

# Highlights Task 37 – 2007-2009

Rudolf Braun

Institut für Umweltbiotechnologie  
Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie IFA-Tulln  
Universität für Bodenkultur  
12. November 2009



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Task 37: Energy from Biogas & Landfill Gas

### 11 Teilnehmerinstitutionen 2007-2009

Arthur Wellinger, Nova Energie GmbH, **Schweiz** (Task leader)

Rudolf Braun, Univ. für Bodenkultur, Tulln, **Österreich**

Jens Bo Holm Nielsen, Esbjerg Univ., **Dänemark**

Peter Weiland, J.H. von Thünen Institut, Braunschweig, **Deutschland**

Clare Lukehurst, FBIAC, Kent, **England**

Jukka Rintala, Jyväskylä Univ., **Finnland**

David Baxter, JRC Petten, **Holland**

Matthieu Dumont, Senter Novem, **Holland**

Caroline Marchais, French Biogas Assoc., Arcueil; G. Bastide, O. Theobald,  
Natl. Agency for Environment and Energy Management, Angers; **Fankreich**

Andrew McFarlan, CanMet Energy, Ottawa, **Kanada**

Anneli Petersson, SGC, Malmö, **Schweden**



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Task 37 „auf einen Blick“

10 Teilnehmerländer und die Europäische Kommission  
3 Universitäten: DK, Esbjerg (J.B. Holm-Nielsen); FI, Jyväskylä (J. Rintala); A, BOKU (R. Braun)  
2 Konsulentenbüros (CH, UK)  
2 Fachverbände (Swedish Gas Center, French Biogas Association)  
2 Forschungsorganisation (Senter Novem, NL; J.H. v. Thünen Inst., D)  
1 EU Joint Research Center (Petten, NL)

### „Highlights bisher“

IEA Broschüre „Potential of Co-Digestion“  
IEA Broschüre „Requirements of the EC ABP Regulation“ (Englisch / Deutsch)  
IEA Broschüre „Good Practice in Quality Management of AD Residues“  
Task 37 website „Success Stories“  
Task 37 website „Industry Forum“  
Joint Res. Exchange Meeting mit EU „Cropgen“ „Biogas from Energy Crops“ Utrecht, NL  
Koordination der Ausbildung von Biogasanlagenbetreibern in Ö, D und CH



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## „Highlights Arbeitsperiode 2007-2009“

Research Exchange Workshop „Energy Crops“, Berlin (2007)  
Research Exchange Workshop „Biogas Upgrading“, Tullin (2009)  
Int. Biogas Seminar Ludlow, UK (2008)  
Int. Biogas Seminar Jyväskylä, FI (2009)

Success Story Pflanzen Co-vergärung Reidling  
Success Story Pflanzen (Mono)Vergärung Strem  
Success Story Bioabfallvergärung Markgrafneusiedl  
Success Story Biogasaufbereitung Pucking  
Success Story Schlachthofabwasser(abfall) Vergärung Großfurtner  
Success Story Trockenvergärung / Energiepflanzen, Jühnde

IEA Broschüren „Biogas from Energy Crops“  
„Biogas Upgrading Technologies-Developments & Innovations“  
„Quality Management / Fertilizers from Digestate“  
„Source Separation of Bio-Waste“

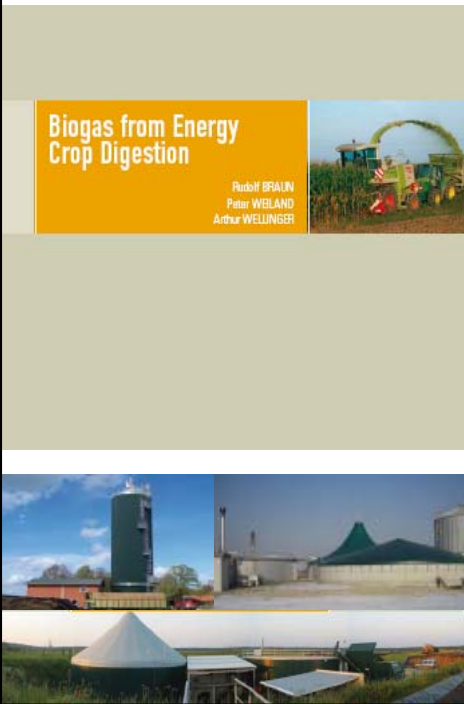
Studienbeihelfe und Informationsmaterial (Folienserie) „Biogas“  
Technische Kurzinformation „Behandlungsstrategien für schwer abbaubare Abfälle ( Abwässer)














Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

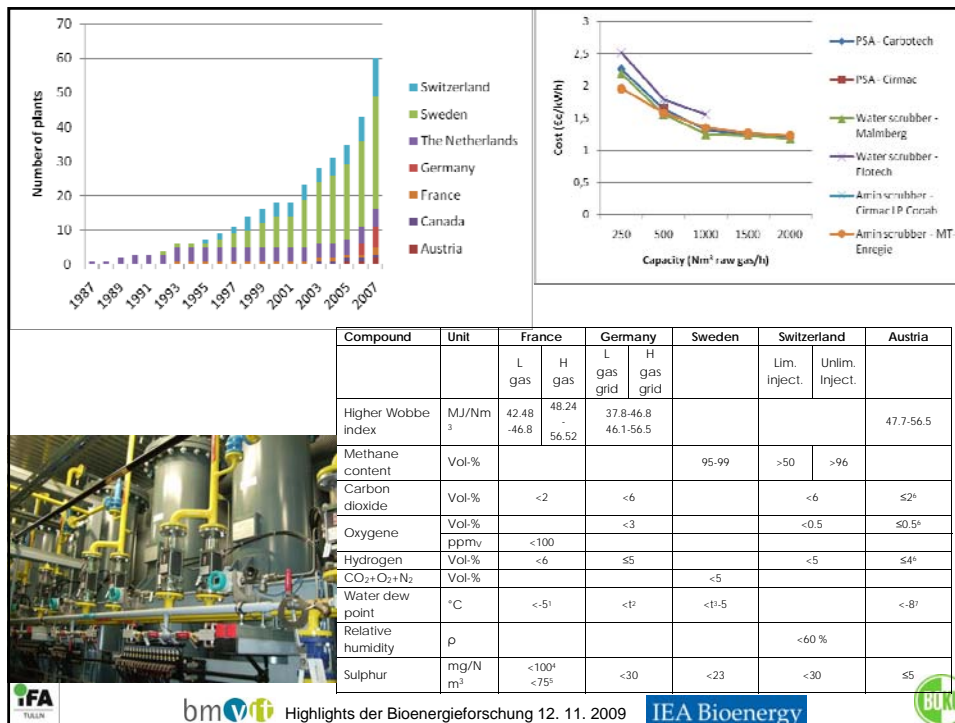
IEA Bioenergy



		<h2>Contents</h2>
<b>The world's energy supply – A future challenge</b>		<b>4</b>
<b>Development of energy crop digestion</b>		<b>4</b>
Energy crops used in anaerobic digestion		5
Technology for anaerobic digestion of energy crops		5
<b>Co-digestion and only energy crop digestion</b>		<b>7</b>
<b>Practical applications of energy crop digestion</b>		<b>8</b>
An example of only energy crop digestion		8
An example of co-digestion of energy crops		9
An example of dry-fermentation of energy crops		11
<b>Long term biogas plant operational experience</b>		<b>12</b>
<b>Significance and potential of energy crop digestion</b>		<b>13</b>
Biogas yield per hectare of crops		13
Net energy yield per hectare of crops		14
<b>Future significance of biogas from biomass</b>		<b>15</b>
<b>Citations</b>		<b>16</b>
<b>Further reading</b>		<b>17</b>
<b>Glossary, terms</b>		<b>17</b>
<b>Abbreviations</b>		<b>18</b>

<h2>IEA Task 37 Brochure</h2> <h3>Biogas upgrading technologies – developments and innovations</h3>	
	<p><b>October 2009</b>  <b>Anneli Petersson; Swedish Gas Centre</b>  <b>Arthur Wellinger; Nova Energie Switzerland</b>  <b>IEA Bioenergy</b></p>
<p><b>Content</b></p>	<p>Introduction ..... 5</p> <p>Composition of biogas ..... 8</p> <p>Cleaning of biogas ..... 11</p> <p>Removal of water ..... 11</p> <p>Removal of hydrogen sulphide ..... 11</p> <p>Removal of oxygen and nitrogen ..... 14</p> <p>Removal of ammonia ..... 15</p> <p>Removal of siloxanes ..... 15</p> <p>Removal of water ..... 15</p> <p>Removal of particulates ..... 15</p> <p>Full Scale Technologies for biogas upgrading ..... 16</p> <p>Pressure Swing Adsorption (PSA) ..... 16</p> <p>Absorption ..... 17</p> <p>Water scrubbing ..... 17</p> <p>Organic physical scrubbing ..... 19</p> <p>Chemical scrubbing ..... 19</p> <p>Membranes ..... 20</p> <p>Comparison of different upgrading techniques ..... 21</p> <p>New developments in upgrading technology ..... 23</p> <p>Cryogenic upgrading ..... 23</p> <p><i>In situ</i> methane enrichment ..... 25</p> <p>Ecological lung ..... 26</p> <p>Removal of methane from the off gas ..... 27</p> <p>List of upgrading plants ..... 29</p> <p>List of biogas upgrading plant providers ..... 35</p> <p>References ..... 36</p>
    	



## Task 37 „Energy from Biogas“ - Schwerpunkte 2010-2012

### • Arbeitsprogramm

topic 1: Substratwahl, -vorbehandlung und -aufbereitung

topic 2: Prozessoptimierung, -kontrolle und -qualitätssicherung

topic 3: Biogasaufbereitung und -gasnetzeinspeisung

topic 4: Gärrestaufbereitung und -qualitätssicherung

topic 5: Emissionen bzw. Messung von Emissionen aus Biogasanlagen

topic 6: Informationsverbreitung und Ausbildung

Success Stories upgrading, grid injection, digestate use (fertilizer)

Promotion der Biogasnutzung als Treibstoff

Etablierung eines BetreiberNetzwerkes

Kooperationsintensivierung F&E / Industrie / Anwender (Research Exchange)

