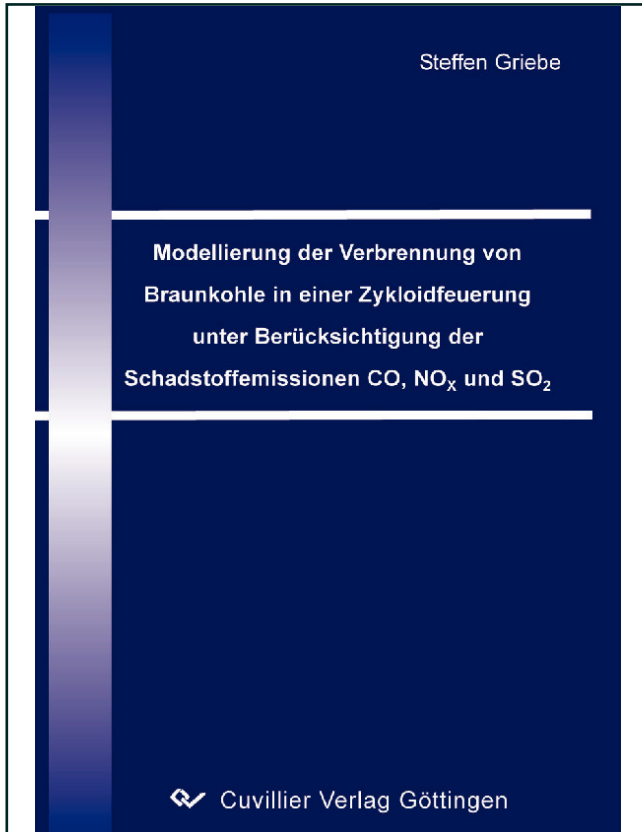




Steffen Griebe (Autor)

**Modellierung der Verbrennung von Braunkohle in einer  
Zykloidfeuerung unter Berücksichtigung der  
Schadstoffemissionen CO, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub>**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1551>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

---

# Inhalt

<b>Nomenklatur</b>	<b>IV</b>
<b>1 Motivation und Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Ausgangssituation der Zykloidfeuerung	3
1.3 Zielsetzungen und Abgrenzung	6
1.4 Herangehensweise und Lösungsstrategie	7
<b>2 Grundlagen und Stand des Wissens</b>	<b>9</b>
2.1 Verbrennung von Braunkohle	9
2.1.1 Erwärmung und Trocknung	10
2.1.2 Entgasung und Verbrennung der flüchtigen Bestandteile	11
2.1.3 Abbrand des Restkokes	13
2.1.4 Ermittlung reaktionskinetischer Parameter	16
2.2 Schadstoffemissionen bei der Braunkohleverbrennung	19
2.2.1 Kohlenmonoxidemissionen	19
2.2.2 Bildung und Reduzierung der Stickoxidemissionen	21
2.2.3 Schwefeldioxidemissionen und Minderungsmaßnahmen	26
2.3 Modellierung des Verbrennungsvorgangs und der Schadstoffemissionen	28
2.3.1 Kohlenmonoxidumsatz	29
2.3.2 Einzelkornabbrand	31
2.3.3 Reaktionskinetische Modelle zur Stickoxidbildung und -minderung	34
2.3.4 Mathematische Beschreibung der Schwefeldioxidemissionen	37
2.4 Verbrennungsführung in Drallströmungen	38
2.4.1 Stand der Technik	38
2.4.2 Potentiale der Schadstoffminderungen	42
<b>3 Modellierung der Zykloidfeuerung</b>	<b>46</b>
3.1 Modellvorstellungen zum Reaktortyp	46
3.1.1 Betrachtungen zum idealen und realen Vermischungsverhalten	47
3.1.2 Strömungstechnisch ideale Reaktoren	48
3.1.3 Verweilzeitverhalten strömungstechnisch idealer Reaktoren	50
3.1.4 Verweilzeitmodelle realer Reaktoren	56
3.2 Gesamtmodell des Reaktors	59
3.2.1 Modellstruktur als Rührkesselkaskade	60
3.2.2 Modellannahmen	61
3.2.3 Programmtechnische Umsetzung	62
3.3 Modellierung des Abbrandverlaufs von Braunkohlepartikeln	63
3.3.1 Aufheizung und Trocknung der Partikel	63

