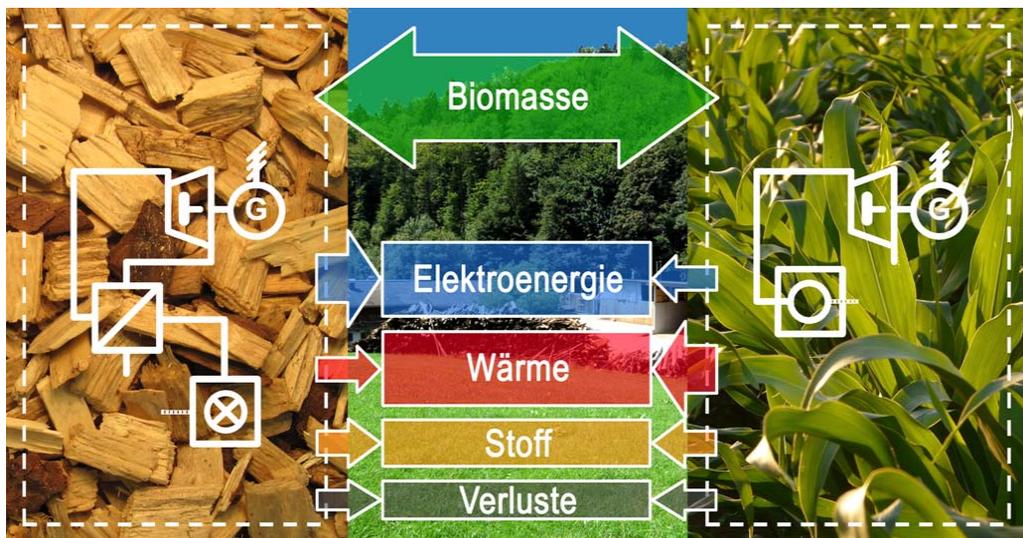


TAGUNGSBAND

Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung – Technik, Ökonomie, Ökologie –



Beiträge zum Fachkolloquium vom 03.-04. Mai 2012 in Zittau

Herausgegeben von der Hochschule Zittau/Görlitz,
Fakultät Maschinenwesen,
Fachgebiet Kraftwerks- und Energietechnik,
Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider



**Energetische
Biomassenutzung**

Kurzreferat

„Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung - Technik, Ökonomie, Ökologie -“, ist der Titel einer jährlich an der Hochschule Zittau/Görlitz stattfindenden Tagung. In der Fachwelt ist es inzwischen unbestritten, dass zu einer nachhaltigen Stromerzeugung aus Biomasse auch eine möglichst verlustarme Wärmenutzung gehört. Elektroenergiebereitstellung aus Biomasse in dezentralen Anlagen muss also in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen. Die Beiträge erstrecken sich über die Energierohstoffbereitstellung, die Trocknung, die Rohstoffaufbereitung, die biochemischen und thermochemischen Konversionstechnologien bis hin zur Emissions- und Reststoffproblematik, immer auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Gemeinsames Ziel aller Beteiligten ist es, Wege zu einer technisch beherrschbaren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Biomasse-Energie-Nutzung zu finden.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Kurzreferat	- III -
Inhaltsverzeichnis	- V -
Überblick (<i>Prof. Tobias Zschunke, Hochschule Zittau/Görlitz</i>).....	- 7 -
Energieatlas Lausitz - Internetportal für Bioenergie in der Lausitz und Nordböhmen (<i>Maria Meyer, Hochschule Zittau/Görlitz</i>)	- 13 -
Biomassebereitstellung für die energetische Verwertung in Sachsen (<i>Dr. Kerstin Jäkel; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie</i>)	- 25 -
Optimierung regionaler Kreisläufe - Einbindung verschiedener Energieerzeugungsanlagen in einem lokalen Stoffkreislauf (<i>Bernhard Schauburger, Biomassehof Achenal</i>).....	- 33 -
Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit an Hackschnitzeltrocknern (<i>Georg Krämer, Holzfachschule Bad Wildungen</i>).....	- 49 -
Emissionsbegrenzungen bei der Erzeugung von Elektroenergie aus Holz (<i>Anja Nowack, Umweltbundesamt Dessau</i>).....	- 67 -
Minderung der Treibhausgasemissionen durch Stromerzeugung mittels Biomassevergasung: Potenziale und Kosten (<i>Tim Schulzke, Fraunhofer UMSICHT Oberhausen</i>).....	- 71 -
Ungenutzte Potenziale für die Biogaserzeugung (<i>Thilo Lehmann, Lehmann Maschinenbau</i>).....	- 85 -
Erfahrungen aus Planung und Betrieb einer Biomethanlage (<i>Thomas Dautert, DREWAG NETZ GmbH</i>).....	- 93 -
Abfallvergärungsanlagen in Schweden (<i>Ingmar Schüßler, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås</i>).....	- 103 -
Neuartige Mikroturbinen-Konzepte für schwierige Brennstoffe - eigene Erfahrungen mit extern befeuerter sowie inverser Gasturbine (<i>Martin Schmid, Ökozentrum Langenbruck</i>).....	- 113 -

Verfahrenstechnische Entwicklung und automatisierter Betrieb eines mit Biogas betriebenen Brennstoffzellensystems (Aniko Weder, Fraunhofer IKTS Dresden) - 131 -

Möglichkeiten der Brenngasaufbereitung am Beispiel einer HTCR-BHKW-Anlage (Simon Konradi, TH Mittelhessen) - 147 -

Fehler bei der Bilanzierung von Holzvergasanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz (Reinhold Egeler, Stadtwerke Rosenheim) - 155 -

Erfahrungen bei der dezentralen Biomassevergasung im Betreiberfeld der Firma Spanner Re² (Yves Noël, Prof. Peter Quicker; RWTH Aachen)..... - 167 -

Praxiserfahrungen zum Betrieb einer Holzvergaseranlage (Andreas Tigges)- 171 -

Überblick

(Prof. Tobias Zschunke, Hochschule Zittau/Görlitz)

Das Themengebiet „Bereitstellung von Strom und Wärme aus Biomasse“ befindet sich in einem Spannungsfeld. So existieren einerseits Technologieketten, die von einer gezielten Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Nutzfläche für die Gewinnung von Energie-Biomasse ausgehen, deren Mengen-Potenziale aber stark begrenzt sind. Beispiele dafür sind die Biogastechnologie, zu deren Energierohstoffversorgung eine Energiemais- und Energieweizen-Landwirtschaft gehört oder Holzhackschnitzel-Heizwerke, die mit Waldpflegeholz oder Pappel-Kurzumtriebsplantagen versorgt werden. In beiden Fällen wirkt die Ausbeute ernüchternd: Ein bis zwei Kilowatt elektrischer Energie können im Jahresmittel von jedem Hektar Land gewonnen werden. Je mehr nach geeigneten Alternativen gesucht wird, z.B. nach biogenen Reststoffen, umso schwieriger wird die technische Beherrschbarkeit der Energierohstoffe und damit die Gewährleistung hoher energetischer Effizienz und Kosteneffizienz. Dort entwickelt sich die Bioenergie-Technologie eher zu einem Spezialgebiet der Abfallwirtschaft. Die Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung - Technik, Ökonomie, Ökologie -“, stellt einen Beitrag zu dieser Fachdiskussion dar.

Passend zur Komplexität des Themengebiets Bioenergie wurde ein großes Spektrum an Themen diskutiert. Einerseits konnten eine Reihe von Problemstellungen entlang der Prozesskette von der Energierohstoffbereitstellung bis hin zur landwirtschaftlichen Reststoffverwertung, behandelt werden. Andererseits wurden sowohl technische und wirtschaftliche als auch ökologische Aspekte berührt. Als Beispiele seien die Praxiserfahrungen mit Holzgas-BHKW (RWTH Aachen), die Berechnungen zu den Treibhausgasminderungskosten bei Biomasse-KWK-Prozessen (Fraunhofer UMSICHT) sowie schließlich die Felduntersuchungen zu den Schadstoffemissionen von Vergaser BHKW (Umweltbundesamt) genannt.

Die Tagungsteilnehmer nutzten die Möglichkeit zum Erfahrungs- und Meinungsaustausch. Dabei wurden sowohl biochemische als auch thermochemische Verfahren mitsamt ihrer Praxisprobleme und Optimierungsmöglichkeiten diskutiert. Durch die Teilnahme von Wissenschaftlern, Anlagenherstellern und Betreibern konnte ein breites Feld dieser Aspekte betrachtet werden.

Die Zusammenstellung der Tagungsbeiträge ergibt einen spannenden Einblick in Stand und Potenziale der Bioenergie und vor allem zu der großen Fülle von Ansätzen für anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung. Energie aus Biomasse kann zwar nicht die tragende Säule der Energiewirtschaft eines Industrielandes wie Deutschland werden, aber sie kann zunehmend wichtige Beiträge zu einer klima- und umweltfreundlichen sowie bedarfsgerechten Energieversorgung leisten.

Die Bioenergiebranche ist weit davon entfernt, in „ruhiges Fahrwasser“ zu kommen. Das Spannungsfeld ist groß und stellt sich zum Zeitpunkt der Zusammenstellung dieses Tagungsbandes folgendermaßen dar:

- Bioenergie ist momentan die größte der regenerativen Energiequellen.
- In der öffentlichen Wahrnehmung wird Energie aus Biomasse hauptsächlich mit den Stichworten „Biokraftstoff und E10“ und „Biogasanlagen“ in Verbindung gebracht.

- Von Verfechtern der schnellen Energiewende wird zwangsläufig Biomasse als wichtige Stütze der Energieversorgung angesehen.
- Andererseits werden kritische Bemerkungen zur Bioenergie, besonders die bestehende Konkurrenz zur Nahrungsmittelbereitstellung zunehmend öffentlichkeitswirksam aufgegriffen.

Das Thema „Nutzungskonkurrenz um Biomasse“ war 2008 das verbindende Thema der ersten Biomasse-Energie-Tagung an der Hochschule Zittau/Görlitz. Im Jahr 2011 fand die Tagung erstmals mit der Ausrichtung auf die Technik, Ökonomie und Ökologie der Stromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse statt. Nun sind die Organisatoren der Tagung des Jahrgangs 2012 froh und dankbar, wieder ein Fülle interessanter Beiträge zusammenstellen und hiermit geschlossen präsentieren zu dürfen.

Mit den folgenden Anstrichen werden ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige Splitter aus der Fülle der während der Tagung zur Sprache gekommenen Themen zusammengestellt, um dem Leser auf diese Weise einerseits ein Gefühl für die inhaltliche Vielfalt zu geben und andererseits schon diesen und jenen wichtigen Diskussionspunkt zu betonen.

- Bioenergie kann sich nicht als Einzelinnovation durchsetzen, sondern ist an adäquate organisatorische und technische Abläufe – allein bei der Bereitstellung des Energierohstoffs – gebunden. Dieser Sachverhalt wurde auf der Tagung durch die Vorstellung des Energieatlas Lausitz berücksichtigt. Rechner- und internetgestützte Werkzeuge für die Organisation von regionalen Wertschöpfungskreisläufen sind eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für den Erfolg der Bestrebungen. Es bietet sich geradezu an, webbasierte Hilfen für das Etablieren lokaler Rohstoffmärkte zu entwickeln. Hier sind Ausdauer und hartnäckige Arbeit mit den Akteuren vor Ort erforderlich.
- Das sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ist eine der Einrichtungen, die systematisch in Versuchsanpflanzungen die Eignung verschiedener Energiepflanzen untersuchen und landwirtschaftliche Betriebe bei der Strategiefindung unterstützen. Dabei werden Optimierungsmöglichkeiten für die bekannten Energiepflanzen Mais und Getreide ebenso untersucht wie relativ neue Pflanzen wie zum Beispiel die Sorghumhirse. Es wird deutlich, dass in der Fachwelt das Problem der Monobewirtschaftung und nachhaltigen Bodenbewirtschaftung in Angriff genommen wird.
- Es ist wichtig, dass potenzialverwaltende Instrumente, wie der Energieatlas Lausitz, mehr und mehr mit den landwirtschaftlichen Erfahrungen aus Landwirtschaft und Anlagentechnik zusammengeführt werden.
- Die Bioenergie-Region Achenal hat mit ihrer Ausstattung an Bioenergieanlagen auch im Bereich der thermochemischen Verwertung bereits ein sehr hohes Niveau erreicht. Dort kommt es nunmehr auf die Optimierung des Zusammenspiels der Anlagen an und damit ebenfalls wieder um die Etablierung eines stabilen regionalen Gesamtsystems.
- Die Holzfachschule Bad Wildungen tritt wie keine andere Einrichtung dafür ein, das energetisch so bedeutsame Trocknen von Energierohstoffen praktisch-wissenschaftlich stärker als bisher zu durchdringen. Es wird auf die an vielen Stellen vorhandenen Reserven der energetischen Effizienz der Trocknung

hingewiesen, als deren Symptom die Übertrocknung von Brennstoffen angesehen werden kann.

- Es fehlen Standards für die Bewertung von Leistung, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Trocknern. Der Energieverbrauch ist eine entscheidende Größe für die Wirtschaftlichkeit.
- Relativ gut standardisierbare biogene Energierohstoffe mit einigermaßen gut beherrschbaren Eigenschaften kommen vorzugsweise aus der Energierohstoff-Landwirtschaft. Diese steht wiederum zunehmend in der öffentlichen Kritik. Leichtfertig wird dann auf die „großen“ Mengen von biogenen Rest- und Abfallstoffen verwiesen, die den gezielt angebauten Energiepflanzen vorzuziehen seien. Dabei wird aber zunächst nicht thematisiert, dass daraus im Umfeld des gewachsenen deutschen Umweltrechts größere immissionsrechtliche und abfallwirtschaftliche Probleme entstehen.
- Stromerzeugung aus Biomasse hat in der Energiewirtschaft bisher nur mit der Biogastechnologie einen Umfang erreicht, der eine öffentliche Wahrnehmung ermöglicht.
- Stromerzeugung aus Holz in Dampfkraftwerken mit Holzhackschnitzel-Rostfeuerungen ist unbestritten Stand der Technik.
- Stromerzeugung aus Holz im Leistungsbereich unter 100 kW_{el} auf der technologischen Basis der Holzvergasung wurde während der Tagung mehrfach vorgestellt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Diskussion von Betreibererfahrungen gelegt. In einer empirischen Erfassung von Erfahrungen einer großen Anzahl von Betreibern einer Anlage der Fa. Spanner Re² GmbH hat die RWTH Aachen herausgearbeitet, wie hoch der Einfluss von konkreten Standort- und Betreiberbedingungen ist und dass aber eine relativ erfolgreiche Vermarktung der neuen Technologie in Gang gekommen ist. Jahresvollbenutzungsdauern von über 7000 h werden als realistisch angesehen. Dadurch wird deutlich, wie viel sich in den letzten drei bis fünf Jahren auf diesem Gebiet getan hat.
- Eine sehr differenzierte und offene Darstellung eines einzelnen Betreibers einer Anlage zur Holzgasnutzung, die sich als überdurchschnittlich problematisch herausgestellt hat, hat gezeigt, wie viel noch für allen Beteiligten auf dem Weg zu einer Holzverstromung im kleinen Leistungsbereich zu tun ist.
- Zukunftweisend ist der während der Tagung praktizierte Diskussionsstil. Die sachliche und konstruktive Situationsbestimmung durch den im Grunde enttäuschten Anlagenbetreiber wurde durch den anwesenden Vertreter des Anlagenanbieters Spanner Re² GmbH auf ebenso sachliche Weise aufgegriffen.
- Es hat sich gezeigt, wie schwer die Erfahrungen mit komfortablen, wartungsarmen Energieanlagen für flüssige und gasförmige fossile Energierohstoffe als Vergleichsmaßstab wiegt und wie weit und vielleicht unerreichbar das Ziel ist, mit Holzhackschnitzel-BHKW (HHS-BHKW) ähnlichen Nutzungskomfort zu erreichen. Es deutet sich an, dass HHS-BHKW möglicherweise auf lange Sicht typische Anlagen der Land- und Forstwirtschaft bleiben werden und betreiberbedingten Effizienzunterschieden ähnlich wie Biogasanlagen und Viehzuchtanlagen unterworfen bleiben werden.

- Nach Auskunft des Umweltbundesamtes sind im kleinen Leistungsbereich (bis 5 MW Feuerungswärmeleistung bzw. Rohstoffenergiestrom) zur Stromerzeugung aus Holz derzeit folgende Techniken relevant:
 - Holzvergaseranlagen mit Verbrennungsmotoren
 - Holzfeuerungsanlagen mit ORC
 - Holzfeuerungsanlagen mit Stirlingmotoren.
- Es wurden vom Umweltbundesamt sehr interessante Erkenntnisse zu den Emissionen von Holzgas-Motor-BHKW berichtet. Dabei wird deutlich, dass Benzol die kritischste Substanz ist, dessen Emission zwar durch katalytische Nachbehandlung gesenkt werden kann – bei deutlichen Querkorrelationen zur CO-Emission – dass aber die Wirkungsdauer (wirkaktive Lebensdauer) der geeigneten Katalysatoren noch fraglich ist.
- Das Umweltbundesamt stellt weitere Aspekte des Vergleichs von Rostverbrennung und Gasmotorverbrennung dar. Bemerkenswert ist die nun verbriefte geringe Staubemission der Verbrennungsmotoren, besonders im Vergleich mit den ebenfalls untersuchten Verbrennungsanlagen.
- Durch das Fraunhofer-UMSICHT-Institut wird das Konzept der Wirbelschichtvergasung vorgestellt bzw. in Erinnerung gerufen. Wichtiger als die Aussagen zur Technologie sind in dem Beitrag von Fraunhofer UMSICHT die gründlichen Berechnungen zu den Kosten der Treibhausgasminderung beim Einsatz eines thermochemischen Biomassekraftwerks mit 29 % elektrischem und 38 % thermischem Wirkungsgrad. Solche Effizienzen sind mit der thermochemischen Vergasung erreichbar. Es wird herausgearbeitet, dass mit diesem Technologiezweig eine Treibhausgasminderung volkswirtschaftlich günstiger zu bekommen ist als mit allen anderen regenerativen Energietechnologien.
- Die Fa. Lehmann Maschinenbau GmbH zeigt, dass die Substratvorbehandlung für Biogasanlagen energetische Vorteile für den Fermentationsprozess mit sich bringt. Damit wird es möglich, das Spektrum möglicher Gärsubstrate hin zu einer größeren Menge lignozellulosehaltiger Biomasse zu erweitern.
- Die DREWAG Stadtwerke Dresden berichten über die Phasen der Vorbereitung, Planung, Errichtung, Inbetriebnahme und Erprobung einer Biomethananlage, mit der die Umwandlung von Energiebiomasse in ein Brenngas ermöglicht wird, das im Erdgasnetz gepuffert und transportiert werden kann.
- Der schwedische Partner SP (Technical Research Institute of Sweden) gibt einen umfassenden Überblick über die sehr weit fortgeschrittene Abfallvergärung in Schweden. Diesem Thema steht angesichts der wachsenden Widerstände gegenüber dem Ausbau des Energiepflanzenbaus und angesichts der großen energetischen Potenziale im Abfallbereich eine wachsende Aufmerksamkeit zu.
- Das Ökozentrum Langenbruck aus der Schweiz, eine privatwirtschaftlich organisierte Energieforschungseinrichtung, stellt Arbeiten zur ökonomisch effizienten Nutzung von Abfallenergien in kleinen Anlagenkonfigurationen vor. Unter anderem geht es um den Einsatz einer extern befeuerten Gasturbine und um die Nutzung extrem heizwertarmer Schwachgase sowie um die Pyrolyse.
- Das Fraunhofer IKTS stellt den Stand der Forschungen zur Nutzbarmachung des Brennstoffzellenkonzepts in der Biogasverwertung dar.

- An der TH Mittelhessen beschäftigt sich ein Team mit der Gasreinigung einer Vergasungsanlage, worüber ein Erfahrungsbericht gegeben wird.
- Die Stadtwerke Rosenheim widmen sich u.a. dem Einsatz von Mess- und Analysetechnik zur Stoff- und Energiestrombilanzierung an Holzvergasungs-BHKW und den Fehlerquellen und Sensitivitäten bei der Effizienzbestimmung thermochemischer Anlagen.

Die Diskussion um Bioenergie bleibt spannend und vielfältig. Nur in dezentralen, wärmeverbrauchsnahe Anlagen kann es gelingen, die in Biomasse steckende Energie einer fast verlustfreien Nutzung zuzuführen. Energie aus Biomasse ist ein wichtiger Bestandteil eines guten Energieversorgungsmix der Industriegesellschaft.

Energieatlas Lausitz - Internetportal für Bioenergie in der Lausitz und Nordböhmen

(Maria Meyer, Hochschule Zittau/Görlitz)

BIOENERGYNET

**Energieatlas Lausitz - Internetportal für
Bioenergie in der Lausitz und Nordböhmen**

03. Mai 2012 Hochschule Zittau/Görlitz

Maria Meyer
Projektbearbeitung Hochschule Zittau/Görlitz

www.bioenergy.net.eu

Hochschule Zittau/Görlitz Ziel 3 | CIL3
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
PROJEKT ZIEL 3 | CIL3
EUROPEAN UNION, EUROPEAN FUND FOR REGIONAL DEVELOPMENT
Investition in Ihre Zukunft / Evropská unie, Evropský fond pro regionální rozvoj. Investice do vaší budoucnosti

Agenda

- 
1. Das BioEnergyNet Projekt
 2. Energieatlas Lausitz als interaktive Karte
 3. BioEnergyNet als Best Practice für andere Regionen
 4. Das Kompetenzzentrum für Bioenergie/ EE

Agenda



1. Das BioEnergyNet Projekt
2. Energieatlas Lausitz als interaktive Karte
3. BioEnergyNet als Best Practice für andere Regionen
4. Das Kompetenzzentrum für Bioenergie/ EE

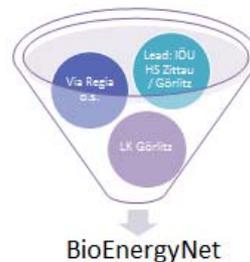
Folie 3 von 24

www.bioenergy.net.eu

Projektregion und Projektpartner



Quelle: DBFZ



Projektlaufzeit: 01.09.2009-30.06.2012

Projekt finanziell unterstützt durch das „Ziel 3 - Programm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2007-2013“

Folie 4 von 24

www.bioenergy.net.eu

Allgemeine Projektziele:

- Förderung der regionalen und nachhaltigen Nutzung der Biomasse zu Energiezwecken in der Lausitz und Nordböhmen
- Information und Wissensvermittlung über Potenziale an Biomasse, bestehende Anlagen und Rahmenbedingungen der Biomassenutzung sowie grenzüberschreitende Kontaktabahnung für gemeinsame Initiativen

Spezielle Projektziele:

- Entwicklung , Umsetzung und regionale Vermarktung eines auf einer Datenbank basierenden Instrumentes mit interaktiver Karte, der >>Energieatlas Lausitz<<
- Regionale Produzenten und Nutzer der Bioenergie sowie Dienstleistungsunternehmen mittels dem BEN Netzwerk durch Information, Vernetzung und fachliche Begleitung zu unterstützen
- Initiierung und Bearbeitung von anwendungsorientierten Projekten auf dem Gebiet Bioenergie



Folie 6 von 24

www.bioenergynet.eu

Agenda

1. Das BioEnergyNet Projekt
2. Energieatlas Lausitz als interaktive Karte
3. BioEnergyNet als Best Practice für andere Regionen
4. Das Kompetenzzentrum für Bioenergie/ EE



Folie 7 von 24

www.bioenergynet.eu

Energieatlas Lausitz – Biomasse-Karte für die Lausitz und Nordböhmen

- Internet-Portal für die deutsch-tschechische Grenzregion Lausitz und Nordböhmen
- kostenlose, interaktive Karten
- weitere Informationen wie z. B. rechtliche Anforderungen an Bioenergieproduktion, Marktsituation für Biomasse, Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten oder gelungene Praxisbeispiele
- Bioenergieleitfaden auf der Webseite www.bioenergynet.eu



Folie 8 von 24



www.bioenergynet.eu

Wen und wie unterstützt der Energieatlas Lausitz?

Sowohl die Bürger, als auch Kommunen und Unternehmen können hier Unterstützung finden z.B. bei:

- Standortsuche für Biomasseanlagen
- Vermarktung von Abwärme
- Rohstoffversorgung für Biomasseanlagen
- Vernetzung mit Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Kooperationspartnern
- Lernen von gut realisierten und innovativen Anlagen



Folie 9 von 24

www.bioenergynet.eu

Was beinhaltet der Energieatlas Lausitz ?



BIOENERGYNET

(1) Allgemeine Planungsgrundlagen:

- Biomassedefinition nach dem deutschen und tschechischen Recht
- Planungsgrundlagen für Biomasseanlagen (u.a. rechtliche Rahmenbedingungen, Fördermöglichkeiten, Empfehlungen zu Vertragsinhalten, Informationen über Strom- und Gasnetze)
- Umfassende Charakteristik der Region Lausitz und Nordböhmen
 - Erzeugerstrukturen
 - Typische Bereitstellungskosten der Biomasse
 - Marktsituation der Biomasse (Preisentwicklung, Konkurrenzsituation, Marktstrukturen)
- Faktoren für die Standortwahl
- Beispielhafte und erfolgreiche Biomasseanlagen
- Logistik der Biomasse
- Transportwege und Grenzübergänge

(2) Kartenmaterial für die deutsch-tschechische Projektregion

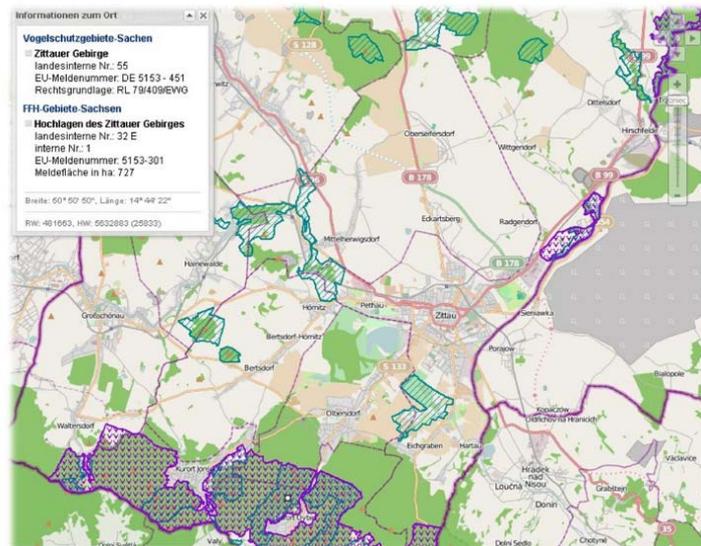
Folie 10 von 24

www.bioenergy.net

Planungsgrundlagen - Schutzgebiete



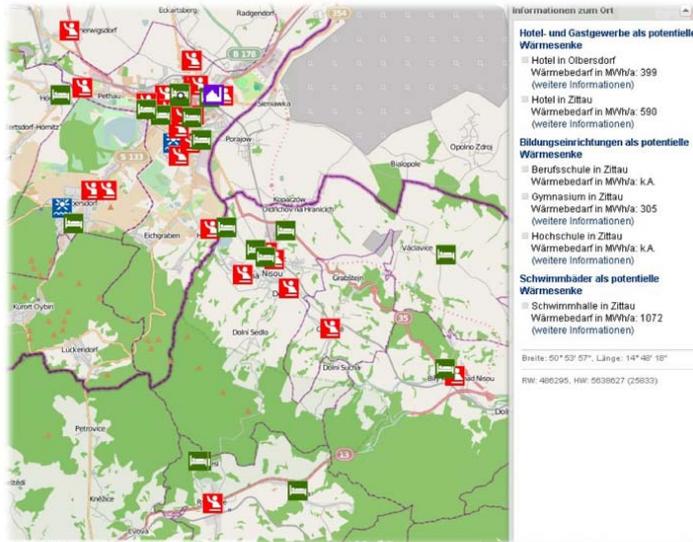
BIOENERGYNET



Folie 11 von 24

www.bioenergy.net

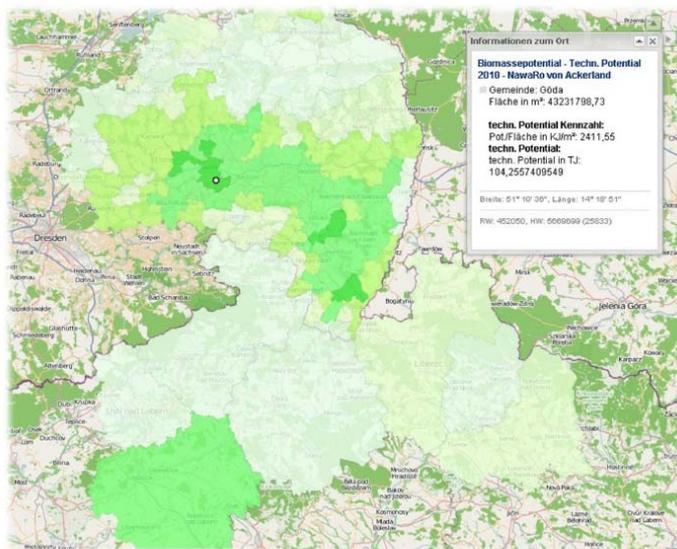
Regionalen Wärmebedarf von Krankenhäusern, Schwimmbädern, Bildungseinrichtungen sowie Beherbergungsbetrieben



Folie 12 von 24

www.bioenergy.net.eu

Technische Potenziale an Biomasse im Landkreis Bautzen, Görlitz, Liberecký und Ústecký kraj aus der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung



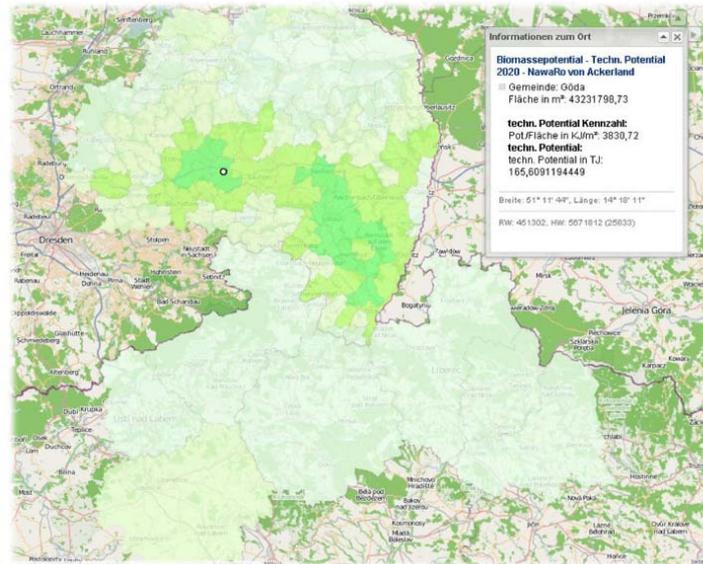
Folie 13 von 24

www.bioenergy.net.eu

Technische Potenziale – Prognose für 2020



BIOENERGYNET



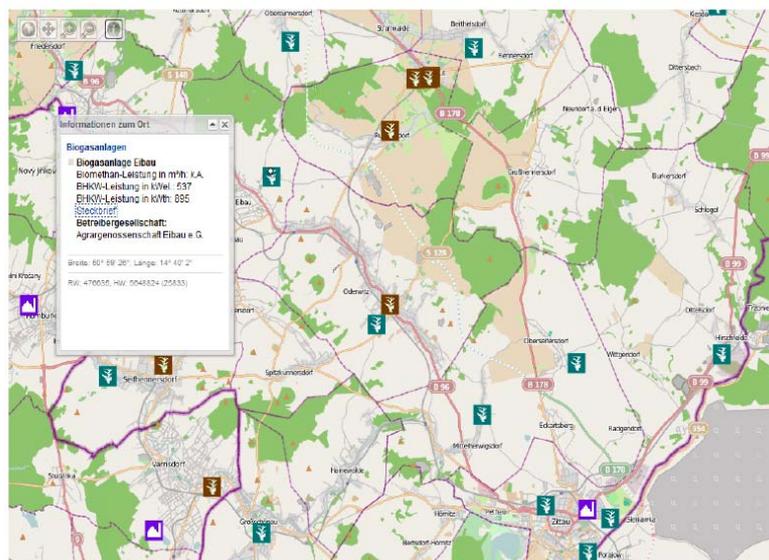
Folie 14 von 24

www.bioenergy.net.eu

Vorhandene und geplante Anlagen zur Bioenergieerzeugung



BIOENERGYNET



Folie 15 von 24

www.bioenergy.net.eu

Anlagensteckbriefe

Kompetenzzentrum Bioenergie e.V.

Landkreis
Stolz
TPO
BG
Bezeichnung
Biogasanlage Eibau
EE-Nummer
E418740100000000314100613200001
Inbetriebnahme
2010

Anlagensteckbrief
Dezentrale Bioenergieanlagen zur
Biochemischen Konzeption von
Biomasse



BIOENERGYNET



Anlagenstandort

PLZ: 02739
Ort: Eibau
Aneschrift: Ruppertsdörfen Straße 9
GPS: 50° 59' 13,524"N
GPS: 14° 40' 4,476"E

Anlagenbetreiber

Gesellschaft: Agrar-Gesellschaft Eibau e.G.
PLZ: 02739
Ort: Eibau
Aneschrift: Ruppertsdörfen Straße 9
Ansprech.: Herr Hoffmann
Tel: 03586 / 30230
Fax: 03586 / 302350
Mail: Agrar-eG.Eibau@t-online.de
Internet:

Leistungsparameter

Substrate gesamt: 20.500 t/a
Biomethan-Leistung: m³/h
BHKW-Leistung: 537 kWel.
BHKW-Leistung: LWh

Planung: Eufec Ingenieure GmbH
Realisierung: OBAG Bioenergy Anlagenbau GmbH

Anlagencharakteristik
Die Anlage ist eine Low-Tec-Anlage klassisch einstufig und mesophil mit Güllevorgabe, Biogasreaktor und Nachgärer, die BHKW-Abwärme und zur Heizwassererzeugung genutzt und in ein eigenes Farmwärmenetz zur Versorgung eigener Einrichtungen (Büro/Werkstätten) und Dritter (Wohnhäuser) wirkungsvoll genutzt.

Folie 16 von 24

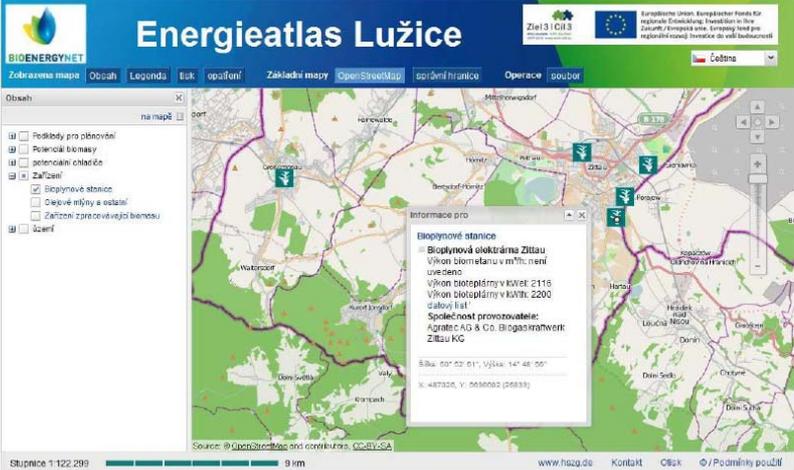
www.bioenergy.net.eu

Zweisprachig: deutsch-tschechisch



BIOENERGYNET

Energieatlas Lužice



Informace pro Bioplynová elektrárna Zittau
 Výkon biomelanu v m³/h: není
 Uvěřeno
 Výkon bioplynový v kWth: 2116
 Výkon bioplynový v kWth: 2200
 Salvo list
 Společnost provozovatele:
 Agrar eG & Co. Biogasstrawert
 Zittau KG
 Šířka: 00° 52' 01", Výška: 14° 40' 00"
 X: 487326, Y: 5030562 (26833)

Folie 17 von 24

www.bioenergy.net.eu

Eigenständige Plattform &
Integration in das Energieportal Sachsen



BIOENERGYNET



Quelle: <http://www.energieportal-sachsen.de>

Folie 18 von 24

www.bioenergy.net.eu

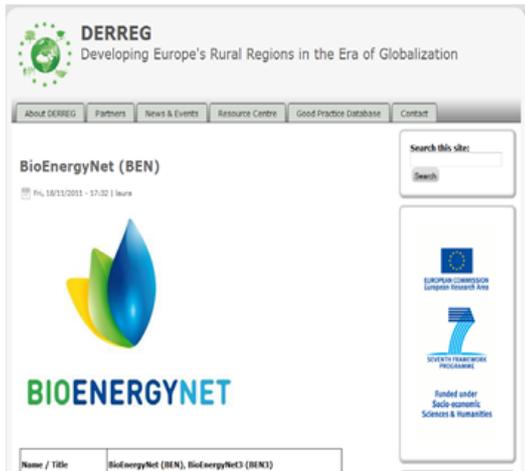
Agenda

1. Das BioEnergyNet Projekt
2. Energieatlas Lausitz als interaktive Karte
3. BioEnergyNet als Best Practice für andere Regionen
4. Das Kompetenzzentrum für Bioenergie/ EE

Folie 19 von 24

BioEnergyNet als gelungenes Beispiel für Regionalentwicklung im Themenfeld ‚Erneuerbare Energien und Energieeffizienz‘

<http://www.derreg.eu/content/best-practices/bioenergynet-ben>



Koordination: Leibniz-Institut für Länderkunde e.V.

Folie 20 von 24

www.bioenergynet.eu

Agenda

1. Das BioEnergyNet Projekt
2. Energieatlas Lausitz als interaktive Karte
3. BioEnergyNet als Best Practice für andere Regionen
4. Das Kompetenzzentrum für Bioenergie/ EE

Folie 21 von 24

Die **Kompetenzbündelung** der Hochschule Zittau/ Görlitz und weiteren Partnern



BIOENERGYNET

unterstützt den Landkreis Görlitz bei der umsetzungsorientierten
Lösungsfindung in den Bereichen: Energieversorgung, Mobilität,
Heizenergie, Stromverbrauch, Energieeinsparung und -erzeugung.

Aufgaben:



Informieren

- Wissenschaftliche Kolloquien
- E-Mail-Verteiler u.ä.



Vernetzen

- innerhalb der Hochschuleinrichtungen
- Landkreis / Externe



Umsetzen

- Gemeinsame Projektentwicklung
- Akquisition von Fördermitteln



Folie 22 von 24



www.bioenergy.net.eu

Gemeinsame Initiierung und Bearbeitung von anwendungsorientierten Projekten auf dem Gebiet Bioenergie



BIOENERGYNET

- Beteiligung an Forschungsvorhaben,
- Entwicklung und Realisierung von Modell- und Forschungsvorhaben,
- Erstellung von Konzepten und Studien,
- Organisation von Fachtagungen sowie Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen
- Beratung von Investoren und Anlagenbetreibern bei Investitionsentscheidungen und Anlagenbetrieb
- Vermittlung von Fachkräften im Bereich Bioenergie
- Beiträge zur Bildung und Berufsorientierung für Schüler im Bereich Bioenergie
- in Kooperation mit der, Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Gesellschaft.

Folie 23 von 24

www.bioenergy.net.eu



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.
Fragen?

Kontakt:

Hochschule Zittau / Görlitz
Institut für Ökologie und Umweltschutz (IÖU)
Dr. Dietmar Bothmer, Maria Meyer, Thomas Höhne
Theodor-Körner-Allee 16
D-02763 Zittau
Tel.: +49 (0) 3583 61 14 84
Fax: +49 (0) 3583 54 09 498
E-Mail: m.meyer@hszg.de
www.bioenergynet.eu
<http://www.bioenergynet.eu/?energieatlas=1>



Folie 24 von 24

www.bioenergynet.eu

Biomassebereitstellung für die energetische Verwertung in Sachsen

(Dr. Kerstin Jäkel; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Dr. Kerstin Jäkel, Jana Grunewald
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Tel.: 0341 / 9174 - 172
E-Mail: kerstin.jaekel@smul.sachsen.de

1 Einleitung

Erneuerbare Energieträger sind nicht nur klimaschonend und unerschöpflich, sondern stärken auch den Wirtschaftsstandort Sachsen. In Form von Wind, Biomasse, Sonne, Wasser und Erdwärme haben sie in den vergangenen Jahren enorm an Bedeutung gewonnen und besitzen noch immer ein erhebliches Ausbaupotential (außer Wasserkraft). Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Rahmen des Klimaschutzes zum Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch von derzeit 12 % auf mindestens 20 % bis zum Jahr 2020 zu erhöhen. Die Stromerzeugung aus Biomasse hat sich nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in den Jahren 2004 bis 2006 nahezu verdoppelt und nimmt gegenwärtig einen Anteil von 8 % am deutschen Primärenergieverbrauch ein. Neben der Verwertung von biogenen Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft kann der gezielte Anbau von Energiepflanzen eine kontinuierliche Biomassebereitstellung gewährleisten. Sachsens Potential an nachwachsenden Rohstoffen für die energetische Nutzung ist groß. Halmgutartiges, unverholztes Material wird in Biogasanlagen zu Biogas (Methangas) vergoren („gasförmige Biomasse“). Aus Öl-, Stärke- und Zuckerpflanzen werden wertvolle Inhaltsstoffe für verschiedene Verarbeitungsrichtungen sowie zur Kraftstoffherstellung gewonnen („flüssige Biomasse“). Holz, Stroh und Ganzpflanzen mit einem hohen Ligningehalt können zu Hackschnitzeln bzw. Pellets verarbeitet werden („feste Biomasse“). Bei einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von ca. 917.513 ha in Sachsen werden rund 160.000 ha für den Anbau von Energiepflanzen genutzt. Dabei nimmt Raps mit knapp 100.000 ha den größten Anteil ein. Bedeutung besitzen überdies auch der Mais- und Getreideanbau sowohl zur Körner- als auch Ganzpflanzennutzung.

2 „Feste Biomasse“

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) erforscht die Eignung schnell wachsender Baumarten im Kurzumtrieb, der Rutenhirse und des Chinaschilfes (*Miscanthus*) als Festbrennstoff zur Wärme- und Energiegewinnung. Bisher ist der agrarbetriebliche Flächenanteil von Kurzumtriebsplantagen (KUP) und *Miscanthus* mit 0,1 % (156 ha) an der NAWARO-Fläche Sachsens noch relativ klein (Quelle: Bund-Länder-Arbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, Stand: 2010).

2 a) schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb

Kurzumtriebsplantagen verfolgen das Ziel in relativ kurzer Zeit (zwei- bis zwanzig-jähriger Umtrieb) Holzbiomasse auf Ackerflächen zur energetischen Verwertung zu erzeugen. Kriterien zur Auswahl geeigneter Bäume sind ein rasches Jugendwachstum, eine leichte Vermehrbarkeit, ein gutes Stockausschlagvermögen und eine gute Dichtstandsverträglichkeit. Unter europäischen Klimabedingungen erzielten Pappel- und Weidenarten die besten Ergebnisse.

In Sachsen gibt es derzeit 58 KUP-Flächen verschiedener Größe, verteilt auf 28 Betriebe, mit insgesamt ca. 160 ha. Die älteste noch bestehende Plantage wurde 1998 gepflanzt. Das erstmalige Anlegen mehrjähriger Energiepflanzenplantagen kann in Sachsen im Rahmen der Richtlinie „Land- und Ernährungswirtschaft“ (RL LuE/2007) gefördert werden. Liegt bei einem Antrag das zuwendungsfähige Investitionsvolumen bei mindestens 20.000 Euro, kann ein Zuschuss bis zu 30 % gewährt werden. Zu den Ausgaben, die unterstützt werden können, gehören Kosten für die Bodenvorbereitung einschließlich Unkrautbekämpfung, Vorratsdüngung, Pflanzung, Stecklinge, Unkrautbekämpfung, Pflege und die Anschaffung eines Wildschutzzaunes. Bei Anbauversuchen des LfULG konnten auf einem Lößboden (KUP Krummenhennersdorf: 2 ha, NS = 820 mm, Ø T = 7,2 °C, AZ = 45) mit den Pappelsorten Max 3 und Hybride 275 sowie den Weidensorten Sven und Tordis bei der zweiten Rotation Erträge zwischen 17 und 19 t TM je Hektar und Jahr erzielt werden (Abbildung 1, links). Schon bei der ersten Rotation überzeugten diese Sorten mit den höchsten Biomassezunahmen innerhalb von 3 Jahren. Vom Versuchsstandort Köllitsch liegen bislang nur Ergebnisse einer Rotation vor (10 ha, NS = 500 mm, Ø T = 9,0 °C, AZ = 70, Auenlehm). Bei 3 Jahren Wachstumszeit lag der Biomassezuwachs zwischen 4 t TM/ha und Jahr (Pappelsorten Muhle Larsen, Japan Mix und Pegasu) und 7 t TM/ha (Pappelsorte Max 3).

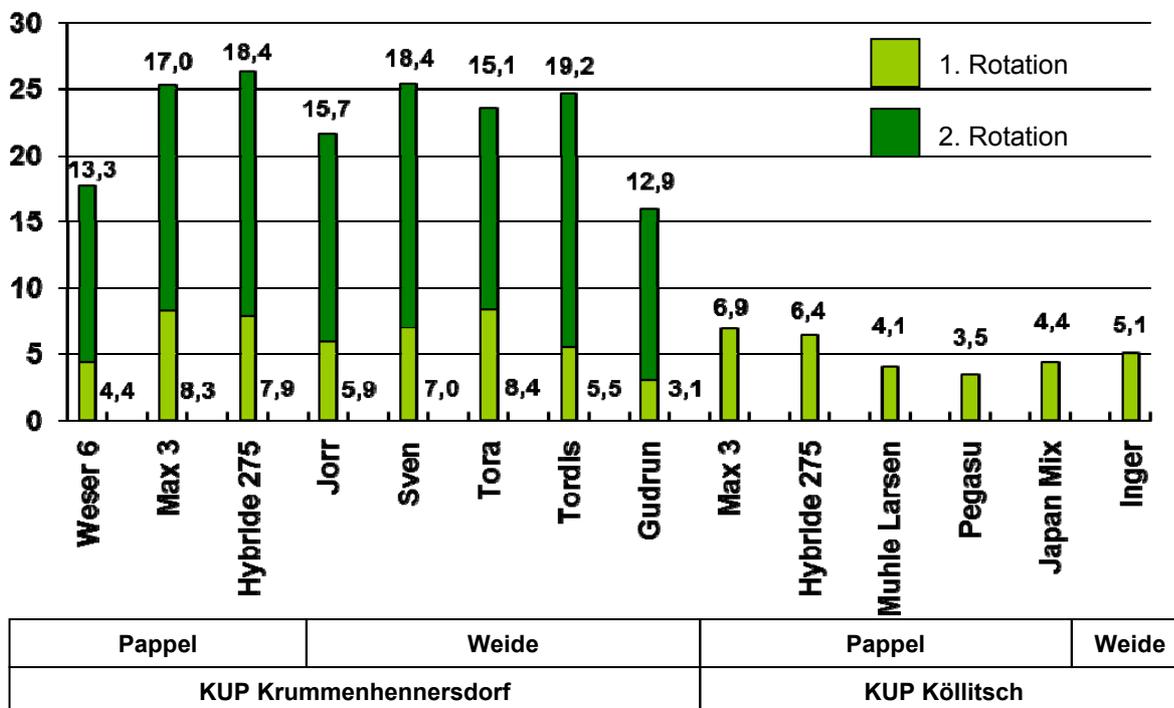


Abbildung 1: Biomassezuwachs [tTM/ha*a] von Pappel- und Weidensorten am LfULG-Versuchsstandort Krummenhennersdorf (links: 2 Rotationen, NS = 820 mm, Ø T = 7,2 °C, AZ = 45, sandiger Lößlehm) und Köllitsch (rechts: 1 Rotation, NS = 500 mm, Ø T = 9,0 °C, AZ = 70, Auenlehm), Datenquelle: Dr. Michael Grunert, LfULG.

2 b) Rutenhirse (*Panicum virgatum*)

Die Rutenhirse ist ein mehrjähriges, krautiges Süßgras, welches Wuchshöhen bis zu 2,5 m erreicht. Es wächst auf einem breiten Bodenspektrum, bevorzugt aber leicht erwärmbare Böden. Auf Grund eines hohen Trockenmasseertrages (bis zu 17 t TM/ha ab dem 3. Standjahr) und eines relativ hohen Rohfaseranteils kann es sehr gut zur Verbrennung genutzt werden. Das Ergebnis der Ertragsprüfung verschiedener Rutenhirse-Sorten des LfULG in Köllitsch (Böden der Elbaue, AZ 35-50, Ø T = 9,0 °C, NS = 500 mm) der Versuchsjahre 2005 bis 2011 zeigt Abbildung 2. In allen Jahren überragte die Sorte Kanlow mit einem Durchschnittsertrag von 8,8 t TM/ha die anderen Testsorten.

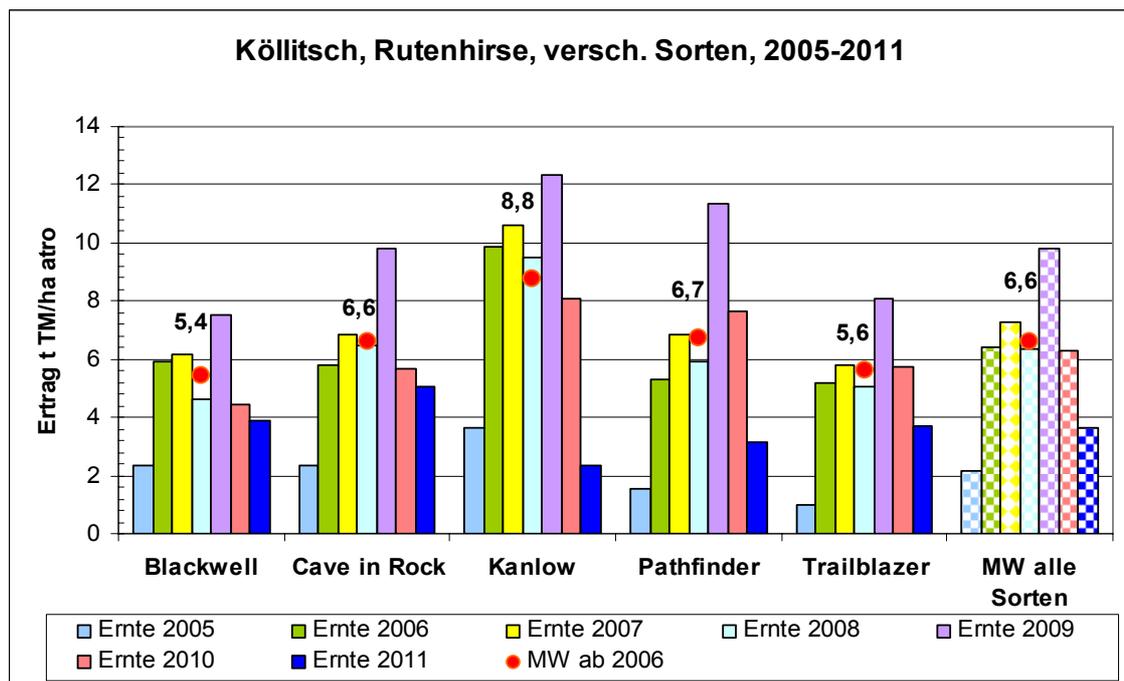


Abbildung 2: Ertragsprüfung verschiedener Rutenhirse-Sorten am LfULG-Versuchsstandort Köllitsch der Jahre 2005-2011 (Anlagejahr: 2004, NS = 500 mm, Ø T = 9,0 °C, AZ = 70, Auenlehm), Datenquelle: Dr. Christian Röhricht & Angelika Groß-Ophoff, LfULG.

