

BAUPHYSIK BAU & ENERGIE

Christoph Zürcher/Thomas Frank

3. Auflage



Materials Science & Technology

y/(lf

vdf Hochschulverlag AG
an der ETH Zürich

• • • HOCHSCHULE
LIECHTENSTEIN

Bibliothek

INHALT

1	Randbedingungen (Klima)		
1.1	Aussenklima und meteorologische Parameter.....	1	
1.1.1	Sonne/Atmosphäre.....	1	
1.1.2	Troposphäre (erdnahe Luftschichten).....	3	
1.1.3	Pedosphäre (Erdreich).....	10	
1.1.4	Bauphysikalisch wichtige Wetterzustände.....	11	
1.1.5	Aussenlärm.....	11	
1.2	Innenklima und Komfort.....	13	
1.2.1	Energiehaushalt des menschlichen Körpers.....	13	
1.2.2	Thermo-hygrische Behaglichkeit.....	16	
1.2.3	Raumluftqualität («dicke Luft»).....	22	
1.2.4	Akustische Behaglichkeitskriterien.....	25	
1.2.5	Lichtklima.....	26	
1.3	Literatur: Randbedingungen (Klima).....	27	
2	Wärme		
2.1	Eindimensionaler stationärer Wärmetransport.....	29	
2.1.1	Wärmetransportarten und deren charakteristische Eigenschaften.....	29	
2.1.2	Baustoffdaten und Einflussgrößen.....	34	
2.1.3	Wärmeübergang Baustoffoberfläche/Luft.....	35	
2.1.4	Wärmedurchlasswiderstände von Luftschichten.....	36	
2.1.5	Wärmedurchgang und Temperaturverteilung.....	39	
2.1.6	Strahlungsaustausch mit der Umgebung.....	46	
2.2	Wärmespeicherung.....	52	
2.2.1	Homogene Baustoffe.....	52	
2.2.2	Mehrschichtige Bauteile.....	54	
2.3	Wärmebrücken.....	58	
2.3.1	Näherungsverfahren für ebene Konstruktionen.....	59	
2.3.2	Numerische Methoden.....	59	
2.3.3	Temperaturfaktoren, Isothermen.....	61	
2.3.4	Linien-und Knotenzuschläge.....	62	
2.3.5	Mittlerer U-Wert.....	63	
2.3.6	Wärmeverluste ins Erdreich.....	63	
	Literatur: Wärme.....	66	
3	Feuchte		
3.1	Erscheinungsformen des Wassers und deren Einfluss auf das Bauwerk.....	69	
3.1.1	Wasser als Element.....	69	
3.1.2	Wasser und Bauwerk.....	69	
3.2	Schlagregen.....	70	
3.3	Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck, Kondensation.....	72	
3.4	Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbildung.....	74	
3.5	Feuchtetransport und Wassereinlagerung in Baustoffen.....	76	
3.6	Kapillare Wasseraufnahme.....	80	
3.7	Wasserdampfdiffusion durch Baukonstruktionen.....	81	
3.7.1	Dampfdiffusion in der Luft.....	81	
3.7.2	Dampfdiffusion durch Baustoffe.....	82	
3.7.3	Analogie Wärmetransport - Feuchtetransport -> Dampfdiffusion durch Baukonstruktionen.....	83	
3.7.4	Nachweisverfahren.....	84	
3.7.5	Dampfbremsen/Dampfsperren.....	92	
3.8	Feuchte-und Wärmeschutz ausgewählter Wandaufbauten.....	94	
3.9	Hinterlüftete Fassade als bauphysikalisch optimale Lösung.....	96	
3.10	Literatur: Feuchte.....	97	
4	Luftströmungen		
4.1	Natürlicher und erzwungener Luftwechsel, Luftwechselzahl.....	99	
4.2	Luftströmungen durch Fugen und Öffnungen.....	100	
4.2.1	Zusammenwirken mehrerer Fenster/Türen.....	103	
4.3	Ursachen des natürlichen Luftaustausches.....	103	
4.3.1	Windströmungen und Winddruck.....	103	
4.3.2	Thermisch induzierter Luftwechsel.....	106	

