

Dipl.-Phys. Wolfgang Keßling, Haimhausen

Luftentfeuchtung und Energiespeicherung mit Salzlösungen in offenen Systemen

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **509**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Sorptions-Klimaanlagen	1
1.1.1	Eingrenzung des Themas	4
1.1.2	Problemstellung: Absorber zur Luftentfeuchtung und Speicherung	4
1.2	Stand der Forschung und Entwicklung	5
1.2.1	Luftentfeuchtung mit flüssigen Sorbentien	5
1.2.2	Adiabatische Absorber	5
1.2.3	Gekühlte Absorber	6
1.2.4	Geschlossener Absorber – offener Desorber	8
1.2.5	Zusammenfassung	8
1.3	Energiespeicherung	9
1.3.1	Vergleich mit Eisspeicher	10
1.4	Zielsetzung und Vorgehensweise	10
1.4.1	Theoretischer Teil	10
1.4.2	Experimenteller Teil	11
I	Theoretischer Teil	13
2	Sorptionseigenschaften von Salzlösungen	15
2.1	Salzlösungen	16
2.2	Thermodynamische Berechnung des Absorptionsgleichgewichts	17
2.3	Absorptionsenthalpie und Dampfdruck	19
2.3.1	Dampfdruck-Interpolation	21
2.3.2	Differentielle Absorptionsenthalpie	22
2.3.3	Differentielle Mischungsenthalpie	23
2.4	Darstellung der Sorptionsgleichgewichte	24
2.5	Vergleich der Sorptionsgleichgewichte der untersuchten Salzlösungen	26
2.5.1	Isomolare Salzlösungen	27
2.5.2	Die Freie Energie	29

3	Luftentfeuchtung und Energiespeicherung	32
3.1	Luftentfeuchtung	32
3.2	Speicherdichte	33
3.3	Massenstromverhältnisse	34
3.4	Das (x_S-x_L) -Diagramm	35
3.5	Entfeuchtungspotential und Beladungspotential	37
3.5.1	Maximales Entfeuchtungspotential	38
3.5.2	Reduziertes Entfeuchtungspotential	38
3.5.3	Maximales Beladungspotential	40
3.6	Das MR-Diagramm	41
3.6.1	Luftentfeuchtung	42
3.6.2	Energiespeicherung	42
3.7	Abschätzung der maximalen Massenstromverhältnisse	42
3.7.1	Begrenzung durch Temperaturänderung der Salzlösung	42
3.7.2	Begrenzung durch Beladungsänderung der Salzlösung	43
3.8	Vergleich der Luftentfeuchtung und Speicherdichte der untersuchten Salzlösungen	44
4	Modelle des Sorptionsprozesses	47
4.1	Das ASR-Modell des Sorptionsprozesses	47
4.1.1	Zustandsgrößen des Sorptionsprozesses	48
4.1.2	Vereinfachende Annahmen	50
4.1.3	Stofftransport	50
4.1.4	Wärmetransport	51
4.1.5	Massenbilanz für eine Schicht	51
4.1.6	Energiebilanz für die Luft in einer Schicht	51
4.1.7	Energiebilanz für die Salzlösung in einer Schicht	52
4.1.8	Energiebilanz für das Wärmetauscherfluid in einer Schicht	53
4.1.9	Lösung des Differentialgleichungssystems	53
4.2	MRD-Modell für isotherme Absorption	54
4.2.1	Ablauf der MRD-Modellrechnung	55
4.3	SPF-Modell für adiabatische Absorption	57
4.3.1	Verfahren zur Bestimmung des Sorptionspfades	58

5	Vergleich der Modelle	61
5.1	Wann kann ein Prozeß als isotherm gelten?	61
5.2	Abbildung von idealen, adiabatischen Absorptionsprozessen mit dem SPF-Modell	64
5.3	Zusammenfassung	67
6	Luftentfeuchtung und Energiespeicherung bei Absorptionsprozessen	68
6.1	Luftentfeuchtung in verschiedenen Absorptionsprozessen	68
6.2	Speicherdichte in idealen, gekühlten Absorptionsprozessen	70
6.3	Speicherdichte in idealen, adiabatischen Absorptionsprozessen	72
6.4	Vergleich von gekühlter und adiabatischer Absorption	72
6.5	Regelung der Luftaustrittsbeladung über die Konzentration	74
6.6	Untersuchung eines mit limitiertem Wärmekapazitätenstrom gekühlten Absorptionsprozesses	76
II	Experimenteller Teil	79
7	Entwicklung von Sorptionsentfeuchtern	81
7.1	Anforderungen an den Sorptionsentfeuchter	81
7.2	Material	83
7.3	Austauschflächen	83
7.4	Soleverteiler	85
7.5	Auslegung von Sorptionsentfeuchtern	86
7.5.1	Effektiver Stoffaustauschkoeffizient	86
7.5.2	Bestimmung von Austauschkoefizienten	87
7.5.3	Erforderlicher Austauschgrad	90
7.5.4	Erforderliche Austauschfläche	91
7.5.5	Optimaler flächenspezifischer Solestrom	91
7.5.6	Abzuführende Absorptionsenthalpie	92
7.6	Aufbau des entwickelten Sorptionsentfeuchters PSR 1000	92
8	Versuchsanlage	95
8.1	Zielsetzung	95
8.2	Aufbau der Versuchsanlage	96

8.2.1	Modul 5: Umgebungssimulator	96
8.2.2	Modul 1: Sorptionsaustauscher PSR 1000	97
8.2.3	Modul 4: Solespeicher und Solefilterung	98
8.2.4	Modul 6: Kühlturm	98
8.3	Meßtechnik und Regeltechnik	100
9	Absorptionsexperimente	101
9.1	Wassermassenbilanz	101
9.2	Gekühlte Absorption	102
9.3	Ergebnisse	105
9.3.1	Luftentfeuchtung	105
9.3.2	Versuche zur Regelung der Luftentfeuchtung	106
9.4	Energiespeicherung	107
9.5	Folgerungen und Ausblick	108
10	Zusammenfassung	109
	Anhang	112
A	Physikalische Eigenschaften der untersuchten Salzlösungen	112
A.1	Untersuchte Salzlösungen	113
A.2	Verwendetes Taupunktmeßprinzip	114
A.3	Dichte	116
A.4	Löslichkeit bei Referenztemperatur 20 °C	116
A.5	Spezifische Wärmekapazität	117
B	Programmausführung des ASR-Modells	118
C	Meßtechnik und Meßfehler	121
	Nomenklatur	124
	Abkürzungen	127
	Literaturverzeichnis	133