2 c) Chinaschilf (*Miscanthus sinensis x giganteus*)

Miscanthus kommt ursprünglich aus den Subtropen bzw. Tropen und ist ein mehrjähriges Horstgras mit einer Wuchshöhe bis zu 3 m. Es wächst auf allen Böden, optimal sind sandige Lehme (Lößböden). Da es sehr trocken tolerant ist, ist auch ein Anbau in den sächsischen Gebieten mit Vorsommertrockenheit (z. B. Dahleener-Dübener Heide, Leipziger Tieflandsbucht und das Elbetal) gut möglich. Bei einer Nutzungsdauer bis zu 20 Jahren liegen die Durchschnittserträge ab dem 3. Standjahr zwischen 8 und 16 t TM/ha*Jahr. Das LfULG forciert Miscanthus zur Nutzung als Brennstoff. Es betreut Versuchsflächen unterschiedlicher Entstehungstypen in Sachsen: Diluvial-, Löß-, Kippen und Auenlehmstandorte (Tabelle 1). Die Durchschnittserträge auf den fruchtbaren Löß- und Auenböden lagen zwischen 14 und 26 t je Hektar und Jahr. Die Erträge der sandigeren Diluvial-Böden und steinigere Kippenböden lagen mit 9-11 t Trockenmasse je Hektar und Jahr niedriger.

Tabelle 1: Standortcharakteristik und Erträge [t/ha*a] der Miscanthusflächen des LfULG. Datenquelle: Angelika Groß-Ophoff, LfULG.

	Methau	Spröda	Roda	Kalkreuth	Zwenkau	Baruth	Pommritz
Boden	Lehm (L) Lö 4	anlehmiger Sand (SI) D 3c	Lehm (L) Lö 4b	stark sandiger Lehm (SL) Al 3	Mischsubstr. Lehm/Sand Kippenboden	anlehmiger Sand (SI) D 5c	Lehm-sandiger Lehm (L - sL) Lö 4c
Ackerzahl	63	30	68	49	28	30	61
Niederschlag (mm)	690	540	710	595	545	626	698
Temperatur (°C)	8,4	8,8	8,6	8,5	8,6	8,6	8,6
Anlagejahr	1992	1997	1997	1994	1994	2008	2008
Prüfjahre	1995-2011	2000-2011	2000-2011	1997-2010	1997-2010	2010-2011	----
Ø TM-Ertrag (t/ha)	13,8	11,4	25,6	20,0	11,1	9,0	----

3 „Flüssige Biomasse“

Im Bereich „Flüssige Biomasse“ konzentriert sich das LfULG auf das Qualitätsmanagement und die Datenauswertung beim Einsatz von Pflanzenölkraftstoffen. Nicht nur Ölpflanzen, wie Raps und Sonnenblumen, sondern auch Zucker- und Stärkepflanzen (Getreidekorn, Zuckerrübe) haben Bedeutung bei der Kraftstoff- und letztendlich auch Energiegewinnung. Ölsaatenverarbeitungsanlagen mit verschiedenen Absatzbereichen liegen im gesamten Freistaat (siehe Abbildung 3). Die Auslastung der Anlagen ist stark gesunken und liegt unter 50 %.

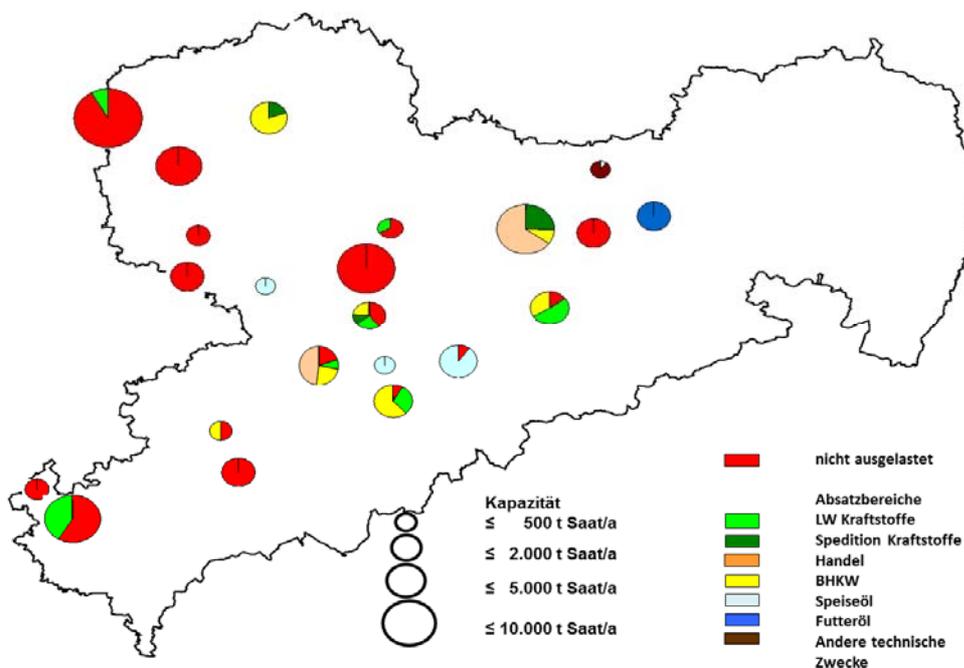


Abbildung 3: Dezentrale Ölsaatenverarbeitungsanlagen Sachsens mit Absatzbereichen. Quelle: Dr. Michael Grunert, LfULG.

4 „Gasförmige Biomasse“

Die sächsischen Biogasanlagen haben mit Stand vom 31.12.2011 eine installierte elektrische Leistung von ca. 78 MW. Es sind etwa 190 landwirtschaftliche Biogasanlagen bekannt. Ca. 65 % der Biogasanlagen in der Landwirtschaft wurden vom Freistaat Sachsen gefördert (teilweise mit Gärrestlager und Siloanlage). Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Standorte der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Sachsen.

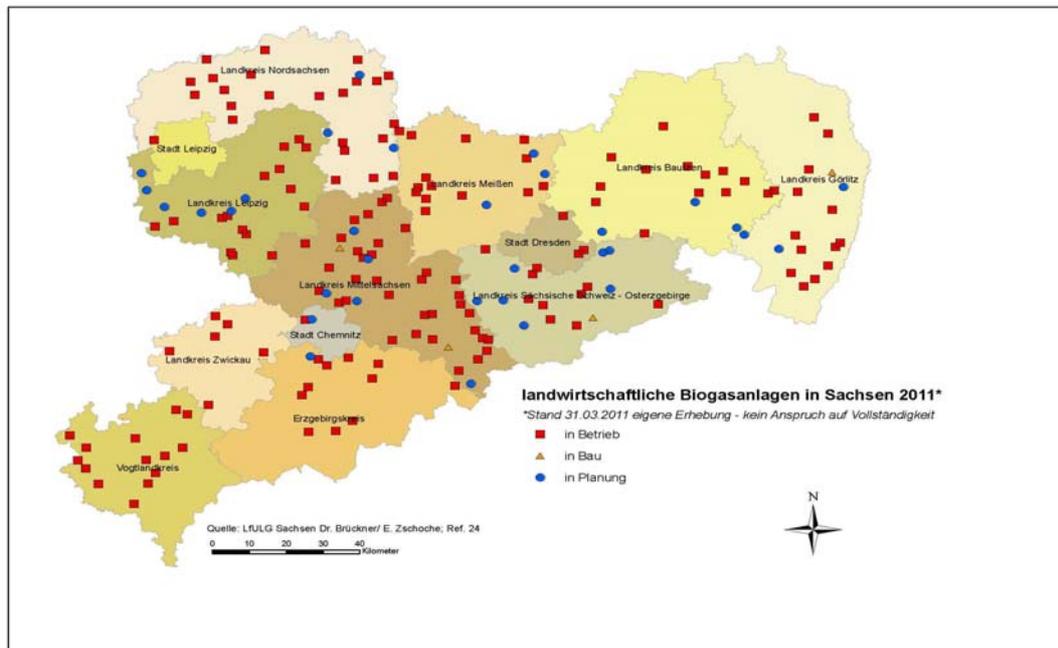


Abbildung 4: Standorte landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Sachsen, Stand: 31.03.2011, Quelle: Dr. Brückner / E. Zschoche, LfULG – kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Mais ist aufgrund hoher Trockenmasseerträge und guter Vergärbarkeit derzeit das vorzüglichste Substrat zur Biogasproduktion. Innerhalb der letzten 8 Jahre konnte ein starker Aufwärtstrend beim Maisanbau beobachtet werden (Zunahme der bundesweiten Mais-Anbaufläche um ca. 13 % von 1.600.000 ha auf 1.800.000 ha). Die Ausweitung der Maisfläche geht zu großen Teilen auf den Anstieg der Silo- bzw. Energiemaisflächen zurück. Ein großes Problem stellt in vielen Bundesländern Deutschlands, z. B. Niedersachsen (Anteil von 25,5 % der Maisfläche an Ackerfläche), Nordrhein-Westfalen (24,7 %) und Bayern (22,7 %), die gehäufte Eingliederung von Mais in die Fruchtfolge bis hin zum Mono-Maisanbau dar. In Sachsen ist die Mais-Anbaufläche von ca. 80.500 ha mit einem Anteil von 11,2 % an der Gesamt-Ackerfläche eher eine Bereicherung zu äußerst getreidebetonten Fruchtfolgen. Zahlreiche Energiepflanzen-Projekte haben sich zum Ziel gesetzt Alternativen bzw. Ergänzungen zum Maisanbau zur Erhöhung der Artenvielfalt innerhalb der Fruchtfolge aufzuzeigen. Das LfULG ist an zwei durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. geförderten Projekten beteiligt:

- Projekt „Entwicklung und Vergleich von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogasproduktion, kurz EVA“

- Projekt „Anbautechnik Sorghumhirsen“

4 a) Energiefruchtfolgeprojekt „EVA“

Mit „EVA“ sollen grundlegende Fragestellungen zur produktiven und nachhaltigen Gestaltung des Energiepflanzenanbaus geklärt werden (www.eva-verbund.de). In sieben Ackerbauregionen Deutschlands wurden unter verschiedenen Klima- und Bodenbedingungen fünf einheitliche Fruchtfolgen erprobt. Diese beinhalten sowohl Haupt- und Zwischenfrüchte als auch Zweikultursysteme. Auf allen Böden überzeugten die Fruchtfolgen mit Mais, Sorghumhirsen und Getreideganzpflanzen mit den höchsten Trockenmasseerträgen. Zweikultur-Anbausysteme mit Grünroggen als Erstfrucht und Mais bzw. Sudangrashybriden als Zweitfrucht erbrachten zwar je nach Bodengüte und Versuchsjahr Mehrerträge bis zu 40 % im Vergleich zum Hauptfruchtanbau, konnten jedoch die Mehrkosten nicht decken.

4 b) Sorghumhirsen

Sorghumhirsen sind Süßgräser aus Ostafrika. Ihre Bodenansprüche sind gering. Aufgrund eines ausgedehnten Faserwurzelsystems besitzen sie ein großes Bodenwasserausschöpfungsvermögen und eine hohe Hitze- bzw. Trockentoleranz. Jedoch sind sie sehr frostempfindlich. Als Substrat für Biogasanlagen eignen sich die halmdicken Zucker- und Futtertypen von *Sorghum bicolor* (Sorten Goliath, Sucrosorgo 506, KWS Zerberus und Herkules) sowie die blatt- und stängelreichen Sudangrashybride (*Sorghum bicolor* x *sudanense*), vor allem die Sorte Lussi. Um eine störungsfreie Silierung zu gewährleisten sollten TS-Gehalte ≥ 28 % angestrebt werden. Eine sichere Abreife zeigte in fast allen Versuchsjahren die Sorte Lussi. Das Ergebnis der Ertragsprüfung der Sorghumhirsen auf verschiedenen Standorttypen ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: mehrjährige Trockenmasseerträge [dt/ha] der Sorghumhirsen auf verschiedenen Standorttypen im Vergleich zu Mais, Mittelwerte der Versuchsjahre 2008-2010. Quelle: Daniela Zander, LfULG.

	Mais	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Sorghum bicolor</i> x <i>sudanense</i>
Diluvial-Nord	129	95	102
Diluvial-Süd	146	155	129
Lößstandort	198	180	151
Verwitterungs-St.	180	151	140
Kippenboden	134	134	112

4 c) Getreideganzpflanzen

Getreideganzpflanzen bieten auch beste Voraussetzungen zur Nutzung als Biogassubstrat: geringe Standortansprüche, hohe und relativ stabile Trockenmasseerträge sowie TS-Gehalte, leicht vergärbare Inhaltsstoffe und vorhandene Technik in der Landwirtschaft. Neben zahlreichen Populationsorten traten in den letzten Jahren vor allem Hybridsorten in den Vordergrund. Das LfULG untersuchte auf einem Verwitterungsstandort in kühl-feuchter Vorgebirgslage die Ertragsentwicklung der Hybridroggen-Sorte Palazzo im Vergleich zu Mais (Abbildung 5).

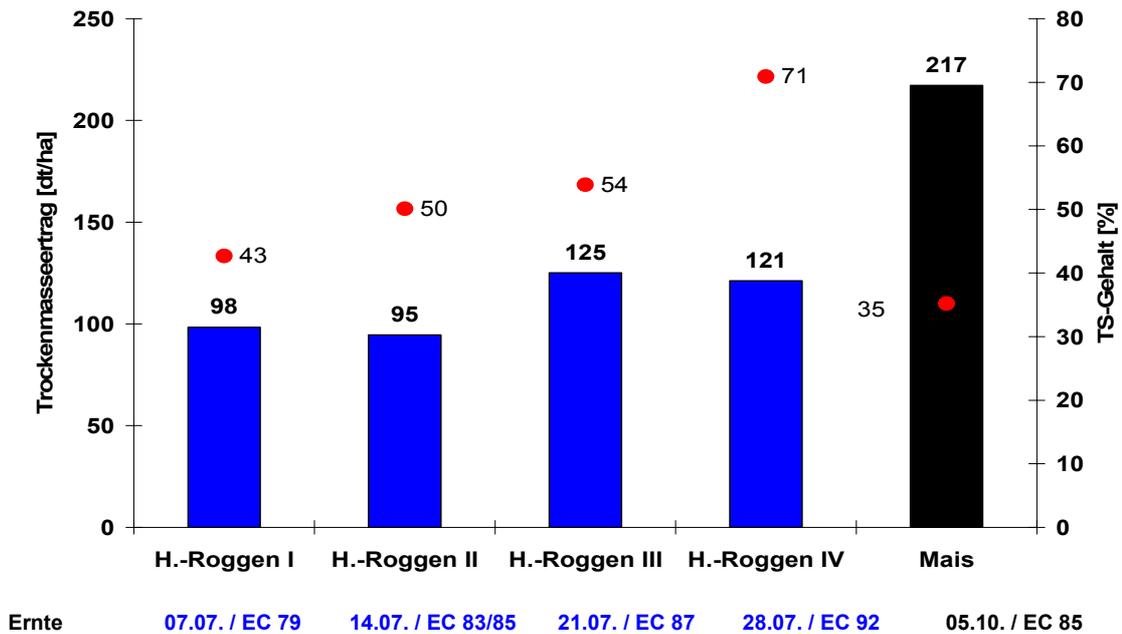


Abbildung 5: Trockenmasseerträge [dt/ha] und TS-Gehalte [%] von Hybridroggen (Sorte: Palazzo) zu vier verschiedenen Ernteterminen im Vergleich zu Silomais (Sorte: NK Falkone) am Versuchsstandort Christgrün (V5, sL, H = 430 m ü. NN, Ackerzahl: 35, NS = 722 mm, T = 7,4 °C), Versuchsjahr 2011, Daten: LfULG.

Eine Ertragsüberlegenheit von Mais hat sich auch im Versuchsjahr 2011 bestätigt. Mit späterem Erntetermin wurde kein höherer Ertrag erzielt, jedoch nahm der Lignifizierungsgrad in nur kurzer Zeit drastisch zu. Um die Vergärung lignocellulosehaltiger Substrate zu beschleunigen und die Methanausbeute zu erhöhen, hat die Maschinenbau Lehmann GmbH das mechanische Aufschlussverfahren „Bioextrusion“ entwickelt und erprobt. In Versuchen erzielte die extrudierte Hybridroggensilage höhere Methanausbeuten (> 300 l/t oTS) im Vergleich zum unbehandelten Substrat (um 275 l/t oTS).

Wirtschaftlich betrachtet besitzen viele Energiepflanzen noch Optimierungspotential. Tabelle 3 zeigt ökonomische Berechnungen für Biogaspflanzen (Vollkostenrechnungen inkl. Betriebsprämie – Gegenüberstellung von sämtlichen Kosten und dem Leistungsniveau einer Fruchtart [kWh el. Strom, die aus 1 ha Substrat erzeugt werden können]). Mais und Getreide erzielten positive Werte. Sorghumhirsen zeigten in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen starke Ertrags- und Abreifeschwankungen, so dass eine ökonomische Bewertung dieser Kulturart sehr schwierig ist. Ein verbesserungsfähiger Methanertrag, zu niedrige TS-Gehalte (dadurch hohe Transportkosten) und/oder zu hohe Anbaukosten drückten bei den restlichen Energiepflanzen das Gesamtergebnis in den negativen Zahlenbereich.

Tabelle 3: Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Verwertung von Biogaspflanzen. Versuchsstandort Trossin (D-Standort, AZ = 31, T = 8,7 °C, NS = 596 mm), Versuchsjahre 2005-2008. Vollkostenrechnung inkl. Betriebsprämie, Berechnungen: Annette Schaeffer, LfULG, Daten: Projekt „EVA“.

Kriterium	ME	Mais	Su. gras	Zu. hirse	Getr. GPS	Luz. Kl.Gr.	Kar- toffel	So. blume GPS	Raps GPS	Rog. Korn
FM-Ertrag	dt/ha	628	459	372	143	430	422	502	284	66
TS %	%	24	22	20	41	21	19	17	22	86
TM netto	dt/ha	136	91	66	52	82	72	79	56	55
Methan	m³/dt	32	28	31	31	29	37	27	31	37
SG/Dü/PSM	ct/m³	11	15	13	16	16	25	21	24	18
Arbeit	ct/m³	11	16	16	16	24	20	15	18	15
Lager	ct/m³	10	13	13	6	13	27	18	12	2
Anbau ges.	ct/m³	39	57	58	59	70	85	70	74	52
Ergebnis	€/ha	312	-115	-61	13	-395	-873	-307	-264	83
Gesamtwertung										

positiv
 mäßig
 noch Chancen
 negativ

5 Zusammenfassung

Für jeden sächsischen Landwirtschaftsbetrieb gibt es spezifische Möglichkeiten, aus Biomasse Bioenergie zu gewinnen. Eine große Vielfalt an Energiepflanzen und zahlreiche Verwertungswege stehen hierfür zur Verfügung. Es werden „neue“ Kulturarten gezüchtet und optimiert sowie angepasste Anbauverfahren und -systeme entwickelt. Das LfULG ist an vielen dieser Projekte beteiligt. Durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Nutzung besteht die Möglichkeit neue Einkommensquellen und Wertschöpfungspotentiale für die sächsische Landwirtschaft zu erschließen. Weitere Informationen zum Thema sind bei der „Sächsischen Bioenergieberatung“ zu erhalten (www.bioenergie-portal.info).

Optimierung regionaler Kreisläufe - Einbindung verschiedener Energieerzeugungsanlagen in einem lokalen Stoffkreislauf (Bernhard Schaubberger, Biomassehof Achental)

www.biomassehof-achental.de

Optimierung regionaler Kreisläufe oder Die Einbindung verschiedener Energieerzeugungs-Anlagen in regionale Kreisläufe im Achental



Bernhard Schaubberger, Biomassehof Achental
03.05.2012, HS Zittau/Görlitz

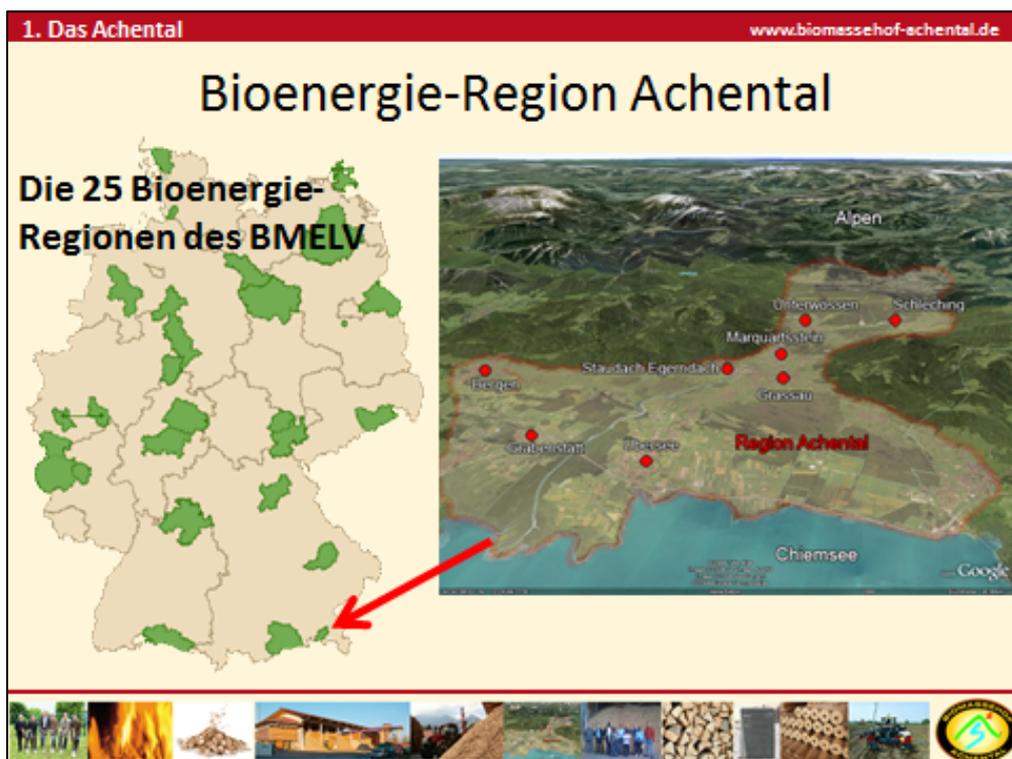
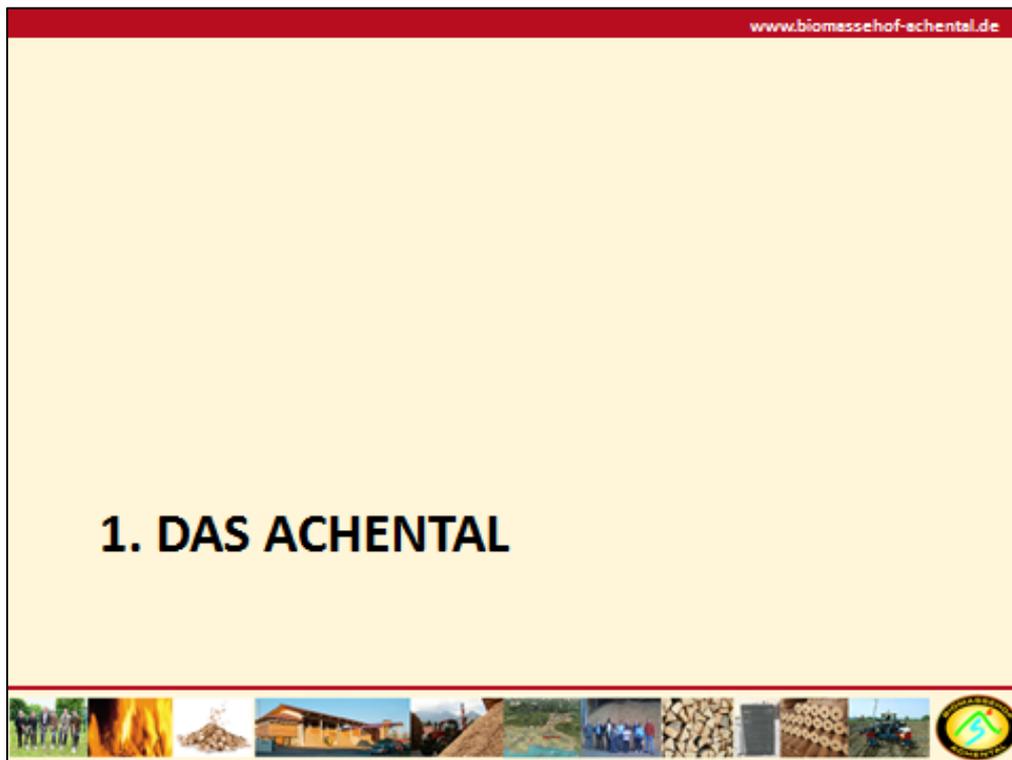


www.biomassehof-achental.de

Struktur

1. Das Achental
2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer
3. Optimierung regionaler Kreisläufe
4. Praxiserfahrungen





1. Das Achantal www.biomassehof-achental.de

Achantal - Kerndaten

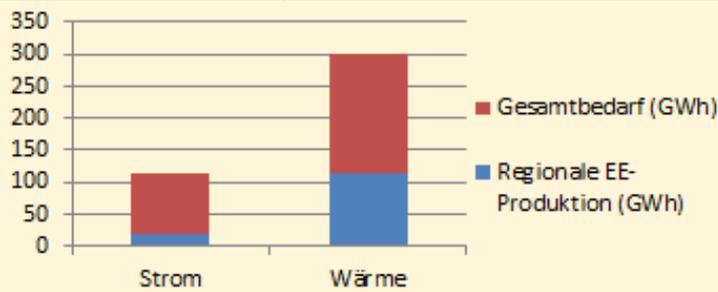
- 331 km²
- 32.000 Einwohner
- 55% Wald, 34% Landwirtschaft, 6% Siedlung
- 25% der Talfläche unter Naturschutz (Bergwälder und Moore)
- 20.000 Rinder, hauptsächlich Weidehaltung
- Wirtschaft: Tourismus, Handwerk, Landwirtschaft, kleine Industrien



1. Das Achantal www.biomassehof-achental.de

Energie im Tal

	Strom	Wärme
Gesamtbedarf	115 GWh/a	302 GWh/a
Regionale EE-Produktion	19 GWh/a	113 GWh/a
Noch freies Potenzial	184 GWh (insgesamt also 76% des Bedarfs abdeckbar!)	




1. Das Achantal www.biomassehof-achental.de



Unser Leitbild: Energieautarkie bis 2020!



www.biomassehof-achental.de

2. BIOMASSEHOF, HEIZWERK UND HEATPIPE-REFORMER

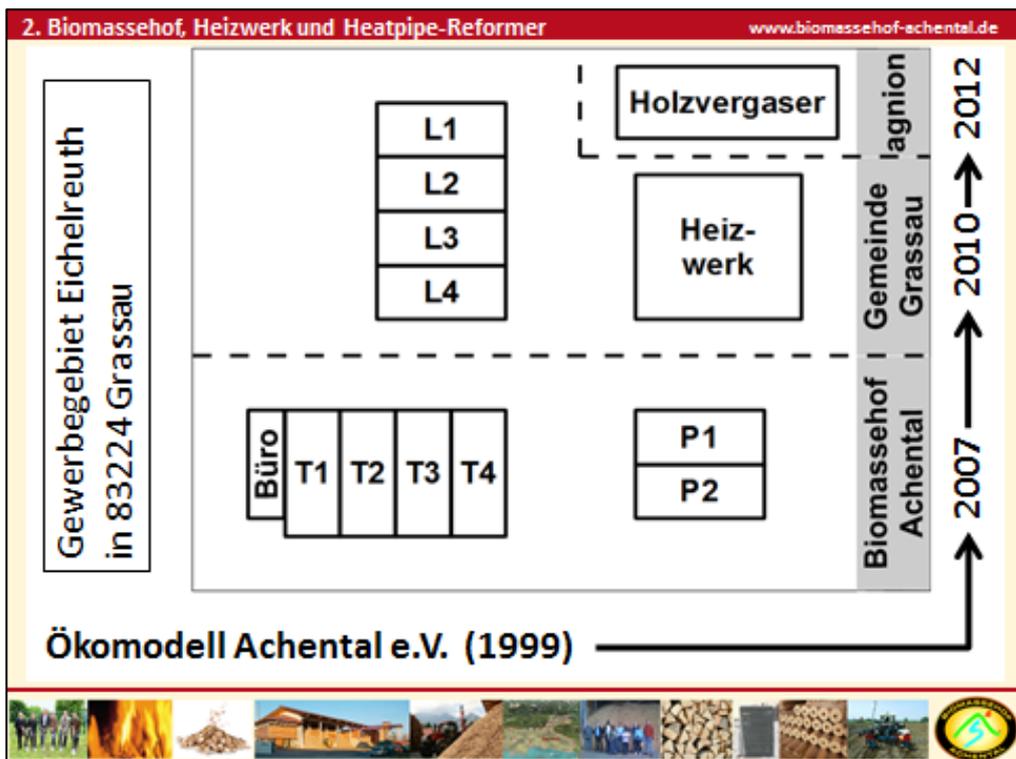


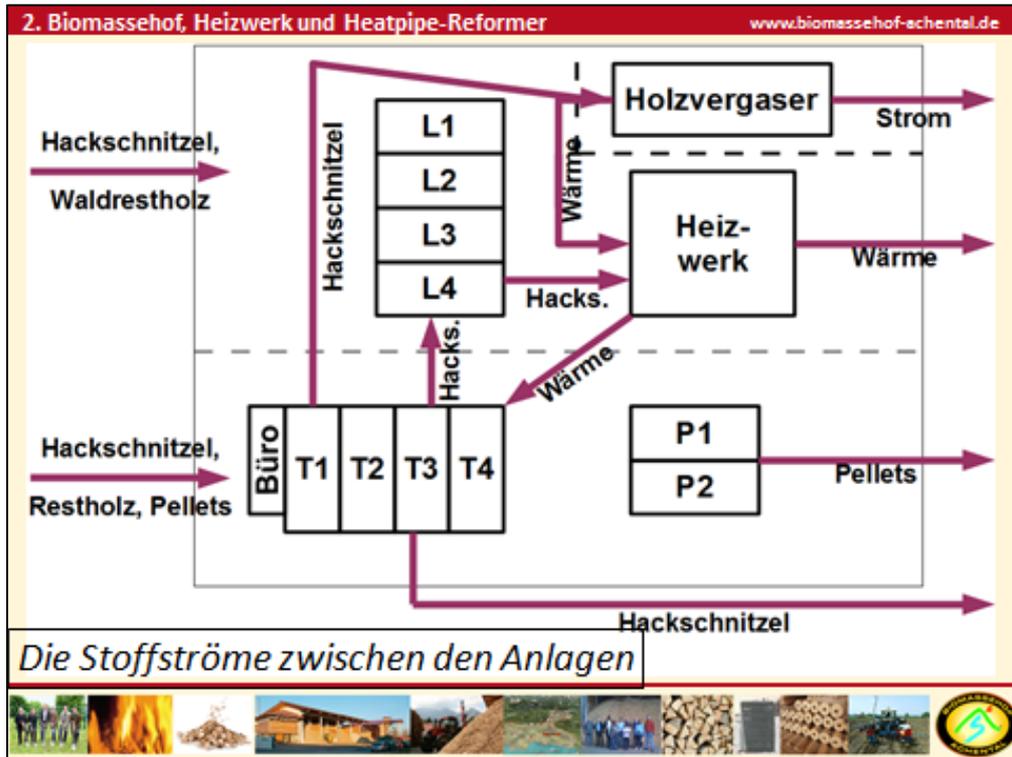
2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-achental.de

Drei wichtige Bioenergie-Anlagen

In Grassau im Chiemgau ko-existieren drei voneinander unabhängige Unternehmen am gleichen Standort:

- Biomassehof Achental GmbH & Co. KG
 - Öffentlich (GmbH)-privates (KG) Unternehmen
- Heizwerk Grassau mit Fernwärme Grassau
 - Kommunalunternehmen der Gemeinde Grassau
- Heatpipe-Reformer
 - Erste Praxisanlage der Firma agnion Operating GmbH



2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-achental.de

Trocknung der Hackschnitzel

Pro Trocknungsbox gibt es 24 solcher Bodenkamine

Leistung: 240 kW_{th} gesamt aus Rauchgaskondensation des Heizwerks

Kapazität: ca. 500 SRM in 14 Tagen von w45 auf w20



2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-achental.de

Biomassehof Achental

- Gegründet 2007 als GmbH & Co. KG durch Ökomodell Achental e.V. und regionale private Investoren
- Umsatz ca. € 3 Millionen, wachsend
- Hauptsächlich von DIN+ Holzpellets und zwei Hackschnitzel-Qualitäten (g30/w20 & g50/w45); zusätzlich Spartenware
- Energieberatung, Projektplanung
- 9 Angestellte



2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-echental.de

Heizwerk Grassau

Vier Lagerhallen für Hackschnitzel (meist mindere Qualität)



Heizhaus mit 3 MW-Kessel für Holzhackschnitzel

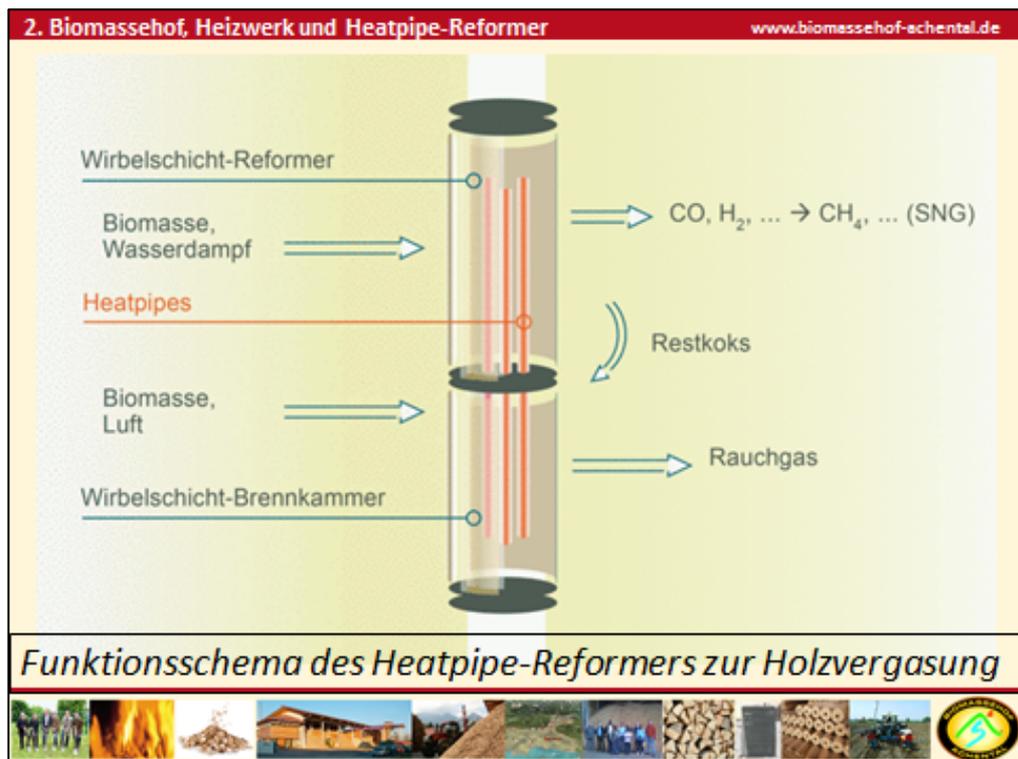


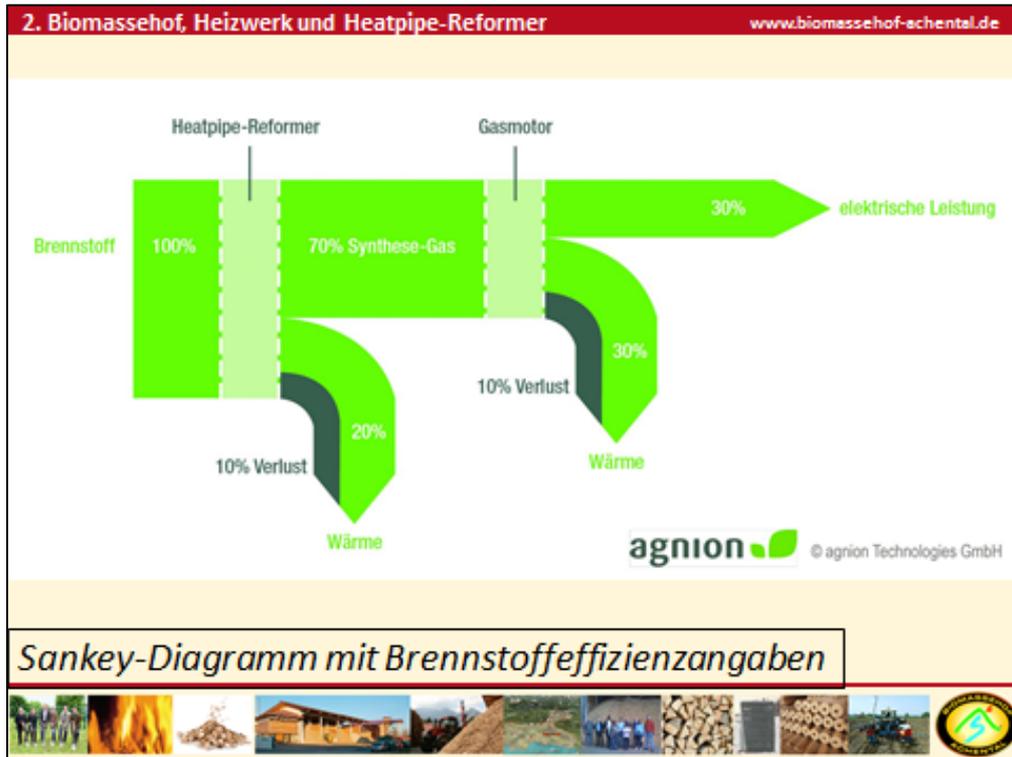
2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-echental.de

Heizwerk Grassau

- Inbetriebnahme 05/2010
- Kommunalunternehmen der Gemeinde Grassau
- 3 MW Hackschnitzelkessel & 5 MW Ölkessel (nur für Spitzenlast + Ausfallsicherung)
- 12,4 GWh Wärmeproduktion im ersten Jahr
- aus 17.000 SRM Waldhackgut (g50/w40-50)
- Kondensationsabwärme vollständig genutzt (1. Stufe zur Rücklaufanhebung und 2. Stufe zur HS-Trocknung am Biomassehof)







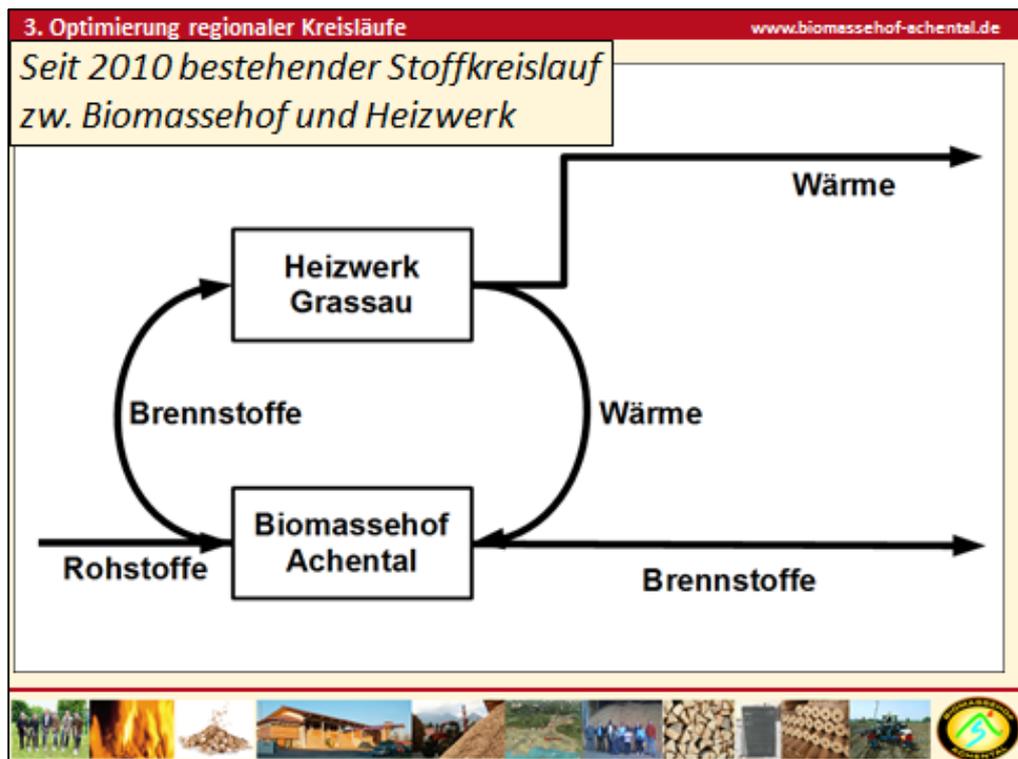
2. Biomassehof, Heizwerk und Heatpipe-Reformer www.biomassehof-schentel.de

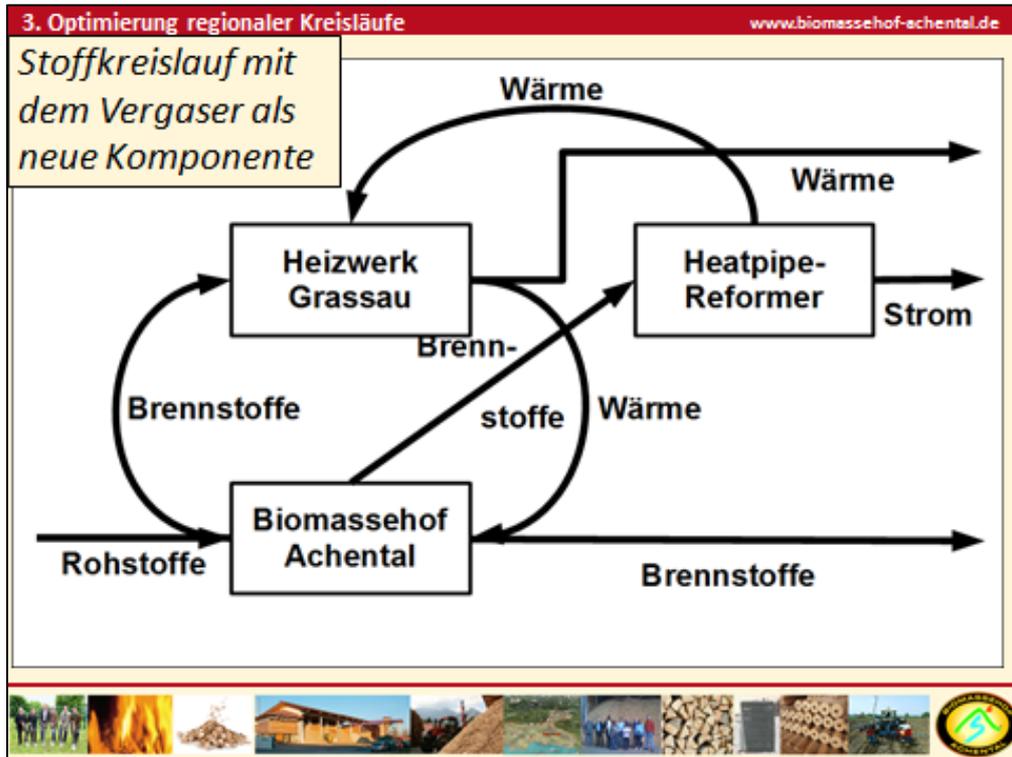
agnion-Biomassevergaser

- Allotherme Wirbelschichtvergasung (Sandbett durch Wasserdampf fluidisiert)
- Inbetriebnahme März 2012 (zunächst mit Pellets, anschließend Hackschnitzel)
- Biomasse wird zu H₂-reichem Synthesegas reformiert
- 1,3 MW Feuerleistung
- 380 kW_{el}, 630 kW_{th}
- $\eta = 78\%$
- minus 2.800 t CO₂ / a
- 7.500 h / a Betriebszeit angestrebt
- Wärme ins Fernwärmenetz, Strom eingespeist
- Weitere Details: siehe www.agnion.de

www.biomassehof-achental.de

3. OPTIMIERUNG REGIONALER KREISLÄUFE





3. Optimierung regionaler Kreisläufe www.biomassehof-achental.de

Optimierung regionaler Kreisläufe: Ziele

- Angepasste Aufbereitung der Brennstoffe
- Ausschließlich regionale Reststoffe
- Klimaschutz
- Langfristige Versorgungssicherheit
- Regionale Wertschöpfung
- Wirtschaftlichkeit aller Verwertungen




- CO₂

2020+



3. Optimierung regionaler Kreisläufe www.biomassehof-achental.de

Strategien zur Erreichung der Ziele

- Heatpipe-Reformer: hohe Effizienz, geringe Ansprüche, dezentral möglich
- Vergasung von Hackschnitzeln minderwertiger Qualität (mit automatischem Brennstoffeintrag)
- Verbesserung der Rohstoff-Konditionierung
- Einbettung in ökologisches und technisches Gesamtkonzept

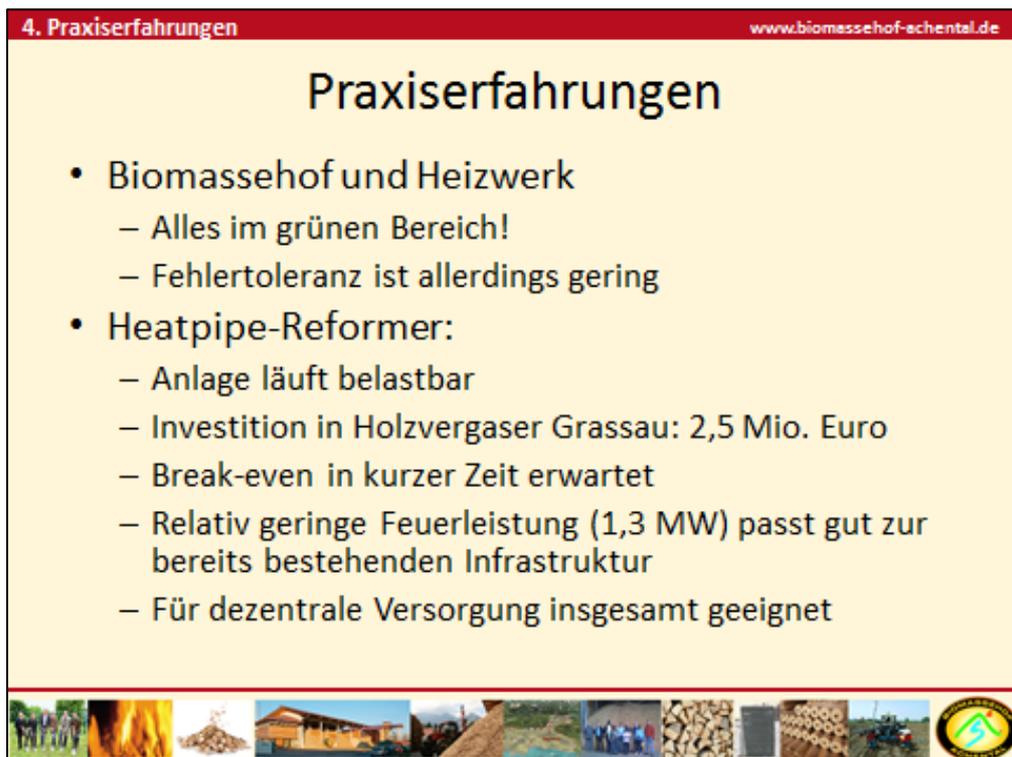


3. Optimierung regionaler Kreisläufe www.biomassehof-achental.de

Wirtschaft und Naturschutz

- Wirtschaftlichkeit
 - Geringer Aktionsradius
 - Regionale Wertschöpfung
 - Touristische Inwertsetzung
 - Wirtschaftlichkeit aller Anlagen
- Natur- und Klimaschutz
 - Geringer Aktionsradius
 - Hohe CO₂-Einsparungen möglich
 - Zusammenarbeit mit Ökomodell Achental
 - Verwendung von Reststoffen





www.biomassehof-achental.de

Danke!

agnion ist immer auf der Suche
nach begeisterten Ingenieuren!
www.agnion.de

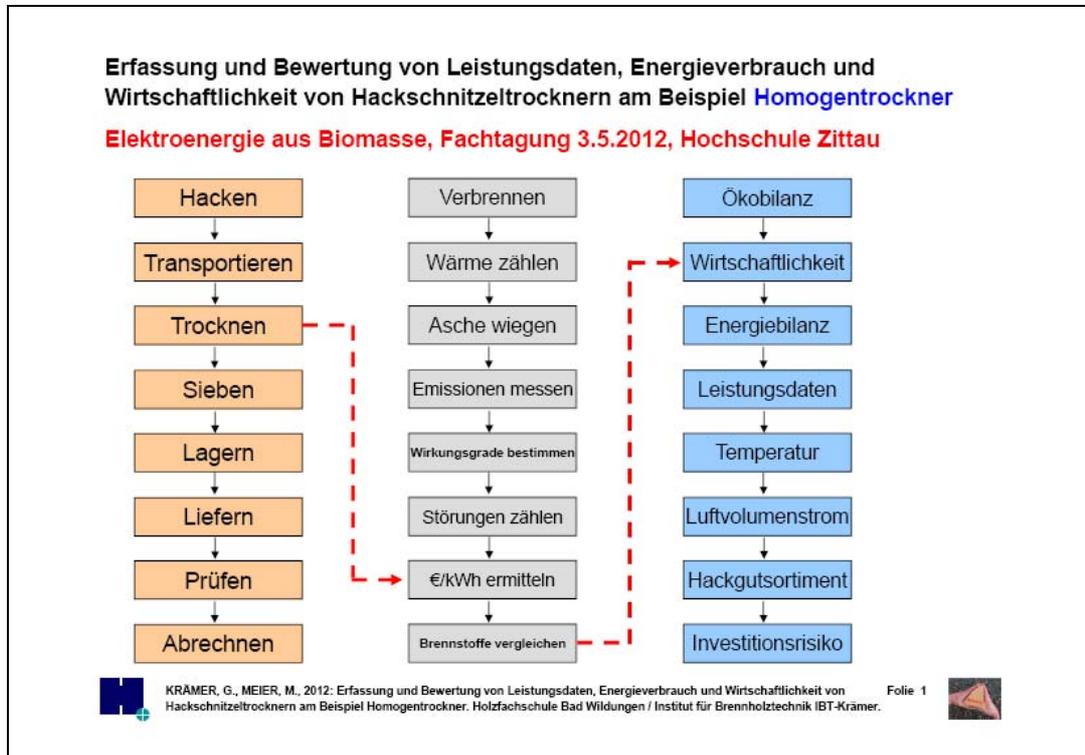
Besuchen Sie uns im Achenal für
eine Demonstration aller Energie-
anlagen!

b.schauberger@biomassehof-achental.de
www.bioenergie-region-achental.de



Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit an Hackschnitzeltrocknern

(Georg Krämer, Holzfachschule Bad Wildungen)



Gliederung

1. Einleitung / Technologiemonitoring
2. Kraft-Wärme-Restholz-Kopplung
3. Akteure Holzenergie-technik
4. Anforderungen an Qualität
5. Warum technisch trocknen?
6. Parameter zur Prüfung von Trocknern
7. Funktionsprinzip Homogentrockner
8. Versuchsanordnung
9. Wirtschaftlichkeitsrechnung
10. Ausblick

KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 2

1-1 www.holzfachschule.de



Berufsbildung / Seminare

- ▶ Zentralberufsschule der Holzbearbeitung
- ▶ Tischlermeister / -in
- ▶ Industriemeister / -in Holzindustrie
- ▶ Technische(r) Holzkauffrau (-mann)
- ▶ Holztechniker / -in Holzbearbeitung
- ▶ Modellbauermeister / -in
- ▶ Fertigungsprozessinformatiker / -in (BA)



Beratung / Projekte

- ▶ Technologie- und Innovationsberatung
- ▶ Management und Betriebsorganisation
- ▶ Modell- und Formenbau
- ▶ Schnittholzsortierung / Holz Trocknung
- ▶ CNC-Technik: Möbel / Treppen / Fenster



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 3



1-2 Institut für Brennholztechnik www.IBT-Kraemer.de



Angewandte Forschung + Entwicklung

- ▶ Trocknungskonzepte für Holzbrennstoffe / Restholz
- ▶ Methoden der Feuchtebestimmung für Holzbrennstoffe
- ▶ Verfahren zur Restholzverwertung / Brennholzaufbereitung
- ▶ Qualitätssicherung von Holzbrennstoffen / Restholzprodukten

Schulungen

- ▶ Trocknung / Qualitätssicherung von Brennholz / Restholz
- ▶ Holzfeuerungen / Absauganlagen
- ▶ Betreiberschulung für Schornsteinfeger
- ▶ Umweltschutz in der Holzwirtschaft

Beratungen / Publikationen / Dienstleistungen

- ▶ Trocknung / Qualitätsprüfung / Holzheizung / Restholzverwertung
- ▶ Lehrmedien, Produkt- u. Firmeninfos / Fachpresse / Vorträge
- ▶ Gutachten / Gremienarbeit / Projekte / Messeausstellung



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 4



1-3 Georg Krämer

Tischler und Dipl.-Holzwirt

Berater für Innovation und Technologie (1999)

Leiter Fachbereich Technologietransfer an der Holzfachschule

Gründung des Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer (2007)

Ausschusstätigkeit im CEN / TC 335 Solid Biofuels, VDI 4206-4, AA
Fertigpackung für Scheitholz der Eichbehörden

Mitglied im RAL-Güteausschuss der Gütegemeinschaft Brennholz e.V.

