
Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Symbolverzeichnis.....	VIII
Zusammenfassung	X
Summary	XII
1 Einleitung.....	1
2 Konzeptentwicklung für eine grüne Bioraffinerie	7
2.1 Theorie	7
2.1.1 Die Grüne Bioraffinerie	7
2.1.2 Bedeutung von Gräsern als nachwachsende Rohstoffe	10
2.1.3 Herstellung von Grassilage	15
2.1.4 Herstellung von Silagepresssaft.....	17
2.1.5 Fermentative Nutzung von Silagepresssaft	17
2.1.6 Aufarbeitung organischer Säuren aus Silagepresssaft	18
2.1.7 Prinzipien der Chromatographie	20
2.1.8 Modellierung der chromatographischen Trennung.....	22
2.1.9 Prinzipien der Flüssig-flüssig-Extraktion	23
2.1.10 Aufbau der Zellwand von Gräsern	13
2.1.11 Vorbehandlung von Gras-Lignocellulosen	24
2.1.12 Enzymatische Hydrolyse von Lignocellulose	28
2.1.13 Modellierung der Hydrolyse	30
2.1.14 Detoxifizierung von Hydrolysaten	34
2.1.15 Ethanolherstellung	35
2.2 Material und Methoden.....	40
2.2.1 Grassilage.....	40
2.2.2 Herstellung des Silagepresssafts.....	40
2.2.3 Aufarbeitung organischer Säuren	41

2.2.3.1	Chromatographiematerialien und Extraktionsmittel	41
2.2.3.2	Statische Adsorptions- und Elutionsversuche	41
2.2.3.3	Chromatographiesäulen und -Anlagen	42
2.2.3.4	Flüssig-Flüssig-Extraktion der organischen Säuren	44
2.2.4	Vorbehandlung und Hydrolyse von Gras-Lignocellulose	44
2.2.4.1	Verwendete Enzyme	44
2.2.4.2	Vorbehandlungsmethoden	46
2.2.4.3	Enzymatische Hydrolyse	46
2.2.5	Ethanolherstellung	47
2.2.5.1	Verwendete Mikroorganismen	47
2.2.5.2	Medien	47
2.2.5.3	Stammhaltung	47
2.2.5.4	Erstellen der Vorkulturen	48
2.2.5.5	Anaerobe Kultivierung im 10 und 50 mL-Maßstab	48
2.2.5.6	Adsorption und Elution von Phenolcarbonsäuren	49
2.2.6	Vergärung von Reststoffen zu Biogas	50
2.2.7	Analytik	51
2.2.7.1	Zucker-Analytik	51
2.2.7.2	Analyse der organischen Säuren	51
2.2.7.3	Phenolsäure-Analytik	52
2.2.7.4	Ethanol-Analytik	53
2.2.7.5	Biogasanalytik	53
2.3	Ergebnisse und Diskussion	54
2.3.1	Durchführung und Optimierung des Pressschrittes	54
2.3.2	Analytik des Presssaftes	56
2.3.3	Chromatographische Gewinnung organischer Säuren aus Silagepresssaft	61
2.3.3.1	Auswahl eines geeigneten Adsorbermaterials	61
2.3.3.2	Elution organischer Säuren vom Amberlite IRA 400 OH ⁻	62
2.3.3.3	Abtrennung organischer Säuren aus Silagepresssaft im dynamischen System	63
2.3.3.4	Auftrennung der Säurefraktion durch Größenausschluss-Chromatographie	67
2.3.3.5	Kombination von chromatographischer Abtrennung und Auftrennung der organischen Säuren	76

2.3.4	Aufarbeitung der Milchsäure durch Flüssig-Flüssig-Extraktion	79
2.3.5	Vorbehandlung und Hydrolyse von Gras-Lignocellulose	84
2.3.5.1	Vorbehandlung der Silage	84
2.3.5.2	Hydrolyse von Silagepresskuchen	89
2.3.5.3	Maßstabsvergrößerung der Hydrolyse.....	99
2.3.5.4	Modellierung der Hydrolyse.....	107
2.3.6	Herstellung von Ethanol aus Grassilage	114
2.3.6.1	Nutzung von Silagepresssaft als Fermentationsmedium	114
2.3.6.2	Nutzung von Silagepresssaft zur Supplementierung von Hydrolysaten	117
2.3.6.3	Nutzung von Silagehydrolysaten zur Ethanolherstellung	119
2.3.7	Vergärung von Fermentationsreststoffen zu Biogas	125
2.3.8	Erstellung eines Gesamtkonzeptes "Silage-basierte grüne Bioraffinerie" 126	
3	Gewinnung von Dicarbonsäuren aus Buchenholzhydrolysaten.....	137
3.1	Theorie	137
3.1.1	Buchenholz als nachwachsender Rohstoff	137
3.1.2	Die deutsche Lignocellulose Bioraffinerie	138
3.1.3	Itaconsäure	140
3.1.4	Bernsteinsäure.....	145
3.2	Material und Methoden.....	149
3.2.1	Verwendete Mikroorganismen	149
3.2.2	Fermentationsmedien	149
3.2.3	Stammhaltung.....	150
3.2.4	Fermentationsbedingungen	150
3.2.5	Detoxifizierung	151
3.2.6	Aufarbeitung der Itaconsäure.....	152
3.2.7	Analytik	152
3.3	Ergebnisse und Diskussion	153
3.3.1	Itaconsäureherstellung.....	153

3.3.1.1	Detoxifizierung von Buchenholzhydrolysaten.....	153
3.3.1.2	Fermentation detoxifizierter Hydrolysate.....	160
3.3.1.3	Aufarbeitung der Itaconsäure	162
3.3.1.4	Stoffstrom-Simulation der Itaconsäure-Herstellung.....	165
3.3.2	Herstellung von Bernsteinsäure aus Buchenholzhydrolysaten	172
3.3.3	Vergärung von Hydrolyseresten zu Biogas.....	174
4	Zusammenfassung.....	175
	Literaturverzeichnis	180
	Abbildungsverzeichnis.....	213
	Tabellenverzeichnis.....	225
	Anhang A.....	228
	Liste der verwendeten Geräte.....	228
	Liste der verwendeten Chemikalien.....	229
	Anhang B.....	230
	Vereinfachte Nährwertanalysen der verwendeten Silagen.....	230
	Anhang C.....	231
	Presssaft-Analytik	232
	Anhang D.....	237
	Aufarbeitung organischer Säuren	237
	Modellierung der Chromatographie an Sephadex G-10.....	241
	Flüssig-Flüssig-Extraktion	244
	Anhang E.....	245
	Vorbehandlung und Hydrolyse.....	245
	Modellierung der Hydrolyse	249
	Anhang F.....	255
	Fermentation.....	255
	Anhang G	257
	Gesamtkonzept grüne Bioraffinerie.....	257

Anhang H.....	259
Itaconsäureherstellung.....	259
Charakterisierung der verwendeten Schüttelkolben.....	259
Anhang I.....	262
Bernsteinsäureherstellung	262
Vorab veröffentlichte Publikationen	263
Betreute Studien- und Diplomarbeiten.....	266
Lebenslauf.....	267