

**Arbeitskreis der Dozenten
für Klimatechnik**

Handbuch der Klimatechnik

Band 1: Grundlagen



**Verlag C. F. Müller GmbH
Karlsruhe**

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort	XIII
Geleitwort	XV

1. Einführung

1.1	Klima, Außenklima, Raumklima	1
1.2	Aufgaben der Klimatechnik (Raumluftechnik).	1
1.3	Entwicklung der Klimatechnik.	2
1.4	Normen und Richtlinien, Literatur, Anschriften.	4

2. Meteorologische Grundlagen

2.1	Einleitung	17
2.2	Die Atmosphäre.	18
2.3	Wetterentstehung und Klimazonen.	20
2.4	Sonnenstrahlung.	23
2.4.1	Spektrum und Energiebilanz.	23
2.4.2	Strahlungsenergie in Bodennähe.	26
2.4.3	Besonnung im Jahresablauf.	31
2.5	Lufttemperatur.	37
2.5.1	Allgemeines.	37
2.5.2	Temperaturverlauf und Lastrechnung.	39
2.5.3	Abweichende Temperaturwerte.	43
2.5.3.1	Höheneinfluß	43
2.5.3.2	Einfluß der Bebauung	43
2.5.3.3	Andere Klimazonen.	44
2.6	Luftfeuchte.	45
2.6.1	Entstehung und Verlauf der Luftfeuchte.	45
2.6.2	Häufigkeit der Luftfeuchte.	47
2.7	Luftdruck und Luftdichte.	52
2.8	Wind.	54
2.9	Atmosphärische Elektrizität.	57

3. Physiologische Grundlagen

3.1	Einführung	61
3.2	Wärmehaushalt des Menschen.	62
3.2.1	Energiestoffwechsel.	63
3.2.2	Regelung der Körpertemperatur.	63
3.2.3	Wärmeproduktion.	65
3.2.4	Wärmeabgabe.	66
3.2.5	Bekleidung	72
3.3	Raumklima und Behaglichkeit.	73
3.3.1	Der menschliche Temperatursinn.	73
3.3.2	Behaglichkeit.	74
3.3.3	Einflußgrößen auf die Behaglichkeit	76
3.3.3.1	Raumlufttemperatur.	78
3.3.3.2	Temperatur der Raumumschließungsflächen.	80
3.3.3.3	Luftgeschwindigkeit.	84

	Seite
3.3.3.4	Luftfeuchte 87
3.3.4	Meßverfahren 89
3.4	Qualitativer und quantitativer Luftbedarf des Menschen 91
3.4.1	Atmung 92
3.4.2	Luftbedarf und Mindestaußenluftvolumenstrom 93
3.4.3	Verunreinigungen der Raumluft durch Gas, Dämpfe, Stäube und Mikroorganismen 96
3.5	Sonstige raumklimatische Einflußgrößen wie Geräusche, Beleuchtung und elektrische Einflüsse 101
4.	Die Gesetze der feuchten Luft und ihre Anwendung
4.1	Einleitung 106
4.2	Die Zustandsgrößen feuchter Luft 106
4.3	Das h, x -Diagramm für feuchte Luft nach <i>Mollier</i> 113
4.4	Der Massenerhaltungssatz und der 1. Hauptsatz der Thermodynamik in der Raumlufttechnik 116
4.4.1	Massenerhaltungssatz 116
4.4.2	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme 116
4.5	Die Verdunstung 117
4.5.1	Das t, x -Diagramm nach <i>Carrier</i> 121
4.6	Zustandsänderungen feuchter Luft in den Geräten raumluft- technischer Anlagen 122
4.6.1	Die Mischkammer. 122
4.6.2	Der Erhitzer. 124
4.6.3	Der Ventilator. 126
4.6.4	Der Oberflächenkühler. 127
4.6.5	Der Dampfbefeuchter. 130
4.6.6	Düsenbefeuchter. 132
5.	Strömungen im Luftkanal (Luftleitung)
5.1	Einführung 137
5.2	Reibungsfreie Strömung 138
5.2.1	Kontinuitätsgleichung 138
5.2.2	<i>Bernoullische</i> Gleichung 139
5.2.3	Gesamtdruck, dynamischer Druck, statischer Druck 141
5.2.4	Impulssatz 144
5.3	Reibungsbehaftete Strömung 147
5.3.1	Viskosität 147
5.3.2	Laminare Strömung 149
5.3.3	Turbulente Strömung 150
5.3.4	Umschlag laminar-turbulent 152
5.3.5	Ähnlichkeitsgesetz von <i>Reynolds</i> 153
5.3.6	Einlaufvorgang und Grenzschichtausbildung 155
5.3.7	Turbulenzgrad 157
5.4	Strömungswiderstand in geraden Rohren 158
5.4.1	Rohrreibungszahl X bei laminarer Strömung 158

5.4.2	Rohrreibungszahl X bei turbulenter Strömung	159
5.4.3	Mittlere Rauheitshöhe K	161
5.4.4	Hydraulischer Durchmesser	162
5.4.5	Gleichwertiger Durchmesser	163
5.5	Einzelwiderstände	165
5.5.1	Querschnittserweiterung (Diffusor)	166
5.5.2	Querschnittsverengung	171
5.5.3	Richtungsänderung (Krümmer, Knie)	173
5.5.4	Verzweigung	176
5.6	Druckverlauf im Luftkanal	177
5.6.1	Reibungsfreie Strömung	177
5.6.2	Strömung mit Reibung	179
5.6.3	Meßtechnische Anwendungen	181
6.	Luftströmung im Raum	
6.0	Einführung	185
6.1	Die Raumströmung - ein eigenständiger Bereich der Strömungstechnik	186
6.2	Der <i>turbuchate</i> Raumströmungszustand	186
6.2.1	Definition der Raumströmung	187
6.2.2	Definition der Verdrängungsströmung	187
6.2.3	Physikalische Unterschiede zwischen Raum- und Verdrängungsströmung	187
6.3	Die Kate-Gesetze	189
6.3.1	Grundbetrachtungen zu den Raumströmungsgesetzen	190
6.4	Luftstrahlen	192
6.4.1	Die Wirkung der Turbulenz auf Strahlen	192
6.4.2	Der runde Freistrahel	194
6.4.3	Strahlen aus rechteckigen Öffnungen	198
6.4.4	Strahlen an ebener Wand	200
6.4.5	Die Archimedeszahl	200
6.4.6	Der nichtisotherme Strahl	202
6.5	Der <i>Coanda-Effekt</i>	205
6.5.1	Das Erscheinungsbild	206
6.5.2	Untersuchungen zum <i>Coanda-Effekt</i> an Flächen	208
6.5.3	Untersuchungen zum <i>Coanda-Effekt</i> zwischen Fluiden	216
6.5.3.1	Ausströmen aus Öffnungen	216
6.5.3.2	Benachbarte Strömungen im Raum	217
6.5.3.3	Verhalten bei mehreren Öffnungen bzw. Strahlen	218
6.6	Senken	219
6.7	Reinraumströmung	221
6.7.1	Gerichtete turbulente Verdrängungsströmung	221
6.7.2	Reinraumströmung mit Strahlen, neue Untersuchungen	224
6.7.3	Wirkungen von Abluftöffnungen	226
6.8	Die turbuchate Raumströmung	227
6.8.1	Zuluft und Abluft	227
6.8.2	Zusammenwirken von Zu- und Abluft	227

