

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole.....	V
Kurzfassung.....	XI
Abstract.....	XII
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 PROBLEMSTELLUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Stand des Wissens.....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Nutzung pflanzlicher Substrate für die Biomethanisierung.....	2
2.1.1.1 Methanbildung aus pflanzlicher Biomasse.....	2
2.1.1.2 Bedeutung der Substratzusammensetzung für die Biomethanisierung... ..	4
2.1.1.3 Bereitstellung pflanzlicher Substrate für die Biomethanisierung.....	7
2.1.2 Silierung von Energiepflanzen.....	11
2.1.2.1 Grundlagen der Silierung.....	11
2.1.2.2 Silierverluste und deren Ursachen.....	15
2.1.2.3 Bedeutung des Erntezeitpunktes für die Silierung.....	18
2.1.2.4 Bedeutung der Häcksellänge des Erntegutes für den Silierverlauf.....	19
2.1.2.5 Verwendung von Silierzusätzen.....	22
2.1.3 Einfluss relevanter Parameter der Bereitstellungskette auf die Biomethanisierung..	25
2.1.3.1 Erntezeitpunkt.....	25
2.1.3.2 Häcksellänge.....	27
2.1.3.3 Silierung.....	30
<b>2.2 Untersuchungsbedarf und Optimierungsansätze.....</b>	<b>32</b>
<b>3 ZIEL- UND AUFGABENSTELLUNG.....</b>	<b>33</b>
<b>4 UNTERSUCHUNGEN ZU DEN PROZESSGRUNDLAGEN DER BIO- METHANISIERUNG.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Aufgabenstellung.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Material und Methoden.....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Herkunft und Beschreibung der Substrate.....	36
4.2.2 Versuchsübersicht.....	38
4.2.3 Probenahme.....	39
4.2.4 Silierversuche im Labormaßstab.....	39
4.2.5 Bewertung der physikalischen Struktur.....	43
4.2.6 Chemische Analytik.....	44
4.2.7 Batch-Gärtests.....	48
4.2.8 Statistische Auswertung.....	52

<b>4.3 Ergebnisse.....</b>	<b>53</b>
4.3.1 Versuchsschwerpunkt I – Vergleich von Erntetermin und Häcksellänge bei drei Maissorten.....	53
4.3.1.1 Physikalische Struktur.....	53
4.3.1.2 Chemische Charakterisierung.....	58
4.3.1.3 Silierverluste und Gärqualität der Silagen.....	60
4.3.1.4 Methanbildung.....	62
4.3.1.5 Zusammenfassung.....	67
4.3.2 Versuchsschwerpunkt II – Häcksellängenvergleich bei drei Pflanzenarten.....	68
4.3.2.1 Physikalische Struktur.....	68
4.3.2.2 Chemische Charakterisierung.....	71
4.3.2.3 Silierverluste und Gärqualität der Silagen.....	73
4.3.2.4 Methanbildung.....	75
4.3.2.5 Zusammenfassung.....	80
4.3.3 Versuchsschwerpunkt III – Variation von Häcksellänge, Silierzusatz und Lagerdauer.....	81
4.3.3.1 Physikalische Struktur.....	81
4.3.3.2 Chemische Charakterisierung.....	83
4.3.3.3 Silierverluste und Gärqualität der Silagen.....	85
4.3.3.4 Methanbildung.....	92
4.3.3.5 Zusammenfassung.....	103
4.3.4 Versuchsübergreifende Ergebnisse.....	105
4.3.4.1 Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und Methanbildung.....	105
4.3.4.2 Zusammenhang zwischen der Änderung der Substratzusammensetzung durch die Silierung und der Methanausbeute.....	106
4.3.4.3 Einfluss der Silierung auf den Methangehalt.....	108
4.3.4.4 Einfluss der Silierung auf die Geschwindigkeit der Methanbildung.....	109
4.3.4.5 Zusammenhang zwischen den Feinheitsmerkmalen der Häckselgüter... ..	109
4.3.4.6 Zusammenhang zwischen physikalischer Struktur und Methanausbeute ..	111
4.3.4.7 Zusammenhang zwischen Abreife bzw. Lignifizierung und der Wirkung der Zerkleinerung auf die Methanausbeute.....	114
4.3.4.8 Zusammenhang zwischen physikalischer Struktur und Geschwindigkeit der Methanbildung.....	115
4.3.4.9 Zusammenhang zwischen Abreife und Wirkung der Häcksellänge auf die Geschwindigkeit der Methanbildung.....	116
<b>4.4 Diskussion.....</b>	<b>118</b>
4.4.1 Substratzusammensetzung der geprüften Pflanzenarten.....	118
4.4.2 Biomethanisierung der geprüften Pflanzenarten.....	120
4.4.3 Einfluss der Silierung auf die Biomethanisierung.....	123
4.4.3.1 Einfluss der Silierung auf die Methanausbeute.....	123
4.4.3.2 Einfluss der Silierung auf den Methangehalt im Biogas.....	128
4.4.3.3 Einfluss der Silagequalität auf die Methanausbeute.....	129
4.4.3.4 Einfluss der Silierung auf die Geschwindigkeit der Methanbildung.....	131

