

*eins*  
H.-G. Franck *ehand* *ndre* A. Knop

# Kohleveredlung

## Chemie und Technologie

Mit 204 Abbildungen und 94 Tabellen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York 1979

# Inhaltsverzeichnis

1.	Kohlenstoffquellen	1
1.1	Kohlenstoff in der Natur	1
1.2	Fossile Rohstoffe, Entstehung und Zusammensetzung	2
1.2.1	Erdöl	2
1.2.1.1	Chemische Zusammensetzung von Erdölen	3
1.2.1.2	Aufarbeitung des Erdöls	4
1.2.2	Erdgas	10
1.2.2.1	Chemische Zusammensetzung der Erdgase	11
1.2.2.2	Aufarbeitung der Erdgase	12
1.2.3	Kohlen	13
1.2.3.1	Inkohlung und Kohlenpetrographie	13
1.2.3.2	Chemische Zusammensetzung der Kohlen	15
1.2.3.2.1	Struktur der Braunkohle	16
1.2.3.2.2	Struktur der Steinkohle	16
1.2.3.2.3	Besonderheiten der Koks-kohlen	19
1.2.3.3	Löslichkeit und Molekulargewicht der Kohlen	20
1.2.3.4	Kohlenasche und ihre Zusammensetzung	21
1.2.3.5	Steinkohlenlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland	23
1.2.3.6	Braunkohlenlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland	28
1.2.3.7	Klassifizierung der Kohlen	31
1.3	Verfügbarkeit und Verwendung fossiler Rohstoffe	33
1.4	Kosten fossiler Rohstoffe	42
1.5	Biomasse als Kohlenstoffquelle	43
2.	Kohlenstoffbedarf der chemischen Industrie	46
2.1	Kohlenstoffbedarf der organisch-chemischen Industrie	46
2.2	Organische Industriechemikalien	47
2.2.1	Olefine	47
2.2.1.1	Äthylen und Propylen	47
2.2.1.2	Butene und Butadien	52
2.2.2	Aromaten	54
2.2.2.1	BTX-Aromaten	54
2.2.2.2	Kondensierte Aromaten	57
2.2.3	Methanol	58
2.2.3.1	Wirtschaftliches und Verwendung in der Chemie	58
2.2.3.2	Methanol als Kraftstoff	59
2.2.3.3	Methanol als Rohstoff zur Proteingewinnung	60
2.2.4	Technischer Kohlenstoff	61
2.2.5	Koks	63

3.	Schwelung und Verkokung der Kohle	65
3.1	Geschichte der Kokereitechnik und Eisenverhüttung	65
3.2	Einleitung und Grundlagen	66
3.3	Schwelung und Verkokung von Braunkohlen	67
3.3.1	Produkte	68
3.3.1.1	Schwelgas	68
3.3.1.2	Teer und Schwelwasser	69
3.3.1.3	Koks	70
3.3.2	Wirtschaftliche Bedeutung der Braunkohleveredlung	70
3.3.3	Verfahren zur Schwelung und Verkokung von Braunkohle	72
3.3.3.1	Feinkokserzeugung	72
3.3.3.2	Formkokserzeugung	75
3.4	Schwelung und Verkokung von Steinkohle	76
3.4.1	Vorgänge bei der Verkokung im Horizontalkammerofen	77
3.4.2	Verfahren zur Verkokung von Steinkohle	79
3.4.2.1	Verkokung im Horizontalkammerofen	81
3.4.2.2	Koksofen-Bedienungsmaschinen	84
3.4.2.3	Entwicklungstendenzen in der Kokereitechnik	86
3.4.3	Gasbehandlung und Kohlenwertstoff-Gewinnung	89
3.4.4	Aufbereitung der wäßrigen Kondensate	92
3.4.5	Koks-Technologien zur Erweiterung der Kohlebasis	93
3.4.5.1	Stampfbetrieb	93
3.4.5.2	Vorerhitzung der Kohle	94
3.4.5.3	Formkokserzeugung	94
3.4.6	Koks im Hochofenprozeß	98
3.4.6.1	Eigenschaften und Anforderungen	99
3.4.6.2	Zukünftige Entwicklung des Stahlverbrauchs und der Kokserzeugung	100
3.4.7	Eisengewinnung durch Direktreduktion	101
4.	Steinkohlenteer	104
4.1	Geschichte	104
4.2	Wirtschaftliche Bedeutung des Steinkohlenteers	106
4.3	Zusammensetzung des Steinkohlenteers	108
4.4	Technologie der Teeraufbereitung	111
4.4.1	Primärdestillation des Steinkohlenteers	111
4.4.2	Aufarbeitung der Teerfraktionen	114
4.4.3	Aufarbeitung des Steinkohlenteerpechs	118
4.5	Produkte aus Steinkohlenteer	121
4.5.1	Aromaten, Heterocyclen, Phenole und Harze	121
4.5.2	Steinkohlenteeröle	124
4.5.3	Steinkohlenteerpeche	125
4.5.3.1	Elektrodenpech für Kohlenstoff- und Graphit-elektroden	126
4.5.3.2	Pech als Straßenbaubindemittel	130
4.5.3.3	Pech zur Verbesserung von Kokskohle	130