6.8.3	Die im Raum strömende Luft	228
6.9	Energiebetrachtungen.	229
6.9.1	Energiebetrachtungen bei isothermen Verhältnissen.	229
6.9.2	Energiebetrachtungen bei nichtisothermen Verhältnissen.	230
6.9.3	Luftwechszahl.	232
6.9.4	Quellüftung	234
6.9.4.1	Grundbetrachtung.	234
6.9.4.2	Physikalische Grundlagen.	234
6.9.4.3	Funktionsvoraussetzungen.	235
6.9.4.4	Das Erscheinungsbild.	235
6.9.4.5	Berechnung.	238
6.9.5	Luftkurzschluß.	239
6.10	Das Strömungsbild im Raum.	240
6.10.1	Einflußgrößen	240
6.10.2	Hindernisse im Strahl.	240
6.10.3	Strahlumkehr, Wurfweite, Eindringtiefe und Lauflänge.	241
6.10.4	Typische Strömungsbilder.	244
6.10.5	Über- und Unterdruck im Raum.	253
6.10.6	Tertiär- (Quer-) Strömungen, chaotische Strömungen.	254
6.10.7	Zusammenwirken verschiedener Luftführungssysteme.	257
6.11	Luftgeschwindigkeiten im Raum.	258
6.12	Strömung in stark verstellten Räumen.	260/2
6.13	Zusammenfassung.	260/4

7. Grundlagen der angewandten Akustik

7.1	Allgemeines.	261
7.2	Physikalische Grundlagen des Schalls.	262
7.2.1	Schalldruckpegel.	263
7.2.2	Schalleistungspegel.	265
7.2.3	Schallpegeladdition.	268
7.2.4	Geräuschanalyse.	271
7.2.4.1	Oktavband.	272
7.2.4.2	Terzband.	273
7.3	Lautstärke.	276
7.3.1	Lautstärkemesser.	277
7.3.2	Grenzkurven.	280
7.3.3	Zulässige Lautstärke.	283
7.3.4	Ausschreibungs- und Gerätedaten.	287
7.3.5	Bewerteter Schalleistungspegel.	287
7.4	Raumakustik.	288
7.4.1	Wellentheoretische Raumakustik.	288
7.4.2	Geometrische Raumakustik.	289
7.4.3	Statistische Raumakustik.	290
7.4.3.1	Absorptionsfläche.	290
7.4.3.2	Nachhallzeit.	290
7.4.3.3	Schallpegelminderung im Raum.	292
7.5	Schalldämmung.	297

	Seite	
7.5.1	Begriffe und Definitionen nach <i>DIN 4109</i>	298
7.5.1.1	Luftschalldämmung	298
7.5.1.2	Schalldämm-Maß	298
7.5.1.3	Bewertetes Schalldämm-Maß	300
7.5.1.4	Normschallpegeldifferenz	307
7.5.2	Schachtpegeldifferenz	308
7.5.3	Schallabstrahlung und Schalleinstrahlung über Kanalwände.	308
7.5.4	Schalldämmmaß Wickelfalzrohr	311
7.5.4.1	Schallabstrahlung von innen nach außen	311
7.5.5	Schalldämmmaß Rechteckkanal	313
7.5.5.1	Schallrichtung von innen nach außen	313
7.5.5.2	Schallrichtung von außen nach innen	314
7.6	Schlußwort	315
8.	Grundlagen der Wärmeübertragung	
8.1	Wärmestrahlung	319
8.1.1	<i>Stefan-Boltzmannsches</i> Gesetz	319
8.1.2	<i>Kirchhoffsches</i> Gesetz	319
8.1.3	<i>Plancksches</i> Strahlungsgesetz	320
8.1.4	Wunsches Verschiebungsgesetz	321
8.1.5	<i>Lambertsches</i> Kosinusetz	322
8.1.6	Einstrahlzahl	322
8.2	Strahlungsaustausch	327
8.2.1	Hohlraummethode	327
8.2.2	Umhüllung einer Fläche durch eine andere	328
8.2.3	Zwei große, parallele Flächen	329
8.2.4	Matrizendarstellung	330
8.3	Stationäre eindimensionale Wärmeleitung	333
8.3.1	Ebene Wand	334
8.3.2	Rohrwand	334
8.4	Instationäre eindimensionale Wärmeleitung	335
8.4.1	Ebene einschichtige Wand	336
8.4.2	Halbunendlicher Körper	339
8.4.3	Kontakttemperatur	341
8.5	Konvektion	342
8.5.1	Wärmeübergangskoeffizient	342
8.5.2	Ähnlichkeitstheorie	344
8.5.3	<i>Reynolds-Analogie</i>	347
8.5.4	<i>Prandtl-Analogie</i>	349
8.5.5	Potenzansätze für die turbulente Rohrströmung	352
8.6	Wärmedurchgang	356
8.6.1	Wärmedurchgangskoeffizient	356
8.6.2	Rippenwirkungsgrad und Flächenwirkungsgrad	357
8.6.3	Mittlere Temperaturdifferenz	358
8.6.4	Betriebscharakteristik	359
8.7	Berippte Wärmeübertragungsflächen	360
8.7.1	Gerade Rippe mit Rechteckquerschnitt	360

