

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| 1 Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 2 Technische und naturwissenschaftliche Grundlagen | 3 |
| 2.1 Allgemeine Bedeutung der anaeroben Fermentation von Biomasse..... | 3 |
| 2.2 Prinzip der anaeroben thermophilen Gärung..... | 4 |
| 2.3 Typen von Biogasreaktoren..... | 5 |
| 2.4 Einflussfaktoren und Prozessparameter..... | 7 |
| 2.4.1 Temperatur..... | 7 |
| 2.4.2 pH-Wert..... | 7 |
| 2.4.3 Wasserstoffpartialdruck..... | 8 |
| 2.4.4 Substratzusammensetzung..... | 9 |
| 2.4.5 Biogasmenge und -zusammensetzung..... | 9 |
| 2.4.6 Organische und anorganische Kohlenstoffgehalte..... | 10 |
| 2.5 Säure-Base-Gleichgewichte..... | 11 |
| 2.5.1 Ionenprodukt des Wassers, pH-Wert..... | 11 |
| 2.5.2 Dissoziation von schwachen Säuren..... | 12 |
| 2.5.2.1 Organische Säuren..... | 14 |
| 2.5.2.2 Kohlensäure und Carbonate..... | 15 |
| 2.5.3 Säure-Base-Titration..... | 16 |
| 2.5.4 Puffersysteme..... | 17 |
| 2.6 Spektroskopische und chromatographische Untersuchungsmethoden..... | 18 |
| 2.6.1 Molekülspektroskopie..... | 18 |
| 2.6.1.1 UV/VIS-Spektroskopie..... | 19 |
| 2.6.1.2 IR-Spektroskopie..... | 19 |
| 2.6.1.3 Raman-Spektroskopie..... | 24 |
| 2.6.1.4 Vergleich von IR und Raman..... | 26 |
| 2.6.2 Massenspektrometrie (MS)..... | 26 |
| 2.6.3 Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC)..... | 29 |
| 3 Material und Methoden | 31 |
| 3.1 Probennahme, Probenaufbereitung, Ansatz der Standards..... | 31 |
| 3.2 IR-Spektrometer und Messaufbau..... | 33 |
| 3.2.1 Strahlungsquelle..... | 34 |
| 3.2.2 Strahlungsdetektoren..... | 34 |
| 3.2.3 Fasersonden..... | 35 |
| 3.2.4 Micro-Circle-Zelle..... | 36 |
| 3.2.5 pH-Meter und Zubehör..... | 37 |
| 3.3 Raman-Spektrometer..... | 37 |
| 3.4 HPLC-Messaufbau..... | 38 |
| 3.5 Massenspektrometer..... | 39 |
| 3.6 Festphasenextraktion (SPE)..... | 39 |
| 3.7 Dr. Lange Küvettentests..... | 40 |
| 4 Ergebnisse und Diskussion | 41 |
| 4.1 Vorbereitende Untersuchungen..... | 41 |
| 4.1.1 Substratproben..... | 42 |
| 4.1.2 Proben der ersten Reaktorstufe..... | 47 |
| 4.1.3 Proben der zweiten Reaktorstufe..... | 52 |
| 4.2 IR-Untersuchungen..... | 57 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2.1 | Testmessungen zur Parameteroptimierung..... | 57 |
| 4.2.1.1 | Messungen mit der Micro-Circle-Zelle..... | 57 |
| 4.2.1.2 | Messungen mit der Fasersonde..... | 59 |
| 4.2.2 | Standards und ihre pH-Wert-Abhängigkeit..... | 62 |
| 4.2.3 | Differenzspektren der Carbonsäurestandards..... | 68 |
| 4.2.4 | Substratproben..... | 71 |
| 4.2.5 | Proben der ersten Reaktorstufe..... | 74 |
| 4.2.6 | Proben der zweiten Reaktorstufe..... | 77 |
| 4.3 | HPLC-Untersuchungen..... | 80 |
| 4.3.1 | Standards..... | 80 |
| 4.3.2 | Substratproben..... | 82 |
| 4.3.3 | Proben der ersten Reaktorstufe..... | 83 |
| 4.3.4 | Proben der zweiten Reaktorstufe..... | 84 |
| 4.4 | MS-Untersuchungen..... | 86 |
| 4.4.1 | Standards..... | 86 |
| 4.4.2 | Substratproben..... | 90 |
| 4.4.3 | Proben der ersten Reaktorstufe..... | 92 |
| 4.4.4 | Proben der zweiten Reaktorstufe..... | 93 |
| 4.5 | Raman-Untersuchungen..... | 94 |
| 4.5.1 | Standards..... | 95 |
| 4.5.2 | Reaktorproben..... | 99 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 103 |
| 6 | Anhang..... | 105 |
| 6.1 | Weitere Spektren der IR-Untersuchungen..... | 105 |
| 6.1.1 | Messungen mit der Micro-Circle-Zelle..... | 105 |
| 6.1.2 | pH-Wert-Änderung der Carbonsäurestandards..... | 107 |
| 6.1.3 | Differenzspektren der Carbonsäurestandards..... | 110 |
| 6.2 | Weitere Chromatogramme und Spektren der MS-Untersuchungen..... | 113 |
| 6.2.1 | Standards..... | 113 |
| 6.2.2 | Reaktorproben..... | 116 |
| 6.3 | Weitere Standard-Spektren der Raman-Untersuchungen..... | 117 |
| | Literatur- und Quellenverzeichnis..... | 119 |
| | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis..... | 123 |