5.	Kohlevergasung	131
5.1	Geschichte	131
5.2	Gasarten - Übersichten über Erzeugung und Beschaffenheit	132
5.2.1	Wassergas und Schwachgas	132
5.2.2	Synthesegas und Reduktionsgas	133
5.2.3	Stadtgas und synthetisches Erdgas	136
5.3	Gas-Feststoff-Hochtemperaturreaktionen	137
5.3.1	Reaktionsverhalten und Reaktionszeit	138
5.3.2	Reaktortypen	140
5.4	Thermodynamik und Kinetik der Kohlevergasung	143
5.4.1	Vergasung der Kohle mit Sauerstoff und Wasserdampf; (Synthesegaserzeugung)	144
5.4.2	Methanisierung	148
5.4.2.1	Methanisierung von Kohlenmonoxid	148
5.4.2.2	Direkte Methanisierung von Kohle	148
5.5	Technologie der Kohlevergasung	150
5.5.1	Betriebsbedingungen der Kohlevergasung	152
5.5.1.1	Temperatur und Reaktivität	152
5.5.1.2	Wasserdampf/Sauerstoff-Verhältnis	154
5.5.1.3	Druck	154
5.5.2	Wirtschaftlichkeit	154
5.5.3	Lurgi-Druckvergasungsverfahren	158
5.5.4	Winkler-Verfahren	161
5.5.5	Koppers-Totzek-Verfahren	165
5.5.6	Texaco-Verfahren	168
5.5.7	Saarberg-Otto-Verfahren	169
5.5.8	Mehrstufige Vergasung	171
5.5.8.1	Hygas-Verfahren	172
5.5.8.2	Synthane-Verfahren	174
5.5.8.3	Hydrane-Verfahren	174
5.5.8.4	Bi-Gas-Verfahren	176
5.5.8.5	CO <sub>2</sub> -Akzeptor-Prozeß	177
5.5.9	Kohlevergasung mit nuklearer Prozeßwärme	178
5.5.10	Untertagevergasung von Kohle	182
6.	Aufbereitung und Verwendung von Synthesegas	187
6.1	CO-Konvertierung	188
6.2	Abtrennung von CO <sub>2</sub> und H <sub>2</sub> S	191
6.2.1	Physikalische Absorptions-Verfahren	192
6.2.2	Chemische Absorptions-Verfahren	194
6.3	Feinreinigung	195
6.3.1	Adsorptionsverfahren	195
6.3.2	Tiefemperatur-Verfahren	195
6.3.3	Methanisierung	195
6.4	Kohlenmonoxid	196
6.4.1	Verwendung	196
6.4.2	Gewinnung	196
6.5	Kohlendioxid	198
6.6	Schwefel	198
6.7	Wasserstoff	200
6.7.1	Wasserstofferzeugung durch Kohlevergasung	201
6.7.2	Herstellung und Verwendung von Ammoniak	203

