

Sorptionsgestützte Klimatisierung

Entfeuchtung und DEC in der Klima-Kälte-Technik

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Günter Heinrich

Dr.-Ing. Uwe Franzke

Autoren:

Dr.-Ing. Uwe Franzke
(federführender Autor)

Dr.-Ing. Ulrich Arndt

Dipl.-Ing. Ralf Berger

Prof. Dr.-Ing. Günter Heinrich

Ing. Peter Iselt

Dr.-Ing. Lutz Jatzwauk

Dipl.-Ing. Gernot Pätz

Dipl.-Ing. Jürgen Roben

Dr. rer. nat. Jürgen Schenk

Dipl.-Ing. Christoph Schwärzler

Dipl.-Ing. Christian Seifert



C.F. Müller Verlag Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

Symbole, Indizees und Abkürzungen

1.	Sorptive Entfeuchtung und Entwicklungswege der Klimakältetechnik	1
1.1	Funktionen der Klimakältetechnik und Energiesparpotentiale	1
1.1.2	Trennung von „Entfeuchten“ und „Kühlen“	2
1.1.3	Wärmerückgewinnung in Luftkühl- und Klimaanlage	3
1.1.4	Trennung von „Lüften“ und „Lastabfuhr“	3
1.1.5	Gleichzeitige prozeßinterne Kälte-Wärme-Kopplung	4
1.1.6	Verdunstungskühlung und DEC	5
1.1.7	DEC-Kaskade	5
1.2	Notwendigkeit der Luftentfeuchtung	6
2.	Thermodynamische Verfahrensvergleiche	12
2.1	Sorptive Entfeuchtung im Vergleich zur Entfeuchtung mit Taupunktunterschreitung - Begriffe und Grundlagen	12
2.1.1	Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung	12
2.1.2	Sorptive Entfeuchtung	18
2.2	Abhängigkeit der Entfeuchtungsart von der Zulufttemperatur	21
2.3	Verdunstungskühlung im Vergleich zur trockenen Kühlung	26
2.4	DEC - Ein Kreisprozeß zur Kälteerzeugung	31
2.4.1	Der Kälteeffekt „Verdunstung“	31
2.4.2	Kälteerzeugung durch Energietransformation	34
2.4.3	DEC - Ein Kreisprozeß der Klimakälteerzeugung	36
2.4.4	Energetische Bewertung von DEC-Klimakälteanlagen	39
2.5	DEC-Verfahren	40
2.6	DEC-Kaskade und Kälte-Wärme-Kopplung	51
2.7	Sorptive Entfeuchtung und Kühldecken	55
2.8	Übersicht über Verfahrenskombinationen	59

3.	Komponenten	66
3.1	Sorptionsregeneratoren	66
3.1.1	Wirkungsweise der Regenerorräder	66
3.1.2	Matrixmaterial und Sorptionsmittel im Vergleich	69
3.1.3	Parameter von Sorptionsregeneratoren	74
3.1.4	Marktübersicht Sorptionsspeichermassen	76
3.1.5	Langzeitverhalten	78
3.1.6	Besonderheiten der Auslegungsberechnung	79
3.1.6.1	Numerische Berechnung	79
3.1.6.2	Rechenergebnisse und Vergleich mit Meßwerten	86
3.2	Sorptionssysteme mit flüssigen Sorptionsmitteln	90
3.2.1	Wirkungsweise der Sorptionssysteme mit flüssigen Sorptionsmitteln	93
3.2.2	Bauarten von Absorbern und Regeneratoren	95
3.2.3	Schaltungen von Flüssig-Sorptionssystemen	99
3.2.4	Flüssig-Sorptionssysteme in der Anwendung	101
3.3	Wärmeregeneratoren und -rekuperatoren	105
3.3.1	Grundlagen der Wärmerückgewinnung	105
3.3.1.1	Funktion und Verfahren	105
3.3.1.2	Thermodynamische Grundlagen und Übertragungsgrade	109
3.3.1.3	Typen der Luftzustandsänderungen bei der Wärmerückgewinnung und Darstellung im Mollier-h,x-Diagramm	111
3.3.1.4	Vergleich Wärmeregeneratoren und - rekuperatoren	118
3.3.2	Wärmeregeneratoren	120
3.3.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	120
3.3.2.2	Speichermaterialien	128
3.3.2.3	Auslegung	130
3.3.2.4	Einfrierverhalten	139
3.3.2.5	Betriebsweise	143
3.3.2.6	Einordnung in die Anlage, Schleus- und Spaltluftstrom	145
3.3.2.7	Besonderheiten der Auslegungsberechnung	149

