

Dipl.-Ing. Karsten Behrend, Ludwigsburg

**Reaktionstechnische
Untersuchungen zur
mikrobiellen Regeneration
von Adsorbentien**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **164**

Inhaltsverzeichnis

SYMBOLVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG

1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....	1
2 STAND DES WISSENS.....	3
2.1 Anwendung der integrierten Adsorption und biologischen Degradation	3
2.2 Anwendung der sequentiellen biologischen Regeneration	7
3 MATERIAL UND METHODEN	10
3.1 Mikroorganismus und Nährmedien.....	10
3.2 Charakterisierung der verwendeten Aktivkohle.....	11
3.3 Analytische Methoden.....	13
3.3.1 Phenolbestimmung	13
3.3.1.1 Probenvorbehandlung in Gegenwart metabolisch aktiver Mikroorganismen	13
3.3.1.2 Modifizierte Methode nach Ochynski.....	13
3.3.1.3 Gaschromatographische Methode	14
3.3.2 Biomassebestimmung	15
3.3.2.1 Korrelation zwischen optischer Dichte und Trockengewicht	15
3.3.2.2 Zellzählung mit digitaler Bildauswertung	17
3.3.3 Bestimmung der adsorptiv gebundenen Schadstoffmenge.....	19
4 AD- UND DESORPTION AN EINZELNEN AKTIVKOHLEKÖRNERN	21
4.1 Bestimmung der Adsorptionsgleichgewichte	21
4.1.1 Durchführung der Gleichgewichtsmessungen	21
4.1.2 Isothermengleichungen für Einstoffsysteme.....	22
4.1.3 Ergebnisse der Gleichgewichtsmessungen	24

4.2 Bestimmung der Adsorptionsdynamik	25
4.2.1 Experimentelle Beobachtungen der Dynamik der Adsorption	26
4.2.2 Ansätze zur Beschreibung des diffusiven Stofftransports	28
4.2.2.1 Porendiffusion	28
4.2.2.2 Oberflächendiffusion	30
4.2.2.3 Ansatz einer linearen Triebkraft	31
4.2.3 Numerische Methoden	32
4.2.3.1 Integration von Differential-Algebra-Systemen	33
4.2.4 Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Adsorptionsdynamik	33
4.3 Bestimmung der Desorptionsdynamik	43
4.3.1 Einstufige Desorption	43
4.3.2 Mehrstufige Desorption	45
5 MIKROBIELLE REGENERATION SUSPENDIERTER AKTIVKOHLE.....	47
5.1 Phenoldegradation durch <i>Pseudomonas putida</i>	48
5.1.1 Schwellenkonzentration	49
5.2 Mathematisches Modell für den Regenerationsprozeß	51
5.3 Versuchsdurchführung zur biologischen Regeneration	52
5.4 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse	53
6 UNTERSUCHUNGEN ZUR AD- UND DESORPTION IN SCHÜTTTSCHICHTEN..	58
6.1 Charakterisierung von Festbettadsorbentien	58
6.2 Modellerweiterung zur Beschreibung der Transportprozesse	59
6.3 Numerische Berechnung der Festbettadsorption	61
6.4 Versuchsdurchführung zur Ad- und Desorption in Festbettschüttungen	62
6.5 Vergleich zwischen Modellrechnungen und Messungen	63
6.5.1 Einfluß der Rückvermischung auf die Durchbruchkurve	63
6.6 Ergebnisse zur Untersuchung der Desorption in Festbettschüttungen	66

7 BIOLOGISCHE REGENERATION VON FESTBETTADSORBERN.....	69
7.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung.....	69
7.2 Modellerweiterung zur biologischen Regeneration im Festbett	70
7.3 Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit Simulationen	71
7.4 Untersuchungen zur zyklischen Regeneration.....	79
7.4.1 Versuchsdurchführung zur zyklischen Regeneration.....	79
7.4.2 Ergebnisse und Bewertung der zyklischen Regenerationsversuche.....	80
8 IRREVERSIBLE ADSORPTION.....	84
8.1 Irreversible Adsorption - Definition und Bestimmung.....	89
8.2 Versuchsdurchführung zur Bestimmung der irreversiblen Adsorption.....	90
8.3 Versuchsergebnisse.....	91
8.4 Modellansatz zur Beschreibung der irreversiblen Adsorption.....	94
8.5 Einfluß der irreversiblen Adsorption auf den biologischen Regenerationsprozeß.....	100
8.5.1 Untersuchungen an suspendierten Aktivkohlepartikeln.....	100
8.5.2 Untersuchungen am Aktivkohlefestbett	103
8.6 Zusammenfassung und Bewertung	104
9 UNTERSUCHUNGEN AN WOFATIT ZUR BIOLOGISCHEN REGENERATION	106
9.1 Charakterisierung und Anwendungsfelder von Wofatit	106
9.2 Bestimmung von Adsorptionsgleichgewichten an Wofatit.....	108
9.3 Untersuchungen zur Adsorptionsdynamik an Wofatit	110
9.4 Untersuchungen zur irreversiblen Adsorption.....	111
9.5 Ad- und Desorptionsverhalten an Einzelkörnern.....	112
9.6 Durchbruchverhalten in Festbettschüttungen.....	112

9.7 Untersuchungen zur biologischen Regeneration in Festbettauflagen	112
9.7.1 Versuchsergebnisse	113
9.8 Bewertung und Schlußfolgerung	114
10 EINSATZ VON IMMOBILISIERTEN MIKROORGANISMEN ZUR REGENERATION VON FESTBETTADSORBERN.....	118
10.1 Auswahl eines geeigneten Immobilisierungsverfahren	118
10.2 Material und Methoden zur Immobilisierung	120
10.2.1 Geleinschluß in Ca-Alginat	120
10.2.2 Herstellung monodisperser Alginatperlen	120
10.2.2.1 Versuchsapparatur	121
10.2.2.2 Mechanismen der Tropfenerzeugung	122
10.2.3 Biomassebestimmung in Alginatperlen	124
10.3 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	126
10.4 Modellerweiterung zur Berücksichtigung des Schadstoffabbaus	129
10.4.1 Annahmen und Stoffbilanzen	130
10.4.2 Bestimmung des Diffusionskoeffizienten von Phenol in Alginatpartikeln	131
10.4.3 Diffusiver Sauerstofftransport im Alginatpartikel	132
10.4.4 Beschreibung des flüssig-fest-Stoffübergangs	133
10.4.5 Ermittlung des $k_L a$ - Wertes	135
10.4.6 Bestimmung der Halbsättigungskonstante K_{O_2} des Sauerstoffs	136
10.4.7 Versuchsdurchführung	137
10.5 Ergebnisse aus Untersuchungen zur biologischen Regeneration	139
10.5.1 Untersuchungen mit Aktivkohle	140
10.5.2 Untersuchungen mit Wofatit	142
10.6 Bewertung und Diskussion der Ergebnisse	151
11 LITERATURÜBERSICHT	153