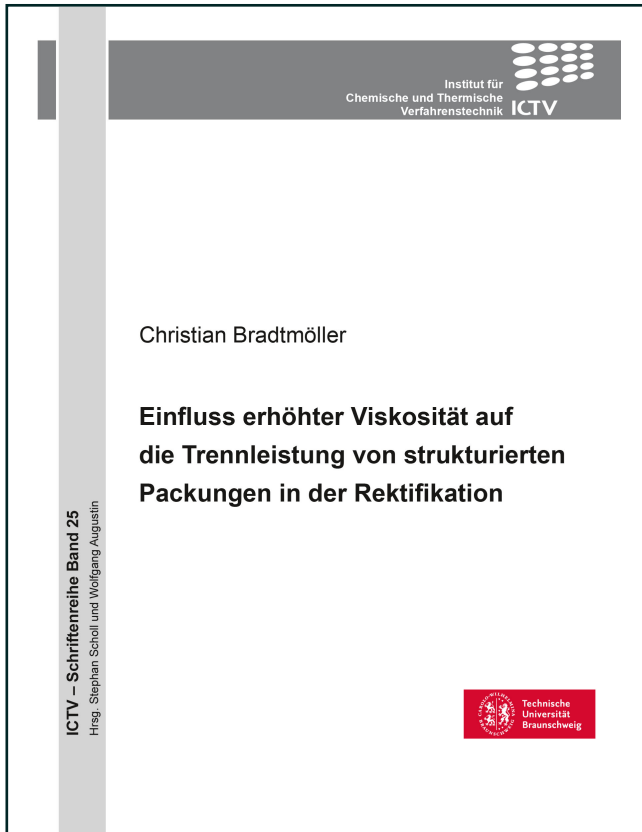




Christian Bradtmöller (Autor)

# **Einfluss erhöhter Viskosität auf die Trennleistung von strukturierten Packungen in der Rektifikation**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7479>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-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>



# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Symbol und Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Stand des Wissens</b> .....	<b>3</b>
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
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>43</b>
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
<b>4 Auswahl und Charakterisierung eines viskosen Testgemisches.....</b>	<b>63</b>
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
<b>5 Bestimmung von Trennleistung, Druckverlust, Hold-up und Verweilzeit.....</b>	<b>83</b>
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



<b>6</b>	<b>Evaluierung der Stofftransportmodelle und der berechneten Trennleistung .....</b>	<b>119</b>
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
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick .....</b>	<b>136</b>
7.1	Zusammenfassung .....	136
7.2	Kritische Würdigung und Ausblick .....	138
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>140</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>149</b>
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 Sattdampfdrücke .....	161
9.4.2	Messunsicherheit Trennfaktoren $\alpha_{12}$ 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 Sattdampfdrücke .....	166
9.5.2	Verhalten und Messunsicherheit der Trennfaktoren der binären Gemische.....	169
9.6	Rohdaten der Trennleistungsmessungen .....	172