

Erich Henne

Luftbefeuchtung

4., völlig überarbeitete Auflage

R. Oldenbourg Verlag München Wien 1995

Inhaltsverzeichnis

1.	Weshalb Luftbefeuchtung?	1
1.1	Entwicklung.....	1
1.2	Klima und Feuchte.....	2
1.3	Heutige Situation.....	2
1.4	Luftfeuchte im Raum.....	3
1.5	Luftfeuchte und Materie.....	3
1.6	Weshalb aktive und permanente Luftbefeuchtung.....	3
1.7	Luftbefeuchtung ist ohne Frage notwendig.....	5
2.	Die Luft und ihre Eigenschaften	6
2.1	Zusammensetzung der Luft.....	6
2.1.1	Trockene Luft.....	6
2.1.2	Feuchte Luft.....	6
2.1.3	Verunreinigungen.....	7
2.1.4	Umweltverschmutzung.....	7
2.2	Psychrometrie Theorie.....	7
2.2.1	Das Daltonsche Gesetz.....	8
2.2.2	Vereinigtes Gesetz von Boyle-Mariotte-Gay-Lussac.....	8
2.2.3	Gesetz von Avogadro.....	8
2.2.4	Luft als ideales Gas.....	8
2.2.5	Absolute Feuchte.....	9
2.2.6	Relative Feuchte.....	9
2.2.7	Feuchtegehalt der Luft.....	10
2.2.8	Zustandsgleichungen feuchter Luft.....	10
2.2.8.1	Wasserdampf.....	10
2.2.8.2	Trockene Luft.....	10
2.2.8.3	Feuchte Luft.....	10
2.2.8.4	Dichte der feuchten Luft.....	10
2.2.8.5	Dichte der trockenen Luft ($q_p = 0$).....	11
2.2.9	Die spezifische Enthalpie der Luft.....	11
2.2.10	Enthalpie des Wasserdampfes.....	11
2.2.11	Enthalpie der feuchten Luft.....	12
: 3.	Angewandte Psychrometrie	13
/ 3.1	Die Hilfsmittel des Klimatechnikers.....	13
» 3.2	Die psychrometrischen Diagramme.....	13
3.2.1	Psychrometrie Chart.....	13
' 3.2.2	Mollier-h, x-Diagramm für feuchte Luft.....	13
3.2.3	Mollier-h, x-Diagramm in amerikanischer Aufzeichnungsweise ...	16

Inhaltsverzeichnis

3.2.4	Das h, x-Diagramm.....	16
3.2.5	Das Arbeiten mit dem h, x-Diagramm.....	18
3.2.5.1	Erwärmung bei x = konstant.....	18
3.2.5.2	Adiabate Abkühlung von Raumluft durch Zerstäubung.....	18
3.2.5.3	Raumluftbefeuchtung mittels Wasserdampf.....	21
3.2.5.4	Mischen feuchter Luft.....	22
3.2.5.5	Kühlen und Entfeuchten.....	24
4.	Wasser und Dampf.....	26
4.1	Einleitung.....	26
4.2	Das Wasser.....	26
4.2.1	Der Wasserkreislauf in der Natur.....	27
4.2.2	Die Härtebildner.....	27
4.2.2.1	Karbonate.....	27
4.2.2.2	Andere Salze (Nichtkarbonate).....	28
4.2.2.3	Karbonathärte + Nichtkarbonathärte = Gesamthärte.....	28
4.2.3	Die Kohlensäure.....	28
4.2.4	Der pH-Wert.....	28
4.2.5	Die Einheit °dH.....	29
4.2.5.1	Umrechnungstabelle in fremde Härtegrade.....	29
4.2.5.2	Wasser verschiedener Härtegrade.....	29
4.2.5.3	Härte des Wassers einiger Städte.....	30
4.3	Der Dampf.....	30
4.3.1	Die Probleme.....	30
4.3.2	Die verschiedenen Arten des Dampfes.....	31
4.3.2.1	Sattdampf.....	31
4.3.2.2	Überhitzter Dampf.....	31
4.3.2.3	Ungesättigter Dampf.....	32
4.3.2.4	Kondensat.....	32
4.4	Prüfung vorhandener Dampferzeugungsanlagen.....	32
4.4.1	Dampferzeugung.....	32
4.4.2	Kesselspeisewasser.....	32
4.4.2.1	Anti-Korrosionsmittel.....	32
4.4.3	Das Aktivkohlefilter.....	34
4.4.4	Der Dampfumformer.....	34
4.4.5	Dampfleitungsnetz.....	35
4.4.6	Der Dampfdruck.....	35
4.4.7	Dampf aus betriebsfremden Fernheizwerken.....	35
4.4.8	Dampferzeuger.....	36

