
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

**Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die
Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben
Abbau in Biogasreaktoren**

Felipe Luis Kaiser

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Dr.h.c. J. Bauer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer (i.R.)
2. apl. Prof. Dr. F. J. Schwarz
3. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer

Die Dissertation wurde am 26.10.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 21.11.2007 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung.....	15
2	Zielsetzung.....	17
3	Literaturübersicht und Ableitung der Aufgabenstellung.....	18
3.1	Bestimmung der Verdaulichkeit pflanzlicher Inhaltsstoffe	18
3.1.1	Bedeutung des Impfmateri als (Inokulum).....	21
3.2	Biogasbildungspotential von Nawaro	21
3.2.1	Biogas- und Methanausbeute nach Literaturangaben	21
3.2.1.1	Mais.....	22
3.2.1.2	Grünland.....	23
3.2.1.3	Gräser	24
3.2.1.4	Andere nachwachsende Rohstoffe	24
3.2.2	Biogas- und Methanausbeute nach Berechnungsmodellen	26
3.2.2.1	Berechnungsmodell nach Inhaltsstoffen	26
3.2.2.2	Berechnungsmodell nach dem Methanenergiewertsystem (MEWS).....	30
4	Material und Methoden	33
4.1	Analyseverfahren zur Qualitätsbestimmung von Pflanzenteilen	33
4.1.1	Weender Rohnährstoffanalyse	33
4.1.1.1	Rohprotein.....	33
4.1.1.2	Rohfett.....	34
4.1.1.3	Rohfaser	34
4.1.1.4	N-freie Extraktstoffe	34
4.1.2	Erweiterte Weender-Analyse	34
4.1.2.1	NDF.....	35
4.1.2.2	ADF.....	35
4.1.2.3	ADL.....	36
4.1.2.4	Cellulose.....	37
4.1.2.5	Hemicellulose.....	37
4.1.2.6	Lignin	37
4.1.3	Physikalische Parameter.....	37
4.1.3.1	Trockensubstanz.....	37

4.1.3.2	Organische Trockensubstanz.....	38
4.2	Versuchstechnische Einrichtungen	38
4.2.1	Laborfermenteranlage (Weihenstephaner Batch System).....	38
4.2.2	Datenerfassung	41
4.2.2.1	Gasertrag	41
4.2.2.2	Temperatur- und Druckkorrektur	42
4.2.2.3	Gasanalyse.....	42
4.3	Versuchsablauf	43
4.3.1	Befüllung der Glasreaktoren	43
4.3.2	Berechnung des Biogas- und Methanertrages	44
4.4	Testsubstrate.....	47
4.4.1	Mais.....	47
4.4.2	Grünland.....	49
4.4.2.1	Versuchsort Spitalhof / Kempten	50
4.4.2.2	Versuchsort Kringell / Passau	52
4.4.2.3	Versuchsort Exlarn / Steinach	54
4.4.3	Gräser	55
4.4.4	Andere Nawaro	58
4.4.5	Konservierung der Substrate (Silage)	60
4.5	Statistische Auswertung	61
5	Ergebnisse und Diskussion	63
5.1	Validierung der Methode	64
5.2	Überblick über die Biogas- und Methanerträge der verschiedenen Substrate	67
5.2.1	Mais.....	67
5.2.2	Grünland.....	68
5.2.2.1	Versuchsort Spitalhof / Kempten	68
5.2.2.2	Versuchsort Kringell / Passau	68
5.2.2.3	Versuchsort Exlarn / Steinach	68
5.2.2.4	Alle Standorte.....	69
5.2.3	Gräser	69
5.2.4	Andere Nawaro	70
5.3	Abhängigkeit der Gaserträge von dem Trockenmasse- und Rohproteingehalt.....	71
5.4	Relation zwischen Methanerträge und Verdaulichkeit der organische Masse.....	74
5.5	Biogas- und Methanerträge der einzelnen abgebauten Inhaltsstoffe	75

5.5.1	Biogas- und Methanerträge auf Basis der Weender-Analyse	75
5.5.2	Biogas- und Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse	78
5.6	Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs (Substrat + Inokulum)	80
5.6.1	Biogasertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	81
5.6.2	Methanertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	82
5.7	Biogas- und Methanerträge in bezug auf die Frischmasse.....	83
5.7.1	Biogaserträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	83
5.7.2	Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	84
6	Schlussfolgerung	86
6.1	Wissenschaftliche Schlussfolgerungen	86
6.2	Praxisrelevante Schlussfolgerungen.....	87
7	Zusammenfassung	88
8	Summary	91
9	Literatur	94
10	Anhang.....	101
10.1	Biogas- und Methanerträge aller Substrate	101
10.2	Charakterisierung aller Substrate	110
10.3	Normalverteilungstest	125
10.4	Statistische Auswertungen	127
10.4.1	Regressionen für Biogas- und Methanerträge der abgebauten Inhaltsstoffe..	127
10.4.1.1	Weender Analyse – Biogas	127
10.4.1.2	Weender Analyse - Methan.....	130
10.4.1.3	Erweiterte Weender Analyse - Biogas	133
10.4.1.4	Erweiterte Weender Analyse - Methan	136
10.4.2	Regressionen für Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs	139
10.4.2.1	Weender Analyse – Biogas	139
10.4.2.2	Weender Analyse – Methan	142
10.4.2.3	Erweiterte Weender Analyse – Biogas.....	145
10.4.2.4	Erweiterte Weender Analyse – Methan	148
10.4.3	Regressionen für Biogas- und Methanerträge in Bezug auf die Frischmasse	151
10.4.3.1	Weender Analyse – Biogas	151

10.4.3.2	Weender Analyse – Methan	157
10.4.3.3	Erweiterte Weender Analyse – Biogas.....	163
10.4.3.4	Erweiterte Weender Analyse – Methan	170