

Inhalt

1 Einführung in die Adsorptionstechnik	1
1.1 Geschichte der Adsorptionstechnik	1
1.2 Begriffsbestimmung	2
1.3 Beschreibung der physikalischen Vorgänge	3
1.4 Unterschiede von Flüssig- und Gasphasen-Adsorption	5
1.5 Klassifizierung von Adsorptionsverfahren	6
1.5.1 Klassifizierung nach Bindungsenthalpien	6
1.5.2 Klassifizierung nach Mechanismen/Selektivitäten	7
1.5.3 Klassifizierung nach Adsorberbauformen	8
1.5.4 Klassifizierung nach prozesstechnischen Kriterien	9
1.6 Fachbücher zur Adsorptionstechnik	9
2 Technische Adsorbentien	13
2.1 Einleitung	13
2.2 Charakterisierung von Adsorbentien	14
2.2.1 Partikelgrößenverteilung	14
2.2.2 Dichte	15
2.2.3 Porosität	17
2.2.4 Innere oder spezifische Oberfläche	17
2.2.5 Porenradienverteilung	18
2.3 Kohlenstoffhaltige Adsorbentien	19
2.3.1 Aktivkohle und -koks	19
2.3.2 Kohlenstoffmolekularsiebe	26
2.4 Oxidische Adsorbentien	28
2.4.1 Kieselgel	28
2.4.2 Alumosilicate	29
2.4.3 Aktivtonerde	36
2.4.4 Weitere oxidische Adsorbentien	38
2.5 Polymere Adsorbentien	39
2.6 Zusammenfassung „Adsorbentien“	43
Literatur zu Kapitel 2	44

3 Grundlagen der Adsorption	49
3.1 Thermodynamik der Adsorption	49
3.1.1 Thermodynamik der Gasphasen-Adsorption.....	51
3.1.2 Thermodynamik der Flüssigphasen-Adsorption	54
3.1.3 Einkomponenten-Isothermen	56
3.1.4 Kapillarkondensation und Adsorptions-Desorptions-Hysteresis	65
3.1.5 Beispiel für ein reales Einkomponenten-System.....	68
3.1.6 Mehrkomponenten-Isothermen	70
3.1.7 Adsorptionsenthalpie	74
3.2 Kinetik der Adsorption	78
3.2.1 Beschreibung der Phänomene	78
3.2.2 Stoff-/Wärmeübergang durch Grenzfilm (Heterogenes Modell I)	80
3.2.3 Diffusion in Poren (Heterogenes Modell II)	82
3.2.4 LDF-Ansatz (Homogenes Modell).....	90
3.2.5 Kinetik von Mehrkomponenten-Prozessen	92
3.3 Dynamik der Adsorption	92
3.3.1 Durchbruchskurve	93
3.3.2 Einfluss der Thermodynamik	94
3.3.3 Einfluss der Kinetik	95
3.4 Zusammenfassung „Grundlagen“	96
Literatur zu Kapitel 3.....	97
4 Mathematische Beschreibung von Adsorption und Desorption.....	103
4.1 Zielsetzung der Modellierung.....	103
4.2 Ansätze zur Modellierung und Simulation	104
4.3 Bilanzräume der Modellierung von Adsorptionsprozessen	107
4.4 Unterschiede von Gasphasen- und Flüssigphasen-Adsorption	108
4.5 Modell der Gasphasen-Adsorption	109
4.5.1 Annahmen zur Modellbildung	110
4.5.2 Massenbilanz der festen Phase	111
4.5.3 Energiebilanz der festen Phase	112
4.5.4 Massenbilanz der fluiden Phase	114
4.5.5 Energiebilanz der fluiden Phase	116
4.5.6 Anfangs- und Randbedingungen	119
4.6 Modell der Flüssigphasen-Adsorption.....	120
4.6.1 Annahmen zur Modellbildung	121
4.6.2 Massenbilanz der festen Phase	121
4.6.3 Massenbilanz der flüssigen Phase	123
4.6.4 Anfangs- und Randbedingungen	125
4.7 Hilfsgleichungen.....	126
4.7.1 Thermodynamik des Fluids.....	127
4.7.2 Thermodynamik der Adsorbentien.....	127
4.7.3 Druckverlust in durchströmten Festbetten	127
4.7.4 Modellparameter	129
4.8 Kommerzielle Softwareprogramme.....	134
Literatur zu Kapitel 4.....	135

5 Technische Desorptionsverfahren.....	139
5.1 Grundprinzipien der Desorption	139
5.2 Desorption in Gasphasen-Adsorptions-Prozessen	141
5.2.1 Druckwechsel-Desorption	142
5.2.2 Temperaturwechsel-Desorption	148
5.2.3 Verdrängungs-Desorption	155
5.2.4 Reaktivierung	160
5.3 Desorption in Flüssigphasen-Adsorptions-Prozessen	161
5.3.1 Temperaturwechsel-Desorption	162
5.3.2 Verdrängungs-Desorption	164
5.3.3 Reaktivierung	173
5.4 Zusammenfassung „Technische Desorptionsverfahren“	175
Literatur zu Kapitel 5.....	175
 6 Industrielle Gasphasen-Adsorptions-Prozesse	 183
6.1 Technische Problemstellung	183
6.1.1 Vorbehandlung der Gasströme.....	183
6.1.2 Industrielle Anwendungsfelder	184
6.1.3 Industrielle Randbedingungen.....	184
6.2 Bauformen der Adsorber	188
6.2.1 Festbett-Adsorber	188
6.2.2 Rotor-Systeme.....	213
6.2.3 Wander-/Wirbelbett-Adsorber	223
6.2.4 Flugstromverfahren	232
6.2.5 SMB-Adsorber (Simulierte Gegenstromführung)	235
6.3 Auslegung von Gasphasenadsorbern	235
6.3.1 Short-Cut-Methode 1: Massenbilanz (Adsorption)	236
6.3.2 Short-Cut-Methode 2: Energiebilanz (Heißgasdesorption)	237
6.3.3 Erfahrungswerte für die industrielle Adsorber-Auslegung	239
6.4 Zusammenfassung „Industrielle Gasphasen-Adsorption“	241
Literatur zu Kapitel 6.....	242

7 Industrielle Flüssigphasen-Adsorptions-Prozesse	249
7.1 Technische Problemstellung bei der Flüssigphasen-Adsorption	249
7.1.1 Vorbehandlung der Flüssigkeitsströme	249
7.1.2 Industrielle Anwendungsfelder	250
7.1.3 Industrielle Randbedingungen	251
7.2 Bauformen der Adsorber	256
7.2.1 Festbett-Adsorber	256
7.2.2 Rührkessel-Adsorber	286
7.2.3 Pulverkohledosierung	287
7.2.4 Bewegte Adsorberbetten	291
7.2.5 Wirbelschicht- und Schwebebettadsorber	294
7.2.6 Karusselladsorber	298
7.2.7 Simulierte bewegte Adsorberbetten (SMB)	302
7.3 Auslegung von Flüssigphasenadsorbern	307
7.3.1 Short Cut Methode I	309
7.3.2 Short Cut Methode II	311
7.3.3 Erfahrungswerte für die industrielle Adsorber-Auslegung	313
7.4 Zusammenfassung „Industrielle Flüssigphasen-Adsorption“	314
Literatur zu Kapitel 7	315
 8 Anhang	 323
8.1 Liste der verwendeten Symbole	323
8.1.1 Formelzeichen	323
8.1.2 Griechische Symbole	328
8.2 Indices	330
8.3 Dimensionslose Kennzahlen	331
8.4 Abkürzungen	332
 Sachverzeichnis	 335