

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Verbrennungssystem Wirbelschicht	2
2.1	Geschichtlicher Rückblick	2
2.2	Verfahrensbeschreibung	3
2.3	Bauarten	4
2.4	Vor- und Nachteile	9
2.5	Perspektiven	11
3	Modellierung	13
3.1	Modellierung von Reaktoren	13
3.2	Modellierung von Wirbelschichten	15
3.2.1	Phasenmodelle im Wirbelbett	15
3.2.2	Splashzone und Freiraum	17
3.2.3	Dimensionalität der Modellierung	17
3.2.4	Partikeldurchmesserverteilung	18
3.3	Das IEA-Programm	21
4	Fluidynamik der Wirbelschicht	28
4.1	Fluidisierungsverhalten	28
4.2	Klassifizierung der eingesetzten Materialien	32
4.2.1	Partikelklassen nach Geldart	32
4.2.2	Definitionen der Partikelklassen	33
4.3	Phasenmodelle	40
4.3.1	Blasenphase	43
4.3.2	Suspensionsphase	45
4.4	Örtliche Verteilung der Partikel	46
4.4.1	Dispersion der Kohle im Wirbelbett	46
4.4.2	Segregation	49
4.5	Berechnungsgleichungen	56
4.5.1	Minimale Fluidisierungsgeschwindigkeit u_{mf}	56
4.5.2	Minimale Geschwindigkeit für die Blasenbildung	62
4.5.3	Minimales Hohlraumvolumen	63
4.5.4	Hohlraumvolumen in der Suspensionsphase	66
4.5.5	Bettausdehnung	68
4.5.6	Volumenstrom in der Suspensionsphase	69
4.5.7	Volumenstrom in der Blasenphase	71
4.5.8	Geschwindigkeit in der Blase und Kurzschlußgeschwindigkeit	73
4.5.9	Blasengröße	73
4.5.10	Blasengeschwindigkeit	80
4.5.11	Einbauten	82
4.5.12	Austauschfaktoren Blase - Suspension	84
4.5.13	Übergang zum Stoßen	88
4.5.14	Eindringtiefe von Luftstrahlen	89
4.5.15	Startdurchmesser der Blase	91
4.5.16	Austragsgeschwindigkeit	91
4.5.17	Strömungsbereiche	93

4.5.18	Dispersionskoeffizienten	95
4.5.19	Umlaufzeit des Grobanteils im Bett	98
4.5.20	Verweilzeit des Feinanteils im Bett	100
4.5.21	Verweilzeit des Grobanteils im Bett	100
4.6	Vergleich Messung und Rechnung	103
5	Kohleverbrennung	105
5.1	Pyrolyse	106
5.1.1	Einflußparameter auf die Pyrolysevorgänge	107
5.1.1.1	Aufheizrate und Partikeldurchmesser	107
5.1.1.2	Gasatmosphäre, Kohleart und Temperatur	111
5.1.1.3	Druck	112
5.1.2	Modellierung der Pyrolysevorgänge und der Flüchtigverbrennung	114
5.1.2.1	Flüchtigenfreisetzung in der Wirbelschicht	114
5.1.2.2	Pyrolysedauer	116
5.1.2.3	Flüchtigenzusammensetzung	118
5.1.2.4	Primäre Fragmentation	119
5.1.2.5	Flüchtigenverbrennung	123
5.2	Koksverbrennung	130
5.2.1	Einleitung	130
5.2.2	Koksabbrandmodell	138
5.2.2.1	Der diffusive Teil des Koksabbrandmodells	140
5.2.2.2	Der kinetische Teil des Koksabbrandmodells	144
5.2.2.3	Die Berechnung der Ausbrandzeit, der Ausbrandrate und der Schrumpfrate eines Kokspartikels beim Oberflächenabbrand	146
5.2.2.4	Die Berechnung der Ausbrandzeit eines Kokspartikels beim volumetrischen Abbrand	150
5.2.2.5	Druckeinfluß	151
5.2.2.6	Ascheeinfluß	152
5.2.2.7	Einfluß des Blähens	155
5.2.3	Partikeltemperatur	160
5.2.4	Kennzahlen	161
5.2.4.1	Sherwood-Zahl	161
5.2.4.2	Nußelt-Zahl	166
5.2.5	Primärprodukte	168
6	Stickstoff in der Kohle	172
6.1	Einleitung	172
6.2	Haupteinflußparameter auf die NO _x -Emission	173
6.3	Weitere Einflußparameter auf die NO _x -Emission	175
6.4	Modellierungsansätze zur Berechnung der NO _x -Emission	178
6.5	Simulationsergebnisse	181
7	Schwefel in der Kohle	183
7.1	Einführung	183
7.2	Mechanismen bei der SO ₂ -Emission	184
7.2.1	Freisetzung der schwefelhaltigen Gaskomponenten	184

7.2.2	Sorbenspartikel	185
7.2.3	SO ₂ -Bindung am Sorbenspartikel	187
7.2.4	Einfluß der Betriebsparameter	189
7.2.4.1	Sauerstoffkonzentration	189
7.2.4.2	Bettemperatur	190
7.2.4.3	Ca/S-Verhältnis	192
7.2.4.4	Druck	193
7.3	Meßdaten	194
7.3.1	Meßdaten vom Heizkraftwerk der RWTH Aachen	194
7.3.2	Meßdaten vom atmosphärischen Wirbelschichtkessel des EBV	197
7.4	Modellierung	198
7.4.1	Das SURE-Modell	199
7.4.2	Abrieb	205
7.4.3	Maximaler Nutzungsgrad α_{\max}	206
7.4.4	Zersetzung von CaSO ₄	207
7.4.4	Modellierung des Sauerstoffeinflusses	210
7.5	Vergleich Rechnung mit Messung	212
8	Massenbilanzen der Wirbelschicht	214
8.1	Massenbilanz des Feinanteils	214
8.2	Populationsbilanzen für den Grobanteil im Wirbelbett	216
8.3	Populationsbilanz des Koks	230
8.4	Durchmesserverteilung der Bettpartikel	233
9	Nomenklatur	234
10	Literatur	236