	Seite	
8.7.2	Gerade Rippe mit Dreieckquerschnitt	361
8.7.3	Gerade Rippe mit Trapezquerschnitt	361
8.7.4	Kreisförmige Rippe mit Rechteckquerschnitt	362
8.7.5	Rechteckige Rippe	363
8.7.6	Sechseckige Rippe	364
8.8	Trennwandwärmeübertrager	364
8.8.1	Gleichstrom	364
8.8.2	Gegenstrom	365
8.8.3	Kreuzstrom	367
8.8.4	Wärmeübertragung mit Phasenübergang	368
9.	Bauphysik	371
9.1	Bauphysik und Klimatechnik	372
9.2	Wärmeübergang durch Strahlung in Gebäuden	373
9.3	Wärmeübergang durch Konvektion an Bauteiloberflächen	375
9.4	Wärmeübertragung durch Leitung in Bauteilen	378
9.5	Wärmebrücken	383
9.6	Wasserdampfdiffusion	390
	Ermittlung des Tauwasseranfalls für klimatisierte Räume	401
9.7	Anforderung an den Wärmeschutz im Winter	406
9.8	Wärmedurchgang durch Fenster und Wärmeschutz im Sommer	408
9.8.1	Wärmeschutz im Sommer	411
9.9	Praktische Feuchtegehalte von Baustoffen	432
10.	Grundlagen der Kältetechnik	
10.1	Einführung	443
10.2	Offene thermodynamische Verfahren der Kälteerzeugung	443
10.2.1	Verdunstungskühlung	443
10.2.2	Gespeicherte Kälte	448
10.2.3	Kältemischungen	453
10.3	Geschlossene thermodynamische Verfahren der Kälteerzeugung mit verdampfenden und kondensierenden Kältemitteln	454
10.3.1	Phasendiagramm und Phasenwechsel	454
10.3.2	Sicherheitskältemittel in der Klimatechnik	456
10.3.3	Caraof-Prozesse im T,s-Diagramm	459
10.3.4	Gütegrade und Leistungsgrade der <i>Carnot-Prozesse</i>	461
10.3.5	Kompressor-Kälteprozeß	464
10.3.6	Strahl-Kälteprozeß	467
10.3.7	Absorptions-Kälteprozeß	471
10.4	Geschlossene thermodynamische Verfahren der Kälteerzeugung mit gasförmigen Kältemitteln	476
10.4.1	Expansion von Gasen unter Abgabe technischer Arbeit	476
10.4.2	Drosselung von Gasen mit innerem Wärmeaustausch im Gegenstromapparat	485
10.5	Elektrothermische Kälteerzeugung	487
10.5.1	<i>Peltier-Element</i>	488

11.	Staubabscheidung und Luftfilterung	
11.1	Überblick	493
11.2	Staub und sein Verhalten	495
11.2.1	Grundbegriffe und Erläuterungen	495
11.2.2	Feinheitsbestimmung und Darstellung	496
11.2.3	Fallgesetz von Staubteilchen	499
11.3	Staubabscheidung im Luftfilter.	501
11.3.1	Abscheidung an einer Einzelfaser.	502
11.3.2	Abscheidegrad des Faserfilters.	504
11.4	Filterprüfung	506
11.4.1	Anforderungen an ein Prüfverfahren für Luftfilter.	506
11.4.2	Luftfilterprüfung nach <i>DIN24185 Teill.</i>	507
11.4.3	Filterklasseneinteilung nach <i>DIN24185 Teil2.</i>	510
11.5	Staubabscheidung im Elektro-Luftfilter.	510
11.6	Gasabsorptionsfilter.	512
11.7	Staubabscheidung im Zyklon	514
11.7.1	Strömungsverhältnisse und Wirkungsweise.	514
11.7.2	Berechnung der Abscheideleistung.	515
11.7.3	Berechnung von Umfangsgeschwindigkeit, Gütebeiwert und Druckverlust	517
11.7.4	Fraktionsabscheidegrad-Kurven	521
11.7.5	Rechenbeispiel zur Luftentstaubung in einem Zyklon.	521
12.	Tafeln für Wasserdampf und feuchte Luft	525
	Glossar	531
	Sachregister.	549

**Arbeitskreis der Dozenten
für Klimatechnik**

Handbuch der Klimatechnik

Band 2: Berechnung und Regelung

3. Auflage

r

**Verlag CF-Müller GmbH
Karlsruhe**

Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorwort	XIII
Geleitwort	XV
1. Kühl- und Heizlastberechnung	
1.1 Begriffe der Kühl- und Heizlastberechnung	2
1.1.1 Trockene und feuchte Last, sensible und latente Last	3
1.1.2 Innere und äußere Last	10
1.1.3 Kühl- und Heizlast, Entfeuchtungs- und Befeuchtungslast	11
1.1.4 Lasten und Luftzustand	13
1.1.5 Das Speicherverhalten des Raumes	13
1.2 Innere Lasten	14
1.2.1 Personen	14
1.2.2 Beleuchtung	15
1.2.3 Maschinen, Anlagen, Produktionsprozesse	17
1.2.3.1 Motoren	17
1.2.3.2 Apparate, Anlagen	18
1.2.3.3 Offene Wasserflächen	19
1.2.3.4 Stoffdurchsatz durch den Raum	21
1.2.4 Wärmeaustausch mit Nebenräumen und dem Erdreich	23
1.3 Die äußere Last bei Wärmezufuhr an den Raum	23
1.3.1 Die Berechnung des Wärmedurchgangs durch verglaste Außenflächen	24
1.3.1.1 Berechnungsverfahren für den Wärmeeinfall durch Strahlung für Räume mit Speicherwirkung	24
1.3.1.2 Berechnungsverfahren für den Wärmeeinfall durch Strahlung für Räume ohne Speicherwirkung	29
1.3.1.3 Die Berechnung der Transmission durch verglaste Außenflächen	32
1.3.2 Beschattung von verglasten Außenflächen	33
1.3.3 Die Berechnung des Wärmedurchgangs durch speichernde Wandelemente	37
1.4 Die äußere Last bei Wärmeabgabe an die Umgebung	40
1.5 Ergebnisse der Kühl- und Heizlastberechnung	41
1.6 Ablauf Schema einer Kühl- und Heizlastberechnung	42
2. Zuluftstromermittlung	
2.1 Zuluft-allgemein	59
2.2 Aufgaben der Zuluft	60
2.3 Ermittlung von Zuluftstrom und Luftzustand auf Grund der Lasten	60
2.3.1 Graphische Ermittlung	61
2.3.2 Rechnerische Ermittlung bei trockener und feuchter Last	63
2.3.2.1 Rechnerische Ermittlung bei trockener Last	65
2.3.2.2 Rechnerische Ermittlung bei feuchter Last	65
2.3.3 Ermittlung bei Kühllast	66
2.3.3.1 Ermittlung bei trockener Kühllast	68

