

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Ziel der Arbeit.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand des Wissens.....</b>	<b>4</b>
2.1	Klimawirkungen der Landwirtschaft und der Biogaserzeugung .....	4
2.2	Grundlagen der Energie- und Treibhausgasbilanzierung .....	5
2.2.1	Ökobilanzierung .....	5
2.2.2	Energiebilanzierung und Energieeffizienz .....	8
2.2.3	Treibhausgasquellen und -bilanzierung.....	11
2.2.3.1	Treibhausgasemissionen auf Ebene der Substraterzeugung.....	12
2.2.3.1.1	Lachgasemissionen auf Feldebene .....	13
2.2.3.1.2	Humusdynamik in Folge landwirtschaftlicher Bewirtschaftung .....	14
2.2.3.1.3	Landnutzungsänderung .....	16
2.2.3.1.4	Bewirtschaftung organischer Böden .....	17
2.2.3.1.5	Erzeugung von Wirtschaftsdüngern.....	18
2.2.3.2	Treibhausgasemissionen auf Ebene der Biogasanlage .....	19
2.2.3.2.1	Methanemissionen aus dem gasführenden System.....	19
2.2.3.2.2	Methanschlupf am Blockheizkraftwerk.....	21
2.2.3.2.3	Gärrestlagerung.....	22
2.2.3.2.4	Gasüberdruckereignisse.....	24
2.2.3.3	Prozessbedingte Treibhausgasemissionen .....	24
2.2.4	Energie- und Treibhausgasäquivalente .....	25
2.2.5	Umgang mit Koppelprodukten.....	27
2.3	Energie- und Treibhausgasbilanzen der Stromerzeugung aus Biogas .....	27
2.3.1	Energiebilanzen zur Stromerzeugung aus Biogas.....	28
2.3.2	Treibhausgasbilanzen zur Stromerzeugung aus Biogas.....	30
2.4	Arbeitshypothesen .....	32
<b>3</b>	<b>Entwicklung des Moduls Biogassystem.....</b>	<b>34</b>
3.1	Betriebsbilanzierungsmodell REPRO.....	35
3.2	Modul Milchviehhaltung .....	37
3.3	Aufbau des Moduls Biogassystem .....	37
3.4	Energiebilanzierung und prozessbedingte Treibhausgasemissionen .....	40
3.4.1	Substraterzeugung.....	43
3.4.1.1	Erzeugung Nachwachsener Rohstoffe .....	45
3.4.1.2	Erzeugung von Wirtschaftsdüngern.....	48
3.4.2	Substratlagerung.....	50
3.4.2.1	Lagerung und Entnahme Nachwachsener Rohstoffe.....	50
3.4.2.2	Lagerung von Wirtschaftsdüngern.....	51
3.4.3	Beschickung .....	51
3.4.3.1	Feststoffeintragssystem .....	51
3.4.3.2	Eintragssystem für fließfähige Biomasse.....	53
3.4.4	Fermentation.....	53
3.4.4.1	Gärbehälterbauten .....	54
3.4.4.2	Rührsystem .....	56
3.4.4.3	Substratpump- und Fördersysteme .....	57

3.4.5	Strom- und Wärmeerzeugung .....	58
3.4.6	Sonstige Prozesse .....	59
3.4.7	Energetische Kennzahlen .....	61
3.5	Treibhausgasemissionen auf Feldebene.....	61
3.5.1	CO <sub>2</sub> -Emissionen und CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusabbau und -aufbau.....	62
3.5.2	Lachgasemissionen .....	63
3.6	Treibhausgasemissionen auf Ebene der Biogasanlage.....	66
3.6.1	Gasführendes System.....	66
3.6.2	Methanschlupf am Blockheizkraftwerk .....	67
3.6.3	Gärrestlagerung .....	68
3.6.3.1	Methanemissionen .....	68
3.6.3.2	Lachgasemissionen.....	69
3.6.4	Gasüberdruckereignisse .....	69
3.7	Allokation .....	70
3.8	Beschreibung der Untersuchungssysteme.....	73
3.9	Sensitivitätsanalyse .....	79
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Modellanwendung.....</b>	<b>80</b>
4.1	Betriebliche Stickstoffflüsse .....	80
4.1.1	Betrieb_1 .....	80
4.1.2	Betrieb_2 .....	81
4.1.3	Betrieb_3 .....	83
4.1.4	Betrieb_4 .....	84
4.1.5	Betrieb_5 .....	84
4.1.6	Gesamtbetrachtung.....	85
4.2	Energiebilanz .....	86
4.2.1	Substraterzeugung.....	86
4.2.2	Substratlagerung.....	91
4.2.3	Beschickung.....	92
4.2.4	Fermentation.....	93
4.2.5	Strom- und Wärmeerzeugung .....	95
4.2.6	Sonstige Prozesse .....	96
4.2.7	Gesamtbetrachtung.....	96
4.2.7.1	Produktspezifischer Energieeinsatz.....	96
4.2.7.2	Energiefluss in den Biogassystemen .....	99
4.3	Treibhausgasbilanz.....	105
4.3.1	Substraterzeugung.....	105
4.3.2	Substratlagerung.....	112
4.3.3	Beschickung.....	112
4.3.4	Fermentation.....	113
4.3.5	Strom- und Wärmeerzeugung .....	115
4.3.6	Sonstige Prozesse .....	116
4.3.7	Gesamtbetrachtung.....	117
4.3.7.1	Produktspezifische Treibhausgasemissionen .....	117
4.3.7.2	Treibhausgasemissionen der Biogassysteme.....	120
4.3.7.3	THG-Vermeidungsleistung .....	121
4.4	Sensitivitätsanalyse .....	122

---

4.4.1	Einfluss der Humusbilanz und Kohlenstoffsequestrierung .....	123
4.4.2	Biodiesel Einsatz .....	126
4.4.3	Gesamtbetrachtung .....	130
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>132</b>
5.1	Diskussion der Methodik .....	132
5.1.1	Modellaufbau .....	132
5.1.2	Energiebilanz und prozessbedingte THG-Emissionen .....	135
5.1.3	Kohlenstoff- und Humusbilanz .....	139
5.1.4	Stickstoffbilanz und Lachgasemissionen .....	141
5.1.5	Allokation .....	142
5.1.6	Gesamtbetrachtung der THG-Bilanz .....	144
5.1.7	Auswahl der Untersuchungsbetriebe und Datenqualität .....	145
5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	147
5.2.1	Energiebilanz und prozessbedingte THG-Emissionen .....	147
5.2.2	Kohlenstoff- und Humusbilanz .....	153
5.2.3	Stickstoffbilanz und Lachgasemissionen .....	155
5.2.4	Gesamtbetrachtung der THG-Bilanz .....	159
5.3	Schlussfolgerung und Ausblick .....	163
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>165</b>
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>169</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>173</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>197</b>

Tobias Böswirth

Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Biogassysteme  
2017 / 220 S. / 19x27cm / 24,95 € / ISBN 978-3-89574-922-3

Verlag Dr. Köster, Berlin / [www.verlag-koester.de](http://www.verlag-koester.de)