

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	IV
Symbolverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Ziel der Arbeit	3
3 Stand der Wissenschaft und Technik	4
3.1 Wasserstoff.....	4
3.1.1 Stoffeigenschaften.....	4
3.1.2 Verwendung und Einsatzgebiete	5
3.2 Herstellungsverfahren.....	8
3.2.1 Thermochemische Verfahren.....	9
3.2.2 Biochemische Verfahren.....	11
3.3 Mikrobiologische Grundlagen der fermentativen H ₂ -Bildung.....	16
3.3.1 Vierphasiger anaerober Abbau	16
3.3.2 Theoretische H ₂ -Ausbeute	19
3.4 Einflussfaktoren auf die fermentative H ₂ -Bildung.....	27
3.4.1 Inokulum.....	27
3.4.2 Verweilzeit	29
3.4.3 pH-Wert	30
3.4.4 Temperatur.....	32
3.4.5 Milchsäure	33
3.4.6 H ₂ -Partialdruck	35
3.5 Kinetikansätze zur fermentativen H ₂ -Bildung.....	39
3.5.1 Gompertz-Modell	39
3.5.2 Monod-Modell	40
3.5.3 Arrhenius-Modell	42
4 Material und Methoden	45
4.1 Nasschemische Analytik	45
4.1.1 Trockensubstanz und Glühverlust.....	46
4.1.2 Organische Säuren, Aceton und Alkohole	47

4.2	Gasanalytik	48
4.2.1	Gasmenge.....	48
4.2.2	Gasqualität	48
4.3	Versuchsanlage	49
4.3.1	Technikumsreaktoren	49
4.3.2	Steuerungstechnik	51
4.4	Berechnungsmethoden.....	52
4.4.1	Raumbelastung und Verweilzeit	52
4.4.2	Normgaskorrektur.....	52
4.4.3	Spezifischer H ₂ -Ertrag und H ₂ -Ausbeute.....	53
4.4.4	H ₂ -Konzentration in der Flüssigphase.....	54
4.4.5	Massenbilanzierung	55
4.4.6	Statistische Fehlerrechnung	57
4.5	Modellierung der fermentativen H ₂ -Bildung	58
4.5.1	Stärkekonzentration im Reaktor.....	59
4.5.2	Reaktormodell	61
4.5.3	Stoffmengenänderungsgeschwindigkeit.....	61
4.6	Versuchsübersicht	63
5	Ergebnisse und Diskussion	64
5.1	Charakterisierung Inokulum, Prozesswasser und Substrat	64
5.1.1	Inokulum und Prozesswasser	64
5.1.2	Modellsubstrat	64
5.2	Auswertung der Versuche mit und ohne Gasabsaugung.....	67
5.2.1	Tägliche H ₂ -Gasproduktion	67
5.2.2	Organische Säuren und Alkohole	70
5.2.3	Spezifische H ₂ -Erträge, H ₂ -Ausbeuten und Umsatzraten.....	76
5.2.4	Massenbilanzierung.....	78
5.3	Simulationsmodell zur fermentativen H ₂ -Bildung	81
5.3.1	Stärkekonzentration im Reaktor.....	81
5.3.2	Reaktionsnetzwerk und Kinetikansatz	84
5.3.3	Simulationsparameter des H ₂ -Modells	86
5.3.4	Paritätsdiagramme der Spezies	88

5.4 Diskussion der Ergebnisse	95
6 Technische und ökonomische Betrachtung	111
6.1 Verfahrenskonzept.....	111
6.2 Wirtschaftlichkeitsabschätzung.....	113
6.3 Sensitivitätsanalyse	116
7 Zusammenfassung und Ausblick	117
Summary	120
Literaturverzeichnis	122
Abbildungsverzeichnis	133
Tabellenverzeichnis	136
Anhang	138