Inhaltsverzeichnis

5.	Wasseraufbereitung	37
5.1	Einleitung.....	38
5.2	Enthärtung.....	38
5.3	Vollentsalzung.....	40
5.4	Osmose und Umkehrosmose.....	41
5.4.2	Die Osmose.....	41
5.4.3	Die Umkehrosmose.....	43
5.4.4	Auswahl der Anlage.....	44
5.4.5	Diagramm zur Bestimmung der Leitfähigkeit.....	44
5.4.6	Zusatzgeräte.....	45
5.4.6.1	Enthärter.....	45
5.4.6.2	Hochdruckpumpe.....	45
5.5	UV-Entkeimung.....	46
5.5.2	Chemische Zusätze.....	47
5.5.3	Ozon.....	48
5.5.4	Dauererprobung über 6 Monate.....	48
5.5.5	Dauerversuch über 6 Monate mit UV-Bestrahlung.....	49
6.	Hygiene	50
6.1	Die hygienische Herausforderung.....	50
6.2	Erkrankungen.....	52
6.3	Kardinalfrage ASHRAE-Wintertagung.....	53
6.3.1	Das Trinkwasser.....	53
6.3.2	Die Luft in der wir leben.....	54
6.3.3	Kritische Stellen.....	54
6.3.4	Mikroorganismen, unsere Gegner.....	55
6.4	Die Mikroorganismen - Darstellung.....	56
6.4.1	Größenverhältnisse und Dimension.....	57
6.4.2	Menschliche Belastungen durch Mikroben.....	58
6.5	Hygiene im Krankenhaus.....	59
6.5.1	Hygieniker-Tagung am 3.12.82 in Essen.....	59
6.6	Abschließende Betrachtungen.....	61
6.6.1	Status quo.....	62
7.	Dampfluftbefeuchter	64
7.1	Einleitung.....	64
7.2	Luftbefeuchter mit Eigendampf.....	65
7.2.1	Dampferzeugung mittels Elektroden.....	65
7.2.1.1	Universelle Geräte.....	65

Inhaltsverzeichnis

7.2.1.2	Verbundsysteme.....	66
7.2.1.3	Verbundsysteme - Absorptionsstrecken I.....	67
7.2.1.4	Verbundsysteme - Absorptionsstrecken II.....	70
7.2.1.5	Sonderbefeuchter mit Komfort.....	70
7.2.1.6	Mehrzylindergeräte.....	71
7.2.2	Luftbefeuchter mit Widerstandsheizung.....	74
7.2.2.1	Absorptionsstrecken - Nomogramm.....	77
7.2.2.2	Widerstandsheizung III: Zeichnung für B_n -Werte.....	78
7.2.2.3	Skizzen für Einbau der Dampfverteiler	78
7.2.3	Technik der Zukunft für das Gebäude der Zukunft.....	79
7.3	Luftbefeuchter für Netzdampf bzw. Fremddampf.....	80
7.3.1	Apparatur, Technik und Funktion.....	81
7.3.2	Dampfanschlußeinheit mit Schieberregelventil.....	81
7.3.3	Die Dampfverteilerrohre.....	82
7.3.4	Terminologie der Absorptionsstrecken.....	84
7.3.5	Absorptionsstrecken.....	85
7.3.6	Zum Thema Unterlagen für die Praxis.....	86
7.4.1	Thermodynamik des Wasserdampfes, Einleitung.....	86
8.	Wasserluftbefeuchter.....	91
8.1	Hauptgruppe.....	91
8.2	Zerstäuber.....	91
8.2.1	Die Scheibenzerstäuber und die Aerosole.....	91
8.2.1.1	Die Geräte.....	92
8.3.	Sprühdüsen-Luftbefeuchtung.....	93
8.3.1	Die Einstoffdüse.....	93
8.3.2	Die Zweistoffdüse.....	93
8.3.2.1	Wasser in Trinkqualität.....	93
8.3.2.2	Druckluft.....	94
8.3.3	Zweistoffdüse - Injektorprinzip.....	94
8.3.4	Die Zweistoffdüse als Ultraschalldüse.....	95
8.3.5	Funktion.....	95
8.4	Ultraschallbefeuchter.....	96
8.4.1	Funktion.....	96
8.4.2	Die Geräte.....	97
8.4.3	Wasseraufbereitung.....	97
8.4.4	Regelung.....	97
8.4.5	Elektroanschluß.....	97
8.4.6	Ausführung.....	97

