutschen Ländern in 2010 (Statistische Ämter der Bundesländer 2011)

2010	Landwirtschaftl. Fläche [%]	Waldfläche [%]	Einwohnerdichte [EW/km ²]
Deutschland	52.4	30.1	231
Mecklenburg-Vorpommern	62.8	21.7	71
Schleswig-Holstein	70.0	10.5	179
Niedersachsen	59.0	21.7	167
Brandenburg	49.3	35.5	85

Der Schutz der organischen Bodensubstanz ist in Deutschland Teil des Bundesbodenschutzgesetzes. Dieser Aspekt muss bei der Berechnung des Strohpotenzials beachtet werden. Über eine Humusbilanz auf Hof- bzw. Betriebsebene wird dies berücksichtigt. Außerdem muss der Bedarf der Tierhaltung herausgerechnet werden. Je nach Berechnungsmethode (nach VDLUFA oder HE) kann für die Bundesländer ein unterschiedliches Potenzial berechnet werden (Tabelle 2). Das Strohpotenzial von Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen ist im Untersuchungsgebiet mit Abstand am größten.

Tabelle 2: Jährliches Strohpotenzial unter Berücksichtigung von Humusreproduktion und Strohbedarf für die Tierhaltung (Kalkulation nach DBFZ 2011)

	VDLUFA [Mg]	HE [Mg]
Mecklenburg Vorpommern	1.417.000	509.000
Schleswig-Holstein	904.000	610.000
Brandenburg	759.000	439.000
Niedersachsen	1.952.000	945.000
Σ	5.032.000	2.503.000

Stroh Potenzial in Ägypten

Ägypten ist mit jährlich 7 Mio. Mg Reis der größte Reisproduzent im Nahen Osten (Tabelle 3). Im Jahr 2004 resultierten daraus ca. 5 Mio. Mg Reisstroh. Die Farmer nutzen davon ca. 20% zur Kompostierung, als Tiereinstreu und / oder Tierfutter oder zur Lagerung von Gemüse und andre Zwecke. Ungefähr 3 Mio. Mg werden nicht genutzt sondern auf dem Feld verbrannt, was Emissionen in Form von „Schwarzen Wolken“ verursacht (Bakker, 2009). Dies führt nicht nur vor Ort zu einer saisonalen hohen Luftverschmutzung.



Im Vergleich zu Deutschland ist die Menge an angebautem Getreide und somit auch die Menge an Stroh sehr viel geringer (Tabelle 3). Allerdings steht durch die geringe Nutzungsquote, insbesondere von Reisstroh lokal ein erhebliches Potenzial zur Verfügung.

Tabelle 3: Produktion von Gerste, Weizen und Reis in Ägypten und Deutschland (in 10³ Mg/Jahr)

In Mio. Mg/a	Land	2004	2005	2006	2007	2008
Gerste	Ägypten	163.08	167.02	152.90	178.34	149.23
	Deutschland	12,993.00	11,613.80	11,966.60	10,384.22	11,967.10
Weizen	Ägypten	7,177.85	8,140.96	8,274.23	7,379.00	7,977.05
	Deutschland	25,427.21	23,692.70	22,427.90	20,828.08	25,988.60
Reis	Ägypten	6,352.37	6,125.30	6,755.00	6,876.83	7,253.37

FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2010 | 20 June 2010

Praktische Beispiele für die Bioenergiebereitstellung aus Stroh

Thermische Nutzung/Heizwerke

Stroh weist einen Heizwert von 14.05 MJ/kg auf und ist für die Verbrennung und andere Konversionsprozesse geeignet. In Deutschland laufen derzeit ca. 25-50 kleine Verbrennungsanlagen, welche Stroh als Input nutzen. Ein Beispiel für eine größere Anlage ist das BEKW Bioenergiekraftwerk Emsland. Das Bioenergiekraftwerk verarbeitet seit Ende 2012 bis zu 75.000 Mg Stroh als Strohballen und hat eine thermische Leistung von 49,8 MW und 12,5 MW elektrisch (Knieper, 2012). Die Asche wird in der Landwirtschaft genutzt. Jährlich werden dabei ca. 90.000 Mg CO₂ eingespart. Ein Beispiel für eine kleine Anlage ist das Strohheizkraftwerk der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe in Gülzow-Prüzen. Diese ist im August 2013 in Betrieb gegangen. Das Heizwerk hat eine thermische Leistung von 990 kW. Zur Versorgung wird das Stroh von 100 bis 200 ha Getreideanbau genutzt (Informationen von der Homepage der FNR).

Biogas aus Stroh

Die Anlage in Zörbig ist die erste industrielle Biogasanlage in Deutschland, welche, kombiniert mit der Ethanolproduktion aus Roggen(korn), Biogas aus Roggenstroh produziert und aufbereitet ins Erdgasnetz einspeist. Es werden jährlich 20.000 Mg Stroh verarbeitet (Informationen von der Homepage von VERBIO in 2012 und 2013).

Ethanol aus Stroh

Die größte Bioethanol-Demonstrationsanlage in Deutschland, gefördert durch das BMBF, produziert unter Nutzung von Enzymen jährlich 1.000 Mg Bioethanol aus 4.000 Mg Weizenstroh (Informationen von der Homepage von Süd-Chemie AG 2012) und (BMBF, 2012).



1.2. Reisstrohvorbereitung

Als erster Schritt vor der eigentlichen Aufbereitung wurde die Zusammensetzung des Stroh vor der Behandlung analysiert. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse dieser Analysen zusammen.

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung des verwendeten Reisstrohs vor der Behandlung (in % der Trockenmasse)

Parameter	% der Trockenmasse	Anmerkungen
Asche	15,9 bis 19,3	Rohasche
Protein	2,8 bis 5,3	Rohprotein
Fett		Rohfett
Hemicellulose	22,5 bis 32,1	Hemicellulose = NDF-ADF
Cellulose	23,0 bis 35,0	Cellulose = ADF-ADL
Lignin	12,2 bis 18,0	Lignin = ADL

Asche und Protein (Gesamtstickstoffgehalt x 5.7) wurden nach A.O.A.C. 2005 bestimmt; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; ADL: Acid detergent lignin; Analyseergebnisse von CLAC: Ägyptischer Partner und ASW: Abfall und Stoffstromwirtschaft Universität Rostock

Die Ergebnisse der verschiedenen Labore aber auch der unterschiedlichen Probenahmezeitpunkte (2010 und 2012) wiesen eine große Spannweite auf. Ergebnisvergleiche zum Einfluss der Vorbehandlung und des Biogasprozesses auf die Faserzusammensetzung wurden deshalb nur von gleichen Chargen und Laboren vorgenommen.

Untersuchte Vorbehandlungsvarianten

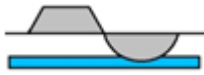
Zu Projektbeginn wurden folgende zu untersuchende Varianten festgelegt:

- mechanischen Vorbehandlung: geschnitten auf 10 cm Länge; Schneidmühle mit 10 mm Sieb; Schneidmühle + Zentrifugalmühle mit 1,5 mm Sieb
- thermischen Vorbehandlung: Wasser bei Raumtemperatur; in Wasser 30 min bei 100 °C, in Wasser bei 150 bis 200°C in Mikrowelle (unter Druck); in Ägypten: in Wasser 20, 40 bzw. 60 min bei 121°C

Ziel war es eine möglichst energiesparende Methode zu identifizieren. In Ägypten wurden Aggregate mit ähnlichem Zerkleinerungsergebnis verwendet, was mit Hilfe einer Siebanalyse überprüft wurde.

Als Ergebnis der ermittelten z.T. geringen Bioenergiemehrerträge wurden zusätzliche Vorbehandlungsvarianten durchgeführt:

- Unter Luftabschluss zusammen mit Hühnertrockenkot für 30 Tage eingelagert
- Unter Luftabschluss zusammen mit NaOH für 30 Tage eingelagert
- Schwefelsäureaufschluss mit bei verschiedenen Zeiten und Temperaturen (drucklos bzw. unter Druck)



Ergebnisse

Der Einfluss der mechanischen und thermischen Vorbehandlung wurde anhand der Faserzusammensetzung und dem Anteil der löslichen Bestandteile in der Flüssigphase eingeschätzt. Die Analyse der löslichen Bestandteile zeigt einen Anstieg mit Zunahme der Behandlungstemperatur, wobei nur bei 200°C eine deutliche Verringerung des Hemicelluloseanteils beobachtet werden konnte (Abbildung 2). Die Analyse der löslichen Bestandteile zeigt einen Anstieg mit Zunahme der Behandlungstemperatur (Abbildung 3).

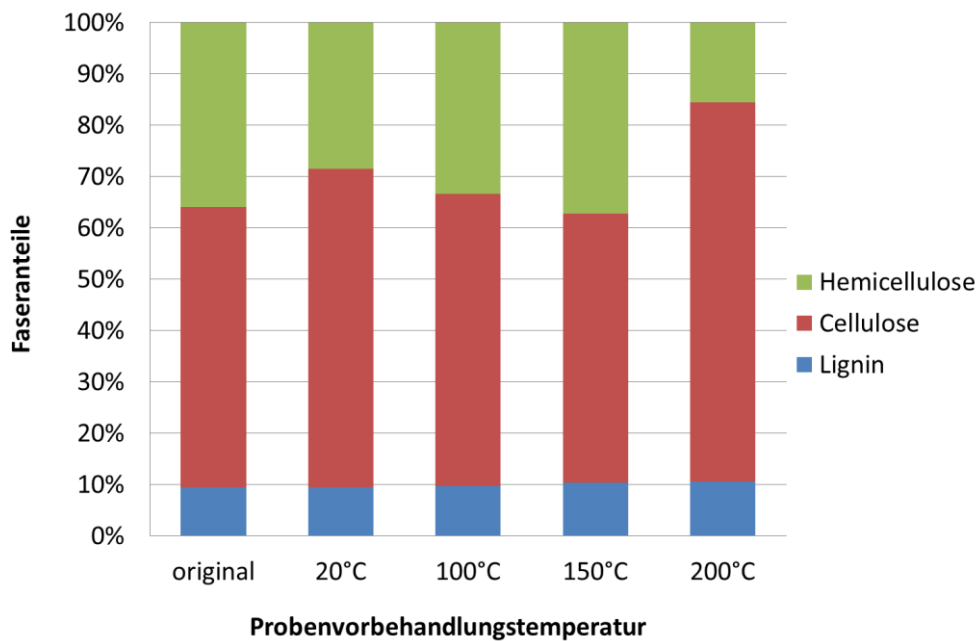


Abbildung 2: Faseranteile vor und nach Vorbehandlung in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur

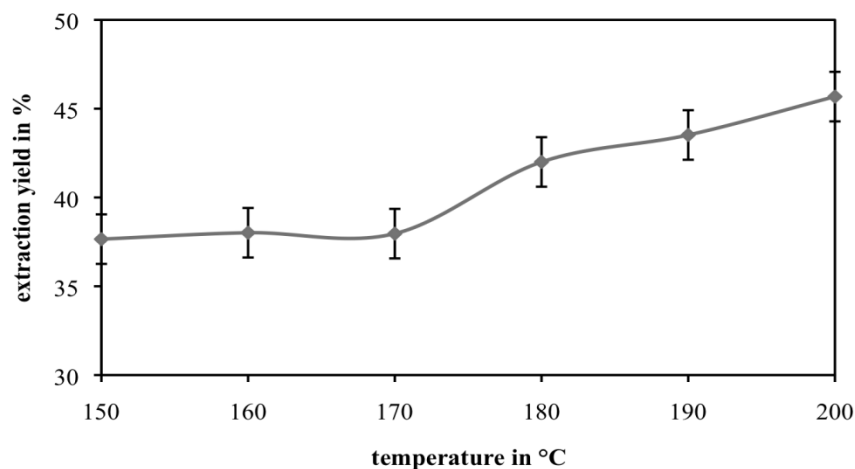


Abbildung 3: Lösliche Bestandteile in Abhängigkeit der Behandlungstemperatur



1.3. Gewinnung von Biogas, Butanol und Ethanol aus Reisstroh

Es konnten, wie angestrebt Biogas, Butanol und Ethanol aus Reisstroh gewonnen werden. Allerdings lag der Einfluss der Vorbehandlung deutlich unter den Erwartungen. Es werden deshalb weitere Optionen der Vorbehandlung und des Biogasprozesses geprüft (vgl. 1.2).

Biogas

Der Biogasertrag wurde mittels verschiedener Tests ermittelt (nass: Ankom, Batch, kont. Versuch; trocken: Batch), wobei nicht alle Vorbehandlungsvarianten mit allen Tests untersucht wurden.

Der Biogas- bzw. Methanertrag wurde in den Batchversuchen gemäß der VDI 4630 ermittelt, wobei ein Kleinversuch mit 500 ml sowie ein größerer Versuch mit 60 l genutzt wurde.

Im Ankom-Biogasversuch wurde im Temperaturbereich der Vorbehandlung von 150 bis 200 °C nach 35 Tagen ein Biogasertrag von 361 bis 425 l(N)/kg oTM ermittelt. Der höchste Biogasertrag wurde für die 190°C Vorbehandlung ermittelt. Aus der Literatur ist bekannt, dass beim thermischen Aufschluss von Stroh neben der Lösung der erwünschten Stoffe auch Hemmstoffe wie Furfural entstehen. Ab 200 °C machte sich dieser Effekt der Hemmstoffe bemerkbar.

Tabelle 5: Spezifischer Biogasertrag im Ankomversuch nach 10 bzw. 35 Tagen in Abhängigkeit von der Vorbehandlungstemperatur

Variante / Behandlung	spezif. Biogasertrag [l(N)/kg oTM]	spezif. Biogasertrag [l(N)/kg oTM]
	Nach 35 Tagen	Nach 10 Tagen
Nullversuch/Inokulum	62,74	35,57
150 °C	379,59	278,82
160 °C	361,18	275,04
170 °C	410,05	308,49
180 °C	357,95	277,34
190 °C	424,97	348,39
200 °C	416,11	361,25
Cellulose	644,04	633,95

Im Batch-Biogasversuch (nass, 60 l) wurde ein Biogasertrag von ca. 500 Normliter bezogen auf ein Kilogramm organische Trockenmasse erreicht. **Abbildung 4** zeigt aber, dass die Unterschiede zwischen den Varianten sehr gering sind. Das am intensivsten zerkleinerte Reisstroh ohne thermische Vorbehandlung erzielte den höchsten Biogas- und Methanertrag. Zwar wurde der geringste Biogasertrag bei der Variante mit dem geringsten Vorbehandlungsaufwand ermittelt (hellgelbe Säule), es ist aber keine eindeutig positive Wirkung von Zerkleinerungsgrad und/oder thermischer Behandlung (bei 100°C) nachweisbar. Der Methanertrag betrug 261 bis 286 l/kg oTM.

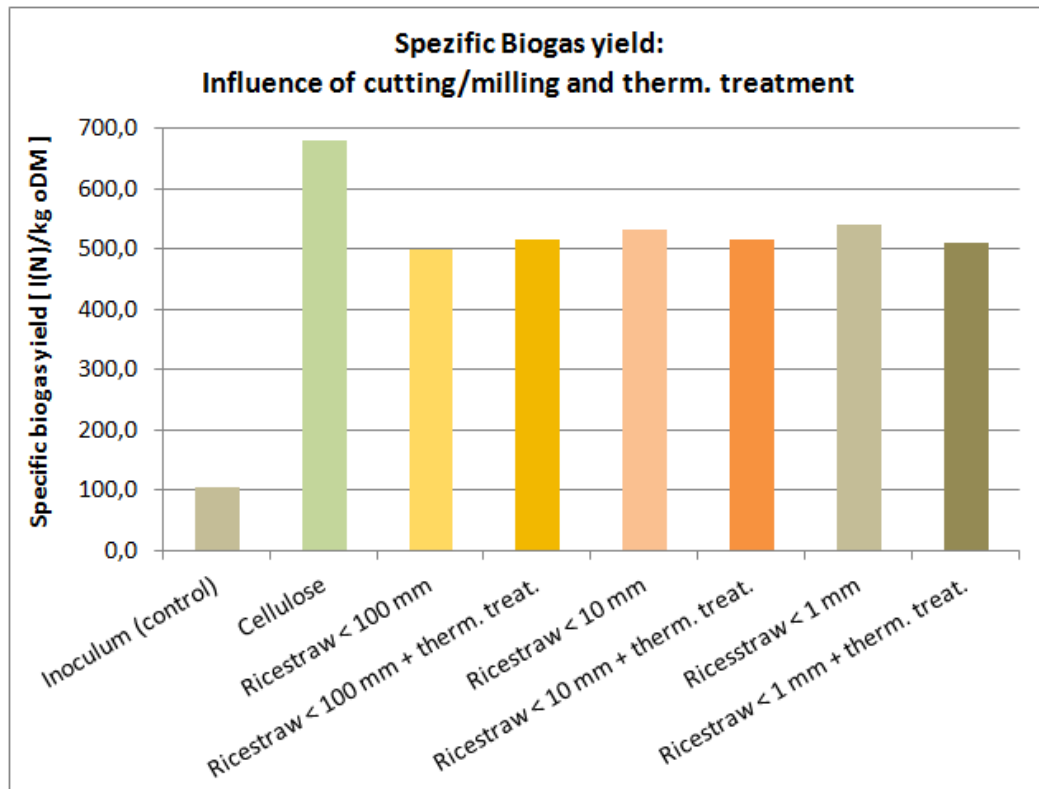


Abbildung 4: Einfluss von Zerkleinerung und thermischer Vorbehandlung bei 100 °C auf den spezifischen Biogasertrag

Im Trockenfermentationsversuch wurde ein Biogasertrag von 286 Liter pro kg organische Trockenmasse ermittelt (S.I.G.-DR.-ING.-STEFFEN GmbH). Der Methanertrag betrug 146 l/kg oTM. Der mit diesem Verfahren erreichte Biogas- und Methanertrag liegt demnach deutlich unter dem Nassvergärungsverfahren.

Die kontinuierlichen Biogasversuche wurden nach einer Einfahrphase mit einer Laufzeit von zehn Wochen durchgeführt. Es wurde nur mechanisch aufbereitetes Reisstroh in Mischung mit Rindergülle getestet. Der Anteil des Stroh wurde dabei allmählich gesteigert. Nach sechs Wochen musste die verwendete Rindergülle gewechselt werden, da der hohe Trockensubstanzgehalt die Rührfähigkeit beeinträchtigte. Diese veränderte Qualität beeinflusste die Biogasproduktion die sich auf ein niedrigeres aber stabiles Niveau einstellte (Abbildung 7). Der Strohanteil wurde in der Fermentergruppe 1 auf bis 30% in der Fermentergruppe 2 auf 50% gesteigert werden. Bei geringerem Strohanteil (17-25%) wurden Biogaserträge von 524 bis 594 l(N)/kg oTM (nur Strohanteil) bzw. 244 bis 326 l CH₄(N)/kg oTM erreicht (Abbildung 5, Abbildung 6). Bei einem Strohanteil von 30% bzw. 50% betrug der mittlere Biogasertrag 433 bzw. 434 l(N)/kg oTM (nur anteilig Stroh) und der mittlere Methanertrag 200 bzw. 220 l CH₄(N)/kg oTM (Abbildung 5, Abbildung 6). Ein noch höherer Anteil erscheint mit den getesteten Vorbehandlungsmethoden nicht sinnvoll, da die hohe Viskosität zu einem unverhältnismäßig hohen Energieaufwand zum Rühren führen würde. In Woche 17 erfolgte der Wechsel der Gülle, was zeitgleich mit der Steigerungsstufe der Strohzufuhr zusammenfällt. Ob die Verringerung der Biogas- und Methanerträge nur auf die hohen Strohanteile zurückzuführen ist, konnte innerhalb der verbliebenen Projektlaufzeit nicht abschließend geklärt werden.

