

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                     |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Symbolverzeichnis</b>                                                                            | <b>v</b>    |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                                        | <b>xiii</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                                          | <b>xvii</b> |
| <b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>                                                                 | <b>1</b>    |
| <b>2 Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand</b>                                            | <b>5</b>    |
| 2.1 Thermisch angetriebene Wärmepumpen und Kälteanlagen . . . . .                                   | 5           |
| 2.2 Adsorptionswärmepumpe . . . . .                                                                 | 6           |
| 2.3 Thermodynamik der Adsorption . . . . .                                                          | 7           |
| 2.3.1 Beschreibung des Adsorptionsgleichgewichts . . . . .                                          | 8           |
| 2.3.2 Wärmepumpen-Kreisprozess . . . . .                                                            | 15          |
| 2.4 Kinetik der Adsorption . . . . .                                                                | 18          |
| 2.4.1 Diffusionskoeffizienten . . . . .                                                             | 21          |
| 2.4.2 Dichte . . . . .                                                                              | 23          |
| 2.4.3 Spezifische Wärmekapazität . . . . .                                                          | 24          |
| 2.4.4 Wärmeleitfähigkeit . . . . .                                                                  | 24          |
| 2.5 Stoffpaarbewertung hinsichtlich ihrer Eignung in Wärmetransformationsanwen-<br>dungen . . . . . | 27          |
| 2.5.1 Thermodynamische Betrachtung . . . . .                                                        | 27          |
| 2.5.2 Weitere technischen Anforderungen . . . . .                                                   | 29          |
| 2.5.3 Technische Adsorbentien . . . . .                                                             | 30          |
| <b>3 Modulare Adsorptionswärmepumpe mit hoher Leistungsdichte</b>                                   | <b>35</b>   |
| 3.1 Flachrohrwärmeübertrager mit Adsorber . . . . .                                                 | 37          |
| <b>4 Modellentwicklung</b>                                                                          | <b>41</b>   |
| 4.1 Stofftransport in Schlauch-, Makro- und Mikroporen . . . . .                                    | 41          |
| 4.2 Wärmetransport in Adsorber-Compounds . . . . .                                                  | 45          |
| <b>5 Versuchsaufbau und Messtechnik</b>                                                             | <b>49</b>   |
| 5.1 THB-Verfahren zur Bestimmung der beladungsabhängigen Wärmeleitfähigkeit                         | 49          |
| 5.2 Permeationsmessungen . . . . .                                                                  | 55          |
| 5.3 Gleichgewichts- und Kinetikeigenschaften . . . . .                                              | 61          |
| 5.3.1 Volumenbestimmung . . . . .                                                                   | 65          |
| 5.3.2 Korrekturverfahren zur Berücksichtigung der Prüfstandsadsorption . .                          | 66          |
| 5.3.3 Infrarotthermografie zur Bestimmung der Oberflächentemperatur . . .                           | 70          |
| <b>6 Experimentelle Untersuchungen</b>                                                              | <b>75</b>   |
| 6.1 Steigerung der Beladungseigenschaften von Aktivkohle/Methanol . . . . .                         | 75          |
| 6.2 Probenherstellung . . . . .                                                                     | 80          |

|          |                                                                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3      | Wärme- und Stofftransport in porösen Aktivkohleformkörpern . . . . .                                | 83         |
| 6.3.1    | Adsorptionsgleichgewichte . . . . .                                                                 | 85         |
| 6.3.2    | Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität . . . . .                                                     | 86         |
| 6.3.3    | Einfluss der Pulverkorngröße und von Schlauchporen auf die Diffusion<br>in den Formkörper . . . . . | 90         |
| 6.3.4    | Adsorptionskinetik und Kopplung der Schlauch- und Makroporenebene                                   | 95         |
| 6.3.5    | Modellgenauigkeit . . . . .                                                                         | 102        |
| <b>7</b> | <b>Optimierung von Wärmepumpenmodulen</b>                                                           | <b>105</b> |
| 7.1      | Simulation der Ad- und Desorptionszyklen . . . . .                                                  | 105        |
| 7.1.1    | Modellierung der einzelnen Komponenten . . . . .                                                    | 106        |
| 7.1.2    | Betriebs-, Start- und Randbedingungen . . . . .                                                     | 110        |
| 7.1.3    | Bewertungskriterien . . . . .                                                                       | 112        |
| 7.2      | Optimierung der Aktivkohleformkörper . . . . .                                                      | 113        |
| 7.3      | Limitierende Transportgrößen im Prozesszyklus einer Adsorptionswärmepumpe                           | 120        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                                                 | <b>125</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                                         | <b>127</b> |
|          | <b>Anhang</b>                                                                                       | <b>137</b> |
| A.1      | Gleichgewichts- und Kinetikeigenschaften . . . . .                                                  | 137        |
| A.1.1    | Volumenbestimmung . . . . .                                                                         | 137        |
| A.1.2    | Bestimmung des Emissionsgrads . . . . .                                                             | 137        |
| A.2      | Randbedingungen der Sorptions- und Phasenwechselzone für die Modulsimulation                        | 137        |