



## **Forschungsprojekt**

### **„BioMethan“**

#### **Erhebung verfahrenstechnischer und wirtschaftlicher Kenngrößen, Entwicklung von Optimierungsstrategien und Alternativen, Erstellung von Planungsunterlagen**

*Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 22001707*

Die Förderung des Projektes erfolgte durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“.

#### **Autoren**

Dr. Jürgen Beck

M. Sc. Georg Hiepp

M. Eng. Sandra Gottschall

Dipl.-Ing. (FH) Michael Schönemann

Dipl.-Ing. (FH) Domagoj Galic

**Zuwendungsgeber:** **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)**  
Hofplatz 1  
18276 Gülzow

**Zuwendungsnehmer:** **Forschungszentrum für Erneuerbare Energien (f10) gemeinnützige GmbH**  
Nördliche Grünauer Straße 21  
D-86633 Neuburg a. d. Donau  
Tel. +49-8431-53 68 90  
Fax. +49-8431-53 68 96  
Email: [info@f10-energie.de](mailto:info@f10-energie.de)  
Internet: [www.f10-energie.de](http://www.f10-energie.de)

Projektleiter: Dr. Jürgen Beck  
Tel. +49-8431-53 68 94  
Email: [beck@f10-energie.de](mailto:beck@f10-energie.de)

Projektbearbeiter: M. Sc. Georg Hiepp  
Tel. +49-8431-53 68 92  
Email: [hiepp@f10-energie.de](mailto:hiepp@f10-energie.de)

M. Eng. Sandra Gottschall  
Tel. +49-8431-53 68 99  
Email: [gottschall@f10-energie.de](mailto:gottschall@f10-energie.de)

Dipl.-Ing. (FH) Michael Schönemann  
Tel. +49-8431-53 68 93  
Email: [schoenemann@f10-energie.de](mailto:schoenemann@f10-energie.de)

Dipl.-Ing. (FH) Domagoj Galic  
Tel. +49-8431-53 68 91  
Email: [galic@f10-energie.de](mailto:galic@f10-energie.de)

Veröffentlichungsdatum: Mai 2012

FKZ FNR: 22001707



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>14</b>
<b>2 Stand der Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>15</b>
2.1 Rechtliche und technische Aspekte der Biomethaneinspeisung .....	15
2.1.1 Erzeugung von Biogas.....	17
2.1.1.1 Allgemeiner Überblick über mögliche Logistik Konzepte .....	17
2.1.1.2 Verfahrenstechnik Übersicht .....	19
2.1.2 Verfahren zur Aufbereitung von Biogas .....	21
2.1.2.1 Trocknung.....	21
2.1.2.2 Sauerstoffabtrennung.....	23
2.1.2.3 Entschwefelung .....	25
2.1.2.4 Kohlenstoffdioxid-Abtrennung .....	34
2.1.3 Biomethaneinspeisung.....	50
2.1.4 Netzstrukturen .....	54
<b>3 Material und Methoden .....</b>	<b>55</b>
3.1 Anlagenbeschreibung .....	55
3.1.1 Biomethananlage in Graben/Lechfeld.....	55
3.1.1.1 Carbotech.....	58
3.1.1.2 Biogaserzeugung .....	58
3.1.2 Biomethananlage in Altenstadt / Schongau.....	60
3.1.2.1 BGA.....	60
3.1.2.2 Ros Roca.....	60
3.1.3 Biogasanlage ohne nennenswerte KWK in Neuburg/Donau .....	61
3.1.4 Biogasanlage mit KWK in Kühbach .....	62
3.2 NIRS – Messungen.....	64
3.2.1 Messmethodik zur Onlinebestimmung von Prozessdaten.....	64
3.2.2 Physikalisch-chemische Grundlagen.....	65
3.2.3 Modellierung und Klassifizierung.....	68
3.2.4 Kalibrierung und Schätzmodelle .....	69
3.2.5 Chemische Analyse als Referenzwerte für das TENIRS Verfahren .....	71
3.2.6 Auswertung der TENIRS-Messungen.....	71