	Seite
2.3.4	Ermittlung bei Heizlast 72
2.3.4.1	Ermittlung bei trockener Heizlast 72
2.3.5	Ermittlung bei Ent- und Befeuchtungslast 74
2.3.6	Zuluftstromermittlung bei Verdrängungslüftung 76
2.4	Außenluftbedarf 77
2.4.1	Schadstoffe, MAK-Wert Liste 77
2.4.2	Außenluftstromermittlung nach dem MAK-Wert 80
2.4.3	Schadstoffkonzentration vor Eintritt des Beharrungs- zustandes 82
2.4.4	Außenluftbedarf für Aufenthaltsräume, Pettenkofer-Maßstab 85
2.4.5	Mindestaußenluftstrom 86
2.5	Luftwechselzahl 88
3.	Klimasysteme
3.1	Überblick 91
3.1.1	Allgemeiner Aufbau einer Klimaanlage mit Luftwäscher 93
3.1.2	Allgemeiner Aufbau einer Klimaanlage mit Dampfbefeuchter 95
3.2	Nur-Luft-Anlagen %
3.2.1	Niedergeschwindigkeitsanlagen 97
3.2.1.1	Einfache Niedergeschwindigkeitsanlagen 97
3.2.1.2	Zonenanlagen 99
3.2.2	Hochgeschwindigkeitsanlagen 100
3.2.2.1	Einkanalanlagen 100
3.2.2.2	Zweikanalanlagen 101
3.2.2.2.1	Mischkasten 102
3.2.2.2.2	Außentemperaturabhängige Steuerung der Warm- und Kaltluft 103
3.2.2.2.3	Beispiele des Aufbaus von Zweikanalanlagen 105
3.3	Wasser-Luft-Anlagen, Anlagen mit Induktionsgeräten 107
3.3.1	Induktionsgeräte 109
3.3.2	Systeme 112
3.4	Anlagen mit Energierückgewinnung 115
3.4.1	Anlagen mit rekuperativen Wärmeübertragern 115
3.4.2	Anlagen mit regenerativen Wärmeübertragern 118
3.4.3	Anlagen mit Energierückgewinnung über ein Zwischenmedium 120
3.4.4	Klimaanlagen mit Wärmepumpen 121
3.5	Variable Volumenstromsysteme (WS) 123
3.5.1	Änderung des Volumenstromes 123
3.5.2	Anlagenkonzeptionen 124
3.5.2.1	Temperaturabhängige Volumenstromregelung 124
3.5.2.2	Druckabhängige Volumenstromregelung 127
3.6	Wahl der Klimasysteme 130
3.7	Berechnungsbeispiele 132
3.7.1	Einfache Niedergeschwindigkeitsanlage 133
3.7.2	Zweikanalanlage 141
3.7.3	Anlage mit Induktionsgeräten 144

4.	Kanalnetzberechnung	
4.1	Verhalten von Kanalsystemen	150
4.1.1	Notwendigkeit der Kanalnetzberechnung	150
4.1.2	Begriffe	150
4.1.3	Betriebsverhalten von Kanalnetzen	153
4.2	Berechnung von Gesamtdruckverlusten	158
4.2.1	Ermittlung der Rohrreibung	158
4.2.2	Hydraulischer und gleichwertiger Durchmesser	159
4.2.3	Einzelwiderstände	160
4.2.3.1	Ausströmen aus einem Raum durch eine Öffnung in einen anderen Raum	160
4.2.3.2	Einzelwiderstände in Lüftungsgittern	162
4.2.3.3	Einzelwiderstände mit Ablenkung des Fluidstrahls (Richtungs- änderungen)	162
4.2.3.4	Abzweigung und Vereinigung von Kanälen	163
4.2.3.5	Kombinierte Einzelwiderstände	165
4.3	Berechnung von Kanalnetzen	166
4.3.1	Zuluftkanäle	166
4.3.2	Abluftkanäle	167
4.3.3	Erforderliche Hilfsmittel	168
4.3.4	Rechengang bei vorgegebenen Volumenströmen	169
4.3.5	Rechengang bei vorgegebener Gesamtdruckdifferenz	173
4.4	Sonderfälle	177
4.4.1	Methode des statischen Druckrückgewinns	177
4.4.2	Verwendung von Computern bei der Zuluftkanalnetzberechnung	177
4.4.2.1	Berechnungsprinzip	177
4.4.2.2	Verluste	178
4.4.2.3	Hauptgleichung	178
4.4.2.4	Bestimmungsgleichungen	179
4.4.2.5	Gesamtdruckverlust und Leistungsbedarf	180
4.4.2.6	Programm	180
4.5	Luftaustritt aus Kanälen	195
4.6	Änderung der Volumenstromverhältnisse	196
4.7	Überdruck und Unterdruck im Raum	197
4.8	Thermischer Auf- und Abtrieb	200
4.9	Unzulässige Berechnungsmethoden	201
4.10	Einregulierung von Luftkanalnetzen	202
4.11	Überschlägige Berechnung von Kanalnetzen	203
4.12	Mischung	203
4.13	Zusammenfassung	204
5.	Luftaus- und -einlasse, Klimadecken und Klimaleuchten	
5.1	Einleitung	208
5.2	Strahlen aus Luftauslässen	208
5.2.1	Druckverluste in Luftauslässen	208
5.2.2	Die Eindringtiefe von Strahlen	210

	Seite	
5.2.2.1	Einfluß der Geschwindigkeitserhöhung auf die Eindringtiefe	218
5.3	Berechnung der Austrittsstrahlen	218
5.4	Wandauslässe	226
5.5	Deckenauslässe	226
5.6	Klimadecken	230
5.6.1	Allgemeines	230
5.6.2	Klimadecken mit festen Zuluftöffnungen	231
5.6.2.1	Temperaturabbau im Strahl	233
5.6.2.2	Einfluß der Deckenöffnungen auf das Strömungsverhalten	235
5.6.2.3	Gestaltung der Eintrittsöffnungen	239
5.6.2.4	Volumenstromregelung	240
5.6.2.5	Loch-und Schlitzdecken	240
5.6.2.6	„Dicke“ und „dünne“ Klimadecken	242
5.6.2.7	Schlitzabstand	243
5.6.2.8	Schlitzbreite	244
5.6.2.9	Material-und Fertigungseinflüsse auf die Raumströmung	245
5.6.3	Klimadecken mit verstellbaren Zuluftöffnungen	246
5.6.3.1	Einflüsse auf die Strahlrichtung	247
5.6.3.2	Einflüsse auf das Strömungsbild im Raum	249
5.6.4	Druckverluste in Klimadecken	253
5.7	Klimaleuchten	255
5.7.1	Zuluftleuchten	255
5.7.2	Abluftleuchten	256
5.7.3	Kombinierte Leuchten	258
5.7.4	Druckverluste in Klimaleuchten	258
5.7.5	Akustisches Verhalten von Klimaleuchten	259
5.8	Fußbodenauslässe	259
5.9	Luftauslässe an Geräten	260
5.9.1	Geräte mit Ventilatorantrieb	260
5.9.2	Geräte mit Naturantrieb	260
5.10	Ablufteinlässe	262
5.11	Absaugehauben	262
5.12	Druckkanäle	262
5.12.1	Druckraum, Druckdecken	263
5.12.2	Gleichmäßiger Austritt bei gleichen Öffnungen (abnehmender Querschnitt des Kanals)	263
5.12.2.1	Ausgangsgleichungen und Aufstellung eines Diagrammes	263
5.12.2.2	Anleitung zur Dimensionierung von Luftkanälen mittels des Diagrammes	266
5.12.3	Gleichmäßiger Austritt bei ungleichen Öffnungen (konstanter Kanalquerschnitt)	269
5.12.4	Austritt und Absaugung bei Kanälen mit Längsschlitzten	273
5.12.5	Austritt unter Ausnutzung des Coanda-Effektes	273
5.13	Zusammenfassung	274

