

Helmut E. Feustel

Kompendium der Lüftungs- und Klimatechnik

2. Auflage 2021

cci Dialog GmbH

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Verwendete Formelzeichen und Definitionen	XXI
1 Einführung	1
2 Wetter, Witterung und Klima, Atmosphäre	3
2.1 Vom Wetter zum Klima	3
2.2 Atmosphäre	3
3 Aufgabe der Raumluftechnik	9
3.1 Einführung	9
3.2 Behaglichkeit	10
3.3 Lasten	18
3.3.1 Überblick	18
3.3.2 Thermische Lasten	26
3.3.3 Stofflasten	27
3.3.4 Drucklasten	30
4 Psychrometrie	33
4.1 Einführung	33
4.2 Grundlagen der Psychrometrie	33
4.2.1 Zustandsgleichung idealer Gase	33
4.2.2 Masse feuchter Luft	35
4.2.3 Partialdrücke	35
4.2.4 Wasserdampfgehalt	36
4.2.5 Enthalpie	39
4.2.6 Sättigungskurve	41

4.2.7	Feuchtkugeltemperatur	43
4.2.8	Taupunkt	47
4.2.9	Dichte feuchter Luft	48
4.3	Grafische Darstellung	49
4.3.1	Übersicht.....	49
4.3.2	Das Mollier-Diagramm	49
4.3.3	Das ASHRAE-Diagramm	53
4.4	Beschreibung eines Luftzustandes	56
4.4.1	Übersicht.....	56
4.4.2	Wertepaare für die Beschreibung eines Luftzustands.....	56
4.4.2.1	Trockenkugel- und Feuchtkugeltemperatur.....	56
4.4.2.2	Trockenkugel- und Taupunkttemperatur	61
4.4.2.3	Trockenkugeltemperatur und relative Feuchte	62
4.4.2.4	Trockenkugeltemperatur und Wasserdampfbeladung.....	66
4.4.2.5	Trockenkugeltemperatur und spezifische Enthalpie	67
4.4.2.6	Taupunkttemperatur und relative Feuchte	67
4.5	Zustandsänderungen feuchter Luft.....	69
4.5.1	Überblick.....	69
4.5.2	Adiabate Mischung zweier Luftmassenströme.....	69
4.5.3	Erwärmung.....	72
4.5.4	Kühlung	75
4.5.4.1	Überblick.....	75
4.5.4.2	Kühlung ohne Entfeuchtung	76
4.5.4.3	Kühlung mit Entfeuchtung	77
4.5.4.4	Kühlung mit optimierter Entfeuchtung.....	82
4.5.4.5	Kühlung mit Bypass	84
4.5.4.6	Kühlung direkt mit Kältemittel.....	88
4.5.5	Befeuchtung	89
4.5.5.1	Überblick.....	89
4.5.5.2	Adiabate Befeuchtung	89
4.5.5.3	Befeuchtung mit temperiertem Wasser	92
4.5.5.4	Dampfbefeuchtung	92

4.5.6	Wärmerückgewinnung	94
4.5.6.1	Überblick.....	94
4.5.6.2	Regenerative Wärmerückgewinner	96
4.5.6.3	Rekuperative Wärmerückgewinner	98
4.5.7	Entfeuchtung ohne Oberflächenkühlung	99
5	Lüftungs- und Klimaanlage	103
5.1	Überblick	103
5.2	Varianten von RLT-Anlagen	106
5.2.1	Überblick.....	106
5.2.2	Nur-Luft-Anlagen.....	106
5.2.3	Luft-Wasser-Anlagen	110
5.2.4	Nur-Wasser-Anlagen	113
5.3	Neuordnung der Lüftungsnormen	113
5.4	Bezeichnung der Luftvolumenströme	118
5.5	Luftvolumenströme im Zentralgerät	120
5.6	Dimensionierung von RLT-Anlagen	121
5.6.1	Berechnung der Luftströme	121
5.6.1.1	Überblick.....	121
5.6.1.2	Zuluftvolumenstrom (SUP)	122
5.6.1.3	Qualität der Außenluft und der Zuluft	128
5.6.1.4	Auslegung des Außenluftvolumenstroms	132
5.6.1.5	Abluftqualität.....	140
5.6.2	Außenluftauslegungszustand	141
5.6.2.1	Überblick.....	141
5.6.2.2	Winterfall.....	142
5.6.2.3	Sommerfall	142
5.6.2.4	Auslegung nach Test-Referenzjahren	150
5.6.2.5	Außenluftkonditionierung für den Sommerfall.....	151
5.6.3	Anlagenkomponenten.....	156
5.6.3.1	Ventilator.....	156
5.6.3.2	Heiz- und Kühlregister	175
5.6.3.3	Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung.....	184