Informationsaufbereitung für Entscheidungsträger

Newsletter des Task 37

topic 7: Workshops und Seminare

topic 8: Joint projects mit anderen IEA Tasks

• Task Leader 2010-2012: David Baxter JRC, Petten, NL

• Voraussichtlich 4 neue Teilnehmerländer: Brasilien, Norwegen, Irland, Türkei

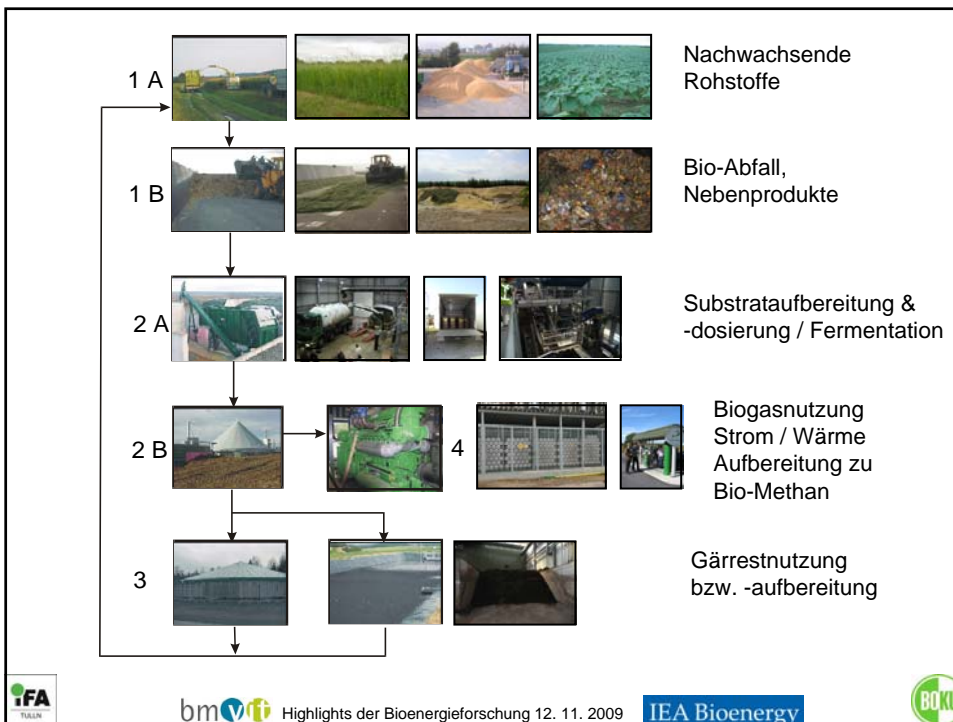
# Effizienzsteigerung bei der Biogasnutzung

Rudolf Braun, Roland Kirchmayr und Markus Neureiter

Institut für Umweltbiotechnologie  
 Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie IFA-Tulln  
 Universität für Bodenkultur



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



# Substratwahl



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



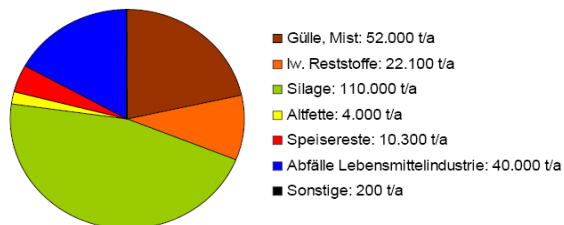
## Materialflüsse bei steirischen Biogasanlagen



Materialflüsse gemäß Datenerhebung 2005 (36 Anlagen in Betrieb + 4 in Planung)

Input [t/a]	Output stofflich			Verwertung Biogas		Verwertung Gärückstand	
	Biogas [m <sup>3</sup> /a]	Biogas [t/a]	Gärückstand [t/a]	elektrisch [MWh/a]	thermisch [MWh/a]	Landwirtschaft [t/a]	Kompost [t/a]
239.000	36 Mio.	43.700	216.000	82.600	85.100	212.000	4.000

Inputmaterialien: 239.000 t/a (Stand 2005)



wilhelm.himmel@stmk.gv.at

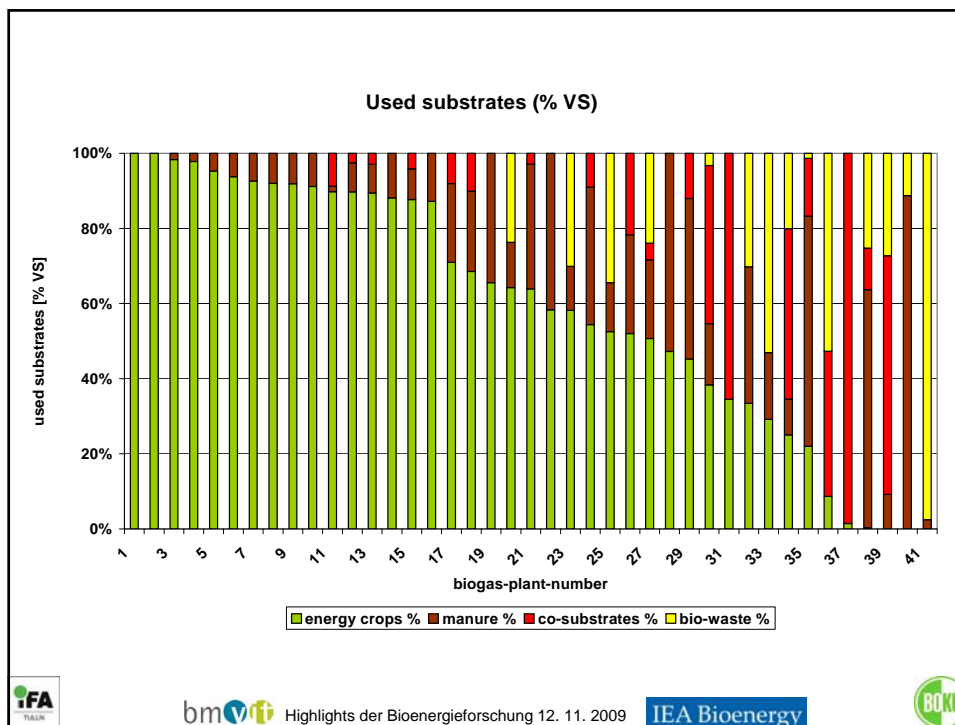
Das Land  
Steiermark  
FA 190  
Abfall- und Stoffflusswirtschaft



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy





*Ermittlung der Biogas - Nettoenergieerträge einer Methangärung anhand ausgewählter Beispiele ertragreicher und ertragsärmerer Pflanzen*

	Kartoffel	Mais	Futtermübe	Raps	Roggen
Methanertrag $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	10.258	9.886	9.450	1.442	814
MJ $\cdot \text{ha}^{-1}$	367.236	353.919	338.310	51.623	29.141
Prozessenergie- bedarf Gärung <sup>1)</sup>	- 30.000	- 30.000	-30.000	- 30.000	-30.000
Energiebedarf Pflanzenproduktion	- 24.200	- 16.800	- 20.350	- 16.800	- 16.800
Gesamtenergie- bedarf	- 54.200	- 46.800	- 50.350	- 46.800	- 46.800
Netto Energie Ertrag MJ.ha <sup>-1</sup>	313.036	307.119	287.960	4.823	<b>-17.659</b>
Output (MJ.ha <sup>-1</sup> ) Input (tot. Energie)	6,8	7,6	6,7	1,1	<b>0,6</b>

