



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XIV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Stand des Wissens</b>	<b>3</b>
2.1. Grundlagen zur Adsorption . . . . .	3
2.1.1. Gleichgewichtsbeschreibung durch Isothermen . . . . .	3
2.1.2. Statische Methoden zur Bestimmung von Isothermendaten . . . . .	9
2.1.3. Dynamische Methoden zur Ermittlung von Isothermendaten . . . . .	10
2.1.4. Bestimmung von Adsorptionsgleichgewichtsverteilungen . . . . .	17
2.2. Eigenschaften und Anwendungen der Modellsysteme . . . . .	19
2.2.1. Zeolithe, Zucker und Alkohole . . . . .	19
2.2.2. Ionentauscherharze und Proteine . . . . .	24
2.2.3. Einordnung und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	25
<b>3. Material und Methoden</b>	<b>27</b>
3.1. Geräte, Chemikalien und Software . . . . .	27
3.2. Ansetzen von Pufferlösungen und Vorbereitung der Adsorbentien . . . . .	29
3.3. Experimentelle Bestimmung von Adsorptionsisothermen . . . . .	29
3.4. <i>Extended Elution by Characteristic Point</i> . . . . .	31
3.5. Bestimmung der Porosität mittels Stickstoffadsorption, Hg-Porosimetrie und Tracermessungen . . . . .	33
3.6. Berechnung von AEDs aus Isothermendaten . . . . .	34
<b>4. Vergleich der Untersuchung von Zeolithen mittels statischer und dynamischer Methoden</b>	<b>37</b>
4.1. Kinetische Untersuchungen des Adsorptionsverhaltens an Zeolithen . . . . .	37
4.2. Diskussion der Unsicherheiten und möglicher Fehlerquellen bei der Anwendung statischer Methoden . . . . .	47
4.3. Einfluss von Prozess- und Anlagenparametern auf die Besonderheiten und Grenzen dynamischer Adsorptionsmessungen . . . . .	51
4.3.1. Auswahl eines geeigneten Tracers . . . . .	52
4.3.2. Bestimmung der tatsächlich teilnehmenden Adsorbenspackung in dynamischen Adsorptionsmessungen . . . . .	56
4.3.3. Begrenzung der messbaren Konzentrationsbereiche aufgrund von <i>Viscous Fingering</i> . . . . .	59



4.3.4. Leerrohrgeschwindigkeit und Säulengeometrie . . . . .	64
4.3.5. Stärke der adsorptiven Wechselwirkung . . . . .	70
4.3.6. Zusammenfassung der Einflussparameter auf die dynamischen Adsorptionsmessungen . . . . .	71
<b>5. Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf das System Protein/Ionenaustauscherharz</b>	<b>74</b>
5.1. Voruntersuchungen mittels Batch-Methode . . . . .	74
5.1.1. Voruntersuchungen zu Kinetik und Stärke der adsorptiven Wechselwirkung . . . . .	74
5.1.2. Auswahl geeigneter Tracer . . . . .	76
5.2. Ergebnisse und Besonderheiten des Systems Protein/Ionenaustauscherharz bei der Anwendung dynamischer Methoden . . . . .	78
<b>6. Nutzung dynamischer Methoden zur Isothermenbestimmung bei verschiedenen Modellsystemen</b>	<b>84</b>
6.1. Anwendungsfelder zur Nutzung dynamischer Methoden zur Isothermenbestimmung . . . . .	84
6.1.1. Dynamische Methoden für Isothermenbestimmung neuer Substanzen mit geringem Materialverbrauch . . . . .	85
6.1.2. Dynamische Methoden bei kleinen und großen Absolutkonzentrationen	90
6.1.3. Dynamische Methoden für Messungen an einer Adsorbenspackung .	96
6.2. Fazit zur Nutzung dynamischer Methoden bei verschiedenen Modellsystemen und Anwendungsfällen . . . . .	98
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>101</b>
<b>8. Ausblick</b>	<b>103</b>
<b>Literatur</b>	<b>105</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>118</b>
A.1. MATLAB-Code zur Berechnung der AEDs . . . . .	118
A.2. Darstellung der Ableitungen für die Unsicherheitenabschätzung zu den statischen und dynamischen Methoden . . . . .	121
A.3. Definition der verwendeten Momente . . . . .	124
A.4. Weitere Daten zur Adsorption an Zeolith BEA 150 . . . . .	125
A.4.1. Partikelgrößenverteilung der benutzten Zeolithextrudate . . . . .	125
A.4.2. BET-Messung, Hg-Porosimetrie und Abschätzung der Gesamtporosität der Zeolithe . . . . .	128
A.4.3. Hydrolyse verschiedener Tracer . . . . .	130
A.4.4. Adsorptionsisothermen . . . . .	131
A.5. Weitere Daten zur Adsorption an QSFF . . . . .	131
A.6. Hinweise zu studentischen Arbeiten und den daraus verwendeten Rohdaten	133
<b>Lebenslauf</b>	<b>135</b>
<b>Veröffentlichungen im Rahmen dieser Dissertation</b>	<b>136</b>