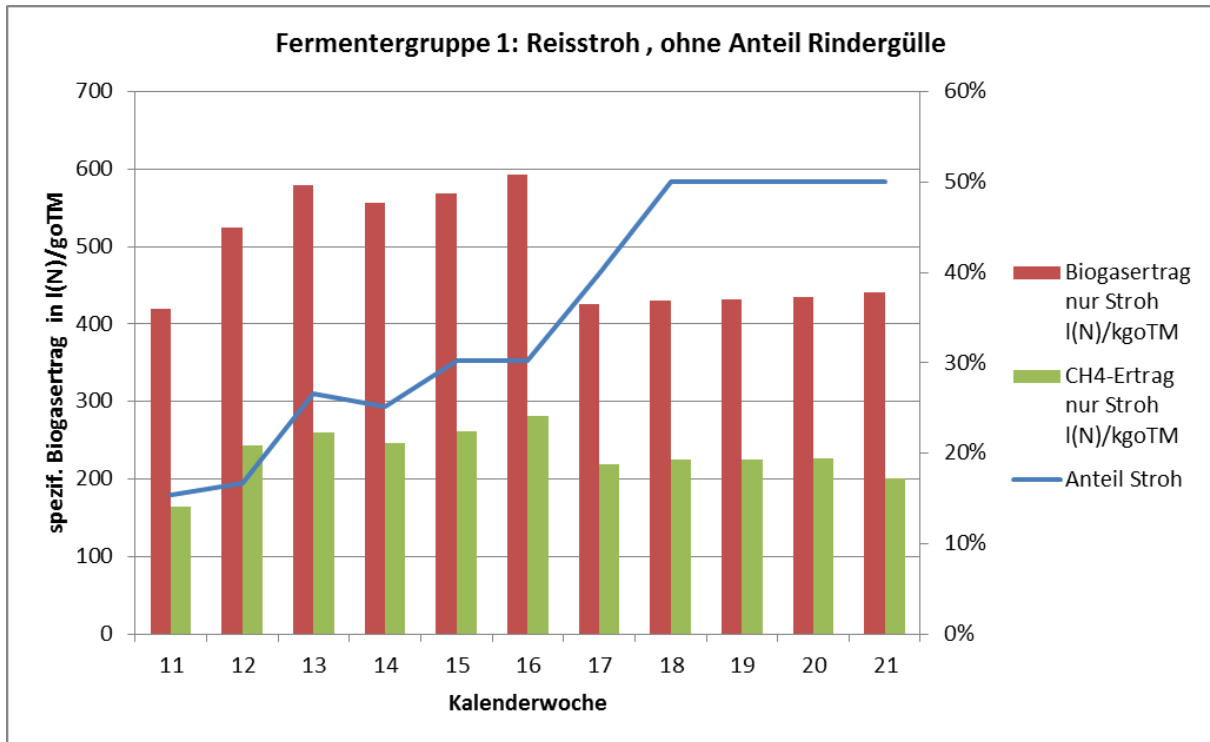


Abbildung 5: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 1: spezifischer Biogas- und Methanertrag ohne Gülleanteil

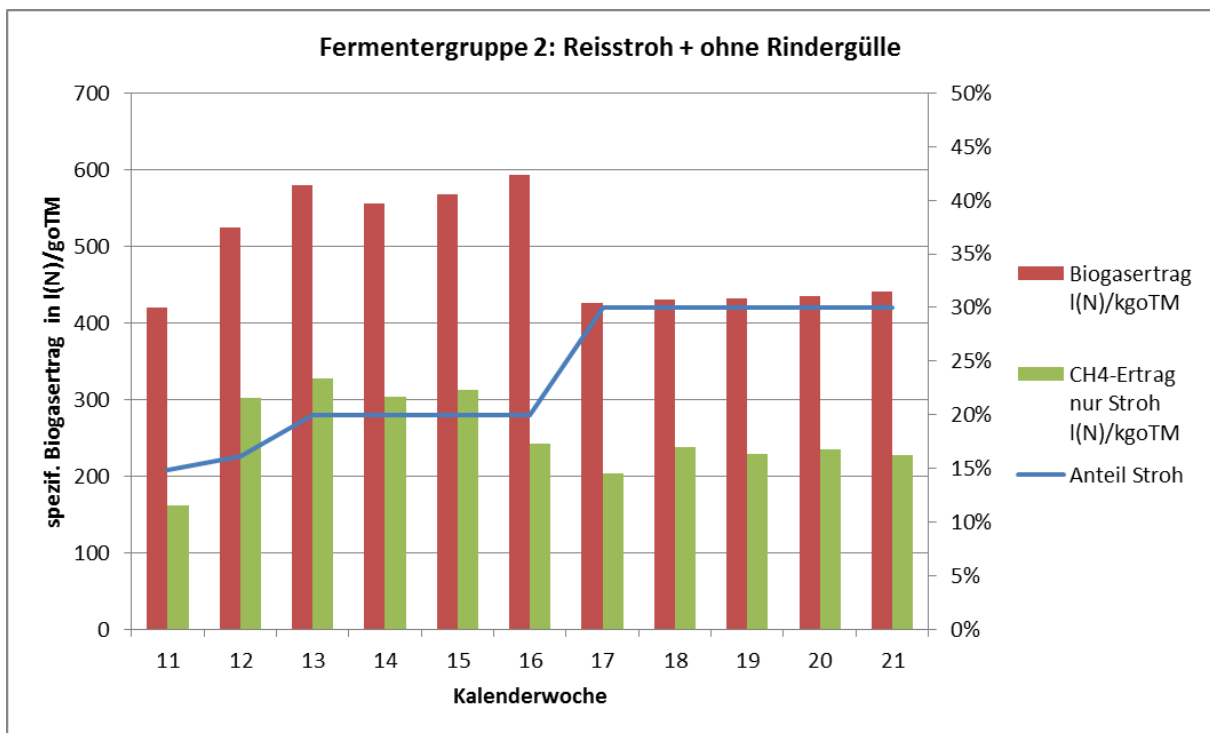


Abbildung 6: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 2: spezifischer Biogas- und Methanertrag ohne Gülleanteil

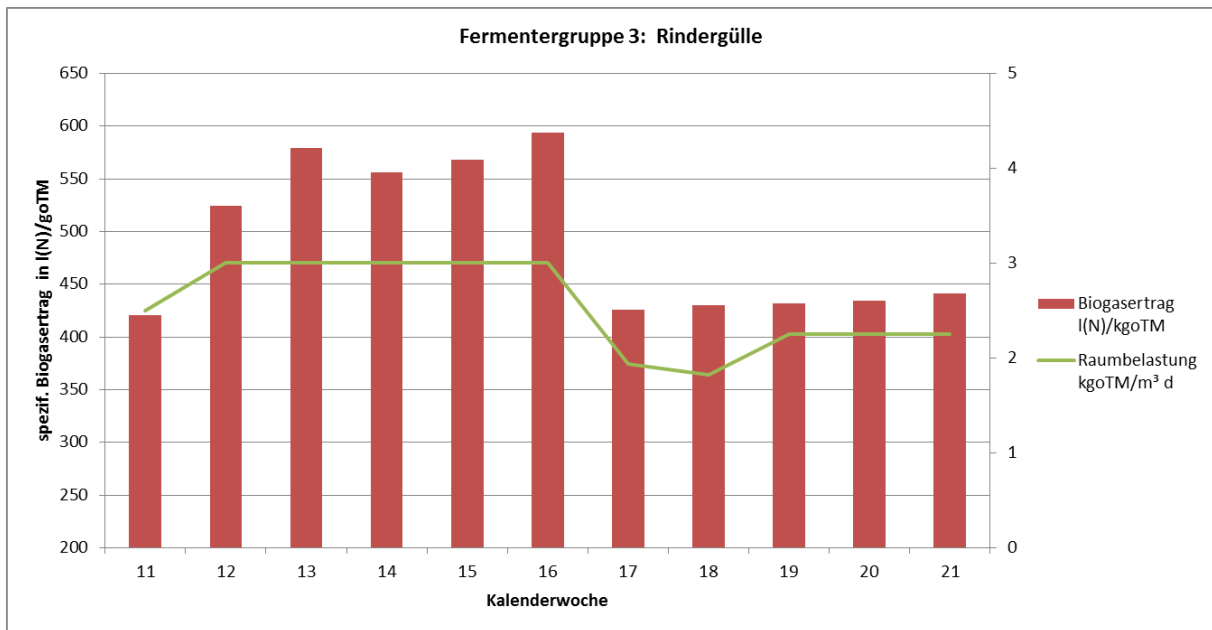


Abbildung 7: Kontinuierlicher Biogasversuch Fermentergruppe 3: spezifischer Biogas- und Methanertrag der Güllemonovergärung

Um genauere Aussagen zum Faserabbau während des Biogasprozesses machen zu können, wurde ein spezieller Test "In-Sacco" durchgeführt. Dabei wird das zerkleinerte Stroh in Nylonsäcke gefüllt, thermisch behandelt und mit der flüssigen Phase in die Gärgefäße überführt. Nach dem Biogastest werden die Säcke entnommen, gewaschen und der feste Rückstand in den Beuteln analysiert. Dieser Test war aber nur für die 20 bzw. 100 °C Vorbehandlungstemperaturen möglich.