<sup>1)</sup> Vereinfachend wurde ein einheitlicher Prozeßenergiebedarf von 30.000 MJ bezogen auf den Hektarertrag angenommen

Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

### Energiepflanzenvergärung 500 kW<sub>el.</sub> – Wirtschaftlichkeit

3,979 t Mais (Korn, 30 % H<sub>2</sub>O) / Jahr  
1,800,000 m<sup>3</sup> Biogas (50 % CH<sub>4</sub>) / Jahr  
3,718 MWh/a Strom  
1,600 MWh/a Wärme  
5,318 MWh/a Gesamtenergienutzung

	Fall 1	Fall 2
Investkosten (€)	2,000,000	2,000,000
Amortisation (13 Jahre)	153,850	153,850
Rohmaterialkosten	278,530	736,115
Sonstige Kosten	43,238	43,238
<hr/>		
Totale Kosten (€/ Jahr)	475,618	933,203
Einnahmen (€/ Jahr)	595,616	595,616
<hr/>		
Gewinn / Verlust (€/ Jahr)	<b>+119,998</b>	<b>-337,587</b>



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



# Substrataufbereitung



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy







Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Vorbehandlung von Substraten

### • Ziele

- Homogenisierung / Nährstoffausgleich / Störstoffentfernung
- Ausbeutesteigerung durch bessere Nutzung des Lignocelluloseanteils der Substrate ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{OTS}$ )
- Erhöhung der Biogas – Produktivität ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ )

### • Untersuchte Substrate

- Maissilage
- Grassilage
- Gärrest
- Alkoholschlempe
- Brauereinebenprodukte

### • Methoden

- **Mikrobiologische Hydrolyse** (separate Hydrolysestufe)
- **Enzymatische Hydrolyse** (Zugabe von Enzympräparaten)
- **Thermische und thermochemische Hydrolyse**

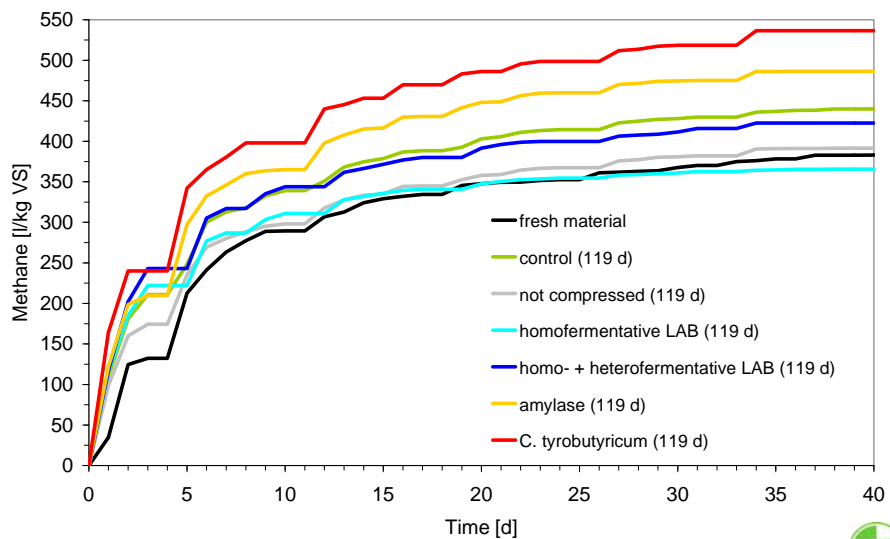


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



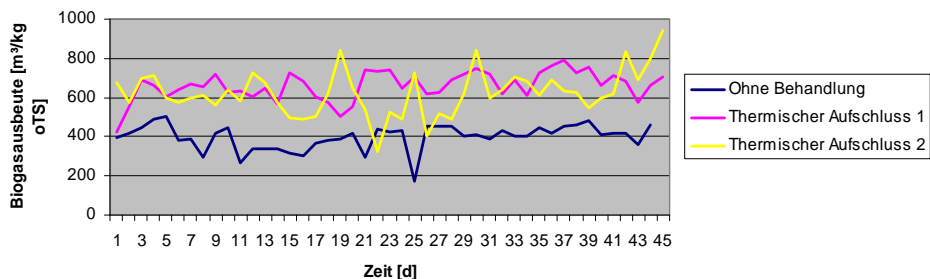
## Methanbildung unterschiedlicher Silageansätze (nach 119 Tagen Silierung)



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



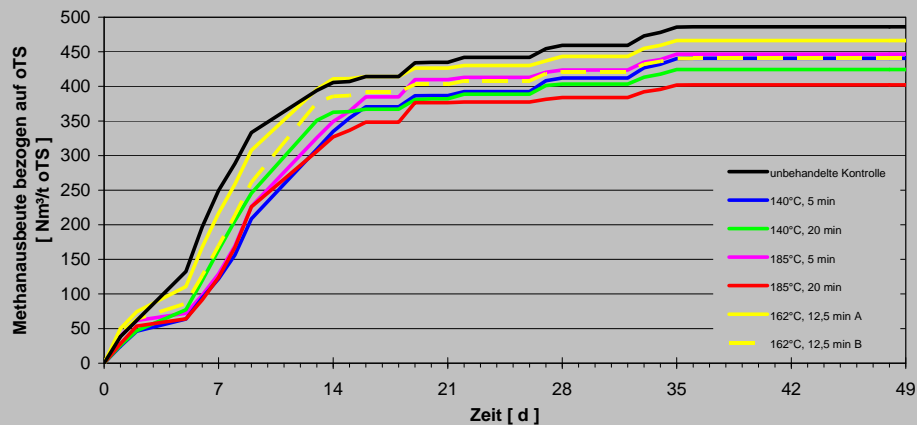
## Kontinuierliche Vergärung von Brauereireststoffen