6.	Regelung	
6.1	Verfahren	277
6.1.1	Mischung von Luftströmen	277
6.1.1.1	Konstante Außenluftbeimischung	277
6.1.1.2	Variable Außenluftbeimischung	277
6.1.1.3	Außenlufttemperaturabhängige Außenluftbeimischung	277
6.1.1.4	Mischlufttemperaturabhängige Außenluftbeimischung	278
6.1.1.5	Beimischung in Abhängigkeit von der Taupunkttemperatur der Raumluft	279
6.1.1.6	Umluft-Beimischung in Variabel-Luftvolumenstrom-Systemen	280
6.1.1.7	Ausnützung der Nachtkühle mit RLT-Anlagen	280
6.1.1.8	Belegungsabhängige Regelung der Außenluftfrate	281
6.1.2	Temperaturregelung	282
6.1.2.1	Zulufttemperaturregelung	282
6.1.2.2	Raumtemperaturregelung	282
6.1.2.3	Kaskadenregelung	283
6.1.2.4	Anpassung der Raumtemperatur an die Außenlufttemperatur	284
6.1.2.5	Frostschutzsicherung	284
6.1.3	Feuchteregelung	285
6.1.3.1	„Taupunktregelung“ - Wäscheraustrittstemperaturregelung	286
6.1.3.1.1	Taupunktregelung über Mischklappen	288
6.1.3.1.2	Taupunktregelung mit Feuchteausgleich	289
6.1.3.2	Direkte Feuchteregelung	289
6.1.3.2.1	Beipß Feuchteregelung	289
6.1.3.2.2	Feuchteregelung mit variabler Wasser-Luft-Zahl Λ	289
6.1.3.2.3	Feuchteregelung mit Dampfbefeuchtung	291
6.2	Gerätetechnik	291
6.2.1	Regler	291
6.2.1.1	Meßumformer und Einheitsregler	292
6.2.1.2	Regler ohne Hilfsenergie	292
6.2.1.3	Regler mit Hilfsenergie	292
6.2.1.3.1	Regler mit elektrischer Hilfsenergie	293
6.2.1.3.2	Regler mit pneumatischer Hilfsenergie	294
6.2.1.3.2.1	Das nicht-abblasende System	294
6.2.1.3.2.2	Das abblasende System	295
6.2.2	Stellantriebe und Stellglieder	296
6.2.2.1	Stellantrieb	296
6.2.2.1.1	Elektromotorische Stellantriebe	297
6.2.2.1.2	Der pneumatische Stellantrieb	298
6.2.2.1.3	Stellungsregler für Stellantriebe	299
6.2.2.2	Stellventil	300
6.2.2.3	Weitere Stellglieder	301
6.3	Betriebsverhalten von Stellgliedern, Wärmeübertragern und Luftwäschern in Klimaanlage	302
6.3.1	Einführung	302

	Seite	
6.3.2	Durchgangsventil	303
6.3.2.1	Strömungstechnische Kenngrößen	303
6.3.2.2	Betriebskennlinien von Durchgangsventilen	308
6.3.3	Dreiwegeventile	310
6.3.3.1	Hydraulische Schaltungen mit Dreiwegeventilen	310
6.3.3.2	Betriebskennlinien von Dreiwegeventilen	313
6.3.3.3	Zweikreis-Beimisch- und Zweikreis-Einspritzschaltung	317
6.3.3.4	Einstellung des Nennwasserstromes	319
6.3.4	Stellklappen zur Regelung des Durchflusses oder der Mischung von Luft	321
6.3.4.1	Bauformen	321
6.3.4.2	Widerstandsbeiwert und Durchflußkennlinie	322
6.3.4.3	Auswahl und Auslegung von Stellklappen	325
6.3.5	Betriebsverhalten von Wärmeübertragern	325
6.3.5.1	Kennlinien beimischgeregelter Lufterhitzer	326
6.3.5.2	Kennlinien mengengeregelter Lufterhitzer	327
6.3.6	Übertragungsverhalten einer Regelstrecke	330
6.3.6.1	Temperaturregelstrecke mit einem Lufterhitzer	331
6.3.7	Betriebsverhalten eines Luftwäschers	335
6.3.7.1	Einflußgröße des Befeuchtungsgrades und Betriebsverhalten des Luftwäschers	336
6.4	Dynamisches Verhalten von Regelkreisen	337
6.4.1	Dynamisches Verhalten von Regelstrecken	340
6.4.1.1	Zulufttemperaturregelstrecke	341
6.4.1.2	Raumtemperaturregelstrecke	342
6.4.1.3	Raumfeuchteregelestrecke	342
6.4.2	Wahl der Regeleinrichtung	342
7.	Geräusche, Entstehung und Verminderung	
7.1	Geräuschquellen	344
7.1.1	Geräuschentwicklung der Ventilatoren	344
7.1.2	Strömungsgeräusch in geraden Kanälen	349
7.1.3	Strömungsgeräusch der Formstücke	350
7.1.3.1	Umlenkungen, Abzweige und Kreuzstücke mit Kreisquerschnitt	350
7.1.3.2	Kniestücke mit Rechteckquerschnitt	354
7.1.3.3	Querschnittssprünge	356
7.1.4	Strömungsgeräusch der Einbauteile	356
7.1.4.1	Drosselklappen	356
7.1.4.2	Entspannungs- und Mischgeräte	357
7.1.5	Strömungsgeräusch der Luftdurchlässe	357
7.1.5.1	Lüftungsgitter	357
7.1.5.2	Induktionsgeräte	360
7.1.6	Strömungsrauschen der Schalldämpfer	360
7.1.7	Andere Geräuschquellen	361
7.2	Geräuschverminderung	361
7.2.1	Reduzierung des Ventilatorschalleistungspegels	361
7.2.2	Schalldämpfung im geraden Kanal	362