Inhaltsverzeichnis

8.4.7	Einsatzgebiete.....	97
8.5	Verdunster.....	98
8.5.1	Einleitung.....	98
8.5.2	Wasserqualität.....	98
8.5.3	Eindickungseffekte.....	99
8.5.4	Geräte.....	99
8.6	Der Sprühdüsenluftwäscher.....	100
9.	Messen und Regeln.....	102
9.1	Messen.....	102
9.1.1	Messen der Luftfeuchte.....	102
9.2	Meßgeräte.....	102
9.2.1	Trocken- und Feuchtkugelthermometer.....	102
9.2.2	Schleuder-Psychrometer.....	102
9.2.3	Aspirations-Psychrometer nach Assmann.....	103
9.2.3.1	Lösung aus dem h, x-Diagramm.....	103
9.2.4	Thermo-Hygrometer.....	104
9.2.4.1	Stechhygrometer.....	104
9.2.4.2	Digitalthermometer.....	104
9.2.4.3	Schnell- und Präzisionsmeßgerät.....	104
9.2.4.4	Der Taupunktspiegel.....	105
9.2.4.5	Der Lithiumchlorid Feuchtemesser.....	105
9.2.5	Schreibende Geräte.....	106
9.2.5.1	Thermohygrographen.....	106
9.2.5.2	Klima-Überwachungsgerät.....	107
9.3	Regelung von Luftbefeuchtungsanlagen.....	107
9.3.1	Regelung der direkten Raumbefeuchtung.....	107
9.3.2	Beispiele.....	107
9.3.3	Zweipunktregelung.....	109
9.3.3.1	Regelschema Raumklimaanlage.....	110
9.3.4.	Auswahl zweckmäßiger Feuchteregelung.....	111
9.3.4.1	Diagramm zur Vorbestimmung der Feuchteregelung.....	111
9.3.4.2	Diagramm - Feststellung ob Zuluftbegrenzer.....	112
9.3.5	Proportional-Regler (P-Regler).....	113
9.3.6	Proportional-Integralregler(PI-Regler).....	113
9.3.7	PID-Regler.....	113
10.	Die gewerbliche Luftbefeuchtung.....	114
10.1	Die Stoffeuchte.....	114

Inhaltsverzeichnis

10.2	Gleichgewichtszustand.....	114
10.3	Papiersorten.....	114
10.3.1	Pappe.....	115
10.4	Textilien.....	115
10.5	Holz.....	117
10.6	Tabak.....	117
10.7	Lebensmittel.....	118
10.8	Sorptionskurven.....	119
10.9	Die elektrostatische Aufladung.....	120
10.9.1	Theorie.....	120
10.9.2	Abhilfe.....	120
10.9.3	Staubexplosionen.....	121
10.9.4	Auswirkungen auf den Menschen.....	121
10.10	Die Kondensation.....	122
10.11	Wirksame Abhilfe.....	122
10.12	k-Wert und Kondensation.....	123
10.13	Kondensation der Raumluft an Fenstern bei tiefen Außentemperaturen (ASHRAE-Tabelle).....	123
10.14	Beispiel.....	124
10.15	Kondensation an Glasoberflächen.....	125
10.16	Kondensation im Mauerwerk.....	126
10.17	Dampfdruckdifferenz.....	127
10.18	Sperr- und Dämmschichten.....	127
10.19	Stromanschlüsse.....	128
10.20	Montagehinweise.....	129
10.20.1	Montagegewichte.....	129
10.20.2	Wasserluftbefeuchter.....	129
10.20.3	Dampfluftbefeuchter.....	130
10.20.4	Dampfentwässerung bei starkem Kondensatanfall.....	130
10.20.5	Bild Verzug von Dampf- und Kondensatleitungen.....	131
10.21	Projektierung.....	132
10.21.1	Wasser oder Dampf?.....	132
10.21.2	Daten zur Projektierung.....	133
10.21.3	Luftzustände.....	133
10.21.4	Raumzweck.....	133
10.21.5	Stoffeuchte.....	133
10.21.6	Personen im Raum.....	133
10.21.7	Feuchtelast.....	134
10.21.8	Beispiel - Papierlagerraum.....	134