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



## Methanbildung aus Maissilage nach Vorbehandlung



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



## Vorbehandlung - Ergebnis

- **Wirksamkeit der Vorbehandlung ist abhängig vom Substrat**
  - substratspezifische Optimierung erforderlich
- **Thermische Vorbehandlung für zucker-/stärkereiche Substrate nicht geeignet**
  - Verlust von Kohlenhydraten (chemische Zersetzung)
  - vermehrte Bildung von Hemmstoffen / Maillardprodukte
- **Mikrobiologische Hydrolyse**
  - Steigerung der Biogasqualität in der Methanstufe (~53% → ~65%)
  - Steigerung der Biogas Produktivität ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ )
- **Zusatz von Enzymen**
  - Beschleunigte Umsatzrate bzw. Steigerung der Biogas Produktivität
- **Thermische- / thermochemische Hydrolyse**
  - Steigerung der Reaktorproduktivität (~20% bei 20 d VWZ)
  - Steigerung der spezifischen Gasausbeute (~15% an  $\text{CH}_4$ )
  - Verbesserter Celluloseabbau



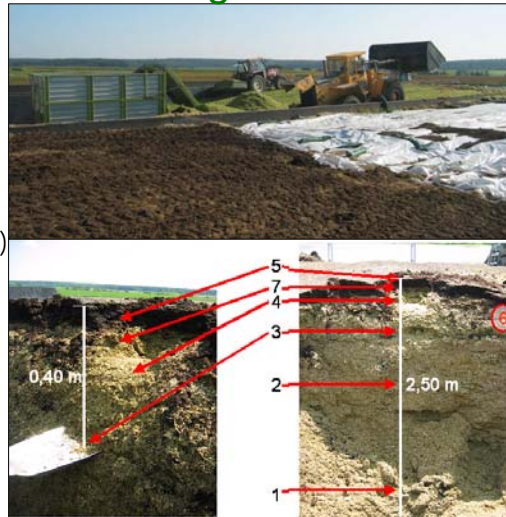
Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



# SILIERTECHNIK - OPTIMIERUNG

## Folienabdeckung vs. Abdeckung mit Gärrest

- 1 Fahrsilo: Zur Hälfte Folien- bzw. Abdeckung mit festem Gärrest
- Silageverbrauch in 3 Monaten
- Probenahme jede Woche
- Analytik:
  - Nasschem. Parameter (pH, OTS etc.)
  - Stärkegehalt
  - Zucker, organische Säuren, Ethanol
  - Mikrobiologisches Screening
    - Milchsäurebakterien
    - Hefen und Schimmelpilze

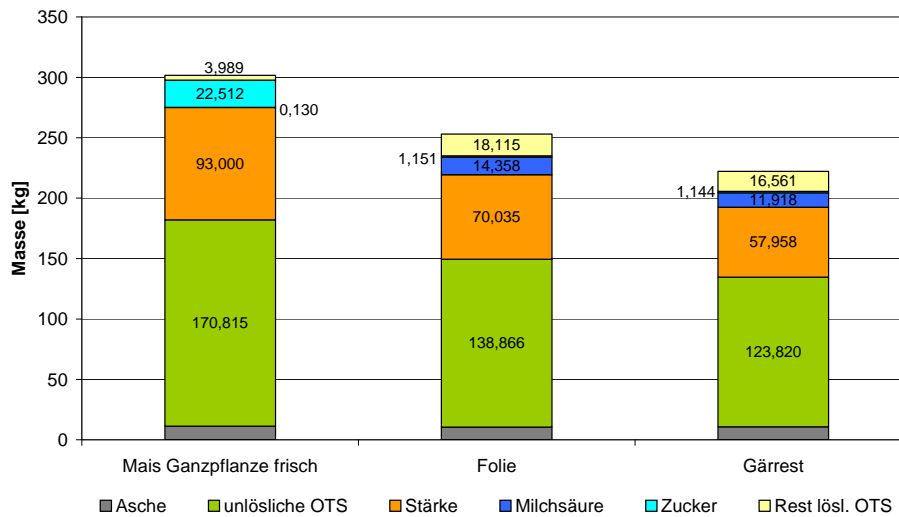


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



## Massenbilanz

### Aufschlüsselung TS je Tonne Frischsubstanz im Silo



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



## Silertechnik - Ergebnis

- Für die Silagebereitung zur Energiegewinnung gelten Qualitätsanforderungen wie bei der Silage Futtermittelbereitung
- Höhere Verluste bei alternativer (billigerer) Abdeckung mit Gärrest (28,5 % OTS).
- Zusätzliche Kosten von 25.000 €/Jahr für vermehrten Substratbedarf (für 500 kW<sub>el</sub> Anlage)
- Kosten für Folienabdeckung 15.000,- €/Jahr (Masseverlust nur 16,5 % OTS)
- Verzicht auf Folienabdeckung daher nicht möglich



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Reaktorbetriebsweise



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Elimination störender Metaboliten:

### NH<sub>3</sub> in Schlachthofabwasser / -abfall

#### Labor- und Pilotversuche

- Luftstrippung
  - Dampfstrippung
  - Vakuum Sprühverdampfung
- Entfernungsraten  
Schaumverhalten  
Abhängigkeit vom pH-Wert  
Chemikalienverbrauch