Wissenschaftl. Beirat im Bundesverband Brennholzhandel und -produktion e.V.

macroHOLZdata - Bestimmung und Verwendung von Nutzholzarten

Koordinierung Kap. 9 Holzwirtschaft in: SCHULTE ET AL., 2003: „Wald in
Nordrhein-Westfalen“, 2 Bände, 1091 Seiten, Aschendorff

Prof.-Adalbert-Seifriz-Preis 2008 für vorbildliche und beispielhafte
Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Handwerk

Unabhängige Qualitätsüberwachung von Hackschnitzeln und Scheitholz

Leitung der ESF-Projekte „Gescheites Brennholz“ / „Definierte Hackschnitzel“



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 5



1-4 Was bedeutet Technologie-Transfer ?

Unternehmen fit machen

- neue Technologien vermitteln
- *Innovationen unterstützen*
- Kooperationen fördern
- neue Arbeitsverfahren einführen
- Betriebsorganisation verbessern
- Fördermittel akquirieren
- Netzwerke aufbauen
- neue Märkte schaffen

Forschung optimieren

- Pilotprojekte initiieren
- Forschungsergebnisse verbreiten und anwenden
- *eigene angewandte F + E*

Berufsbildung verbessern

- Technologie-Monitoring zu Arbeitsverfahren Produkten, Werkstoffen, Gewerken, z.B. *Technologie-Monitoring Holzenergie*
- neue Technologien in die berufliche Praxis integrieren
- Fortbildung der Ausbilder und Berufsschullehrer

Innovationen unterstützen

- Entwicklung, Schutz und Vermarktung innovativer Produkte / Arbeitsverfahren
- *Prüfung von Trocknern*



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 6



4-1 Anforderungen an Qualität

Qualität umfasst Produkteigenschaften und Leistungsprozesse, die

- erfüllbar in der Produktion
- bezahlbar für Hersteller und Verbraucher
- prüfbar / nachvollziehbar in der Produktion und bei Lieferung
- regelkonform mit geltenden Normen
- praxisgerecht sein müssen



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 9

4-2 Rohholzsortiment + Arbeitsverfahren = Qualität

Rohholzsortiment (stehend / liegend)
 Holzart
 Stamm-, Rundholz
 Durchforstungs-, Ast-, Kronenholz
 KUP-Holz
 Altholz / Landschaftspflegeschnitt



Eigenschaften
 Rohdichte, Wassergehalt, Rindenanteil,
 Chlorgehalt, Ascheanteil, Fremdstoffe

+

Arbeitsverfahren
 1. Sägen - Spalten - Trocknen
 2. Hacken - Trocknen - Sieben
 3. Mahlen - Trocknen - Sieben - Pressen

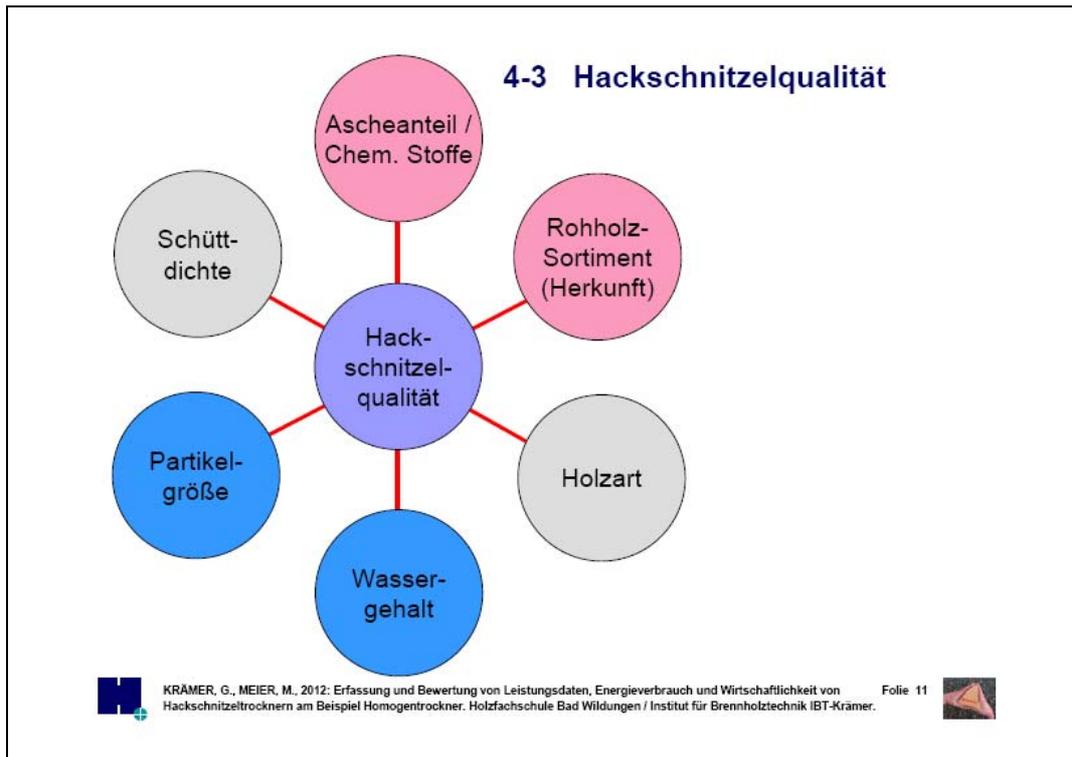


Eigenschaften
 Partikelgrößenverteilung, Feinanteil,
 Feuchteverteilung

=



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 10



4-4 Grenzwerte für naturbelassenes Holz (chemische Analyse)

Orientierungswerte für Holz (blau: mg/kg TS) und Holzaschen (grau: mg/kg OS) aus Kleinfeuerungen

As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Ti	Cl
2	20	2	20	20	10	200	10	k.A.
30	200	10	400	600	200	2000	500	4000

(As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Ti im Königswasseraufschluss, Cl im S4-Eluat)

Quelle: GRAS, B., CARSTENSEN, H.-W., CORNELISSEN, J., 2009: Brennstoffmissbrauch in Holzfeuerungen erkennen. Ein Erfahrungsbericht.

Grenzwerte in mg/kg wasserfrei für nichtindustriell energetisch verwendete Holz hackschnitzel

As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg	S	N	Cl
≤ 1	≤ 0,1	≤ 2,0	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 100	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,05

Quelle: FprEN 15234-4:2010 (D) Spezifikation von Holz hackschnitzeln für nichtindustrielle Verwendung (Entwurf)

Grenzwerte für Hackschnitzel und Holzspäne zur Herstellung von Holzwerkstoffen (mg/kg TS)

As	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Fl	PCP	PCB	Cl
2	30	2	30	20	0,4	100	3	3	600

Quelle: AitholzV Anhang II (zu § 3 Abs. 1)

KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brenntechnik IBT-Krämer. Folie 12

5-1 Warum technisch trocknen?

- Trocknen (und Sieben) sind Teil der Homogenisierung von Brennstoffen
- Erhöhung des Wirkungsgrades der Feuerung
- bessere Holzgaserzeugung
- effizientere Verbrennung
- Reduzierung von Emissionen
- längere technische Nutzungsdauer der Feuerungsanlage
- dauerhafte und Platz sparendere Lagerung von Holzhackgut
- förder- und transportfähiger
- geringere Störanfälligkeit der Feuerungsanlage
- weniger Schlackebildung
- Erhöhung des Heizwertes durch Nutzung überschüssiger Wärme
- Erhöhung der Rohstoffausbeute durch Trocknung
- insgesamt wirtschaftlichere Betriebsweise



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 13



5-2 Problem

- Holzhackgut im Zuge der Ernte oder Durchforstung wird aus logistischen Gründen in Großheiz(kraft)werken verbrannt. Durch kurze Wege dieser inhomogenen Holzsortimente in dafür grundsätzlich geeignete Anlagentechnik und ggf. Stromerzeugung entsteht ein Eindruck von Sinnhaftigkeit.
- Verbreitetes Trocknungsverfahren und gängige Praxis sind das Übertrocknen von Holzhackgut mit der Abwärme aus der Motorkühlung von Biogas-BHKWs in Abrollcontainern sowie die Lager- oder Mietentrocknung unter Vlies.
- bislang marktgängige Trocknungsanlagen für Holzhackgut sind großtechnische Anlagen, oder technologisch primitive Trocknungsanlagen mit subventionierten hohem Energieverbrauch an Biogasanlagen.
- Professionelle Kleinanlagen zur Homogenisierung (Hacken, Trocknen, Sieben) von regionalem Holzhackgut befinden sich erst in der Entwicklung.
- Leistungsdaten, Betriebskosten und Wirtschaftlichkeit von Trocknern werden gar nicht oder nicht standardisiert bzw. nicht vergleichbar ausgewiesen.
- Qualitätsangaben zu Holzhackgut werden häufig behauptet. Das Wissen über (europäischen und österreichische) Normen, Prüfmethode und Prüfgeräte, sind nicht selbstverständlich vorhanden.



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 14



6-1 Parameter zur Prüfung von Trocknern

- Heizleistung
- Zulufttemperatur
- Ablufttemperatur
- Luftvolumenstrom
- Anfangsholzfeuchte u_A / Anfangswassergehalt w_A
- Endholzfeuchte u_E / Endwassergehalt w_E
- Referenz-Rohholzsortiment (Holzart, Holzqualität, Rohdichte, Rindenanteil)
- Partikelgrößenverteilung (Feinanteil, Inhomogenität)
- Wärmeenergie kWh_{th} /Liter Wasserverdunstung
- Elektrische Energie kWh_{el} /Liter Wasserverdunstung
- Trocknungsleistung in m^3 oder kg feuchtes max. gequollenes Holzhackgut
- Energieverbrauch in kWh /Liter Wasserverdunstung
- Wirtschaftlichkeit in €/ m^3 oder €/kg feuchtes max. gequollenes Holzhackgut

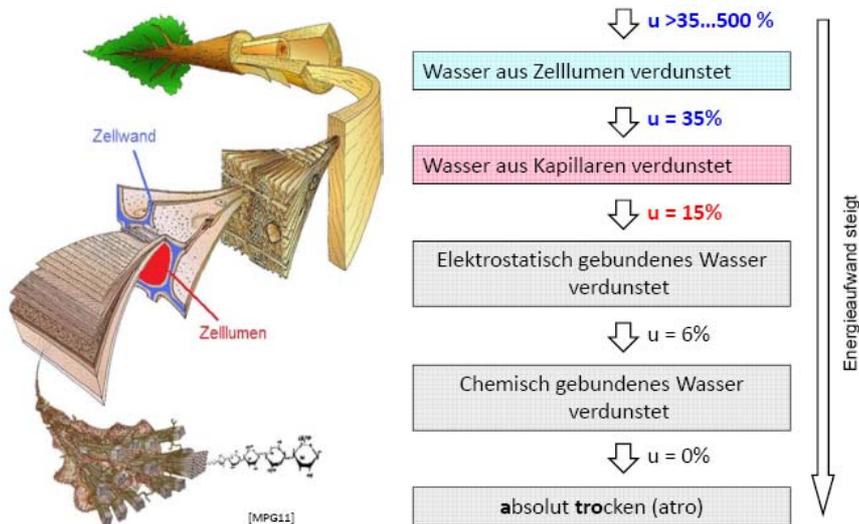


KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 15



6-2 Trocknungsvorgänge im Holz

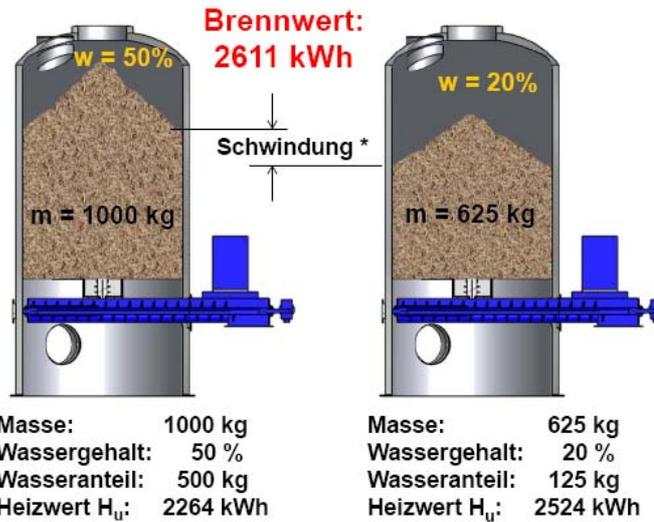


KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 16



6-3 Bezugsgröße Anfangsfeuchte oder Endfeuchte?



* Holzschwindmaß und Setzmaß durch Trocknung unterhalb Fasersättigungsbereich

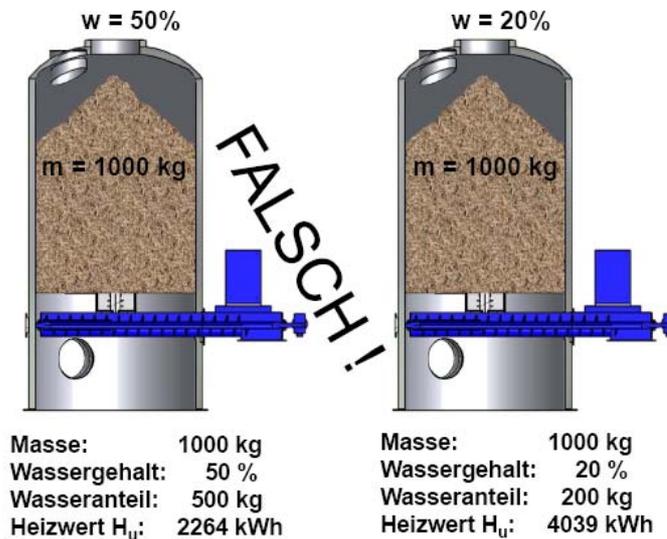


KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 17



6-4 Vergleich von „brutto und netto“

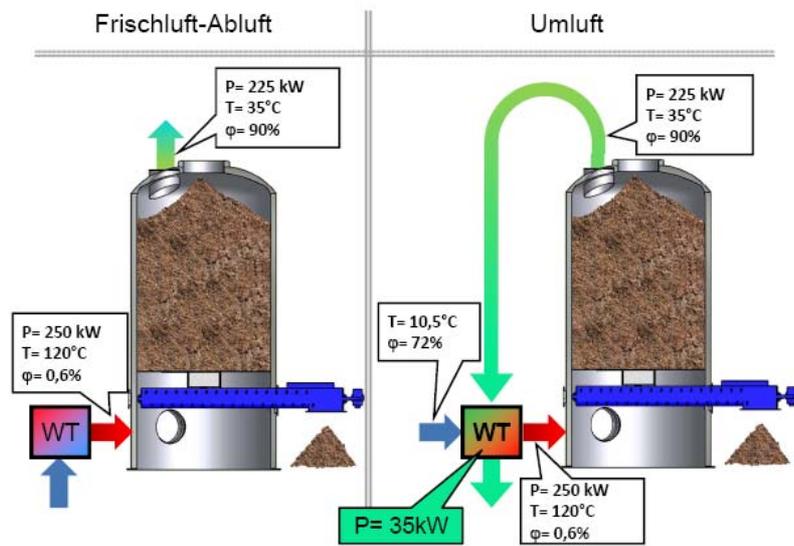


KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 18

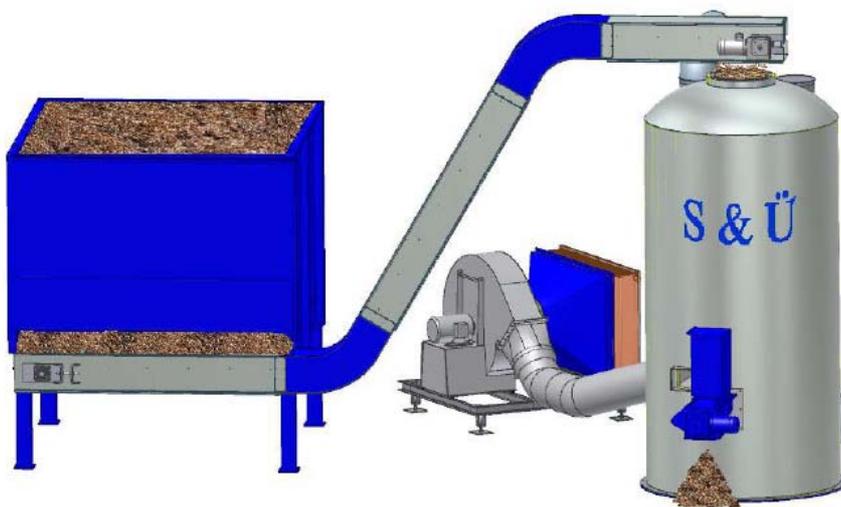


6-5 gesättigte Frisch-/ Abluft oder Umluft?



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 19

7-1 Homogentrockner, Schubbodencontainer, Förderer



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 20

7-2 Homogentrockner



Luftführung:

- Heissluftspeisung unten
- Horizontale Luftführung in Haupttrocknungszone
- Vorwärmung des darüber liegenden Materials
- Luftabführung in vertikalem Mittelrohr

Gutförderung:

- HGT arbeitet im Durchlauf
- Eintrag über Kratzkettenförderer oben
- Austrag über Drehkreuz und Schnecke unten

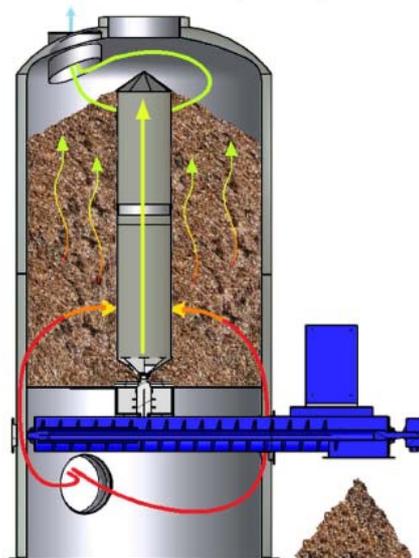


KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 21



7-3 Funktionsprinzip



- Füllstand geregelte Beschickung
- zeit-/ klima-/ feuchtegeführte Austragung
- definierte Luftführung (Zu-/ Abluft)
- definierte Trocken- und Vorwärmezone
- Trocknung auf gewünschte Endfeuchten
- Trocknung unterschiedl. Anfangsfeuchten
- gleichmäßige Trocknung
- kontinuierliche / Intervalltrocknung
- energieeffizient
- staubarm
- individuelle Wirtschaftlichkeitsberechnung
- Trocknung von Holzhackgut + Sägemehl
- standardisierte modulare Kleinanlage
- Siebmaschine nach Austragung integrierbar



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 22



8-1 Versuchsdurchführung



Messstellen:

- Außenluft
- Zuluft
- Abluft
- Wärmeenergie (Ölverbrauch)
- elektr. Energie (Stromzähler)

Prozessführungsvarianten:

▪ Temperatur [C°]	70	95	120
▪ Trockendauer [min]	60	60	60
▪ Durchsatz [m³/h] von w40→w17	1,13	1,48	1,96
▪ Spezifische Arbeit [kWh _{th} /kg] H ₂ O ↑	1,53	1,31	1,15

Referenz-Trocknungsgut:

- Sägereistholz-Hackschnitzel, Fichte
- Waldholz-Hackgut, Laub-/ Nadelholz

KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 23

8-2 Prüfwerkzeuge (Beispiele)



Schüttdichte BD [kg/m³]

- Messeimer 55,2 l
- Hängewaage bis 50kg
- Aufhängung

Partikelgröße P [mm]

- Handsieb
- Maschensieb 40mm
- Lochsieb 8mm
- Lochsieb 3mm
- Sack
- Waage

Wassergehalt M [%]

- Darrofen
- Temperaturmessgerät
- Waage

KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 24

8-3 Sortimente mittels Handsieb 40mm > P > 3mm



Waldhackgut
ungesiebt

Überkorn
Maschenweite
P > 40mm

Zielgröße1
Siebmaße
40mm ≥ P > 8mm

Zielgröße2
Siebmaße
8mm ≥ P > 3mm

Feinanteil
Siebmaße
P ≤ 3mm

Waldhackgut $w_A = 36,3$ % Anfangsfeuchte (Wassergehalt)

Handsieb D = 450 mm

Maschensieb D = 40 mm

Lochsieb D = 8 mm

Lochsieb D = 3 mm



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 25



8-5 Trocknungsdurchsatz ~ Temperatur, Heizleistung

Trocknungsdurchsatz HGT [kg/h] _{WHS}

→ Trocknung von G30 Waldhackschnitzeln: w40 auf w17

→ Die Angaben beziehen sich auf den ausgeförderten Massenstrom

Luftvolumenstrom kleiner/gleich 10.000 m³ pro Stunde
 Luftvolumenstrom größer 10.000 m³ pro Stunde

	70°C	75°C	80°C	85°C	90°C	95°C	100°C	105°C	110°C	115°C	120°C	125°C	130°C	135°C
60 kW	150	155	161	166	171	176	180	183	186	188	188	189	188	187
80 kW	199	207	214	222	228	234	240	244	248	250	252	252	251	249
100 kW	249	259	268	277	285	293	299	305	310	313	314	315	314	311
120 kW	299	311	322	332	342	351	359	366	371	375	377	378	377	374
140 kW	349	362	375	388	399	410	419	427	433	438	440	441	439	436
160 kW	399	414	429	443	456	469	479	488	495	500	503	504	502	498
180 kW	449	466	483	499	513	527	539	549	557	563	566	567	565	560
200 kW	498	518	536	554	571	586	599	610	619	625	629	630	628	623
220 kW	548	569	590	609	628	644	659	671	681	688	692	693	690	685
240 kW	598	621	643	665	685	703	719	732	743	751	755	756	753	747
260 kW	648	673	697	720	742	761	779	793	805	813	818	819	816	809
280 kW	698	725	751	775	799	820	839	854	867	876	881	882	879	872
300 kW	748	776	804	831	856	878	898	915	929	938	943	945	941	934
320 kW	797	828	858	886	913	937	958	976	991	1001	1006	1008	1004	996
340 kW	847	880	911	942	970	996	1018	1037	1053	1063	1069	1071	1067	1058
360 kW	897	932	965	997	1027	1054	1078	1098	1114	1126	1132	1133	1130	1121



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 26



9-1 Beispielrechnung Biomassehof N.N.

Daten	Wert	Quelle
Jährlicher Trocknungs-massenstrom (ausgefördert) [t/a]	14850	Kunde d. Fa. S&Ü
Anfangsfeuchte u [%]	40	Kunde d. Fa. S&Ü
Endfeuchte u [%]	20	Kunde d. Fa. S&Ü
Heizleistung [kW]	270	Kunde d. Fa. S&Ü
Temperaturniveau [°C]	120	Kunde d. Fa. S&Ü
Hackschnitzelpreis _{u40} [€/t]	116,4	Kunde d. Fa. S&Ü
Hackschnitzelpreis _{u20} [€/t]	147,5	Kunde d. Fa. S&Ü
Kalkulationszinsfuß _{Haben} [%]	3	Volksbank Ostlippe eG
Kalkulationszinsfuß _{Soll} [%]	5	Volksbank Ostlippe eG
Stromkosten [ct/kWh]	18,9	Vattenfall (100MWh/a)
Investitionskosten [€]	123.300	S&Ü



KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 27



9-2 Investitionskosten

Es wird davon ausgegangen, dass kein nutzbarer Restwert nach Ablauf der Abschreibungszeit zur Verfügung steht, da der verbleibende Wert für die Demontage und Entsorgung der Anlage aufgebracht werden muss.

Abschreibungszeit [a]	10
Betriebsstunden [h/a]	7500
Kalkulationszinsfuß [%]	5
Kalkulationszinsfuß _{Haben} [%]	3
Kalkulationszinsfuß _{Soll} [%]	5

Investitionskosten

Homogentrockner	49.850,00 €
Schubbodencontainer	35.800,00 €
Kratzkettenförderer	18.500,00 €
Trocknungseinheit	9.350,00 €
Elektroanlage	9.800,00 €
	123.300,00 €



KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 28



9-3 Reparaturkosten und Lohnkosten

Reparaturkosten

Homogentrockner [€/a]	200
Schubbodencontainer [€/a]	600
Kratzkettenförderer [€/a]	900
Trocknungseinheit [€/a]	200
Elektroanlage [€/a]	100
Reparaturkosten [€/a]	2000,00

Lohnkosten

Volumen_Schubbodencontainer [m ³]		50		
Arbeitsstunden pro Befüllung [h]		1		
Stundenlohn [€]		20		
Schüttdichte_Hackschnitzel _{w-FSA} [kg/m ³]		275		
Wasserverdunstung [kg/h]	139,05	232,25	321,27	

	Temperatur 70°C	Temperatur 95°C	Temperatur 120°C
Wasserverdunstung_erf. [kg/t _e]	139,59	139,59	139,59
Durchsatz [t _e /h]	1,00	1,66	2,30
Einfördervolumenstrom _{HS} [m ³ /h]	3,62	6,05	8,37
Intervalle [1/d]	1,74	2,90	4,02
Arbeitszeit [h/a]	543,4	907,5	1255,4
Lohnkosten [€/a]	10867,03	18150,10	25107,12



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 29



9-4 Stromkosten

Stromkosten

Stromkosten [€/kWh] [Vat11]	0,189	Schwundung	
Stromgrundgebühr [€/m] [Vat11]	6,3		
Schüttdichte_Hackschnitzel _{w-FSA} [kg/m ³]	275	β _{longitudinal}	0,3
Ausfordern nach [m ³]	1	β _{radial}	3,7
Lüfter [kW]	7,7	β _{tangential}	8,5
Ein-/Ausförderintervall [kWh]	1,2	υ _{FSA} [%]	32

	Temperatur 70°C	Temperatur 95°C	Temperatur 120°C
Schwundung _{max} [%]	12,15	12,15	12,15
Schwundung [%]	4,4	4,4	4,4

Stromkosten

	Temperatur 70°C	Temperatur 95°C	Temperatur 120°C
Lüfter [kWh/a]	57750	57750	57750
Einfördervolumenstrom _{HS} [m ³ /h]	3,62	6,05	8,37
Ausfordervolumenstrom [m ³ /h]	3,46	5,78	8,00
Intervall [1/h]	3,5	5,8	8,0
Ein-/Ausförderung [kW]	4,15	6,94	9,60
Ein-/Ausförderung [kWh/a]	31157,44	52039,10	71985,94
Stromkosten _{Lüfter} [€/a]	10.990,35	10.990,35	10.990,35
StromkostenEin-/Ausförderung [€/a]	5.964,36	9.910,99	13.680,94
Stromkosten [€/a]	16.954,71	20.901,34	24.671,29



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer. Folie 30



9-6 Erlöse

Erlös			
Wassergehalt _t [%]	28,5		
Holzfeuchte _t [%]	40		
Wassergehalt _a [%]	16,9		
Holzfeuchte _a [%]	20		
Verkaufspreis _{u40} [€/t]	116,4		
Verkaufspreis _{u20} [€/t]	147,5		
Wasserverdunstung [kg/h]	139,05	232,25	321,27
	Temperatur_70°C	Temperatur_95°C	Temperatur_120°C
Erlös [€/t _E]	31,1	31,1	31,1
Wasserverdunstung_erf. [kg/t _E]	139,59	139,59	139,59
Durchsatz [t _E /h]	1,00	1,66	2,30
Kosten [€/h]	115,95	193,66	267,89
Durchsatz [t _A /h]	0,86	1,43	1,98
Erlös [€/h]	126,42	211,15	292,08
Gewinn [€/h]	10,47	17,49	24,19
Erlös [€/a]	78.523,72	131.150,17	181.420,67



KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 32



9-7 Vollständiger Finanzplan für u40 ⇒ u20 bei 120°C Zulufttemperatur

Vollständiger Finanzplan 120°C								
Jahr	Anfangsbestand	Zinsen	Reparaturkosten	Lohnkosten	Stromkosten	Heizkosten	Erlös	Endbestand
1	-123.300,00 €	-6.165,00 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	-20.295,94 €
2	-20.295,94 €	-1.014,80 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	87.858,32 €
3	87.858,32 €	2.635,75 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	199.663,12 €
4	199.663,12 €	5.989,89 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	314.822,07 €
5	314.822,07 €	9.444,66 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	433.435,79 €
6	433.435,79 €	13.003,07 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	555.607,92 €
7	555.607,92 €	16.668,24 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	681.445,22 €
8	681.445,22 €	20.443,36 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	811.057,63 €
9	811.057,63 €	24.331,73 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	944.558,42 €
10	944.558,42 €	28.336,75 €	-2.000,00 €	-25.107,12 €	-24.671,29 €	-20.473,20 €	181.420,67 €	1.082.064,23 €
Endwert								1.082.064,23 €

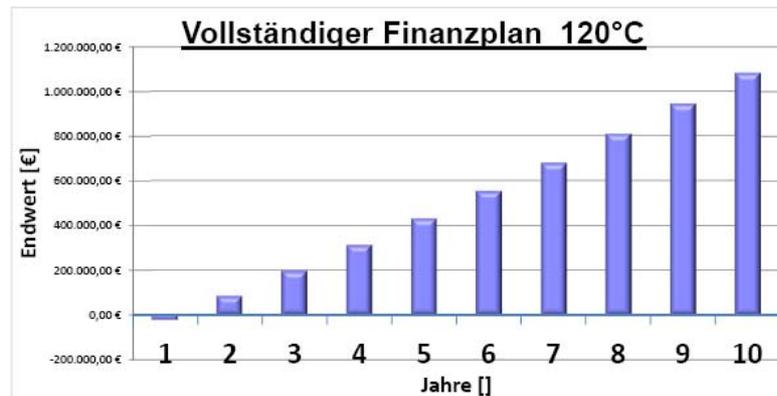


KRAMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 33



9-8 Finanzplan für u40 \Rightarrow u20 bei 120°C Zulufttemperatur

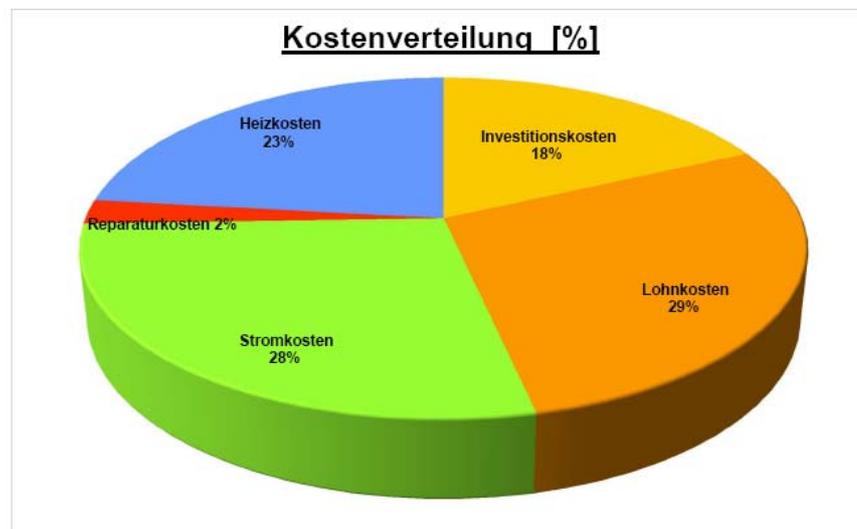


KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 34



9-9 Vergleich Investitionskosten - Betriebskosten



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 35



10 Ausblick

1. Es fehlen Standards zur Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Trocknern. Folgende Faktoren müssen festgelegt werden:
 - Referenz-Rohholzsortimente: Holzart, Rohdichte, Schüttdichte
 - Anfangs-/ Endfeuchte
 - Durchsatz: Input oder Output
 - Zuluftklima, Heizleistung, Luftvolumenstrom, Gegendruck
 - Wärme-/ elektrischer Energieverbrauch pro kg Wasserverdunstung
 - Messung und statistische Auswertung der Endfeuchte
 - Wirtschaftlichkeitsrechnung je m³ Input
2. Hackschnitzel können nur mit gegebener Wärmeenergie $\leq 70^{\circ}\text{C}$ oder bei $> 100^{\circ}\text{C}$ wirtschaftlich getrocknet werden.
3. Energieverbrauch ist mit ca. 50% entscheidender Faktor bei der Trocknung.



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 36



Diese Informationsveranstaltung wurde unterstützt durch

- **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)**
aufgrund eines **Beschlusses des Deutschen Bundestages**
- **Europäische Union (EFRE)** und **Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (HMWVL)**
- **S & Ü Hydraulik und Maschinenbau GmbH**
- **Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Maschinenbau**
- **Ing.-Büro Holztechnik Karl Ernst Heise**
- **Holzfachschule Bad Wildungen, Fachbereich Technologietransfer**
- **Institut für Brennholztechnik IBT- Krämer, Bad Wildungen**



KRÄMER, G., MEIER, M., 2012: Erfassung und Bewertung von Leistungsdaten, Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Hackschnitzeltrocknern am Beispiel Homogentrockner. Holzfachschule Bad Wildungen / Institut für Brennholztechnik IBT-Krämer.

Folie 37



Emissionsbegrenzungen bei der Erzeugung von Elektroenergie aus Holz

(Anja Nowack, Umweltbundesamt Dessau)

Im kleinen Leistungsbereich (bis 5 MW Feuerungswärmeleistung) sind zur Stromerzeugung aus Holz folgende Techniken relevant:

- Holzvergaseranlagen mit Verbrennungsmotoren,
- Holzfeuerungsanlagen mit ORC,
- Holzfeuerungsanlagen mit Stirlingmotoren.

1 Holzvergaser-BHKW mit Verbrennungsmotoren

Holzvergaser-BHKW benötigen eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung ab 1 MW Energiegehalt des Holzgases (4. BImSchV Nr. 1.13). Anforderungen an die Emissionen werden im Genehmigungsbescheid festgelegt; dabei gelten die Grenzwerte der TA Luft Nr. 5.4.1.4 als Anhaltspunkt.

Holzgas wird je nach Bundesland und Genehmigungsbehörde als Biogas oder als „gasförmiger Brennstoff, ausgenommen Biogas, Klärgas oder Grubengas“ eingestuft. Die meisten Genehmigungsbescheide enthalten Grenzwerte in Anlehnung an die Anforderungen für Biogas.

Je nach Einstufung gelten unterschiedliche Emissionsgrenzwerte.

	Einstufung als Biogas	Einstufung als „nicht-Biogas“
CO	0,65 g/m ³	0,3 g/m ³
NO _x	0,5 g/m ³ 1 g/m ³ (Zündstrahlmotoren <3	0,25 g/m ³ (Lambda-1-Motoren) 0,5 g/m ³ (Magermotoren)

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte für Holzgas-Verbrennungsmotoranlagen (bei 5 % O₂-Gehalt im Abgas)

Zusätzlich sind weitere Grenzwerte der TA Luft für Verbrennungsmotoren einzuhalten. Dazu gehören ein Formaldehyd-Grenzwert in Höhe von 60 mg/m³ und ein Staub-Grenzwert in Höhe von 20 mg/m³ (ebenfalls bei 5 % O₂).

Darüber hinaus gelten die allgemeinen Grenzwerte nach Nr. 5.2 der TA Luft. Für Holzgas-Motor-BHKW relevant sind der Grenzwert für Benzol in Höhe von 1 mg/m³ und der Grenzwert für Benzo(a)pyren in Höhe von 0,05 mg/m³.

Anlagen mit einem Energiegehalt des Holzgases unter 1 MW sind immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftig. Für diese Anlagen gilt § 22 BImSchG, welcher besagt:

„Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass

1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind,
2. nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.“

Die Belange des Immissionsschutzes sind für diese Anlagen im Rahmen der Baugenehmigung zu berücksichtigen; bundeseinheitliche Emissionsgrenzwerte sind nicht vorhanden. Eine VDI-Richtlinie zum Stand der Technik bei der Emissionsminderung ist in Vorbereitung.

Inwieweit Emissionsgrenzwerte der TA Luft in der Praxis – auch von nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen - eingehalten werden, sollte ein Forschungsprojekt der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Umweltbundesamts untersuchen. Dazu wertete die Firma Emissionsmessungen an 18 Holzgas-Verbrennungsmotoranlagen aus. Die Anlagen wurden nach der Gasreinigung und nach der Motorart aufgeteilt, um eventuelle Vor- und Nachteile bestimmter Techniken zu ermitteln. Es handelte sich fast ausschließlich um Gleichstromvergaser.

Ein Ergebnis des Forschungsprojekts war, dass sich die Emissionswerte im Hinblick auf Gasreinigung und Motorart kaum unterschieden. Betreibern – auch nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen - gelang es, die Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Ausnahme war der Grenzwert für Benzol, welchen keine der untersuchten Anlagen einhielt. Immerhin lag die Emission bei 44 % der Anlagen unter 5 mg/m^3 ; jedoch lag der Höchstwert bei 34 mg/m^3 ; sogar eine Anlage mit Katalysator erreichte 25 mg/m^3 .

Im Hinblick auf Kohlenmonoxid hielten zwei Drittel der Motoren den Grenzwert von 650 mg/m^3 ein. Dabei handelte es sich ausschließlich um Anlagen mit Katalysator. Bei dem restlichen Drittel handelte es sich um Zündstrahlmotoren, für die höhere Grenzwerte gelten. 28 % der Anlagen hielten den Grenzwert für „nicht-Biogas“ in Höhe von 300 mg/m^3 ein. Lediglich drei Anlagen hielten gleichzeitig auch den NO_x -Grenzwert für „nicht-Biogas“ ein.

Bei Formaldehyd lagen alle Anlagen unter 20 mg/m^3 , etwa die Hälfte der Anlagen sogar unter 10 mg/m^3 . Die Staub-Messwerte lagen bei allen Anlagen unter 12 mg/m^3 , bei 77 % der Anlagen sogar unter 5 mg/m^3 . Für Benzo(a)pyren lagen alle Messwerte weit unter dem Grenzwert.

Zur Lösung des Benzol-Problems wurde inzwischen eine Anlage mit einem speziell angepassten Katalysator ausgestattet. Der Katalysator wurde speziell auf Benzol ausgelegt und größer dimensioniert als bisher üblich. Bei einer Messung mit frischem Katalysator wurden folgende Emissionsmesswerte erzielt:

Parameter	Messwert in mg/m^3
CO	< 2
NO_x	458
Formaldehyd	0,07
Benzol	0,11
Benzo(a)pyren	< 0,02

Tabelle 2: Emissionsmesswerte für eine Anlage mit speziell ausgelegtem Katalysator (bezogen auf 5 % O_2)

Auffallend ist, dass auch für CO und Formaldehyd sehr niedrige Werte festgestellt wurden. Noch unbekannt ist die Standzeit des Katalysators, d. h. wie lange er Emissionsgrenzwerte einhält.

2 Holzfeuerungsanlagen-Heizkraftwerke

Holzfeuerungsanlagen-Heizkraftwerke sind ab 1 MW Feuerungswärmeleistung (FWL) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig (4. BImSchV Nr. 1.2). Auch für diese Anlagen werden Anforderungen im Genehmigungsbescheid festgelegt, wobei die TA Luft als Anhaltspunkt gilt. Die entsprechenden Emissionsgrenzwerte befinden sich unter Nr. 5.4.1.2.1 der TA Luft und beziehen sich auf 11 % O₂.

Parameter	Grenzwert	
	FWL <2,5 MW	2,5 MW ≤ FWL <5 MW
Staub	100	50
NO_x	250	
CO	150	
Gesamt-C	10	

Tabelle 3: Emissionsgrenzwerte der TA Luft für Holzfeuerungsanlagen in mg/m³ bei 11 % O₂

Zur Stromerzeugung wird in dieser Anlagenklasse vorwiegend die ORC eingesetzt.

Für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (unter 1 MW FWL) gelten die Grenzwerte der 1. BImSchV. Sie beziehen sich auf 13 % O₂. Beispielhaft sind die Grenzwerte für eine Hackschnitzelfeuerung angeführt:

	Grenzwert		
	Stufe 1		Stufe 2
FWL	4 kW ≤ FWL < 500 kW	ab 500 kW	
Staub	60		20
CO	1000	500	400

Tabelle 4: Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV für Hackschnitzelfeuerungen in mg/m³ bei 13 % O₂

Die Stufe 2 gilt für Anlagen, welche ab 2015 in Betrieb genommen werden.

Typische Anlagen, für die die Grenzwerte der 1. BImSchV gelten, sind kleine Stromerzeuger mit Stirlingmotoren unter 10 kW_{el} in Haushalten, aber auch Heizkraftwerke mit ORC mit einer Leistung von mehreren 100 kW.

Beim Vergleich der Staub-Grenzwerte der TA Luft und der 1. BImSchV fällt auf, dass die Grenzwerte der 1. BImSchV anspruchsvoller sind. Die Grenzwerte der TA Luft entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik und sollen bei der nächsten Novelle der TA Luft nachgebessert werden.

Eine Anlage mit besonders niedrigen Staub-Emissionen ist das Heizkraftwerk Günzburg. Mit einer Kesselleistung von 900 kW fällt es noch unter die 1. BImSchV. Brennstoffe sind Waldhackschnitzel und Sägerestholz. Mit Hilfe eines PTFE-Schlauchfilters gelingt es dem Betreiber, die Staub-Emissionen unter 10 mg/m³ (bei

13 % O₂) zu halten. Bei einer Nachmessung nach drei Jahren Betriebszeit wurde dieser Wert immer noch eingehalten.

3 Emissionsvergleich

Zum Vergleich der Emissionen aus Holzvergaser-BHKW und Holzfeuerungs-HKW werden zuerst die Grenzwerte der TA Luft herangezogen. Auf Grund der gängigen Genehmigungspraxis werden für Holzgas-BHKW die „Biogas-Grenzwerte“ gewählt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Grenzwerte für Holzfeuerungs-HKW auf 5 % O₂ umgerechnet.

Parameter	Holzvergaser (analog zu Biogas)	Holzfeuerung
CO	650	240
NO _x	500	400
Staub	20	160/80

Tabelle 5: Vergleich der Emissionsgrenzwerte der TA Luft für Holzgas-Motoranlagen und Holzfeuerungsanlagen in mg/m³ bei 5 % O₂

Beim Kohlenmonoxid weist die Feuerungsanlage deutliche Vorteile auf. Der Grund hierfür ist in den unterschiedlichen Entstehungsmechanismen zu finden. Da CO wesentlicher Bestandteil des Holzgases ist, entstehen Emissionen aus dem Motorschlupf. Bei der Feuerungsanlage entsteht Kohlenmonoxid hingegen aus unvollständiger Verbrennung.

Die NO_x-Emissionen sind bei beiden Varianten vergleichbar und stammen zu einem großen Teil aus dem Brennstoff. Stark stickstoffhaltige Brennstoffe führen zu höheren NO_x-Emissionen.

Staub-Emissionen entstehen bei Holzgas-BHKW in geringerem Maße, da Staub bereits vor dem Motor aus dem Holzgas abgeschieden wird.

Wie die Emissionswerte der angeführten vorbildhaften Anlagen zeigen, sind die Staub- und CO-Emissionen jedoch bei sehr guter Abgasreinigung weitgehend angleichbar.

Für Benzol, Benzo(a)pyren und Formaldehyd reichen die vorliegenden Daten nicht aus, um einen Vergleich der beiden Techniken durchzuführen.

Minderung der Treibhausgasemissionen durch Stromerzeugung mittels Biomassevergasung: Potenziale und Kosten

(Tim Schulzke, Fraunhofer UMSICHT Oberhausen)

Tim Schulzke
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Geschäftsfeld Energieträger und Wertstoffe
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
Tel.: 0208 / 8598 – 1155
Fax: 0208 / 8598 – 221155
E-Mail: tim.schulzke@umsicht.fraunhofer.de

1 Einleitung

In ihrer Richtlinie 2009/28/EC (EC RED) hat die Europäische Kommission einen verbindlichen Anteil für Energie aus erneuerbaren Ressourcen von 20 % am Gesamtenergieverbrauch der Gemeinschaft für das Jahr 2020 festgelegt [1]. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen mussten die Mitgliedsstaaten Nationale Erneuerbare Energien Aktionspläne (NREAP) entwickeln und der Europäischen Kommission übermitteln. Werden die nationalen Ziele für den Stromsektor aufaddiert, ergibt sich für 2020 ein zu erreichender Anteil von 37 % erneuerbare Energien am Gesamtstromverbrauch [2]. Für das Jahr 2009 weist die Statistik von eurostat [3] einen Anteil von 18,2 % für den Stromverbrauch innerhalb der EU27 auf, so dass in den nächsten 10 Jahren erhebliche zusätzliche Produktionskapazitäten im Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien installiert werden müssen.

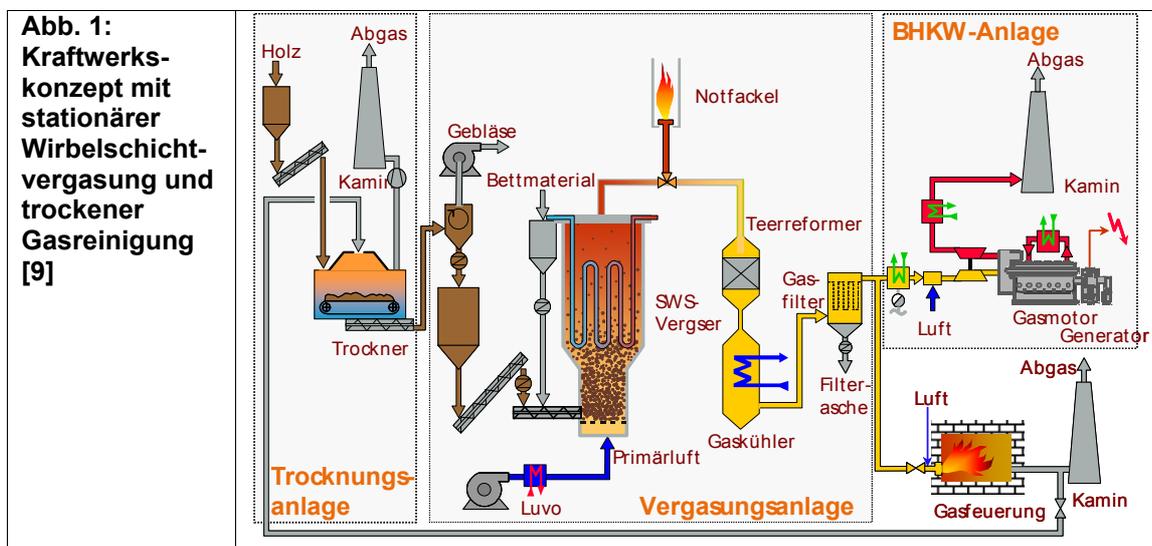
Neben Wind- und Solarstrom wird die nachhaltige energetische Biomassenutzung eine zunehmend wichtige Rolle bei der Erreichung des 2020-Ziels einnehmen. Aus diesem Grund hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) das Förderprogramm „Forschung und Entwicklung (FuE) zur Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ aufgelegt [4]. Ein Ziel dieses Förderprogramms ist es, verlässliche und vergleichbare Daten über das Treibhausgasminderungspotenzial und Kosten der Treibhausgasminderung für verschiedene Technologien zur energetischen Nutzung von Biomasse zu erhalten als solide Grundlage für zukünftige, politische Entscheidungen bei der Weiterentwicklung des (deutschen) Nationalen Erneuerbaren Energien Aktionsplans. Deshalb müssen alle im Rahmen des Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ geförderten Projekte das Treibhausgasminderungspotenzial und die Kosten der Treibhausgasminderung für die jeweilige Technologie unter Anwendung derselben Methoden bestimmen [4,5].

Das Förderprogramm umfasst 7 verschiedene Themengebiete, von denen eines die Entwicklung und Demonstration von Biomassevergasungstechnologien zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ist. Da Fraunhofer UMSICHT eine solche Technologie seit 1994 entwickelt, ist dieses Förderprogramm eine ideale Gelegenheit, das Kraftwerkskonzept hinsichtlich seiner Klimawirkungen zu evaluieren.

2 Konzept eines Vergasungskraftwerks mit stationärer Wirbelschicht

Ausgehend von einer umfassenden Recherche zu verschiedenen Vergasungstechnologien für holzartige Biomasse begann Fraunhofer UMSICHT 1994 seine Prozessentwicklung mit der grundlegenden Entscheidung, einen Wirbelschichtreaktor als Kernkomponente einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage einzusetzen, da zu jener Zeit die meisten der existierenden Systeme mit Festbett-Vergasern erhebliche Probleme bei der Gasqualität und der Gasreinigung aufwiesen; viele dieser veröffentlichten Schwierigkeiten behindern teilweise bis heute den Markteintritt in größerem Umfang [6]. Schwerpunkt der Entwicklung war ein der zirkulierenden Wirbelschicht direkt nachgeschalteter, trockener Gasreinigungsprozess in einer hochgradig mit Staub (Abrieb vom Bettmaterial, Asche und Restkoks) belasteten Atmosphäre zur katalytischen Reformierung der in Wirbelschichten unvermeidbaren Teere unter vollständigem Verzicht auf Quenchen oder Wäscher [7,8]. Dadurch kann die in den Teeren chemisch gebundene Energie, die bis zu 5 % des Heizwerts betragen kann, im Synthesegas erhalten bleiben und am Ende des Prozesses im Gasmotor genutzt werden.

Obwohl die Versuchsanlage am Institut -vollständig ausgestattet vom Holz Trockner bis zum Stromgenerator- gute Betriebsergebnisse zeigte, war das Kraftwerkskonzept mit einer zirkulierenden Wirbelschicht zu teuer, um einen Investor für eine Demonstrationsanlage zu finden. Deshalb wurde das ursprüngliche Konzept überarbeitet, um die Schwelle für den Markteintritt zu senken durch Reduzierung der Anlagenkapazität, die zum wirtschaftlichen Betrieb erforderlich ist. Dieses Ziel wurde erreicht, indem die zirkulierende durch eine stationäre Wirbelschicht ersetzt wurde. Abbildung 1 zeigt das aktuelle Konzept für ein Biomasseheizkraftwerk auf der Basis einer stationären Wirbelschicht.