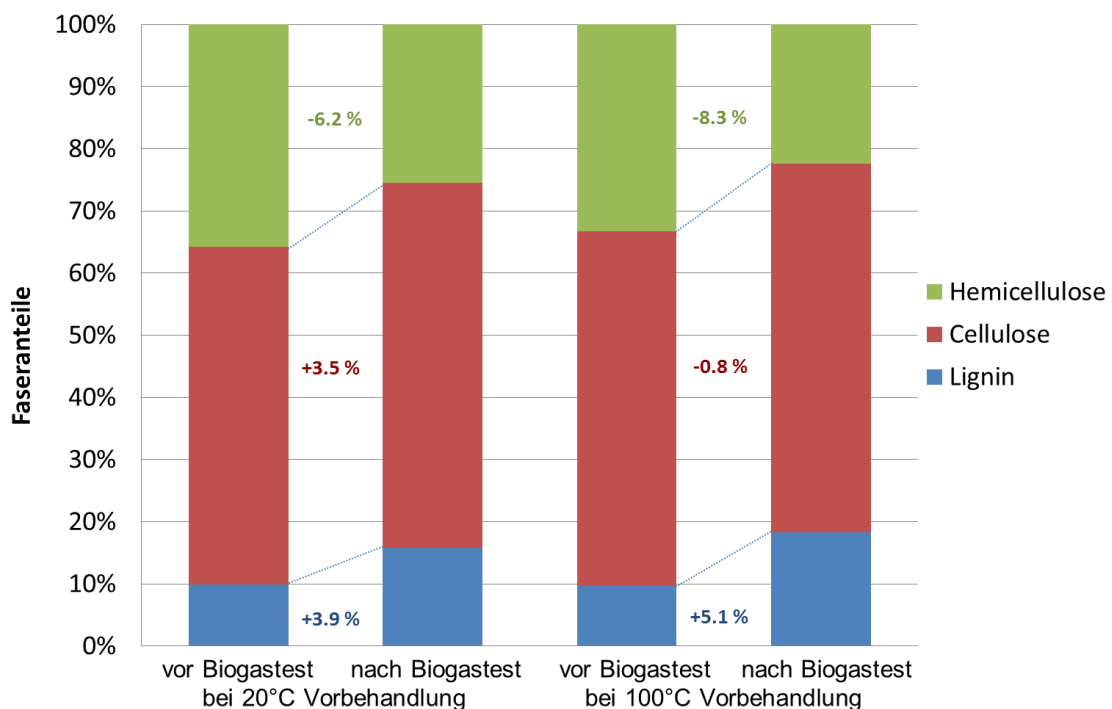


Abbildung 8: Einfluss der anaeroben Vergärung auf die Faserzusammensetzung von Reisstroh für die Vorbehandlungstemperaturen 20 bzw. 100 °C

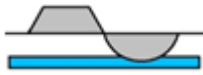


Abbildung 8 zeigt deutlich, dass der Anteil der Hemicellulose ab- und der Ligninanteil des verbliebenen festen Rückstandes zugenommen haben. Nach einer 30-minütigen thermischen Vorbehandlung bei 100°C ist dieser Effekt stärker ausgeprägt, auch der Celluloseanteil verringerte sich geringfügig.

Butanol

Das Ziel bestand darin, Reisstroh-Hydrolysate (RSH) als Substrat für die fermentative Butanolproduktion durch *Clostridium acetobutylicum* zu nutzen. *C. acetobutylicum* gehört zu den solventogenen Clostridien und ist in der Lage, verschiedene Kohlenhydrate (Pentosen, Hexosen, Oligosaccharide, Polysaccharide) zu den Lösungsmitteln Aceton, Ethanol und Butanol zu metabolisieren. Im Rahmen des Projekts sollten außerdem Fermentationsparameter optimiert und geeignete Stämme für einen optimalen Butanol-Ertrag ausgewählt werden.

Zunächst wurde überprüft, ob die Kultivierung von *C. acetobutylicum* unter Verwendung von Reisstroh-Hydrolysaten generell möglich ist. Gleichzeitig sollte evaluiert werden, welches Hydrolysat sich am besten für die Fermentation eignet. Zu diesem Zweck wurde der Stamm in verschiedenen Hydrolysat-Varianten angezogen. Diese Varianten unterschieden sich hinsichtlich ihrer Aufschlussmethode. Im Ergebnis ließ sich *C. acetobutylicum* erfolgreich in nahezu allen Hydrolysaten¹ kultivieren (Abbildung 9, Abbildung 10). Innerhalb dieser ersten Experimente offenbarte sich ein Hydrolysat-abhängiger Einfluss auf das Wachstum des Bakteriums. Dieser ist damit zu begründen, dass je nach Art der Aufschlusses unterschiedliche Konzentrationen an Zuckern, organischen Säuren und inhibitorischen Komponenten im Hydrolysat zu erwarten sind.

Im Anschluss an die Kultivierungsexperimente folgte die Analyse der durch *C. acetobutylicum* gebildeten Stoffwechselprodukte. Obwohl der Stamm in der Lage war, in den Hydrolysaten zu wachsen, konnte keine Butanolproduktion nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass das Bakterium in den Hydrolysaten ausschließlich Säuren produzierte und folglich die solventogene Phase seines biphasischen Fermentationsmetabolismus nicht erreichte. Dieses Phänomen tritt auf, wenn der Zuckergehalt unterhalb eines spezifischen Schwellenwerts (10 g/l) liegt und folglich nicht genügend Kohlenhydrate für die Lösungsmittelproduktion verfügbar sind. Demnach ist davon auszugehen, dass die Zuckerkonzentration in den Hydrolysaten zu gering war.

Da die Lösungsmittelbildung von *C. acetobutylicum* von der Verfügbarkeit geeigneter Kohlenstoffquellen abhängt, sollte der Schwerpunkt zukünftiger Untersuchungen auf der Entwicklung einer Aufschlussmethode liegen, bei der eine Steigerung des Zuckergehalts in den Hydrolysaten erreicht wird. Ohne eine Erhöhung der Zuckerkonzentration wird die fermentative Butanolproduktion aus Reisstroh-Hydrolysaten auch weiterhin nicht möglich sein. Erst nach der Entwicklung jenes optimierten Aufschlussverfahrens, ist die Modifikation weiterer Fermentationsparameter sinnvoll.

¹ von links nach rechts: 100 % RSH, 90% RSH, 80 % RSH, 70 % RSH, 60 % RSH, 50 % RSH, Schaum und Trübung sind Indiz für bakterielles Wachstum

Die Untersuchungen zur Butanolherstellung aus der Flüssigphase verschiedener Aufschlüsse begannen Ende 2012 und dauerten bis August 2013 an. Es wurden die Proben mit dem höchsten Aufbereitungsaufwand untersucht (Zerkleinerung+Temperatur). Auch zusätzliche Aufschlussvarianten unter Verwendung von Schwefelsäure führten zu keinem positiven Ergebnis.

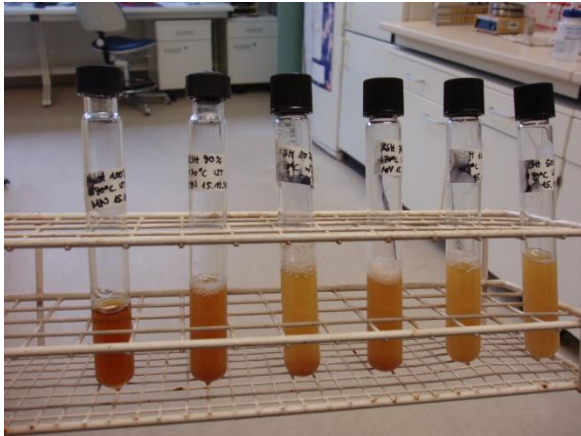


Abbildung 9: 15 h growth of *C. acetobutylicum* in RSH 170°C

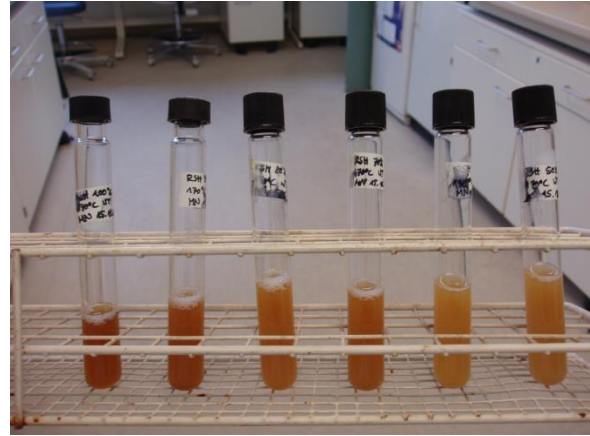


Abbildung 10: 95 h growth of *C. acetobutylicum* in RSH 170°C

Ethanol

Die Herstellung von Ethanol wurde von den ägyptischen Partnern untersucht. Hier werden die wichtigsten Ergebnisse des Zwischenberichtes 2012 sowie des Abschlussberichtes 2013 dargestellt (unter Federführung von El-Behery, Menanz). Zur Herstellung von Ethanol aus lignozellulöser Biomasse wurde das Konzept der gleichzeitigen Verzuckerung und Fermentation (simultaneous saccharification and fermentation - SSF) gewählt. In diesem Prozess laufen die enzymatische Hydrolyse von Zellulose und die Fermentation der monomeren Zucker in einer Stufe bzw. in einem Reaktor ab. Im ersten Schritt wurden Laboruntersuchen mit verschiedenen Substraten und Vorbehandlungszeiten mit *Pichia anomala* NCY 20 und *Saccharomyces cerevisiae* F.707 durchgeführt. Der Versuchsaufbau der Laborversuche und die verwendete Vorbehandlungsvariante sowie die untersuchten Materialien werden in Abbildung 11 dargestellt.

In Vorbereitung des zweiten Schrittes, der Ethanolherstellung im Laborreaktor (20 l Inhalt) werden beide Stämme in Mischung geprüft). Erste Ergebnisse sind Abbildung 12 zu entnehmen. Der positive Einfluss der thermischen Vorbehandlung machte sich besonders bei *Saccharomyces* bemerkbar. Im Vergleich der Substrate kann festgestellt werden, dass sich der Anteil zuckerhaltiger Materialien nur bedingt in einer höheren Ethanolkonzentration widerspiegelte, was so nicht erwartet wurde.

Es wurden wie geplant zwei Versuchsreaktoren im Maßstab 30 bzw. 300 Liter gebaut (Abbildung 13, Abbildung 14). Aus finanziellen Gründen (verursacht durch die politische Situation vor Ort) konnten die Ethanolversuche in den Reaktoren zwar vorbereitet aber nicht umgesetzt werden.