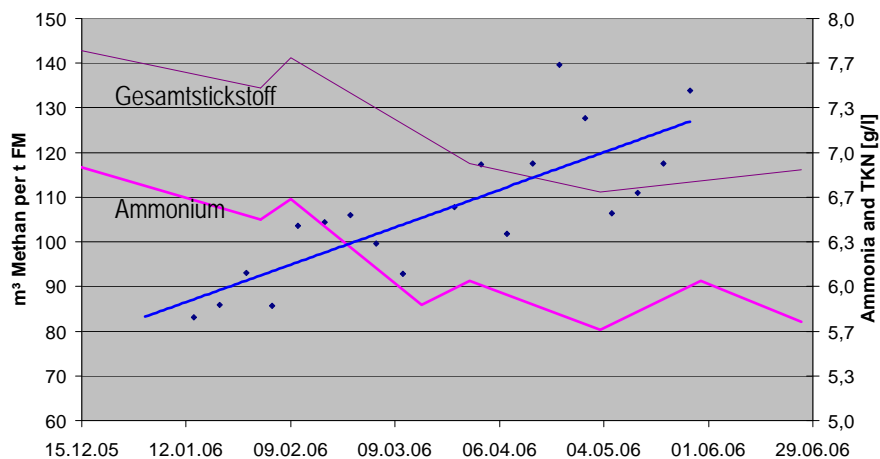


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## NH<sub>3</sub>-Abhängige Biogasausbeute

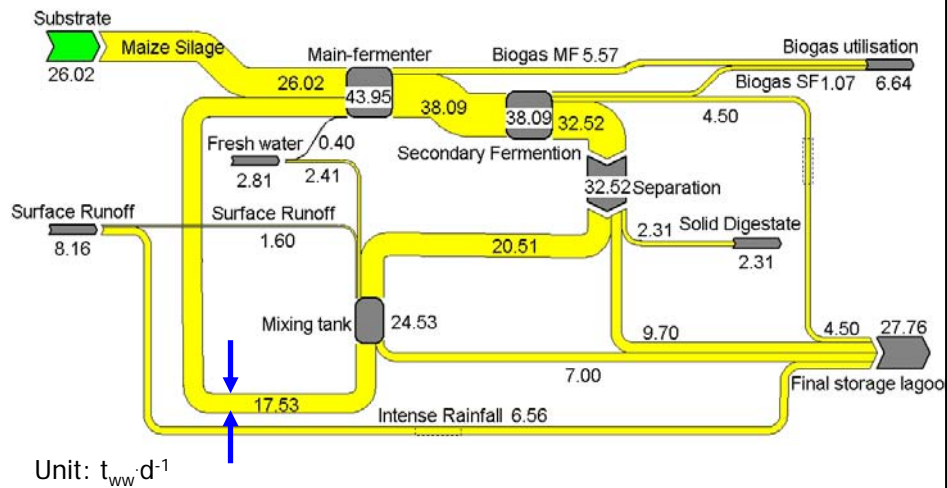


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



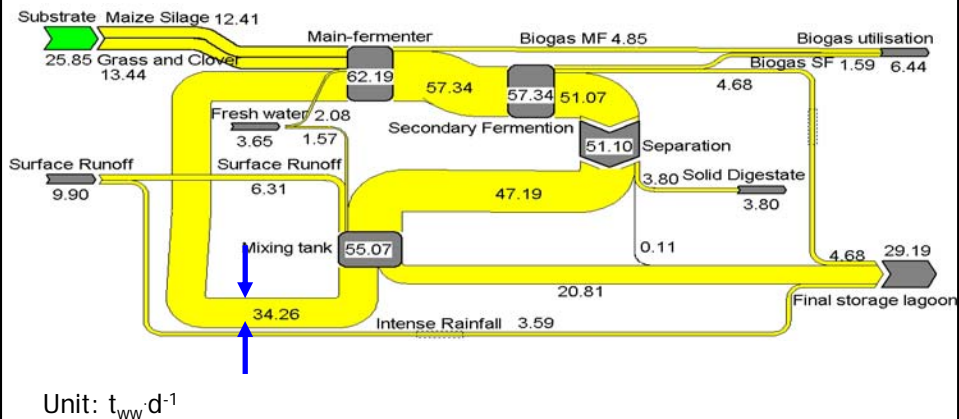
## Massenfluss nur Maissilage



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



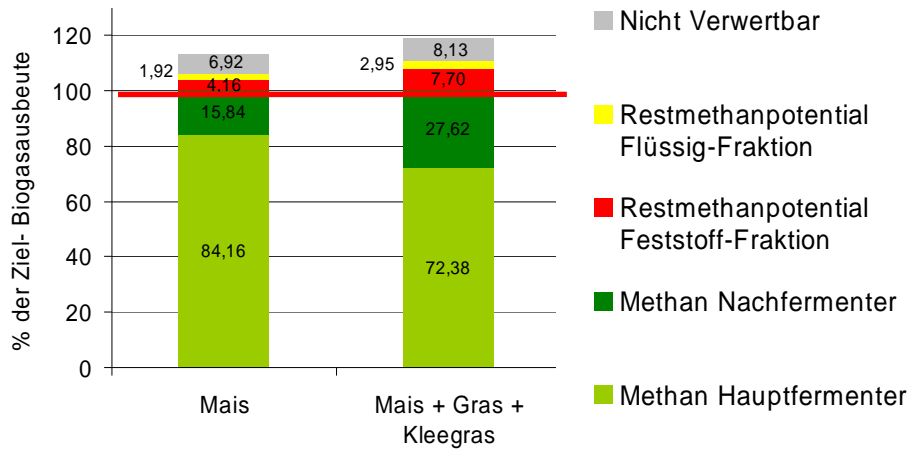
## Massenfluss Maissilage (48%), Gras- und Kleegrassilage (52%)