Das Gesamtkonzept für ein Biomasseheizkraftwerk kann folgendermaßen beschrieben werden: die holzartige Biomasse (gehackt oder pelletiert) wird nach ihrer Annahme mit Prozesswärme auf einen Wassergehalt unter 20 Gew.-% getrocknet. Anschließend wird der Brennstoff in einem Bunker gelagert und von dort in den stationären Wirbelschichtvergasern dosiert. Der Vergaser enthält Olivin als Bettmaterial und verwendet vorgewärmte Luft als Vergasungsmittel. Das Synthesegas verlässt die Wirbelschicht mit ungefähr 900 °C und einer Teerbelastung von ca. 2,5 g/Nm³. Grobe Partikel (Asche aus der Biomasse, nicht umgesetzter Kohlenstoff und Abrieb vom Bettmaterial) werden in einem Zyklon abgeschieden. Das heiße Synthesegas, das

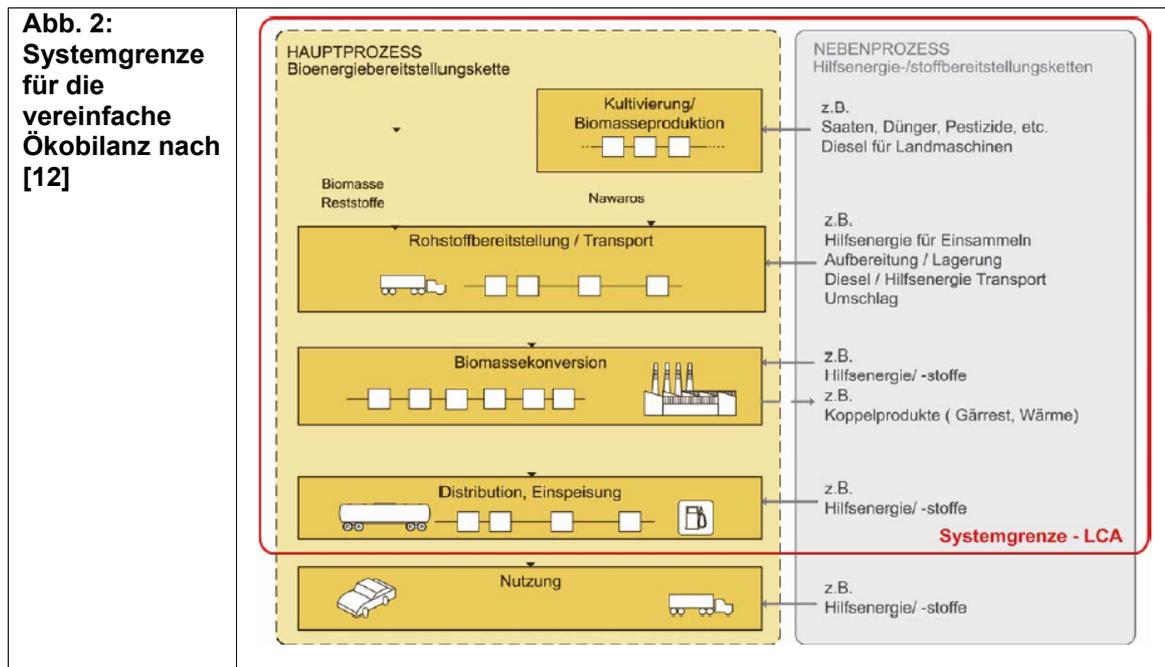
immer noch mit viel Feinstaub beladen ist, strömt danach in den katalytischen Dampf-Reformer, in dem die Teerbeladung auf einen Wert unter 75 mg/Nm^3 reduziert wird. Danach wird das Gas auf etwa $120 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt und anschließend in einem Standard-Schlauchfilter entstaubt. Der letzte Apparat im Strang der Gasreinigung ist ein weiterer Kühler, in dem das Synthesegas auf unter $40 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt wird. In diesem Kühler kondensiert einiges Wasser, wodurch der Wassergehalt des Synthesegases sinkt und damit einhergehend der Heizwert steigt. Schließlich wird das gereinigte Synthesegas einem Gasmotor zugeführt, um Strom und Wärme zu erzeugen, die beide in entsprechende Netze eingespeist werden. Weitere Details zu diesem Prozess und den Betriebsbedingungen sind in [10] veröffentlicht.

Dieses Gesamtkonzept ist seit August 2000 durch eine Patentanmeldung geschützt [11].

3 Treibhausgasemissionen

3.1 Bilanzierungsmethode

Die Ausführung einer vollständigen Ökobilanz (Life Cycle Analysis, LCA) nach ISO 14040 und 14044 ist eine aufwändige und anspruchsvolle Herausforderung. Um die Belastung für die einzelnen Projekte innerhalb des Förderprogramms zu begrenzen, wurde vereinbart, lediglich die Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffmonoxid) zu betrachten [12]. Die Erfassung der Treibhausgasemissionen (THG) ist dabei aber nicht auf die direkten Emissionen aus dem eigentlichen Kraftwerksprozess beschränkt, sondern soll alle Emissionen umfassen inklusive der Biomasseversorgung des Kraftwerks, angefangen von den Emissionen bei der Anpflanzung von Anbaubiomasse bzw. dem Einsammeln bei Biomassereststoffen. Da die Erfassung der Emissionen durch Verteilung und Nutzung der primären Produkte Strom und Wärme eine Vielzahl von Alternativen eröffnen würde, schließt die vereinfachte Ökobilanz am jeweiligen Einspeisepunkt ins öffentliche Stromnetz bzw. ein Fernwärmenetz. Die Systemgrenzen für die vereinfachte Ökobilanz sind in Abbildung 2 dargestellt.



Der methodische Ansatz, mit dem die THG-Emissionen innerhalb der angegebenen Bilanzgrenzen ermittelt wurden, ist in Anhang V der EC RED [1] für flüssige Biotreibstoffe beschrieben und für feste und gasförmige Biomassen in EC COM [13].

3.2 Brennstoffe und Annahmen

Für Vergasungskraftwerke basierend auf einem Wirbelschichtreaktor sind viele feste Biomassen als mögliche Brennstoffe beschrieben worden. Zur Ermittlung der THG-Emissionen von Kraftwerken nach dem Konzept von Fraunhofer UMSICHT mit unterschiedlichen Feuerungswärmeleistungen (FWL) wurde -soweit nicht anders angegeben- die nachfolgende, willkürliche Mischung verschiedener Brennstoff zu Grunde gelegt:

- 25 % Holzhackschnitzel (HHS) aus Waldrestholz,
- 20 % HHS aus Stammholz,
- 25 % HHS aus Kurzumtriebsplantagen,
- 10 % Strohpellets,
- 10 % Graspellets und
- 10 % Altholz (Kategorie I bis III).

Bei den HHS aus Waldrestholz werden nur die Emissionen beim Bergen und Hacken berücksichtigt. Die Emissionen, die durch Pflanzung, Bestandspflege und Ernte entstehen, werden bilanziell dem Stammholz zugerechnet, das z. Bsp. für ein Zellstoffwerk oder andere Holzverarbeitende Industriebetriebe eingeschlagen wurde.

Bei HHS aus Stammholz und aus Kurzumtriebsplantagen werden auch die letztgenannten Emissionsarten mit berücksichtigt, da es sich bei diesen Biomassen um die primären Produkte auf den forst- bzw. landwirtschaftlichen Flächen handelt.

Stroh ist wie Waldrestholz ein Nebenprodukt, so dass hier auch nur Emissionen beim Bergen und Pelletieren Berücksichtigung im Rahmen des Berechnungstools finden.

Für die Graspellets wird unterstellt, dass das Gras von extensiv bewirtschafteten, mehrjährigen Grasflächen geerntet wird, so dass keine Emissionen aus der Kultivierung entstehen, lediglich Ernte und Pelletierung sind zu berücksichtigen.

Altholz fällt als Abfall an, so dass alle früheren Emissionen bereits der ursprünglichen Nutzung zugeordnet werden können. Die Emissionen aus Sammlung und Zerkleinerung werden für die vereinfachte Ökobilanz berechnet.

Für alle betrachteten Brennstoffe werden die Emissionen, die ihr Transport zum Kraftwerk verursacht, in Abhängigkeit von der Kraftwerksleistung berechnet, da größere Kraftwerke ein größeres Einzugsgebiet haben und daher längere Transportwege mit höheren Emissionen nach sich ziehen. Auch während des eigentlichen Kraftwerksprozesses kommt es zu eigenen THG-Emissionen. Diese sind verbunden mit dem Brennstoffumschlag auf dem Kraftwerksgelände, dem Bedarf an Hilfsenergie für Pumpen, Gebläse, Transporteinrichtungen und weiteren Maschinen und der Entsorgung von verbrauchtem Bettmaterial und Asche. Die CO₂-Emissionen, die direkt aus der Verbrennung der Biomasse entstehen, werden als klimaneutral angesehen und daher in der Berechnung der Gesamtemissionen -wie in diesem Zusammenhang üblich- nicht berücksichtigt.

Vier verschiedene Kraftwerksgrößen wurden betrachtet: eine Pilotanlage mit 100 kW Brennstoffeintrag, eine Demonstrationsanlage mit 1 MW Brennstoffeintrag und zwei

Kraftwerke kommerzieller Größe mit 5 bzw. 10 MW Brennstoffeintrag. Die Umwandlungsgrade zu Strom (29 %) und Wärme (38 %) bezogen auf den an der Grundstücksgrenze angelieferten unteren Heizwert der Biomasse wurden für alle Kraftwerksleistungen gleichbleibend angenommen, wohingegen der Bedarf an elektrischer Hilfsenergie von der Pilotanlage zur kommerziellen Größenordnung abnimmt ((7 %, 5 %, 3 % und 3 % der erzeugten Strommenge).

3.3 THG-Emissionen und THG-Minderungspotenzial

Abweichend von den Bestimmungen in EC COM [13] werden die THG-Emissionen **nicht** den beiden Kraftwerksprodukten (Strom und Wärme) anteilig in Abhängigkeit von ihren Exergiegehalten zugeordnet, sondern vollständig dem Produkt mit der wesentlichen höheren Wertschöpfung -Strom- zugeordnet. Dieser Ansatz berücksichtigt die Tatsache, dass Kraftwerke der betrachteten Größenordnung üblicherweise die erzeugte Wärme nicht mit einem festen Anteil über die gesamte Anlagenlaufzeit (20 Jahre) verkaufen (können) und auch nicht wärmegeführt betrieben werden. Um anteilige Wärmenutzungen bzw. deren positiven Effekt auf das THG-Minderungspotenzial trotzdem zu berücksichtigen, werden für Wärmemengen, die einem Fernwärmenetz oder alternativen Nutzungen zugeführt werden, Gutschriften berechnet, die die Bilanz für den Strom, auf den wie beschrieben alle Emissionen bezogen werden, verbessern. Im Endeffekt führt dieses Vorgehen zu einer Bandbreite im THG-Minderungspotenzial für den erzeugten Strom von reiner Stromerzeugung - vergleichbar mit dem Kondensationsbetrieb klassischer Großkraftwerke- bis hin zu einer vollständigen Wärmenutzung im maximal möglichen KWK-Betrieb.

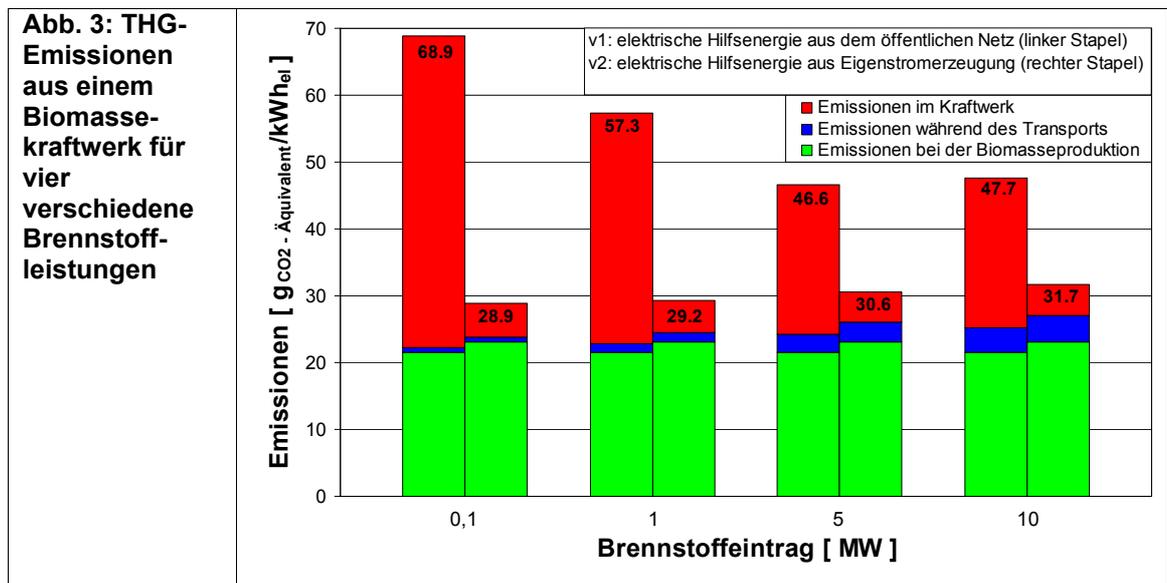


Abbildung 3 zeigt die spezifischen THG-Emissionen für Biomasse-Vergasungskraftwerke mit den oben erwähnten Brennstoffleistungen. Es sind zwei verschiedene Ansätze zur Deckung des elektrischen Eigenbedarfs dargestellt. Bei der Berechnung des jeweils linken Stapels wurde unterstellt, dass der elektrische Eigenbedarf aus dem öffentlichen deutschen Stromnetz entnommen wird, was durch die Regelungen des EEG, wonach die Klemmenleistung des Generators vergütet wird, favorisiert wird. Die Berechnung für den jeweils rechten Stapel basiert auf der Annahme, dass der elektrische Eigenbedarf des Kraftwerks aus der Eigenstromerzeugung aus Biomasse vor der Einspeisung ins Netz gedeckt wird, was in etwa den Regelungen des KWKG

entsprechen würde, wonach nur der wirklich physikalisch ins Netz eingespeiste Strom vergütet wird.

Die auf die Kilowattstunde **ingespeister** elektrischer Energie bezogenen spezifischen THG-Emissionen, die mit der Biomassebereitstellung verbunden sind, sind unabhängig von der Anlagengröße. Für den in Kapitel 3.2 beschriebenen Mischbrennstoff summieren sich die spezifischen Emissionen der Biomassebereitstellung für den Fall der Eigenbedarfsdeckung aus dem öffentlichen Netz zu 21,5 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el}, während für den Fall der Eigenbedarfsdeckung aus der Eigenstromerzeugung 23,1 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} entstehen. Obwohl die absoluten Emissionen für beide Fälle bei derselben Brennstoffleistung natürlich identisch sind, unterscheiden sich die spezifischen Emissionen, da sie auf leicht unterschiedliche, eingespeiste Strommengen—bedingt durch die unterschiedlichen Methoden der rechnerischen Eigenbedarfsdeckung—bezogen werden.

Die spezifischen THG-Emissionen für den Brennstofftransport zum Kraftwerk variieren von 0,7 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} bis 4 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el}. Dieser Anstieg der spezifischen Emissionen mit der Brennstoffleistung des Kraftwerks ist eine Konsequenz der längeren Transportwege. Und wie schon bei den mit der Biomassebereitstellung verbundenen Emissionen sind für jede Anlagengröße die spezifischen Emissionen für den Fall der Eigenbedarfsdeckung aus der Eigenstromerzeugung höher als für den Fall der Eigenbedarfsdeckung aus dem deutschen Stromnetz bedingt durch die etwas geringere Stromeinspeisung.

Innerhalb des Kraftwerksprozesses gibt es drei verschiedene Quellen für THG-Emissionen: Diesel für den Umschlag der Brennstoffe auf dem Kraftwerksgelände, die Entsorgung von Bettmaterial und Asche sowie Katalysatoren und je nach Betrachtung Strombezug aus dem öffentliche Netz zur Deckung des Eigenbedarfs. Die Emissionen, die mit dem Brennstoffumschlag und der Feststoffentsorgung verbunden sind, sind im Wesentlichen unabhängig von der Kraftwerkskapazität und betragen etwa 4,7 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} (vgl. roten Abschnitt im jeweils rechten Stapel in Abbildung 3), während die Emissionen, die mit dem Strombezug aus dem öffentlichen Netz verbunden sind, mit steigender Anlagenkapazität sinken von 46,7 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} zu 22,5 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el}, da der Stromeigenbedarf ebenfalls sinkt (s. Kapitel 3.2).

Insgesamt summieren sich die spezifischen THG-Emissionen zu 69 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} für eine Pilotanlage, zu ca. 57 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} für eine Demonstrationsanlage und etwa 47 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} für Kraftwerke kommerzieller Größenordnung, jeweils für den Fall der Eigenbedarfsdeckung aus dem deutschen Netz. Da dieser Fall aufgrund der Rahmenbedingungen, die das EEG steckt, der Standardfall in Deutschland ist, wird für alle weiteren Analysen nur noch dieser Fall betrachtet.

Die spezifischen Emissionen für Strom, der aus dem deutschen Netz bezogen wird, ist für das Jahr 2010 inklusive der Übertragungsverluste im Verteilnetz mit 597 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} angegeben [12]. Verglichen mit diesem Wert für den deutschen Strommix liegen die Emissionen aus einem Biomasse-Vergasungskraftwerk nur bei etwa einem Zehntel.

Die auf die eingespeiste Strommenge bezogene THG-Minderung wird berechnet indem die Summe aller spezifischen Emissionen aus dem Biomassekraftwerk von den Emissionen des Referenzsystems (Emissionen des deutschen Strommixes im Jahr 2010, s.o.) abgezogen wird. Für ein kommerzielles Kraftwerk mit einem Brennstoffeintrag von 5 MW mit dem oben beschriebenen Brennstoffmix ergibt sich eine THG-Minderung von 551 g CO₂-Äquivalent/ kWh_{el}.

Um die niedrigsten Gutschriften (und damit die sicher erreichbare THG-Minderung) zu berechnen, wird die beste verfügbare fossile Technologie zur Wärmebereitstellung als Referenz herangezogen: Erdgasbrennwerttechnik. Für dieses Referenzsystem werden die THG-Emissionen mit 250,92 g CO₂-Äquivalent pro kWh erzeugter Wärme angegeben [12]. Da bereits rechnerisch alle entstehenden Emissionen dem eingespeisten Strom zugeordnet sind, steht die im Kraftwerk produzierte Wärme bilanziell ohne THG-Emissionen zur Verfügung. Daher kann dieser Emissionswert für jede zusätzlich im Sinne des KWKG genutzte Kilowattstunde Wärme vollständig als vermiedene Emission betrachtet werden. Um diese THG-Emissionsminderung mit der eingespeisten Strommenge zu korrelieren, muss dieser Wert mit der Stromkennziffer des Kraftwerks dividiert werden, die im betrachteten Fall 0,774 beträgt. Die Gutschrift für Wärmenutzung beträgt demnach 324,33 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el}. Wenn das Kraftwerk im vollständigen KWK-Modus betrieben wird (jegliche anfallende Wärme konform zu den Bestimmungen des KWKG genutzt wird), dann erreicht die THG-Minderung den Maximalwert von 875 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el}.

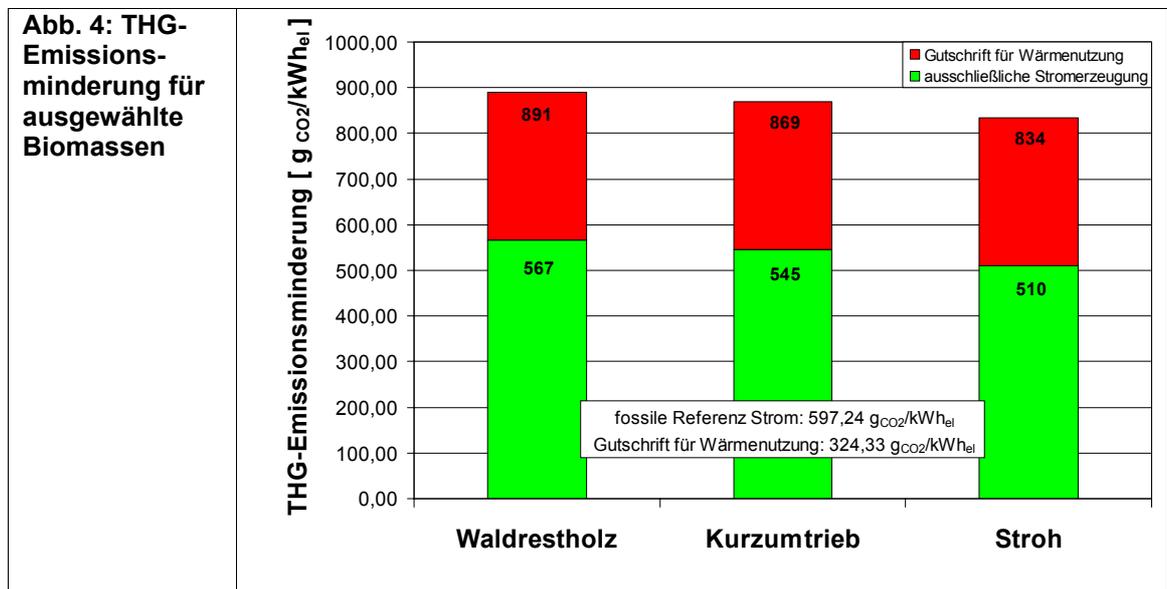


Abbildung 4 zeigt den Einfluss verschiedener Biomassen auf die THG-Minderung am Beispiel eines Biomassekraftwerks mit einer Brennstoffleistung von 5 MW. Abweichend vom sonst zu Grunde gelegten Brennstoffmix wurde hier die THG-Minderung unter der Annahme berechnet, dass das Kraftwerk ausschließlich mit Waldrestholz, Kurzumtriebsholz oder Stroh befeuert wird. Die Berechnung für Strohpellets ist hypothetisch, da Stroh als Monobrennstoff aufgrund der ungünstigen Wechselwirkungen (Agglomerationsneigung) zwischen Bettmaterial und Asche nicht als Monobrennstoff in Kraftwerken nach dem Konzept von Fraunhofer UMSICHT geeignet ist; diese Berechnung dient lediglich zur Illustration verschiedener Effekte, die mit Stroh besonders deutlich werden.

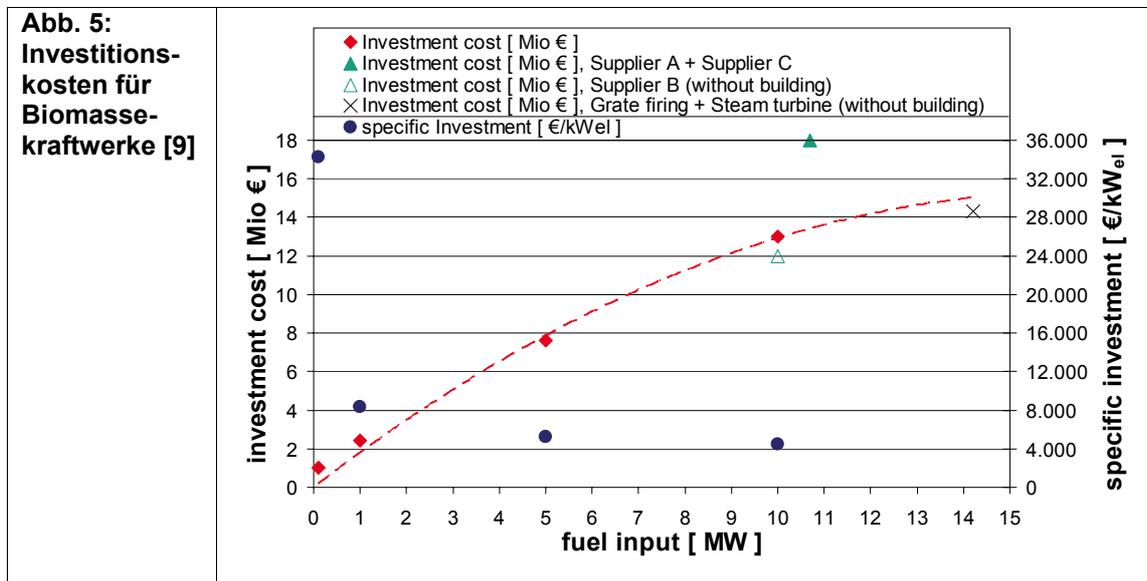
Die berechneten Werte der spezifischen THG-Minderung für HHS aus Waldrestholz sind größer als die für den Brennstoffmix, da für diesen Brennstoff keinerlei Emissionen aus Anbau und Bestandspflege anfallen. Die Werte für HHS aus Kurzumtriebsplantagen weisen wegen ihres Charakters ein noch niedrigeres Niveau auf. Das schlechte Abschneiden der Strohpellets hat seine Ursache in dem hohen Strombedarf, der zur Zerkleinerung und Pelletierung des Strohs erforderlich ist. Das zeigt, dass bei alleiniger Betrachtung der Treibhausgasemissionen nicht immer die allgemein üblichen Annahmen (z. Bsp. die Verwendung von Reststoffen ist

klimaschonender, da keine zusätzlichen Emissionen im Anbau entstehen) zutreffen. Erst die Betrachtung zusätzlicher Kriterien wie z. Bsp. zusätzlicher Flächen-, Nährstoff- und Wasserverbrauch für Anbaubiomassen würde den Einsatz von Strohpellets anstelle von z. Bsp. HHS aus Kurzumtrieb rechtfertigen, die THG-Minderung alleine dagegen nicht.

4 Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit

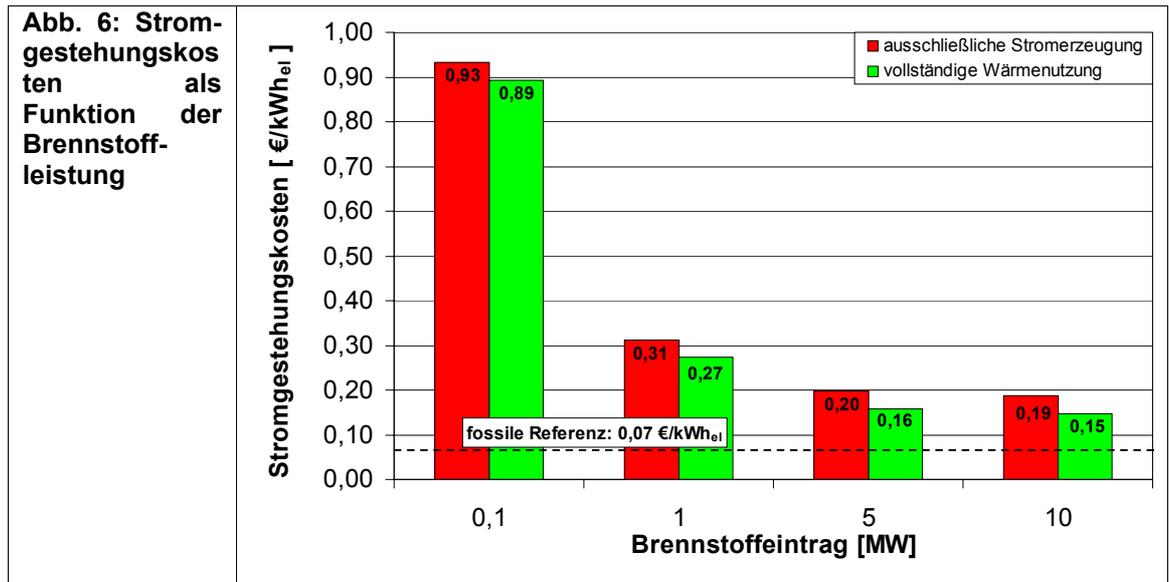
4.1 Investitionskosten

Eine vollständige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Biomasse-Vergasungskraftwerke nach dem Konzept von Fraunhofer UMSICHT auf Basis der Preise von 2010 wurde während der 19. Europäischen Biomassekonferenz und Ausstellung [9] in Berlin vorgestellt. Abbildung 5 zeigt die geschätzten Investitionskosten für die o.g. Anlagenkapazitäten.



4.2 Stromgestehungskosten

Die Stromgestehungskosten wurden unter Verwendung der Annuitätenmethode gemäß VDI-Richtlinie 6025 [14] berechnet. Für den Fall ausschließlichen Stromerzeugung (analog zum Kondensationsbetrieb klassischer Kohlekraftwerke) entsprechen die Stromgestehungskosten dem Quotienten aus der Annuität aller Auszahlungen (kapitalgebundene Kosten, verbrauchsgebundene Kosten, betriebsgebundene Kosten und sonstige Kosten) und der eingespeisten Strommenge. Analog zur Bestimmung der THG-Emissionsminderung wird auch bei der Berechnung der Stromgestehungskosten die Gutschriftenmethode angewandt. Dabei wird ein Erlös von 30 €/MWh_{th} angesetzt; die Einnahmen aus dem KWK-Bonus im Rahmen des EEG in der Fassung von 2009, der für Strom aus Anlagen, die im Jahr 2010 in Betrieb genommen wurden, noch gezahlt wurde, bleiben jedoch unberücksichtigt. Bei vollständigem KWK-Betrieb reduzieren sich die Stromgestehungskosten somit größenordnungsmäßig um 4 €/kWh_{el}. Abbildung 6 zeigt die Stromgestehungskosten für die vier verschiedenen Anlagenrößen.



Die mittleren Stromgestehungskosten im öffentlichen deutschen Stromnetz im Referenzjahr 2010 werden in [12] mit 70 €/MWh_{el} angegeben. Für ein Biomasse-Vergasungskraftwerk kommerzieller Größe in vollständigem KWK-Betrieb (die mit der Stromerzeugung zwangsweise anfallende Wärme wird vollständig in KWKG-konformen Anwendungen genutzt) sind die Stromgestehungskosten somit nur ungefähr doppelt so hoch wie die durchschnittlichen Gestehungskosten im öffentlichen deutschen Stromnetz.

5 Kosten der Treibhausgasminderung

Die Kosten der THG-Emissionsminderung werden berechnet, indem die Differenz aus den Stromgestehungskosten für Strom aus einem Biomasse-Vergasungskraftwerk und für Strom aus dem öffentlichen deutschen Verteilernetz durch die spezifische THG-Emissionsminderung dividiert wird. Für den Fall der Wärmenutzung enthalten beide Werte -Stromgestehungskosten und spezifische THG-Emissionsminderung-entsprechende Gutschriften für die Wärmenutzung, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden.

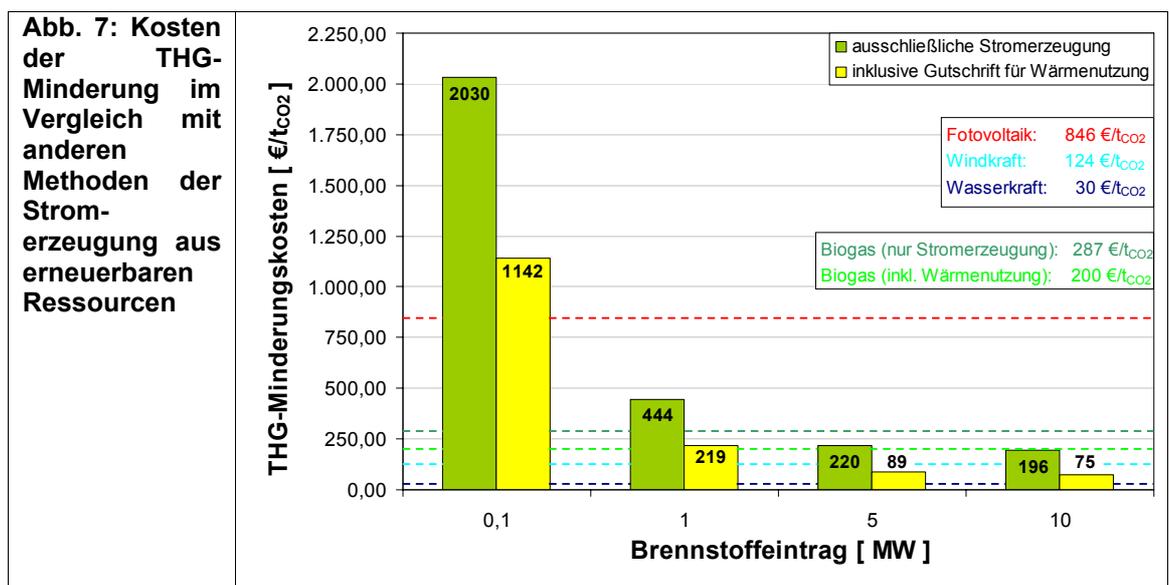
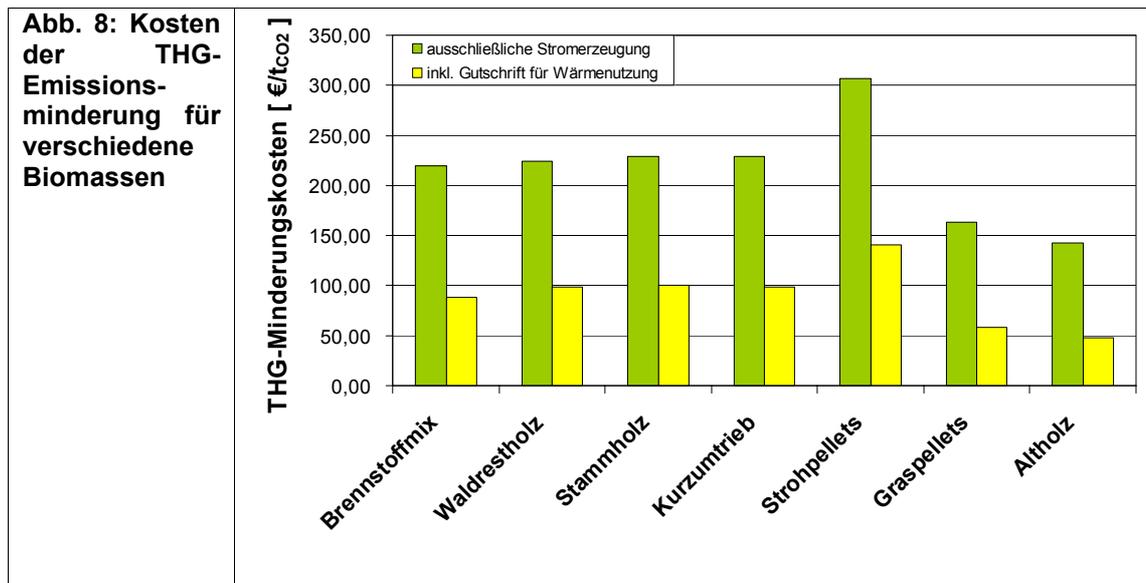


Abbildung 7 stellt die Ergebnisse der Berechnungen für die eingangs erwähnte Brennstoffmischung dar. Unterhalb einer kommerziellen Anlagengröße von 5 MW Brennstoffeintrag sind die Kosten für die THG-Emissionsminderung stark von der Anlagenkapazität abhängig, während im Bereich kommerzieller Anlagengrößen nur noch eine geringe Abhängigkeit der THG-Emissionsminderungskosten von der Anlagenkapazität zu beobachten ist.

Die berechneten Kosten für die THG-Emissionsminderung bei der Erzeugung von Strom in Biomasse-Vergasungskraftwerken lassen sich mit veröffentlichten Werten für die Erzeugung von Strom aus anderen erneuerbaren Ressourcen vergleichen. Die veröffentlichten Werte sind Durchschnittswerte für kommerziell verfügbare Technologien (nicht nach Anlagengröße aufgeschlüsselt): Fotovoltaik, Wind- und Wasserkraft [15] und Strom aus Biogasanlagen mit anaerober Biomassevergärung [16] mit und ohne Wärmenutzung. Ausgehend von den Kosten ist Wasserkraft mit Minderungskosten von lediglich 30 €/t_{CO2} zweifelsohne die volkswirtschaftlich günstigste Technologie zur Reduzierung der THG-Emissionen. Allerdings sind die Möglichkeiten zum Neubau von Laufwasserkraftwerken in Deutschland sehr begrenzt. Am anderen Ende des Kostenspektrums stellt die Fotovoltaik mit 846 €/t_{CO2} die für die Gesellschaft mit Abstand teuerste Möglichkeit zur Minderung der THG-Emissionen dar. Bereits bei einer Demonstrationsanlage zur Stromerzeugung mittels Biomassevergasung in der Größenordnung um 1 MW Brennstoffeintrag sind die Vermeidungskosten um den Faktor 2 (für den ungünstigen Fall des „Kondensationsbetriebs“) bis 4 (für den Fall des vollständigen KWK-Betriebs) niedriger als bei Fotovoltaikanlagen. Der Durchschnittswert für die Kosten der THG-Emissionsminderung durch Windkraft (ohne Unterscheidung zwischen on-shore und off-shore Anlagen) liegt mit 124 €/t_{CO2} in der gleichen Größenordnung wie die Kosten der THG-Minderung durch Biomasse-Vergasungskraftwerke mit kommerzieller Größe (über 1 MW Brennstoffeintrag).

Im Rahmen des Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ erfordert der Vergleich mit der Stromerzeugung in Biogasanlagen mit anaerober Vergärung von Biomasse besondere Aufmerksamkeit, da diese Technologie in direkter Konkurrenz zur Biomassevergasung steht. Die Kosten für die THG-Emissionsminderung für die Stromerzeugung in Biogasanlagen erreichen über alle Anlagengrößen gemittelt für den Fall der vollständigen KWKG-konformen Wärmenutzung einen Wert von 200 €/t_{CO2}[16]. Bereits ein Demonstrationskraftwerk mit 1 MW Brennstoffeintrag wäre mit dem Durchschnitt aller kommerziellen Biogasanlagen konkurrenzfähig, wohingegen Vergasungskraftwerke kommerzieller Größenordnung sicher THG-Vermeidungskosten von unter 100 €/t_{CO2} für den vollständigen KWK-Betrieb erreichen und damit weniger als die Hälfte der Kosten verursachen wie die Stromerzeugung in Biogasanlagen. Für den Fall der ausschließlichen Stromerzeugung ohne jegliche Wärmenutzung wäre der Unterschied zwischen kommerziellen Vergärungs- und Vergasungsanlagen nicht ganz so groß, aber mit 200 €/t_{CO2} für Vergasung im Vergleich zu 287 €/t_{CO2} für anaerobe Vergärung immer noch deutlich. Unter den Randbedingungen in Deutschland sind zwei weitere Aspekte anzusprechen: Wärmenutzung und Flächenbedarf. Gegenwärtig werden Biomassevergasungskraftwerke als überwiegende Grundlastanlagen in Fernwärmesystemen geplant, so dass der Großteil der Wärme übers Jahr gesehen in einer KWKG-konformen Nutzung Absatz findet, wohingegen die Mehrheit der gegenwärtig bestehenden Biogasanlagen üblicherweise auf außerhalb von Ortschaften gelegenen Höfen errichtet sind, die keinen dem Angebot entsprechenden Wärmebedarf haben.

Viele der Biogasanlagen setzen Anbaubiomasse -überwiegend Mais- als Substrat ein als Folge der Bonusregelung im EEG (Bonus für nachwachsende Rohstoffe) und beanspruchen dadurch landwirtschaftliche Nutzfläche. Demgegenüber werden in den existierenden Vergasungsanlagen überwiegend Reststoffe aus der Forst- und Landwirtschaft und Landschaftspflegeholz eingesetzt, so dass keine landwirtschaftliche Nutzfläche für die Stromerzeugung beansprucht wird. Lediglich bei Einsatz von HHS aus Kurzumtriebsplantagen wäre das anders; diese Art der Brennstoffherzeugung hat sich in Deutschland anders als z. Bsp. in Schweden, Italien oder Ungarn jedoch bisher nicht in großem Umfang durchsetzen können.



Neben der Abhängigkeit der gesellschaftlichen Kosten für die THG-Emissionsminderung von der Anlagenkapazität ist auch die Abhängigkeit von der Art des Brennstoffs von großem Interesse. Für ein Biomassevergasungskraftwerk mit einer Brennstoffleistung von 5 MW wurde eine theoretische Analyse mit allen Bestandteilen der ansonsten zu Grunde gelegten Brennstoffmischung durchgeführt, wohl wissend, dass nicht alle Bestandteile der Brennstoffmischung als Monobrennstoff einsetzbar sind (wie z. Bsp. Strohpellets). Die Ergebnisse dieser Studie sind in Abbildung 8 dargestellt. Für HHS aus Waldrestholz, Stammholz und Kurzumtriebsplantagen wurde nach dem Methodenhandbuch des DBFZ [12] derselbe Anlieferungspreis (75 €/t) angenommen. Bei Stammholz und Kurzumtriebsplantagen müssen Emissionen aus Anbau und Pflege berücksichtigt werden, wohingegen diese Emissionen bei Waldrestholz dem Stammholz zugeordnet werden, das anderweitig genutzt wird. Diese Einsparungen an Emissionen für Waldrestholz werden kompensiert durch höhere Emissionen durch den Transport der Biomasse zum Kraftwerk, da ein größeres Einzugsgebiet für die Versorgung des Kraftwerks mit forstwirtschaftlichen Reststoffen erforderlich ist als bei der energetischen Nutzung der ganzen Pflanze wie bei Stammholz oder Kurzumtrieb. Im Ergebnis sind daher die Kosten für die THG-Emissionsminderung für diese drei Biomassen nahezu gleich.

Wenn ein Biomasse-Vergasungskraftwerk nach dem hier betrachteten Konzept alleine mit Strohpellets befeuert werden könnte, wären die Kosten der THG-Emissionsminderung die höchsten im Vergleich aller untersuchten Brennstoffe, da Strohpellets nach den Angaben im Methodenhandbuch des DBFZ [12] mit 80 €/t die höchsten Brennstoffkosten auslösen und -obwohl als landwirtschaftlicher Reststoff bilanziell keine Emissionen aus Anbau, Pflege und Ernte anfallen- die geringste THG-

Emissionsminderung bewirken aufgrund des erhöhten Aufwands für Umschlag und Pelletierung. Zusätzlich enthalten sie im Vergleich mit allen anderen Brennstoffbiomassen den höchsten Ascheanteil und verursachen dadurch auch die höchsten Kosten für die Entsorgung der festen Prozessrückstände.

Da es -zumindest derzeit- keinen Markt für Gras-/Blattpellets gibt, sind sie zusammen mit Altholz der preiswerteste Biomassebrennstoff (25 €/t) für Vergasungskraftwerke. Außerdem erreichen sie als Produkt extensiv bewirtschafteter Flächen und moderatem Aufwand für Umschlag und Pelletierung [17] ein THG-Emissionsminderungspotenzial ($866 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{-Äquivalent}}/\text{kWh}_{\text{el}}$), das mit dem von holzartiger Anbaubiomasse wie etwa HHS aus Kurzumtriebsplantagen vergleichbar ist ($869 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{-Äquivalent}}/\text{kWh}_{\text{el}}$, vgl. Abbildung 4). Zusammen ergeben sich niedrige Kosten für die THG-Emissionsminderung.

Die gleiche Argumentation gilt auch für Altholz, lediglich Pelletierung ist hier nicht erforderlich. Folglich können durch den Einsatz von Altholz die niedrigsten gesellschaftlichen Kosten für die Minderung der THG-Emissionen erreicht werden. Durch die Regelungen des EEG in seiner Fassung von 2012 werden jedoch weder der Einsatz von Altholz als Brennstoff in Vergasungskraftwerken noch der Einsatz von Gras- bzw. Blattpellets gefördert.

6 Zusammenfassung

Obwohl gegenwärtig die Stromerzeugung aus fester Biomasse in Vergasungskraftwerken in Deutschland lediglich eine untergeordnete Rolle spielt, zeigt diese Studie, dass in einer volkswirtschaftlichen Betrachtung -ausgedrückt als Kosten der THG-Emissionsminderung- sie eine kostengünstige Möglichkeit darstellt, die ambitionierten Ziele für den Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Ressourcen bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Es konnte gezeigt werden, dass Biomassevergasungskraftwerke in einer kommerziellen Größenordnung (Feuerungsleistung über 1 MW) Kosten für die THG-Emissionsminderung in der Größenordnung um 125 € pro Tonne $\text{CO}_2\text{-Äquivalent}$ erreichen (abhängig vom Grad der Wärmenutzung) und damit in der selben Größenordnung wie die Stromerzeugung mit Windkraft liegen. Verglichen mit Stromerzeugung aus feuchter Biomasse in Biogasanlagen mit anaerober Vergärung bietet die Technologie der Vergasung trockener Reststoffe (Waldrestholz, Graspellets, Altholz) ein großes Potenzial zur Reduzierung der THG-Emissionen bei geringeren Kosten. Der Einspeisetarif aus dem EEG in seiner Fassung von 2012 setzt jedoch nicht genügend betriebswirtschaftliche Anreize, um in naher Zukunft mehrere größere Vergasungskraftwerke in Deutschland zu errichten und so die dargestellten Potenziale der Technologie zu nutzen.

7 Danksagung

Die vorgestellte Studie war Teil des Projekts "Schließung regionaler Stoffkreisläufe bei der dezentralen Strom- und Wärmezeugung in einer stationären Wirbelschicht-RegioSWS" [10], das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages aus Mitteln der Klimaschutzinitiative gefördert wurde. Das Programm wird technisch und administrativ vom Projektträger Jülich des Forschungszentrums Jülich (PTJ) koordiniert. Wissenschaftliche Unterstützung und Hilfe bei der Öffentlichkeitsarbeit gewährt das Deutsche BiomasseForschungszentrum (DBFZ).

Ein Förderprogramm der



Gefördert vom



Koordiniert vom



8 Literatur

- [1] EC (European Commission): *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (EU RED)*, Brussels, Belgium, April 23rd, 2009
- [2] EC (European Commission): *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council – Renewable Energy: Progressing towards the 2020 target*, Brussels, Belgium, January 31st, 2011
- [3] EU eurostat: *Energy, transport and environment indicators*, Belgium, 2011, ISBN 978-92-79-21384-7
- [4] D. Pfeiffer, D. Thrän: *Promoting projects to optimize biomass energy use – a program funded by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*, 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, June 6th-10th, 2011, pp. 2431-2436
- [5] D. Thrän, D. Pfeiffer: *Climate protection by optimization of biomass energy use – measurement and valuation methods for a purposeful development*, 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, June 6th-10th, 2011, Poster VP5.2.37
- [6] I. Schüßler, D. Bräkow, K. Treppe, B. Salomo, T. Zschunke; *Schwachstellenanalyse an BHKW-Vergasungsanlagen*, Abschlussbericht an das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Projekt-Nr. 22009106, Dresden, 26. Februar, 2009
- [7] M. Ising, C. Unger, W. Althaus; *Cogeneration with biomass gasification by producer gas driven Block Heat and Power Plants*, 2nd World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Rome, Italy, May 10th-14th, 2004, pp. 801-804
- [8] M. Ising: *Zur katalytischen Spaltung teerartiger Kohlenwasserstoffe bei der Wirbelschichtvergasung von Biomasse*, Dissertation Universität of Dortmund, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2002, ISBN 3-8167-6092-9
- [9] T. Schulzke: *Economy of scale for CHP plants based on autothermal fluidized bed gasification*, 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, June 6th-10th, 2011, pp. 1485-1488
- [10] T. Schulzke: *Schließung regionaler Stoffkreisläufe bei der dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung in einer stationären Wirbelschicht – RegioSWS*, Abschlussbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Project-Nr. 03KB014, Oberhausen, January 31st, 2012
- [11] Patent DE 100 37 762 B4: *Vorrichtung zur Stromerzeugung aus Biomasse durch Vergasung mit anschließender katalytischer Beseitigung von Teerverbindungen aus dem Brenngas*, Fraunhofer Gesellschaft zur Foerderung der angewandten Forschung e.V., Anmeldedatum 03.08.2000

- [12] D. Thrän, E. Fischer, U. Fritsche, K. Hennenberg, K. Oehmichen, D. Pfeiffer, R. Schmersahl, T. Schröder, V. Zeller, M. Zeymer: *Methoden zur stoffstromorientierten Beurteilung für Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Teil 1: Technologiekennwerte, Gestehungskosten, Treibhausgasbilanzen*, Version 1.1, Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ), Leipzig, November 2010
- [13] EC (European Commission): *COM(2010)11 final, Report from the Commission to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling*, Brussels, Belgium, February 25th, 2010
- [14] VDI Guideline 6025: *Economy calculation systems for capital goods and plants*, Verein deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Germany, 1996
- [15] M. Beer: *CO₂-Vermeidungskosten erneuerbarer Energietechnologien*, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 2009, www.ffe.de/download/kurzberichte/KF_vermk.pdf, 20.12.2011
- [16] D. Thrän, S. Mayer, M. Gawor, K. Bunzel, J. Daniel-Gromke, C. Weber, K. Bauermann, V. Eickholt, R. Schultz, J. Hochi, H. Personn, *Optimierung der marktnahen Förderung von Biogas/Biomethan unter Berücksichtigung der Umwelt- und Klimabilanz, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit*, DBFZ, Universität Duisburg-Essen, Biogasrat e.V., Leipzig, Essen, Berlin, 2011 http://biogasrat.de/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=242&Itemid=129, 20.12.2011
- [17] S. Mignon Schlederer, *florafuel procedure – procedure for the production of fuel from humid biomass*, 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, June 6th-10th, 2011, Poster VP3.1.4

Ungenutzte Potenziale für die Biogaszeugung

(Thilo Lehmann, Lehmann Maschinenbau)

Die Zukunftsfähigkeit der Biogaszeugung wird von der Substratpreisentwicklung, der Erschließung neuer Substrate und der Verbesserung des energetischen Nutzungsgrades der eingesetzten Substrate bestimmt. Bisher gelten stark lignozellulosehaltige Substrate oder Reststoffe wie Stroh oder Landschaftspflegematerial als „nicht oder bedingt biogasfähig“. Gründe sind der hohe Ligningehalt, ausgeprägte Markstrukturen mit Hohlräumen und Fettschichten. Das Fraunhofer IKTS in Dresden und die LEHMANN Maschinenbau GmbH in Jocketa haben untersucht, inwieweit sich diese schwierigen Substrate für die Biogaszeugung eignen. Auf den richtigen Aufschluss kommt es an.

Biogas

Viele dieser Substrate wie Stroh, Spreu, Landschaftspflegematerial u. ä. fallen jährlich in großen Erntemengen an und werden häufig als Humusbildner wieder eingepflügt. Bekannt ist aber auch, dass die Zersetzung dieser Biomasse z.B. auf dem Feld Nährstoffe, insbesondere Stickstoff, zehrt und diesen den angebauten Kulturen entzieht [1]. Das führt entweder zu erheblichen Ernteverlusten oder zu teuren zusätzlichen Nährstoffgaben. Andererseits könnten diese ligninhaltigen Einsatzstoffe einen durchaus wertvollen Beitrag für ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis im Gärsubstrat von Biogasanlagen leisten. Das gilt besonders bei einer gemeinsamen Vergärung mit eiweißhaltigen Substraten wie Hühnergülle, Trockenkot sowie Fleisch- und Schlachtabfällen. Im Gärrest stehen die während der Faulung nicht umgesetzten Stoffe als Nährstoffe sowie Humusbildner weiterhin zur Verfügung. Zusätzlich besitzt Gärrest eine höhere Pflanzenverfügbarkeit als unvergorene Substrate.

Vorbehandlung

Zur Verbesserung des Abbauverhaltens von verholzten Substraten ist den Mikroorganismen ein Zugang zu den Zellulosen und Hemizellulosen zu verschaffen. Dafür müssen die schützenden Ligninstrukturen möglichst weitgehend aufgebrochen und die Zellulose- und Hemizellulosestrukturen freigelegt werden (Entkrustung).

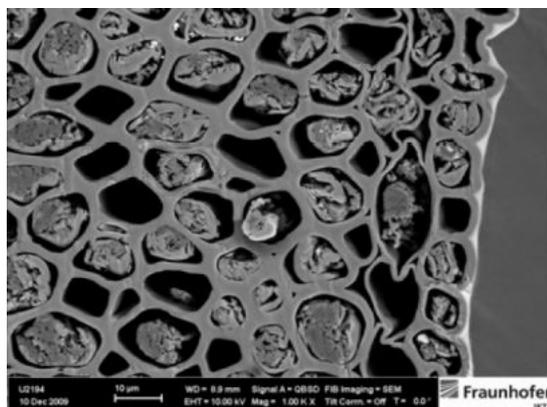


Abb. 1 geschnittenes (gehäckseltes) Substrat

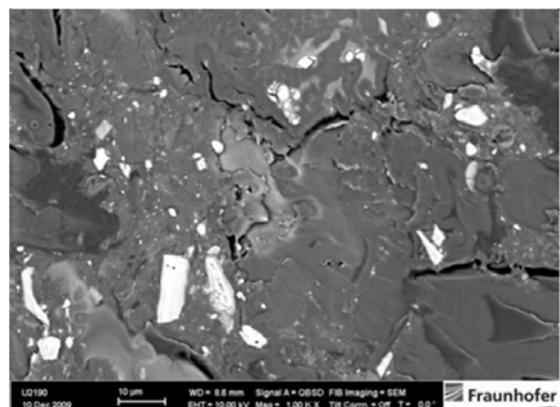


Abb. 2 extrudiertes Substrat

Diese Vorbehandlung ist technisch sehr effizient durch den Einsatz der Bioextrusion® erreichbar, die sowohl für Neuanlagen als auch zur Nachrüstung gleichermaßen geeignet ist. Dabei wird das Substrat zwischen zwei gegenläufigen Schnecken einer schnell wechselnden Beanspruchung durch Druck- und Temperaturspitzen ausgesetzt, wobei es aufgefasert, gleichzeitig plastifiziert und verdichtet wird. Die aufgefaserten Substrate werden in den nachgeschalteten Reaktoren (Hydrolyse- und/oder Faulräumen) der Stoffwechselfähigkeit von Mikroorganismen ausgesetzt. Die von ihnen gebildeten Enzyme erhalten unmittelbaren Zugang zum Substrat, dadurch entsteht eine messbare Beschleunigung bei der Auftrennung der Zellulose- und Hemizellulosestrukturen in Fünf- und Sechsfachzucker, welche wiederum zur Erhöhung der Gasbildungsrate und des Abbaugrades führt. Das Substrat schwimmt nicht auf und verteilt sich gut im Behälter.

Getreidestroh

Getreidestroh hat mit 8 bis 13 Mio. t/a das höchste Potenzial an Reststoffen in Deutschland. Im Unterschied zu thermischer Verwertung wird hier der Konflikt zwischen Humuszuführung und Entnahme des Strohs vom Feld durch Rückführung des Gärrestes entschärft. Ein Vollaufschluss mit Chemikalien, in Praxisanlagen bisher nicht üblich, wurde untersucht. Deutlich sichtbar war eine hohe Biogasausbeute mit Bioextrusion®.

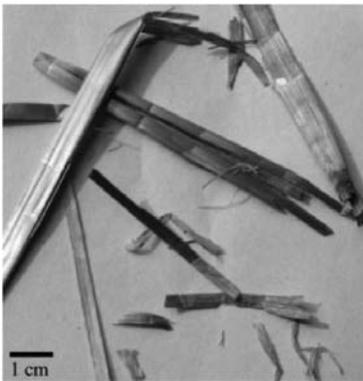


Abb. 3 Stroh, unbehandelt

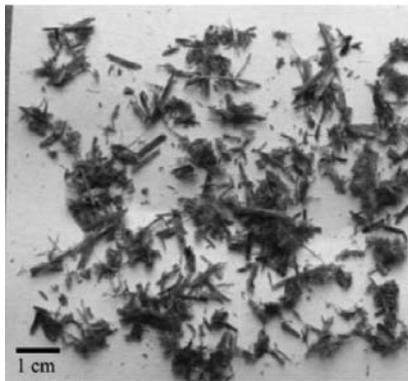


Abb. 4 Stroh, nass extrudiert

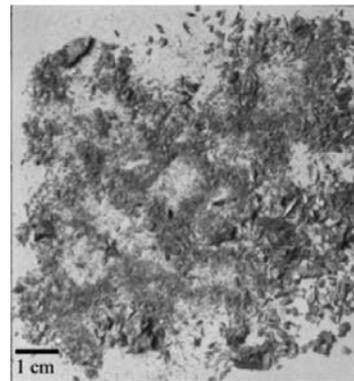


Abb. 5 Stroh, trocken extrudiert

Allerdings wird die Vergärung von ausschließlich Stroh oder auch großen Anteilen am Substrat bisher kaum praktiziert, weil es ohne entsprechende Vorbehandlung zu mehreren Problemen führt, z.B. Rührfähigkeit, Aufschwimmverhalten, Gasaustausch im Fermenter oder Nährstoffversorgung. Im Versuch wurde Weizenstroh im Pilotmaßstab über mehrere Monate mit 520 NL/kg oTS_{zu} mit Bioextrusion® fermentiert. Dies zeigt, dass die Strohvergärung in Großanlagen eine Alternative darstellt und durch mechanisch thermischen Aufschluss lohnenswert ist. Konzepte dazu befinden sich in der Planung.

Hybridroggen

Mit Hybridroggen, geerntet und siliert mit 70 % TS-Gehalt, sind bis 420 Nm³ CH₄/t oTS möglich. Das bedeutet bei 14,3 t Trockenmasse immerhin 6.000 m³ Methangasproduktion/ha. Wie ist das im Vergleich mit Maisernte zu bewerten? Bei 60 t Maisernte werden 6.000 m³ Methan/ha angegeben. Der sächsische Erntedurchschnitt liegt bei 40 t/ha und der Bundesdurchschnitt 2010 lag bei 40,3 t/ha.

Dies dürfte 2011 allerdings günstiger ausfallen. Hybridroggen als Winterfrucht hat gute Startbedingungen, da er die winterliche Feuchte mitnimmt und immer gute Ernteergebnisse bringt. Die letzten drei Jahre lag er im Vogtland, in 400 m Höhe und bei 35 Bodenpunkten, über 20 t Ernteertrag/ha mit einem TS-Gehalt von ca. 65 bis 70 %. Er hat auf Grund seines hohen Methangehaltes den Methanertrag/ha des Mais alle Jahre übertroffen. Die Silage hatte eine hohe Qualität, Verpilzungen waren nicht festzustellen. Der Geruch der Silage war weniger intensiv als anderer Silagen und dies trotz des hohen TS-Gehaltes im Lagerstock. Messreihen haben bestätigt, dass das strohige Substrat mit Kornanteil den Mais vom Ertrag her übertrifft oder mindestens ebenwertig ist [2]. Der Anbau von Hybridroggen trägt dazu bei, den Bodenwert (Humus- und Nährstoffversorgung) zu bessern und eine günstige Fruchtfolge zu organisieren.

Maisstroh

Maisstroh hat ein hohes Potenzial, insbesondere in den Ländern und Gegenden, in denen Maiskörner separat geerntet werden. Dabei wird die Pflanze nicht grün geerntet, sondern steht wegen eines hohen Stärkegehaltes des Kornes lange auf dem Halm und ist gelb. Trockensubstanzgehalt und Ligningehalt sind hoch. Bisher werden das Stroh und auch die Spindel (Teil des Kolbens) kaum genutzt, sondern in großem Maße untergepflügt. Nach einem Aufschluss erweist sich das Substrat als sehr einsetzwürdig, sowohl für die Biogasanlage als auch als Tierfutter. Im Mittel wurden bei der Vergärung 336,81 Nm³/t oTS Methan erreicht. Ein kombiniertes Aufschluss- und Kompaktierverfahren des Strohes erlaubt Presslinge herzustellen, die über große Entfernungen kostengünstig zu transportieren sind. Für Biogasanlagen bedeutet dies nur das Auflösen der bereits extrudierten/agglomerierten Substrate, die lagerstabil und einfach handelbar sind.

Miscanthus

Zu Miscanthus gibt es bereits verschiedene Untersuchungen, z.B. vom Biogas Forum Bayern; ihr Fazit: „Ein Sommerschnitt im August gegen Ende der Hauptwachstumszeit führt zu Wuchsdepressionen und massivem Ertragsverlust im Folgejahr und kann somit nicht empfohlen werden. Nach dem jetzigen Kenntnisstand kommt Miscanthus daher als biogassubstratliefernde Kultur nicht in Frage [3].“ Mittels Bioextrusion® wird Miscanthus allerdings sehr wohl zu einer biogassubstratliefernden Kultur, wie Versuche ergeben haben. Das Substrat wurde im März/April 2011 geerntet. Das Gras ist gelb, sehr trocken (TS 80 bis 85 %), klein gehäckselt, relativ hart, mittels Bioextruder aufgeschlossen und nach VDI 4630 fermentiert. Die Nutzung in Biogasanlagen ist auch hinsichtlich des Substratpreises lohnend. Es ist allerdings einzuschätzen, dass die Verfügbarkeit von Miscanthus in Deutschland derzeit nicht ausreichend ist. Die Möglichkeit des Einsatzes als Biogassubstrat könnte den Anbau befördern. Bezüglich des Methananfalls konnten bis zu 365 Nm³ CH₄/ t oTS erreicht werden. Dies bedeutet bei ca. 20 t Trockenmasse [4] immerhin 7.300 m³ Methan/ha und damit 1.300 m³ Methan/ ha mehr als bei Mais mit einem Ernteertrag von 60 t/ha. Die Biogasproduktivität des unbehandelten Miscanthus nach 30 Tagen wird bei der extrudierten Probe bereits nach ca. 10 Tagen erreicht. Insgesamt ist eine Methangassteigerung von 114 % nach 30 Tagen durch Bioextrusion® gegenüber der unbehandelten Probe erzielt worden.

Mist

Extrudierter Pferdemist zeigt eine um 28% höhere spezifische Methanproduktion pro Kilogramm organische Trockensubstanz als der unbehandelte Pferdemist. Dies resultiert aus einer höheren Gasausbeute pro Kilogramm Frischmasse um 33 %. Die Geschwindigkeit der Methanproduktion war besonders während der ersten drei Tage deutlich schneller. Das deutet auf eine große Menge niedermolekularer, schnell verfügbarer organischer Substanz im extrudierten Pferdemist hin. Ähnliche oder noch bessere Ergebnisse mit Bioextrusion® werden bei Rindermist u.a. erzielt. Ein hoher Strohanteil macht Mist als Substrat für Biogasanlagen interessant, da das Stroh den Energiegehalt pro Tonne Frischmasse hebt. Seit Jahren werden Biogasanlagen mit Bioextrusion® betrieben, die 70 bis 90 % Rinderfestmist einsetzen.

Für die hinsichtlich TS-Gehalt und Substratzusammensetzung stark wechselnden und inhomogenen Substrate wurde die Baureihe der Extruder erweitert, um eine Wasserseparation während des Aufschlusses herbeizuführen und durch andere Schneckenbauformen den Aufschluss zu verbessern, indem die Reibung des „fettigen“ Substrates erhöht wird. Die zum Patent angemeldete Lösung hat sich bereits bewährt und ist nachgefragt.

Landschaftspflegematerial

Landschaftspflegematerial ist ein sehr indifferentes und inhomogenes Material. Es wird derzeit noch wenig energetisch genutzt und in Biogasanlagen nur zögerlich eingesetzt, trotz „Landschaftspflegebonus“. Die Struktur des Landschaftspflegematerials bei der Anlieferung reicht vom frischen, weichen (grasähnlichen) Material bis hin zum verholzten, harten Substrat, angefault, in Faulung befindlich oder verfault. Eine Bilanzierung ist schwierig, da die Energiewerte stark unterschiedlich sind. Dies ist für die Biogasproduktion aber ein wichtiges Kriterium, um Anlagen gut auszulasten. Probleme bereiten darüber hinaus Störstoffe, wie Holz, Steine, Abfälle aus Kunststoff usw. Auch hier hat sich die Bioextrusion® bewährt. Zusammen mit einem Dosier-Störstofftrenn-System wird das Substrat homogenisiert und aufgeschlossen der Fermentation zugeführt. Das Verfahren ist in Nassfermentationsanlagen einsatzbereit und läuft in der Modell- und Demoanlage BioEnergie Pöhl stabil. Zum Patent angemeldet ist das Bioliquid-Verfahren. Ziel ist dabei, eine energiereiche Flüssigkeit und einen Feststoff zu gewinnen. Die Flüssigkeit wird der Fermentation und der Feststoff als Kompaktat nach einer Trocknung der Verbrennung oder einer stofflichen Nutzung zugeführt.

Rapsstroh

Bisher wird Rapsstroh wenig in Biogasanlagen eingesetzt, ist aber sowohl in silierter Form (bis TS 70 %) oder als Stroh (> 70 % TS) gut lagerfähig. Auffällig sind die unterschiedlichen Biogaserträge in Abhängigkeit vom Ernteverfahren des Rapskornes und von der Tatsache, ob das Stroh vor der Ernte gespritzt wurde oder natürlich reift. Die Erntemenge pro Hektar liegt etwa bei 5 bis 6 t/ha. Gelingt es, die Spreu und das Kleinkorn (Unkrautsamen u.a.) zu bergen, ist mit 8 bis 9 t/ha zu rechnen. Nach der Bioextrusion® ist Rapsstroh in Biogasanlagen ohne Probleme einsetzbar und bringt gute Erträge, die den Aufwand der Ernte, Lagerung und des thermomechanischen Aufschlusses rechtfertigen.

Verholzter Strauch- und Baumschnitt

Aus Landschaftspflege, aber besonders in der Autobahnpflege fallen große Mengen an Heckenschnitt an. Die Nutzung dieses Substrates in Biogasanlagen scheint gemäß Gasproduktivitätsermittlung mit Bioextrusion® gut möglich. Aus dem Einsatz von Holz lassen sich weitere Vorteile ableiten, die in weiteren Arbeiten untersucht werden sollten: Holzfasernstoff als Kohlenstoffquelle und Aufwuchsträger für Bakterien kann auch in Biogasanlagen eine positive Wirkung haben. Die Auswirkung von unterschiedlichen Inhaltsstoffen wie Gerbsäure, Tannine u.a. ist auf die Biologie im Fermenter zu untersuchen. Es geht dabei besonders darum, hemmende Wirkungen zu erkennen und evtl. Grenzen der Fermentation festzustellen. Die desodorierende Wirkung von Holzfasernstoffen gegenüber Gerüchen, insbesondere Ammoniak und Schwefelwasserstoff ist bekannt. Kann Holz das in Biogasanlagen leisten? Holzfasernstoff ist auch ein natürliches Flockungsmittel und verbessert die Entwässerbarkeit von Schlämmen, so auch von Gärresten. Auch hier sind weitere Forschungen notwendig, um Rezepturen und sinnvoller Mengeneinsatz zu empfehlen.

Die Substratvorbehandlung bringt weitere energetische Vorteile für den Fermentationsprozess mit sich. Die im Zusammenhang mit der Zerkleinerung stehende Erniedrigung der Viskosität der Gärsubstrate führt zu einer Reduzierung der zum Mischen erforderlichen Energie. Weiterhin wirkt sich die Zerkleinerung positiv auf die Mischgüte im Reaktor aus und trägt zur Vermeidung von Betriebsproblemen in Form von Sink- und Schwimmschichten bei [5]. Beim Mischen des grob gehäckselten Strohs wurde eine mittlere Viskosität im Reaktor von 2.260 mPa s (Millipascalsekunde) ermittelt, bei Einsatz des extrudierten Strohes sank diese auf 880 mPa s. Neben der Reduzierung des Leistungseintrages ist die Verbesserung der Mischgüte hervorzuheben. Bei Reaktoren mit großem Durchmesser, wie in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, verringert sich der durchmischte Reaktorraum bei Einsatz unzerkleinerter Substrate auf 60 bis 70 %. Durch Einsatz der Extrusion kann eine Verbesserung um ca. 10 %- Punkte erreicht werden. Als besonderer Vorteil der Bioextrusion® ist die Vermeidung von Schwimmschichten hervorzuheben. Sie entstehen vor allem beim Einsatz von langfaserigen Substraten wie Grassilage oder Stroh. Sie können mit üblicher Rührtechnik oft nicht mehr untergerührt werden. Nach Bioextrusion® und der damit verbundenen Zerkleinerung sowie der Änderung der Faserstruktur treten die Probleme der Schwimmschichtbildung nicht auf.

Die Forscher von Fraunhofer IKTS in Dresden begleiten die Biogasanlage im Technologiepark BioEnergie Pöhl seit einigen Jahren intensiv.

Diese Modell- und Demonstrationsanlage hat eine Leistung von 499 kW_{elektr.} und wird überwiegend mit schwer abbaubaren Substraten gefüttert.

	mittlere Beschickung Febr./Mrz 12	TR (Analyse IKTS)	oTR (Analyse IKTS)	mittlere TR-Fracht	mittlere oTR-Fracht
	t/d	%	%	t/d	t/d
Hybridroggen	3,72	55,6	96,1	2,07	1,99
Mist	11,15	28,4	87,4	3,17	2,77
Grassilage	4,25	30,0	89,7	1,27	1,14
Maissilage	10,62	24,8	95,5	2,64	2,52
Rapsstroh	4,25	26,0	91,6	1,10	1,01
Summe bzw. Mittel	33,98	30,2	92,0	10,25	9,43

Tabelle 1: Ermittlung der Inputfrachten

Wie Tabelle 1 zeigt werden nur 10,25 Tonnen pro Tag Trockenmasse zur Verstromung und Wärmenutzung eingesetzt bei einer Verfügbarkeit der Biogasanlage von über 95 % der Nennleistung.

Tabelle 2 zeigt eine Abbaurrate der organischen Trockensubstanz von ca. 75%.

Methanproduktion (220 Nm ³ /h Biogas mit 57,5% Methan)	m ³ /h	126,5
	m ³ /d	3036,0
oTR-Abbau (mittels Formel)	t/d	7,03
oTR-Abbaugrad	%	74,5

Tabelle 2: Ermittlung des oTR-Abbaugrades

„Der ermittelte Wert von ca. 75 % stellt für die in Helmsgrün eingesetzten (zum großen Teil **schwer abbaubaren**) **Substrate einen sehr guten Wert** dar. Derartige Werte werden üblicherweise von reinen Maisanlagen erreicht und zum Teil knapp übertroffen, aber nicht von Anlagen mit größeren Anteilen von Stroh und Mist.“, so Fraunhofer IKTS.

Das Fraunhofer Institut hat ebenso den Grad der fermentierbaren Trockensubstanz (FoTS) nach Prof. Weißbach für die Biogasanlage BioEnergie Pöhl ermittelt. „Für die einzelnen Berechnungsformeln nach WEIßBACH und den Mittelwert aller Formeln ergibt sich für die Substratmischung der BGA Helmsgrün eine mittlere FoTS, welche laut Weißbach bei 100 %igem Umsatz eine Methanmenge von 420 NI/kg FoTS ergeben müsste. Die sich daraus theoretisch für Helmsgrün ergebenden Methanmengen sind in der folgenden Tabelle dargestellt“ [Fraunhofer IKTS].

	FoTS	Methanertrag (Weißbach)	theoretischer Methanertrag BGA BEP	Tatsächlicher Methanertrag BGA BEP	Substrataus- nutzung
	g/kg TS	NL/kg FoTS	m ³ /d	m ³ /d	%
Formel Mais	693,8	420	2.988,0	3.036	101,6
Formel Getreide GPS	671,2	420	2.890,7	3.036	105,0
Formel Gras	716,9	420	3.087,1	3.036	98,3
Mittel	694,0	420	2.988,6	3.036	101,6

Tabelle 3: Ermittlung Grad der fermentierbaren organischen Trockensubstanz

„Im Vergleich dazu erreicht die BGA Helmsgrün eine tatsächliche Methanmenge welche, je nach Formel, zwischen 98 und 105 % liegt. Im Mittel wird demnach die **komplette fermentierbare organische Substanz** in Helmsgrün in **Biogas umgewandelt**.“ [Fraunhofer IKTS, April 2012]

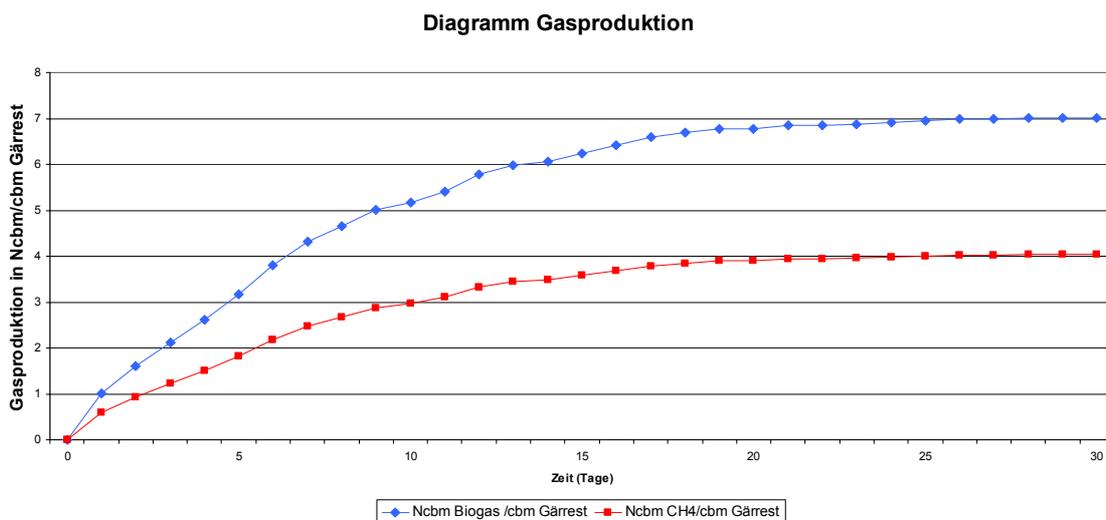


Abbildung 6: Restgaspotential der BGA BioEnergie Pöhl

Abbildung 6 zeigt das Restgaspotential bei 43 °C in Nm³ Biogas pro m³ Gärrest bzw. Restmethanpotential in Nm³ Methan pro m³ Gärrest aus dem Nachgärer der Biogasanlage BioEnergie Pöhl, Probennahme: 30.03.2012

Quellen

- [1] Schütz, G. (1977); Ackerbauliche Varianten der Kombination von Gülle- und Strohdüngung zu Zuckerrüben und Sommergerste bei industriemäßiger Produktion in der LPG Pflanzenproduktion „Vereinte Kraft“ Vippachedelhausen; Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- [2] Lehmann, T.; Lempenauer, S.; Buschmann, R. (2010); Auf den Methangas-Hektarertrag kommt es an; Hybridroggen und Biogaspotential
- [3] Fritz, M.; Formowitz, B. (2010); Eignet sich Miscanthus als Biogassubstrat?; Biogas Forum Bayern; Nr. I – 9/2010
- [4] Jelkmann, B.; Biogas aus Miscanthus; http://miscanthus-ascheberg.de/?page_id=312; Zugriff am 21.12.2011
- [5] Fraunhofer IKTS (2011): Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion durch Nutzung alternativer biogener Substrate, energieeffiziente Substratvorbehandlung und innovative Prozessführung einschließlich Biogasnutzung in einer SOFC-Brennstoffzelle. Abschlussbericht SMWA-Projekt, Dresden

Kontakt

LEHMANN Maschinenbau GmbH
Thilo Lehmann
Jocketa-Bahnhofstraße 34,
08543 Pöhl
Telefon: 037439 74410
E-Mail: anfrage@lehmann-maschinenbau.de

Erfahrungen aus Planung und Betrieb einer Biomethananlage (Thomas Dautert, DREWAG NETZ GmbH)

Erfahrungen aus Planung und Betrieb einer Biomethananlage

am Beispiel der 700 Nm³/h Biomethananlage
der DREWAG Stadtwerke GmbH in Haßlau bei Döbeln

Vortrag zur Tagung
„Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“
vom 03. bis 04. Mai 2012 an der Hochschule Zittau/Görlitz

Vortragender:
Dipl.-Ing. Thomas Dautert
DREWAG NETZ GmbH



Dieses Projekt wurde
unterstützt aus Mitteln
der Europäischen Union.

Europa fördert Sachsen.



EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

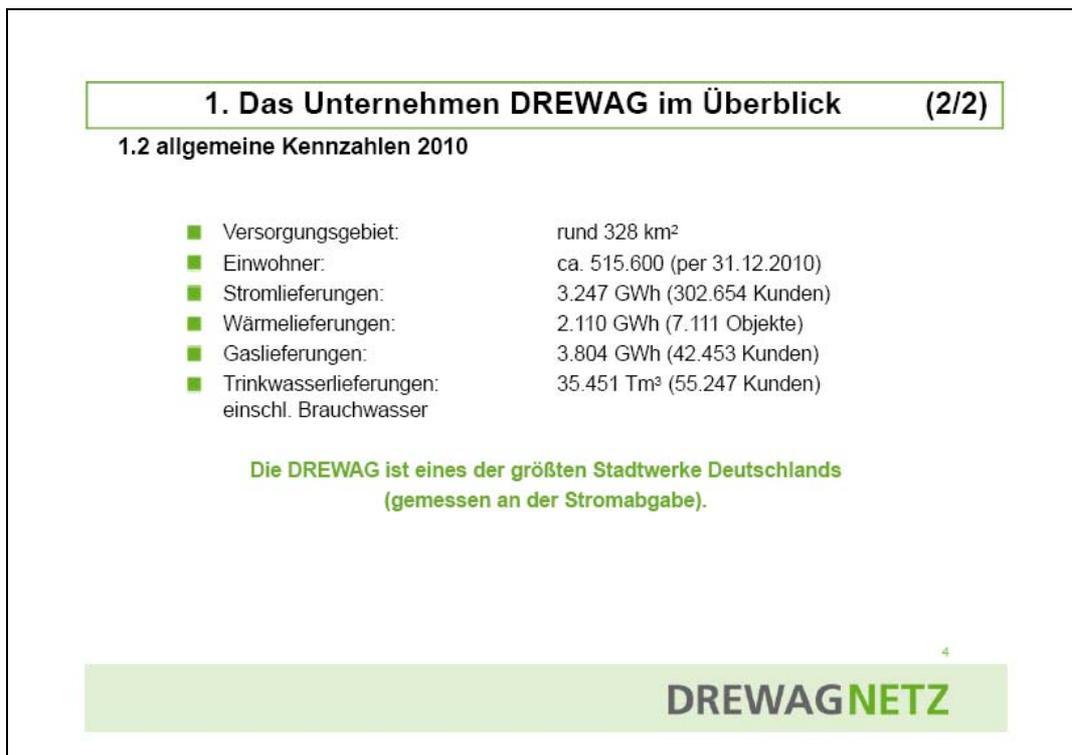
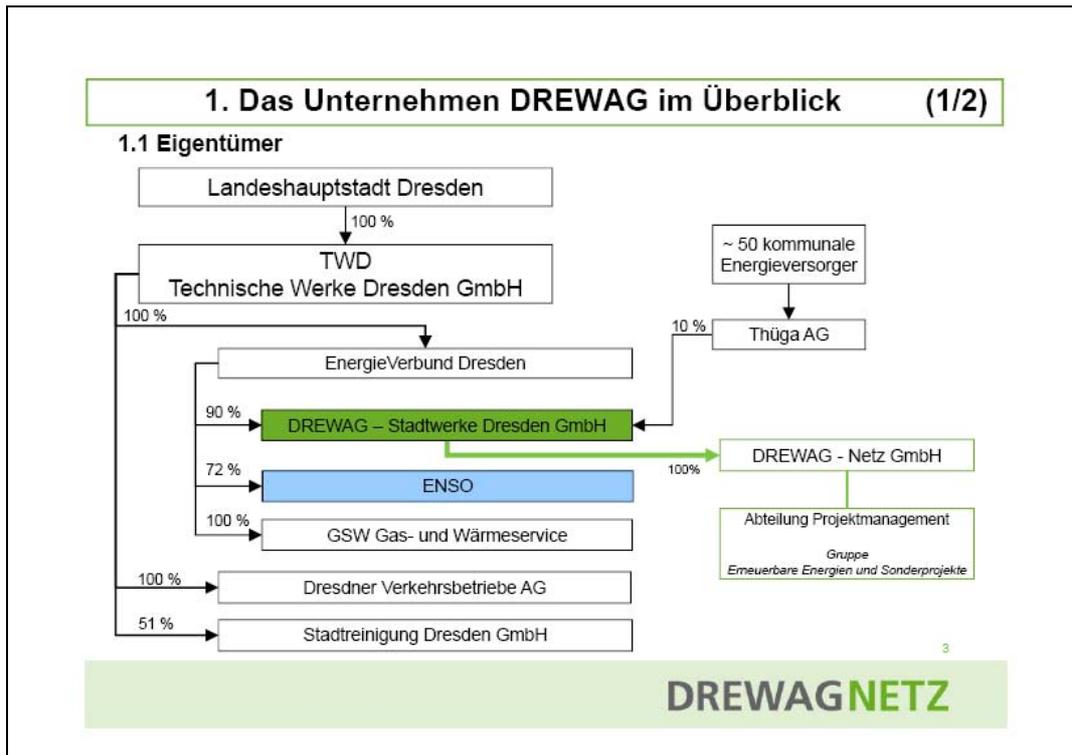
Das Projekt „Errichtung einer Biogasanlage und einer Anlage zur Rohbiogasaufbereitung sowie Biomethaneinspeisung“ wurde aus Mitteln der EU gemäß der Richtlinie Energie und Klimaschutz – RL EuK/2007 als Modell- und Demovorhaben Erneuerbare Energien gefördert (Zuschuss).



Gliederung

1. Das Unternehmen DREWAG im Überblick
2. Geschäftsfeld Erneuerbare Energien
3. Kurzbeschreibung Biomethananlage Haßlau
4. Erfahrungen aus der Projektentwicklung
5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung
6. Erste Betriebserfahrungen
7. Zusammenfassung





2. Geschäftsfeld Erneuerbare Energien

(1/2)

- Konzentration der DREWAG auf zwei Bereiche der Erneuerbaren Energien
 - Windkraft
 - Biogas
- Windkraft
 - Entwicklung eigener Projekte in Ostsachsen (Zielstellung bis 10 MWe)
 - Beteiligung an einem Windpark bei Magdeburg (ca. 14 MWe)
- Biogas
 - Entwicklung eigener Projekte oder in Partnerschaft:
 - Im Großraum Dresden
 - in Ost- und Mittelsachsen
 - derzeit 2 Anlagen in Betrieb

5

DREWAGNETZ

2. Geschäftsfeld Erneuerbare Energien

(2/2)

Biogas / Bioerdgasprojekte der DREWAG



Biogasanlage Dresden - Klotzsche

- Maissilage 9.500 t/Jahr
Substratlagerung beim Landwirt
- Rindergülle 5.000 t/Jahr
- ca. 6.800 t Gärreste pro Jahr
- Biogaserzeugung 10.400 MWh/a
- 3.400 MWh Strom, 3.500 MWh Fernwärme
- Kommerzieller Betrieb seit 2010



Biomethananlage Haßlau

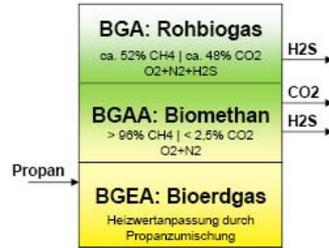
- Maissilage ca. 50.000 t/Jahr
Substratlagerung vor Ort
- Gülle 7.000 t/Jahr
- ca. 45.000 t Gärreste pro Jahr
- Bioerdgaseinspeisekapazität 700 Nm³/h
- ca. 6,1 Mio. m³ Bioerdgas pro Jahr
- Kommerzieller Betrieb seit 2012

6

DREWAGNETZ

3. Kurzbeschreibung Biomethananlage Haßlau (1/2)

- **Einsatzstofflager (Fahrsilo)**
 - Schrägwandsilo System Traunsteiner
 - 5 Kammern á 95 x 35 m für 50.000 to Lagerkapazität
- **Biogaserzeugung (BGA)**
 - Nassverfahren, mesophile Fermentation
 - kontinuierliche Beschickung
 - Gärbehälter: 3 x 6.000 m³ ; Gärproduktlager: 3 x 9.100 m³
 - Gasspeicher: 3 x 2.800 m³ (in den Tragluftfoliendächern der Gärproduktlager)
 - Betriebsdruck: 1 ... 3 mbar(ü)
- **Biogasaufbereitung (BGAA)**
 - Biomethan gemäß DVGW - G260
 - Druckwasserwäsche; Fa. Malmberg
 - Ausgangsdruck: 5,8 bar(ü)
- **Bioerdgaseinspeiseanlage (BGEA)**
 - Betreiber ist der Eigentümer der Ferngasleitung ONTRAS / VNG
 - Ausgangsdruck: 20 ... 25 bar(ü)
 - Propanlagermenge ca. 29 t



DREWAG
ONTRAS / VNG

7

DREWAGNETZ

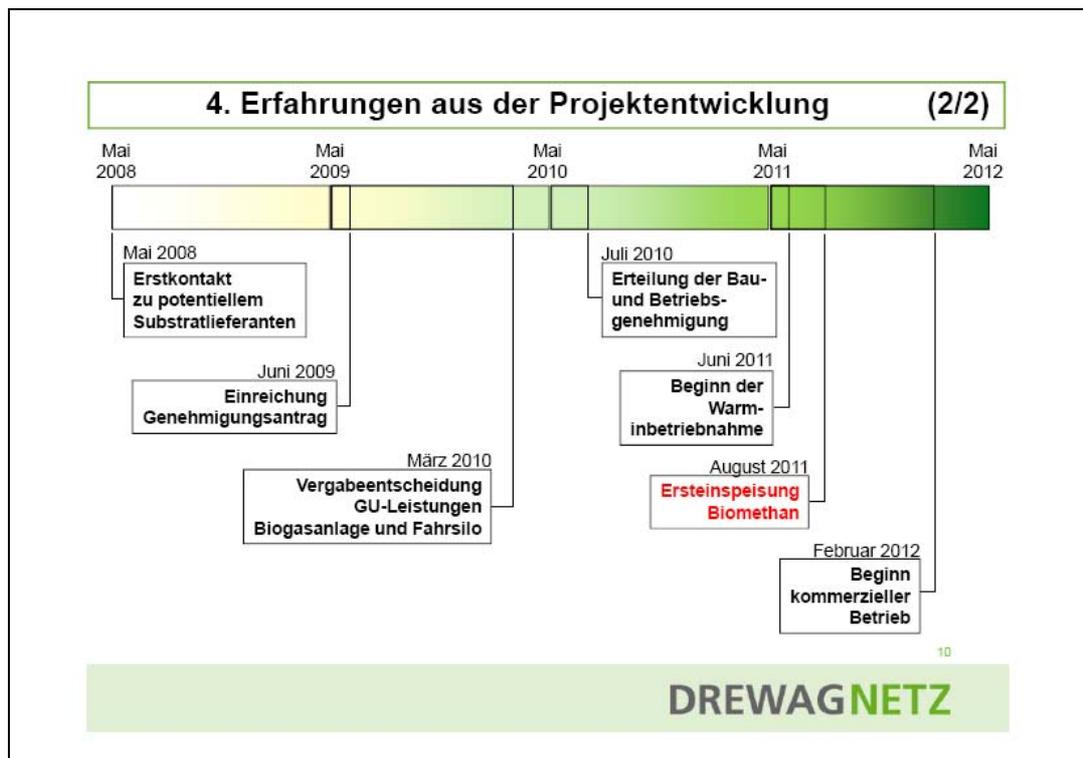
3. Kurzbeschreibung Biomethananlage Haßlau (2/2)



Luftbild Baustelle Sept. 2010 (nach 5 Monaten Bauzeit)

8

DREWAGNETZ



5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (1/7)

- **Wesentliche Ziele bei der Anlagenplanung:**
 - Anlage nach industriellem Standard
 - Hohe Anlagenverfügbarkeit
 - Hohe Methanerträge / Minimierung des Substrateinsatzes
 - Geringer Eigenbedarf an Wärme und Strom

- **Umsetzung unter Anderem durch:**
 - Nassvergärungsanlage mit Hochbehältern aus Stahlbeton als Fermenter
 - Redundante Ausführung der zentralen Anlagentechnik
 - Einsatz hochwertiger Materialien und Produkte

11

DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (2/7)

- **Hochbehälter aus Stahlbeton**
 - Ausgezeichnete Wärmedämmung
→ Minimierung des Wärmebedarfs für die Fermenterbeheizung
 - Langsamlaufendes Zentralrührwerk
→ geringerer Rühraufwand, Reduzierung des Strombedarfs
→ geringerer Wartungsaufwand

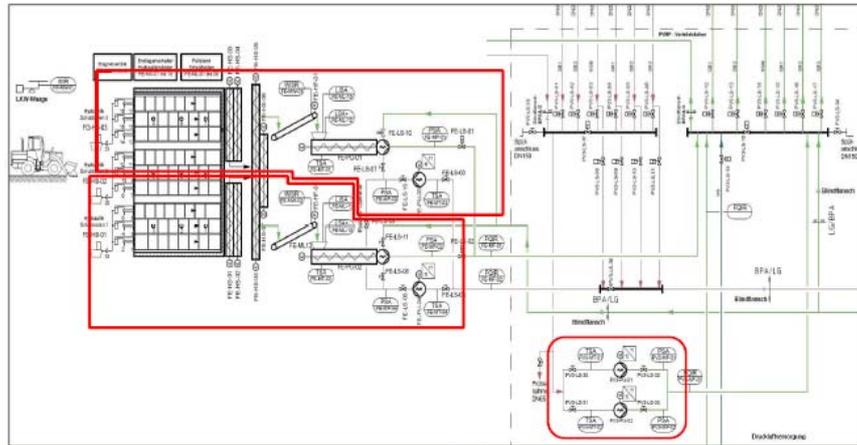


12

DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (3/7)

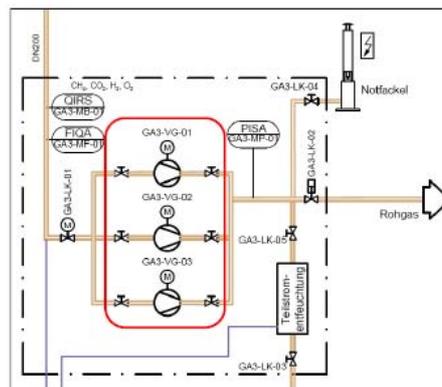
- Redundante Ausführung der zentralen Anlagentechnik
 - Feststoffeintragssystem und Umwälzpumpen: 2 x 100%



DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (4/7)

- Redundante Ausführung der zentralen Anlagentechnik
 - Feststoffeintragssystem und Umwälzpumpen: 2 x 100%
 - Rohgasgebläse: 3 x 50%



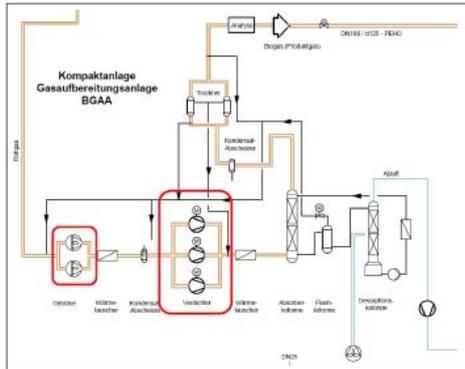
14

DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (5/7)

■ **Redundante Ausführung der zentralen Anlagentechnik**

- Feststoffeintragssystem und Umwälzpumpen: 2 x 100%
- Rohgasgebläse: 3 x 50%
- Aufbereitungsanlage DWW Fa. Malmberg GR 14XL (Hauptverdichter: 3 x 50%)



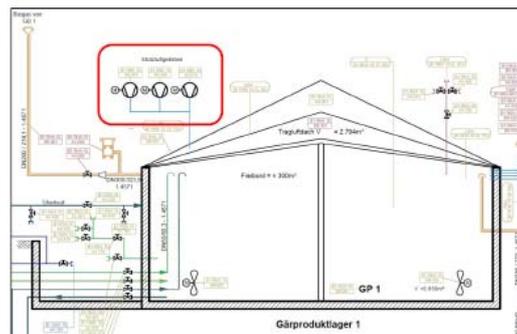
15

DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (6/7)

■ **Redundante Ausführung der zentralen Anlagentechnik**

- Feststoffeintragssystem und Umwälzpumpen: 2 x 100%
- Rohgasgebläse: 3 x 50%
- Aufbereitungsanlage DWW Fa. Malmberg GR 14XL (Hauptverdichter: 3 x 50%)
- Stützluftgebläse der Tragluftdächer: 3 x 50%



16

DREWAGNETZ

5. Erfahrungen aus Planung und Errichtung (7/7)

■ Einsatz hochwertiger Materialien und Produkte

- Gas- und Substrateleitungen aus Edelstahl (oberirdisch) oder PEHD (unterirdisch)
- Einsatz Aggregate namhafter Hersteller mit Erfahrung in Biogasanlagenbereich z.B. Rührwerke von PRG und KSB, Substratpumpen ausschließlich Exzentrerschneckenpumpen von Fa. Wangen



17

DREWAGNETZ

6. Erste Betriebserfahrungen

■ Inbetriebnahme:

- 6 Monate sind für Inbetriebnahme einschließlich Probebetrieb mindestens einzuplanen
- Umfangreiche Anpassungen und Optimierungen in der Warminbetriebnahme notwendig (Bereitschaftszeiten in Größenordnung)
- Das Zusammenwirken von Biogasaufbereitungsanlage und Bioerdgaseinspeiseanlage funktionierte nahezu reibungslos (die Grundlage dafür wurde in der Planung gelegt)

■ Volllastbetrieb (Status Quo nach 6 Monaten):

- Das gewählte Anlagenkonzept hat sich bewährt
 - die Redundanzen im Bereich Feststoffeintrag und Gasverdichtung sichern den nahezu unterbrechungsfreien Anlagenbetrieb
 - Arbeitsverfügbarkeit liegt bei über 93 %
 - Kein Wärmebedarf zur Fermenterbeheizung über die Winterperiode 2011-2012
- Stabile Biogaserzeugung bei sinkendem spezifischen Substrateinsatz (derzeit ca. 10% unter Auslegungswert)
- Der elektrische Eigenbedarf der Anlage liegt mit 0,42 kWh_{el}/(Nm³ Rohbiogas) leicht unter dem Erwartungswert

18

DREWAGNETZ

7. Zusammenfassung

7 Thesen aus der rückblickenden Betrachtung des Projektes:

1. Der Anlagenstandort ist kritischer als die Substratakquise
2. Ein im BImSchG- und Bauplanungsrecht erfahrener Planer ist zwingend erforderlich
3. Es ist mit Widerspruch aus der Bevölkerung zu rechnen
4. Die Verhandlung des Netzanschlussvertrags sowie der Ein-/Ausspeiseverträge nur in Begleitung durch auf das Energierecht spezialisierte Juristen
5. Für größere Biogasanlagen sind insbesondere Hochbehälterkonzepte wirtschaftlich
6. Ein schlüssiges Redundanzkonzept sichert hohe Anlagenverfügbarkeit
7. Industrie trifft auf Landwirtschaft

19

DREWAGNETZ

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dipl.-Ing. Thomas Dautert
Abteilung Projektmanagement

DREWAG NETZ GmbH
Rosenstr. 32, 01067 Dresden
Tel.: +49 351 2 05 85 4705
Fax.: +49 351 2 05 85 4704

E-Mail: Thomas_Dautert@drewag-netz.de
Internet: <http://www.drewag-netz.de>



DREWAGNETZ

Abfallvergärungsanlagen in Schweden

(Ingmar Schüßler, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås)

1. Abfallvergärung im Kontext des Abfallmanagements

Der Vergärungsprozess nimmt eine bedeutende Rolle im schwedischen Abfallmanagement ein und ist darüber hinaus für einen Großteil der Biogasproduktion des Landes verantwortlich. Zwar liefert die klassische Energierückgewinnung in Abfallverbrennungsanlagen, nach absoluten Zahlen betrachtet, noch immer einen um Größenordnungen höheren Versorgungsbeitrag, stellt diese Energie jedoch vorrangig als Wärme zur Verfügung (alle schwedischen Abfallverbrennungsanlagen sind als KWK-Anlagen konzipiert, 2010 lag dabei das Verhältnis Strom zu Wärme im Bereich 1:7 [1]). Die Abfallvergärung leistet dagegen einen Beitrag zur Versorgung des Transportsektors und ermöglicht zusätzlich die Rückführung wichtiger Nährstoffe in den landwirtschaftlichen Kreislauf.



Abb. 1 Kette der Abfallvergärung: Bioabfall - Biogasreaktor – Tankstelle und Gärrestnutzung (Bildquellen: Borås Energi och Miljö (a), NSR (b) und BIOENERGIPORTALEN.SE (c, d))

Das Potential der Abfallvergärung wird dabei begrenzt durch technische und ökonomische Zwänge. Für die Bestimmung und Beurteilung dieser Grenzen ist es erforderlich, die Menge an biologisch abbaubaren Abfall sowie dessen Zugänglichkeit und Reinheitsgrad zu ermitteln. Letzterer bestimmt vor allem den technischen und ökonomischen Aufwand für die Aufbereitung anfallender Abfallströme zu einem anwendbaren Substrat.

Betrachtet man die schwedische Abfallstatistik so ist der Hauptabfallverursacher der Bergbausektor (ca. 60% von 98 Mio. t in 2008). Die restliche Menge verteilt sich auf Industrie- (35%) und Siedlungsabfall (5%), wobei letzterer den Abfall aus Haushalten und vergleichbaren Einrichtungen (Restaurants, Geschäfte, usw.) bezeichnet [2]. Große Teile der Bergbau- und Industrieabfälle sind weder für das Materialrecycling noch für die Energierückgewinnung geeignet und werden (oft direkt vor Ort) deponiert. Andere Abfallmengen wie beispielsweise Reststoffe aus der Papier- und Zellstoffindustrie werden ebenfalls direkt vor Ort behandelt und/oder energetisch genutzt. Als mögliches Substrat für die Abfallvergärung eignet sich somit nur eine moderate Menge an Restabfällen aus der Lebensmittelindustrie, der Landwirtschaft und den Haushalten. Im Gegensatz zu den Abfällen aus Industrie und verarbeitenden Gewerbe sind die verwertbaren Ströme aus den Haushalten jedoch typischerweise durchmischt mit nicht verwertbaren Fraktionen und erfordern daher eine je nach Vorsortierung angepasste und aufwendige Aufbereitung.

Um einen Anreiz für die Nutzung dieser Anteile des Haushaltsabfalls zu schaffen sowie zur Steuerung der biologischen Abfallbehandlung im Allgemeinen, werden internationale und nationale Steuerinstrumente angewendet. Wichtige schwedische Umweltziele [3], welche die Entwicklung der Abfallvergärung beeinflussten, waren beispielsweise die Ziele Recycling im Siedlungsabfall (50% für Materialrecycling und biologische Behandlung in 2010) und biologischer Behandlungsquoten (35% der Lebensmittelreste aus den Haushalten in 2010). Um diese Ziele zu erreichen, wurde auf verschiedene Steuerinstrumente gesetzt, angefangen vom Deponieverbot für organischen Abfall, über eine Deponierungs- oder Verbrennungssteuer bis zu finanziellen Anreizen und Vergünstigen wie Steuerbefreiung, Investitionszulagen oder Stromzertifikate für erneuerbare Energien.

Neben den Steuerinstrumenten beeinflussen natürlich auch generelle Entwicklungen im Marktumfeld die Investitionschancen in der Abfallvergärung, beispielsweise über die Entwicklung des Strompreises, die Qualität und Quantität der zugänglichen Substrate, Absatzmöglichkeiten für den Gärrest oder den Zugang zu einem Erdgasabsatzmarkt (zentrales Versorgungsnetz, Transportsektor).

2. Technik der Abfallvergärung

Der Abfallvergärungsprozess lässt sich in die Schritte Substratwahl, Substrataufbereitung, Biogasproduktion sowie Produkthanwendung einteilen. Der Substrataufbereitung kommt dabei eine weitaus gewichtigere Rolle zu als bei anderen Vergärungsanlagen.

Substratwahl

In der Substratwahl gilt es eine Reihe von Punkten zu beachten, die vorrangig die zwei wichtigen Evaluierungskriterien Biogasproduktion und Gärrestqualität beeinflussen. Nicht immer sind beide Kriterien in Einklang zu bringen, die Wahl eines bestimmten Substrates kann beispielsweise die Gasproduktion erhöhen, die Absatzfähigkeit des Gärrestes jedoch unmöglich oder nur unter großen technischen und finanziellen Aufwand möglich machen. Wichtig für Planung und Betrieb sind daher Kenntnisse über Verfügbarkeit und Qualität möglicher Substrate (TS/oTS-Gehalt, Nährstoffzusammensetzung, Abbaufähigkeit und Gasausbeute), über die erforderlichen Aufbereitungsschritte dieser Substrate (Risiken für mechanische oder mikrobiologische Probleme) sowie über Erfordernisse und Möglichkeiten bei der Kombination verschiedener Substrate (Frischwasserbedarf, thermische/chemische Vorbehandlung, Biogasprozess).

Substrataufbereitung

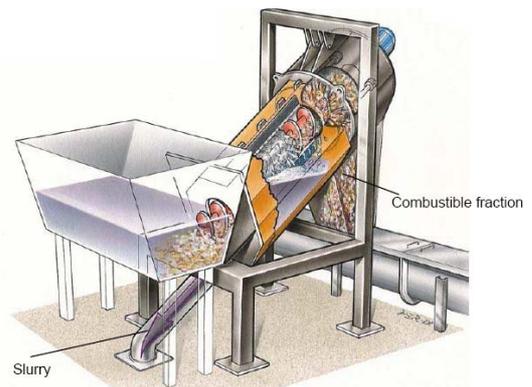
Die Substrataufbereitung dient der Herstellung eines Ausgangsmaterials welches problemfrei dem Biogasreaktor zugeführt und in ihm vergärt werden kann. Desweiteren werden Aufbereitungsprozesse angewendet, um die Gasausbeute zu erhöhen, die Vergärung zu beschleunigen, die Gärrestqualität zu verbessern oder ganz einfach rechtlichen Vorgaben zu entsprechen.

Ein erster Schritt in der Aufbereitung ist die Entfernung von biologisch nicht abbaubaren Anteilen aus dem Siedlungsabfall. Die Trennung von unsortierten Siedlungsabfall ist möglich, jedoch hilft eine in den Haushalten erfolgte Vorsortierung

deutlich, den erforderlichen technischen Aufwand und damit die Entsorgungskosten zu senken.

Bei der haushaltsnahen Abfalltrennung sind unterschiedliche Sammelsysteme im Einsatz. Die Systeme der getrennten sowie der Mehrbehältertonnen stellen für den biologischen Abfall jeweils einen eigenen Sammelbehälter bereit. Sie erfordert daher auch die getrennte Einsammlung bzw. Entsorgungsfahrzeuge mit abgetrennten Ladeflächen. Das System der optischen Sortierung erfordert dagegen nur einen Sammelbehälter, in dem biologischer und brennbarer Abfall zusammen entsorgt werden können. Die Trennung der Fraktionen erfolgt nachfolgend in einer zentralen Anlage aufgrund der unterschiedlichen Färbung der Abfallsäcke.

Der vorsortierte Haushaltsabfall wird im Folgenden weiteren Prozessschritten unterzogen, um das Substrat zu homogenisieren und unerwünschte Inhaltsstoffe zu entfernen. Hauptsächlich wird dabei auf mechanische und physikalische Methoden gesetzt. Magnet- und Wirbelstromabscheider entfernen Metalle aus dem Abfall, die schlussendliche Abscheidung der biologisch nicht abbaubaren Fraktionen wird beispielsweise über Trommelsiebe (Grobabscheidung) und Schneckenextruder (nach Zerkleinerung und Verdünnung) vollzogen.



**Abb. 2 Schneckenextruder
(Bildquelle Sysav Biotec)**

Ein weiterer wichtiger Vorbereitungsschritt ist die sogenannte Hygienisierung, welche für bestimmte Abfallströme (z.B. tierische Nebenprodukte) rechtlich vorgeschrieben ist. Ein typischer Hygienisierungsprozess ist, den Abfall für eine Dauer von einer Stunde auf eine Temperatur von 70°C zu erwärmen und dabei die Abtötung bzw. Reduzierung der pathogenen Mikroorganismen zu erreichen. Die Hygienisierung kann dem Biogasprozess auch nachgeschaltet sein oder im Reaktor selbst stattfinden, jedoch bietet die Vorschaltung den Vorteil, dass nicht das gesamte Substrat dem Prozess unterzogen werden muss. Desweiteren werden der thermischen Vorbehandlung für bestimmte Substrate auch positive Effekte in Hinblick auf eine Erhöhung der Gasausbeute im Biogasreaktor zugeschrieben.

