

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Der Partikeltransport	3
2.1.1 Beschreibung	3
2.1.2 Prozessanalyse	6
2.2 Das raumladungsbehaftete elektrische Feld	8
2.2.1 Die Physik des elektrischen Feldes	8
2.2.2 Methoden bei der Simulation raumladungsbehafteter elektrischer Felder	10
2.3 Das turbulente Strömungsfeld	13
2.3.1 Physikalische Grundlagen	13
2.3.2 Turbulenzmodellierung	15
2.3.3 Wandbehandlung	19
2.4 Die Modellierung des Partikeltransports	24
2.4.1 Einleitung zur Partikelbewegung	24
2.4.2 Bewegungsgleichung einer Partikel	26
2.4.3 Aufladungskinetik von Partikeln	28
2.4.4 Die Fluid-Partikel Kopplung	30
2.4.5 Die Partikel-Fluid Kopplung	34
3 Konzept und Zielsetzung	39
3.1 Stand des Wissens	39
3.2 Fokus der Teilbereiche und der Gesamtmodellierung	41
4 Modellierung und Simulation des elektrischen Feldes	45
4.1 Modellierungsansatz und Problemdefinition	45
4.1.1 Vorarbeiten zur Modellierung	45
4.1.2 Geometrischer Aufbau der Elementarzellen	47
4.1.3 Beschreibung des Simulationsmodells	48
4.1.4 Beschreibung der Randbedingungen bei der Simulation des elektrischen Feldes	50
4.2 Experimentelle Untersuchungen	52
4.2.1 Experimentelle Methoden	52
4.2.2 Experimentelle Ergebnisse	55
4.3 Numerische Ergebnisse	60
4.3.1 Prinzipielle Ergebnisse der numerischen Simulation	60
4.3.2 Quantitative Auswertung der numerischen Simulation	62
4.4 Modellierung der elektrischen Randbedingungen	67
4.4.1 Herleitung der geometrieabhängigen Modellierung	67

4.4.2 Dimensionsanalyse	69
4.4.3 Geometrieunabhängige Modellierung	71
5 Partikelabscheidung in turbulenten Grenzschichtströmungen	73
5.1 Problemstellung der Simulation bei der Abscheidung in turbulenten Grenzschichten	73
5.1.1 Regime der Partikelabscheidung	73
5.1.2 Modellierung der wandnahen Bereiche bei der Partikelabscheidung	75
5.2 Übersicht über die Umsetzung der Turbulenzmodellierung in Grenzschichten	76
5.2.1 Anwendung der Turbulenzmodellierung in Grenzschichten in der CFD	76
5.2.2 Relevanz der Modellierung	78
5.3 Simulation der Abscheidung	81
5.3.1 Beschreibung der Simulation	81
5.3.2 Ergebnisse der Simulation	84
5.4 Diskussion der simulierten Abscheidung	87
6 Aspekte des Konvergenzverhaltens bei der Zwei-Wege-Kopplung	91
6.1 Effiziente Modellierung von Mehrphasenströmungen	91
6.2 Ablauf des Simulationsprozesses	93
6.2.1 Kopplung zwischen fluider und partikulärer Phase	93
6.2.2 Modellierung der disperesen Phase	94
6.3 Ergebnisse der numerischen Simulationen	101
7 Untersuchungen zur Partikelabscheidung im elektrischen Feld	107
7.1 Vorgehen bei der Validierung der Abscheidung	107
7.2 Experimentelle Versuche zur Partikelabscheidung	108
7.2.1 Experimenteller Versuchsaufbau zur Abscheidung	108
7.2.2 Ergebnisse zur experimentellen Abscheidung	111
7.3 Numerische Simulation des elektrischen Abscheideprozesses	113
7.3.1 Simulation der Temperaturverteilung im Abscheider	113
7.3.2 Simulation des elektrischen Feldes im Abscheider	116
7.3.3 Strömungssimulation bei der Abscheidung im elektrischen Feld	119
7.3.4 Simulation der Abscheidung im elektrischen Feld	120
8 Zusammenfassung und Ausblick	125
9 Literaturverzeichnis	128
10 Symbolverzeichnis	147
10.1 Liste der verwendeten Abkürzungen	147
10.2 Dimensionslose Kennzahlen	148
10.3 Lateinische Symbole	148
10.4 Griechische Symbole	151

10.5 Hochgestellte Zeichen	152
10.6 Tiefgestellte Zeichen	153
11 Anhang	155
11.1 Einfluss der Mobilität auf das elektrische Feld	155
11.1.1 Modellierung der Ionenmobilität nach Lawless	155
11.1.2 Simulationsergebnis mit veränderter Mobilität bei trockener Luft	156
11.1.3 Geometrieabhängige Modellierung bei Versuchen mit feuchter Luft	158
11.2 Erläuterungen zur Einsteinschen Summennotation	159
11.3 Übersicht über die verwendeten numerischen Gitter	160
11.3.1 Numerische Gitter der elektrischen Charakterisierung	160
11.3.2 Numerische Gitter zur Partikelabscheidung in turbulenten Grenzschichten	161
11.3.3 Numerische Gitter zur Simulation der Zwei-Wege-Kopplung	161
11.3.4 Numerische Gitter zur Simulation der Abscheidung in einem Labor-Elektro-abscheider	162
11.4 Parameter zur temperaturabhängigen Umsetzung der dimensionslosen Fit-Funktion	163
11.5 Übersicht der verwendeten Modellierungen bei der Partikelabscheidung bei höheren Temperaturen	163
11.6 Schema des Abscheiders	164
11.7 Abscheidung mit Ruß	166
11.7.1 Experimentelle Charaktersierung der Rußpartikel	166
11.7.2 Simulation der Abscheidung von Ruß	169