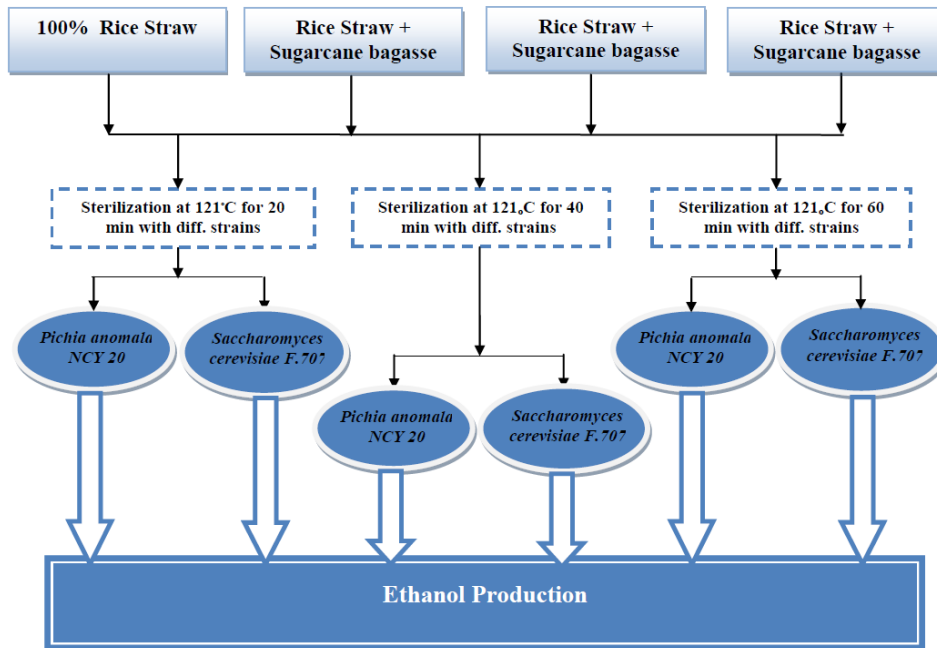


Abbildung 11: Arbeitsplan der Laborversuche

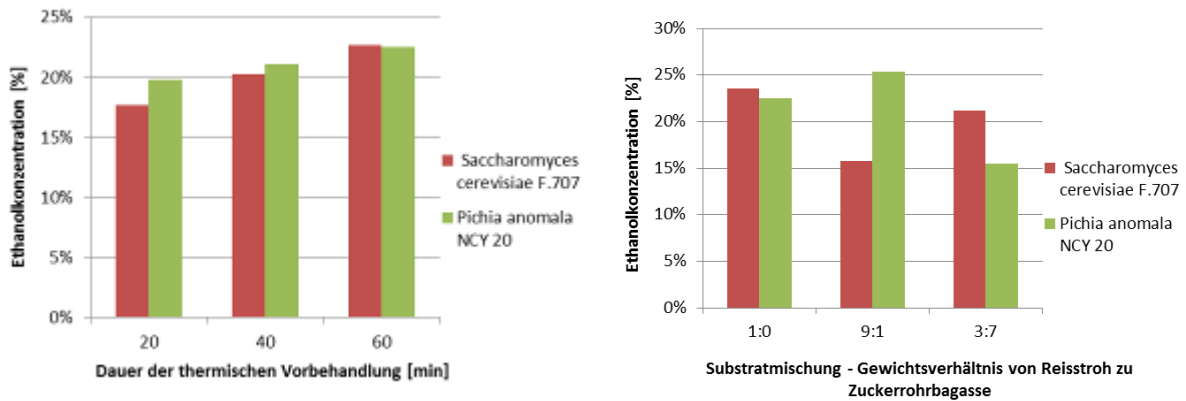


Abbildung 12: Ergebnisse der Ethanolherstellung im Labormaßstab

Mit Reisstroh konnten im Labor mit Reinkulturen Ethanolkonzentrationen in der flüssigen Phase von 21 bis 24 % erreicht werden. Die Dauer der thermischen Vorbehandlung (20, 40, 60 Minuten bei 121°C) wirkte sich positiv auf die Ethanolproduktion aus. Aus mit den gemischten Stämmen konnte eine Ethanolkonzentration von knapp 24% erreicht werden. Als optimale Inkubationszeit wurden 72 Stunden ermittelt.

Tabelle 6: Ethanolkonzentration der gemischten Stämme *Saccharomyces cerevisiae* F.707 und *Pichia anomala* NCY 20 nach verschiedenen Inkubationszeiten

Inkubationszeit [h]	48	72	96	120	144
Ethanolkonzentration [%]	22,68	23,66	21,26	19,56	16,52



Abbildung 13: Laborreaktor zur Ethanolproduktion, 20 l Volumen



Abbildung 14: Ethanolversuchsreaktor, 300 l Volumen



1.4. Vergleich und Bewertung der Vorbehandlungsvarianten und Bioenergieerträge

Der Vergleich der Vorbehandlungsvarianten und die Einschätzung des Energiebedarfes sind aufgrund der unterschiedlichen Aggregate und des Labormaßstabes sehr schwierig. Sie können daher nur eine Orientierung darstellen. Die Zerkleinerung hatte mit 14% einen größeren Effekt auf den Methanertrag als die thermische Vorbehandlung (100°C), wobei die fein zermahlenden Proben nicht sehr viel höhere Erträge zeigten als die gröber zerkleinerten. Der sehr viel höhere Energieaufwand für eine Zermahlung lohnt deshalb bei einer Biogasnutzung nicht. In Praxisanlagen wird eingeschätzt, dass der Bedarf an Strom um 10% steigt. Dieser Mehrbedarf könnte durch den energetischen Mehrertrag ausgeglichen werden.

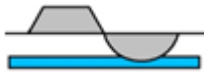
Auf die Ethanolproduktion hatte die thermische Vorbehandlung einen größeren Einfluss. Das Optimum für die Mischung der Stämme, wie in den größeren Reaktoren geplant, könnte bei 40 min bei 121°C liegen. Ob die Vorbehandlung inkl. des bisher notwendigen Zermahlens zu einer positiven Energiebilanz führt, kann hier nicht beantwortet werden.

In Praxisanlagen sind Konzepte zur Wärmerückgewinnung Stand der Technik und würden hier zu einer Verbesserung aber auch zu höheren Investitionskosten führen.

Tabelle 7: Vergleich der Effekte der Vorbehandlungsmethoden und Einschätzung des energetischen Mehraufwandes

Vergleich		Methanmehrertrag [%]	Energetischer Mehrertrag ² [kWh/kg FM]		Energetischer Mehraufwand der Vorbehandlung [%]
Hoher Zerkleinerungsgrad verglichen mit geringer Zerkleinerung		14	298		10% In Praxisanlage mit Extrudertechnologie, 48% Mehrenergiebedarf bei Zermahlung in Versuchen (Tabelle 8)
Thermische Vorbehandlung verglichen mit Behandlung ohne Wärmezufuhr (100°C)		7	138		In Abhängigkeit von Temperatur, Technologie und Wärmerückgewinnung
Vergleich		Erhöhung der Ethanolkonzentration [%]		Energetischer Mehrertrag [kWh/kg FM]	Energetischer Mehraufwand der Vorbehandlung [%]
		Saccharomyces cerevisiae F.707	Pichia anomala NCY 20		
Mit 20 minutiger thermischer Vorbehandlung bei 121°C	40 min 60 min	13 14	7 12	??	In Abhängigkeit von Temperatur, Technologie und Wärmerückgewinnung

² Energiegehalt von 1 m³ Methan entspricht 9,97 kWh

**Tabelle 8: Energiebedarf und Kostenermittlung für gehäckseltes bzw. gemahlenes lufttrockenes Reisstroh**

Product	Energieverbrauch [kWh/Mg]		Kosten [LE/Mg]	Kosten ³ [EUR/Mg]
Gehäckseltes Reisstroh	13,0		15,5	1,95
Gemahlenes Reisstroh	25,0		39,5	3,75
Equipment	Equipmentkosten [LE/h]	Energiekosten [LE/h]	Gesamtkosten [LE/h]	Kosten pro 1000 kg
Schneidmühle (10 kW Leistung, 1000 kg/h Durchsatz)	11	4,5	15,5	15,5
Hammermühle (3,5 kW Leistung, 250 kg/h Durchsatz)	5	1,0	6,0	24,0

1.5. Anlagenkonzept und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Nutzung von Stroh in einer Biogasanlage

In Zusammenarbeit mit dem Praxispartner STIRL wurde von der S.I.G.-DR.-ING.-STEFFEN GmbH ein Anlagenkonzept entwickelt, welches in der Lage wäre Stroh und andere faserreiche Substrate zu nutzen. Im Folgenden wird die Technologie beschrieben.

Die Biogasanlage verfügt über eine installierte elektrische Leistung von 600 kW. Die Biogaserzeugung erfolgt als Nassfermentation auf Grundlage des „Kombinierten Durchfluss-Speicher-Verfahrens“. Als Inputstoffe werden nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo, wie beispielsweise Maissilage, Maisstroh, Rinderdung sowie Rindergülle verwendet). Die Hauptbestandteile der Biogasanlage sind:

- ein System zur Flüssigkeits-/Güllebeschickung,
- die Technik für Feststoffannahme und Feststoffaufbereitung
- ein Fermenter mit einem Faulraumvolumen von 2.000 m³
- ein Gärrestlager mit einem Gesamtvolumen von 5.445 m³
- ein Endlager mit einem Gesamtvolumen von 4.240 m³
- die Technik zur Gasaufbereitung mit Biogasentschwefelung und Biogasentwässerung
- ein BHKW mit 400 kW_{el.} und ein BHKW mit 200 kW_{el.}
- eine Trafostation

Der technologische Aufbau der Biogasanlage ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt. Außerdem sind die einzelnen Anlagenteile in den nachfolgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