Biogasproduktion

Bei der Biogasproduktion erfolgt neben der Unterscheidung nach Verfahrensstufe und Substratfeuchte die Einteilung der Technologien üblicherweise aufgrund der verwendeten Bakterienspezies in mesophile (Temperaturniveau üblicherweise ca. 35-37°C) und thermophile (50-55°C) Vergärung. Beide Reaktortypen werden in den schwedischen Abfallvergärungsanlagen eingesetzt. Der thermophile Prozess erreicht dabei eine höhere Gasausbeute, wird aber als weniger stabil angesehen und erfordert außerdem einen höheren Prozesswärmebedarf. Dieser kann entweder intern durch die Verbrennung eines Teils des Biogases oder durch externe Wärmezufuhr (Abwärme BHKW oder andere Quellen) gedeckt werden. Für die Abfallvergärung kann der thermophile Prozess aber auch vom Vorteil sein, da er unter gewissen Voraussetzungen (Temperaturniveau, Verweilzeit) bereits den rechtlichen Anforderungen an die Hygienisierung entspricht und somit einen vor- oder nachgeschalteten Prozessschritt ersetzen würde.

Produktanwendung

Die geplante Produkthanwendung bestimmt die Anforderungen an die Gas- und Gärrestqualität und somit die eingesetzten Prozesstechnologien. Übliche Gasanwendungen sind Wärme- und/oder Stromproduktion sowie die Biogasaufbereitung zu Erdgasqualität (SNG Synthetic Natural Gas). In der gleichen Reihenfolge steigen auch die Anforderungen an die Rohgasaufbereitung, angefangen von der Entfernung von Wasserdampf und Schwefelwasserstoff (H_2S) bis zur Entfernung von Kohlendioxid (CO_2) in der Aufbereitung zu Erdgasqualität.

Die Entfernung von Wasserdampf wird üblicherweise durch Gaskühlung und Kompression erreicht. Für die H_2S -Entfernung kommen typischerweise eigenständige Prozesse (z.B. Adsorption an Aktivkohle) oder bereits in die Biogasproduktion integrierte Prozesse zum Einsatz (Zusatz von Fe^{2+} oder Fe^{3+} Ionen, Zusatz einer kleinen Menge Sauerstoff/Luft), wobei die Luftzugabe eher hinderlich ist, wenn eine Umwandlung zu SNG angestrebt wird. Bei bestimmten CO_2 -Abscheidetechnologien kann die H_2S -Entfernung auch direkt integriert werden [4].

Die an den schwedischen Vergärungsanlagen im Einsatz befindlichen SNG-Aufbereitungsanlagen bedienen sich den Prinzipien der Adsorption (Druckwechsel-Adsorption) und Absorption (Druckwasserwäsche und chemische Wäsche).

In der Druckwechsel-Adsorption (PSA Pressure Swing Adsorption) nutzt man das unterschiedliche Adsorptionsverhalten von Kohlendioxid und Methan an porösen Feststoffen wie Zeolithe oder Aktivkohle (Adsorbens). Beim Durchströmen einer mit Adsorbens gefüllten Reaktorsäule wird das CO_2 aus dem komprimierten Biogases adsorbiert, die Regeneration des Adsorbens erfolgt nachfolgend durch stufenweises Absenken des Druckes. Die Verwendung mehrerer Säulen ermöglicht eine kontinuierliche Aufbereitung sowie die Erzeugung der erforderlichen Gasqualität.

Die Druckwasserwäsche ist das am weitesten verbreitete Verfahren und nutzt die Druck- und Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von CO_2 in Wasser aus. Das komprimierte und gekühlte Rohgas strömt durch eine mit Füllkörpern gefüllte Absorbersäule, während das im Gegenstrom rieselnde Wasser das CO_2 aus dem Gas entfernt. Die Regeneration des Wassers erfolgt typischerweise wiederum in zwei Druckstufen. Durch die Druckwasserwäsche wird ebenso Schwefelwasserstoff aus dem Gas entfernt, auf einen eigenständigen Prozess könnte somit verzichtet werden.

In Aufbereitungsanlagen mit chemischer Wäsche strömt das Biogas gleich der Druckwasserwäsche durch eine Absorbersäule, im Gegenstrom bewegt sich jedoch eine Aminlösung, welche das CO_2 chemisch absorbiert. Die Regeneration der Aminlösung erfolgt durch Erhitzen, wodurch CO_2 und Amin wieder getrennt werden. Im Gegensatz zu den beiden anderen Aufbereitungstechnologien benötigt die Aminwäsche keine Druckaufladung, erfordert dagegen aber eine umfangreiche Wärmezufuhr für die Regeneration.

Neben den etablierten Verfahren werden auch neue Verfahrenstechnologien erprobt, derzeit im Bau befindet sich beispielsweise eine Anlage basierend auf kryogener Biogasaufbereitung. Im kryogenen Prozess werden die unterschiedlichen Siede- und Sublimationstemperaturen der Gasbestandteile ausgenutzt, die Trennung von CO_2 und Methan erfolgt bei hohem Druck und tiefer Temperatur. Die Technologie erfordert zwar einen hohen Energieaufwand, bietet aber auch die Möglichkeit einer Aufbereitung von Deponiegas sowie die gleichzeitige Umwandlung in Flüssiggas.

Da die Gärrestqualität hauptsächlich durch die Auswahl der Substrate und die Steuerung des Biogasprozesses bestimmt wird, beschränken sich eventuelle Aufbereitungsschritte derzeit noch auf den Entwässerungsprozess. Eine Entwässerung

des Gärrestes kann vom Vorteil sein, falls eine längere Speicherung notwendig ist oder lange Transportwege überbrückt werden müssen. Angewendete Technologien zur Entwässerung sind typischerweise mechanischen Ursprungs (Pressen, Siebe, Zentrifugen), teilweise unterstützt durch den Zusatz von Chemikalien zur Verbesserung der Trennungseffektivität.

3. Derzeitiger Stand der Abfallvergärung

Entwicklung der biologischen Abfallbehandlung

Ein effektives Konzept des Siedlungsabfallmanagements ist der Schlüssel für die Maximierung der Biogasausbeute aus der Abfallvergärung. Wie sich das Abfallmanagement in den letzten Jahren entwickelt hat ist in Abb. 3 dargestellt [1]. Deutlich zu erkennen sind die positiven Entwicklungen bei der Deponierung, im Materialrecycling, der biologischen Behandlung und der Energierückgewinnung. Die behandelte Abfallmenge der drei letzteren Verwertungswege stieg dabei zwischen 2000 und 2010 jeweils um ca. 45 Prozent.

Von den knapp 4,4 Millionen Tonnen Siedlungsabfall im Jahr 2010 wurden 13,5 Prozent bzw. 62,4 kg pro Person in Biogasanlagen (anaerobe Vergärung) oder Kompostieranlagen (aerob) biologisch behandelt, um damit Energie und/oder Nährstoffe zurück zu gewinnen. Die Steigerung ist unter anderem auf den Ausbau der Abfalltrennung zurückzuführen. Von den 290 schwedischen Kommunen haben inzwischen 163 ein Sammelsystem zur getrennten Erfassung von Lebensmittelresten aus Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen eingeführt. Weitere 70 Kommunen sind damit in der Planung. Am häufigsten werden Systeme mit getrennten Tonnen eingesetzt, jedoch sind ebenso Mehrbehältertonnen sowie Systeme mit optischer Sortierung anzutreffen.

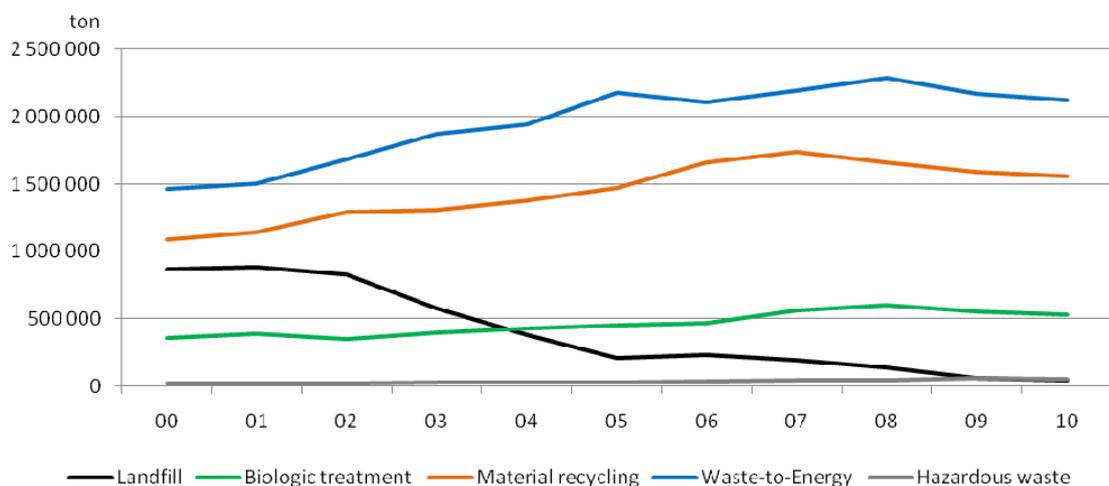


Abb. 3 Entwicklung des Siedlungsabfallmanagements zwischen 2000 und 2010

Durch die verstärkte Fokussierung auf eine adäquate Abfalltrennung sowie die Einführung dazu geeigneter Sammelsysteme konnte die behandelte Menge an Lebensmittelresten in den zurückliegenden Jahren deutlich gesteigert werden (Abb. 4). Allein zwischen 2009 und 2010 erhöhte sich die eingesammelte und biologisch behandelte Menge an Lebensmittelresten um knapp 20 Prozent. Trotzdem existieren noch immer Steigerungsmöglichkeiten, denn gemäß durchgeführter Berechnungen (auf Basis von Abfalluntersuchungen) entspricht die behandelte Menge nur einem

Anteil von 24 Prozent der insgesamt anfallenden Lebensmittelreste. Eine Steigerung ist einerseits möglich durch Verbesserungen in der Abfalltrennung in Kommunen mit bestehenden Sammelsystemen sowie andererseits durch die Erhöhung der Anzahl der Kommunen mit solchen Sammelsystemen. Hinsichtlich der für die nächsten Jahre prognostizierbaren Entwicklung ist aber natürlich ebenso zu berücksichtigen, dass ein ausgewiesenes Umweltziel die generelle Senkung der Lebensmittelabfallmenge ist (unnötig weggeworfene Lebensmittel).

Wie sich das Verhältnis von Kompostierung und Biogasnutzung über die Jahre verändert hat, wird ebenso in Abb. 4 deutlich. Während die behandelte Abfallmenge in den Kompostieranlagen weitgehend stagniert, ist die Steigerung der biologischen Abfallbehandlung vorrangig auf die erhöhte Anwendung der Abfallvergärung zurückzuführen. Die Zahlenwerte in Abb. 4 beschreiben dabei jeweils die Gesamtmenge des an den Anlagen der Entsorgungswirtschaft verwerteten Siedlungsabfalls ergänzt um biologisch abbaubaren Abfall aus Industrie und Landwirtschaft.

	2006	2007	2008	2009	2010
Anaerobe Behandlung (t)	283 730	356 090	405 580	535 930	661 620
Aerobe Behandlung (t)	452 390	515 290	568 700	630 500	566 210
Davon					
Lebensmittelabfälle (t)	134 990	166 810	162 680	178 770	214 230
Siedlungsabfälle gesamt (t)	469 880	561 300	597 280	617 680	587 170

Abb. 4 Übersicht über die Entwicklung der biologischen Abfallbehandlung

Biogaserzeugung

Die in Abb. 4 aufgeführte Abfallmenge wird in 18 Abfallvergärungsanlagen verwertet, wovon 11 Anlagen mesophil und 7 Anlagen thermophil betrieben werden. Die Anlagenzahl selbst ist einer stetigen Veränderung unterzogen, einerseits durch Neubauten, andererseits aber auch durch eventuelle Neuklassifizierungen, beispielsweise zwischen Abfall- und Klärschlammvergärungsanlagen.

Schaut man auf die Substratwahl dieser 18 Anlagen, dann stellen Lebensmittelabfälle fast die Hälfte des Ausgangsmaterials, wenn man den Abfällen der Haushalte noch jene aus Schlachthöfen und der Lebensmittelindustrie zurechnet [5]. Ein zweites großes Kontingent von 23 Prozent ist dem Substrat Gülle/Mist zuzuordnen. Da die Zahlen jeweils für das Nassgewicht gelten, ist natürlich der Anteil der Lebensmittelabfälle bezogen auf die zugeführte Trockenmasse noch weit bedeutender. Die gesamte Anteilsverteilung für die Abfallvergärungsanlagen ist in Abb. 5 dargestellt, oftmals wird in diesem Zusammenhang deshalb auch von Co-Vergärungsanlagen gesprochen.

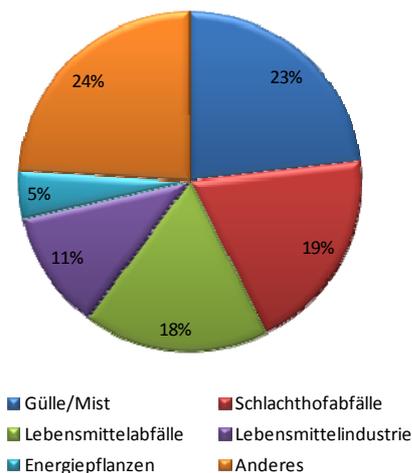


Abb. 5 Substratzusammensetzung der Abfallvergärungsanlagen

Neben den so klassifizierten Abfallvergärungsanlagen werden Bioabfälle als Substrat aber ebenso auch in weiteren Anlagen verwendet, welche nach ihrer Vorrangigkeit

Verwendung eingestuft sind als Vergärungsanlagen an Klärwerken, in der Industrie oder Landwirtschaft. Von Bedeutung sind dabei vor allem die Biogasanlagen an Klärwerken, in denen hinsichtlich der absoluten Zahlen ebenso viel Abfälle aus der Lebensmittelindustrie sowie fast die Hälfte der biologischen Haushaltsabfälle verwendet werden wie in den Abfallvergärungsanlagen.

In Anlagen auf landwirtschaftlichen Höfen werden neben dem Hauptsubstrat Gülle/Mist nur kleinere Mengen an Lebensmittelabfällen verwertet, wogegen die Industrieanlagen ausschließlich eigene Abfälle und Klärschlämme verwenden. Eine weitere Quelle der

Vergärung von biologisch abbaubaren Abfall sind Anlagen auf Deponien. Eine Angabe der Substrate ist dort natürlich nicht mehr möglich, im Zuge des Deponieverbots vom organischen Abfall ist die Gasproduktion ebenso seit Jahren rückläufig.

Die Standorte der Abfallvergärungsanlagen sind in Abb. 6 dargestellt. Hinsichtlich der gesamten Biogasproduktion aller Anlagen wurden für das Jahr 2010 folgende Zahlen gemeldet [5]:



Abb. 6 Standorte Abfallvergärung [6]

- 614 GWh in 135 Anlagen an Klärwerken
- 344 GWh in 18 Abfallvergärungsanlagen
- 298 GWh in 57 Deponieanlagen
- 114 GWh in 5 Industrieanlagen
- 16 GWh in 14 landwirtschaftlichen Anlagen

Die Energiewerte entsprechen dabei den Mengen aus der Gasanwendung, d.h. den vom Eigenverbrauch und Umwandlungsverlusten befreiten Produktionszahlen. Die Werte verdeutlichen die Bedeutung der Abfallvergärung. Ein Viertel der Biogasproduktion erfolgt direkt in den nur 18 Abfallvergärungsanlagen, zusätzlich basiert ebenso ein Großteil der Produktion in Klärwerks- und Deponieanlagen auf der Vergärung dieser Bioabfälle.

Produktanwendung

Die Verwendung des Biogases wird von mehreren Faktoren bestimmt, unter anderem von der Größe der Anlage, der Qualität des Rohbiogases, dem eventuellen Zugang zu einem Versorgungsnetz und natürlich vor allem vom erzielbaren Entgelt für das Produkt.

Betrachtet man die Entwicklung der Gasverwendung an den schwedischen Anlagen über die letzten Jahre, dann wird die Verschiebung der Gewichtung deutlich [5]. Während sich seit 2005 die Nutzung des Gases zur Strom- und Wärmeproduktion auf konstantem Niveau hält bzw. sinkend verläuft, zeigt die Biogasaufbereitung zu SNG Zuwachsraten von ca. 100 GWh pro Jahr. Somit ist zwischen 2005 und 2010 die Aufbereitung von 112 GWh auf 608,5 GWh gestiegen. Sie ist damit das erste Mal der größte Anwendungsbereich noch vor der Wärmeproduktion. Die aufbereitete Biogasmenge verteilt sich nahezu paritätisch auf Abfallvergärungs- und Klärwerksanlagen, womit daher in den Abfallvergärungsanlagen das Biogas fast

vollständig zur SNG umgewandelt wird. Mit einem Zuwachs von 9 Anlagen in 2010 stieg die Zahl an Biogasaufbereitungsanlagen auf insgesamt 47. Die Mehrzahl der Anlagen basiert auf der Technik der Druckwasserwäsche (33 Stück), jeweils 7 Anlagen bedienen sich der Druckwechseladsorption (PSA) bzw. einer chemischen Wäsche.

Abb. 7 gibt einen Überblick der Gasnutzung im Jahr 2010 für alle Anlagen bzw. für die Abfallvergärungsanlagen im Speziellen.

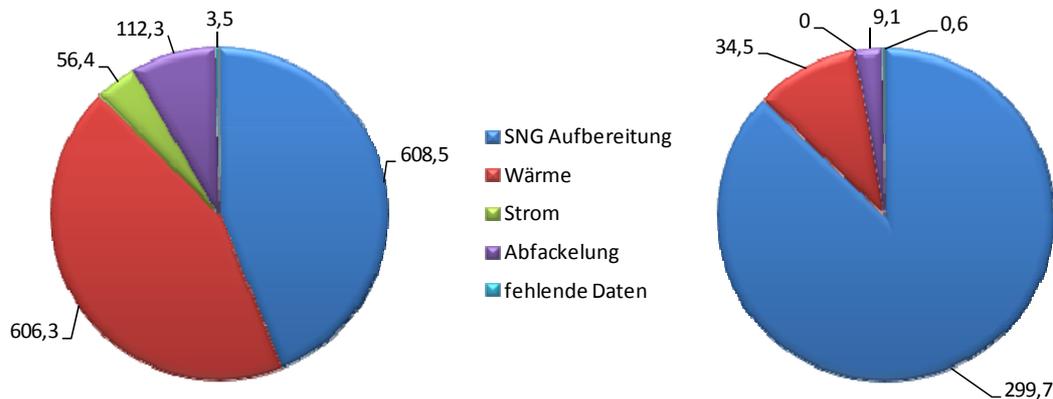


Abb. 7 Biogasverwendung 2010 in GWh: Alle Anlagen (links), Abfallvergärungsanlagen (rechts)

Neben den Klärwerksanlagen sind die Deponieanlagen die bedeutendste Quelle für die Strom- und Wärmeproduktion in Größenordnung von jeweils 19-20 GWh_{el} und 230-240 GWh_{th}. Die Anlagen in der Industrie und Landwirtschaft werden ebenso fast ausschließlich für die Strom- und Wärmeproduktion genutzt.

Um dem höheren Klimapotential von Methan zu begegnen wird das Biogas abgefackelt, wenn die aktuelle Produktion die Anwendungskapazitäten übersteigt, wie beispielsweise im Falle eines BHKW-Ausfalls oder bei fehlendem SNG-Absatz. Abhilfe bei letzterem Punkt kann der Zugang zu einem Erdgasnetz schaffen, jedoch existiert ein solches zentrales Netz nur an der Westküste Südschwedens. An dieses Netz sind 8 der 47 Aufbereitungsanlagen angeschlossen mit einer Einspeisekapazität von maximal 223 GWh. Die restlichen Aufbereitungsanlagen speisen entweder in ein lokales Gasnetz oder direkt an Tankstellen ein.

Ob zentrale Einspeisung oder lokale Nutzung, der Großteil des aufbereiteten Biogases (94%) wird als Treibstoff für Fahrzeuge verwendet. Mit Stand Ende 2011 waren 132 öffentliche Erdgas-Tankstellen zugänglich, an welchen das aufbereitete Biogas den entsprechenden Anteil an Erdgas ersetzt. Zusätzlich existieren daneben noch eine Reihe nicht-öffentlicher Tankstellen, hauptsächlich für Busse und LKW des ÖPNV sowie der Versorgungsbetriebe.

Neben der Gasnutzung kann der Gärrest der Biogasanlagen unter gewissen Voraussetzungen (Schadstoffbelastung als limitierender Punkt) als Dünger verwendet werden und so einen Teil des künstlichen Düngerverbrauchs ersetzen. In 2010 wurden so knapp 777 Tsd. Tonnen Biodünger auf die Felder verbracht, wobei der Anteil der Abfallvergärungsanlagen bei ca. 565 Tsd. Tonnen lag. Das entsprach einer Verwendungsquote von über 90 Prozent des anfallenden Gärrestes von Abfallbiogasanlagen. Im Gegensatz dazu ist die Verwendungsquote des Gärrestes der Klärwerksanlagen aufgrund der oftmals zu hohen Schadstoffbelastung kleiner als

25 Prozent. Die Sicherstellung der Düngerqualität des Gärrestes wird beispielsweise durch die freiwilligen Zertifizierungssysteme SPCR 120 (Abfallvergärung, z.Z. 10 Anlagen) und REVAQ (Kläranlagen, z.Z. 27 Anlagen) gewährleistet, welche Anforderungen an Substrat, Prozess, Dokumentierung, Routinen und Produktanwendung stellen.



Abb. 8 Links: SNG-betriebenes Entsorgungsfahrzeug (Bildquelle Borås Energi och Miljö), Rechts: Gärrestausbringung (Bildquelle NSR)

4. Herausforderungen der Abfallvergärung

Die Abfallvergärung als Entsorgungsprozess muss am Markt selbstverständlich wirtschaftlich konkurrieren mit anderen Technologien der Energie- und Entsorgungswirtschaft. Als größte Hindernisse für die Planung und den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen werden von den Akteuren der Mangel an langfristigen Spielregeln (Abfallmanagement, Klimaziele, Steuern, Boni etc.) sowie die nicht vorhersehbare Preisentwicklung für die Produkte Strom, Wärme, SNG oder Dünger angesehen. Während der erste Punkt vorrangig über politische Entscheidungen bestimmt wird, kann die Lösung für Letzteres nur sein, den Prozess der Abfallvergärung im Fokus des Systemgedankens weiter zu optimieren.

Neue einfachere Technologien bzw. eine Optimierung bestehender Lösungen können bei der Senkung von Investitions- und Betriebskosten helfen. Ein besseres Substratverständnis, zusätzliche Substrate, neue bzw. die Optimierung bestehender Vorbehandlungsprozesse sowie die weitere Verbesserung der Abfalltrennung tragen ihrerseits zur quantitativen und qualitativen Erhöhung der Biogasausbeute bei. Die Verbesserung der Sortierqualität bereits in den Haushalten vermindert außerdem den Aufwand in der Substratvorbereitung.

Stetige Qualitätskontrollen der Abfallströme sowie ein kontinuierlicher Information- und Kommunikationsaustausch mit der Bevölkerung helfen bei der Umsetzung der Ziele zur Abfalltrennung und Sortierqualität.

Zur Steigerung der Gärrestqualität tragen eventuelle neue Aufbereitungstechnologien sowie ein besseres Substratverständnis bei. Stetige Qualitätskontrollen sowie verstärkte Informationen und Aufklärung der Kunden helfen Vertrauen aufzubauen und den Wert des Gärrestes als Dünger zu erhöhen.

Neben diesen allgemein gültigen Lösungsansätzen hinsichtlich der Prozessoptimierung gilt es natürlich bei Planung und Betrieb auch auf die lokalen Gegebenheiten zu achten. Wie ist der Zugang zu Substraten (Haushalte, Industrie)? Gibt es eine Anschlussmöglichkeit an ein lokales oder zentrales Gasnetz? Wie weit ist der Transportweg bis zum nächsten Absatzmarkt für den Gärrest? Das sind nur ein paar

Beispiele für lokale Fragen, die über die Wirtschaftlichkeit einer Abfallvergärungsanlage entscheiden.

Quellen:

- [1] AVFALL SVERIGE (2011): Svensk Avfallshantering 2011
- [2] NATURVÅRDSVERKET (2010): Avfall i Sverige 2008. Rapport 6362. ISBN 978-91-620-6362-7
- [3] NATURVÅRDSVERKET (2011): Miljömålen på ny grund. Rapport 6433. ISBN 978-91-620-6433-4
- [4] PETERSSON, A. und WELLINGER, A. (2009): Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA Bioenergy Task 37
- [5] ENERGIGAS SVERIGE (2011): Produktion och användning av biogas år 2010. ES 2011:07. ISSN 1654-7543
- [6] ENERGIGAS SVERIGE: Svenska anläggningar. URL: <http://www.biogasportalen.se/BiogasISverigeOchVarlden/Anlaggningskarta> [Eingesehen am 02.05.2012]

Neuartige Mikroturbinen-Konzepte für schwierige Brennstoffe - eigene Erfahrungen mit extern befeuerter sowie inverser Gasturbine

(Martin Schmid, Ökozentrum Langenbruck)

Neuartige Mikroturbinen-Konzepte für schwierige Brennstoffe eigene Erfahrungen mit extern befeuert sowie inverser Gasturbine

*Martin Schmid, dipl. Masch.-Ing. HTL/FH, Projektleiter
Center of Appropriate Technology and Social Ecology
CATSE, Ökozentrum, Switzerland*

4.5.2012 in Zittau

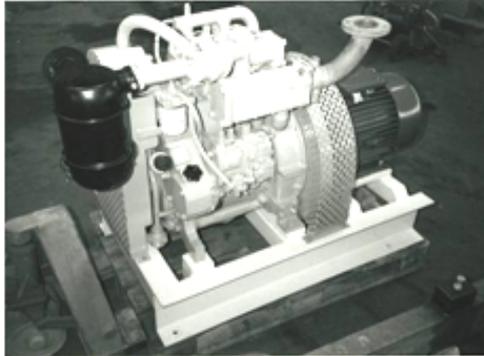
*Wobei „neu“ stark relativiert werden muss:
Die Brennstoffzelle wurde ja auch 1839 erfunden...
Neuer Vorschlag:*

*„In Vergessenheit geraten wegen der scheinbar
unendlichen Verfügbarkeit von einfacher
handhabbaren Brennstoffen sowie durch die
Konzentration auf Grosskraftwerke und
thermodynamische Effizienz“*

2

WKK-Technik-Entwicklung am Ökozentrum Langenbruck:

1983 – 11 kWe Diesel-BHKW mit Partikelfilter und
Jahreswirkungsgrad von 87%



*Bild 2.3.1:
Dieselmotor vor
der Montage*

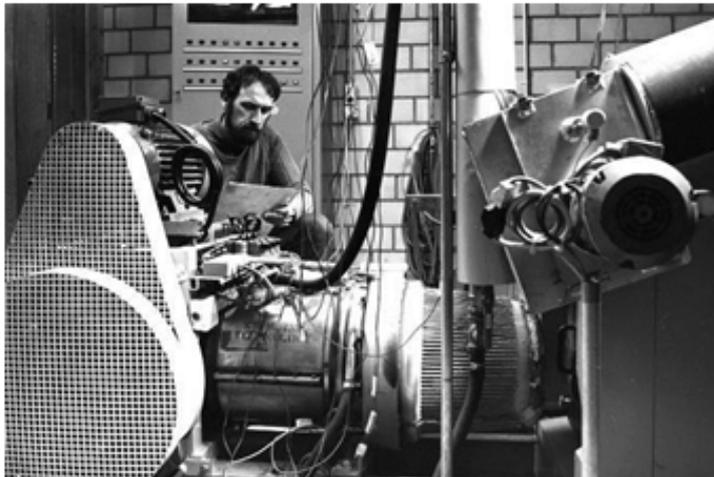


Bild 2.6.1: Partikelfilter



WKK-Technik-Entwicklung am Ökozentrum Langenbruck:

1987 –Holzschnitzel-BHKW mit 3 kWe Stirling-Motor ST05 und 60
kW Kessel Schmid AG, weltweiter Heizkessel mit λ -Sonde



Diverse Brennerentwicklungen für Stirling-Aggregate – Entwicklung des netzgekoppelten Freikolbenmotors

Entwicklung eines Freikolben-Stirling-KWK-Moduls mit den Firmen

WS Wärmeprozess-technik GmbH (D)

SIG AG (CH)

Entwicklung weiterer Brenner auf der Basis der FLOX®-Technologie für niedrigste Emissionen bei hoher Luftvorwärmung.



5

Vertiefte Marktanalyse für Feststoff-Biomasse > 1 MWe 2005 bis 2007

Stichproben, Überprüfung durch Besuche von Firmen oder zumindest der Ankündigung.

Technische und wirtschaftliche Analysen von bestehenden Anlagen und kurz vor der Ausführung stehenden Projekten.

Technologie-Beurteilungen mit Einbezug von Zukunftstrends.

Die Publikation kann bezogen werden on-line auf der Datenbank des Bundesamtes für Energie:

www.bfe.admin.ch -



6

Entwicklung und Betrieb von Abfackelungsanlagen für schwach methanhaltige Gase (Arbeitsbereich 5 bis 50% CH₄ Gehalt, Heizwerte erprobt bis 1.34 MJ/m³_n, 95.4% CO₂)

Pilotanlage für 100m³/h Deponiegas,
Emissionsreduktionsleistung bis zu 3'500 t CO_{2eq} / a
NOx: 2 mg/m³_n ; CO = <10mg/m³_n



7

Einteilung in zwei Marktsegmente

<p>BHKW für Feststoff-Biomasse minderer Qualität: Holz mit hohem Rindenanteil, waldfrisch oder aus Kompostierung, Stroh und andere Reststoffe.</p> <p>Anlagen für mittelständische Unternehmen, Nahwärmenetze – interessanter Markt 25 bis 250 kWe, bis 1000 kW thermisch. Betrieb hauptsächlich wärmegeführt, hohe Verfügbarkeit</p>	<p>Stromerzeugung aus druckloser Abhitze, schwach brennbaren, zündunwilligen Gasen, sowie partikelarmen Prozessabgasen Fokus auf niedrigste spezifische Investitionskosten, möglichst gut skalierbare Technik</p> <p>Anlagen für Mülldeponien, Biogas-Upgrading und Industrieprozesse aller Art Leistung auch unter 100 kW Gasinput interessant „1/2 Capstone C65“</p>
<p>Extern befeuerte Gasturbine EFGT</p>	<p>Inverser Gasturbinen Prozess IGT</p>

8

Externally Fired Gas Turbine (EFGT)

Atmosphärische Verbrennung auf einem Vorschubrost-Feuerung

Trennung von Arbeitsgas und Verbrennungsprozess

Unproblematischer Wärmetauscher: niedriger, konstanter Druck, Gegenstromprinzip, keine geometrischen Restriktionen, druckoffen

Standardised Komponenten vorhanden (Mikroturbine, Rostfeuerung, Entaschung, Abhitzeessel etc.)

Wenig Markterfahrung, 2007 nur ein Produzent weltweit.



9

Dampfprozesse (inkl. ORC) vs. EFGT

Niedriger elektrischer Wirkungsgrad (8 bis 15%)

Höchste Anlagenkomplexität und sehr hohe spezifische Investitionskosten

Druckkessel mit häufiger behördlicher Überwachung

Abwärme liegt bei möglichst tiefer Temperatur vor → Nutzbarkeit?



10

Biomass Gasifier + Engine vs. EFGT

Hohe Ansprüche an Brennstoffqualität
Höchste Anlagenkomplexität mit sehr vielen Nebenaggregaten und Nebenprozessen („Raffinerie“)
Elektrische Effizienz netto ähnlich wie EFGT
Wartungsintensiv, Verfügbarkeit reduziert (3 Tage Revision jeden Monat)

Ansicht Anlage Oberwart (A), 2.4MWe. Die relative Größe der Gasmotoren im roten Rahmen ersichtlich.



11

Stirlingmotor vs. EFGT

Wärmetauscher

- Grosse Fläche bei kleinstem Volumen
- Hoher, schwingender Innendruck
- Hohe Mitteltemperatur und hohe Luftvorwärmung

Wahl zwischen Schmierstoff-freiem Betrieb (nur mit Freikolben möglich) oder extremster Dichtung zwischen Mechanik und Thermodynamik

Hohe Anforderung an Gasdichtheit (Heliumverlust)

Effizienz in der Theorie hoch, in der Praxis tief – effektiv erreichbarer Kreisprozess weit von der Theorie entfernt



Quelle: Bios (A)

12

EFGT, Heissluftturbine

1 Pilotanlage in der Schweiz, 7 in England

75 kWe bei 408 kW Feuerungsleistung (mit Altholz/Siebüberstand, $\eta_e = 18.4\%$);
Turbine erreicht 100 kWe auf Prüfstand (bei 448 kW Feuerungsleistung $\rightarrow \eta_e = 22.3\%$)



Bild: Ökozentrum Langenbruck

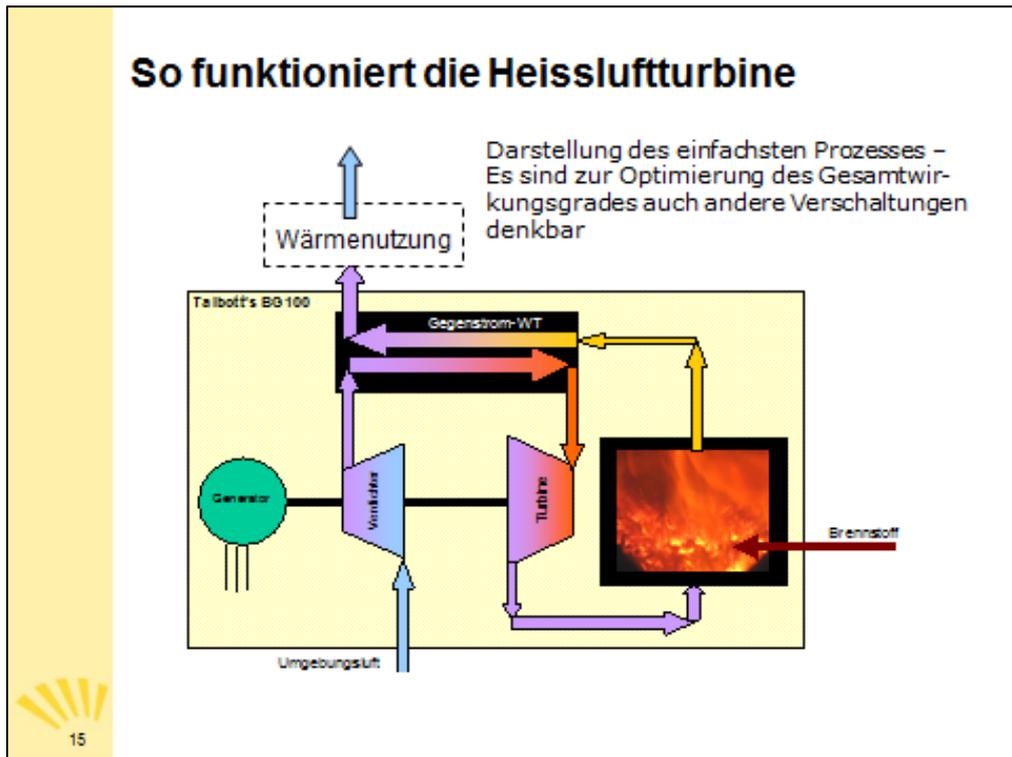
13

Anlage verbrennt so gut wie alles, je nasser, je besser



Versuche mit Siebüberstand aus der
Trockenfementations-Biogasanlage (Kompogas)

14



Fazit nach zwei Jahren Probetrieb

Die Technologie hat sich bestätigt:

- Turbine und Netz-Einspeisung funktionieren und
- haben die Nennleistung (80 kWe) in etwa gezeigt.
- das Wärmetauscher-Material weist noch keine Spuren von Heissgas-Korrosion auf.

Was nicht funktioniert hat oder unbefriedigend war:

- Teile der Steuersoftware und die empfindliche Auslegung
- Brennstoff und Asche-Logistik und
- die Fertigungsqualität...

Die Anlage wurde nach Konzern-Neuorientierung des ersten Kunden verkauft und wird nun von einem Fernwärme-Netzbetreiber in Süddeutschland eingesetzt.

16

Mittlerweile sind auch einige andere Entwicklungen unterwegs

- 1 Projekt in Schweden
- 3 in Deutschland – das erste startete in Rostock, weitere in Bayern
- 2 in Italien – davon 1 in Konkurs und 1 noch an der Uni
- 1 in US
- 1 in der Schweiz – Produkt wird 2012 marktreif
- 1 in England: Produziert seit 2011 wieder, >3 neue Anlagen in Betrieb



17

Talbott's BG 25



18

Schmid AG energy solutions „EFGT 100“

Komplettanlage für 100 kWe, 350 kWth – vom Brennstoff-Input bis und mit E-Filter und Kamin ist seit Herbst 2011 im Dauerbetrieb



Hinweis: Der Vortragende ist weder verwandschaftlich noch wirtschaftlich in Verbindung stehend mit dieser Firma.



19

Inverse Gasturbine !GT

Hier geht es nicht um die elektrische Effizienz, sondern vor allem um die ökonomische Effizienz – Stromerzeugung aus Abhitze, die sonst einfach „zum Kamin hinaus“ geht. Es geht um die Nutzbarkeit kleiner Abhitze-Leistungen – auch unter 100 kW thermisch

Projekt Aactor® !GT®

Projektbeginn 2007



20

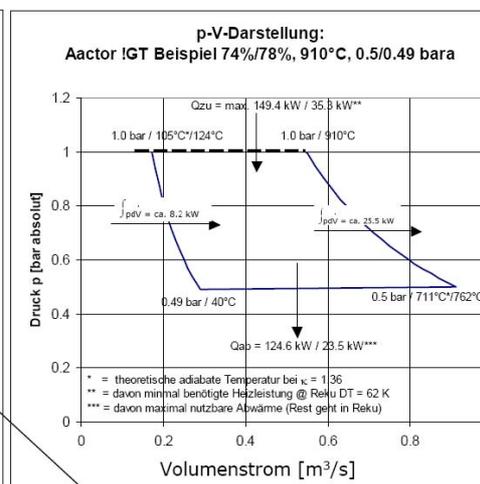
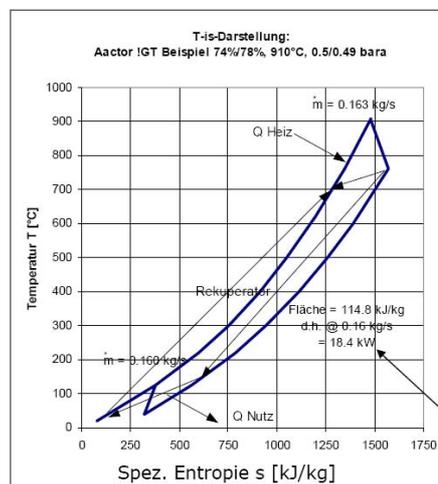
Frage von unseren KMU-Partnern 2006: Gibt es eine ökonomische Lösung um aus Schwachgasen und drucklosen Abgasen Strom zu erzeugen?

- Schwaches Deponiegas (<25% CH₄)
- Offgas von Bio-Methan-Einspeisung (z.B. 7% CH₄ / 93% CO₂)
- **Offgas aus der Pyrolyse**
- Hochtemperatur Abhitze von industriellen Prozessen
- Anoden-Offgas und Reformierabhitze von Hochtemperatur-Brennstoffzellen
- Heissluft-Part eines CSP-Solar-Kombikraftwerks
- Usw.

Bild: Eigene Deponiegasfackel **FLOX® flare** des ÖZL in Langzeiterprobung im Tessin, betrieben mit 8 bis 20% CH₄ Gehalt, > 32'000 h Dauerbetrieb, Klimagas-Reduktion bisher ca. 2'000 t CO₂-Äquivalent



Kreisprozess im Diagramm



Vorliegende Auslegung ergibt real rund 9 kW_e Einspeiseleistung

Anwendung zum Antrieb und zur Abhitzenutzung eines Pyrolyse-Prozesses

Hintergrund

- Der Kohlenstoff-Gehalt der landwirtschaftlichen Böden ist nicht nur in den Tropen gering, sondern durch die mechanische Bearbeitung und den Kunstdüngereinsatz auch in unseren Breiten dramatisch gesunken → Aktuelle Terra Pretta-Diskussion. Der Einsatz von verkohlter Biomasse kann helfen und zusätzlich als mehrere hundert Jahre stabile C-Lagerung klimawirksam eingesetzt werden.
- Viele Biomassereststoffe sind in der Verbrennung unbeliebt: sandhaltige Kompost-Siebüberstände, Klärschlamm uvm. und müssen z.T. kostenpflichtig entsorgt werden. Durch den Luftabschluss in der Pyrolyse verhalten sich solche Stoffe weniger Problematisch und die Mineralstoffe werden stofflich zurückgeführt in die Böden → z.B. Kalium!



22

Evaluation des geeigneten Prozesses

Wieso Pyrolyse?

- Diverse Studien haben eine Favorisierung eines drucklosen Prozesses mit Temperaturen deutlich über 400°C ergeben. Alle anderen mir bekannten Prozesse (HTC, Torrifaction, etc.) produzieren Produkte, welche noch grössere Anteile Kohlenwasserstoffe aufweisen, im Falle von HTC ist es nasse Braunhohle, können bisher keiner Nutzung zugeführt werden. Der Pyrolyse-Prozess produziert neben den mineralischen Ascheanteilen reinen Kohlenstoff, welcher „Holzkohle-typisch“ mit grosser Oberfläche vorliegt und entsprechend wirksam ist in landwirtschaftlichen Böden.
- Alle diese Prozesse setzen Gase frei, welche sauber verbrannt werden müssen, um keine Klima- und sonstigen Umweltschäden zu produzieren.



27

Evaluation des geeigneten Prozesses

Nachteile der Pyrolyse = Vorteil des Pyreg-Prozesses

Da Biomasse bis zu 50 Massen-% O₂ enthält, geht ein Teil des Kohlenstoffes bei höheren Temperaturen gasförmig „verloren“, sodass die effektiv erreichbar Kohlenstoff-Effizienz bei nur 62% liegt und entsprechend auch ein hoher Anteil des Energieinhaltes der Biomasse freigesetzt wird – mit exothermer Wirkung und als brennbares Gas. Dieses Gas soll zusätzlich zur Erzeugung der Prozessenergie weiter genutzt werden. Dies ist der Inhalt unseres Projektteiles.



28

Erste kommerzielle PYREG® 500 plant

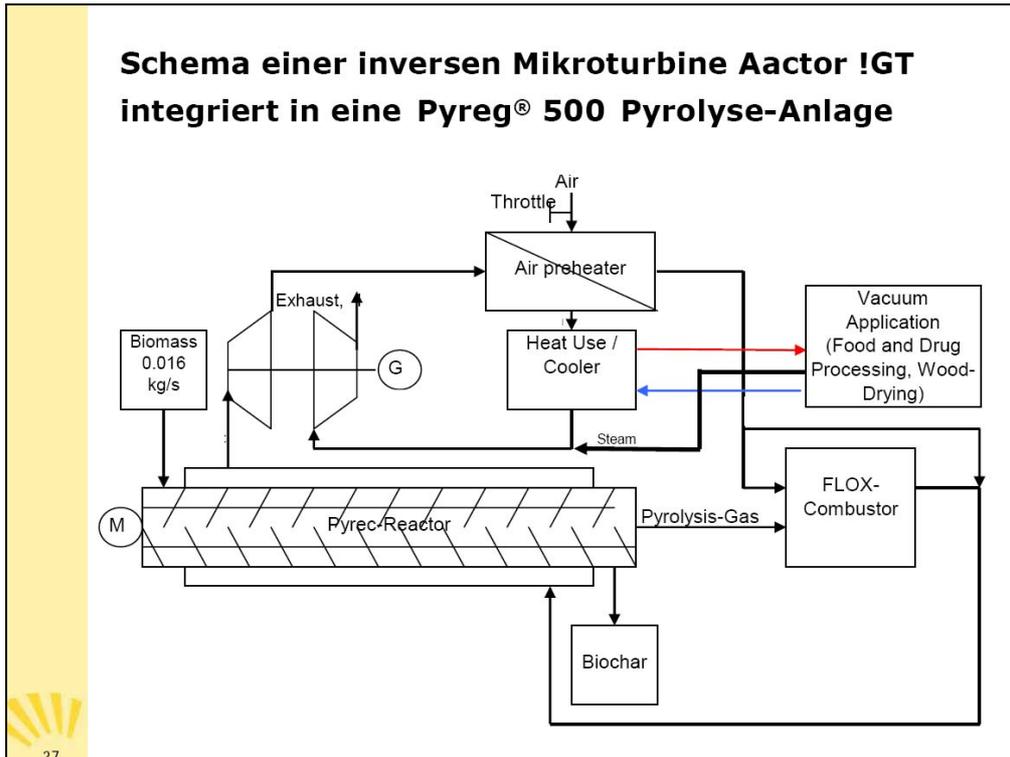
- Valorisierung und stoffliches Recycling von Biomasse-Reststoffen
- Bodenverbesserung
- Sichere und stabile CO₂-Sequestration
- Produktion von Strom und Prozesswärme
- saubere Verbrennung mit FLOX® und kontinuierlicher Prozess



Partner: Pyreg GmbH, Kaskad-E GmbH
Bild: Ökozentrum Langenbruck



26



Erster Einsatz auf der Deponie mit „schwachem“ Gas



29

Inbetriebnahme im Garten unseres Institutes im vergangenen Winter



30

THG-Vermeidungskosten am Beispiel des noch „zu kleinen“ Prototypen

Elektrische Leistung Prototyp:	4.4 kWe à 13 €/kWh
Deponiegasleistung ohne und mit Rekuperator	79 / 40 kW
Investitionskosten	55'000 €
Unterhalt	3%/a
Kapitalkosten/Rendite	5.5%
Amortisation	5 Jahre
THG-Reduktionsleistung	1099 / 558 t CO _{2eq} /a
THG-Reduktionskosten	8.65€ / 17.10€/t CO _{2eq} /a



31

Nächste Schritte

Erprobung der Turbine mit Deponiegas

Erstellen der Heissgaspartikel-Grobreinigung und Abgasreinigung-Kühlung (IDDEA[©] Modul)

Erprobung der Turbine mit Pyrolyse-Abgas vorerst nur als thermisch angetriebener Abgasventilator

Erprobung der Turbine mit Pyrolyse-Abgas inklusive Stromproduktion.



32



Danke!

