

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XVIII
Tabellenverzeichnis	XXII
1 Einleitung	1
1.1 Einleitung und Motivation	1
1.2 Ziel der Arbeit	3
2 Theorie und Grundlagen	5
2.1 Herstellung von Siliziumdioxid-Partikeln auf Basis des Sol-Gel-Prozesses	5
2.1.1 Der Sol-Gel-Prozess	5
2.1.2 STÖBER-Methode zur Herstellung von SiO ₂ -Partikeln	6
2.1.2.1 Reaktionsschema der STÖBER-Methode	6
2.1.2.2 Partikelbildung und Partikelwachstum	7
2.1.2.3 Einflussfaktoren des Partikelherstellungsprozesses	9
2.2 Mischprozesse in Rührkesselreaktoren	11
2.2.1 Mischprozesse	11
2.2.2 Rührkesselreaktoren	11
2.3 Membranfiltration	14
2.3.1 Membranmaterialien	15
2.3.2 Prozessführung und Modulkonfigurationen in der Mikro- und Ultrafiltration	15
2.3.3 Einsatzbereiche der Querstromfiltration	16
2.3.4 Auslegung von Querstromfiltrationsprozessen	17
2.4 Miniplant-Technik	18
2.5 Numerische Strömungsmechanik	19
3 Material und Methoden	22
3.1 Methoden zur Herstellung und Aufarbeitung von Siliziumdioxid-Nanopartikeln	22
3.1.1 Partikelherstellung	22
3.1.1.1 Auswahl der Vorlagenreihenfolge der Reaktionsedukte	22
3.1.1.2 Auswahl des Prozesspunktes	23
3.1.1.3 Prozessschritte der Partikelherstellung in den eingesetzten Ansatzmaßstäben	24

3.1.1.4	Partikelherstellung im 0,1 L-Labormaßstab	26
3.1.1.5	Partikelherstellung im 1 L- und 5 L-Miniplantmaßstab	28
3.1.2	Partikelaufarbeitung durch Querstromdiafiltration	31
3.2	Verfahren zur Partikelcharakterisierung	35
3.2.1	Dynamische Lichtstreuung	35
3.2.2	Rasterelektronenmikroskopie	39
3.2.3	ζ -Potential	40
3.2.4	Gravimetrie	42
3.3	Verfahren zur Bestimmung von Stoffdaten	42
3.3.1	Viskosimetrie	42
3.3.2	Volumetrie	43
3.4	Methode zur Bestimmung des Partikelwachstums mittels dynamischer Lichtstreuung	44
3.4.1	Datenerfassung	44
3.4.2	Datenauswertung	45
3.5	Methode zur konduktometrischen Bestimmung von Hydrolyse und Kondensation . .	50
3.5.1	Datenerfassung	50
3.5.2	Datenauswertung	50
3.6	Verwendete Simulationssoftware und Methodik	54
4	Ergebnisse und Diskussion	57
4.1	Anforderungen an das Anlagenkonzept	57
4.2	Anlagenentwicklung und -realisierung	59
4.2.1	Anlagenkomponenten und Prozessanalytik	61
4.2.2	Prozessleittechnik und Prozessregelung	76
4.3	Partikelherstellung in unterschiedlichen Reaktionsmaßstäben	82
4.3.1	Reaktionsmaßstäbe und Maßstabsübertragung	82
4.3.1.1	Geometrische Ähnlichkeit der Reaktionsmaßstäbe	82
4.3.1.2	Auswahl und Anwendung des Übertragungskriteriums	85
4.3.2	Partikelherstellung im Labor- und Miniplantmaßstab	87
4.3.2.1	Übersicht der Versuchsreihen und Ziele	87
4.3.2.2	Stoffdatenbestimmung	88
4.3.2.3	Partikelherstellung im 0,1 L-Labormaßstab	89
4.3.2.4	Partikelherstellung im 1 L-Miniplantmaßstab	93
4.3.2.5	Partikelherstellung im 5 L-Miniplantmaßstab	96
4.3.3	Vergleich der Reaktionsmaßstäbe	98
4.3.3.1	Kontrolle der Partikelgröße	98
4.3.3.2	Ergebnisse der reaktionskinetischen Untersuchung	100
4.3.3.3	Bewertung des Übertragungskriteriums	112
4.3.4	Einfluss des Dosierpunktes auf die Partikelherstellung	116
4.4	Numerische Untersuchungen zur Maßstabsübertragung und zum Mischprozess . .	121

4.4.1	Numerische Untersuchungen zum Übertragungskriterium w _u = idem	121
4.4.2	Numerische Untersuchungen zum Übertragungskriterium P _V = idem	129
4.5	Partikelaufarbeitung im Miniplantmaßstab	132
4.5.1	Membranauswahl und Charakterisierung des Querstrommoduls	133
4.5.2	Partikelaufarbeitung durch Querstromdiafiltration	135
4.5.3	Vergleich von etablierter und realisierter Aufarbeitungsmethode	142
5	Zusammenfassung und Ausblick	145
5.1	Zusammenfassung	145
5.2	Ausblick	147
Anhang		
A		149
A.1	Verwendete Chemikalien	149
A.2	Stoffdaten	149
A.3	Modellkonstanten	150
A.4	Variation des numerischen Berechnungsgitters	150
Literaturverzeichnis		
Erklärung		