

INSTITUT FÜR WASSERVERSORGUNG,
ABWASSERBESEITIGUNG UND RAUMPLANUNG
6100 DARMSTADT, PETERSENSTRASSE 13

W. A. R. – Bibliothek
Inv.-Nr. D 8907

Hartmut von Kienle / Erich Bäder

03.4 KIE

Aktivkohle und ihre industrielle Anwendung

97 Abbildungen, 33 Tabellen

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1980

Inhalt

Vorwort	III
1. Historisches (Hartmut von Kienle)	1
2. Struktur und chemische Eigenschaften (Hartmut von Kienle)	3
2.1. <i>Kristallographische Zuordnung: Porosität</i>	3
2.2. <i>Chemische Eigenschaften: Oberflächenoxide</i>	8
2.2.1. Elementaranalyse von Aktivkohlen	8
2.2.2. Chemische Konstitution der Oberflächenoxide	9
2.2.3. Eigenschaften von Oberflächenoxiden	11
2.2.4. Schwefelhaltige Oberflächenverbindungen	12
3. Adsorption (Hartmut von Kienle)	13
3.1. <i>Nomenklatur</i>	13
3.2. <i>Physikalische Adsorption – Chemisorption</i>	13
3.3. <i>Theoretische Grundlagen; Potentialtheorie</i>	14
3.4. <i>Kapillarkondensation</i>	18
3.5. <i>Adsorptionsisothermen</i>	20
3.5.1. Allgemeines	20
3.5.2. Freundlich'sche Isotherme	22
3.5.3. Langmuir'sche Isotherme	23
3.5.4. BET-Isotherme	24
3.6. <i>Stofftransport bei Adsorptionsvorgängen; Diffusion</i>	25
3.7. <i>Adsorptionsverlauf in durchströmten Aktivkohleschichten</i>	26
4. Herstellung (Erich Bäder)	31
4.1. <i>Allgemeines</i>	31
4.2. <i>Rohstoffe</i>	32
4.2.1. Holz/Holzkohle	33
4.2.2. Torf/Torfkoks	34
4.2.3. Nußschalen/Fruchtkerne/Holzabfälle	34
4.3.4. Steinkohle	35
4.2.5. Braunkohle	36
4.2.6. Erdölprodukte/Asphalt/Ruß	37
4.2.7. Kunststoffe/Gummi	37
4.2.8. Sonstige	38
4.3. <i>Chemische Aktivierung</i>	38
4.4. <i>Gasaktivierung</i>	40
4.4.1. Allgemeines	40
4.4.2. Theorie	41
4.4.3. Einflußgrößen für Porenverteilung und Aktivierungsgeschwindigkeit	43

VI Inhalt

4.4.4.	Katalyse	44
4.4.5.	Oberflächenoxide	44
4.5.	<i>Aktivierungsöfen</i>	45
4.5.1.	Allgemeines	45
4.5.2.	Drehrohröfen	45
4.5.3.	Schachtofen	46
4.5.4.	Etagenöfen	47
4.5.5.	Fließbettreaktoren	47
4.5.6.	Sonstige	48
4.6.	<i>Nachbehandlung</i>	48
4.7.	<i>Imprägnierung</i>	49
4.8.	<i>Korn- und Formkohlen</i>	49
4.9.	<i>Molekularsiebe</i>	51
5.	Methoden zur Charakterisierung von Aktivkohlen (Hartmut von Kienle)	52
5.1.	<i>Probenahme; Probenvorbereitung</i>	52
5.2.	<i>Mechanisch-Technische Untersuchungen</i>	52
5.2.1.	Bestimmung der Teilchengröße	52
5.2.1.1.	Kornkohle	52
5.2.1.2.	Formkohle	53
5.2.1.3.	Pulverkohle	54
5.2.2.	Bestimmung der Dichte	54
5.2.2.1.	Füllichte	54
5.2.2.2.	Schüttdichte	54
5.2.2.3.	Rütteldichte	55
5.2.2.4.	Scheinbare Dichte	56
5.2.2.5.	Wahre Dichte	56
5.2.3.	Bestimmung der Härte	57
5.2.3.1.	Stoßhärte	57
5.2.3.2.	Abriebhärte	58
5.2.4.	Bestimmung des Strömungswiderstandes	59
5.2.5.	Sonstige Prüfmethode n	60
5.2.5.1.	Rückspülverhalten von Wasserreinigungskohlen	60
5.2.5.2.	Zwischenkornvolumen	61
5.3.	<i>Chemisch analytische Untersuchungen</i>	61
5.3.1.	Wassergehalt	61
5.3.1.1.	Trockenschrank-Verfahren	61
5.3.1.2.	Xylo l-Verfahren	62
5.3.1.3.	Methode nach Karl-Fischer (DIN 51 777)	63
5.3.2.	Aschegehalt	63
5.3.3.	Flüchtige Bestandteile	63
5.3.4.	pH-Wert	63
5.3.5.	Lösliche Bestandteile	64
5.3.6.	Bestimmung von Kationen und Anionen	64
5.3.6.1.	Herstellung von Prüflösungen	64
5.3.6.2.	Bestimmung von Kationen	64
5.3.6.3.	Bestimmung von Anionen	65