³ Bei 15 Cent/kWh

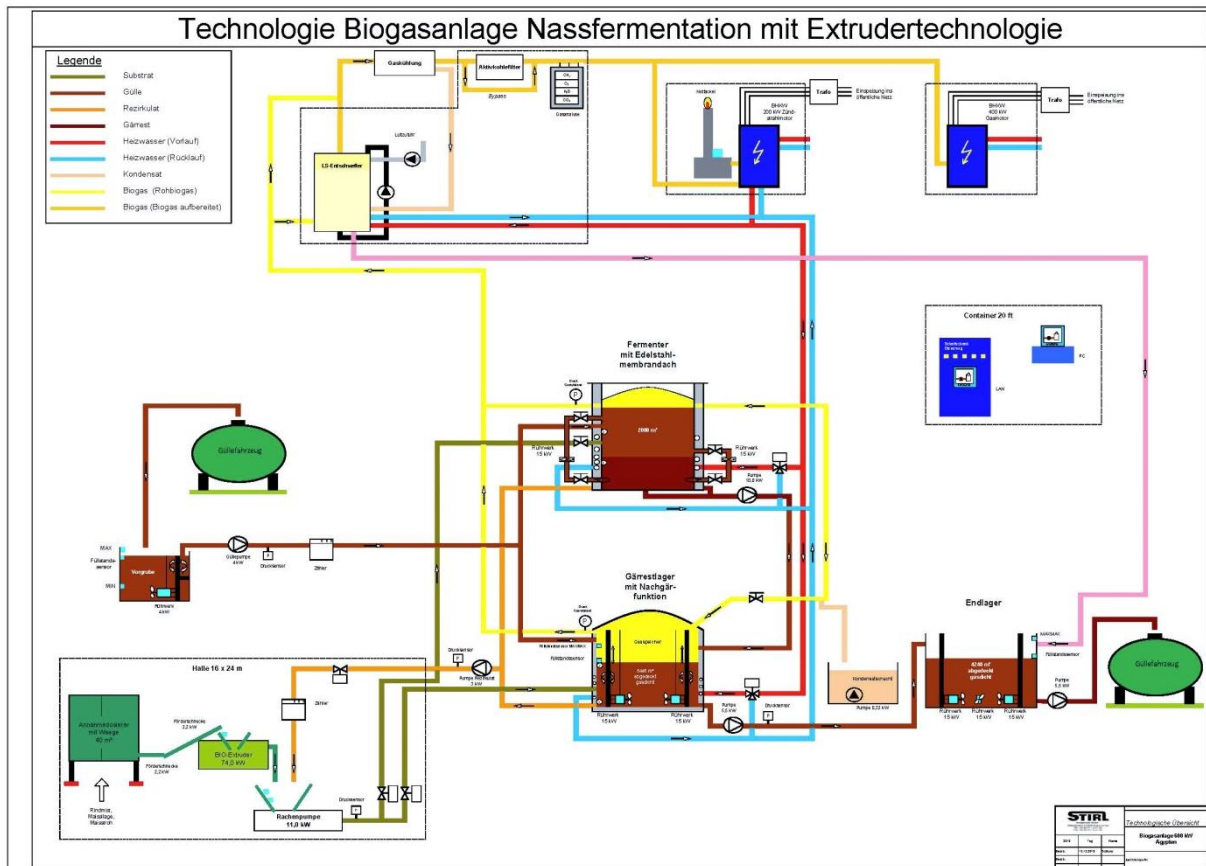


Abbildung 15: Anlagenkonzept für eine Biogasanlage mit integrierter Extrudertechnologie für den Einsatz von faserreichen Substraten

Annahme und Lagerung der Inputstoffe

Die Lagerung bzw. Zwischenlagerung der festen Biomasse erfolgt auf Siloflächen am Standort der Biogasanlage. Die Anlagenbeschickung erfolgt über einen Annahme- bzw. Feststoffdosierer, der intervallweise über die 24 Stunden des Tages verteilt, gleichmäßig mit der täglich erforderlichen Inputmenge per Radlader befüllt wird. Die Bereitstellung der für die Flüssigkeitsbeschickung verwendeten Gülle erfolgt aus einer Vorsammelgrube und von dort wird die Gülle durch eine Pumpstation direkt in die Fermenter oder in das Gärrestlager gefördert.

Aufbereitung der Feststoffe

Im Feststoffdosierer, der über zwei bzw. drei Mischschnecken verfügt, erfolgt eine Vermischung und eine Vorzerkleinerung der Inputstoffe. Die vom Dosierer gleichmäßig abgegebene Menge wird mittels Förderer für den Substrataufschluss durch Zerfaserung in einen Bioextruder übergeben. Das zerfaserte Medium wird über eine Rachenexzentrerschneckenpumpe direkt in die Fermenter gefördert. Um die Pumpfähigkeit der Feststoffe zu gewährleisten, werden diese vor dem Pumpvorgang mit Rezirkulat (flüssigem Gärrest aus der Biogasgärung) verdünnt. Das Rezirkulat wird wahlweise dem Fermenter oder dem Gärrestlager entnommen.



Die Annahme-, Aufbereitungs- und Fördertechnik ist mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet und wird permanent überwacht, sodass dessen automatischer Betrieb gewährleistet ist.

Fermentation und Gaserzeugung

Aus den Inputstoffen soll nach dem Prinzip der Nassfermentation im Fermenter Biogas (Methan (CH₄) 50 – 60 %, Kohlendioxid (CO₂) 40 – 50 %) erzeugt werden. Der verwendete Fermenter, dessen Faulraumvolumen 2.000 m³ beträgt, ist biologisch hoch belastbar (7,0 bis 9,0 kg oTS/m³Faulraum). Die eingegebenen stark zerkleinerten bzw. zerkleinerten Feststoffe werden über ein außen liegendes Rührwerkssystem in das vorhandene Medium eingemischt. Unter Luftabschluss findet in dem beheizbaren Biogasfermenter die Vergärung statt. Während der Vergärung werden die organischen Inhaltsstoffe durch Bakterien zu Biogas umgewandelt.

Entsprechend der Menge an zugeführtem Substrat verlässt eine adäquate Menge an ausgegorenem Substrat über einen freien Überlauf den Fermenter. Dabei gelangt das weitestgehend vergorene Substrat für eine Nachvergärung in das Gärrestlager, um von den eingesetzten Substratmengen eine möglichst hohe Ausschöpfung des Gaspotentials zu erreichen. Infolge der Nachvergärung bleibt ein Gärrest mit schwerabbaubarer organischer Substanz und anorganischen Stoffen, wie Sand zurück.

Der Biogasprozess findet im mesophilen Temperaturbereich bei 35 – 42 °C statt. Die Wärmebereitstellung erfolgt durch die Abwärme der BHKW-Anlage. Der Wärmeeintrag in das Gärsubstrat wird vom Fermenter über eine außen liegende Wandheizung und von dem Gärrestlager über eine innen liegende Wandheizung realisiert. Aufgrund der Isolierungen der äußeren Behälterwandungen ist der Wärmeenergieverlust verhältnismäßig gering.

Die Rührwerke, die am Fermenter außen und im Gärrestlager innen eingebaut sind, gewährleisten durch regelmäßiges Aufrühren eine Homogenisierung des Gärsubstrates.

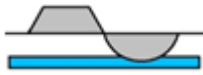
Das Biogas wird in der integrierten Gasspeicherhaube in dem Gärrestlager zwischengelagert.

Biogasaufbereitung

Das erzeugte Biogas ist wasserdampfgesättigt und beinhaltet neben Methan und Kohlendioxid auch Spuren von Schwefelwasserstoff. Schwefelwasserstoff ist toxisch und bildet zudem mit dem im Biogas enthaltenen Wasserdampf Schwefelsäure, die Schädigungen durch Korrosion an dem für die Biogasverwertung verwendeten BHKW-Motor hervorruft. Um diese Schädigungen zu vermeiden, wird für eine motorschonende Biogasverbrennung eine Biogasaufbereitung durchgeführt. Die Aufbereitung umfasst die Entschwefelung und die Entwässerung des Biogases.

Die Entschwefelung erfolgt nach dem biologischen Prinzip mit einer Biorieselbettreaktoranlage außerhalb des Fermenters. Der Reaktor besteht dabei grundlegend aus einem Kunststoffbehälter, in dem Füllkörper, als Träger für die Immobilisierung von Schwefelbakterienkulturen, in Form einer losen Schüttung beinhaltet sind.

Während des laufenden Betriebes werden die Füllkörper entsprechend dem Gegenstromprinzip von einer speziellen Prozessflüssigkeit (Gemisch aus Nährstofflösung und Mikroorganismensuspension) berieselt und von dem zu entschwefelnden Biogas durchströmt. Durch zusätzliche



Sauerstoffzuführung in Form von Luftertrag erfolgt durch die Aktivität der Schwefelbakterien der Abbau des im Biogas befindlichen Schwefelwasserstoffes. Dabei wird der Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel, Sulfat und Wasser umgesetzt und als Gemisch aus dem Reaktor, gegen Zuführung von Frischwasser und Nährlösung, ausgetragen. Die mit Schwefel „angereicherte“ Flüssigkeit wird dem Gärrest des Biogasprozesses zugeführt. Somit steht der Schwefel als wichtiger Düngerbestandteil dem Landwirtschaftsbetrieb weiter zur Verfügung.

Um jederzeit eine motorschonende Biogasverbrennung zu gewährleisten, ist für den Fall, dass trotz biologischer Entschwefelung ein erhöhter Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas zurückbleibt, der biologischen Entschwefelungsanlage eine Aktivkohlefilteranlage, die als „Polizeifilter“ fungiert, nachgeschaltet. Diese Anlage arbeitet in Form eines Festbettreaktors nach dem Prinzip des Adsorptionsverfahrens. Bei diesem Prinzip wird der Schwefelwasserstoff an der Oberfläche der Aktivkohle bei der Durchströmung des Biogases zu elementarem Schwefel katalytisch umgesetzt und angelagert (adsorbiert). Ist die höchst mögliche Schwefelbeladung der Aktivkohle erreicht, muss diese ersetzt werden. Die Entwässerung des Biogases erfolgt nach der Entschwefelung durch Kondensation mittels Wärmetauscher, dessen Kühlmedium mit einem Kaltwassersatz heruntergekühlt wird.

Energieerzeugung mit BHKW

Die BHKW-Anlage besteht aus einem Container, in dem das BHKW-Modul, bestehend aus einem Gas-Motor mit 400 kW_{el.} und einem Zündstrahlmotor mit 200 kW_{el.}, installiert ist. Die BHKW-Anlage ist mit einem Generator gekoppelt. Zur Elektroenergieerzeugung wird das Biogas in dem Motor verbrannt und der Generator durch den Motor angetrieben. Die dabei erzeugte Elektroenergie wird anschließend zur Vermarktung über eine Transformatorstation in das öffentliche Mittelspannungsnetz des örtlichen Netzbetreibers eingespeist. Die bei der Biogasverbrennung anfallende Wärmeenergie der BHKW-Anlage wird zur Erwärmung des Fermenters und Gärrestlagers genutzt. Die erzeugte Elektroenergie wird ins öffentliche Netz eingespeist.