Inhaltsverzeichnis

10.22	Geräteauswahl.....	135
10.30	Punktbefeuchtung.....	136
10.31	Befeuchtung von Bühnenhäusern.....	137
10.32	Hallen in Holzkonstruktion.....	137
10.40	Häufige Fehler.....	138
11.	Service.....	140
11.1	Allgemeines.....	140
11.2	Wann beginnt der Service?.....	140
11.3	Die Servicetechniker.....	141
11.4	Fremde Service-Maßnahmen.....	142
11.4.1	Schulung des Kundenpersonals.....	142
11.5	Service als aktives Werbemittel.....	142
11.6	Fremdfirmen als Service-Konkurrenten.....	143
11.7	DIN 1946 Teil 2, Weißdruck 1993.....	144
11.8	DIN 1946 Teil 4 aus 1989.....	144
12.	Luftbefeuchtung in der Wohnung oder im kleinen Arbeitsraum.....	145
	Einleitung.....	145
12.1	Weshalb ist die Raumluft während der Heizperiode so trocken? ..	145
12.1.1	Relative und absolute Feuchte.....	146
12.2	Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf in der Luft.....	147
12.3	Lüften im Winter - die Raumluft wird trockener.....	148
12.4	Die elektrostatische Aufladung.....	150
12.5	Tiere und Pflanzen im Heim.....	151
12.6	Die Materie im Haus.....	151
12.6.1	Das Holz.....	151
12.6.2	Textilien.....	152
12.6.3	Bilder.....	152
12.6.4	Musikinstrumente.....	152
12.7	Die Luftbefeuchtungsgeräte.....	152
12.7.1	Das Messen der Luftfeuchte.....	152
12.7.2	Haarhygrometer.....	152
12.7.3	Federhygrometer.....	153
12.8	Befeuchten mit Zerstäubern.....	154
12.9	Befeuchten mit Verdunstern.....	155
12.10	Klein-Dampfluftbefeuchter.....	156
12.11	Steuerung durch Hygrostate.....	158

Inhaltsverzeichnis

12.12	Gemeinsamkeiten der Raumluftbefeuchter.....	158
13.	Gesundheit und Luftfeuchte.....	159
13.1	Einleitung.....	159
13.2	Die Zweifler unter den Mediziner.....	159
13.3	Tabelle.....	160
13.4	Der winterliche Spaziergang.....	160
13.5	Nasen-Rachenraum.....	161
13.6	Die physiologische Barriere.....	162
13.7	Infektionskrankheiten.....	162
13.8	Weiteres zum Thema Gesundheit.....	163
13.8.1	Die Augen.....	163
13.8.2	HNO-Probleme.....	163
13.9	In der Klinik.....	163
13.9.1	Hospitalismus.....	164
13.9.2	Die Schlußdesinfektion.....	164
13.10	Weicherei. Luftfeuchte ist zu empfehlen?.....	165
13.11	Kindergärten und Schulen.....	166
14.	Kirche und Orgel.....	167
14.1	Einleitung.....	167
14.2	Die Heizung.....	167
14.3	Die Sondereinflüsse.....	168
14.4	Die Orgel.....	169
14.5	Die Probleme.....	170
14.5.1	Nun die Praxis.....	170
14.5.2	Kirche und Orgel.....	171
15.	Zweckmäßige Luftzustände für Bearbeitung und Lagerung.....	173
15.1	Vorbemerkung.....	173
15.2	Tabelle B-F.....	173
15.3	Tabelle H-L.....	174
15.4	Tabelle L-M.....	175
15.5	Tabelle P-T.....	176
15.6	Tabelle T.....	177
15.7	Tabelle T+Institutionen I.....	178
15.8	Tabelle Institutionen II.....	179

