

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	III
Ehrenwörtliche Erklärung	IV
Danksagung.....	V
1 Einleitung.....	5
1.1 Motivation und Zielsetzung	5
1.2 Liste der eigenen Publikationen	6
1.3 Gliederung der Arbeit	9
2 Abwärmenutzung aus Energiespeichersystemen.....	11
2.1 Brennstoffzellen in Energiespeichersystemen	11
2.2 Abwärmenutzung aus Brennstoffzellensystemen	13
3 Wärmetransformation durch Adsorption	16
3.1 Die Adsorption.....	16
3.2 Funktionsweise von Adsorptionswärmepumpen	17
3.3 Kennzahlen zur Beschreibung des Adsorptionswärmepumpen-prozesses	18
3.4 Idealer Adsorptionskälteprozess	20
3.5 Als Kältemittel geeignete Adsorptive	23
4 Thermodynamische Beschreibung des Adsorptionsgleichgewichtes	26
4.1 Allgemeine Betrachtung	26
4.2 Darstellung des Adsorptionsgleichgewichts durch Adsorptionsisothermen.....	27
4.3 Potentialtheorie nach Dubinin.....	29
4.3.1 <i>Ursprüngliche Formulierung.....</i>	<i>29</i>
4.3.2 <i>Thermodynamische Potentiale im Dubinin-Formalismus</i>	<i>34</i>
4.3.3 <i>Gültigkeitsbereich der Temperaturinvarianz der charakteristischen</i> <i>Kurve.....</i>	<i>35</i>
4.3.4 <i>Modifizierte Potentialtheorie.....</i>	<i>36</i>

5	Adsorptionskinetik.....	40
5.1	Wärme- und Stofftransport in Adsorbenschüttungen.....	40
5.1.1	Wärmetransportvorgänge.....	41
5.1.2	Stofftransportvorgänge.....	42
5.2	Testfunktionen zur Untersuchung von Transportprozessen an Adsorptionsmaterialien	45
5.2.1	Drucksprungmessungen (LPJ, IDS)	45
5.2.2	Temperatursprungmessungen (LTJ).....	46
5.2.3	Abschätzung der spezifischen Kälteleistung mit der τ -Methode	46
5.3	Zusammenfassung wichtiger Erkenntnisse zur Adsorptionskinetik	48
6	Weiterentwicklung der Potentialtheorie und eines optimierten Verfahrens zu deren Anwendung.....	50
6.1	Entwickelte Modifikation der Potentialtheorie	50
6.2	Definition von thermodynamischen Potentialen für die modifizierte Potentialtheorie	54
6.3	Weitere Analyse der genutzten Potentialtheorie-Modifikation	55
6.4	Algorithmus zur Gewichtung von Adsorptionsgleichgewichtsmesspunkten	60
6.5	Charakteristische Kurven mit komplizierten Verläufen	65
6.6	Analyse und Bewertung vorhandener Adsorptionsdaten.....	68
6.7	Auswahl von geeigneten Adsorptionsmaterialien zur Abwärmenutzung von HT-PEM Brennstoffzellen.....	72
7	Entwickelte Adsorptionskinetikmodelle.....	77
7.1	„Lumped parameter“-Modell (0D0D)	77
7.2	„Lumped parameter“-Modell mit Auflösung der Diffusionsgleichung auf Kornebene (0D1D-Modell).....	79
7.3	Modell für Adsorption an mehreren Lagen Adsorbensgranulat (0D0D-1D1D-Modell).....	80
7.4	Thermisches Widerstandsmodell	82
8	Entwicklung einer neuen Messmethode zur Bestimmung von Beladungskurven in LTJ-Experimenten	84
8.1	Messmethoden zur Bestimmung der Beladungskurve in LPJ- und LTJ-Messungen ...	84
8.1.1	Volumetrische (kanonische) Methoden.....	84
8.1.2	Gravimetrische Methoden	86
8.1.3	Kalorimetrische Methoden	87
8.1.4	Messmethoden basierend auf Durchflussmessungen.....	88
8.1.5	Zusammenfassung.....	88

8.2	Entwicklung einer neuen Methode zur Messung der Beladungskurve in Adsorptionsdynamikmessungen	90
8.2.1	<i>Funktionsprinzip</i>	90
8.2.2	<i>Bestimmung der Beladungsänderung</i>	95
8.2.3	<i>Messunsicherheit</i>	97
8.3	Inbetriebnahme und Validierung	101
8.3.1	<i>Probenbeschreibung</i>	101
8.3.2	<i>Experimentelle Vorgehensweise</i>	102
8.3.3	<i>Diskussion der Ergebnisse</i>	105
9	Experimentelle Untersuchung von NaYBFK	112
9.1	Probenbeschreibung	112
9.1.1	<i>NaYBFK Granulat im Ausgangszustand</i>	112
9.1.2	<i>Al-beschichtetes NaYBFK</i>	113
9.1.3	<i>Ag-beschichtetes NaYBFK</i>	113
9.2	Experimentelle Vorgehensweise	113
9.3	Experimentelle Ergebnisse	116
9.4	Parametrisierung der Adsorptionskinetikmodelle	125
9.4.1	<i>Adsorptionsdynamikmodelle</i>	125
9.4.2	<i>Thermisches Widerstandsmodell</i>	136
9.5	Energieeffizienz des Gesamtsystems im Anwendungsbeispiel	142
10	Fazit und Ausblick	144
	Anhang	147
A1	Berechnung der Stoffdaten von Wasser, Ammoniak, Methanol und Ethanol	147
A2	Sorptionsdaten und Charakteristische Kurven von ausgewählten Adsorptionsmaterialien	149
	Nomenklatur	161
	Formelzeichen	161
	Griechische Buchstaben	163
	Abkürzungen	164
	Indizes	166
	Abbildungsverzeichnis	169
	Tabellenverzeichnis	175

Literaturverzeichnis..... 176

Lebenslauf..... 191