5.4.	<i>Adsorptionsprüfungen</i>	66
5.4.1.	Adsorptionsisothermen für Gase und Dämpfe	66
5.4.1.1.	Ermittlung der spezifischen Oberfläche	66
5.4.1.2.	Ermittlung der Porenverteilung	68
5.4.1.3.	Benzolisotherme	71
5.4.2.	Adsorptionsprüfungen in Flüssigkeiten	73
5.4.2.1.	Melassezahl	74
5.4.2.2.	Methylenblauadsorption	74
5.4.2.3.	Phenoladsorption	75
5.4.2.4.	Alkylbenzolsulfonat-Adsorption	76
5.4.2.5.	Jodadsorption	76
5.5.	<i>Verschiedene Prüfmethode</i>	77
5.5.1.	Quecksilberporosimetrie	77
5.5.2.	Chlorhalbwertslänge nach DIN 19603	77
5.5.3.	Phenolhalbwertslänge	79
5.5.4.	Tetrachlorkohlenstoff-Beladung	79
6.	Luft- und Gasreinigung (Hartmut von Kienle)	80
6.1.	<i>Allgemeines; apparative Ausführungsformen</i>	80
6.1.1.	Luftfilter ohne Regenerationsmöglichkeit	80
6.1.2.	Luftfilter mit Regeneration der Kohlefüllung	80
6.1.3.	Luft- und Gasfilter mit externer Reaktivierung	82
6.2.	<i>Rückgewinnung von Lösungsmitteln</i>	83
6.2.1.	Allgemeines	83
6.2.2.	Bauart und Auslegung von Adsorbern	84
6.2.3.	Betriebsweise von Anlagen zur Lösungsmittelrückgewinnung	88
6.2.4.	Verschiedene Verfahrensvarianten	89
6.2.5.	Auswahl der geeigneten Aktivkohletype	93
6.3.	<i>Adsorption von Benzindämpfen bei Kraftfahrzeugen</i>	93
6.4.	<i>Adsorption von Geruchs- und Schadstoffen aus Zu- und Abluft</i>	95
6.4.1.	Allgemeines	95
6.4.2.	Reinigung von Zuluft für Räume oder Gebäude	96
6.4.3.	Rückhaltevermögen von Luftreinigungskohlen	97
6.4.4.	Imprägnierte Luftreinigungskohlen	97
6.4.5.	Standzeit von Luftreinigungskohlen	97
6.4.6.	Abluftreinigung	98
6.4.7.	Abscheidung von Stickoxiden (NO_x)	99
6.5.	<i>Gasentschwefelung</i>	102
6.5.1.	Allgemeines	102
6.5.2.	SO_2 -Abscheidung; Rauchgasentschwefelung	102
6.5.2.1.	Westvaco-Verfahren	103
6.5.2.2.	Hitachi-Verfahren	104
6.5.2.3.	Sumitomo-Verfahren	104
6.5.2.4.	BF-Verfahren	104
6.5.2.5.	Sulfacid-Verfahren	104
6.5.3.	Reinigung von Viskoseabluft	104
6.5.3.1.	Sulfosorbon-Verfahren	105
6.5.3.2.	Thiocarb-Verfahren	107