7.2.3	Schalldämpfung durch Formstücke.	363
7.2.3.1	Dämpfung durch Umlenkungen.	364
7.2.3.2	Dämpfung durch Verzweigungen.	366
7.2.3.3	Dämpfung durch Querschnittsänderungen.	368
7.2.4	Schalldämpfung durch Einbauteile.	369
7.2.4.1	Entspannungs- und Luftverteilkasten.	369
7.2.4.2	Dämpfung durch Bauteile einer Klimazentrale.	373
7.2.5	Schalldämpfung durch Luftdurchlässe.	373
7.2.5.1	Gitterdurchlässe und freie Kanalmündungen.	374
7.2.5.2	Dämpfung durch Druckkammerauslässe.	374
7.2.5.3	Dämpfung durch Induktionsgeräte.	375
7.2.6	Schalldämpfer.	375
7.2.6.1	Absorptionsdämpfer.	375
7.2.6.2	Resonanzdämpfer.	376
7.2.6.3	Interferenzdämpfer.	377
7.2.6.4	Reflexionsdämpfer.	377
7.2.6.5	Drosseldämpfer.	378
7.2.6.6	Konstruktionsbeispiele von Schalldämpfern für lufttechnische Anlagen.	378
7.2.6.7	Beeinflussung der Dämpfung durch die Luftströmung.	381
7.2.6.8	Montage der Schalldämpfer.	382
7.2.7	Schallabschirmung.	382
7.2.8	Schallpegelsenkung im Raum.	383
7.3	Schalldämpferauslegung.	384
7.3.1	Kurzmethode.	385
7.3.2	Ausführliche Methode.	387
7.3.3	Überlagerungsmethode.	390
7.4	Körperschallsolierung.	395
7.4.1	Das einfache Schwingungssystem.	395
7.4.2	Anwendung und Ausführung.	398
7.4.2.1	Auslegung der Schwingungsisolatoren.	398
7.4.2.2	Ausführung und Einbau der Schwingungsisolatoren.	402
7.4.3	Montagefehler.	404
7.4.4	Körperschallmessungen.	406
7.5	Praktische Empfehlungen.	409
7.5.1	Beurteilung der Sollpegel und Raumzuordnungen.	409
7.5.2	Durchführung der Messungen.	410
7.5.3	Ermittlung der Geräuschübertragung.	410
7.5.4	Abhilfemaßnahmen.	411
8.	Wirtschaftlichkeitsberechnung	
8.1	Einführung.	415
8.2	Methoden der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung.	417
8.3	Kostenermittlung.	420
8.4	Abschreibungen.	425
8.5	Aufgaben der Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Raumlufttechnik.	427

8.6	Bestimmung der verbrauchsabhängigen Kosten und der Wirtschaftlichkeit von Raumlufttechnischen Anlagen.	427
8.7	Wirtschaftlichkeitsnachweis für Investitionen zur Wärmerückgewinnung (Energiesparinvestitionen).	443
	Laboratorien und Institute an Fachhochschulen	459
	Sachregister	461

Beilagen

- Arbeitsblätter 4-1 bis 4-10

**Arbeitskreis der Dozenten
für Klimatechnik**

Handbuch der Klimatechnik

Band 3: Bauelemente

r

**Verlag C.F.Müller GmbH
Karlsruhe**

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort.....	XIII
Geleitwort.....	XV

1. Wärmeübertrager

1.1	Erste Grundaufgabe (Auswertung).....	2
1.1.1	Mittlere Temperaturdifferenz und Betriebscharakteristik.....	2
1.1.2	Erste Stufe der Auswertung.....	7
1.1.3	Zweite Stufe der Auswertung.....	9
1.1.4	Dritte Stufe der Auswertung.....	11
1.2	Zweite Grundaufgabe (Auslegung).....	12
1.2.1	Vollständige Auslegungsdaten.....	13
1.2.2	Unvollständige Auslegungsdaten.....	19
1.2.3	Änderung der Blockabmessungen.....	21
1.3	Betriebsverhalten.....	23
1.3.1	Darstellung der Eigenleistung.....	24
1.3.2	Leistungsregelung.....	26
1.4	Druckverlust.....	30
1.4.1	Ersatzanordnung.....	30
1.4.2	Querschnittsänderungen.....	31
1.4.3	Beschleunigung.....	32
1.4.4	Reibung.....	33
1.4.5	Gesamtdruckverlust und Leistungsbedarf.....	33
1.4.6	Mittlere Temperatur.....	35
1.5.	Kühlung feuchter Luft.....	37
1.5.1	Modell.....	37
1.5.2	Differentialgleichungen.....	39
1.5.3	Kühlkurve.....	41

2. Geräte zum Be- und Entfeuchten der Luft und ihre Einbindung in raumluftechnische Anlagen

2.1	Regelgrößen der Be- und Entfeuchtung.....	50
2.2	Entfeuchtungsgeräte.....	52
2.2.1	Übersicht.....	52
2.2.2	Oberflächenkühler.....	52
2.2.3	Hygroskopische Luftentfeuchtung.....	53
2.2.3.1	Entfeuchtungsvorgang.....	53
2.2.3.2	Geräteaufbau.....	56
2.3	Beleuchter.....	58
2.3.1	Übersicht.....	58
2.3.2	Luftwäscher.....	59
2.3.2.1	Allgemeines über Luftwäscher.....	59
2.3.2.2	Theorie des Luftwäscher.....	59
2.3.2.3	Auslegung des Luftwäscher.....	64
2.3.2.4	Aufbau der Luftwäscher.....	68
2.3.2.5	Betrieb der Luftwäscher.....	71
2.3.2.6	h, x-geführte raumluftechnische Anlagen mit Luftwäscher.....	74
2.3.3	Zerstäubungsbefeuchter.....	79