---

4.4.4	Einfluss der Abreife auf die Silierung und Biomethanisierung bei Mais.....	133
4.4.4.1	Einfluss der Abreife auf die Silierung bei Mais.....	133
4.4.4.2	Einfluss der Abreife auf die Biomethanisierung von Mais.....	134
4.4.5	Einfluss der Häcksellänge auf die Silierung und Biomethanisierung.....	137
4.4.5.1	Einfluss der Häcksellänge auf die Silierung.....	137
4.4.5.2	Einfluss der Häcksellänge auf die Methanbildung des Siliergutes.....	139
4.4.5.3	Einfluss der Häcksellänge auf die Methanbildung der Silagen.....	142
4.4.5.4	Einfluss der Häcksellänge auf die Geschwindigkeit der Methanbildung..	144
4.4.5.5	Einfluss der Häcksellänge auf die Methanausbeute bei unterschiedlicher Abreife bzw. Lignifizierung.....	145
4.4.6	Einfluss der Lagerdauer.....	147
4.4.6.1	Einfluss der Lagerdauer auf die Silierverluste und das Gärsäuremuster..	147
4.4.6.2	Einfluss der Lagerdauer auf die Methanausbeute.....	148
4.4.6.3	Einfluss der Lagerdauer der Silagen bei unterschiedlichen Häcksellängen..	149
4.4.7	Einfluss von Silierzusätzen auf Silierverlauf und Biomethanisierung.....	150
4.4.7.1	Einfluss der Silierzusätze auf den Silierverlauf.....	150
4.4.7.2	Einfluss der Silierzusätze auf die Biomethanisierung.....	154
4.4.7.3	Einfluss der Silierzusätze bei unterschiedlicher Häcksellänge.....	157
4.4.8	Kritische Betrachtung der Versuchsdurchführung.....	158
4.4.8.1	Batch-Gärtest.....	158
4.4.8.2	Trockenmassekorrektur.....	161
4.4.8.3	Bildanalyse.....	163
<b>4.5</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>165</b>
<b>5</b>	<b>BEWERTUNG KÜRZERER HÄCKSELLÄNGEN.....</b>	<b>167</b>
<b>5.1</b>	<b>Aufgabenstellung.....</b>	<b>167</b>
<b>5.2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>169</b>
5.2.1	Grundlagen und Abfolge der Bewertungen.....	169
5.2.2	Beschreibung der Messvarianten.....	172
5.2.3	Datenerhebung während des Ernteprozesses und bei der Silageentnahme....	174
5.2.4	Kapazitätsbewertung.....	176
5.2.5	Basisdaten für die Bewertung von Energieaufwand, Emissionen und Wirtschaftlichkeit.....	183
5.2.6	Energiebilanz und Treibhausgasemissionen.....	185
5.2.7	Bewertung der Kosten und Erlöse.....	187
5.2.8	Sensitivitätsanalyse.....	189
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>190</b>
5.3.1	Ergebnisse der Prozessbeobachtungen.....	190
5.3.2	Funktionsbewertung.....	191
5.3.2.1	Struktur des Siliergutes.....	191
5.3.2.2	Verdichtung im Silo.....	194

---

5.3.2.3	Siliererfolg.....	195
5.3.2.4	Methanbildung.....	197
5.3.3	Kapazitätsbewertung.....	198
5.3.4	Energetische Bewertung.....	200
5.3.5	Bewertung der Treibhausgasemissionen.....	202
5.3.6	Bewertung der Kosten und Erlöse.....	203
5.3.7	Sensitivitätsanalyse.....	205
5.3.8	Zusammenfassung.....	209
<b>5.4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>210</b>
5.4.1	Ergebnisse der Prozessbeobachtungen.....	210
5.4.2	Funktionsbewertung.....	214
5.4.3	Kapazitätsbewertung.....	219
5.4.4	Bilanzierung.....	221
<b>5.5</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>225</b>
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>226</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>227</b>
	Literaturverzeichnis.....	229
	Abbildungsverzeichnis.....	247
	Tabellenverzeichnis.....	251
	Anhang.....	253