<b>4</b>	<b>Ergebnisse zur Vergärung .....</b>	<b>73</b>
4.1	Praxisuntersuchungen .....	73
4.1.1	Messtechnikeinsatz in der BGA Neuburg .....	73
4.1.1.1	Einbindung in Leitungsebene .....	73
4.1.1.2	Installierte Messstellen .....	73
4.1.1.3	Erkenntnisse aus Messtechnikeinsatz in der BGA Neuburg .....	75
4.1.2	Messtechnikeinsatz in der BGA Graben/Lechfeld .....	84
4.1.2.1	Einbindung in Leitungsebenen .....	84
4.1.2.2	Installierte Messstellen .....	84
4.1.3	Messungen und Referenzproben Nahinfrarotspektroskopie System TENIRS....	87
4.1.3.1	Referenzproben TENIRS.....	89
4.1.3.2	Ergebnisse TENIRS - Messsystem.....	92
4.1.3.3	Modellstatistik TENIRS .....	96
4.1.4	Messungen und Referenzproben Nahinfrarotspektroskopie System MUT.....	98
4.1.4.1	Referenzproben m-u-t GmbH.....	99
4.1.4.2	Ergebnisse m-u-t GmbH.....	104
4.1.4.3	Modellstatistik m-u-t GmbH .....	107
4.1.5	Diskussion und Ausblick.....	108
4.2	Entwicklung und Aufbau einer Laboranlage auf der Basis der Festbettfermentation .....	110
4.2.1	Grundlagen Festbetttechnologie .....	110
4.2.2	Entwicklungsziele des Laborsystems inkl. Ausgangssituation .....	112
4.2.3	Spezifische Komponenten der gewählten Festbettlabortechnologie.....	113
4.2.4	Ablauf Laborbetrieb .....	119
<b>5</b>	<b>Ergebnisse zur Aufbereitung von Biogas zu Biomethan.....</b>	<b>122</b>
5.1	Biomethaneinspeisung Graben/Lechfeld.....	123
5.1.1	Aufbereitungsanlage System Carbotech.....	125
5.1.1.1	Druckwechseladsorptionsanlage (PSA) .....	125
5.1.1.2	Adsorberdynamik .....	127
5.1.1.3	Prozessdaten .....	131
5.1.1.4	Verluste.....	131
5.1.1.5	Konstanz und Versorgungssicherheit.....	132
5.1.1.6	Mögliche Ursachen.....	133
5.2	Biomethaneinspeisung Altenstadt/Schongau .....	135
5.2.1	Aufbereitungsanlage System RosRoca.....	137
5.2.1.1	Druckwasserwäsche .....	138
5.2.1.2	Prozessdaten .....	142
5.2.1.3	Verluste.....	143
5.2.1.4	Konstanz und Versorgungssicherheit.....	144
<b>6</b>	<b>Simulationen von Biogasaufbereitungsanlagen.....</b>	<b>146</b>



6.1	Simulation einer PSA .....	146
6.1.1	Untersuchungen .....	146
6.1.1.1	Versuchsanlage .....	146
6.1.1.2	Referenzmessung .....	151
6.1.2	Adsorbersimulation .....	153
6.1.2.1	Simulationsaufbau .....	153
6.1.3	Simulationsparameter .....	156
6.1.3.1	Adsorbensschüttung .....	156
6.1.3.2	Wärmeleitfähigkeit und -kapazität .....	156
6.1.3.3	Stofftransport .....	157
6.1.4	Isothermen .....	160
6.1.4.1	Enthalpien .....	164
6.1.5	Simulationsauswertung .....	166
6.1.6	Ausblick .....	169
6.1.7	Zusammenfassung .....	171
6.2	Ansätze zur Simulation einer DWW .....	173
6.2.1	Simulation der Aufbereitungsanlage .....	175
6.2.1.1	Aufbau der Simulation .....	175
6.2.2	Eingangsströme .....	178
6.2.3	Apparate und ihre Modelle .....	180
6.2.4	Ausgangsströme .....	184
6.2.5	Ausblick .....	186
<b>7</b>	<b>Ganzheitliche Analyse .....</b>	<b>187</b>
7.1	Energiepflanzen .....	187
7.1.1	Kurzcharakterisierung .....	188
7.1.1.1	Mais .....	188
7.1.1.2	Getreide .....	190
7.1.1.3	Gräser/Dauergrünland .....	190
7.1.1.4	Rüben .....	191
7.1.1.5	Sorghum Hirsen .....	192
7.1.2	Umweltwirkungen .....	195
7.1.3	Ökobilanzen .....	196
7.1.3.1	Methodik der Ökobilanzen .....	197
7.1.3.2	Ergebnisse .....	199
7.1.4	Optimierungen in der Landwirtschaft .....	209
7.2	Anlagenbewertung .....	212
7.2.1	Biogasanlage Graben/Lechfeld .....	212
7.2.1.1	Energetische Betrachtung .....	212
7.2.1.2	THG-Bilanz .....	215
7.2.2	Biogasanlage Kühbach .....	219
7.2.2.1	Energetische Betrachtung .....	219