



Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abstract	V
Symbol und Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Stofftrennung mittels Rektifikation	4
2.1.1 Strömungswege und Stofftrennung in strukturierten Packungen	6
2.1.2 Einfluss thermophysikalischer Stoffeigenschaften, geometrischer und betrieblicher Parameter auf die Stofftrennung in Packungen	8
2.2 Testgemische zur Bewertung von Trennleistung und fluiddynamischem Verhalten	9
2.2.1 Testgemische zur Bestimmung der Trennleistung von Rektifikationskolonnen	9
2.2.2 Einfluss thermophysikalischer Stoffeigenschaften bei der Trennleistungsmessung	10
2.2.3 Überblick über Reinstoffe und Gemische zur Untersuchung von Trennleistung, Benetzungseigenschaften und Fluiddynamik	12
2.3 Trennleistung von Packungskolonnen	13
2.3.1 Quellen für Literaturdaten der Trennleistung von Packungskolonnen	13
2.3.2 Diskussion ausgewählter Literaturdaten der Trennleistung	16
2.3.3 Einfluss erhöhter Viskosität	18
2.3.4 Einfluss von Kolonnendurchmesser und Packungshöhe auf Trennleistung und Druckverlust	19
2.4 Fluiddynamik in Packungskolonnen	21
2.4.1 Anteil der benetzten Oberfläche	21
2.4.2 Filmdicke der Flüssigkeit	24
2.4.3 Fließwinkel der Flüssigkeit	24
2.4.4 Strömungsformen	25
2.4.5 Druckverlust und Kapazität	28
2.5 Verweilzeit in Packungskolonnen	29
2.6 Stofftransportmodelle zur Berechnung der Trennleistung	32
2.6.1 Berechnung der Stoffübergangskoeffizienten	33
2.6.2 Berechnung des HETP-Wertes	35
2.6.3 Delft-Modell	36
2.6.4 SRP-Modell	39
2.6.5 Hanley-Modell	40
2.7 Zusammenfassung und Zielsetzung	41
3 Material und Methoden	43
3.1 Rektifikationskolonne DN50 und Geometrie der Packungen	43
3.1.1 Beschreibung der Rektifikationskolonne	43
3.1.2 Geometrie der verwendeten strukturierten Packungen	46
3.2 Bestimmung der Trennleistung	48
3.2.1 Anfahren der Kolonne und Entnahme von Proben	48
3.2.2 Bestimmung der HETP-Werte	49
3.3 Berechnung von Gas- und Flüssigkeitsbelastungen	51
3.4 Bestimmung der Fluiddynamik der Kolonne	52



3.4.1 Messung und Modellierung des spezifischen Druckverlustes	52
3.4.2 Bestimmung des Hold-up der Flüssigkeit	52
3.5 Modellierung der Trennleistung	54
3.6 Bestimmung der Verweilzeit und Berechnung des Hold-up der Flüssigkeit	56
3.7 Weitere Apparate und Messmethoden	59
3.7.1 Phasengleichgewichtsapparatur und Bestimmung von VLE-Daten	59
3.7.2 Gaschromatograph und Bestimmung der Gemischzusammensetzung von MB/MP	60
3.7.3 Messung von Flüssigkeitsdichten	61
3.7.4 Rheometer	62
3.8 Verwendete Chemikalien	62
4 Auswahl und Charakterisierung eines viskosen Testgemisches.....	63
4.1 Anforderungen an ein viskoses Testgemisch zur Messung der Trennleistung unter Rektifikationsbedingungen	63
4.2 Auswahl eines viskosen Testgemisches	64
4.2.1 Identifizierung viskoser Reinstoffe	64
4.2.2 Eliminierung von Kandidaten	65
4.2.3 Identifizierung von binären Paarungen	67
4.2.4 Auswahl einer binären Mischung	68
4.3 Vergleich und Bewertung der Stoffeigenschaften der Testgemische.....	68
4.3.1 Dampf-Flüssig-Gleichgewichtsdaten	69
4.3.2 Dichte der Flüssigkeit	71
4.3.3 Viskosität der Flüssigkeit.....	73
4.3.4 Oberflächenspannung.....	75
4.3.5 Diffusionskoeffizienten.....	76
4.3.6 Weitere physikalische Stoffeigenschaften	79
4.4 Abschließender Vergleich der Testgemische	79
5 Bestimmung von Trennleistung, Druckverlust, Hold-up und Verweilzeit.....	83
5.1 Einfluss der Viskosität auf Trennleistung und Druckverlust.....	84
5.2 Einfluss der Geometrie auf Trennleistung und Druckverlust.....	90
5.3 Einfluss betrieblicher Parameter, Stoffeigenschaften und Geometrie auf den Hold-up.....	93
5.3.1 Einfluss von Stoffeigenschaften und Geometrie auf den statischen Hold-up.....	94
5.3.2 Hold-up der Flüssigkeit bei den Trennleistungsmessungen für die Gemische CB/EB und MB/MP und die untersuchten Packungen.....	96
5.3.3 Vergleich des Hold-up unter totalem Rücklauf mit Messungen ohne Gasgegenstrom und Wasser als Arbeitsmedium.....	99
5.4 Untersuchung der Verweilzeit der Flüssigkeit	102
5.4.1 Einfluss der Flüssigkeitsbelastung auf die Verweilzeitverteilung	102
5.4.2 Einfluss der Gasbelastung auf die Verweilzeitverteilung	107
5.4.3 Messung der Verweilzeit mittels Flüssigkeitsimpulsen	109
5.4.4 Vergleich der Messmethoden.....	111
5.4.5 Vergleich des aus Verweilzeiten berechneten Hold-ups mit direkten Messwerten	112
5.4.6 Mögliche zukünftige Untersuchungen	116
5.5 Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse.....	117