3.3.3	Plattenrekuperatoren	151
3.3.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	152
3.3.3.2	Berechnung und Auslegung	155
3.3.3.3	Einbau und Schaltung	161
3.3.3.4	Besonderheiten der Auslegungsberechnung	161
3.3.4	Rekuperatives Kreislauf-Verbundsystem	170
3.3.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	170
3.3.4.2	Berechnung und Auslegung	174
3.3.4.3	Planungshinweise und Regelung	182
3.4	Befeuchter zur Verdunstungskühlung	184
3.4.1	Die Befeuchtungssystem	184
3.4.1.1	Vorbemerkungen	184
3.4.1.2	Sprühdüsenbefeuchter (Luftwäscher)	185
3.4.1.3	Zweistoffdüsenbefeuchter	190
3.4.1.4	Kaltdampf-Generator nach Gasser	193
3.4.1.5	Mechanische (motorische) Zerstäuber	198
3.1.4.6	Ultraschallbeleuchter	201
3.4.1.7	Verdunstungsbefeuchter	204
3.4.1.8	Hybridbefeuchter	207
3.4.2	Auswahl, Betrieb und Wartung von Befeuchtungsanlagen	209
3.4.2.1	Allgemeine Aspekte	209
3.4.2.2	Wartungsrichtlinien für Luftbefeuchtungssysteme aus der Sicht der Berufsgenossenschaften	211
3.4.3	Die Befeuchtungssystem im Vergleich	220
3.4.4	Befeuchtung und Hygiene im Raum	222
3.4.5	Wasseraufbereitung für die Verdunstungskühlung	229
3.4.5.1	Einteilung der Wässer und Grundlagen für wasserseitige Entscheidungen	229
3.4.5.2	Die Wasseranalyse und ihre fachliche Bewertung	230

3.4.5.3	Anforderungen an die Wasserqualität zur Luftbefeuchtung und Verdunstungskühlung	235
3.4.5.3.1	Wasserqualitätsanforderungen für Sprühbefeuchter (Düfenkammer, Luftwäscher)	236
3.4.5.3.2	Hinweise aus wasserchemischer Sicht zu beanspruchungsgerechten Konstruktion und zur richtigen wasserseitigen Fahrweise im offenen Befeuchtungswasserkreislauf	238
3.4.5.3.3	Wasserqualitätsanforderungen für Verdunstungsbefeuchter	240
3.4.5.3.4	Wasserqualitätsanforderungen für Scheibenbefeuchter	244
3.4.5.3.5	Wasserqualitätsanforderungen für den Kaldampfgenerator	245
3.4.5.3.6	Wasserqualitätsanforderungen für Zweistoffdüsenbefeuchter	249
3.4.5.4	Geeignete Wasseraufbereitungsverfahren für Luftbefeuchtungssysteme	250
3.4.5.4.1	Enthärtung im Neutralaustausch	251
3.4.5.4.2	Teilentsalzung durch schwachsaure Entkarbonisierung	252
3.4.5.4.3	Teilentsalzung und Vollenthärtung durch Ionenaustausch	253
3.4.5.4.4	Vollentsalzung durch Ionenaustausch (Deionisation)	254
2.4.5.4.5	Entsalzung durch Umkehrosmose (Membrantrenntechnik)	255
3.4.5.4.6	Physikalische Teilenthärtung und Teilentsalzung durch Nanofiltration (Membrantrenntechnik)	258
3.4.5.4.7	Chemikalienfreie UV-Desinfektion	259
3.4.5.4.8	Chemische Wasserbehandlung	262
3.4.5.5	Hinweise zu Reinigungstechnologien für Luftbefeuchter zur Verdunstungskühlung	264
3.4.5.6	Werkstoffseitige Hinweise	265
3.4.5.7	Vergleichende Kostenbetrachtung zur Wasseraufbereitung	267
3.4.5.8	Fragespiegel zur Problematik Wasserqualität und Wasseraufbereitung	269

4.	Ausgeführte Anlagen und Anwendungen der Verdunstungs- kühlung, der sorptiven Entfeuchtung sowie unterschiedlicher DEC-Verschaltungen	•	289
4.1	Einfache Verdunstungskühlung		289
4.2	DEC-Anlagen		293
4.3	Sorptive Entfeuchtung in Verbindung mit klassischer Kältetechnik		299
4.4	Solar sorptionsgestützte Klimatisierung		305
5.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Anlagen mit sorptiver Entfeuchtung und DEC		316
5.1	Gebäude- und Anlagensimulation		316
5.1.1	Vorgehensweise		316
5.1.2	Gebäudemodell		320
5.1.3	Modell der DEC-Anlage		324
5.1.3.1	Leistung und Grundlagen		324
5.1.3.2	Anlagenschaltung und Prozeßverlauf		325
5.1.3.3	Betriebsweise, Randbedingungen, Parameter		329
5.1.3.4	Beschreibung der Anlagenkomponenten		330
5.1.3.5	Regelbereiche		331
5.1.3.6	Eingangs- und Ausgangsgrößen		332
5.1.4	Berechnungsbeispiel		333
5.2	Beispielhafter Wirtschaftlichkeitsvergleich		336
6.	Literaturverzeichnis		344
7.	Sachwortverzeichnis		353