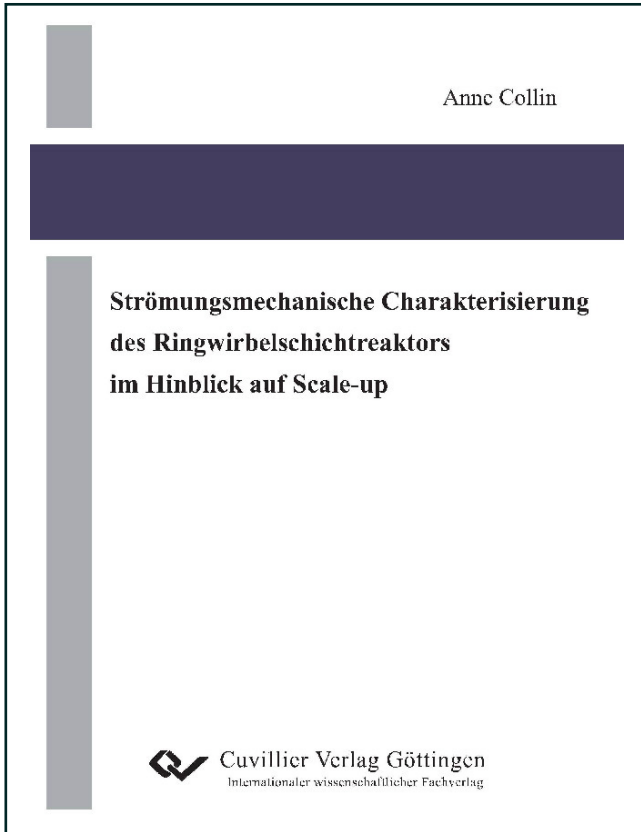




Anne Collin (Autor)

Strömungsmechanische Charakterisierung des Ringwirbelschichtreaktors im Hinblick auf Scale-up



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1206>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Vor- und Nachteile der blasenbildenden und der zirkulierenden Wirbelschichten | 1 |
| 1.2 | Problematik der Herstellung eines Gemisches aus Schwelkoks und Eisenerzen für den Schmelzreduktionsprozess | 2 |
| 1.3 | Prinzip des Ringwirbelschichtreaktors | 3 |
| 1.4 | Auslegungskriterium..... | 4 |
| 1.5 | Weitere Anwendungen..... | 5 |
| 1.6 | Scale-up Problematik..... | 5 |
| | | |
| 2 | Stand des Wissens | 7 |
| 2.1 | Vertikal-aufwärts gerichtete Gas-Feststoff-Strömungen | 7 |
| 2.2 | Einordnung der Strömungszustände im Diagramm nach Reh..... | 11 |
| 2.3 | Modell der entmischten Gas-Feststoff-Strömung nach Wirth..... | 13 |
| 2.4 | Scale-up konventioneller Wirbelschichten | 17 |
| | | |
| 3 | Aufgabenstellung | 21 |
| | | |
| 4 | Versuchsaufbau und Versuchsbedingungen..... | 23 |
| 4.1 | Versuchsanlagen..... | 23 |
| 4.1.1 | Anlagengeometrien | 23 |
| 4.1.1.1 | Vollkreislaboranlage..... | 23 |
| 4.1.1.2 | Halbkreislaboranlage | 28 |
| 4.1.1.3 | Pilotanlage | 28 |
| 4.1.2 | Instrumentierung der Anlagen | 34 |
| 4.1.2.1 | Datenerfassung | 34 |
| 4.1.2.2 | Bestimmung der Leerrohrgasgeschwindigkeiten | 34 |
| 4.1.2.3 | Bestimmung der externen Querschnittsbelastung | 35 |
| 4.1.2.4 | Messung axialer Druckprofile | 36 |
| 4.1.2.5 | Messung der Frequenz der Druckschwankungen..... | 36 |
| 4.2 | Versuchsgüter | 37 |
| 4.3 | Versuchsparameter | 39 |
| 4.3.1 | Betriebsparameter | 39 |
| 4.3.2 | Geometrische Parameter | 40 |
| 4.3.3 | Parameter bei der kapazitiven Sondenmessung..... | 41 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.4 | Vorversuche | 41 |
| 4.4.1 | Druckverlust in der Wirbelmischkammer | 41 |
| 4.4.2 | Düsendurchfall..... | 45 |
| 4.4.2.1 | Einfluss der Fluidisierung im Ring und des Druckverlustes in der Wirbelmischkammer | 45 |
| 4.4.2.2 | Einfluss der Länge der Zentraldüse..... | 48 |
| 4.4.2.3 | Einfluss des Versuchsmaterials..... | 51 |
| 4.4.3 | Stoßende Wirbelschicht..... | 52 |
| 4.5 | Betriebsbereiche | 55 |
| | | |
| 5 | Kapazitive Sondenmesstechnik | 59 |
| 5.1 | Grundlagen | 59 |
| 5.1.1 | Theorie..... | 59 |
| 5.1.2 | Praxis | 61 |
| 5.2 | Funktionsweise der kapazitiven Sonde | 62 |
| 5.3 | Aufbau des eingesetzten Messsystems | 63 |
| 5.3.1 | Komponenten des Messsystems | 63 |
| 5.3.2 | Messverstärker..... | 64 |
| 5.3.3 | Aufbau der Sonde | 64 |
| 5.3.4 | Traversierbarkeit..... | 65 |
| 5.4 | Auswertung | 66 |
| 5.4.1 | Bestimmung der axialen Feststoffgeschwindigkeit..... | 66 |
| 5.4.1.1 | Prinzip der Berechnung..... | 66 |
| 5.4.1.2 | Mathematischer Algorithmus..... | 67 |
| 5.4.1.3 | Problematik: der Abschattungseffekt..... | 69 |
| 5.4.1.4 | Auswahlkriterien | 70 |
| 5.4.2 | Bestimmung der Feststoffkonzentration..... | 73 |
| 5.4.2.1 | Kalibrierung | 73 |