5.6.3.4	Sprüh- und Verdunstungsbefeuchter	197
5.6.3.5	Dampfbefeuchter	200
5.6.3.6	Luftleitungen	202
5.6.3.7	Zuluftdurchlässe	210
5.6.3.8	Abluftdurchlässe	217
5.6.3.9	Außenluftansaugung und Fortluftauslass	217
5.6.3.10	Volumenstromregler	219
5.6.3.11	Brandschutzklappen	221
5.6.3.12	Luftfilter	224
5.6.4	Anlagenersatz	232
5.7	Sorptionsgestützte Klimatisierung	233
5.7.1	Überblick	233
5.7.2	Trockene Sorptionsentfeuchtung	233
5.7.3	Flüssige Sorptionsentfeuchtung	240
6	Zustandsänderung im Zentralgerät	245
6.1	Überblick	245
6.2	Zentralgerät mit adiabatem Sprühbefeuchter	246
6.2.1	Anlagenschema	246
6.2.2	Beispiel Winterfall	247
6.2.3	Beispiel Sommerfall	253
6.2.4	Erkenntnisse	257
6.3	Zentralgerät mit direkter und indirekter adiabater Befeuchtung und Wärmerückgewinnung für den Standort Mannheim	259
6.3.1	Anlagenschema	259
6.3.2	Beispiel Winterfall	259
6.3.3	Beispiel Winterfall mit Kondensationsrotor	269
6.3.4	Beispiel Sommerfall	273
6.4	Zentralgerät mit adiabater Befeuchtung und Wärmerückgewinnung	281
6.4.1	Anlagenschema	281
6.4.2	Beispiel Sommerfall	281

6.5	Zentralgerät mit Dampfbefeuchtung und Wärmerückgewinnung	289
6.5.1	Anlagenschema	289
6.5.2	Beispiel Sommerfall	289
7	Einsparpotenzial bei RLT-Anlagen	297
7.1	Überblick	297
7.2	Druckverluste im Zentralgerät	302
7.3	Medienversorgung des Wärmeübertragers	307
7.4	Dezentrale Luftförderung	309
7.5	Reduktion der Luftvolumenströme	311
7.5.1	Überblick	311
7.5.2	Demand-Controlled Ventilation	311
7.5.3	Erhöhung der Über- beziehungsweise Untertemperatur	313
7.5.4	Instationäre Lüftung	314
7.6	Einsparmöglichkeiten durch Einsatz von regenerativen Energien	315
7.6.1	Überblick	315
7.6.2	Adiabate Kühlung	316
7.6.3	Freie Kühlung	318
7.6.3.1	Überblick	318
7.6.3.2	Nachtkühlung	318
7.6.3.3	Indirekte freie Kühlung	322
7.6.3.4	Erdwärmetauscher	322
7.7	Einsparpotenziale für ausgewählte Technologien	323
7.7.1	Überblick	323
7.7.2	OpDeCoLo	323
7.7.3	DeCoSuLo	323
7.8	Abkehr von der Nur-Luft-Anlage	331
7.8.1	Einführung	331
7.8.2	Flächenkonditionierung	331

8	Geschwindigkeitsprofile von Zu- und Abluftströmen	337
8.1	Einführung	337
8.2	Frei- und Wandstrahlen.....	337
8.2.1	Überblick.....	337
8.2.2	Isothermer, runder Freistrahл	338
8.2.3	Anisothermer, runder Freistrahл.....	342
8.2.4	Ebener Freistrahл	348
8.2.5	Ebener Wandstrahl.....	349
8.2.6	Empirische Berechnungsansätze für Zuluftstrahlen.....	350
8.2.7	Regelung von anisothermen Freistrahlen.....	351
8.3	Abluftströme.....	354
8.3.1	Überblick.....	354
8.3.2	Geschwindigkeitsprofil an einer runden Saugöffnung	354
8.4	Fazit.....	356
9	Anwendungsbeispiele der Lufttechnik.....	357
9.1	Überblick.....	357
9.2	Freie Lüftungssysteme	357
9.2.1	Einführung.....	357
9.2.2	Windkräfte.....	357
9.2.3	Thermischer Auftrieb	362
9.2.4	Luftströme durch Öffnungen	364
9.2.5	Bestimmung der Luftstromverteilung im Gebäude.....	369
9.2.5.1	Einführung.....	369
9.2.5.2	Vereinfachtes Modell	369
9.2.5.3	Netzwerkmodelle	369
9.2.6	Lüftungsmöglichkeit freier Lüftungssysteme	370
9.3	Raumlufttechnische Anlagen zur Erfassung von Stofflasten	371
9.3.1	Einführung.....	371

9.3.2	Erfassung von Thermikluftströmen	372
9.3.2.1	Einführung.....	372
9.3.2.2	Küchenlüftung.....	372
9.3.3	Kontrolle von Feuchtigkeit in Hallenschwimmbädern.....	396
9.3.3.1	Einführung.....	396
9.3.3.2	Randbedingungen	396
9.3.3.3	Luftmassenstrombemessung	398
9.3.3.4	Sonstiges	402
9.3.4	Klimatisierung von Museen	404
9.3.4.1	Einführung.....	404
9.3.4.2	Anforderungen	404
9.3.4.3	Randbedingungen	406
9.3.4.4	Anlagentechnik	407
9.3.4.5	Analyse von lüftungsbezogenen Risiken	408
9.3.4.6	Anforderungen an die Raumluftbeschaffenheit.....	408
9.3.5	Auslegung von Lüftungsanlagen zum Schutz vor Corona-Infektionen	409
9.3.5.1	Einführung.....	409
9.3.5.2	Bestehende zentrale Lüftungs- und Klimaanlageen	410
9.3.5.3	Lüftungstechnische Prüfung bestehender Räume zum Infektionsschutz.....	412
9.3.5.4	Betrieb von Sekundärluftreinigern.....	420
10	Anhang	427
10.1	Normen, Richtlinien sowie Gesetze und Verordnungen der Raumlufttechnik (Auszug)	427
	DIN-Normen.....	427
	VDI-Richtlinien	434
	VDMA-Richtlinien	438
	Bundesweit gültige Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sowie Musterordnungen.....	438
10.2	Umrechnungstabellen.....	440
10.3	Stoffwerte	443
10.4	Ähnlichkeitszahlen	444
10.5	Glossar	445

10.6 Gleichungen mit „alten“ Formelzeichen	451
Zu Kapitel 1: Einführung.....	451
Zu Kapitel 2: Wetter, Witterung und Klima, Atmosphäre.....	451
Zu Kapitel 3: Aufgabe der Raumluftechnik.....	451
Zu Kapitel 4: Psychrometrie	452
Zu Kapitel 5: Lüftungs- und Klimaanlage.....	459
Zu Kapitel 6: Zustandsänderung im Zentralgerät.....	462
Kapitel 6.2.2.....	462
Kapitel 6.2.3.....	463
Kapitel 6.3.2.....	463
Kapitel 6.3.3.....	465
Kapitel 6.3.4.....	466
Kapitel 6.4.2.....	468
Kapitel 6.5.2.....	469
Zu Kapitel 7: Einsparpotenzial bei RLT-Anlagen.....	469
Zu Kapitel 8: Geschwindigkeitsprofile von Zu- und Abluftströmen	470
Zu Kapitel 9: Anwendungsbeispiel der Lufttechnik	472
Literaturhinweise	475
Abbildungsverzeichnis	497
Stichwortverzeichnis	501