	Seite	
23.3.1	Aufbau der Zerstäubungsbefeuchter.....	79
2.3.3.2	Betrieb der Zerstäubungsbefeuchter.....	80
2.3.4	Verdunstungsbefeuchter.....	80
2.3.4.1	Aufbau der Verdunstungsbefeuchter.....	80
%.%A2	Betrieb der Verdunstungsbefeuchter.....	83
	Dampfbefeuchter.....	84
	Aufbau der Dampfbefeuchter.....	84
	Betrieb der Dampfbefeuchter.....	85
•	h, x-geführte raumluftechnische Anlagen mit Dampfbefeuchtung.....	86
	Kälteanlagen	
	Einführung.....	91
;;	Einsatz von Kälteanlagen in der Klimatechnik.....	92
JS	Sicherheitskältemittel.....	98
•	Kompressor-Kälteanlagen in der Klimatechnik.....	102
v-	Einstufige Kompressor-Kälteanlage.....	103
^	Zweistufige Kompressor-Kälteanlage.....	112
Gr	Grundbausteine der Kompressor-Kälteanlage.....	114
er	Verdampfer.....	114
om	Kompressor.....	130
en	Kondensator.....	134
ross	Ölstand.....	142
egel	Regelung der Kompressor-Kälteanlage.....	148
er	Verdampfer-Regelkreis.....	149
K	Kompressor-Regelkreis.....	151
en	Kondensator-Regelkreis.....	154
3.	Betriebsverhalten der Kompressor-Kälteanlage.....	155
3.8	Sicherheitsvorschriften und Normen.....	157
	Luftfilter	
4.1	-l, <-Rtfill^wahlkriterien und Einteilung.....	161
4.2	\$**0j&pfeilung nach Abscheideprinzip und Wirkungsweise.....	161
4.3	^ sfjäteprüfung, Abscheidegrad und Filterklasse.....	163
4.3.1	-r-Jlkktsche Prüfverfahren.....	164
4.3.2	^^i^uidische Prüfverfahren.....	168
4.4	ppjjtocschichten und ihre Eigenschaften " fiAr Schwebstofffilter).....	168
4.4.1	FüUfklasse EU 1 nach DIN 24 185 (Grobstaubfilter).....	169
4.4.2	Fätötlassen EU 2 bis EU 4 nach DIN 24 815 (Feinstaubfilter)	170
4.4.3	Fäteridassen EU 5 bis EU 9 nach DIN 24 185 (Hochwertige Feinstaubfilter).....	171
4.5	Schwebstofffilter.....	172
4.5.1	Entstehung der Schwebstoffe.....	172
4.5.2	Aufbau von Schwebstofffilter-Elementen und ihre Eigenschaften ...	173
4.5.3	Einsatz von Schwebstofffiltern.....	175
4.6	Aktivkohlefilter.....	176

	Seite
4.7	Luftfilterbauarten.....177
4.7.1.	Bandluftfilter.....178
4.7.2	Zellenluftfilter.....179
4.8	Luftfilter in Reinen Räumen.....183
4.8.1	Luftfilter in Klimaanlage von Krankenhäusern.....183
4.8.2	Luftfilter in Reinen Räumen der Technik.....185
5.	Kanäle und Zubehör
5.1	Ausführung und Fertigung der Kanäle.....187
5.1.1	Kanalquerschnittsformen.....188
5.1.2	Baustoffe für Kanäle.....191
5.1.3	Blechkanäle.....192
5.1.3.1	Rechteckige Blechkanäle.....192
5.1.3.2	Runde Blechkanäle.....198
5.1.4	Flexible Rohre.....203
5.1.5	Kunststoffkanäle.....205
5.1.6	Mischstoffkanäle.....109
5.2	Kanalmontage.....211
5.2.1	Voraussetzungen.....211
5.2.2	Durchführung.....211
5.3	Kanalaufmaß.....215
5.4	Dichtigkeit der Kanäle.....218
5.5	Wärmedämmung und Anstrich der Kanäle.....221
5.5.1	Wärmeaustausch mit der Umgebung.....221
5.5.2	Wasserdampfkondensation an der Kanalwand.....222
5.5.3	Dämmungsausführung.....225
5.5.4	Anstriche.....226
5.6	Kanalzubehör.....228
5.6.1	Brandschutzklappen.....228
5.6.2	Drossel- und Absperrklappen.....230
5.6.3	Reinigungsöffnungen.....233
5.6.4	Elastische Verbindungen.....234
5.6.5	Wetter- und Vogelschutzgitter.....235
5.6.6	Fortluftauslässe.....236
6.	Ventilatoren
6.1	Einleitung.....241
6.2	Grundlagen.....241
6.2.1	Kennlinie und Betriebspunkt.....241
6.2.2	Proportionalitätsgesetze.....243
6.3	Bauformen von Ventilatoren.....244
6.3.1	Radialventilatoren.....245
6.3.1.1	System vergleich Hochleistungslaufrad und Trommelläufer.....245
6.3.1.2	Typische Anwendungsfälle von Trommelläufer bzw. Hochleistungslaufrad.....247
6.3.1.3	Drehrichtung und Gehäusestellung.....248
6.3.2	Axialventilatoren.....248

	Seite	
6.3.3	Querstromventilatoren.....	250
6.4	Auswahl des Ventilator typs.....	251
6.4.1	Auswahl nach optimal em Wirkungsgrad.....	251
6.4.2	Auswahl nach akustischen Gesichtspunkten	253
6.4.2.1	Abschätzung des Ventilatorgeräusches	254
6.5	Betriebsverhalten der Ventilatoren	255
6.5.1	Veränderung der Kennlinie bei ungünstigen Einbau Verhältnissen ..	255
6.5.2	Ventilatoren in Klimazentralen	260
6.5.3	Parallelbetrieb.....	261
6.5.4	Reihenschaltung.....	264
6.6	Regelung von Ventilatoren	265
6.6.1	Drallregler.....	265
6.6.2	Drosselung.....	267
6.6.3	Bypass-und Nebenauslaßregelung	268
6.6.4	Drehzahlregelung.....	268
6.6.5	Laufschaufelverstellung bei Axialventilatoren.....	270
6.6.6	Vergleich der verschiedenen Regelverfahren	270
6.6.6.1	Systemvergleich bei Hochleistungsradialventilatoren	270
6.6.6.2	Systemvergleich bei Axiarventilatoren	272
6.7	Ventilatoren in der Reinraumtechnik	274
7.	Klimageräte	
7.1	Einführung.....	277
7.2	Systemgeräte.....».....	278
7.2.1	Einsatzbereich.....	278
7.2.2	Aufbau.....	279
7.3	Zentralgeräte für Lüftungs- und Klimaanlage n.....	283
7.3.1	Einleitung.....	283
•7.3.2	Technische Anforderungen an- die Geräte.....	285
7.3.3	Aufbau.....	286
7.3.3.1	Standgeräte für Innenaufstellung	289
#.3.3.2	Hygienegeräte für Innenaufstellung	291
7>3.3.3	Wetterfeste Außenaufstellung - Dachzentralen	291
7.3.3.4	Flachzentralgeräte.....	292
7.3.4	Funktionseinheiten.....	292
7.3.4.1	Ventilatoreinheit.....	292
7.3.4.2	Lufterhitzereinheit.....	295
773.4.3	Luftbefeuchtereinheit.....	297
7.3.4.4	Luftkühlereinheit.....	299
7.3.4.5	Luftfiltereinheit.....	302
7.3.4.6	Wärmerückgewinnungseinheit.....	302
8.	Meßverfahren und Meßgeräte für Raumlufttechnische Anlagen	
8.1	Einführung.....	307
8-2	Raumklimagrößen.....	308
8.2.1	Raumlufttemperatur.....	308
8.2.2	Raumluftfeuchte.....	310

	Seite	
8.2.3	Raumluftgeschwindigkeit.....	312
8.2.3.1	Anforderungen an Sonden.....	312
8.2.3.2	Technische Ausführungen.....	314
8.2.3.3	Auswertung des Geschwindigkeit-Zeit-Verlaufes.....	315
8.2.3.4	Kalibrierung.....	317
8.2.3.5	Meßpositionen.....	317
8.2.3.6	Meßzeit.....	318
8.2.4	Temperatur der Raumschließungsflächen.....	318
8.2.5	Empfundene Temperatur.....	319
8.2.6	Gasförmiger Schadstoffgehalt.....	320
8.2.7	Staubgehalt.....	320
8.2.8	Keimzahl.....	321
8.2.9	Schalldruckpegel.....	322
8.3	Qualitativer Nachweis der Raumluftströmung.....	323
8.4	Volumenstrommessung an Luftdurchlässen.....	324
8.4.1	Schleifen-Verfahren.....	324
8.4.2	Netz-Verfahren.....	326
8.4.3	Verfahren mit Ansatzkanal und-düse.....	329
8.4.4	Druckabfall-Verfahren.....	332
8.4.5	Druckkompensations-Verfahren.....	336
8.4.6	7Pa-Verfahren.....	338
8.4.7	Airbag-Verfahren.....	340
8.5	Luftstrom-Messung in Kanälen.....	341
8.5.1	Netzmethode.....	342
8.5.2	Profilmessung.....	348
8.5.3	Drosselgeräte nach DIN 1952.....	348
8.5.4	Volumenstrommeßdüse der Firma Trox.....	349
8.5.5	Staukörper.....	350
8.5.6	Einlaufdüse.....	352
8.5.7	Ausströmdüse.....	352
8.5.8	Schleifen-Verfahren.....	353
8.5.9	Einpunktmessung.....	354
8.5.10	Volumenstrommessung am Ventilator.....	354
8.5.11	Volumenstrommessung hinter Lamellenrohrwärmetauscher.....	355
8.5.12	Kalibrierte Bauelemente.....	355
8.5.13	Spürgasmethode.....	355
8.5.14	Wahl der Meßstellen im Kanalnetz.....	355
8.5.15	Meßgeräte.....	357
8.6	Leckluftstrom.....	359

9. Brandschutz und mechanische Entrauchung

9.1	Allgemeines zu den Begriffen Brandschutz und mechanische Entrauchung.....	363
9.1.1	Allgemeine Forderungen an den Brandschutz.....	363
9.1.2	Allgemeines zu DIN 4102.....	364
9.2	Bauaufsichtliche Richtlinie über die brandschutztechnischen Anforderungen an Lüftungsanlagen (Musterentwurf).....	364

~iiw	Seite
ft&l	Baustoffe.....365
9J£2	Luftleitungen.....365
SMO	Einrichtungen zur Luftaufbereitung.....370
9.2*4	RLT-Zentralen, Luftleitungsabschnitte für Ventilatoren und
“..”	Luftaufbereitungseinrichtungen.....370
9.E5	Besondere Anforderungen an RLT-Anlagen.....370
9.2l6	Anerkannte Prüfstellen.....371
9J&7	Bauvorlagen im bauaufsichtlichen Verfahren.....371
9.i£8	Bauzustandsbesichtigung.....371
9.3"	Brandschutzausführungen von Luftleitungen.....372
93.1	Luftleitungen aus Stahlblech mit äußerer Dämmschicht.....372
93.1.1	Äußere Dämmschicht.....373
9.3Ü.2	Prüfzeugnis.....376
9.3U.3	Abhängung.....376
93.1.4	Dehnung.....378
9.3:1.5	Kompensatoren.....379
93.1.6	Wand-und Deckendurchführungen.....379
93.2	Luftleitungen aus Kalzium-Silikat.....380
9.3,2.1	Abhängung.....382
9.4	Brandschutzklappen.....383
9.4.1	Ausführung.....383
9.4.2	Einbau.....384
9.4.3	Auslöseeinrichtungen.....386
9.4.4	Prüfung und Wartung.....387
9.5	Prüfbescheid.....387
9.6	Allgemeines zur Entrauchung.....388
9.6.1	Brandbelastung.....388
9.6.2	Brandentwicklung.....389
9.6.3	Natürliche Entrauchung.....391
9.6.4	Mechanische Entrauchung.....391
9.7	Volumenströme bei der mechanischen Entrauchung.....392
9.7.1	Volumenstrommischung vor dem Entrauchungs-Ventilator.....393
9.7.2	Bilanz der Wärmeströme vor dem Entrauchungs-Ventilator.....394
9.7.3	Netzkennlinien von Entrauchungs- und Beimischleitung.....394
9.7.4	Ermittlung des Beimischvolumenstromes.....396
9.8	Entrauchungs-Ventilatoren.....397
9.8.1	Förderleistung und Antriebsleistung.....398
9.8.2	Bauweise.....398
9.8.3	Aufstellung.....400
9.9	Entrauchungsleitungen (-kanäle).....402
9.9.1	Ausführung der Entrauchungsleitungen.....402
9.9.2	Luftführung im Entrauchungsraum.....403
9.10	Rauchmeldung.....403
9.11	Zusammenfassende Hinweise für den Brandschutz und die mechanische Entrauchung bei RLT-Anlagen.....404

10.	Reinraumtechnik	
10.1	Aufgaben der Reinraumtechnik.....	407
10.2	Standards und Definitionen.....	409
10.3	Partikelmeßtechnik.....	416
10.4	Luftführung am Reinen Arbeitsplatz.....	419
10.4.1	Reiner Arbeitsplatz mit turbulenter Verdünnungsströmung.....	419
10.4.2	Reiner Arbeitsplatz mit gerichteter turbulenzarmer Verdrängungsströmung.....	421
10.5	Konzepte und Ausführungen von Reinen Arbeitsplätzen.....	424
10.5.1	Schutzkonzepte für Reine Arbeitsplätze.....	424
10.5.2	Ausführungsbeispiele.....	425
10.5.3	Luftaufbereitung.....	430
10.5.4	Künftige Entwicklung.....	432
10.6	Betrieb von Reinräumen.....	433
10.6.1	Partikelquellen und Stromstörungen.....	433
10.6.2	Reinraumgerechtes Verhalten.....	435
10.6.3	Kosten für Reinraumanlagen.....	436
	Glossar.....	439
	Sachregister.....	455