

FACHHOCHSCHULE
HILDESHEIM/HOLZMINDEN/GÖTTINGEN

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen

**Vorlesungsskripte zur Bauphysik
der
Fachhochschule Hildesheim**

Formelzeichen

1 Allgemeine physikalische Größen

a	Entfernung	m
h	Höhe	m
d	Bauteildicke	m
l	Länge	m
A	Fläche	m ²
t	Zeit (Sekunde, Stunde, Monat, Jahr)	s, h, M, a
m	Masse	kg
m (dm/dt)	Massenstrom	kg/s
ρ	Rohdichte, Dichte	kg/m ³
V	Volumen	m ³
V (dV/dt)	Volumenstrom	m ³ /s
v	(Strömungs-) Geschwindigkeit	m/s
F	Kraft	N
p	Druck	Pa
R	allgemeine Gaskonstante	kJ/(kg K)
g	Erdbeschleunigung	9,81 m/s ²
σ	Spannung	N/m ²
E	Elastizitätsmodul	N/m ²
T	absolute Temperatur	K
ϑ	Temperatur	°C
ϑ_s	Taupunkttemperatur	°C
$\Delta\vartheta, \Delta T$	Temperaturdifferenz	K
α	linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient	K ⁻¹
γ	volumenbezogener thermischer Ausdehnungskoeff.	K ⁻¹
ε_s	Schwundmaß (allgemein)	-
ε_{th}	thermisch bedingtes Schwundmaß	-

2 Wärme allgemein

W	mechanische Energie	J
U	innere Energie	J
Q, Q _s , etc.	Wärmemenge	Ws
Q (dQ/dt)	Wärmestrom	W
q	Wärmestromdichte	W/m ²
H _u	Heizwert	kWh/kg
H _o , H _m , H _v	Brennwert	kWh/kg
B _H	Brennstoffbedarf	kg/a; m ³ /a
q _s	Spezifische Schmelz-/Erstarrungswärme	kJ/kg
q _v	Spezifische Verdampfungs-/Kondensationswärme	kJ/kg
κ	Adiabatexponent	-
Θ	Temperaturkennwert	-

2.1 Wärme stationär

λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)
$1/R (\Lambda)$	Wärmedurchlasskoeffizient	W/(m ² K)
$R (1/\Lambda)$	Wärmedurchlasswiderstand	m ² K/W
$h (\alpha)$	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² K)
h_K	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² K)
h_r	strahlungsbedingter Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² K)
$R_s (1/\alpha)$	Wärmeübergangswiderstand	m ² K/W
$U (k)$	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² K)
Ψ	Wärmedurchgangskoeffizient einer 2-dim. WB	W/(m K)
$1/U$	Wärmedurchgangswiderstand	m ² K/W
a	Fugendurchlasskoeffizient	m ³ /h m (daPa) ^{2/3}

2.2 Wärme instationär

a	Temperaturleitfähigkeit	m ² /s
C	Wärmekapazität	kJ/K
c	spezifische Wärmekapazität	kJ/(kg K)
c_v	spez. Wärmekapazität bei konstantem Volumen	kJ/(kg K)
c_p	spez. Wärmekapazität bei konstantem Druck	kJ/(kg K)
TAV	Temperaturamplitudenverhältnis	-

2.3 Strahlung

λ	Wellenlänge	m
a	Absorptionsgrad	-
C	Strahlungsaustauschkoeffizient	W/(m ² K ⁴)
I	Sonnensstrahlungsintensität (Strahlungsdichte)	W/m ²
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	-
E	emittierte Strahlung	W/m ²
E_s	emittierte Strahlung eines schwarzen Strahlers	W/m ²
A_L	absorbierte Strahlung	W/m ²
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	5,77·10 ⁻⁸ W/(m ² K ⁴)
C_s	Strahlungsaustauschkonstante	5,77 W/(m ² K ⁴)
S_F	Strahlungskoeffizient z.B. bei Fenstern	W/(m ² K)
	Reflexionsgrad	-
ε	Emissionszahl	-
τ	Transmissionsgrad	-