VIII Inhalt

6.5.4.	Claus-Ofen-Abgase; Sulfreen-Verfahren	107
6.5.5.	Desorex-Verfahren	108
6.6.	<i>Abscheidung radioaktiver Gase und Dämpfe</i>	108
6.6.1.	Jodverbindungen	108
6.6.2.	Edelgase	110
6.7.	<i>Gasschutz</i>	111
6.7.1.	Allgemeines	111
6.7.2.	Schadstoffe	111
6.7.3.	Imprägnierung von Gasschutzkohlen	114
6.7.4.	Prüfverfahren für imprägnierte Gasschutzkohlen	114
6.7.5.	Imprägnierte Aktivkohlen für industrielle Verwendung	115
6.8.	<i>Verschiedene Anwendungsgebiete</i>	115
6.8.1.	Reinigung von Druckluft	115
6.8.2.	Reinigung von Kohlensäure	116
7.	Gastrennung (Hartmut von Kienle)	117
7.1.	<i>Historisches</i>	117
7.2.	<i>Trennung zweier Permanentgase</i>	118
7.3.	<i>Trennung von Sauerstoff und Stickstoff nach dem BF-Verfahren</i>	121
7.4.	<i>Abtrennung von Kohlendioxid aus der Lagerluft von Obstlagern</i>	122
8	Entfärbung und Reinigung von Flüssigkeiten und Lösungen (Hartmut von Kienle)	125
8.1.	<i>Allgemeines</i>	125
8.1.1.	Handhabung und Anwendungsform von Pulverkohle	125
8.1.2.	Verfahren zur Pulverkohle-Anwendung	126
8.1.3.	Vorversuche; Auswahl von Menge und Type einer Pulverkohle	128
8.1.4.	Kornkohle-Verfahren	129
8.2.	<i>Entfärbung von Zuckerlösungen</i>	131
8.2.1.	Saccharose	131
8.2.2.	Andere Zuckerarten	133
8.3.	<i>Behandlung von Speiseölen und Fetten</i>	134
8.4.	<i>Entfärbung und Reinigung von Chemikalien und pharmazeutischen Wirkstoffen</i>	135
8.4.1.	Anorganische Chemikalien	135
8.4.2.	Organische Verbindungen aus Naturstoffen	136
8.4.3.	Organische Chemikalien aus biologischen Herstellverfahren	137
8.4.4.	Organische Chemikalien aus Synthesen	137
8.5.	<i>Behandlung von Wein, Bier und Fruchtsäften</i>	138
8.5.1.	Wein	138
8.5.2.	Bier	138
8.5.3.	Fruchtsäfte	139
8.6.	<i>Behandlung von Alkohol und Spirituosen</i>	139
8.6.1.	Alkohol	139
8.6.2.	Spirituosen	140

8.7.	<i>Chemischreinigung</i>	140
8.8.	<i>Verwendung von Aktivkohle in der Galvanotechnik</i>	142
9.	Wasserreinigung (Hartmut von Kienle)	143
9.1.	<i>Trinkwasseraufbereitung</i>	143
9.1.1.	Historisches	143
9.1.2.	Beginn der technischen Trinkwasseraufbereitung	143
9.1.3.	Adsorptionsaufgaben in der modernen Trinkwasseraufbereitung	145
9.1.4.	Moderne Trinkwasseraufbereitungsanlagen	147
9.1.4.1.	Das Düsseldorf Verfahren	147
9.1.4.2.	Seewasseraufbereitung am Zürichsee	149
9.1.4.3.	Trinkwasseraufbereitung mit biologisch wirksamen Aktivkohle- Filtern; Mühlheimer Verfahren	149
9.1.4.4.	„Pulverkohle-Einlagerungsfiltration“; Versuche im Wasserwerk Wiesbaden	150
9.2.	<i>Abwasserbehandlung</i>	151
9.2.1.	Historischer Rückblick	151
9.2.2.	Industrieabwässer	152
9.2.2.1.	Industrieabwasserreinigung mit thermischer Reaktivierung	153
9.2.2.2.	Industrieabwasserreinigung mit chemischer Regeneration	153
9.2.3.	Kommunalabwasser	156
9.2.3.1.	Nachbehandlung nach biologischer Reinigung	156
9.2.3.2.	Anwendung von Aktivkohle ohne biologische Vorreinigung	157
9.2.3.3.	Kombination von Adsorption und biologischem Abbau	157
9.3.	<i>Aufbereitung von Schwimmbadwasser</i>	159
9.4.	<i>Entölung von Kondensaten</i>	160
9.5.	<i>Verschiedene Wasserfilter</i>	160
10.	Reaktivierung (Erich Bäder)	162
10.1.	<i>Begriffsbestimmung</i>	162
10.2.	<i>Allgemeines</i>	162
10.2.1.	Theorie	162
10.2.2.	Reaktivierbedingungen, Test- und Meßmethoden	163
10.3.	<i>Reaktivierverfahren</i>	166
10.3.1.	Allgemeines	166
10.3.2.	Reaktivierungsöfen	167
10.3.2.1.	Drehrohröfen	167
10.3.2.2.	Etagenöfen	169
10.3.2.3.	Fließbettöfen	170
10.3.3.	Pulverkohlereaktivierung	172
10.3.4.	Sonstige thermische Reaktivierverfahren	173
10.3.5.	Nicht-thermisch arbeitende Reaktivierverfahren	176
10.3.5.1.	Extraktion	176
10.3.5.2.	Chemische Reaktivierung	177
10.4.	<i>Wirtschaftliche Faktoren</i>	179

11.	Aktivkohle als Katalysator und Katalysatorträger (Hartmut von Kienle (Hartmut von Kienle))	182
11.1.	<i>Ursachen der katalytischen Wirksamkeit</i>	182
11.2.	<i>Oxidationsvorgänge</i>	182
11.2.1.	Schwefeldioxid-Oxidation	182
11.2.2.	Oxorbon-Verfahren ($\text{Fe}^{++}/\text{Fe}^{+++}$)	182
11.2.3.	Hydrazin-Beseitigung	183
11.2.4.	Oxidation von Schwefelwasserstoff	183
11.3.	<i>Aktivkohle-katalysierte Umsetzungen mit Halogenen</i>	183
11.3.1.	Synthese von Phosgen	183
11.3.2.	Synthese von Sulfurylchlorid	184
11.4.	<i>Aktivkohle-katalysierte Hydrolysen.</i>	184
11.4.1.	Katalytische Entchlorung	184
11.4.2.	Hydrolyse von Estern	186
11.4.3.	Andere hydrolytische Spaltungen	186
11.5.	<i>Isomerisierung; Cyclisierung</i>	187
11.6.	<i>Verschiedene katalytische Wirkungen</i>	187
11.6.1.	Sauerstoff-Depolarisation	187
11.6.2.	Wasserstoffperoxid-Zersetzung	188
11.6.3.	Ozon-Zersetzung	188
11.7.	<i>Aktivkohle als Katalysatorträger</i>	189
12.	Diverse Anwendungsgebiete für Aktivkohle (Hartmut von Kienle)	190
12.1.	<i>Verwendung in der Humanmedizin</i>	190
12.1.1.	Medizinalkohle für Magen-Darm-Erkrankungen	190
12.1.2.	Hämoperfusion (Hämofiltration)	191
12.1.3.	Hämodialyse unter Verwendung von Aktivkohle	192
12.2.	<i>Anreicherung von Metallverbindungen</i>	193
12.2.1.	Gold	193
12.2.2.	Andere Metalle	195
12.3.	<i>Zigaretten- und Pfeifenfilter</i>	196
12.4.	<i>Reifenindustrie</i>	198
12.5.	<i>Hochvakuumtechnik</i>	198
12.6.	<i>Temperaturtechnik</i>	199
12.6.1.	Adsorptions-Temperaturregler	199
12.6.2.	Tieftemperatur	199
12.7.	<i>Oligodynamische Wirkung von gesilberter Aktivkohle</i>	200
Literatur		201
Sachverzeichnis		208