Die **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** der Biogaserzeugung einer Substratmischung mit lignocellulosehaltigen Anteilen (Rindergülle/Rinderdung/Maisstroh/Maissilage) und einer Substrataufbereitung mittels Bioextruder im Vergleich zu einer typischen Biogasanlage ohne Substratextrusion und einer Maissilage/Rindergülmischung unter deutschen Rahmenbedingungen (2013) erbrachte folgende Ergebnisse (SIG 2014):

- Eine Reduzierung der Substratkosten um 30 bis 35% ist möglich
- Steigerung des Biogasertrages um 5 bis 25% möglich
- 15 bis 25% höhere Investitionskosten bei Vorbehandlung von lignocellulosen Substraten
- Der Elektroenergiebedarf erhöht sich durch die Extrusion um ca. 10%

Insgesamt betrachtet kann der Einsatz von Wirtschaftsdünger und lignocellulose Reststoffe trotz höherer Investitions- und Betriebskosten gegenüber der Monovergärung von Silomais wirtschaftlich sein, insbesondere bei hohen Substratkosten für Energiepflanzen.

Insgesamt erscheint die technologische Umsetzung dieses Konzeptes in Ägypten nur von einem erfahrenen Unternehmen aussichtsreich. Die vergleichsweise hohen Investitionskosten von 2,8 Mio. EUR bzw. 15-20% Mehrkosten gegenüber einer Maismonovergärungsanlage durch die niedrigeren Substratkosten ausgeglichen werden können, hängt sehr stark von einem optimalen Betrieb einer guten/hohen Vergütung des Stroms und der Abwärme ab.

1.6. Stoffliche Verwertung von Reisstroh

Die Nutzung von Reisstroh als Substrat in der landwirtschaftlichen Produktion bzw. im Gartenbau wird ausschließlich von den Ägyptischen Partnern untersucht. Verschiedenste Einsatzvarianten und Aufbereitungsmöglichkeiten wurden geprüft, wobei hier nur einige genannt werden: „Nutzungsmöglichkeiten bei nematodenbelasteten Böden“, „Einsatz als Aufzuchtsubstrat“, „Einsatz als Mulch zur Einsparung von Bewässerungswasser“. Die Versuche zur direkten stofflichen Verwertung von Reisstroh in Ägypten waren sehr erfolgreich und lagen z.T. über den Erwartungen.



Abb. 1: Versuche mit Reisstroh im Gewächshaus am Agriculture Research Center (ARC), Central Laboratory for Agricultural Climate (CLAC) in Kairo im November 2012 (Foto: ARC)

1.7. Sozio-ökonomische Analysen, Trainingsprogramm und Wissenstransfer

Dieses Arbeitspaket wurde vom ägyptischen Partner bearbeitet, wobei die Besuche und Vorträge der deutschen Partner in das Trainingsprogramm einbezogen wurden. Im ersten Schritt wurden zwei Reisanbaugebiete ausgewählt in denen die sozio-ökonomischen Analysen durchgeführt wurden.

Die Regionen El-Behira, and Kafr El-Sheikh wurden ausgewählt. Die Reisanbaufläche in El- Behira umfasste in 2009/2010 ca. 200,2 Tausend Feddan⁴ Hektar (84.084 ha) und in Kafr El-Sheikh 324,7 Tausend Feddan (136.374 ha). Diese Gebiete repräsentieren damit zusammen 38% (14,6% bzw. 23,7%) des gesamten Reisanbaugesbietes in Ägypten.

Tabelle 9: Anteile der landwirtschaftlichen Anbauflächen für Reis in den Distrikten des Untersuchungsgebietes in 2009/2010

Governerate	Distrikt	Anbaufläche [%]
El-Behira	Abo homos	19,31
	Damonhour	13,49
	Elmahmoudia	11,90
	Kafr Eldwar	11,32
Kafr El-Sheikh	Elhamouel	20,40
	Motoubas	16,09
	Sedi Salem	13,04
	Bila	12,82

Die Umfragen umfassten Fragen zur Reisstrohnutzung, dem Wissensstand und dem Interesse an Information zu Nutzungsoptionen für Reisstroh und andere landwirtschaftliche Reststoffe bei den ansässigen Farmern. Zu Ergebnissen: Verschiedene Aspekte waren den Farmern wichtig: Reduzierung von Insekten und Pflanzenkrankheiten, Nematoden (durch das Strohrecycling) aber auch die Vermeidung der Gefahr von Funkenflug (eigene Gebäude), Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit.



Abbildung 16: Erfahrungsaustausch auf der Versuchsstation des ARC in Kairo

⁴ 1 Feddan = 24 Kirat = 4200 Quadratmeter = 0,42 Hektar



Die Projektergebnisse wurden in Schulungen vor Ort genutzt und so für eine Verbreitung des Wissens und einen Anwendung in der Praxis vorbereitet. Im ersten Schritt wurden relevante Stellen (v.a. Forschungspartner, Schulungsleiter, Doktoranden...) einbezogen. In 2013 sollten auf der Forschungsstation (in der Nähe von Alexandria) Schulungen mit Praxispartnern durchgeführt werden, wobei die Versuche mit den besten Ergebnissen vor Ort wiederholt werden und somit der Demonstration dienen sollten.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Neben den Personalkosten standen dem Zuwendungsempfänger die in Tabelle 10 bewilligten Mittel zur Verfügung. Die Analysen der ADL-Fraktion der aufbereiteten Reisstrohproben wurden in einem externen Labor durchgeführt (Aufträge). Den größten Anteil den sonstigen Kosten machten die Transportkosten für Reisstroh von Alexandria nach Rostock aus (3.500 EUR). Außerdem wurden die Sachkosten zur Durchführung der Workshops in Rostock sowie allgemeiner Laborbedarf aus dieser Position finanziert.

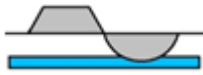
Insgesamt wurden drei Reisen zu den ägyptischen Partnern nach Kairo und zur Forschungsfarm bei Alexandria durchgeführt (03.-11.02.2012, ein Mitarbeiter; 30.08.-08.09.2012, zwei Mitarbeiter; 23.-27.11.2012, ein Mitarbeiter). Die Dienstreisen konnten aufgrund der politischen Situation in Ägypten nicht alle durchgeführt werden, so dass die verbliebenen Mittel genutzt wurden, um weitere Laboruntersuchungen zur Beantwortung offener Fragen durchzuführen.

Tabelle 10: Überblick über die bewilligten Mittel und die entstandenen Ausgaben (ohne Personalkosten)

Kostenart	835 Aufträge	843 Sonstige Ausgaben	846 Dienstreisen
bewilligt			
EUR	500	7.094	6.070
Ausgaben			
EUR	431	6.966	4.983

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,

Die Mittel wurden nach den geltenden Richtlinien der Universität Rostock sparsam und nach entsprechendem Angebotsvergleich verwendet. Alle Ausgaben waren notwendig, um die Projektarbeit planmäßig durchzuführen.



4 Voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Praxisbiogasanlagen nutzen vermehrt Stroh als günstigen Inputstoff. Aufgrund der abzusehenden Änderung des EEG mit dem Wegfall der Förderung von Energiepflanzen, werden neue Biogasanlagen organische Abfälle, landwirtschaftliche Reststoffe und auch Stroh einsetzen. Verfahren um die Verdaulichkeit in der Biogasanlage und damit die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen werden damit immer gefragter. Insbesondere low-cost/energy Methoden, welche Schwerpunkte des Projektes sind, könnten hier einen Beitrag leisten.

Über erreichte Ergebnisse wird in Fachzeitschriften und auf Tagungen berichtet. Momentan sind Veröffentlichungen zur stofflichen Verwertung von Reisstroh sowie zur Biogas-, Butanol- und ggf. Ethanolherstellung (mit ägyptischen Partnern) aus Reisstroh in Vorbereitung. Da von der Einreichung bis zur Veröffentlichung sehr viel Zeit vergehen kann, ist davon auszugehen, dass der Druck erst nach Projektende erfolgen wird. Teilergebnisse wurden in 2013 im Rahmen der Tagung „7. Rostocker Bioenergieforum“ (Juni 2013) sowie werden auf der internationalen Tagung „EU BC&E 2014 - 22st European Biomass Conference and Exhibition“ (Juni 2014 in Hamburg) als Poster. Vortrag und Tagungsbeitrag veröffentlicht.

Die Ergebnisse sollen in einem (beantragten) Folgeprojekt mit Ägypten genutzt werden, wobei der Focus auf der stofflichen Nutzung des Reisstrohs in Ägypten liegt. Teilergebnisse und hier nicht zu klärende Fragestellungen sollen in weiteren Forschungsprojekten genutzt werden, welche momentan beantragt werden (mehrere EU-Vorhaben).

5 Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Rahmen einer aktuellen Literaturrecherche (Dezember 2012 - März 2013) wurden Ergebnisse der neuesten wissenschaftlichen Forschung zu den Themen Strohaufschluss (für Biogas-, Ethanol und Butanolgewinnung) zusammengetragen. In diesem Bereich wurde speziell in den letzten Jahren weltweit intensiv geforscht. Die Ergebnisse sind direkt in die eigene Forschung eingeflossen, um Doppelungen zu vermeiden und die verbleibende Zeit effizient nutzen zu können.

Auch Meldungen aus der Fachpresse wurden gesichtet. Diese dienen als Ausgangspunkt, um bestehende Praxisanlagen (mit Strohnutzung) genauer zu untersuchen und die Ergebnisse im Teil „WP9: Conception of a pilot plant for anaerobic digestion cellulose containing agricultural wastes and residues, including pretreatment and calculation of profitability, preparation of a guidance for the application of the digestate under German conditions“ und “WP10: Adaption of the pilot plant concept and the guidance for the application of the digestate, including pretreatment and calculation of profitability under Egypt conditions“ nutzen zu können.



6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Bachelor-, Master-, Diplomarbeiten

Abel, M. (2012): Entwicklung einer Untersuchungsmethode zur Bewertung der Ethanolbildung aus Stroh, Bachelorarbeit Studiengang Landeskultur und Umweltschutz, Universität Rostock

Becker, S. (2013): Untersuchungen zum Aufschluss lignocellulosehaltiger Biomasse für die Nutzung in Anaerobverfahren, Masterarbeit Studiengang Umweltingenieurwissenschaften, Universität Rostock

Chen, J. (2012): Untersuchungen zum Biogasertag und -qualität verschiedener Biomassen, Bachelorarbeit Studiengang Landeskultur und Umweltschutz, Universität Rostock

Hunger, C. (2013): Möglichkeiten der Verbesserung der energetischen Wirtschaftsdüngernutzung in Mecklenburg-Vorpommern , Masterarbeit Studiengang Landeskultur und Umweltschutz, Universität Rostock

Tagungsbeiträge/Vorträge

Nelles, M.; Dornack, C.; Liebetrau, J.; Schüch, A.; Morscheck, G. (2013): Vergärung von organischen Abfällen und Reststoffen aus der Landwirtschaft, Industrie und Kommunen. In: VDI Wissensforum GmbH: 7. Fachtagung Biogas 2013 Energieträger der Zukunft : VDI-Berichte 2208. , 2013. - ISBN 978-3-18-092208-9, S. 37 - 49.