6	Evaluierung der Stofftransportmodelle und der berechneten Trennleistung	119
6.1	Anwendung der Korrelation von O'Connell für Bodenkolonnen auf die Ergebnisse	119
6.2	Vergleich des experimentellen Hold-up mit Ergebnissen der Stofftransportmodelle	121
6.3	Vergleich der experimentellen Trennleistung mit den Stofftransportmodellen	123
6.3.1	Diskussion der berechneten HETP-Werte	123
6.3.2	Diskussion von benetzter Fläche und Stoffübergangskoeffizienten	126
6.3.3	Anteil des Stoffübergangswiderstandes der flüssigen Phase	130
6.4	Evaluierung der Modellierung	132
6.4.1	Einfluss der Packungsgeometrie	132
6.4.2	Auswirkung von Modifikationen der verwendeten Korrelationen	133
6.5	Zusammenfassung der Modellierung.....	135
7	Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick	136
7.1	Zusammenfassung	136
7.2	Kritische Würdigung und Ausblick	138
8	Literaturverzeichnis	140
9	Anhang.....	149
9.1	Bestimmung der Gemischzusammensetzungen.....	149
9.1.1	Chlorbenzol/Ethylbenzol	149
9.1.2	2-Methyl-2-butanol/2-Methyl-1-propanol	149
9.2	Daten zur Auswahl eines viskosen Stoffsystems.....	151
9.3	Korrelationen zur Berechnung der Reinstoff- und Gemischeigenschaften	152
9.3.1	Reinstoffdampfdrücke und VLE-Verhalten der binären Gemische.....	152
9.3.2	Verdampfungsenthalpien.....	153
9.3.3	Dichte der Flüssigkeiten	154
9.3.4	Dichte des Dampfes.....	155
9.3.5	Viskosität der Flüssigkeit.....	156
9.3.6	Viskosität des Dampfes	157
9.3.7	Oberflächenspannung	158
9.3.8	Wärmekapazitäten der Flüssigkeiten	159
9.4	Messunsicherheiten.....	159
9.4.1	Messunsicherheit der Satttdampfdrücke	161
9.4.2	Messunsicherheit Trennfaktoren α_{12} der Gemische CB/EB und MB/MP	162
9.4.3	Messunsicherheit des HETP-Wertes.....	163
9.4.4	Messunsicherheit der Messung der Dichte	164
9.4.5	Messunsicherheit der Messung der Viskosität.....	165
9.5	Bewertung der Messunsicherheit der VLE-Daten	166
9.5.1	Messunsicherheit der Satttdampfdrücke	166
9.5.2	Verhalten und Messunsicherheit der Trennfaktoren der binären Gemische.....	169
9.6	Rohdaten der Trennleistungsmessungen	172