6.7.3	Wasserstoff aus nicht-fossilen Quellen	205
6.8	Methanol	207
6.8.1	Synthesegasaufbereitung und Methanol-Synthese	208
6.9	Fischer-Tropsch-Synthese	210
6.9.1	Reaktionsverlauf	211
6.9.2	Katalysatoren	213
6.9.3	Technische Durchführung der Fischer-Tropsch-Synthese	214
6.9.3.1	Synthesegas-Aufbereitung	215
6.9.3.2	Festbett-Synthese	216
6.9.3.3	Flugstrom-Synthese	217
6.9.3.4	Flüssigphase-Verfahren	218
6.9.4	Sasol II	218
6.9.5	Entwicklungsrichtlinien der Fischer-Tropsch-Synthese	219
6.10	Oxosynthese	220
6.11	Homologisierung	222
6.12	Reduktionsgas	223
6.13	Heizgase	224
7.	Kohleverflüssigung	228
7.1	Einführung und Geschichte	228
7.2	Hydrierverfahren der I.G. Farbenindustrie (I.G. Hydrier-Verfahren)	231
7.2.1	Einfluß der Kohleart	231
7.2.2	Katalysatoren	232
7.2.3	Hydrierung in der Sumpffphase	233
7.2.4	Die Hydrierung in der Gasphase	235
7.2.5	Hydrierung von Braunkohlenteeren	236
7.3	Uhde-IG-Verfahren	237
7.4	Pott-Broche-Verfahren	238
7.5	Neuere Projekte zur Kohlehydrierung	239
7.5.1	SRC-Verfahren (Solvent Refined Coal)	242
7.5.2	Exxon-Donor-Solvent-Verfahren (EDS)	243
7.5.3	Consol-Synthetic-Fuel-Verfahren (CSF)	244
7.5.4	H-Coal-Verfahren	244
7.5.5	Synthoil-Verfahren	246
7.5.6	Catalytic-Coal-Liquid-Verfahren (CCL)	246
7.6	Kohleextraktion mit überkritischen Gasen	247
7.7	Kohleverflüssigung durch Pyrolyse	247
7.7.1	COED-Verfahren (Char-Oil-Energy-Development)	249
7.7.2	Toscoal-Verfahren	250
8.	Alternativen zukünftiger Kraftstoffversorgung	252
8.1	Einleitung	252
8.2	Kraftstoffbedarf in der Bundesrepublik Deutschland	253
8.3	Zusammensetzung und Eigenschaften von Kraftstoffen	255
8.3.1	Vergaserkraftstoffe	255
8.3.2	Dieselmotorkraftstoffe	256
8.3.3	Flugturbinenkraftstoffe	257
8.4	Umwandlungswirkungsgrad und Energieinhalt von Kraftstoffen	258

8.5	Kraftstoffe aus Kohle	261
8.5.1	Benzin, Dieselkraftstoff und Kerosin	263
8.5.2	Methanol	265
8.5.2.1	Methanol als Kraftstoff	266
8.5.2.2	Methanol/Benzin-Mischungen	267
8.5.3	Wasserstoff	268
9.	Kohlefeuerung	272
9.1	Grundlagen der Verbrennung fester Brennstoffe	272
9.1.1	Zündtemperatur	272
9.1.2	Maximale Flammentemperatur	273
9.1.3	Luftbedarf und Rauchgasmenge	274
9.2	Feuerungen für feste Brennstoffe	275
9.3	Rostfeuerung	276
9.4	Kohlenstaubfeuerung	277
9.4.1	Feuerungsanlagen für Steinkohle	280
9.4.1.1	Anlagen mit trockenem Ascheabzug	280
9.4.1.2	Schmelzfeuerung	283
9.4.2	Feuerungsanlagen für Braunkohle	283
9.5	Wirbelschichtfeuerung	288
9.5.1	Atmosphärische Anlagen	292
9.5.2	Druckanlagen	293
9.5.3	Aussichten	295
9.6	Neue Kohle-Kraftwerkskonzepte	295
9.6.1	Wärme-Kraft-Kopplung; Heizkraftwerke	297
9.7	Umweltbelastung durch fossile Energierohstoffe	299
9.8	Entstaubung	301
9.9	Emission von SO <sub>2</sub>	303
9.9.1	Rauchgasentschwefelung	303
9.9.2	Entschwefelung der Kohle	308
9.9.2.1	Physikalische Entschwefelung	308
9.9.2.2	Chemische Entschwefelung	309
9.10	Emission von NO <sub>x</sub>	310
10	Literaturverzeichnis	313
11	Sachwortverzeichnis	322
12	Anhang	