

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Kurzfassung	VI
Abstract	7
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Stand des Wissens	4
2.1 Cleaning-in-Place	4
2.1.1 Grundlagen der CIP-Reinigung in geschlossenen Systemen	5
2.1.2 Reinigungskinetik beim Cleaning-in-Place	6
2.1.3 Stofftransportmechanismen beim Cleaning-in-Place	9
2.2 Strömende Fluide und Partikelbewegung	12
2.2.1 Grundlagen der Fluiddynamik	13
2.2.2 Partikelabtrag und -transport in Wandnähe	16
2.3 Diffusion.....	18
2.3.1 Partikeldiffusion durch Flüssigkeiten	19
2.3.2 Diffusion von Flüssigkeiten in Feststoffen.....	20
2.4 Partikelgrößenmessung mittels Laserbeugung.....	20
2.5 Modellverschmutzungen für Reinigungsuntersuchungen.....	23
2.5.1 Eigelb	26
2.5.2 Stärke	28
3 Konzeptentwicklung	32
3.1 Wissenslücke	32
3.2 Modellvorstellung des Stofftransports bei der Abreinigung	33
3.3 Abgeleitete Untersuchungen	34
3.4 Wahl der Modellverschmutzungen	36
4 Experimentelle Untersuchungen	38

4.1	Reinigungsanlage	38
4.2	Modellverschmutzungen und Probenherstellung.....	42
4.2.1	Eigelbverschmutzung	42
4.2.2	Stärkeverschmutzung.....	44
4.3	Bestimmung der Partikeleigenschaften.....	44
4.3.1	Partikelgrößenmessung.....	44
4.3.2	Dichte der Partikel	45
4.3.3	Realer Brechungsindex	45
4.3.4	Absorptionskoeffizient	46
4.3.5	Mikroskopie.....	47
4.4	Schichtdickenmessung mittels Fluid Dynamic Gauging	47
4.4.1	Bestimmung der Ausgangsschichtdicke	49
4.4.2	Quellverhalten der Verschmutzungsschicht	50
4.5	Bestimmung der Verschmutzungskonzentration im Reinigungsmittel ...	52
4.6	Messung der Partikeldiffusion	55
4.7	Statistische Versuchsauswertung und Modellbildung	57
5	Experimentelle Ergebnisse	64
5.1	Ausgangsschichtdicke der Verschmutzungsschicht	64
5.2	Eigenschaften der Verschmutzungspartikel.....	65
5.2.1	Partikeldichte	65
5.2.2	Realer Brechungsindex der Partikel	66
5.2.3	Absorptionskoeffizient der Partikel.....	69
5.2.4	Partikelgröße.....	71
5.3	Größe der abgetragenen Verschmutzungspartikel	76
5.3.1	Veränderung der Partikelgröße über die Reinigungszeit.....	76
5.3.2	Einfluss der Reinigungsparameter auf die Partikelgröße	80
5.3.3	Abschätzung des Diffusionskoeffizienten aus der Partikelgröße	85
5.4	Quellverhalten der Verschmutzungsschicht	87
5.4.1	Modellierung des Quellverhaltens	88
5.4.2	Diffusion des Reinigungsmittels in die Verschmutzungsschicht	97
5.5	Diffusionskoeffizienten der Verschmutzungspartikel	103
5.5.1	Einfluss der Diffusionszeit	103
5.5.2	Einfluss der Konzentration an Natronlauge.....	107
5.6	Kinetik der Reinigung	109
5.6.1	Weibull-Modell der Reinigungskurven.....	109
5.6.2	Einflussfaktoren auf die Reinigungszeit.....	112

6	Simulation des Partikeltransports durch die viskose Unterschicht.....	121
6.1	Grundlagen zur Berechnung des Partikeltransports	121
6.1.1	Annahmen und Kräftegleichgewicht am Partikel.....	121
6.1.2	Konvektiver Partikeltransport senkrecht zur Wand.....	124
6.1.3	Diffusiver Partikeltransport	126
6.1.4	Konvektiver Partikeltransport in Strömungsrichtung.....	127
6.1.5	Numerisches Lösen des Differentialgleichungssystems.....	128
6.2	Einflüsse auf den Partikeltransport bei der Reinigung.....	129
6.2.1	Einfluss der einzelnen Reinigungsparameter.....	131
6.2.2	Einfluss der Eigenschaften der Verschmutzungspartikel	136
6.3	Diffusiver und konvektiver Partikeltransport.....	139
6.4	Partikeltransport bei der Reinigung von Eigelb	142
7	Übertragung auf die Reinigung von Stärke	147
7.1	Benötigte Reinigungszeit für die Stärkeverschmutzung	147
7.2	Partikelgröße der abgereinigten Stärkepartikel.....	150
7.3	Partikeltransport bei der Reinigung von Stärke	152
7.4	Vergleich der Reinigung von Stärke und Eigelb.....	155
8	Zusammenfassung und Ausblick	157
Literaturverzeichnis.....		161
Anhang		171
Lebenslauf.....		179
Veröffentlichungen.....		180