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



# Restgärpotential



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



# Biogasnutzung

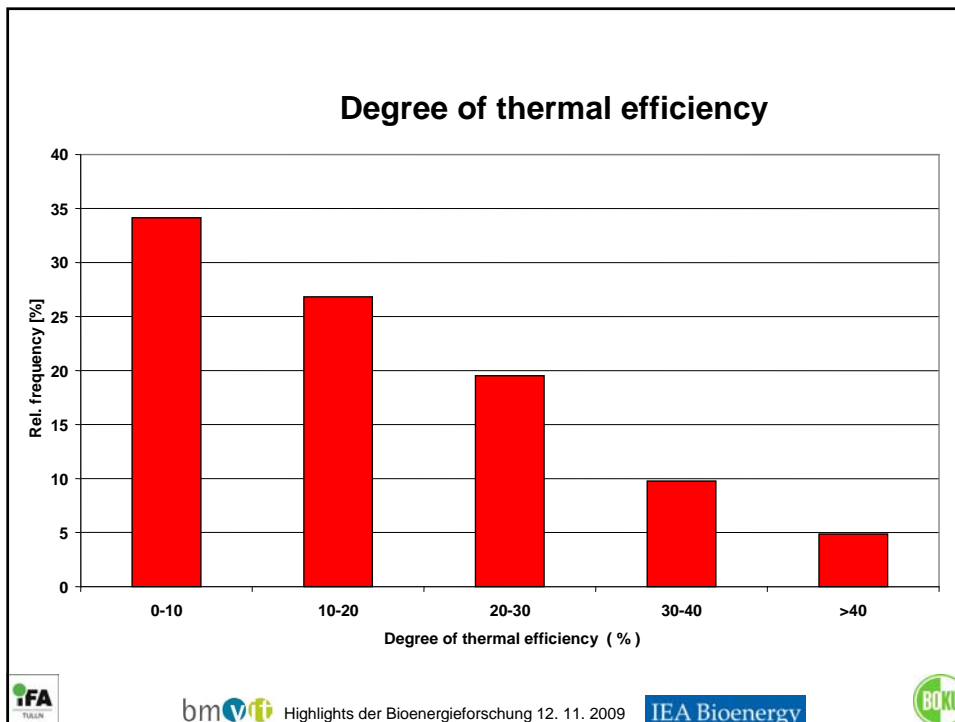
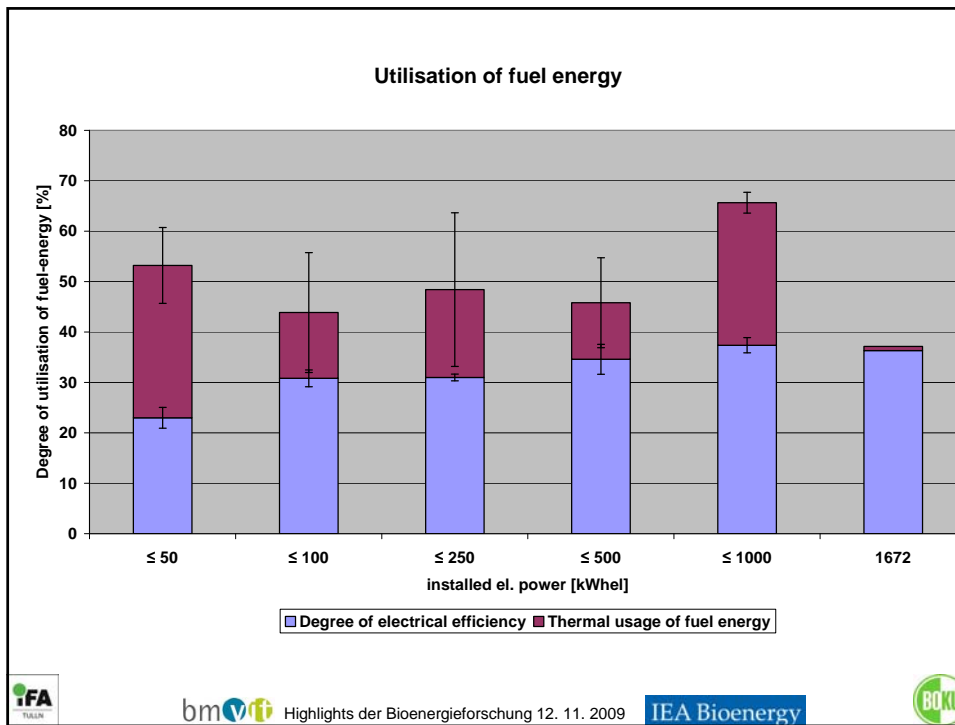