2.4 Wärmeschutzvorschriften (Auszug)

$Q_{H,a}$	Jahresheizwärmebedarf (jährl. Heizwärmebedarf)	kWh/a
$Q_{H,M}$	monatlicher Heizwärmebedarf	kWh/M
$Q_{T,M}$	monatlicher Transmissionswärmeverlust	kWh/M
$Q_{L,M}$	monatlicher Lüftungswärmeverlust	kWh/M
$Q_{i,M}$	monatliche interne Wärmegewinne	kWh/M
$Q_{S,M}$	monatliche solare Wärmegewinne	kWh/M
Q'	volumenbezogener Jahresheizenergiebedarf	kWh/(m ³ a)
Q''	flächenbezogener Jahresheizenergiebedarf	kWh/(m ² a)
H_T	spezifische Transmissionswärmeverluste	W/K
H_V	spezifische Lüftungswärmeverluste	W/K
\bar{q}_i	spezifische mittlere interne Wärmeleistung	W/m ²
η (η_a η_M)	energetischer Nutzungsgrad (pro Jahr, Monat)	-
γ	Wärmegewinn- /Verlustverhältnis	-
$Z_{H,M}$	Zahl der monatlichen Heiztage	-
A_h	thermische Aufwandszahl für Heizung	-
$A_{h,el}$	elektrische Aufwandszahl für Heizung	-
A_w	thermische Aufwandszahl für Warmwasserbereitung	-
$A_{w,el}$	elektrische Aufwandszahl für Warmwasserbereitung	-
G_{t10}	durchschnittliche Heizgradtagzahl	K d
F	temperaturbezogener Reduktionsfaktor	-
F_F	Rahmenanteil beim Fenster	-
F_w	Korrekturfaktor für nicht senkrechten Strahlungseinfall	-
F_c	Abminderungsfaktor für Sonnenschutz	-

3 Feuchte

4 Schall

A	äquivalente Schallabsorptionsfläche	m ²
c	Schallgeschwindigkeit	m/s
D	Schallpegeldifferenz	dB
D_n	Norm- Schallpegeldifferenz	dB
E_{dyn}	dynamischer Elastizitätsmodul	N/m ²
f	Frequenz	Hz
f_c	Koinzidenzfrequenz	Hz
f_g	Koinzidenzgrenzfrequenz	Hz
f_R	Resonanzfrequenz	Hz
L	Schallpegel	dB
L_A	A-bewerteter Schallpegel	dB(A)
L_m	Mittelungspegel	dB(A)

L_n	Norm- Trittschallpegel	dB
$L_{n,w}$	bewerteter Normtrittschallpegel	dB
m'	flächenbezogene Masse	kg/m ²
p	dynamischer Wechseldruck	Pa
p_0	Bezugs – Schalldruck	2.10 ⁻⁵ N/m ²
P	Schalleistung	W
R	Schalldämm- Maß	dB
R'	Bau – Schalldämm - Maß	dB
R'_w	bewertetes Bau – Schalldämm - Maß	dB
R_m	mittleres Schalldämm - Maß	dB
R_w	bewertetes Schalldämm - Maß	dB
s	dynamische Steifigkeit	N/m ³
T	Nachhallzeit	s
W	Schalleistung	W
α	Schallabsorptionskoeffizient	-
λ	Wellenlänge	m
ρ	Rohdichte	kg/m ³
ω	Kreisfrequenz	Hz
ΔL	Schallpegelminderung	dB
ΔL_w	Trittschallverbesserungsmaß	dB

5 Tageslicht

A_F	Fensterfläche (Rohbaumaße)	[m ²]
A_K	lichtdurchlässige Fläche	[m ²]
A_{NF}	umschlossene Netzeinheit des Fensters	[NE] (1 NE = 1 cm ²)
A_{NV}	umschlossene Netzeinheit der Verbauung	[NE]
D	Tageslichtquotient	[-]
D_H	Himmelslichtanteil	[-]
D_R	Innenreflexionsanteil	[-]
D_V	Außenreflexionsanteil	[-]
E	Beleuchtungsstärke	lx [Lux]
E_a	Beleuchtungsstärke einer waagerechten Fläche im Freien bei bedecktem Himmel (ohne Verbauung)	lx
E_p	Beleuchtungsstärke eines beliebigen Punktes in Höhe der Fensterbrüstung im Raum	lx
I	Lichtstärke	cd [Candela]
b	Raubbreite	[m]
k_1	Verminderungsfaktor für Rahmen und Sprossenwerk	[-]
k_2	Verminderungsfaktor für Verschmutzung	[-]
t	Raumtiefe	[m]
α	Azimutwinkel	[°]
β	Breitenwinkel	[°]
τ	Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall	[-]
Φ	Lichtstrom	lm [Lumen]

Ω

Raumwinkel

Sr [Steradian]