4.3.3	Abschätzung der Druckverhältnisse (Einzonenmodell).....	110	6.2.1	Detaillierte Energiebedarfsberechnung für eine Zeitdauer At	147
4.3.4	Zusammenwirken von Auftriebs- und Windeffekt.....	111	6.2.2	Heiztage und Heizgradtage	152
4.4	Luftwechsel und Schadstofftransport	112	6.2.3	Sonnenenergiegewinn	153
4.4.1	Luftwechselgetragener Feuchteaustausch und Feuchtespeicherung	112	6.3	Pufferzonen.....	154
4.4.2	Lufterneuerung/Luftqualität/Lüftungswirksamkeit.....	118	6.4	Speicherverhalten.....	156
4.5	Energieverbrauch, Frischluftbedarf und Luftwechsel.....	121	6.4.1	Speicherverhalten des Gebäudes.....	156
4.6	Luft- und Winddichtigkeit der Gebäudehülle.....	125	6.4.2	Speicherverhalten des Erdreiches und Wärmeverluste gegen Erdreich ..	156
4.7	Literatur: Luftströmungen	126	6.5	Kühlleistungsbedarf.....	159
5	Tageslicht		6.5.1	Bedarfsnachweis Kühlung.....	161
5.1	Lichttechnische Grundbegriffe.....	129	6.5.2	Grundsätze für die Planung.....	162
5.1.1	Strahlungsbewertung	129	6.6	Dynamische Simulationsprogramme.....	163
5.1.2	Lichtstrom und Lichtstärke	130	6.7	Literatur: Energie/Leistung	165
5.1.3	Leuchtdichte.....	131	7	Schallschutz	
5.1.4	Beleuchtungsstärke.....	132	7.1	Kenngrossen des Schallfeldes.....	167
5.1.5	Gegenüberstellung von physikalischen und photometrischen Strahlungsgrössen ..	133	7.2	Schall an Mediengrenze: Wechselwirkungen.....	175
5.2	Lichtquellen.....	133	7.2.1	Absorption, Reflexion, Dissipation ...	175
5.2.1	Natürliches Licht: Sonne und Himmel.....	133	7.2.2	Resonanzeffekte.....	176
5.2.2	Künstliches Licht: Lampen.....	134	7.2.3	Beugung.....	178
5.3	Tageslichtberechnung.....	137	7.3	Schallausbreitung im Freien	179
5.3.1	Tageslichtquotient.....	137	7.3.1	Übersicht.....	179
5.3.2	Richtwerte für Tageslichtquotienten ..	140	7.3.2	Geometrische Verdünnung bei verschiedenen Schallquellentypen_____	179
5.3.3	Optimale Fensteranordnung und Tageslichtnutzung	140	7.3.3	Richtwirkung der Quelle.....	181
5.4	Literatur: Tageslicht	143	7.3.4	Luftdämpfung.....	181
6	Energie/Leistung		7.3.5	Bodeneffekt.....	181
6.1	Wärmeleistungsbedarf und Endenergieverbrauch	145	7.3.6	Bewuchs.....	182
6.1.1	Wärmeleistungsbedarf.....	145	7.3.7	Schallschirme, Hindernisse.....	182
6.1.2	Endenergieverbrauch.....	145	7.3.8	Witterung.....	183
6.2	Heizleistungs- und Energiebedarfsberechnungen	146	7.3.9	Prognose der Schallausbreitung nach ISO 9613-2.....	184
			7.4	Schallausbreitung im Gebäude	185
			7.4.1	Raumakustik.....	187
			7.4.2	Bauakustik.....	191
			7.4.3	Schallschutz im Wohnungsbau.....	206
			7.5	Literatur: Schallschutz	210
			8	Brand	
			8.1	Brandgefahr.....	213
			8.2	Brandbelastung.....	214