---

3.3.2	Freisetzung und Abbrand der flüchtigen Bestandteile	64
3.3.3	Einzelkornabbrand	66
3.3.4	Kohlenmonoxidumsatz	69
3.4	Modellierung der Stickoxidemissionen	69
3.4.1	Bildung von Stickstoffmonoxid	70
3.4.2	Reduktion von Stickstoffmonoxid	72
3.5	Modellierung der Schwefeldioxidemissionen	72
3.5.1	Schwefeldioxidbildung	73
3.5.2	Reduzierung durch Selbstentschwefelung	73
3.6	Bilanzgleichungen für das Reaktormodell	74
3.6.1	Flüchtige Bestandteile, Kohlenstoff und Sauerstoff	74
3.6.2	Kohlenmonoxid und Kohlendioxid	78
3.6.3	Stickstoffmonoxid	79
3.6.4	Schwefeldioxid	80
<b>4</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>82</b>
4.1	Beschreibung der Versuchsanlagen, Messtechnik und Brennstoffe	82
4.1.1	Thermogravimetrisches Analysesystem (TGA)	82
4.1.2	0,5 MW <sub>th</sub> -Technikumanlage Zyklidfeuerung	83
4.1.3	Messtechnik	85
4.1.4	Lausitzer Trockenbraunkohle	86
4.2	Verweilzeitverhalten der Zyklidfeuerung	88
4.2.1	Tracermessungen an der Technikumanlage	88
4.2.2	Experimentelle Durchführung und Auswertemethode	90
4.2.3	Bestimmung charakteristischer Parameter und Ergebnisse	93
4.2.4	Schlussfolgerungen und Auswahl des Reaktortyps für den Modellansatz	99
4.3	Bestimmung reaktionskinetischer Parameter	100
4.3.1	Messungen mit dem thermogravimetrischen Analysesystem	100
4.3.2	Auswertung und Ermittlung reaktionskinetischer Parameter	102
4.3.3	Bestimmung der Reaktionsordnung	107
4.3.4	Vergleich mit Daten aus der Literatur	110
4.4	Verbrennungsverhalten und Schadstoffemissionen der Zyklidfeuerung	111
4.4.1	Lastbereich und Betriebsweise	111
4.4.2	Emissionsverhalten von Kohlenmonoxid und Stickstoffmonoxid	113
4.4.3	Schwefeldioxidemissionen und Selbstentschwefelung	116
4.4.4	Messungen radialer und vertikaler Gaskonzentrationen	118
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Simulationsrechnungen und Parameterstudien</b>	<b>125</b>
5.1	Vergleich der Simulationsergebnisse mit experimentellen Untersuchungen	125
5.1.1	Betrieb bei unterschiedlichen Lastzuständen	125
5.1.2	Einfluss der Verbrennungsluftzusammensetzung	128

---

5.1.3	Kohlenmonoxidkonzentration	131
5.1.4	Entstehung und Reduzierung von NO	133
5.1.5	Bildung von SO <sub>2</sub> und Selbstentschwefelung	136
5.1.6	Brennstoffzusammensetzung	138
5.2	Parameterstudien zur Optimierung der Verbrennungsführung	140
5.2.1	Analyse des Optimierungspotentials	140
5.2.2	Beeinflussung des Abbrandverlaufs	141
5.2.3	Auswirkungen auf die Stickoxidemissionen	144
5.2.4	Einflüsse auf die Selbstentschwefelung	146
5.2.5	Einflüsse der Reaktorgeometrie	148
5.2.6	Optimierungsvorschläge	150
5.3	Bewertung des Brennkammergesamtmodells	152
5.3.1	Beurteilung der verwendeten Modellansätze	152
5.3.2	Vorschläge zur Optimierung und Modellerweiterung	153
5.3.3	Ausblick auf Anwendungen des Gesamtmodells	154
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>156</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>159</b>
<b>Anhang</b>		
A1	Lösung der Bilanzgleichungen (3.87) und (3.90)	169
A2	Lösung der Bilanzgleichungen (3.96) und (3.97)	170