| 5.4.2.2 | Zeitgemittelte Feststoffkonzentration und Strähnenkonzentration | 76 |
| 5.4.2.3 | Einflussfaktoren für die Berechnung der Feststoffkonzentration | 78 |
| 5.4.3 | Berechnung der Querschnittsbelastung | 84 |
| 5.4.3.1 | Lokale anzahl- und zeitgemittelte Querschnittsbelastung..... | 84 |
| 5.4.3.2 | Integrale Querschnittsbelastung..... | 85 |
| 5.5 | Validierung der Messtechnik | 86 |
| 5.5.1 | Feststoffkonzentrationsmessung..... | 87 |
| 5.5.1.1 | Überprüfung der Sondenkalibrierung..... | 87 |
| 5.5.1.2 | Vergleich mit der Feststoffkonzentration aus dem Druckprofil..... | 88 |
| 5.5.2 | Querschnittsbelastungsberechnung | 89 |
| 5.5.2.1 | Zustand der blasenbildenden Wirbelschicht | 89 |
| 5.5.2.2 | Zustand der zirkulierenden Wirbelschicht | 90 |
| 5.5.3 | Symmetrie der Strömung..... | 91 |
| 5.6 | Schlussfolgerung zur kapazitiven Sondenmesstechnik | 92 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 6 | Strömungszustand des Ringwirbelschichtreaktors..... | 93 |
| 6.1 | Charakteristischer Strömungszustand..... | 93 |
| 6.1.1 | Globaler Strömungszustand..... | 93 |
| 6.1.2 | Lokaler Strömungszustand..... | 95 |
| 6.1.2.1 | Laboranlage | 95 |
| 6.1.2.2 | Pilotanlage | 99 |
| 6.2 | Druckverlust in der Wirbelmischkammer..... | 101 |
| 6.2.1 | Einfluss der Zentraldüsengeschwindigkeit und der Fluidisierung im Ring..... | 101 |
| 6.2.2 | Einfluss des Feststoffinventars in der Wirbelmischkammer | 103 |
| 6.3 | Einfluss der Betriebsparameter | 104 |
| 6.3.1 | Einfluss des Druckverlustes bzw. des Feststoffinventars in der Wirbelmischkammer..... | 104 |
| 6.3.2 | Einfluss der Zentraldüsengeschwindigkeit | 107 |
| 6.3.2.1 | Bei konstantem Druckverlust in der Wirbelmischkammer (Pilotanlage)... | 107 |
| 6.3.2.2 | Bei konstantem Feststoffinventar in der Wirbelmischkammer (Laboranlage) | 110 |
| 6.3.3 | Einfluss der Fluidisierung im Ring..... | 113 |
| 6.3.3.1 | Laboranlage | 114 |
| 6.3.3.2 | Pilotanlage | 116 |
| 6.3.3.3 | Allgemeine Schlussfolgerung zum Einfluss der Fluidisierung im Ring | 118 |
| 6.3.4 | Schlussfolgerung für die Feststofffeinmischung oberhalb der Zentraldüse in der Laboranlage | 118 |
| 6.3.4.1 | Geringe Gasgeschwindigkeit im Ring..... | 120 |
| 6.3.4.2 | Hohe Gasgeschwindigkeit im Ring..... | 123 |
| 6.3.5 | Einfluss des Versuchsmaterials | 124 |
| 6.3.5.1 | Lokale Strömungsprofile..... | 124 |
| 6.3.5.2 | Direkter Vergleich mit Quarzsand..... | 127 |
| 6.4 | Einfluss der geometrischen Parameter | 129 |
| 6.4.1 | Einfluss des Durchmessers der Zentraldüse | 129 |
| 6.4.1.1 | Laboranlage | 129 |
| 6.4.1.2 | Pilotanlage | 133 |
| 6.4.1.3 | Schlussfolgerungen zum Einfluss des Durchmessers der Zentraldüse..... | 136 |
| 6.4.2 | Einfluss der Länge der Zentraldüse | 136 |
| 6.4.2.1 | Strömungsprofil an der Mündung der Zentraldüse | 137 |
| 6.4.3 | Einfluss der Höhe der Ringwirbelschicht | 139 |
| 6.4.3.1 | Einfluss der Fluidisierung im Ring..... | 141 |
| 6.4.3.2 | Einfluss des Feststoffinventars in der Wirbelmischkammer | 142 |
| 6.4.3.3 | Einfluss der Gasgeschwindigkeit in der Zentraldüse | 142 |
| 6.4.4 | Einfluss der Höhe der Wirbelmischkammer..... | 143 |
| 6.4.5 | Einfluss der Einbauten | 145 |
| 6.4.6 | Schlussfolgerung zum Einfluss der geometrischen Parameter | 146 |
| 6.5 | Vergleich zwischen Labor- und Pilotanlage | 146 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7 | Modellierung | 151 |
| 7.1 | Konvektiver Feststoffeintrag durch die Gasblasen | 151 |
| 7.1.1 | Grundidee des Modells | 151 |
| 7.1.2 | Herleitung | 152 |
| 7.1.2.1 | Gleichverteilung | 152 |
| 7.1.2.2 | Aktiver Blasenanteil aus dem „Kreisring“ | 153 |
| 7.1.2.3 | Feststoffanteil pro Blase | 153 |
| 7.1.2.4 | Normierter Feststoffmassenstrom | 155 |
| 7.1.3 | Validierung | 156 |
| 7.1.4 | Konsequenzen | 158 |
| 7.1.5 | Einfluss der Höhe der Ringwirbelschicht | 159 |
| 7.1.6 | Limitierungen | 161 |
| 7.2 | Partikelbahnberechnung | 161 |
| 7.2.1 | Grundidee des Modells | 161 |
| 7.2.2 | Herleitung | 163 |
| 7.2.2.1 | Bewegungsgleichungen | 163 |
| 7.2.2.2 | Methode zur Lösung der Bewegungsgleichungen | 164 |
| 7.2.2.3 | Modell für die Gasgeschwindigkeit | 167 |
| 7.2.3 | Einfluss der Anpassungsparameter des Modells | 175 |
| 7.2.3.1 | Feststoffeindringwinkel θ_s | 175 |
| 7.2.3.2 | Halber Öffnungswinkel des Kegels α_{Kegel} | 177 |
| 7.2.3.3 | Anpassung an die experimentellen Ergebnisse | 178 |
| 7.2.3.4 | Validierung des Modells | 180 |
| 7.2.4 | Einfluss ausgesuchter Versuchsparameter | 181 |
| 7.2.4.1 | Einfluss der Zentraldüsengeschwindigkeit | 181 |
| 7.2.4.2 | Einfluss der Fluidisierung im Ring | 182 |
| 7.2.4.3 | Einfluss des Durchmessers der Zentraldüse | 183 |
| 7.2.4.4 | Einfluss des Durchmessers der Anlage | 184 |
| 7.2.5 | Konsequenzen | 185 |
| 7.2.5.1 | Clusterbildung | 185 |
| 7.2.5.2 | Regelung der Einmischung | 187 |
| 7.2.6 | Limitierungen | 188 |
| 7.3 | Schlussfolgerung aus den beiden Modellen | 188 |
| | | |
| 8 | Scale-up von Ringwirbelschichtreaktoren | 189 |
| 8.1 | Auslegung eines industriell einsetzbaren Ringwirbelschichtreaktors | 189 |
| 8.1.1 | Prozessbedingungen und Vorgehensweise bei der Auslegung | 189 |
| 8.1.2 | Konsequenzen aus der Modellierung | 191 |
| 8.1.2.1 | Ausgangsgeometrie für die Dimensionierung | 191 |
| 8.1.2.2 | Abschätzung des konvektiven Feststoffmassenstroms | 193 |
| 8.1.2.3 | Partikelbahn des Feststoffs | 195 |
| 8.1.3 | Zusätzliche Herausforderung bei breiter Korngrößenverteilung | 197 |
| 8.1.4 | Scale-up Kriterien | 198 |
| 8.2 | Betriebserfahrung einer industriellen Hismelt-Anlage | 198 |
| 8.2.1 | Prinzip der Anlage | 198 |
| 8.2.2 | Beschreibung der Anlage | 200 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.2.3 | Betriebsdaten und Vorteile des Ringwirbelschichtreaktors..... | 201 |
| 8.3 | Vorteile gegenüber klassischen Reaktorkonzepten..... | 202 |
| 8.3.1 | Vergleich mit der blasenbildenden Wirbelschicht..... | 202 |
| 8.3.2 | Vergleich mit der zirkulierenden Wirbelschicht..... | 203 |
| 8.4 | Ausblick..... | 204 |
| | | |
| 9 | Zusammenfassung | 207 |
| | | |
| 10 | Symbolverzeichnis | 211 |
| | | |
| 11 | Literaturverzeichnis | 219 |
| | | |
| 12 | Summary | 225 |