Nelles, M.; Elberg, K.; Schüch, A. (2013): Biogas production of organic wastes and agricultural residues – best praxis examples in the Baltic Sea region. In: Wong, J.; Tyagi, R.; Nelles, M.; Selvan, A.: Conference Proceedings of the International Conference on Solid Waste 2013. , 2013. - ISBN 978-988-19988-5-9, S. 34 - 37.

Nelles, M.; Schüch, A.; Morscheck, G.; Scholwin, F. (2013): Energie aus biogenen Abfällen und Reststoffen – Potenziale, Perspektiven und Beispiele. In: Nelles, M.: Tagungsband zum 7. Rostocker Bioenergieforum. , 2013. - ISBN 978-3-86009-207-1, S. 43 - 58.

Schüch, A.; Engler, N.; Weißbach, G.; Nelles, M. (2013): Energetische und stoffliche Verwertung von Stroh. In: Nelles, M.: Tagungsband zum 7. Rostocker Bioenergieforum, 2013. - ISBN 978-3-86009-207-1, S. 503 - 508.

Angenommener Vortrag (Tagungsbeitrag in Vorbereitung)

Weißbach, G.; Schüch, A.; Engler, N.; Müller, H.; Nelles, M. (2014): Pretreatment of rice straw by microwave-induced catalytic wet oxidation, EU BC&E 2014 - 22st European Biomass Conference and Exhibition

Veröffentlichung in Fachzeitschriften

Elnass, A.; Nassour, A.; Schüch, A.; Nelles, N. (2014): Abfallverwertung im arabischen Raum - aktuelle Entwicklungen und Perspektiven, In: Müll und Abfall 04/2014, S.189-198, <http://www.MUELLundABFALL.de/MA.04.2014.189>



in Vorbereitung: Sadek, I. I.; Fatma S. Moursy; Salem, E. A.; Schüch, A.; Heggi, M. A. M.: Enhancing Rice Straw Media for Growing Eggplant under Modified Climatic Conditions Using Compost and Bacterial inoculation

7 Danksagung

Die Autoren möchten sich für die gute Zusammenarbeit beim gesamten Projektteam und Unterstützern bedanken. Insbesondere sind dabei zu nennen:

Aus dem Central Laboratory for Agricultural Climate (CLAC), Agriculture Research Center (ARC), Ministry of Agriculture, Egypt:

- Ahmed El Behery
- Ahmed Awny Ahmed Farag.
- Mosaad Kotb Kotb Hassanein
- Mohamed Abdrabbo Ahmed
- Fadl Abd Elhamid Hashem

Assistant group:

- Abd ElMoniem Esmail
- Assem Abd ElMoniem
- Rania Menaaazy
- Mahmoud Tohamy
- Fatma Moursy

Aus dem Agricultural Engineering Research Institute (AEnRI), Agriculture Research Center (ARC), Ministry of Agriculture, Egypt:

- Hanafy Abd El-Moneim
- Rania Khamis Ibrahim
- Mohie El-Dein El-Esally

Von der S.I.G.-DR. STEFFEN GmbH, Deutschland:

- Burckhard Tscherpel
- Katrin Smagorzewski
- Thorsten Rath
- Svenja Schudlich
- Sophia Blanché
- Ulrike Stolle



Von der Universität Rostock,

Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft:

- Nils Engler
- Kersten Eckermann
- Franziska Höfs
- Karola Elberg
- Abdallah Nassour

Professur Pflanzenbau:

- Bettina Eichler-Löbermann
- Stefanie Busch

sowie dem Institut für Biowissenschaften, Mikrobiologie:

- Hubert Bahl
- Michael Scheel
- Mareen Nipkow






8 Literaturverzeichnis

- Bakker, R. (2009). *Bakker, R.R. 2009. Rice straw for electricity and heat production, Cairo: AgrotechnAlternative concepts and technologies for beneficial utilisation of rice straw: practical applications and future directions.* Cairo: Agrotechnology & Food Sciences Group, Rice straw seminar.
- BMBF. (2012). *Erfolge der Förderung: Biosprit aus Stroh.* Abgerufen am 2012 von <http://www.bmbf.de/de/17786.php>
- DBFZ. (2011). *Basisinformationen für nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung.* Leipzig.
- Grethlein, H. (1984). Pretreatment for enhanced hydrolysis of cellulosic biomass. *Biotech. Adv.* 2, pp. 43-62.
- Grethlein, H., & Converse, A. (1991). Common Aspects of acid prehydrolysis and steam explosion for pretreating wood. *Biores. Technol.* 36, S. 77-82.
- Howard, R. L., E., A., E.L., J. v., & S., H. (2003). Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. *African Journal of Biotechnology.* 2,12, S. 602-619.
- Knieper, R. (2012). Aktueller Stand bei der Etablierung des ersten deutschen Strohheizkraftwerkes. *Strohenergie 2012.* FNR.
- Smith, J., Anderson, J., Senior, E., Aidoo, K., & Wood, D. a. (1987). Bioprocessing of lignocelluloses. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A.* 321, S. 507-512.
- Sun, Y. a. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology.* 83, S. 1-11.
- Taherzadeh, M. J. (2008). Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 9, S. 1621–1651.



9 Anhang

Fragebogen der sozio-ökonomischen Analyse (aus dem erstem Bericht der ägyptischen Partner)

First Year Report

Annex (2)

Project Title: Climate Protection, Natural Resources Management and Soil Improvement by Combined Energetic and Material Utilization of Lignocelluloses Agricultural Wastes and residues

Socio Economic Questionnaire

Form No.

--	--	--

GOVERNORATE: DISTRICT: VILLAGE:

Personal Data:
(These details are required for communication purposes only and will not be disclosed)

Name:
 Position (if have):
 Education Status:
 Family Size (No.):

Contact Data:

Address:
 Telephone:
 E.mail:

Date of rice cultivation:
 Date of harvest:
 Years of experience with rice cultivation:

Name of Data Collector :

Date of Data Collection: / / 2012



First Year Report

HOLDING TYPE OF THE CROP AREA:

Type of holding	Fed.	Kerate
Ownership		
Cash Rent		
Share Rent		
Total		

- ✚ On the average how many feddans of rice you cultivate every year ? (year)
- ✚ What is the rent value per feddan in your village in summer season:L.E/season
- (Even if it is an ownership)
- ✚ Do you join any civil association? Y N
- If yes,
- ✓ What is the name of the association: -----
- ✓ What are the conditions for membership?
- ✓ -----
- ✓ -----
- ✓ -----
- ✓ What does it actually do? -----
- ✓ -----
- ✓ What are services or facilities it provides to the members? -----
- ✓ -----
- ✓ -----

SECTION (2) DATA FOR RICE VARIETIES:

1. What is the name of rice variety you cultivated last year?-----
2. Is this variety the recommended one by the ministry of Agriculture? Y N
3. If yes, what are the source of seeds ?



First Year Report

Last year crop		Agricultural cooperative		Seed trader		Neighbors	
----------------	--	--------------------------	--	-------------	--	-----------	--

If No, why you did not cultivate the recommended variety?

1.
2.
3.

What are the main problems do you face with rice cultivation last season?

- a.
- b.
- c.

SECTION (3) DATA FOR RICE-STRAW AND IT'S USES:

What are average yield per feddan in your village?

Seeds: (..... ton/ feddan) straw: (..... ton/ feddan)

What is the yield per feddan you got from your farm? (.....ton/feddan)

If there any difference, what reasons?

- a.
- b.
- c.

How you use your production of rice-straw?

Selling Use as feed for livestock Burn Cover for cells of building

Compost Floor bed for animals Other

Is there any one trade in rice straw in your village? Yes () No ()

If yes, who is? Individuals () Agricultural cooperative () Private company ()

Animal breeders () Building break producers () Others ()

What is the common price of rice straw in your village? ----- L.E/ Ton

How much quantity you sold last year? ----- Ton

In case of producing compost:

What is the technique you use in making compost?

Putting it under animals () Mixing with manure in heaps without turn up ()

Mixing with manure, adding water and turning up for certain period ()

How many months needed before compost become ready for use? month.

Do any one in your village produce compost in commercial scale? Yes () No ()

If yes, what the price per ton? L.E/Tons



First Year Report

From where you got your information about compost production techniques?

- Television () Newspapers () Radio () Neighbors ()
- Extension agent () Agricultural Society () Other ()

In your opinion why people tend to burn their rice straw?

- a.
- b.
- c.

In your opinion what is the percentage of people who exercise rice straw burning?

- 25% () 50% () 75% () More than 75% ()

Do you know that you could produce gas from rice straw to be used in heating and cooking instead of boatagas? Y N

If yes, from where you got your information?

- Television () Newspapers () Radio () Neighbors ()
- Extension agent () Agricultural Society () Other ()

Do you want to attend training program about this? Y N

From your opinion what is the best method to get the required information?

- Training course () Extension Staff () Agricultural cooperative ()
- Field Day () other ()

SECTION (4) GENERAL QUESTION:

Do you think that you are able to execute such project individually on your own expenses? Yes No

If No, What is the best sector to perform this project? (from your opinion)

- Government Public sector Private sector Civil association
- Cooperative associations' NGOs Other

What is the best way to obtain the equipments to this project?

- Hire Buying other

If your answer Buying

Is that possible to sharing in the purchase of the equipment's?

- Y N

If yes, what is the best source of finance? Self-finance (%) Loans (%)

What is the best source for required loans?

- Agriculture Credit and Development Bank Social fund for development
- Nasser bank Other (specify)

What is the best term for payment?

- 5 years 7 years 10 years Other (specify)

What is the down payment you could afford ?

- 5 % 10% More than 10%