Herzlichen Dank unseren Partnern und InvestorInnen

Für das Pyrolyse-Projekt im Besonderen:

- Pyreg GmbH (D)
- Kaskad-E GmbH (CH)
- Bundesministerium für Berufsbildung und Forschung BMBF (D)

22



ökozentrum
langensbruck

Ideas for sustainability, since 1979

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

14

Verfahrenstechnische Entwicklung und automatisierter Betrieb eines mit Biogas betriebenen Brennstoffzellensystems

(Aniko Weder, Fraunhofer IKTS Dresden)

VERFAHRENSTECHNISCHE ENTWICKLUNG UND AUTOMATISIERTER BETRIEB VON BIOGAS-SOFC-SYSTEMEN

Aniko Weder



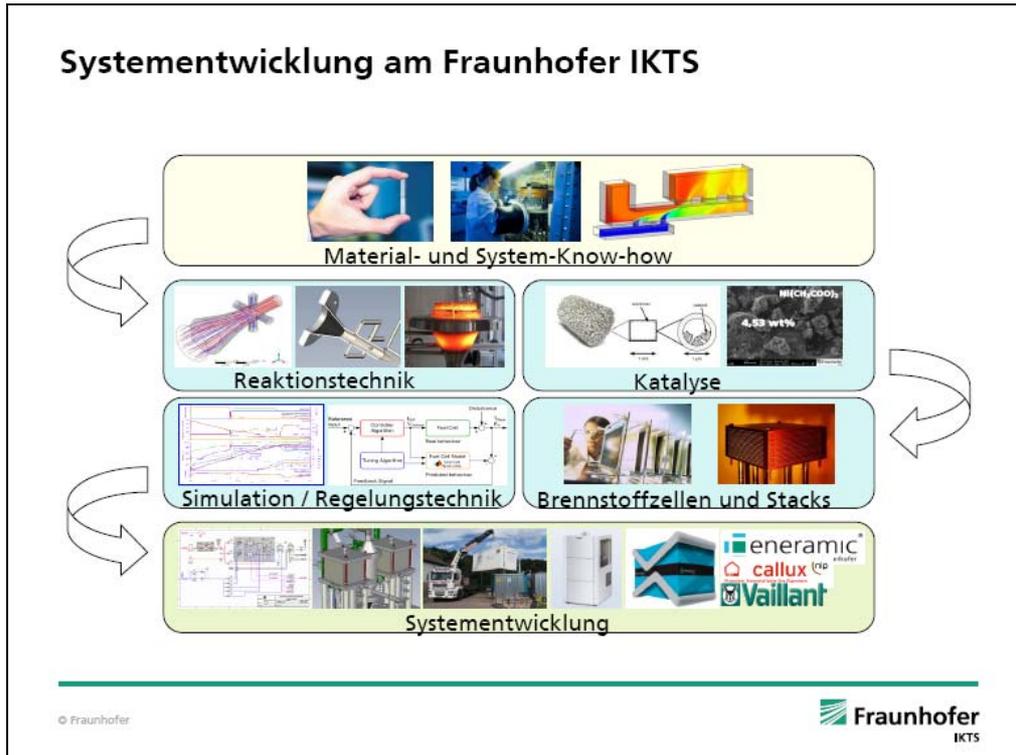
© Fraunhofer

INHALT

- Brennstoffzellen-Systementwicklung am IKTS
- Grundlagen zu Brennstoffzellensystemen
- Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme
- Prozessentwicklung
- Betriebserfahrungen und Ergebnisse
- Zusammenfassung

© Fraunhofer





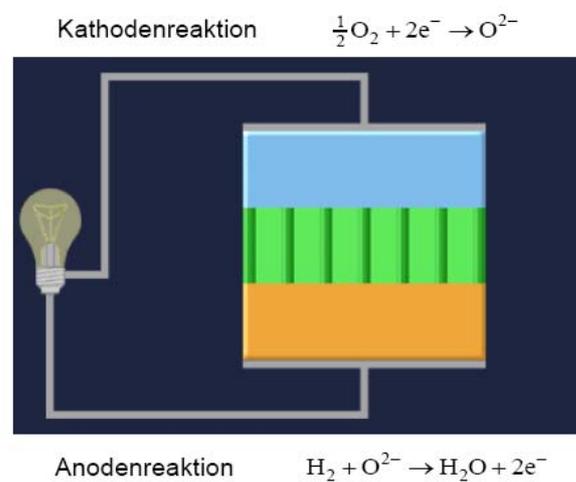
INHALT

- Brennstoffzellen-Systementwicklung am IKTS
- Grundlagen zu Brennstoffzellensystemen
- Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme
- Prozessentwicklung
- Betriebserfahrungen und Ergebnisse
- Zusammenfassung

© Fraunhofer

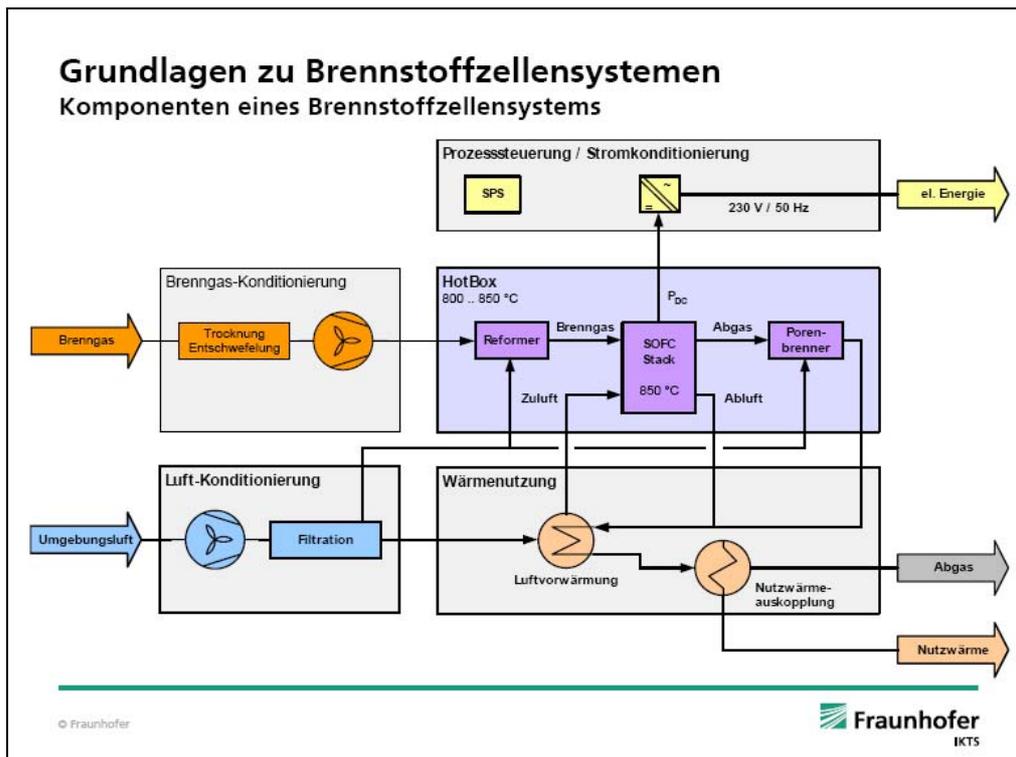
Fraunhofer
IKTS

Grundlagen Brennstoffzelle Funktionsweise



© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS



- ### Motivation Brennstoffzelle
- #### Gründe für das Interesse an der Brennstoffzellennutzung
- Potential für hohen elektrischen Wirkungsgrad
 - Geringe lokale Schadstoffemissionen (bei Verwendung von Wasserstoff entsteht nur Wasser)
 - Gutes Teillastverhalten
 - Große Leistungsbereiche
 - Keine beweglichen Teile
 - Geringe Schallemissionen
 - Potential für die Einbindung von regenerativen Energien bei der Energieversorgung
- © Fraunhofer
Fraunhofer IKTS

INHALT

- Brennstoffzellen-Systementwicklung am IKTS
- Grundlagen zu Brennstoffzellensystemen
- Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme
- Prozessentwicklung
- Betriebserfahrungen und Ergebnisse
- Zusammenfassung

© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IKTS

Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme

- Vorteile der Nutzung von Biogas in SOFC-Systemen
 - Simple Systemkonzept ohne Wassermanagement
 - CO₂ muss nicht abgetrennt werden
 - Hoher Wirkungsgrad
- Praktische Herausforderungen
 - Schwankende Brenngaskonzentrationen
 - Schwefel und Feuchtigkeit im BG
 - Brenngasvordruck niedrig / variierend
 - Gasmengen nicht konstant (Tag / Nacht bzw. Sommer / Winter)
 - Stabilität des Stromnetzes



© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IKTS

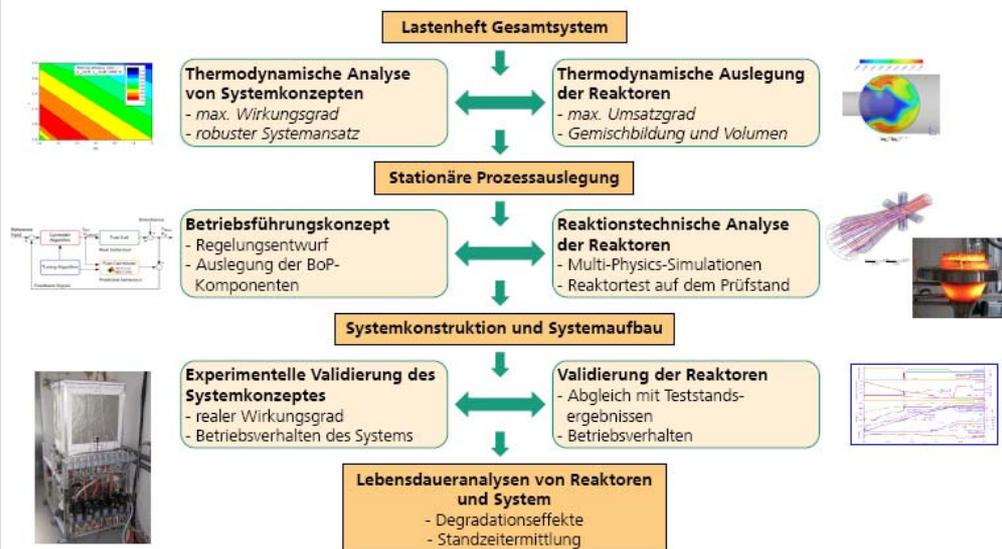
INHALT

- Brennstoffzellen-Systementwicklung am IKTS
- Grundlagen zu Brennstoffzellensystemen
- Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme
- Prozessentwicklung
- Betriebserfahrungen und Ergebnisse
- Zusammenfassung

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Verfahrenstechnischer Entwicklungsprozess



© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

INHALT

- Brennstoffzellen-Systementwicklung am IKTS
- Grundlagen zu Brennstoffzellensystemen
- Motivation und Herausforderungen für Biogas-Systeme
- Prozessentwicklung
- Betriebserfahrungen und Ergebnisse
- Zusammenfassung

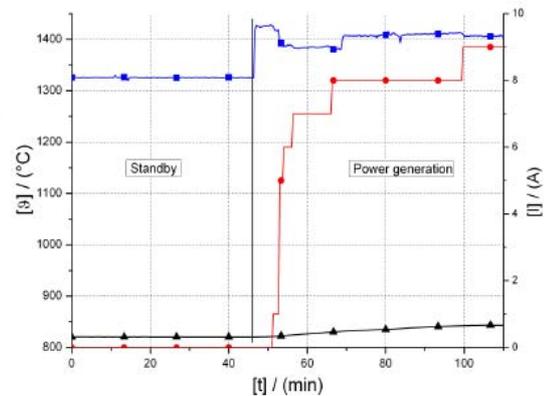
© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Erste Systemgeneration Regelungsentwicklung und Betrieb am IKTS



- Modellbasierte Regelalgorithmen
- Automatische Anpassung an variierende Gaskonzentrationen
- Hot-Standby
- Vollautomatische Start-Up-Prozeduren



Operating conditions		Measured values
Standby	Power generation	—■— Burner
$P_{ch,B} = 0 \text{ kW}$	$P_{ch,B} = 0 \text{ kW}$	—▲— Stack
$P_{ch,R} = 1.25 \text{ kW}$	$P_{ch,R} = 2 \text{ kW}$	—●— Current per stack
B := Burner	R := each Reformer	

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Erste Systemgeneration Integration in Gaserzeugung auf Kläranlage Roßwein



■ Fermenter-System auf der Kläranlage



■ Entschwefelung installiert

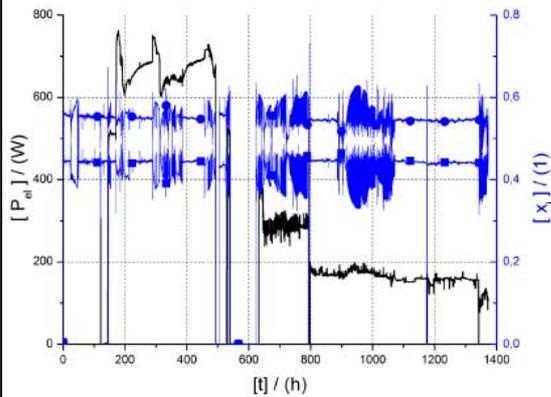


■ Brennstoffzellensystem mit der vorhandenen Biogas-Erzeugung gekoppelt

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Erste Systemgeneration Langzeitbetrieb mit realem Biogas



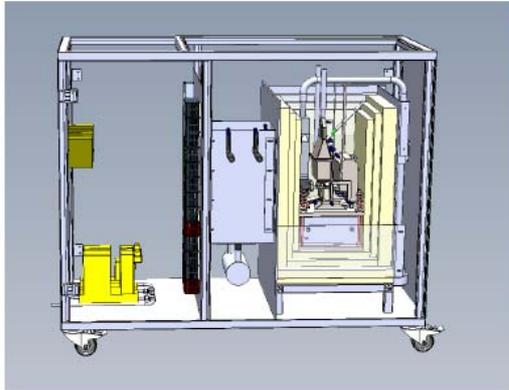
Betriebsbedingungen	Messwerte
$P_{n, total} = 3 \text{ kW}$	Biogaszusammensetzung
$P_{n, B} = 0 \text{ kW}$	—●— CH_4
$P_{n, R} = 1,5 \text{ kW}$	—■— CO_2
B := Brenner	Elektrische Ausgangsleistung
R := je Reformer	— P_{el} (brutto)

- Reale Bedingungen:
 - Parallel liefen Experimente mit dem Fermentersystem
 - Unregelmäßigkeiten in der Biogasproduktion (kaltes Wetter, Schaumbildung, ...)
- Automatische Umschaltung auf simuliertes Biogas bei Ausfall der Biogasproduktion
- Fernwartung über Mobilfunk
- Geplante Betriebsdauer erfüllt (1400h)

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Konstruktion und Auslegung

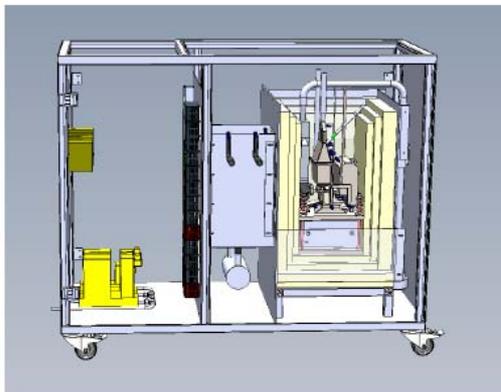


- Systemkonzept überarbeitet:
 - Kompakte Gerätebauweise
 - Enge Kopplung d. Komponenten
 - Bessere thermische Isolation
 - Neueste Stackgeneration d. IKTS
 - Verbesserte Wärmeübertrager
 - Zertifizierungsfähiges Gerät
- Vorteile:
 - Oxidatives CO₂-Reforming (Luftzahl↓, kein Wassermanagement)
 - Hoher Wirkungsgrad (el. & th.)

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Systemaufbau



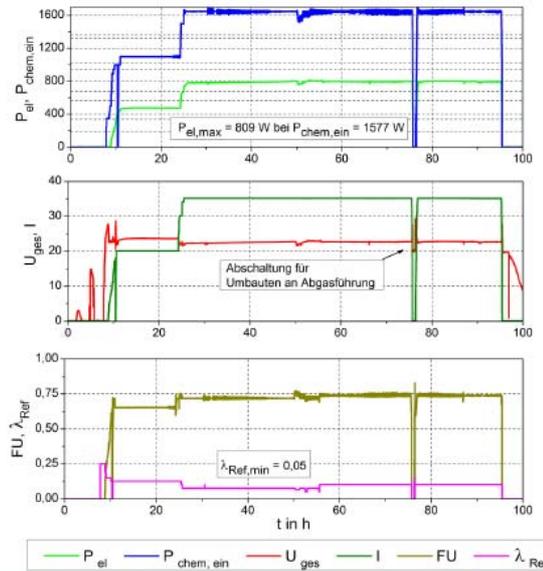
- System aufgebaut im August 2011
- Integration in Laborumgebung und Inbetriebnahme September 2011

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Inbetriebnahme

- Gaszusammensetzung
 $x_{\text{CH}_4} = x_{\text{CO}_2} = 0,5$
- Nennleistung $P_{\text{DC}} = 800 \text{ W}$
- Elektrischer Wirkungsgrad
 $\eta_{\text{DC Brutto}} = 47 \% \dots 51,3 \%$
- Thermischer Wirkungsgrad
 $\eta_{\text{th Netto}} = 40 \% \dots 43 \%$
- Gesamtwirkungsgrad
 $\eta_{\text{ges Brutto}} = 87 \% \dots 94,3 \%$

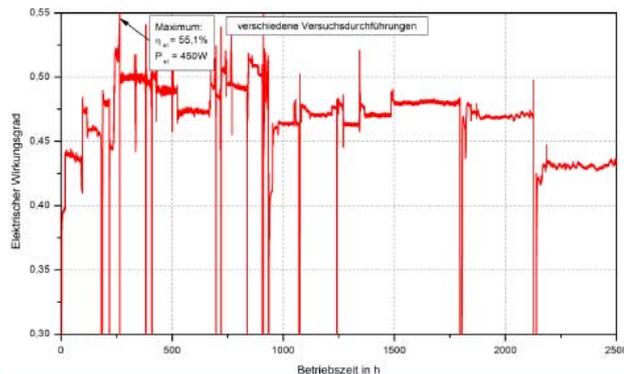


© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Versuche und Betrieb

- Variation der Stackeintrittstemperatur und der Kathodenluftzufuhr
- Variation Gaszusammensetzung $x_{\text{CO}_2} = 0,3 - 0,5$; $x_{\text{CH}_4} = 0,5 - 0,7$
- Variation der Brenngasausnutzung und der Leistung unter Betrachtung des elektrischen Wirkungsgrades



- Betriebsdauer zum momentanen Zeitpunkt: 2500 h
- Elektrische Energieerzeugung: 1600 kWh

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Zusammenfassung

- Strukturierter verfahrenstechnischer Entwicklungsweg:
 - Prozessauslegung für verschiedenste Brennstoffe und Leistungsklassen
 - Simulationsgestützte System-, Komponenten- und Regelungsentwicklung

- SOFC-Systembetrieb mit Biogas:
 - Mehrere Systemgenerationen entwickelt, aufgebaut und betrieben
 - Langzeitbetrieb unter Praxisbedingungen mit Biogas realisiert
 - Nachweis der Anlagenzuverlässigkeit (ca. 20.000 h mit reinem Methan)
 - Hohe Wirkungsgrade mit robustem Systemkonzept erreicht

- Geräteentwicklung bis zur Feldtestreihe

© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IKTS

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

- Von der Biomasse ...



- ... bis zu elektrischem Strom und Wärme

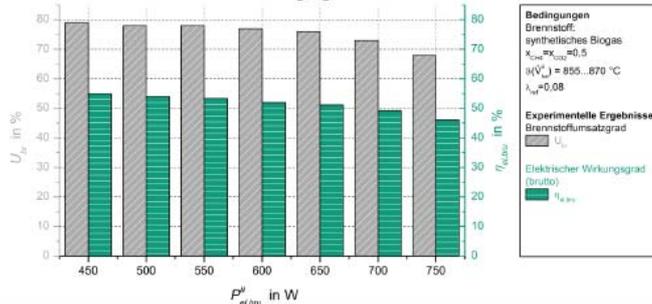
www.ikts.fraunhofer.de

© Fraunhofer

 **Fraunhofer**
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Versuche

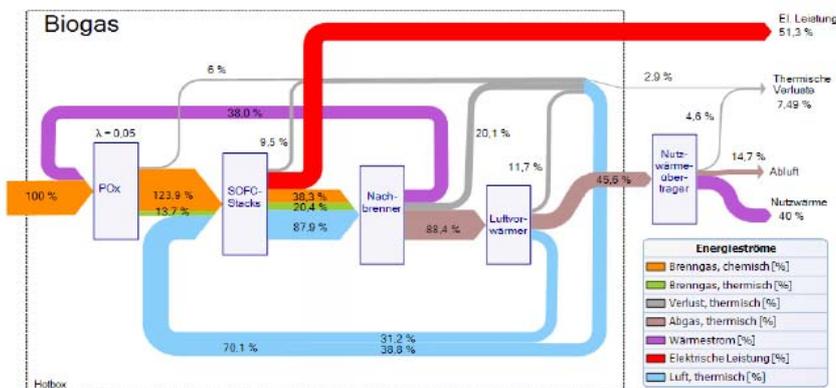
- Variation der Stackeintrittstemperatur und der Kathodenluftzufuhr
- Einfluss des vorherrschenden Druckes im System (Saugsystem)
- Variation der Biogazusammensetzung
 $x_{CO_2} = 0,35 - 0,5$; $x_{CH_4} = 0,5 - 0,65$
- Variation der Brenngasausnutzung und der Leistung unter Betrachtung des elektrischen Wirkungsgrades



© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Aktuelle Biogas-Systemgeneration Energiestromanalyse



- Hohe Wärmeintegration mit geringen thermischen Verlusten gelungen
- Hohe elektrische und Gesamtwirkungsgrade erreicht

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

Das Fraunhofer IKTS im Profil



Standort Dresden



Standort Hermsdorf



- Stammpersonal 343
- Student. Hilfskräfte 43
- Betriebshaushalt 31,7 Mio €
- Nutzfläche 140 Labors und Technika auf fast 20 000 m²
- Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001
DIN EN ISO 14001
- Institutsleiter Prof. Dr. Alexander Michaelis
- Standortleiterin Hermsdorf Dr. Bärbel Voigtsberger

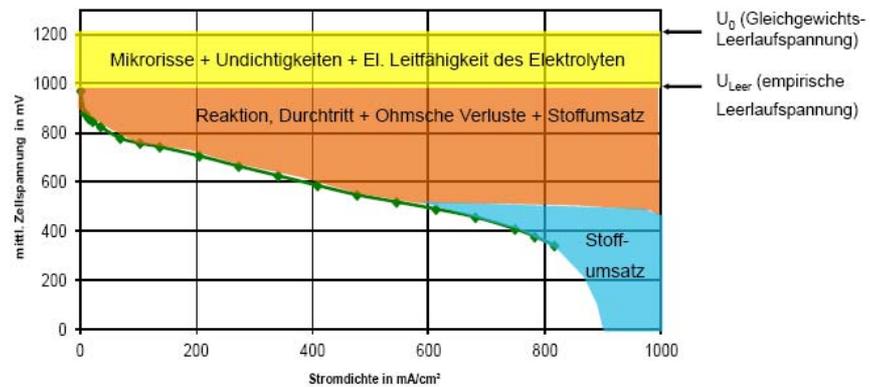
Stand: März 2011

© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS

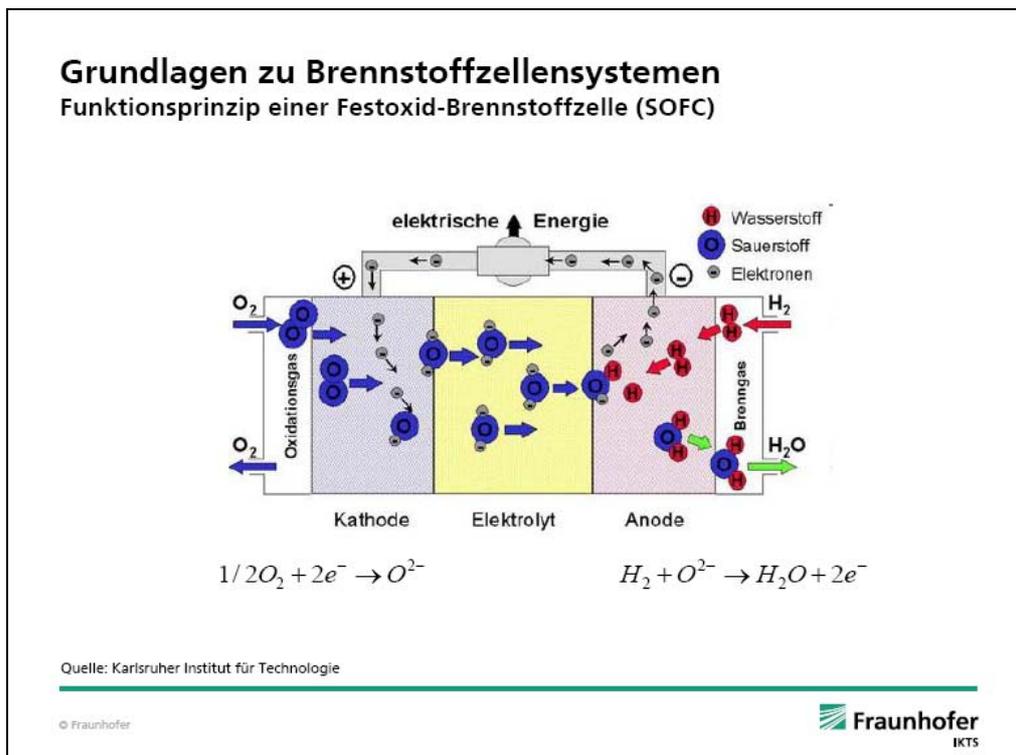
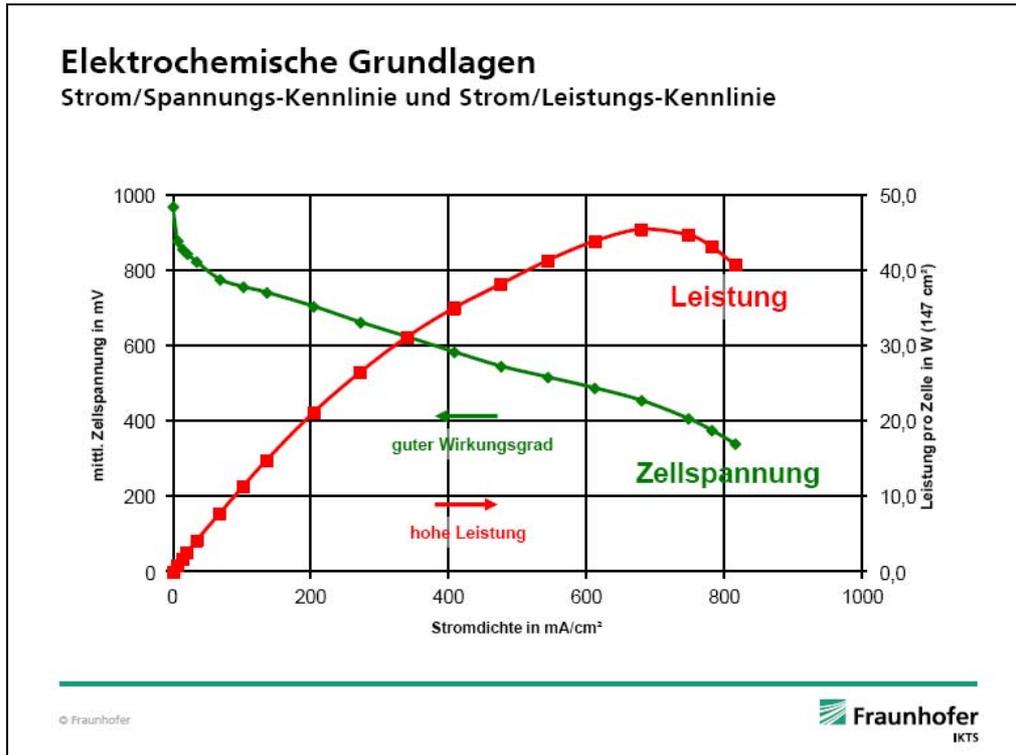
Elektrochemische Grundlagen

Strom/Spannungs-Kennlinie



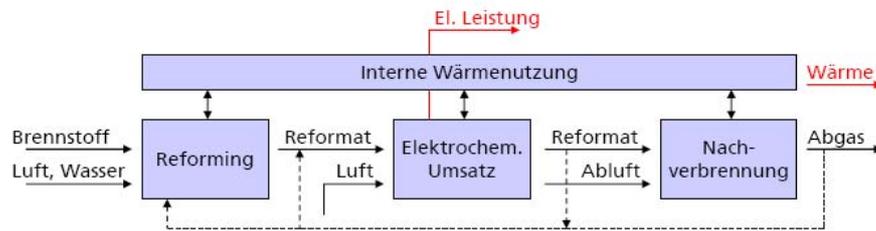
© Fraunhofer

Fraunhofer
IKTS



Grundlagen

Verfahrensschritte SOFC-System



Notwendige Verfahrensschritte:

Reforming, Elektrochemischer Umsatz, Nachverbrennung

- Unabhängig von geometrischer Anordnung
- Verfahrensschritte müssen nicht zwangsweise auf versch. Bauteile aufgeteilt sein
- Medienrückführungen grundsätzlich möglich

© Fraunhofer

TU Clausthal Fraunhofer IKTS

Elektrochemische Grundlagen

Spannung und Spannungsminderung

- Nernstsche Spannung (Leerlaufspannung: OCV = open circuit voltage)

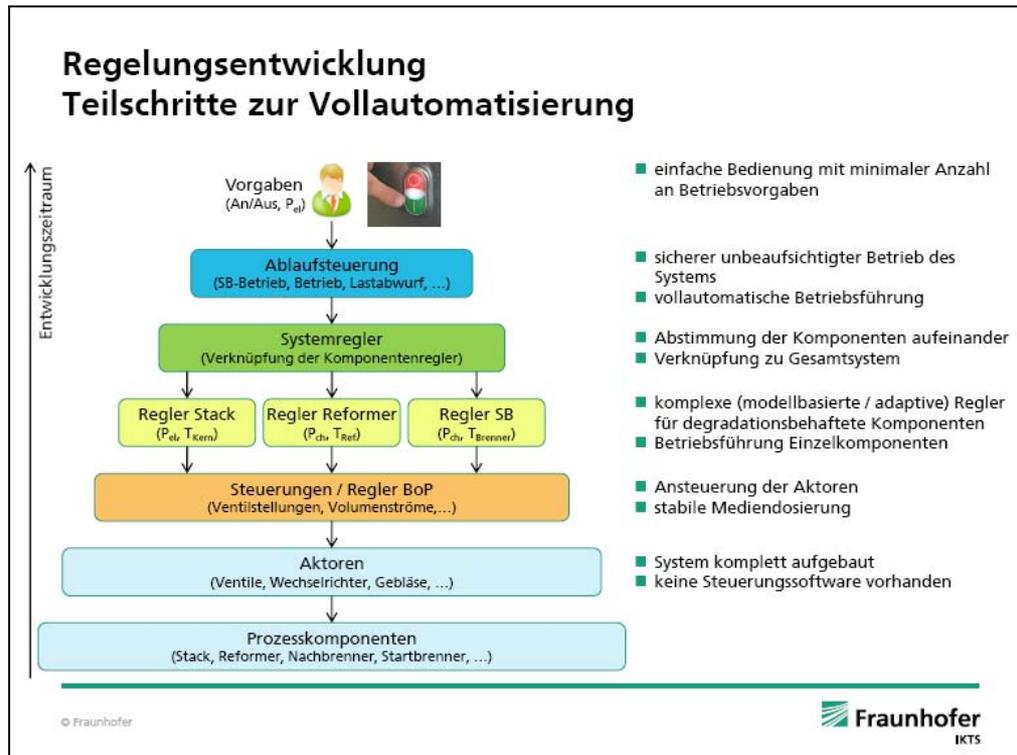
$$U_{OCV} = -\frac{\Delta_R G^0}{\nu_e F} + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{a_{H_2} a_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{a_{H_2O}} \right)$$

$$= U_0 + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{p_{H_2} p_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{p_{H_2O}} \right)$$

- Spannungsminderungsmechanismen
 - Ionenleitwiderstand (Ohmscher Widerstand)
 - Brenngasumsatz
 - Reaktion und Durchtritt an den Elektroden/Elektrolyt-Grenzflächen
 - Undichtigkeit zur Umgebung
 - Direktumsatz durch Mikrorisse
 - Elektrische Leitfähigkeit des Elektrolyten
 - Gasdiffusion durch die Elektroden

© Fraunhofer

Fraunhofer IKTS



Möglichkeiten der Brenngasaufbereitung am Beispiel einer HTCR-BHKW-Anlage

(Simon Konradi, TH Mittelhessen)

(Dipl.-Ing. (FH) Simon Konradi, THM, Konstantin Burgert, THM, Philip Warnecke, THM, Dipl.-Ing. Reinhold Altensen, THM, Prof. Dr.-Ing. Hellgard Richter, THM)

Einleitung und Motivation

Für die dezentrale Stromerzeugung aus fester Biomasse stehen derzeit nur wenige Verfahren zur Verfügung. Die Vergasung ist eines davon und hat auf Grund eines vergleichsweise hohen elektrischen Wirkungsgrads bei Kleinanlagen viel Potential [Timmerer 2005]. Gleichzeitig ist die Holzvergasung mit anschließender Verstromung in einem Motor-BHKW *grundlastfähig* und damit eine sinnvolle Ergänzung zu dem über die Wandlung von Wind und Sonne bereitgestellten Strom. Allerdings sind die Anforderungen an die Gasreinheit für den Motor- oder auch Gasturbinenbetrieb bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit eine Hürde, die es für die Verfahrenstechnik zu nehmen gilt [Kaltschmitt 2009].

Im Rahmen eines vom Land Hessen geförderten Projekts wirkte das *Institut für Thermodynamik, Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse (THESA)* der *Technischen Hochschule Mittelhessen (THM)* mit an der Entwicklung eines geeigneten Gasreinigungsverfahrens, um die Anforderungen zur Verstromung in einem auf den Gasbetrieb umgerüsteten Dieselmotor zu erfüllen. In diesem Beitrag wird das Projekt vorgestellt und dabei näher auf die Gasanalyse sowie die Verfahrensauswahl der Gasreinigung inklusive erster Testergebnisse eingegangen. Eine anschließende Kalkulation der durch das Reinigungsverfahren anfallenden Kosten macht es möglich auch dessen Wirtschaftlichkeit abzuschätzen.

Projektbeschreibung

An einer bestehenden Holzvergaser-BHKW-Anlage hat die *Technische Hochschule Mittelhessen* im Verbund mit einem KMU die wissenschaftliche Begleitung übernommen.

Anlagendaten:

- Gleichstrom-Festbettvergaser
- Maximale Feuerungswärmeleistung ca. 500 kW_{th}
- Verstromung des Brenngases über drei auf Gasbetrieb umgerüstete Dieselmotoren mit je 25 kW_{el}
- Brennstoff: Waldholzhackschnitzel G50 mit einem Wassergehalt von 15-25 %
- Kalkulierter elektrischer Wirkungsgrad η_{el} = 18-22 %

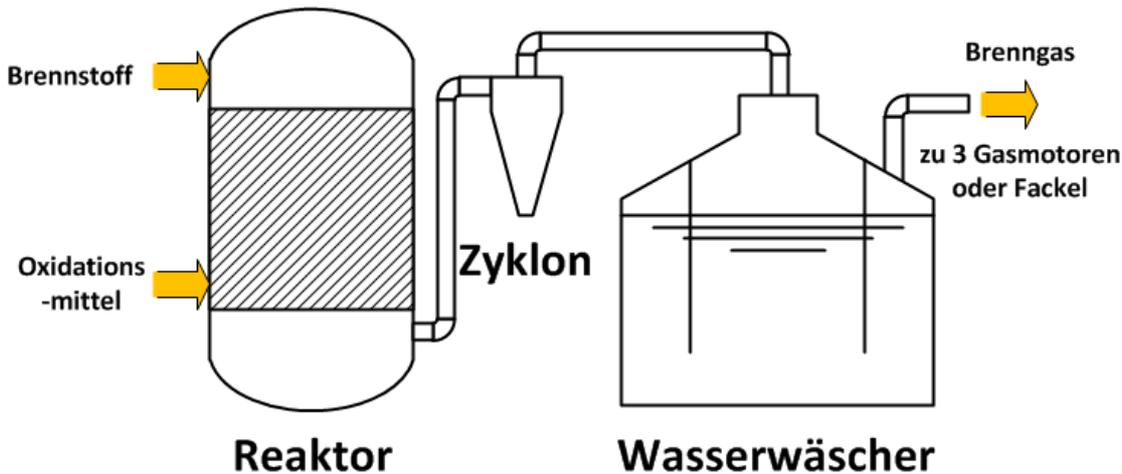


Abbildung 1: Anlagenschema zu Beginn des Projekts

Im ursprünglichen Betrieb wurde das Rohgas in einem Zyklon von Grobpartikeln befreit und anschließend über einen Wasserwäscher zur Staub- und Teerabscheidung geleitet. Im Betrieb mit einer wechselnden Motoranzahl zeigte sich, dass die Reinigungsleistung des Zyklons nur ungenügend war und für eine zufriedenstellende Reinigung nur mit dem (konstant hohen) Auslegungsvolumenstrom zu erzielen war. Des Weiteren fiel in dem nicht isolierten Zyklon die Temperatur so stark, dass es stellenweise zur Bildung von Teerkondensat mit daran anhaftender Staubschicht kam und schnell einen Komplettausfall des Zyklons bewirkte. In der letzten Reinigungsstufe wurde schließlich das noch mit Teer und Staub beladene Rohgas durch ein Wasserbad geleitet. Das stark verschmutzte Washwasser musste regelmäßig entsorgt oder aufwändig aufbereitet werden. Durch diese Unzulänglichkeiten in der Holzgasreinigung kam es immer wieder zu Motorstillständen und Motortotalausfällen, die vor allem durch klemmende Ventile und mit Staub verblockte Ölfilter gekennzeichnet waren. Die Verunreinigungen im Holzgas konnten durch eine Analyse des Kondensats vor den Motoren quantifiziert werden und ergaben noch große Anteile an Asche und organischer Trockensubstanz (siehe Abbildung 2).

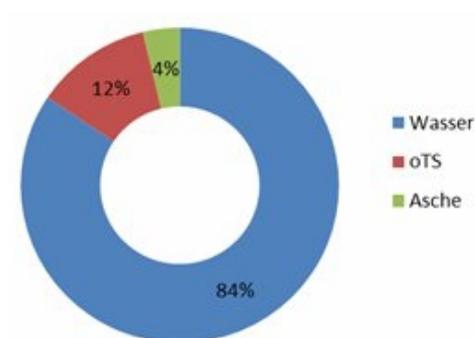


Abbildung 2: Kondensatzzusammensetzung vor den Motoren

Projektziele

An Hand der aufgetretenen Probleme haben sich folgende Projektziele ergeben:

Installation geeigneter Messtechnik, um Fehlerquellen zu lokalisieren, den Betrieb zu überwachen und anschließend zu bilanzieren. In Verbindung mit einem Testprotokoll können die protokollierten Messdaten aufbereitet und der Gesamtprozess bewertet werden.

1. Entwicklung und Auslegung einer geeigneten Gasaufbereitung, welche in Hinblick auf Verfügbarkeit und Betriebskosten einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen kann.

2. Verbesserung des Gesamtprozesses hinsichtlich:
 - a) Wirtschaftlichkeit
 - b) Wirkungsgrad
 - c) Automatisierungsgrad
 - d) Betriebsstabilität
3. Feststellen des möglichen Brennstoffspektrums

Mess- & Analysetechnik

Kernstück der Messtechnik ist ein Gasanalysegerät, welches online die Zusammensetzung des Holzgases hinsichtlich H_2 , O_2 , CO_2 , CO und CH_4 erfasst. Neben Wasserdampf sind diese fünf Gasbestandteile an den Hauptreaktionen des Vergasungsprozesses beteiligt, woraus sich Aussagen über den Vergasungsprozess ableiten lassen. Gleichzeitig werden die Konzentrationsangaben für eine Bilanzierung benötigt.

Neben einer umfangreichen Temperatur- und Druckaufzeichnung kommt außerdem eine Teer- und Staubmessung zum Einsatz, die sich an eine Vornorm [DIN CEN/TS 15439] anlehnt (siehe Abbildung 3).

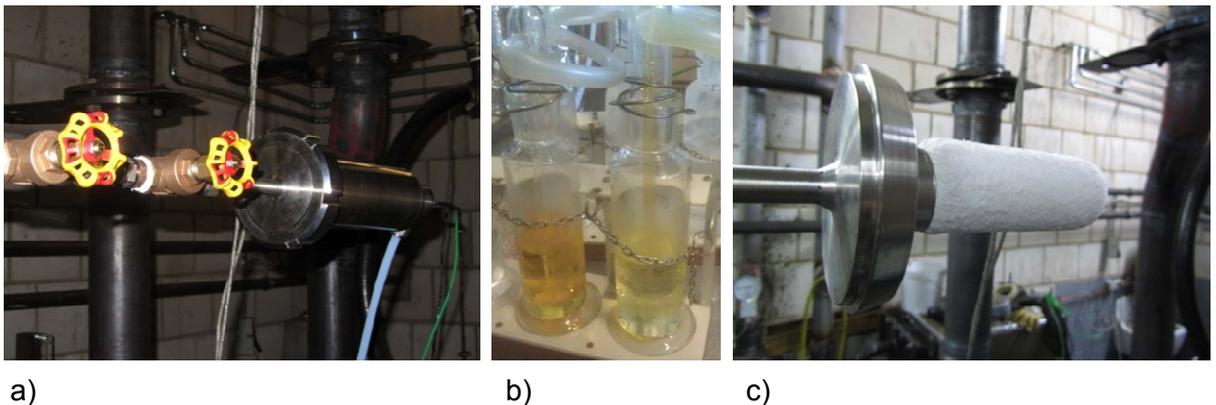


Abbildung 3: Teer- und Staubmessung an der Vergasungsanlage. a) Isokinetische Probenahme und Filtergehäuse. b) Durch Teer gefärbtes Lösungsmittel. c) Glasfaserextraktionshülse.

Ein für $400^\circ C$ ausgelegter Vortex-Wirbelzähler misst hinter den Filtern den noch teerbeladenen aber staubarmen Gasvolumenstrom, da eine Kondensation von Teeren bei diesem Messverfahren verhindert werden muss. Sowohl die Primärluft des Reaktors als auch der Gasmotoren wird mittels Massestrommesser mitgeloggt.

Realisierung der Gasaufbereitung

Es gibt zahlreiche in Frage kommende Gasreinigungsverfahren, die in der Literatur bezüglich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert werden [Basu 2010].

Durch Überlegungen in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Gaskonditionierung und bei Betrachtung der im Betrieb auftretenden Probleme konnten verschiedene Anforderungen formuliert werden:

- Die Gasreinigung muss mit variablen Volumenströmen betrieben werden können (Verstromung über drei Gasmotoren)
- Es soll kein zusätzliches beladenes Abwasser oder Waschmedium anfallen
- Auf Grund von Problemen beim gleichzeitigen Anfall von Staub und Teer sollen diese beiden Schadstoffe getrennt abgeschieden werden, was Temperaturen von $>400^{\circ}\text{C}$ für die Staubabscheidung notwendig macht
- Sowohl Investitions- als auch Betriebskosten der Abscheider müssen vertretbar bleiben

An Hand dieser Anforderungen, der Literaturangaben und der Rechercheergebnisse bei den Herstellern wurden für die Staubabscheidung Faserkeramik-Filterkerzen gewählt, welche bis 850°C temperaturbeständig, selbsttragend und chemisch beständig sind. Die hinsichtlich Handhabung, Abscheideleistung und Regenerierbarkeit bestehenden Vorteile gaben den Ausschlag für eine Entscheidung zu Gunsten eines Heißgasfiltersystems. Es liegen für diese Art der Filtertechnik im Bereich der Holzvergaser auch bereits vielversprechende Erfahrungen vor [Gottschling 2005].

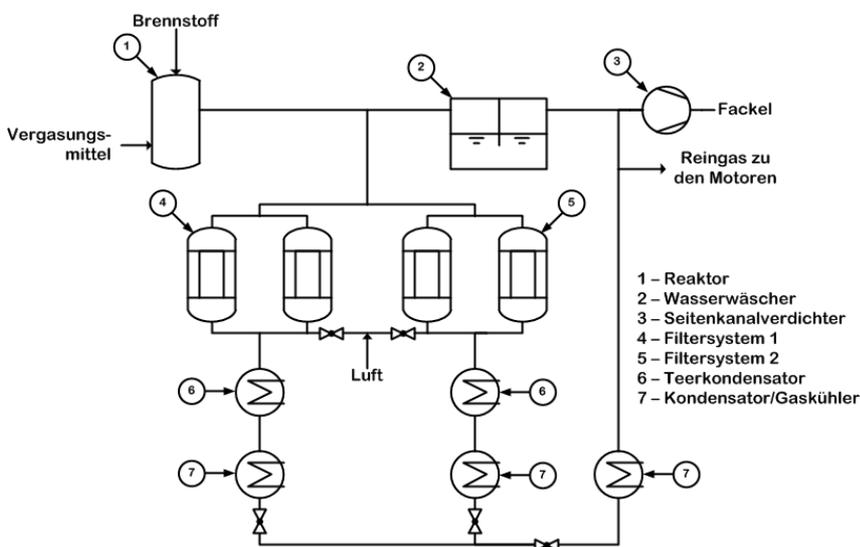


Abbildung 5: Schaltbild der Filter und Kondensatoren



Abbildung 4: Erste Kondensationsstufe



Abbildung 6: Abwasser aus zweiter Kondensationsstufe

Die Staubfiltration beginnt bereits direkt hinter dem Rohgasaustritt des Vergasers. Ziel ist es die Gastemperatur nicht unnötig durch Verluste, die durch die Anschlussstrecke des Filters entstehen, absinken zu lassen und so stets eine Gaseintrittstemperatur am Filter von über 450°C zu gewährleisten. Für den Aufheizvorgang beim Anfahren der Anlage wird das Holzgas zur Zeit noch über ein Wasserbad grob gereinigt und anschließend über einen Seitenkanalverdichter zu einer außenliegenden Fackel zur Verbrennung geführt.

Die Filtersysteme werden redundant angeordnet. Dadurch können bei Problemen im Betrieb oder bei Erreichen einer vorher definierten Beladung die Systeme wechselseitig betrieben und regeneriert werden. Die Überwachung der Beladung der Filterkerzen wird in diesem Falle mittels einer Differenzdrucküberwachung zwischen Rohgas- und Reingasraum der Filterkerzen vorgenommen.

Hinter jeder einzelnen Filterkerze wird ein Sicherheitsfilter angebracht, der beim Bruch der Kerze verhindert, dass Bruchstücke in die Rohrleitung eindringen und zu Problemen in den nachgeschalteten Kondensatoren führen können. Zudem ist durch diese Anordnung und dem damit verbundenen Druckunterschied eine Überwachung jeder einzelnen Kerze möglich und Kerzedefekte sind leichter zu erkennen.

Um eine Kondensation von Teeren bei Kontakt mit dem Gasstrom während des Anfahrens zu vermeiden sind die Kerzengehäuse mit Heizbändern umwickelt. Diese werden durch ein Pulsweiten-moduliertes Signal auf die eingestellte Temperatur geregelt. Eine Gehäuse-Isolierung mindert Wärmeverluste. Nach der Staubabscheidung werden Teer und Wasser zweistufig auskondensiert: In der ersten Stufe wird dem Gasstrom thermische Energie entzogen, bis eine Temperatur von ca. 105°C erreicht ist. In dieser Stufe fällt nur Teer aus. In der zweiten Stufe wird auf ca. 40°C bis 60°C gekühlt, wobei Wasser und weitere Teerverbindungen auskondensieren (vgl. Abb. 4, 5 und 6).

Ergebnisse

Da bei der Staubfiltration ohne *precoating* gearbeitet wird, ist der stark kohlenstoffhaltige Filterkuchen fest mit der Filterkerze verbunden, was ein Abreinigen erschwert. Aus diesem Grund wurde die Idee verfolgt, vor dem Abreinigen ein Abglühen des Kohlenstoffs vorzunehmen, um die dann nur noch flockige Asche leichter abzureinigen. In Abbildung 7 sind der Differenzdruck über eine Filtereinheit und der vor dem Gasmotor bestehende Unterdruck dargestellt. Erst wurde die Filtereinheit 1 bis ca. 110 mbar beladen, dann auf Filtereinheit 2 geschaltet und Filtereinheit 1 abgeglüht. Im dritten Abschnitt wurde der abgeglühte Filter 1 ohne zusätzliche Abreinigungsmaßnahmen wieder in Betrieb genommen.

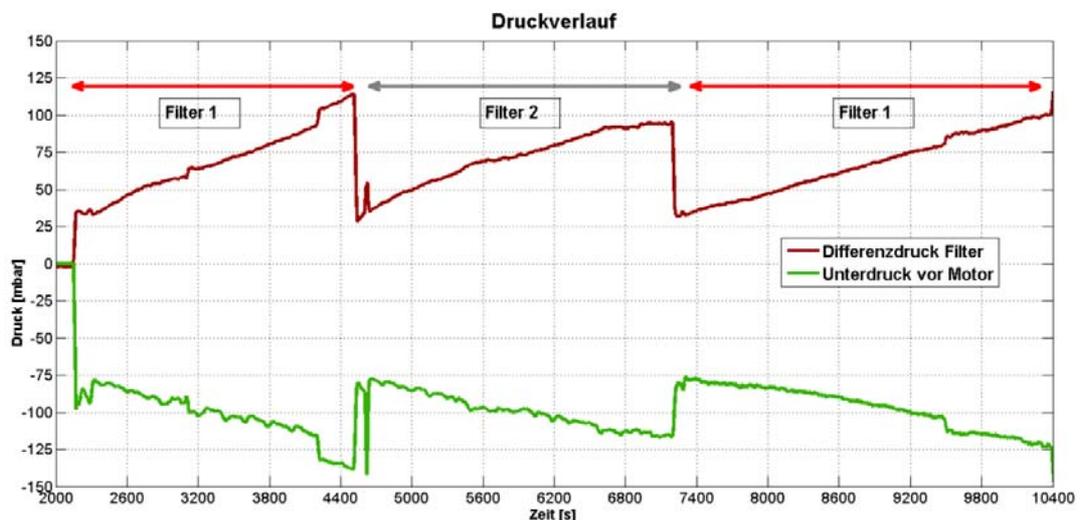


Abbildung 7: Differenzdruck über die Filter und Unterdrucklage vor dem Motor. Während Filter 2 im Betrieb war, wurde Filter 1 abgeglüht.

Abbildung 8 zeigt die Filterkerzen in den verschiedenen Betriebszuständen (a) neu, b) beladen und c) abgeglüht). Die im Bild rechts zu sehende, abgeglühte Filterkerze c) ist nur noch mit leicht anhaftender flockiger Asche bedeckt und benötigt nur noch einen geringen Abreinigungsaufwand.



Abbildung 8: Filter in verschiedenen Betriebsstadien.

Fazit & Ausblick

Durch ein Aufheizen der Filter mit Heizbändern wird nur während des Aufheizvorgangs zusätzlicher Strom verbraucht, während des Betriebes der Holzgas-BHKW-Anlage werden die Heizbänder nur noch im Notfall eingesetzt, nämlich dann, wenn die Temperatur der Filter in die Nähe des Teertaupunktes gelangt.

Der Filterkerzenhersteller gibt bei Betrieb mit Holzgas Standzeiten von ca. 4000 h und mehr an. Durch eine schonendere Abreinigung mittels vorhergehenden Abglühens können die Standzeiten vermutlich noch erhöht werden. Die durch Filterkerzenverschleiß kalkulierten 0,005-0,01 €/kWh_{el} können als vertretbar gewertet werden, während der getrennte Anfall von Staub und Teer immense Vorteile bezüglich Wartungsaufwand und Entsorgungsmöglichkeiten bietet.

Um genauere Aussagen über Kosten, Standzeiten oder Filteraufwand treffen zu können sind allerdings noch Langzeittests notwendig.

Kontakt: Dipl.-Ing. (FH) Simon Konradi
Technische Hochschule Mittelhessen, Fachbereich Maschinenbau und
Energietechnik
*Institut für Thermodynamik, Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse
(THESA)*
Wiesenstraße 14, 35390 Gießen
Email: simon.konradi@me.thm.de



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH



Exzellente Forschung für
Hessens Zukunft

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 268/11-13) wird im Rahmen von Hessen Modellprojekte aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert.

Partner: Ettenberger GmbH & Co. KG, Fulda

Literatur

Timmerer, H., & Lettner, F. (2005). *Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen. Leitfaden für Betreiber, Hersteller und Behörden.*

Kaltschmitt, M., & Hartmann, H. (2009). *Energie aus Biomasse.* (M. Kaltschmitt, H. Hartmann, & H. Hofbauer, Eds.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

DIN CEN/TS 15439:2006 (2006). Vornorm: *Biomassevergasung - Teer und Staub in Produktgasen - Probenahme und analytische Bestimmung*; Deutsches Institut für Normung, Berlin

Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory.* Oxford, Elsevier

Gottschling, R. (2005). Hochtemperatur-Entstaubung mit Heißgasfiltern. CIT Plus, 10, 58-59.

Fehler bei der Bilanzierung von Holzvergassungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

(Reinhold Egeler, Stadtwerke Rosenheim)

Fehler bei der Bilanzierung von Holzvergassungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz



Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“
Referent: Reinhold Egeler

Hochschule Zittau/Görlitz UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“ Zittau, 04. Mai 2012 Folie 1

Bilanzierung von Holzvergassungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz



Die Stadtwerke Rosenheim

- ca. 320 Mitarbeiter
- etwa 120 Mio. Euro Umsatz/Jahr
- u. a. Strom-, Gas, Fernwärme- und Dampfversorgung
- Eigenerzeugung mit Müllheizkraftwerk und Gasmotoren
- seit 2006 Entwicklung einer Technologie der Holzvergasung in Kooperation mit Forschungseinrichtungen und Hochschulen

Unsere Ziele:

- zwei MW elektrische Leistung aus Holzgas bis 2017
- Entwicklung einer marktfähigen Anlage bis in ca. 3 Jahren



Hochschule Zittau/Görlitz UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“ Zittau, 04. Mai 2012 Folie 2

Bilanzierung von Holzvergassungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Die Stadtwerke Rosenheim



Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 3

Bilanzierung von Holzvergassungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Bilanzierung – wozu?



Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit

- Der Vergaserinput (Holzmassenstrom bzw. Energieinhalt des Holzes) sowie die abgegebene elektrische und Wärmeenergie sind unverzichtbare Basisdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Überlegungen zur Energieeffizienz

- Wenn wir ein positives Image der Holzvergassung aufbauen wollen, müssen wir nachvollziehbar belegen, dass die Vergasung als Technologie besser ist als andere Konvertierungsverfahren wie Vergärung und Verbrennung

„Problemanalyse“

- Woran liegt es, wenn zugesicherte Eigenschaften nicht eingehalten werden? Am Vergaser, am Motor ...?
- Für belastbare Aussagen ist ein Vergaserwirkungsgrad notwendig

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 4

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Bilanzierungsgrenzen I

Variante 1: Konzept des DBFZ (Methodenhandbuch)

Sehr detailliert und damit aufwändig, aber letztlich das Ziel

 stadtwerte
rosenheim
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag

 Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in
dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

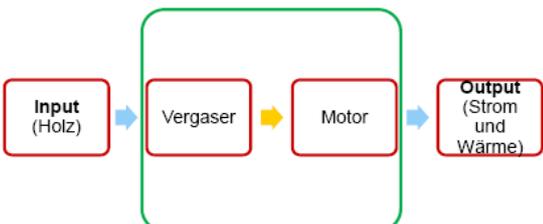
Folie 5

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Bilanzierungsgrenzen II

Variante 2: Um Vergaser und Motor

Derzeit häufig bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verwendet



```
graph LR; Input[Input (Holz)] --> Vergaser; subgraph GreenBox [ ]; Vergaser --> Motor; end; Motor --> Output[Output (Strom und Wärme)];
```

 stadtwerte
rosenheim
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag

 Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in
dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 6

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Bilanzierungsgrenzen III

Variante 3: Vergaser und Motor getrennt

Notwendig für eine detaillierte Bewertung von Anlagen

```
graph LR; Input[Input (Holz)] --> Vergaser[Vergaser]; Vergaser --> Motor[Motor]; Motor --> Output[Output (Strom und Wärme)];
```

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau, 04. Mai 2012

Folie 7

stadtwerke rosenheim GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Fehler bei der Bilanzierung am Beispiel des Inputs

```
graph TD; Feuchte[Feuchte] --> Input((Input Holz (Energie))); Massenstrom[Massenstrom] --> Input; Heizwert[Heizwert] --> Input;
```

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau, 04. Mai 2012

Folie 8

stadtwerke rosenheim GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz



Heizwerte

Heizwertberechnung nach verschiedenen Autoren

Spindler $H_u = 18,6 \cdot (1-w) - 2,441 \cdot w$ [MJ/kg]
atro 18,60 MJ/kg oder 5,17 kWh/kg

Reed $H_u = 34,1c + 132,2h - 12,0n - 12,0o - 1,53a - 2,5w$ [MJ/kg]
atro 19,7 MJ/kg oder 5,47 kWh/kg

Boie $H_u = 34,8c + 93,9h + 6,28n - 10,8o - 2,5w$ [MJ/kg]
atro 18,28 MJ/kg oder 5,08 kWh/kg

Dulong $H_u = 33,91c + 121,42(h - o/8) - 2,5w$ [MJ/kg]
atro 17,56 MJ/kg oder 4,88 kWh/kg

Werte zwischen 4,88 und 5,47 kWh/kg = 0,59 kWh/kg kg/srm
Entspricht +- 5,7 % vom Mittelwert der Extremwerte



Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 9

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz



Messung des Holzmassenstroms

Alternativen:

Massenstromermittlung aus Schüttraummeter und Dichte

oder Abrechnung über Schüttraummeter „direkt“

oder Abrechnung über Verwiegung (in der Regel nicht möglich da keine Waagen verfügbar sind).



Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 10

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Messung des Holzmassenstroms

Schüttraumdichte von Fichte

Fichte, G30

	atro-Dichte
eta-co.at	158,10 kg/srm
Bezirksforstinspektion Imst	187,50 kg/srm
Energieagentur NRW	184,00 kg/srm
Skript Energietechnik FH-Rosenheim	160,00 kg/srm
Austrian Energy	166,80 kg/srm
Kollmann	161,00 kg/srm
Uni Hamburg	172,00 kg/srm

Werte zwischen 187 und 158 kg/srm = 29 kg/srm
Entspricht +- 8,4 % vom Mittelwert der Extremwerte

Hochschule Zittau/Görlitz Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“ Zittau, 04. Mai 2012 Folie 11

stadtwerke rosenheim GmbH & Co. KG ... Ihr Partner im Alltag.

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

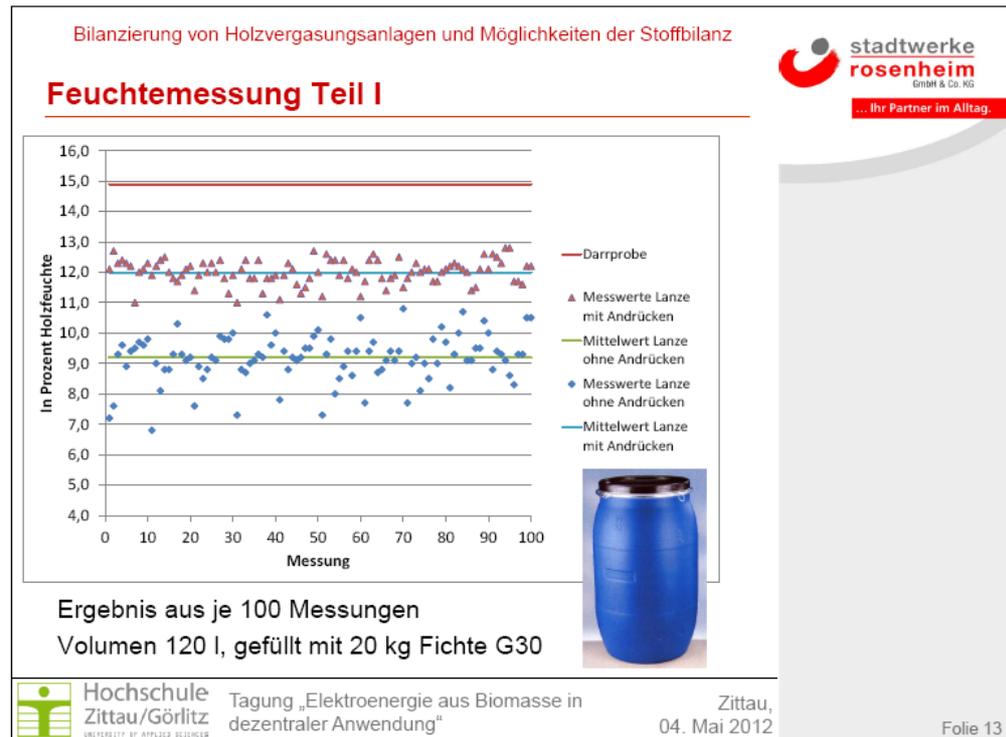
Inputmessung (Schüttraummeter und Heizwert)

Wassergehalt zu Heizwert von Fichte verschiedene Literaturangaben

Bei 15 % Wassergehalt: 840 – 700 kWh/srm = 140 kWh/srm
Entspricht +- 8,4 % vom Mittelwert der Extremwerte

Hochschule Zittau/Görlitz Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“ Zittau, 04. Mai 2012 Folie 12

stadtwerke rosenheim GmbH & Co. KG ... Ihr Partner im Alltag.



Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Feuchtemessung Teil II – ein Hersteller

Zitat aus der Antwort:

„... nach Rücksprache mit unserer Entwicklungsabteilung gehen wir weder von einem systematischen Fehler beim Gerät noch beim Fühler aus.
Derzeit laufen bei uns allerdings gerade neue Vermessungen mit Hackschnitzeln um diesen Effekt, dass die Messwerte um ca. 3% falsch angezeigt werden, nachvollziehen zu können.
...
Angesichts der Tatsache, dass Sie einen Messfehler von 3% feststellen, erscheint es uns nicht sinnvoll diese Messergebnisse im Rahmen einer Präsentation vorzustellen. Auch mit neuem Messequipment wird sich hieran nicht viel ändern.“

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

stadtwerke rosenheim GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Folie 14

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Fehler bei der Messung des Inputs

Feuchte
- 30 %

Massenstrom
+ - 8,4 %

Heizwert
+ - 5,7 %

Input
(Energie)
???

stadtwerke rosenheim
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 15

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Möglichkeiten der Stoffstrombilanz zur Kontrolle

Die Grundgedanken:

1. Die Bilanz umfasst C, H, O und N
2. Die Zusammensetzung von Holz ist (in Europa) immer nahezu gleich (50/6/44 ma% an C/H/O)
3. Die Permanentgaswerte (CO, CO₂, CH₄, H₂ und Feuchte) können mit überschaubaren Mitteln relativ genau gemessen werden.
4. Die Menge an Stickstoff ist der Rest und lässt Rückschluss auf die zugeführte Luftmenge zu
5. Der gesamte Input findet sich im Gas und ggf. im unverbrannten Kohlenstoff in der Asche

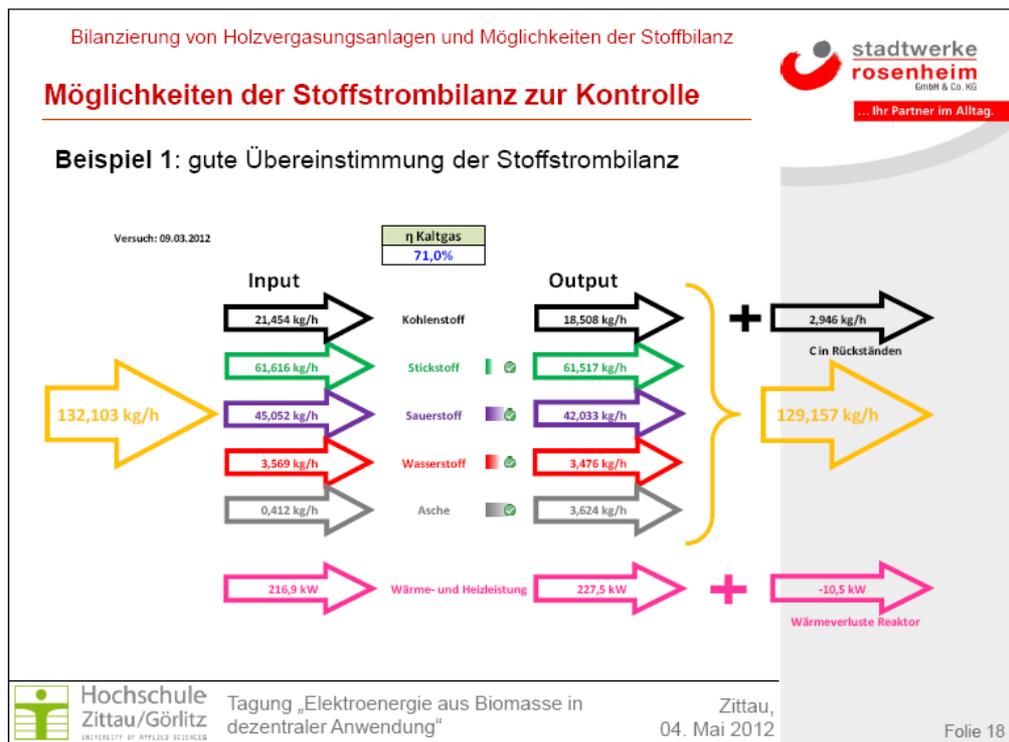
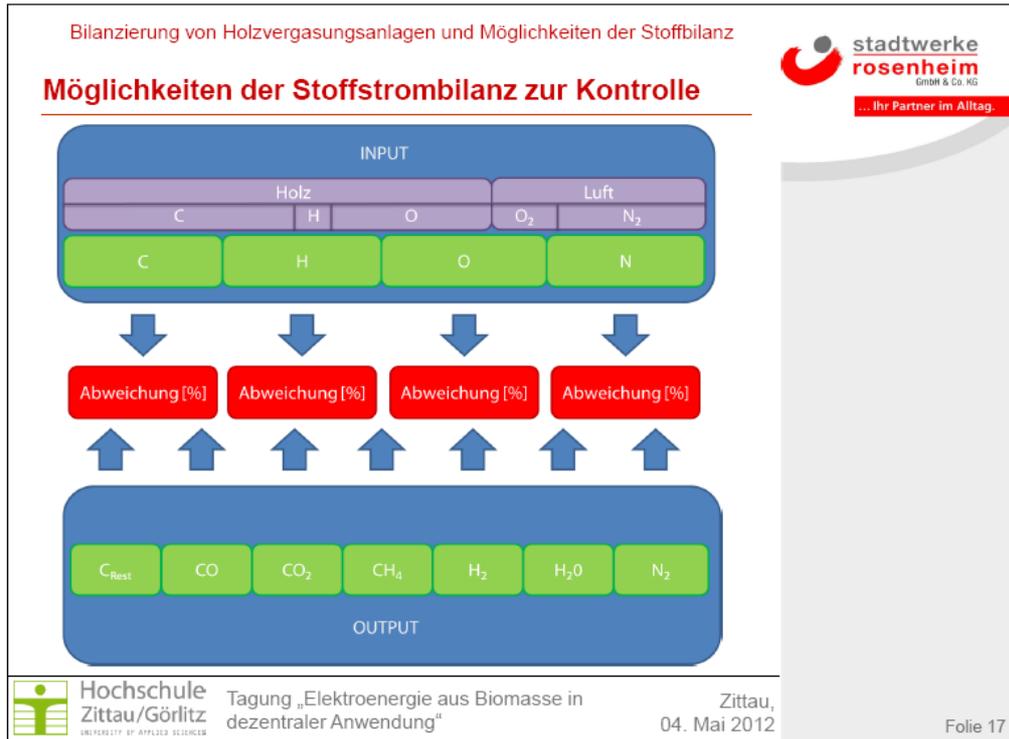
stadtwerke rosenheim
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

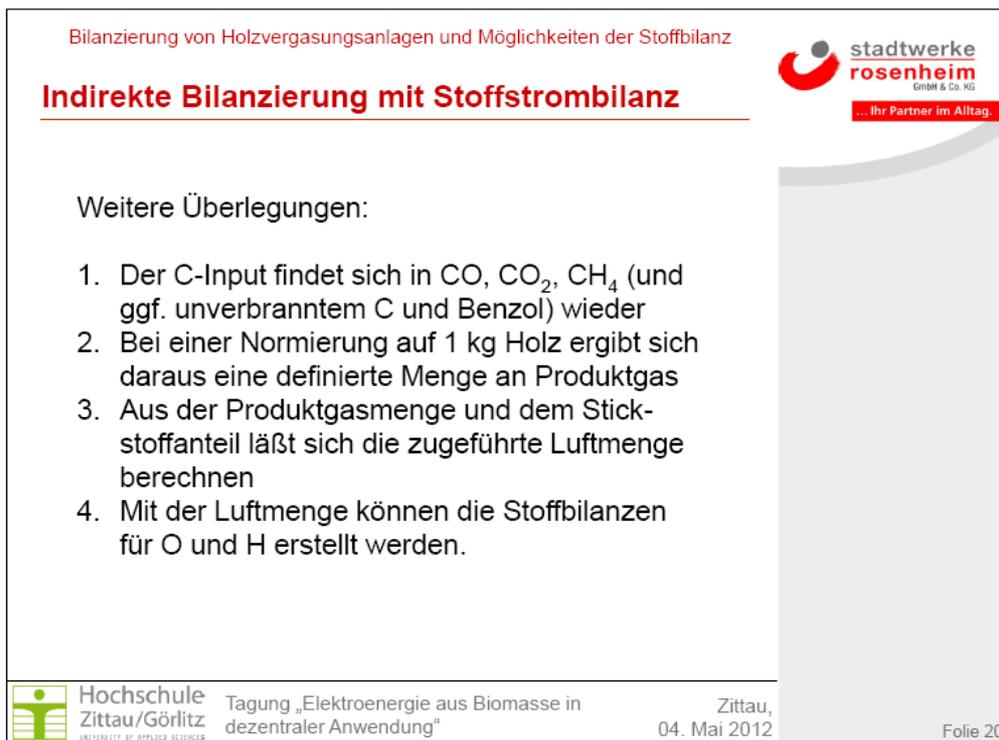
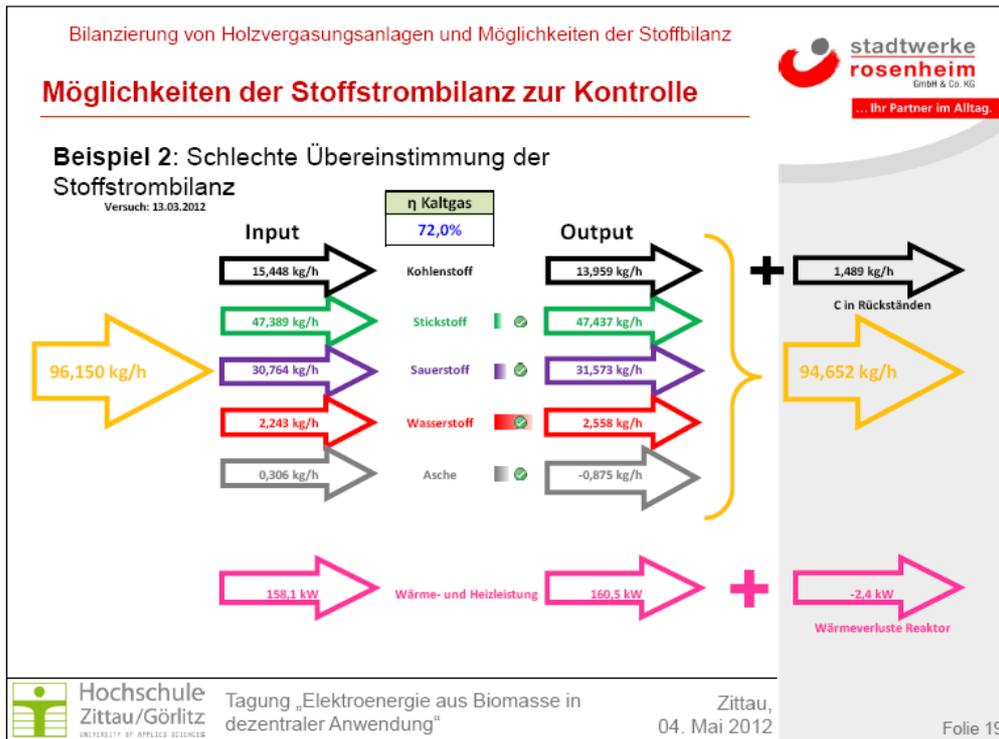
Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

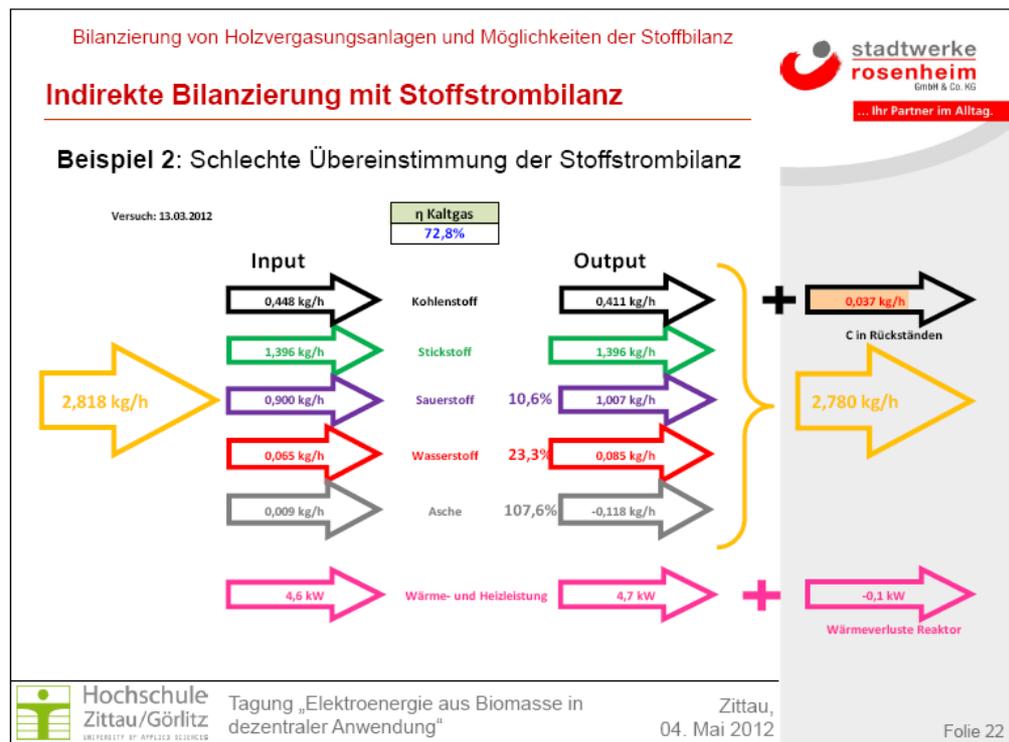
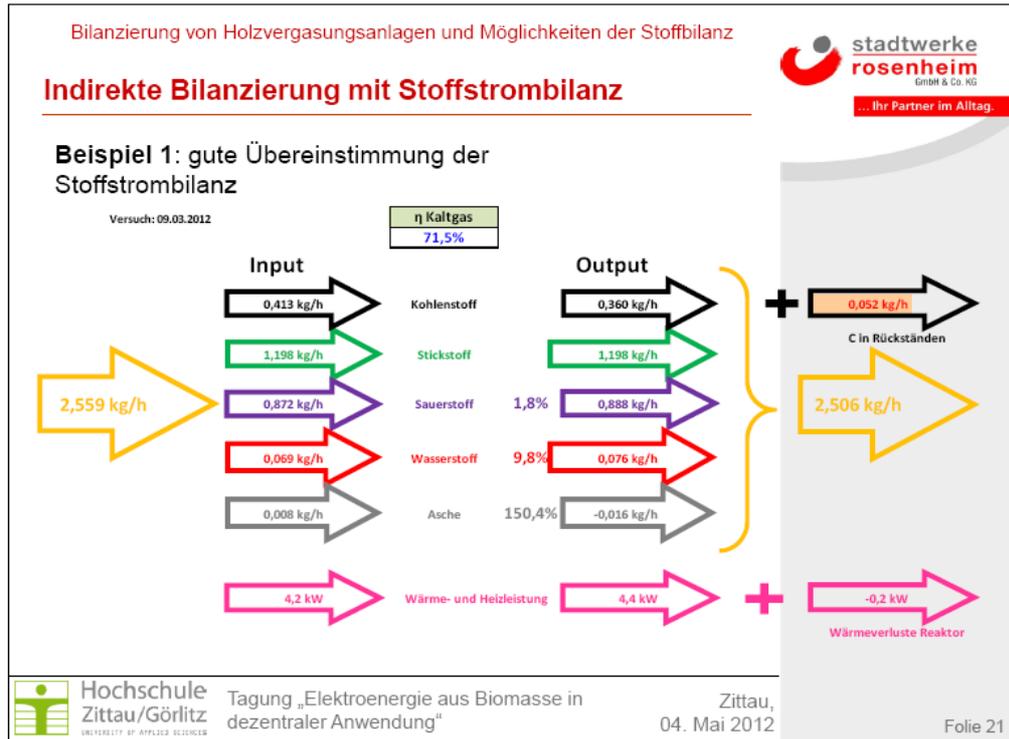
Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 16







Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Zusammenfassung und Ausblick

- Die Bilanzierung ist unverzichtbares Hilfsmittel für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und technische Entwicklung.
- Es gibt noch viele Unsicherheiten bezüglich der einzusetzenden bzw. anzunehmenden Werte.
- Die Stoffstrombilanz kann jetzt schon helfen, Messfehler in Bilanzen zu erkennen
- Eine erweiterte Stoffstrombilanz mit Ausgleichsrechnung könnte künftig eine einfache Möglichkeit zur Bilanzierung werden.
- Die Gültigkeitsbereiche für eine „vereinfachte Bilanzierung“ sind noch nachzuweisen.

 Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 23

 **stadtwerke rosenheim**
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Bilanzierung von Holzvergasungsanlagen und Möglichkeiten der Stoffbilanz

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Für Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung ...



Reinhold Egeler
Stadtwerke Rosenheim GmbH & Co.KG
Müllheizkraftwerk
Bayerstraße 5, 83022 Rosenheim
08031 / 365 - 22 12
Reinhold.Egeler@swro.de

 Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tagung „Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung“

Zittau,
04. Mai 2012

Folie 24

 **stadtwerke rosenheim**
GmbH & Co. KG
... Ihr Partner im Alltag.

Erfahrungen bei der dezentralen Biomassevergasung im Betreiberfeld der Firma Spanner Re²

(Yves Noël, Prof. Peter Quicker; RWTH Aachen)

1 Aufgabenstellung

Die Firma Spanner Re² fertigt und vertreibt Holzhackschnitzelgleichstromvergaser und zählt deutschlandweit mit über 100 im Betrieb befindlichen Anlagen zu den führenden Anbietern in diesem Bereich. Diese Holzhackschnitzelgleichstromvergaser (s. Abbildung), nachfolgend als Holzvergasungsanlagen bezeichnet, werden von der Firma Spanner Re² in den Leistungsklassen 30 kW_{el} (70 kW_{th}) sowie 45 kW_{el} (110 kW_{th}) angeboten.

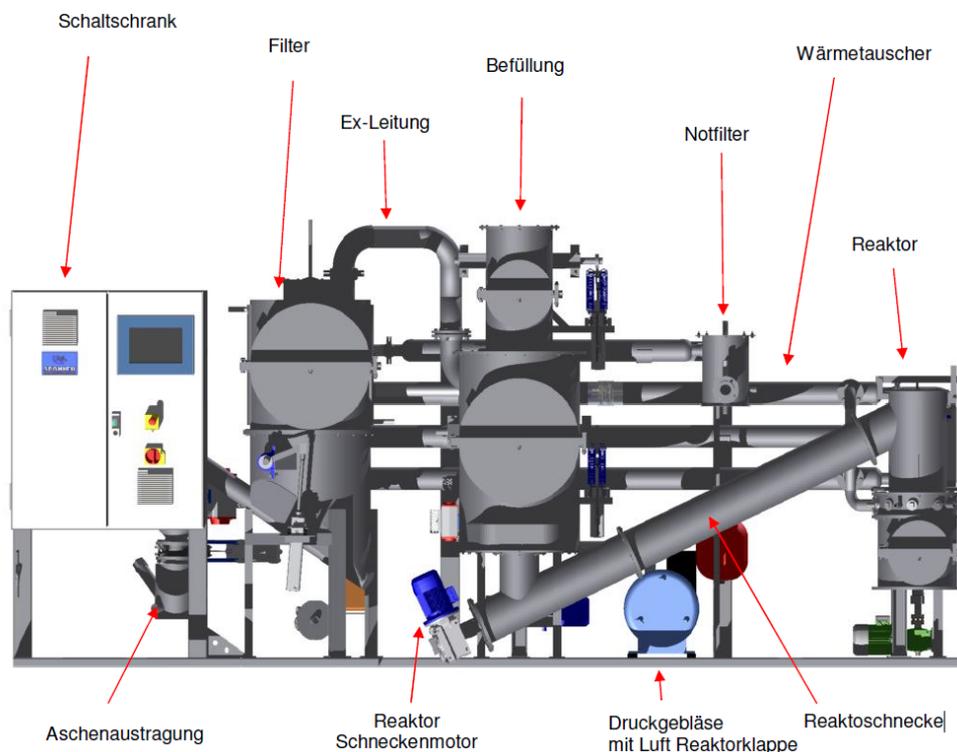


Abb. 1: Holzhackschnitzelgleichstromvergaser der Firma Spanner Re² [Spanner2010]

Im Herbst 2011 erfolgte im Betreiberfeld der von der Firma Spanner hergestellten Holzvergaser eine Erfassung der Anlagenbetriebsdaten. Diese Datenerfassung wurde vom Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe an der RWTH Aachen (TEER) durchgeführt und fand in enger Kooperation mit der Firma Spanner Re² statt.

Anhand der erhobenen Betriebsparameter bietet sich für den Anlagenhersteller die Möglichkeit, das Betriebsverhalten der produzierten Holz-Kraft-Anlagen in der Praxis zu untersuchen. Durch einen Vergleich der Betriebsparameter der untersuchten Anlagen untereinander sind Rückschlüsse auf den Einfluss der betreiberspezifischen Randbedingungen (Anlagenfahrweise, Brennstoffbeschaffenheit) auf den Anlagenbetrieb möglich. Mittels des Vergleichs der untersuchten Anlagen sind Schwerpunkte von Fehlerquellen im Anlagenfeld aufzeigbar. Nach Identifikation dieser

Fehlerquellen sollen die auf Basis der Angaben der Anlagenbetreiber gewonnenen Erkenntnisse in die Entwicklung der Produkte der Firma Spanner Re² einfließen sowie zur Präzisierung der Betriebsempfehlungen für neue bzw. bestehende Anlagen herangezogen werden können.

2 Vorgehensweise

Im Zuge der Datenerfassung wurden insgesamt 16 Holzvergasungsanlagen an 15 Standorten untersucht. Darüber hinaus wurden die Betreiber zum Betriebsverhalten ihrer Holzvergasungsanlage bzw. ihrer Holzvergasungsanlagen in insgesamt 81 Punkten befragt.

Die Betreiberbefragung umfasste folgende Themengebiete:

- Allgemeine Kennzahlen der Gesamtanlage (z.B. Inbetriebnahme, Betriebsstunden)
- Anlagenteil Schleuse (z.B. Einbauten, Brennstoffbrückenbildung)
- Anlagenteil Reformer (z.B. Füllhöhe, Schlackebildung, Fehlerquellen)
- Anlagenteil Produktgasfilter (Filterstandzeit, Kohleanfall)
- Anlagenteil BHKW (Ablagerungen im Motor, Ölwechselzyklus)
- Brennstoff (z.B. Holzart, Holzherkunft)

Neben der Befragung des Anlagenbetreibers wurde der Datenlogger der Vergasereinheit sowie der des BHKW ausgelesen. Auf diese Weise ließen sich die Betriebsparameter beider Anlagenteile (Drücke, Temperaturen) sowie die Stillstandzeiten und Fehlermeldungen im Zeitraum eines Jahres vor dem Anlagenbesuch in die Datenerfassung einbinden. Parallel zur Betreiberbefragung wurde, insofern sich die Anlage im Betrieb befand, eine Abgasmessung am BHKW durchgeführt. Befand sich die Anlage nicht im Betrieb, wurde die Geometrie im Reformerinneren vermessen. Weiterhin wurden an jedem Anlagenstandort eine oder ggf. mehrere Brennstoffproben sowie eine Kohleprobe entnommen.

Im Nachgang der Datenerhebung fand eine Charakterisierung der beprobten Brennstoffe statt. Gegenstand dieser Brennstoffcharakterisierung war zum einen die Bestimmung der Korngrößenverteilung. Zum anderen wurden die Immediate Wassergehalt, Aschegehalt und der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, die brennstoffrelevanten Elemente sowie der Heizwert bestimmt. Die Kohleprobe dient als Rückstellprobe für etwaige Nachuntersuchungen.

3 Fazit

Bei der durchgeführten Datenerhebung wurde das Betriebsverhalten ausgewählter Holzvergaseranlagen untersucht. Im Rahmen dieser Datenerhebung wurde ein persönliches Gespräch mit den beteiligten Anlagenbetreibern geführt, welches deren Erfahrungen beim Betrieb der Anlagen thematisierte. Die Gespräche waren durch eine hohe Kooperationsbereitschaft aller beteiligten Anlagenbetreiber sowie durch deren bereitwillige Auskunft über alle relevanten Themengebiete gekennzeichnet.

Nach Auswertung der Ergebnisse lässt sich insgesamt feststellen, dass die jährliche Laufzeit der untersuchten Anlagen stark von Wärmekonzept der Anlage (stromgeführt, wärmegeführt, Wärmebedarf) sowie von der Anlagenfahrweise des Betreibers (z.B. nächtliches Abschalten der Anlage) abhängt. Dem entsprechend schwankt diese von 2.500 Stunden bis 6.900 Stunden um einen Mittelwert von ca. 5.000 Jahresbetriebsstunden deutlich. Hierbei ist der Einfluss der Anlageneinfahrphase nicht

berücksichtigt. Hiervon bereinigt werden Anlagenlaufzeiten von teils deutlich über 7.000 Stunden jährlich als realistisch angesehen. Der Wartungsaufwand für den Betrieb der Anlagen sowie die Anlagenausfallhäufigkeit variieren ebenfalls stark. Aus den Angaben der Betreiber wurden durchschnittlich 6 Anlagenausfälle je Woche bei einem wöchentlichen Wartungsaufwand von 4 Stunden gemittelt. Als häufige Störquelle wurden von den Befragten Überkorn sowie Störstoffe im Brennstoff genannt.

Im Zuge der Datenerfassung konnte verdeutlicht werden, dass das Betriebsverhalten der untersuchten Holzvergaser stark von den äußeren Randbedingungen beeinflusst wird, denen der Prozess unterworfen ist. Des Weiteren wurde der große individuelle Einfluss des Betreibers auf den Anlagenbetrieb deutlich. Dieser äußerte sich einerseits durch die Wahl der vom Betreiber frei einstellbaren Betriebsparameter oder auch durch individuelle Veränderungen der Anlagentechnik. Einige Veränderungen an der Anlagentechnik, mit denen eine Verbesserung des Anlagenbetriebs beabsichtigt wird, wurden individuell vermehrt umgesetzt (Störstoffabscheidung). Im Gegensatz dazu wird die Funktion anderer Bauteile, wie beispielsweise der Einfluss von Einbauten im Reformier auf den Vergasungsprozess, von den Betreibern kontrovers beurteilt. Nahezu einheitlich wird von den Betreibern der Einfluss der Brennstoffbeschaffenheit, hier insbesondere der negative Einfluss des Feinanteils auf die Filterstandzeit sowie auf die Stabilität des Vergasungsprozesses wahrgenommen.

Bei der Charakterisierung aller von den besuchten Betreibern eingesetzten Brennstoffe konnte die Konformität der Korngrößenverteilung mit den Vorgaben der Firma Spanner Re² nahezu vollständig bestätigt werden. Die Maximalkorngröße von 40 mm wurde im Mittel von 1 % der Brennstoffmasse leicht überschritten. Der maximal zulässige Feinanteil im Brennstoff wurde, trotz mehrfach bei den Betreibern auftretender Betriebsstörungen durch einen zu hohen Feinanteil des Brennstoffs, deutlich unterschritten.

Die Bestimmung der Brennstoffimmediate sowie der brennstoffrelevanten Elemente bestätigte die hohe Brennstoffqualität weitestgehend: Der für den Einsatz in der Holzvergasungsanlage geforderte maximale Wassergehalt wird im Mittel, bis auf wenige Ausnahmen, sicher eingehalten. Hinsichtlich des Aschegehalts waren bei den untersuchten Proben im Mittel ebenfalls keine Auffälligkeiten feststellbar. Mit abnehmender Korngröße steigt der Aschegehalt jedoch sehr deutlich an. Infolge dessen ist im Feinanteil, welcher im Kornspektrum kleiner 4 mm durchschnittlich einen Massenanteil von 8,7 % am Brennstoff besitzt, 49 % der im Brennstoff enthaltenen Asche vorhanden. Im Falle eines Anlagenbetreibers kommen neben Holzhackschnitzeln auch Miscanthushäcksel als Brennstoff zum Einsatz. Aufgrund des hohen Chlorgehalts dieses Brennstoffs kann ein erhöhtes Korrosionsrisiko für die Anlage nicht ausgeschlossen werden.

Aus einer Gegenüberstellung der von der Firma Spanner Re² geforderten Brennstoffqualität mit der Qualität der in den Anlagen eingesetzten Brennstoffe geht hervor, dass die Vorgaben des Herstellers von nahezu allen untersuchten Proben erfüllt werden. Trotz dessen ist ein Schwerpunkt der Anlagenausfälle brennstoffbedingt. Hieraus lässt sich ein Defizit des Brennstoffs für den Einsatz in den Anlagen der Firma Spanner Re² in der Korngrößenverteilung und dem Aschegehalt feststellen. Aufgrund dessen wird eine Anpassung der Brennstoffspezifikation von Seiten des Anlagenherstellers empfohlen. Alternativ oder im gegebenen Fall zusätzlich wird eine mechanische Aufbereitung des Brennstoffs vor dem Einsatz in den Holzvergasern der Firma Spanner Re² empfohlen.

4 Ausblick

Angesichts der im Zuge der Datenerfassung gewonnenen Erkenntnisse ist eine Vielzahl von Empfehlungen für den Betrieb der Holzvergasungsanlagen der Firma Spanner Re² ableitbar. Weiterhin wurden von den Betreibern Optimierungsansätze aufgezeigt, deren Berücksichtigung bei der Anlagenkonstruktion vom Hersteller geprüft wird.

Derzeit finden auf Seiten der Firma Spanner Re² Entwicklungsarbeiten zur prozessinternen Brennstoffaufbereitung statt. Hierbei wird eine in die Anlage integrierte Abscheidung von Störstoffen sowie von Feinkorn angestrebt.

Praxiserfahrungen zum Betrieb einer Holzvergaseranlage (Andreas Tigges)

Holzvergaseranlage

Praxiserfahrungen zum Betrieb einer Holzvergaseranlage

Vortrag zur Tagung
Energetische Biomassenutzung
am 04.05.2012
in der Hochschule Zittau/Görlitz

Andreas Tigges
Körnerweg 10
01445 Radebeul

1

Holzvergaseranlage

Inhaltsverzeichnis

- Zur Person
- Anlagendaten
 - Technische Daten der Anlage
 - Fotos
 - Betriebsdaten der Anlage
- Kosten
 - Investkosten
 - Betriebskosten
 - Laufzeitbetrachtung über 20 Jahre
 - Hackschnitzelkalkulation
- Erfahrungen
 - Bisherige Betriebserfahrungen
 - Aufgetretene Fehler und Probleme
 - Bisherige Ersatzteile
- Prämissen zum erfolgreichen und wirtschaftlichen Betrieb
- Fazit

2

Holzvergaseranlage



Zur Person

- Andreas Tigges
 - wohnhaft in 01445 Radebeul
 - 48 Jahre
 - Bauingenieur
 - Gesellschafter von teamproject – Ing.ges. für Projektmanagement

 - Betrieb einer Holzvergaseranlage in der Gärtnerei Türke in 01640 Coswig
 - Wärmecontracting für die Gärtnerei
 - Einspeisung des erzeugten Stroms in das Niederspannungsnetz der ENSO
- 

3

Holzvergaseranlage



Technische Daten der Anlage

- Vergaser
 - Festbettvergaser nach Joos-Spanner
 - Hersteller: Fa. Spanner, Neufahrn in Bayern
 - Anlage Nr. 30

 - BHKW
 - 8 Zylinder GM-Rumpfmotor mit 5,7 l Hubraum
 - Hersteller BHKW: kwe-Energietechnik Freystadt

 - Leistung
 - 45 kW elektrisch
 - 120 kW thermisch
- 

4

Holzvergaseranlage

Fotos - Vergasereinheit



5

Holzvergaseranlage

Fotos - Vergasereinheit



6

Holzvergaseranlage

Fotos - BHKW



7

Holzvergaseranlage

Fotos - Hackschnitzelfahrsilo



8

Holzvergaseranlage

Fotos - Hackschnitzel



9

Holzvergaseranlage

Betriebsdaten der Anlage

- Inbetriebnahme am 16.11.2010
- Bisherige Laufzeit bis 09.03.2012: 1.796 h
- Eingespeister Strom: 72.600 kWh (reicht für ca. 24 Haushalte à 3.000 kWh)
- Erzeugte Wärme: 187 MWh (reicht für ca. 9 Haushalte à 20.000 kWh)

- Verbrauch Hackschnitzel absolut: 512 srm (entspricht 6 Fuhren mit Walking-Floor à 85 m³)
- Verbrauch Hackschnitzel pro kWh elt: 1,0 kg/kWh
- Verbrauch Hackschnitzel pro Betriebsstunde: 0,28 srm/h
- Verbrauch Eigenstrom bis 09.03.2012: 4.653 kWh (entspricht ca. 6,5 % des erzeugten Stroms)

- Leistung ist: 40,4 kW

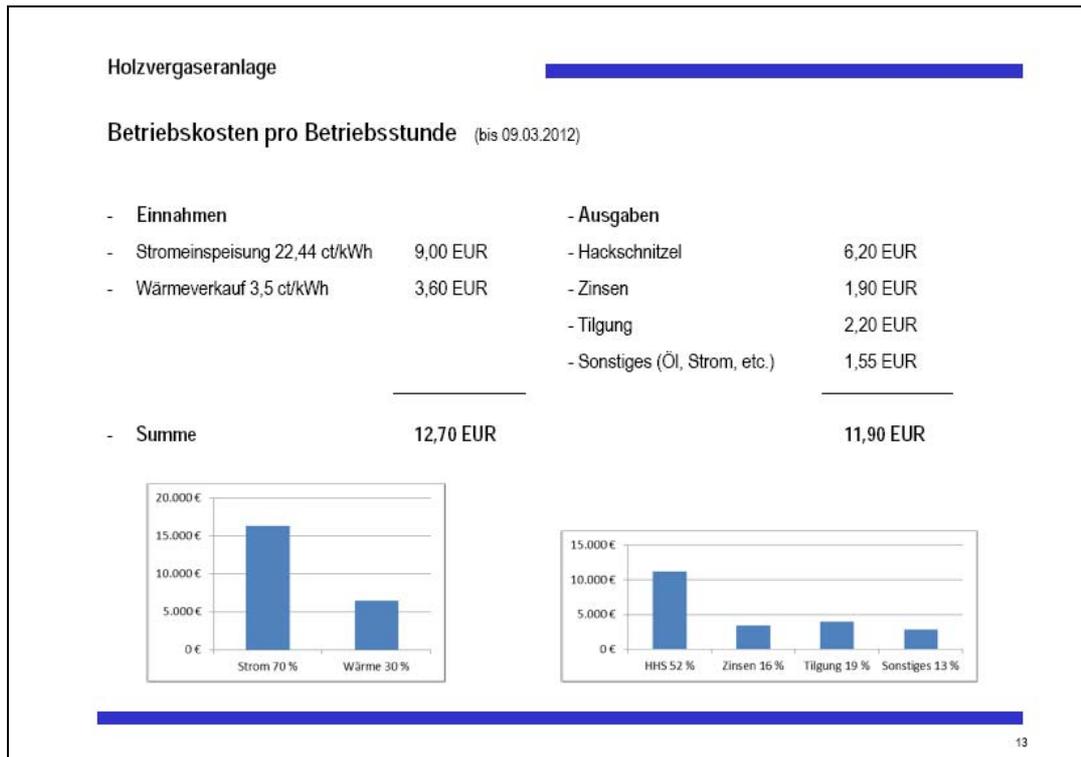
10

Holzvergaseranlage	
Investkosten	
- Anlage	130.000 EUR
- zus. erf. Leistungen wie	
- Pumpen, Rohrleitungen, Montage, ELT-Anschluss, Silo, Netzwerk, etc,	35.000 EUR
- Gebrauchter Pufferspeicher 100.000 l (Beistellung Gärtnerei Türke)	<u>40.000 EUR</u>
- Summe Gesamt	200.000 EUR

11

Holzvergaseranlage			
Betriebskosten absolut (bis 09.03.2012)			
- Einnahmen		- Ausgaben	
- Stromeinspeisung 22,44 ct/kWh	16.300 EUR	- Hackschnitzel	11.200 EUR
- Wärmeverkauf 3,5 ct/kWh	6.500 EUR	- Zinsen	3.400 EUR
		- Tilgung	4.000 EUR
		- Sonstiges (Öl, Strom, etc.)	2.800 EUR
- Summe	22.800 EUR	- Summe	21.400 EUR
- Fazit: +- Null			

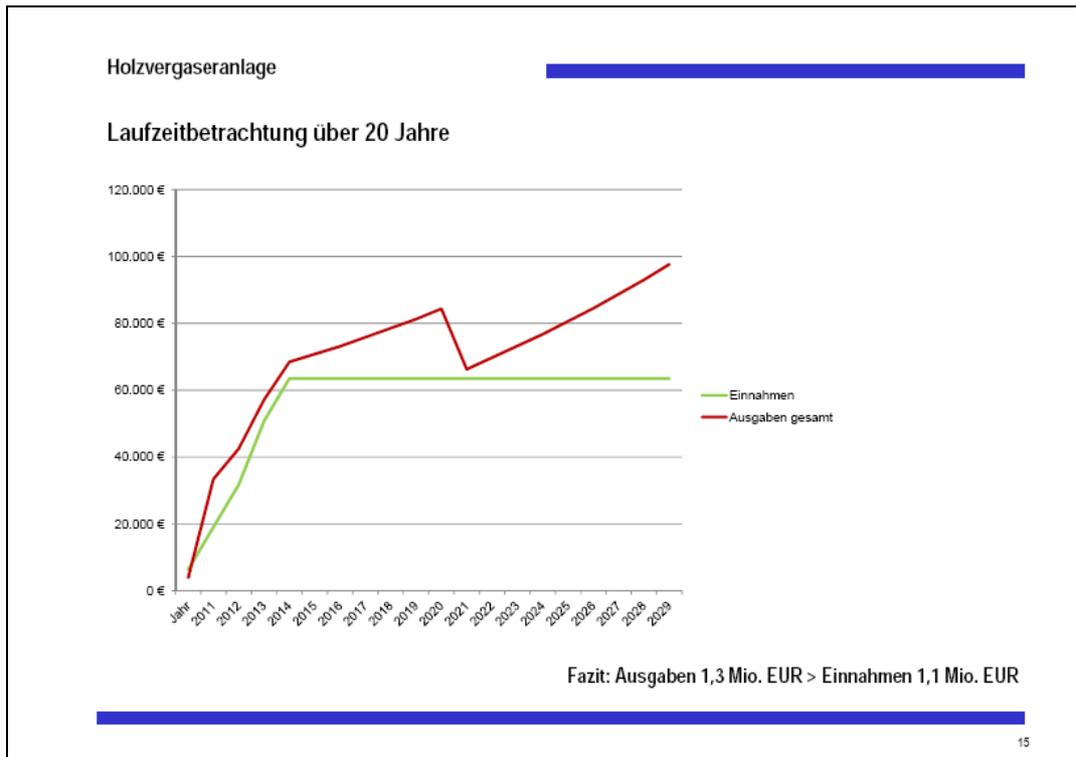
12



Holzvergaseranlage

Laufzeitbetrachtung über 20 Jahre

Jahr	Verfügbarkeit (%)	Betriebsstunden	Einnahmen	Ausgaben Fix (Zins, Tilgung)	variabel (HS, Sonstiges) ohne Preissteigerung	Preissteigerung 5%	Ausgaben variabel (HS, Sonstiges) mit Preissteigerung	Ausgaben Gesamt
2011	10	500	6.350 €		3.875 €	1,00	3.875 €	3.875 €
2012	30	1500	19.050 €	21200	11.625 €	1,05	12.206 €	33.406 €
2013	50	2500	31.750 €	21200	19.375 €	1,10	21.313 €	42.513 €
2014	80	4000	50.800 €	21200	31.000 €	1,16	35.960 €	57.160 €
2015	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,22	47.275 €	68.475 €
2016	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,28	49.600 €	70.800 €
2017	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,34	51.925 €	73.125 €
2018	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,41	54.638 €	75.838 €
2019	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,48	57.350 €	78.550 €
2020	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,55	60.063 €	81.263 €
2021	100	5000	63.500 €	21200	38.750 €	1,63	63.163 €	84.363 €
2022	100	5000	63.500 €		38.750 €	1,71	66.263 €	66.263 €
2023	100	5000	63.500 €		38.750 €	1,80	69.750 €	69.750 €
2024	100	5000	63.500 €		38.750 €	1,89	73.238 €	73.238 €
2025	100	5000	63.500 €		38.750 €	1,98	76.725 €	76.725 €
2026	100	5000	63.500 €		38.750 €	2,08	80.600 €	80.600 €
2027	100	5000	63.500 €		38.750 €	2,18	84.475 €	84.475 €
2028	100	5000	63.500 €		38.750 €	2,29	88.738 €	88.738 €
2029	100	5000	63.500 €		38.750 €	2,40	93.000 €	93.000 €
2030	100	5000	63.500 €		38.750 €	2,52	97.650 €	97.650 €
			1.123.950 €	212.000 €	685.875 €		1.187.807 €	1.389.507 €



- Holzvergaseranlage
- Bisherige Betriebserfahrungen
1. Hackschnitzel
 1. Qualitätshackschnitzel sind entscheidend für den Betrieb, möglichst gesiebte Ware
 2. Erforderliche Hackschnitzelqualität lässt sich nur mit Stammware erzielen
 3. Lieferung der Hackschnitzel ist schwierig, da nicht ausreichend Anbieter vorhanden
 4. Zu viele Schritte und Umschläge sind erforderlich, daraus resultierend hoher Hackschnitzelpreis
 2. Wärmekonzept
 1. Pufferspeicher ist suboptimal, da die spezifische Wärmekapazität bei 100.000 l bei ca. 8 h liegt. Das ist als Puffer zu wenig
 2. Ganzjährige konstante Wärmeabnahme zwingend erforderlich
- 17

Holzvergaseranlage

Bisherige Betriebserfahrungen

3. Anlage

1. Anlage läuft auch mit Premium Hackschnitzeln nicht stabil
2. Tägliche Vorortpräsenz ist unabdingbar
3. Befüllung zu aufwändig und kostenintensiv (alle 2 Tage ca. 3/4 h mit Bobcat)
4. Hoher Ascheanteil (alle 3-4 Tage BigBag Wechsel erforderlich)
5. Hoher Ölverbrauch BHKW/Turbo (ca. 50 l pro 750 h)
6. Anlage ist nicht gasdicht, ⇒ hoher CO- und Ethylengehalt ⇒ Pflanzen werden geschädigt
⇒ direkter Betrieb im Gewächshaus nicht möglich
7. Pro Tag ca. eine Störung
8. Max. ununterbrochene Laufzeit der Anlage bisher: 52 Stunden
9. Abnahmetest von 72 h bisher noch nicht erreicht

18

Holzvergaseranlage

Aufgetretene Fehler und Probleme

Auswertung Fehler Vergasereinheit

Datum: 4.1.11 - 28.5.11

Ab dem 4.1.2011 wurde dasselbe Premiummaterial wie im Werk bei Fa. Spanner eingesetzt

Datum	Ergebnis
2011-01-04	5
2011-01-05	10
2011-01-06	12
2011-01-07	12
2011-01-08	7
2011-01-10	13
2011-01-11	2
2011-01-12	6
2011-01-13	2
2011-01-14	7
2011-01-15	6
2011-01-16	5
2011-01-17	4
2011-01-20	8
2011-01-26	2
Gesamtergebnis	97



Beispielhaft: Zeitraum Jan-Mai 2011: ca. 100 Fehler bei Laufzeit von ca. 500 h

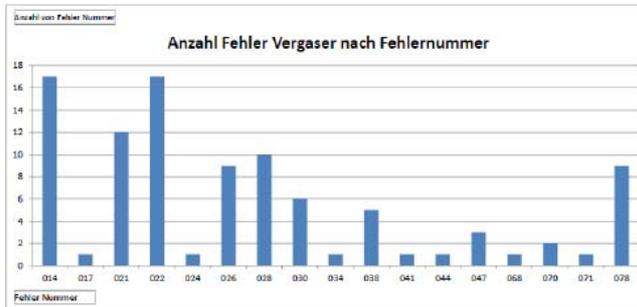
⇒ Weiterhin ca. 1x pro Tag eine Störung

19

Holzvergaseranlage

Aufgetretene Fehler und Probleme

Anzahl von Fehler Nummer	Ergebnis
014	17
017	1
021	12
022	17
024	1
026	9
028	10
030	6
034	1
038	5
041	1
044	1
047	3
068	1
070	2
071	1
073	9
Gesamtergebnis	97



Beispielhaft: Zeitraum Jan-Mai 2011: ca. 100 Fehler und 17 Fehlerkategorien

⇒ Heterogenes Fehlerbild

Holzvergaseranlage

Aufgetretene Fehler und Probleme

Beispiele

- CO-Gehalt bis zu 40 ppm, > 5 ppm ist pflanzenschädigend
- Überdruck Schleuse > 270 mbar, Berstscheiben platzen
- Anfahrzeiten bei automatischem Start überschritten
- Reformer überfüllt
- Zu viele Startversuche BHKW
- Endschalter Reststoffschieber zu
- Füllstandssensor Reformer fest



Fazit: Weiterhin heterogenes Fehlerbild

Holzvergaseranlage

Bisherige Ersatzteile

- 3x Turbo
- 1x Reformert komplett
- 1x Reformerrost
- 1x Ascheschieber
- 4x Filter
- 6x Berstscheiben
- 8x Zündstäbe
- 1x Federblätter Hackschnitzelbunker
- 1x Rechnersteuerung BHKW
- 1x Federn Schleusenklappen
- 5x diverse Relais BHKW

22

Holzvergaseranlage

Prämissen zum erfolgreichen wirtschaftlichen Betrieb

	Forschung / Entwicklung erf.
1. Hohe Verfügbarkeit der Anlage (> 5.000 h), Komponenten und Zusammenspiel müssen robuster werden	X
2. Ganzjährige konstante Wärmeabnahme	
3. Online Trocknung von Hackschnitzeln, die mit Dombelüftung getrocknet sind, d.h. von 25 % auf 15 %	X
4. Aufbereitung Holzgas zu Erdgasqualität und Einspeisung ins Erdgasnetz	X

23

Holzvergaseranlage	
Prämissen zum erfolgreichen wirtschaftlichen Betrieb	
	Forschung / Entwicklung erf.
5. Vergasung von alternativem Material (geschreddertes Landschaftspflegematerial, Reste aus Spanplattenproduktion, Gärreste aus Biogasanlagen), Material darf keine Konkurrenz zur stofflichen Nutzung darstellen	X
6. Pressen von feinem Material z.B. Sägemehl, Feinanteile aus KUP-Material, Heu, Stroh	X
7. Brennstoffbereitstellung und Logistikkette ohne Umschläge (Stichwort: Vom Wald/Feld direkt in die Anlage)	X
8. Gesicherte Brennstoffbereitstellung über 20 Jahre zu festen Konditionen	

24

Holzvergaseranlage	
Fazit	
1. Teures Hobby	
2. Kostet viel Zeit und Nerven	
3. Technik noch nicht ausgereift	
4. Noch sehr viel Forschungs- und Entwicklungsbedarf erforderlich, insbesondere im Bereich Brennstofflogistik, -aufbereitung, -bereitstellung	
5. Anlage wird wahrscheinlich immer ein Nischenprodukt bleiben	

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

25