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy

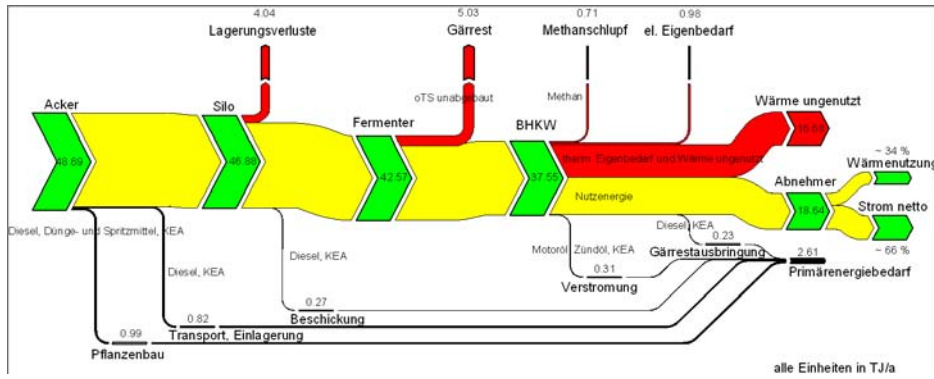






# Energiebilanz

## NAWARO+Gülle Anlage 1 MW<sub>el.</sub>

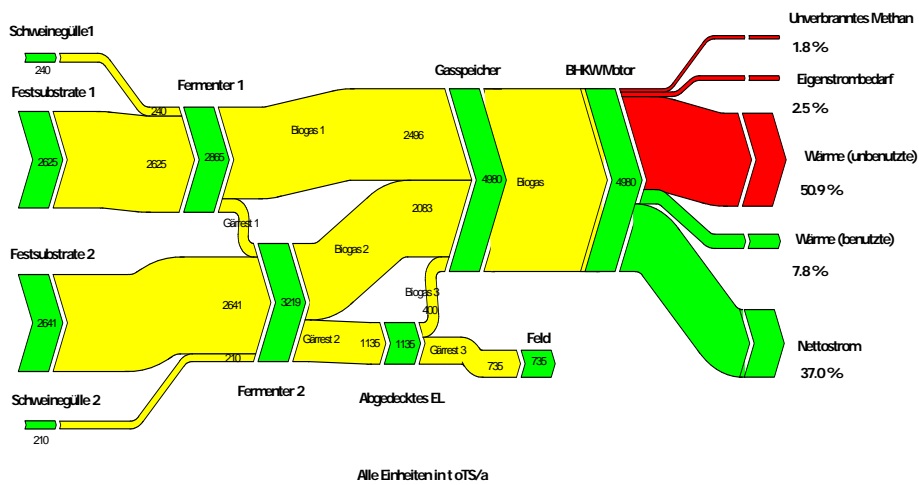


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



# Massenbilanz

## NAWARO+Gülle Anlage 1MW<sub>el.</sub>



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



# Gärrest

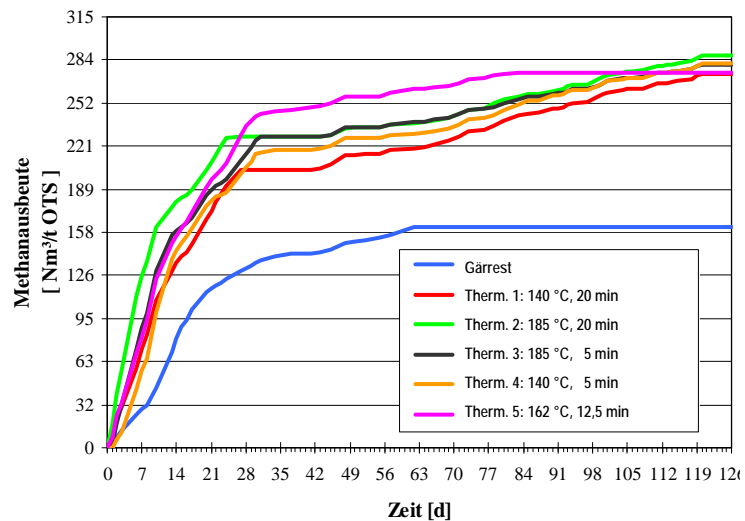


Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Nachbehandlung Gärrest



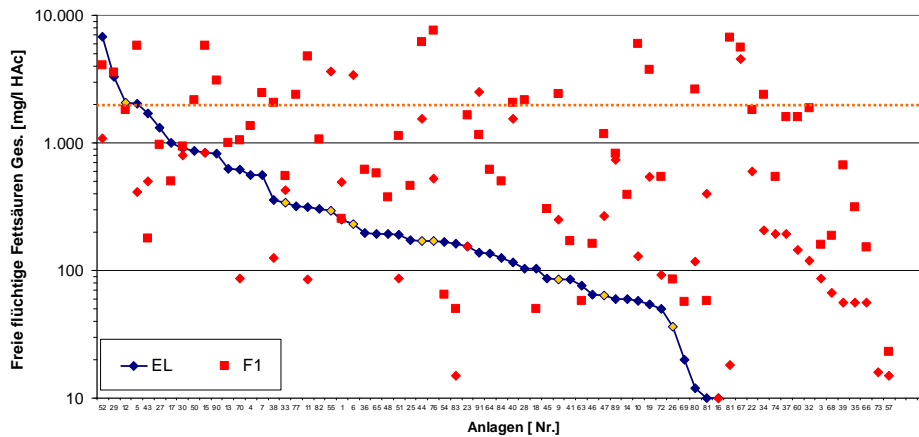
Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



## Ausgärgrad / Ausbringfähigkeit

Endlager: Freie wasserdampfvlüchtige Fettsäuren



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



Opt.-Potenzial: <b>Groß</b>	<b>Mittel</b>	<b>Klein</b>
Auswahl des Standortes	Anlagendimensionierung	Auswahl Anlagentyp
Auswahl Planer	Fermenterbauweise	Absperreinrichtungen
Betonbau	Beheizung	Gasfackel
Rührtechnik	Messtechnik	Isolierung Fermenter
Anlagensvisualisierung <500kW	Hilfsstoffe / Hilfsmaterialien	Anlagensvisualisierung >500kW
Einbringeinrichtungen	Rohrleitungen	Luft-, Biofilter
Energieeigenbedarf	Gasmotor-BHKW	Blitzschutz
Pumpen / Pumpstationen	Zugangsmöglichkeiten	Füllstandskontrolle
Wärmenutzung	Elektroinstallationen	Hygienisierung
Anlieferung / Lagerung Substrat	Bedienaufwand im laufenden Betrieb	Entschwefelung / Entfeuchtung
Anlagensicherheit		
Zusammenspiel Professionisten beim Bau		
Anfahrbetrieb		
Laufende Prozesskontrolle		
Regulärer Anlagenbetrieb		
Wartung der Anlage		
	<b>Betreibereinschätzung</b> 40 Anlagenbetreiber, Konstrukteure, Berater EdZ „Strateg. Lernen“	



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009



## **Gewichtung von Massnahmen zur Effizienzsteigerung**

- 1. Biogasnutzung**
- 2. Substratwahl**
- 3. Substrataufbereitung**
- 4. Reaktorbetriebsweise**
- 5. Gärrestbehandlung / -verwendung**



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy



# **Danke für ihre Aufmerksamkeit!**

Rudolf Braun  
Universität für Bodenkultur  
Department IFA-Tulln  
Institut für Umweltbiotechnologie  
A-3430 Tulln, Konrad Lorenz Str. 20

Tel: +43 2272 66280 501  
e-mail: [rudolf.braun@boku.ac.at](mailto:rudolf.braun@boku.ac.at)



Highlights der Bioenergieforschung 12. 11. 2009

IEA Bioenergy