8.3	Brandablauf und Energieumsatz	215	9.2.8	Ableitung und Integrale.	245
8.3.1	Phasen eines typischen Brandverlaufes.	215	9.2.9	Reihenentwicklungen	246
8.3.2	Brandmodelle.	216	9.2.10	Vektorprodukte	247
8.3.3	Wärmebilanz bei Bränden (vgl. [8.7]).	219	9.2.11	Komplexe Zahlen	247
8.4	Normative brandschutztechnische Beurteilung	221	9.2.12	Messungen und deren Auswertung ...	247
8.4.1	Baustoffe.	221	9.3	Formelzeichen, Indizes, Symbole	250
8.4.2	Bauteile und Tragwerke.	223	9.3.1	Formelzeichen	250
8.4.3	Brandschutzabschlüsse.	226	9.3.2	Indizes.	251
8.5	Brandverhalten ausgewählter Bauteile/Tragsysteme.	226	9.3.3	Symbole.	252
8.5.1	Stahlkonstruktionen	226	9.3.4	Ausgewählte, wichtige Abkürzungen.	252
8.5.2	Betonkonstruktionen	229	9.3.5	Organisationen	253
8.5.3	Holzkonstruktionen	229	9.4	SI-Einheitensystem und bauphysikalisch wichtige Grundgrößen.	254
8.6	Brandabschnitte.	231	9.4.1	Umrechnungen	254
8.7	Bewertung des Brandrisikos.	232	9.5	Heizwerte von Energieträgern und Baustoffen.	257
8.8	Literatur: Brand.	233	9.6	Wärmestrahlung und fraktionale Integrale.	258
9	Anhang		9.7	Thermische Behaglichkeit - Rechenformeln.	259
9.1	Das physikalische Instrumentarium ..	236	9.7.1	PMV-und PPD-Index	259
9.1.1	Physik, Bauphysik und integrale Denkweise.	236	9.7.2	Lokaler PD-Index	260
9.1.2	Allgemeine Grundprinzipien	236	9.7.3	Operative Temperatur und Strahlungstemperatur.	261
9.1.3	Physikalische Grossen, Masseinheiten.	236	9.7.4	Einstrahlzahlen (view factors).	262
9.1.4	Material-und Zustandsgleichungen ..	237	9.7.5	Hitzeindex-Temperatur.	265
9.1.5	Die Schaltungsregeln.	237	9.7.6	Windchill-Temperatur.	266
9.1.6	Stationäre und instationäre Vorgänge.	238	9.7.7	Kaltluftabfall an vertikaler Oberfläche.	266
9.1.7	Physik - Bauphysik - Baupraxis?	239	9.8	Anforderungen an die thermische Behaglichkeit und das Raumklima ...	267
9.2	Ausgewählte mathematische Hilfsmittel	241	9.9	Sättigungsdampfmenge und Wasserdampfsättigungsdruck_____	268
9.2.1	Kreis, Kugel und Kreiszyylinder.	241	9.10	h,x-Diagramm für feuchte Luft (pLuft = 950 mbar, 540 m ü. M.).	270
9.2.2	Quadratische Gleichung	241	9.11	Thermohygrische Materialkennwerte.	271
9.2.3	Binomische Formeln.	241	9.12	Wärmedurchgangskoeffizient U _w von Fenstern mit 25 % Rahmenflächenanteil	276
9.2.4	Lineare Funktion und Geradengleichung.	241	9.13	Sonnenschutz: Anforderungen und vereinfachtes Berechnungsverfahren . .	278
9.2.5	Potenzgesetze und Potenzfunktionen	242			
9.2.6	Logarithmengesetze und Logarithmus-/Exponentialfunktionen	243			
9.2.7	Dreieck und Winkelfunktionen.	243			

XII	9.14	Tagesmitteltemperaturen (Summenhäufigkeit)	282	9.23	Schallschutzanforderungen «Körperschall» nach SIA 181 [7.29] ..	299
	9.15	Ausgewählte Klimadaten [1.38].	283	9.24	Arbeitsblatt [-Wert und Temperaturverlauf	300
	9.16	Windumströmung Gebäude: Druckbeiwerte	290	9.25	Arbeitsblatt [-Wert und Dampfdiffusion	301
	9.17	Terz-/Oktavmittenfrequenzen und Bewertungs-/Normkurven.	293	9.26	Arbeitsblatt Himmelslichtdiagramm	302
	9.18	Schallabsorptionsgrade	294	9.27	Arbeitsblatt Sonnenbahnen- und Beschattungsdiagramm	303
	9.19	Optimale Nachhallzeiten für unterschiedliche Nutzung [7.39].	295	9.28	Übersicht SIA-, EN- und ISO- Normen	304
	9.20	Schalltechnische Materialkennwerte	296	9.29	Fachbegriffe deutsch - französisch - italienisch - englisch	308
	9.21	Trittschallverbesserung	297	9.30	Stichwortverzeichnis	327
	9.22	Schallschutzanforderungen «Luftschall» nach SIA 181 [7.29].	298			