Inhaltsverzeichnis

16.	Wichtige Normen und Vorschriften.....	180
16.1	Anmerkungen zur Nomenklatur.....	180
16.2	Die SI-Einheiten (Systeme international).....	180
16.3	Tabelle SI-Einheiten.....	180
16.4	Tabelle Dezimale Vielfache.....	180
16.5	Energie und Leistungseinheiten, Tabelle auf einen Blick.....	181
16.6	Tabelle SI-Einheiten und abgeleitete Einheiten.....	182
16.7	Beispiele für abgeleitete Einheiten.....	183
16.7.1	Das °Celsius (°C).....	183
16.7.2	Das Bar.....	183
16.7.3	Die SI-Einheit Kelvin (K).....	183
16.8	Die Hauptsätze der Thermodynamik.....	184
16.9	Regeln für den Projektanten.....	185
16.10	Das Maschenschutzgesetz von 1986.....	186
16.11	Das Produkthaftungsgesetz (15.12.1989).....	186
16.12	Die MAK- und BAT-Werte-Liste 1994.....	186
16.13	TRK-Werte.....	186
16.14	ARW-Werte.....	186
16.15	Normen.....	187
16.15.1	DIN 1946 Teil 2, Weißdruck 1993 (15).....	187
16.15.2	DIN 1946 Teil 4, Dez. 1989 Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern.....	189
16.15.3	VDI 3803.....	189
16.15.4	Betriebs- und Bedienungsanleitungen der Hersteller.....	189
17.	Tabellen.....	190
17.1	Tabelle - Mittlere monatliche und jährliche Feuchten der Luft....	190
17.2	Feuchte Luft.....	191
17.2.1	Dichte, Dampfdruck, Wassergehalt und Wärmehalt feuchter Luft bei 1013 mbar.....	191
17.2.2	Wasserdampfdruck p_d in feuchter Luft, $p = 1013$ mbar.....	194
17.2.3	Dichte von trockener und feuchter Luft, $p = 1013$ mbar.....	196
17.2.4	Spezifische Enthalpie h von trockener Luft und feuchter Luft in kJ/kg trockener Luft.....	197
17.2.5	Zustandsgrößen.....	198
17.3	Das griechische Alphabet.....	200

Inhaltsverzeichnis

18.	Literaturhinweise.....	.201
19.	Firmen Verzeichnis.....	.205
20.	Stichwortverzeichnis.	.207

- [1] *Recknagel-Sprenger-Hönmann*, Taschenbuch für HEIZUNG+KLIMATECHNIK, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1992/913
- [2] *Carrier, W. H.*, Psychrometrie Formulae. Transactions A.S.M.E., Vol. 33, 1911, S. 1005
- [3] *Mollier, R.*: Ein neues Diagramm für Dampfluftgemische, VDI-Zeitung 67 von 1923, S. 869/872
- [4] *Haussier, W.*, Das Mollier- i,x- Diagramm für feuchte Luft und seine technischen Anwendungen, 1960, Th. Steinkopff, Dresden
- [5] *Steimle, F.*, Ein neues i, x- Diagramm für feuchte Luft, Klimatechnik 9, Heft 11/1967, S. 37/38
- [6] *Haussier, W.*, Lufttechnische Berechnungen im Mollier- i, x- Diagramm, 1969, Verlag Theodor Steinkopff, Dresden
- [7] New Psychrometrie Chart announced at Joint ASHRAE-ASME-Meeting, ASHRAE Journal 4, No. 1/1962
- [8] DFG., Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen MAK- und BAT-Werteliste 1994, VCH Weinheim
- [9] *Scharmann, R.*, UV-Desinfektion von Luftbefeuchtern und Kühlkreisläufen
- [10] *Kanz, E.*, Hospitalismus Fibel W. Kohlhammer Verlag Stuttgart
- [11] *Grün, L. und Pitz, N.*, Zur Hygiene lüftungstechnischer Anlagen in aseptischen Bereichen des Krankenhauses, Ki Kälte- und Klimaingenieur, Karlsruhe
- [12] *Pestalozzi*, Vortrag Gesellschaft der Ärzte, 12.02.1959 in Zürich
- [13] *Fruhmann*, Münchner Med. Wochenschrift, 1979, S. 581ff
- [14] *Müller, H. E.*, Deutsche Medizinische Wochenschrift 104, 1979, S. 296ff
- [15] DIN 1946, Teil 2, Beuth Verlag, Berlin 1993
- [16] tag für tag, Mitteilungsblatt 3/1993 der Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden