

RIETSCHEL

Raumklimatechnik

Band 4: Physik des Gebäudes

Herausgegeben von Klaus Fitzner

16. Auflage

**Thermisches und hygrisches Verhalten sowie
Gebäudedurchströmung unter den
meteorologischen Randbedingungen**

Voraussetzungen für die Gewährleistung guter Raumqualität

Konsequenzen des energetischen Wandels

Hauptautor: Jürgen Masuch

Abschnitte C und J: Autor Klaus Fitzner

Inhaltsverzeichnis

A	Einführung	1
	JÜRGEN MASUCH	
A.1	Schutzfunktionen	1
A.2	Gebäudeentwicklung	2
A.3	Konsequenzen	3
B	Klimatische Funktionen von Gebäuden	5
	JÜRGEN MASUCH	
B.1	Grundsätzliches	5
B.2	Abschirmung gegen Außenklima	7
B.2.1	Überblick über maßgebliche Einflüsse	7
B.2.2	Thermische Abschirmung	9
B.2.3	Feuchteschutz	11
B.2.4	Windschutz	11
B.3	Gebäudedichtheit – innere Emissionen	12
B.4	Luftqualität in Gebäuden	13
B.4.1	Emissionen	13
B.4.2	Außenluftqualität, Raumluftqualität	14
B.4.3	Gebäude, für die natürliche Belüftung ausreicht	15
B.4.4	Maschinell gelüftete Gebäude	16
B.4.5	Hybride Lüftungssysteme	17
B.5	Der Gesamtrahmen der Raumqualität	18
B.5.1	Thermische und hygrische Qualität	19
B.5.1.1	Operative Raumtemperatur	19
B.5.1.2	Relative Luftfeuchte	20
B.5.2	Optische Qualität	22
B.5.3	Akustische Qualität	24
Literatur		25

C	Durchströmung von Gebäuden	27
	KLAUS FITZNER	
C.1	Gebäude mit freier (natürlicher) Belüftung	27
C.1.1	Auftriebs- und Windkräfte	27
C.1.2	Auftrieb durch Thermische Lasten	32
C.1.3	Gebäudetypen	32
C.1.4	Raumdurchströmung bei geöffnetem Fenster	36
C.1.5	Raumtemperatur und maximale thermische Lasten	41
C.1.5.1	Sommerfall	41
C.1.5.2	Winterfall	42
C.1.6	Erfahrungswerte für stationäre Lüftung (Kippfenster)	44
C.1.7	Konzentrationsverlauf	46
C.1.8	Stoßlüftung	48
C.1.9	Erfahrungswerte für Stoßlüftung	53
C.2	Bauteile	53
C.2.1	Fenster	53
C.2.2	Außenwandluftdurchlässe (ALD)	58
C.2.3	Klappen	59
C.2.4	Schächte	59
C.3	Gebäude mit RLT-Anlagen	60
Literatur		63
D	Gebäudeaufbau, Struktur und Betriebsverhalten (Nutzungs-Funktionen)	65
	JÜRGEN MASUCH	
D.1	Allgemeines	65
D.2	Gebäudegliederung	66
D.2.1	Architektur, Statik und Technik	66
D.2.2	Nutzflächen	66
D.2.3	Funktionsflächen (Technikflächen)	66
D.2.4	Konfliktsituationen zwischen Nutzenmaximierung und optimaler Funktionserfüllung	68
D.3	Gebäudematerialien	70
D.3.1	Die heutige Bautechnik und ihre Auswirkung auf das Raumklima	70
D.3.2	Rohbau	71
D.3.3	Ausbau	72
D.3.4	Stand der Forschung hinsichtlich Gebäudeemissionen und Erkenntnisse zur Sanierung	73
D.4	Betriebsverhalten von Gebäuden	76
D.4.1	Stoffbelastungen	76
D.4.2	Maßnahmen zum Qualitätserhalt	76

D.4.2.1	Reinigung	76
D.4.2.2	Anlagenwartung und -Instandhaltung	77
D.4.3	Gebäudemanagement (Facility-Management FM)	78
D.5	Schlussfolgerungen	78
Literatur		79
E	Berechnungen	83
	JÜRGEN MASUCH	
E.1	Aufgabenstellung	83
E.2	Wärmetransmission und Konvektion	83
E.2.1	Der stationäre eindimensionale Zusammenhang	83
E.2.2	Der Wärmedurchgang an das Erdreich (dreidimensional)	84
E.2.2.1	Wärmeverlust an die Außenluft	85
E.2.2.2	Wärmestrom an das Grundwasser	87
E.2.3	Auswirkungen des Strahlungsaustausches mit der Atmosphäre ...	90
E.2.4	Lüftungslasten durch Konvektion	92
E.2.5	Allgemeine Zusammenhänge der Wärmedurchgangsberechnung ..	93
E.3	Wärmespeicherung	95
E.4	Sommerlicher Wärmeschutz gegen Sonnen- und Himmelsstrahlung	96
E.5	Feuchtediffusion und Kapillarwirkungen beim Feuchtetransport	99
E.5.1	Diffusion	99
E.5.2	Kapillarprozesse	101
E.6	Luftdichtheit	101
E.7	Gebäudelastrechnungen/Die Energiebilanz für den Raum und das Gebäude im Auslegungsfall	105
E.7.1	Allgemeines	105
E.7.2	Festlegung von Randbedingungen	106
E.7.2.1	Innere Gebäudetemperaturen	108
E.7.2.1.1	Winterfall	108
E.7.2.1.2	Sommerfall	108
E.7.2.2	Außenlufttemperaturen	109
E.7.2.2.1	Bisherige Vorgehensweise	109
E.7.2.2.2	Neue Möglichkeiten der Festlegung von Auslegungstemperaturen über $t_{x,x}$ -Korrelationen	109
E.7.2.3	Sonnen- und Himmelstrahlung	114
E.7.2.3.1	Allgemeine Hinweise	114
E.7.2.3.2	Weltweite Strahlungsverläufe	117
E.7.3	Die Energiebilanz für den Auslegungsfall	124
E.7.3.1	Strahlungsaustausch im Raum	124
E.7.3.1.1	Allgemeines	124

E.7.3.1.2	Grundsätze zur Berechnung raumwinkelgerechter Strahlungsverteilung	124
E.7.3.1.3	Berechnungsgleichungen für zwei Grundfälle	127
E.7.3.1.4	Bestimmung von Einstrahlzahlen für Flächen beliebiger Lage ..	128
E.7.3.2	Berücksichtigung von Reflexionen an den Teilflächen	130
E.7.3.2.1	Der langwellige Strahlungsaustausch	131
E.7.3.2.2	Die Behandlung der kurzwelligen Strahlung	134
E.7.3.3	Konsequenzen	136
E.7.4	Energiebilanzen	136
E.7.5	Ergebnisdarstellung	138
E.8	Energetische Berechnungen: Die generelle Energiebilanz ...	138
E.8.1	Die Test-Referenzjahr-Methode	138
E.8.2	Die t,x-Korrelations-Methode	140
E.8.3	Klimawandel	141
E.8.4	Genauigkeitsverlust bei Testreferenzjahren	146
E.8.5	Weitere energetische Berechnungsverfahren	146
E.8.5.1	Tagesgangverfahren	146
E.8.5.2	Monatsverfahren nach DIN V 18599	147
E.8.6	Schlussfolgerungen	147
E.9	Anhang	148
Literatur		149
F	Gebäudeentwicklungen	153
	JÜRGEN MASUCH	
F.1	Energiebedarfs-Beschränkungen	153
F.2	Klarstellung zu den gebräuchlichen Sonnenschutz-Faktoren	155
F.3	Dämmstandards	159
F.4	Die reale Dichtsituation im Gebäude	161
F.4.1	Allgemeines	161
F.4.2	Prüfung der Gebäudedichtheit	163
F.5	Gewährleistung der Raumqualität	164
F.5.1	Die Bestimmung von Bedarfs-Außenluft-Volumenströmen	166
F.5.2	Sonstige Aspekte	168
F.5.2.1	Thermische und hygrische Qualität	168
F.5.2.2	Optische Qualität	170
F.5.2.3	Akustische Qualität	170
Literatur		170
G	Energetische Versorgung	173
	JÜRGEN MASUCH	
G.1	Grundlegendes	173

G.2	Klassische Energieversorgung	173
G.2.1	Elektroversorgung	173
G.2.2	Wärmeversorgung	175
G.2.3	Kälteversorgung	176
G.2.4	Vergleich spezifischer Energiebedarfswerte	176
G.3	Regenerative Energieversorgung	177
G.3.1	Oberflächennahe Geothermie	177
G.3.1.1	Die bisherige Entwicklung	177
G.3.1.2	Heizfall	177
G.3.1.3	Kühlfall	182
G.3.2	Tiefengeothermie	184
G.3.3	Grundwassernutzung	184
G.3.4	Abwärmenutzung	186
G.3.4.1	Interne Abwärme	186
G.3.4.2	Abwassernutzung	187
G.3.4.2.1	Temperaturnutzung	187
G.3.4.2.2	Biogaserzeugung	189
G.3.5	Solarenergie	189
G.3.5.1	Solarwärme	190
G.3.5.1.1	Solare Warmwasserbereitung	190
G.3.5.1.2	Solare Kühlung	191
G.3.5.2	Photovoltaik	191
G.3.5.2.1	Kristalline Photovoltaik	192
G.3.5.2.2	Dünnschichtphotovoltaik	193
G.4	Eigene Elektroversorgung mittels Kraft-Wärme-Kopplung..	193
G.4.1	Blockheizkraftwerke	194
G.4.1.1	Wirtschaftlichkeit	194
G.4.1.2	Auslegungsfragen	195
G.4.2	Kombination verschiedener regenerativer Systeme	195
Literatur		198
H	Konsequenzen heutiger energetischer Anforderungen für die Gebäudetechnik	201
	JÜRGEN MASUCH	
H.1	Generelle Aspekte	201
H.2	Heiztechnik	202
H.3	Kühltechnik	203
H.4	Lüftungs- und Fassadentechnik	204
H.4.1	Natürliche Belüftung	204
H.4.1.1	Ein Sonderfall	204
H.4.1.2	Wohnungsbau	206
H.4.2	Tendenz bei Allgemeinbauten	206

H.5	Feuchte	207
H.6	Schlussfolgerungen	209
	Literatur	209
I	Bilanz JÜRGEN MASUCH	211
J	Zur Geschichte der Raumklimotechnik KLAUS FITZNER	213
J.1	Einleitung	213
J.2	Technologie der Neuzeit	215
J.3	Gebäudedurchströmung	217
J.4	Die Technik im 19. Jahrhundert	219
J.5	Luftförderung	223
J.5.1	Elektromotor	230
J.5.2	Verbesserung der Technologie im 20 Jahrhundert	232
J.6	Kühlung	232
J.7	Heizungs- und Lüftungsfirmen	235
J.8	Kühlung mit Kältemaschinen	236
J.9	Geräteentwicklung	236
J.10	Luftbefeuchtung	237
J.11	Ozongeräte	238
J.12	Fernbedienung	238
J.13	Filterentwicklung	239
J.14	Großflächige Anwendung der Raumklimotechnik	241
J.15	Klimageräte	241
J.16	Systementwicklung	243
J.17	Raumströmung	244
J.18	Hygiene	245
J.19	Luftgeschwindigkeiten	245
J.20	Ausblick	247
	Literatur	248
K	Anhang: Tabellen mit t,x- Korrelationen und Strahlungsdaten JÜRGEN MASUCH	251
K.1	t,x-Korrelationen für eine Städteauswahl weltweit	251

K.1.1	t,x-Korrelationen für 10 beispielhafte Stationen in Deutschland (aus VDI4710 B1.3, [E22])	253
K.1.1.1	Bremerhaven	253
K.1.1.2	Rostock	254
K.1.1.3	Hamburg	255
K.1.1.4	Potsdam	256
K.1.1.5	Essen	257
K.1.1.6	Kassel	258
K.1.1.7	Chemnitz	259
K.1.1.8	Fichtelberg	260
K.1.1.9	Mannheim	261
K.1.1.10	Garmisch-Partenkirchen	262
K.1.2	t,x-Korrelationen für 12 beispielhafte Stationen europäischer Hauptstädte (aus VDI 4710 B1.4, Vorentwurf)	263
K.1.2.1	Reykjavik, Island	263
K.1.2.2	Helsinki, Finnland	264
K.1.2.3	Moskau, Russland	265
K.1.2.4	Kopenhagen, Dänemark	266
K.1.2.5	Warschau, Polen	267
K.1.2.6	London, Großbritannien	268
K.1.2.7	Paris, Frankreich	269
K.1.2.8	Wien, Österreich	270
K.1.2.9	Rom, Italien	271
K.1.2.10	Madrid, Spanien	272
K.1.2.11	Lissabon, Portugal	273
K.1.2.12	Athen, Griechenland	274
K.1.3	t,x-Korrelationen für 12 beispielhafte außereuropäische Stationen (aus VDI 4710 B1.1 [E28])	275
K.1.3.1	Fairbanks, Alaska, USA	275
K.1.3.2	Los Angeles, USA	276
K.1.3.3	New York, USA	277
K.1.3.4	Lima, Peru	278
K.1.3.5	Buenos Aires, Argentinien	279
K.1.3.6	Casablanca, Marokko	280
K.1.3.7	Pretoria, Südafrika	281
K.1.3.8	Abu Dhabi, Arab. Emirate	282
K.1.3.9	Madras, Indien	283
K.1.3.10	Hongkong, China	284
K.1.3.11	Tokio, Japan	285
K.1.3.12	Melbourne, Australien	286

K.2	Strahlungstabellen für verschiedene geographische Breiten ..	287
	Gesamt- und Diffusstrahlung für unterschiedliche Flächenorientierungen und Standorte (aus VDI4710 Bl.1 [E28])	
K.2.1	Gesamt- und Diffusstrahlung für 50° nördlicher Breite (Deutschland)	288
K.2.1.1	Solarstrahlung (W/m^2), 50° nördl. Breite, $T_{L, \text{nominal}}(\text{Juni}) = 3$	288
K.2.1.2	Solarstrahlung (W/m^2), 50° nördl. Breite, $T_{L, \text{nominal}}(\text{Juni}) = 5$	292
K.2.2	Gesamt- und Diffusstrahlung für verschiedene geographische Breiten	296
K.2.2.1	Solarstrahlung (W/m^2), 5° nördl. Breite, $T_L = 4$	296
K.2.2.2	Solarstrahlung (W/m^2), 25° nördl. Breite, $T_L, \text{nominal}(\text{Juni}) = 3$	300
K.2.2.3	Solarstrahlung (W/m^2), 45° nördl. Breite, $T_L, \text{nominal}(\text{Juni}) = 3$	304
K.2.2.4	Solarstrahlung (W/m^2), 65° nördl. Breite, $T_L, \text{nominal}(\text{Juni}) = 2,5$...	308
Sachverzeichnis		313