

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verfahren zur Produktion von Zitronensäure	3
2.1	Gewinnung aus natürlichen Quellen	3
2.2	Synthetische Produktion	3
2.3	Mikrobielle Produktionsverfahren	4
2.3.1	Das Oberflächenverfahren	4
2.3.2	Das Submersverfahren	6
2.3.3	Kontinuierliche Produktion	7
3	Mikrobiologische und biochemische Grundlagen	11
3.1	Einordnung des Pilzes <i>Aspergillus niger</i>	11
3.2	Morphologie des Pilzes	12
3.3	Abbau der Kohlenstoffquelle	13
3.4	Abbau der Stickstoffquellen	14
3.5	Abbau der Phosphatquelle	14
3.6	Biosynthese von Zitronensäure	15
3.7	Einflußgrößen auf die mikrobielle Zitronensäureproduktion	16
4	Verfahrenstechnische Grundlagen	20
4.1	Aufbau des Hubstrahl-Bioreaktors	20
4.2	Strömungsverhältnisse im Hubstrahl-Bioreaktor	21
4.3	Stofftransport im Hubstrahl-Bioreaktor	24
4.4	Membranfiltration	27
5	Ziel der Arbeit	30

6	Beschreibung der Versuchsanlagen und der Meßeinrichtungen	31
6.1	Die Versuchsanlagen	31
6.2	Die Meßverfahren	33
6.2.1	Kontinuierliche Messungen am Reaktor	33
6.2.1.1	Bestimmung der Temperatur	33
6.2.1.2	Bestimmung des Luftdrucks	33
6.2.1.3	Bestimmung der transmembranen Druckdifferenz	34
6.2.1.4	Bestimmung des Volumenstroms	34
6.2.1.5	Bestimmung des Abstroms	34
6.2.1.6	Bestimmung des Zustroms	35
6.2.1.7	Bestimmung der Hubfrequenz	35
6.2.1.8	Bestimmung des pH-Wertes	35
6.2.1.9	Bestimmung der bezogenen Sauerstoffkonzentration	36
6.2.2	Messungen zur Analyse der Proben des Fermentationsfluids	36
6.2.2.1	Bestimmung der Biomassekonzentration	37
6.2.2.2	Bestimmung der Biomassezusammensetzung	37
6.2.2.3	Bestimmung des Aschegehaltes der Biomasse	38
6.2.2.4	Bestimmung der Pelletanzahl und Pelletgröße	38
6.2.2.5	Bestimmung der rheologischen Eigenschaften des Fermentationsfluids	39
6.2.2.6	Bestimmung des pH-Wertes	39
6.2.2.7	Bestimmung der Gesamtsäurekonzentration	39
6.2.2.8	Bestimmung der Zitronensäurekonzentration	40
6.2.2.9	Bestimmung der Saccharose-, Glucose-, und Fructosekonzentration	41
6.2.2.10	Bestimmung der Phosphatkonzentration	42
6.2.2.11	Bestimmung der Ammoniumkonzentration	42
6.2.2.12	Bestimmung der Nitratkonzentration	42
6.2.2.13	Bestimmung der Eisenkonzentration	43
6.2.3	Lichtmikroskopische Untersuchungen	43

VII

7	Vorbereitung und Durchführung der Versuche	44
7.1	Anzucht der Vorkulturen	44
7.2	Durchführung der Fermentationen	45
7.2.1	Absatzweise betriebene Fermentationen	45
7.2.2	Kontinuierliche Fermentationen	46
7.3	Durchführung von Versuchen in Schüttelkolben	47
8	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	48
8.1	Größen zur Beschreibung von Fermentationen	48
8.1.1	Reaktionsstromdichte	48
8.1.2	Ertragskoeffizient	49
8.1.3	Bezogene Zitronensäuremasse	50
8.2	Ergebnisse der in Schüttelkolben durchgeführten Versuche	50
8.2.1	Einfluß von Methanol auf die Zitronensäureproduktion	51
8.2.2	Einfluß von Eisen auf die Zitronensäureproduktion	52
8.3	Absatzweise betriebene Fermentationen	55
8.3.1	Beschreibung einer Fermentation	55
8.3.1.1	Säureproduktion	55
8.3.1.2	Wachstum	56
8.3.1.3	Verbrauch der Kohlenstoffquelle	58
8.3.1.4	Verbrauch der Phosphat- und Stickstoffquellen	59
8.3.1.5	Verlauf der relativen Sauerstoffkonzentration	60
8.3.1.6	Verlauf des pH-Wertes	61
8.3.2	Einfluß der Phosphatkonzentration auf Wachstum und Produktion	62
8.3.3	Einfluß des Luftvolumenstroms auf Wachstum und Produktion	66
8.3.4	Einfluß der Hubfrequenz auf Wachstum und Produktion	72
8.4	Kontinuierliche Fermentationen	78
8.4.1	Einfluß der Zusammensetzung des Zustroms	79
8.4.1.1	Hohe Stickstoff- und Phosphatkonzentration	79
8.4.1.2	Geringe Stickstoff- und Phosphatkonzentration	82

8.4.1.3	Geringe Stickstoff- und hohe Phosphatkonzentration	84
8.4.2	Zugabe von Biomasse während der kontinuierlichen Betriebsweise	86
9	Zusammenfassung	89
	Formelzeichen	92
	Tabellen	94
	Bilder	96
	Literatur	165