6 Bezeichnung von Zehnerpotenzen

10^{-1}	dec-	d	10^1	deka-	da
10^{-2}	centi-	c	10^2	hekto-	h
10^{-3}	milli-	m	10^3	kilo-	k
10^{-6}	mikro-	μ	10^6	mega-	M
10^{-9}	nano-	n	10^9	giga-	G
10^{-12}	pico-	p	10^{12}	tera-	T
10^{-15}	femto-	f	10^{15}	peta-	P
10^{-18}	atto-	a	10^{18}	exa-	E

7 Mathematische Zeichen und griechisches Alphabet

7.1 Mathematische Zeichen

=	gleich	\neq	ungleich
<	kleiner als	>	größer als
\leq	kleiner oder gleich	\geq	größer oder gleich
<<	viel kleiner als	>>	viel größer als
+	plus	-	Minus
*	mal	/	geteilt durch
~	proportional	\pm	Abweichung (bei Fehlerrechnung)
∞	unendlich	Σ	Summe von mehreren Größen
π	3,14159	e	2,718
	Betrag	[]	Angabe von Einheiten
Δ	Differenz	ln	Logarithmus zur Basis e
$\log_y x$	Logarithmus von x zur Basis y	lg	Logarithmus zur Basis 10

7.2 Griechisches Alphabet

A	α	Alpha	I	ι	Jota	P	ρ	Rho
B	β	Beta	K	κ	Kappa	Σ	σ	Sigma
Γ	γ	Gamma	Λ	λ	Lambda	T	τ	Tau
Δ	δ	Delta	M	μ	My	Y	υ	Ypsilon
E	ϵ	Epsilon	N	ν	Ny	Φ	ϕ	Phi
Z	ζ	Zeta	Ξ	ξ	Xi	X	χ	Chi
H	η	Eta	O	\omicron	Omikron	Ψ	ψ	Psi
θ	ϑ	Theta	Π	π	Pi	Ω	ω	Omega

8 Stoffwerte von trockener Luft beim Druck $p = 1 \text{ bar}$

ϑ	ρ	c_p	λ
$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3	$\text{kJ}/(\text{kg K})$	$10^{-3} \text{ W}/(\text{m K})$
-40	1,4952	1,006	21,45
-20	1,3765	1,006	23,01
0	1,2754	1,006	24,54
20	1,1881	1,007	26,03
40	1,1120	1,008	27,49
60	1,0452	1,009	28,94
80	0,9859	1,010	30,38
100	0,9329	1,012	31,81

9 Arbeits-, Energie-, Wärme- und Leistungseinheiten

9.1 Umrechnung von Arbeits-, Energie- und Wärmeeinheiten

Einheit	J	kJ	MJ	kWh	kpm	kcal	erg
Joule J	1	0,01	10^{-6}	$2,78 * 10^{-7}$	0,102	$2,39 * 10^{-4}$	10^7
Kilojoule kJ	1000	1	0,001	$2,7810^{-4}$	102	0,239	10^{10}
Megajoule MJ	10^6	1000	1	0,278	$1,02 * 10^5$	238,8	10^{13}
Kilowatt-stunde kWh	$3,6 * 10^6$	3600	3,6	1	$3,6 * 10^5$	859,8	$3,6 * 10^{13}$
Kilopond-meter kpm	9,81	0,00981	$9,81 * 10^{-6}$	$2,73 * 10^{-6}$	1	0,0023	$9,81 * 10^7$
Kilokalorie kcal	4187	4,187	$4,19 * 10^{-3}$	$1,2 * 10^{-3}$	426,9	1	$4,2 * 10^{10}$
erg	10^{-7}	10^{-10}	10^{-13}	$2,8 * 10^{-14}$	10^{-8}	$2,4 * 10^{-11}$	1

9.2 Umrechnung von Leistungseinheiten

Einheit	W	kW	kcal/s	kpm/s	PS
Watt W	1	0,001	$2,39 * 10^{-4}$	0,102	$1,36 * 10^{-3}$
Kilowatt kW	1000	1	0,239	102	1,36
Kilokalorie je Sekunde kcal/s	4186,8	4,187	1	427	5,692
Kilopond-meter je Sekunde kpm/s	9,807	0,01	$2,3 * 10^{-3}$	1	0,013
Pferdestärke PS	735,5	0,736	0,176	75	1

10 Typische Kennwerte von Bauprodukten

10.1 Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, spezifische Wärmekapazität sowie linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von festen Stoffen, Teil 1

Stoffgruppe	Stoff	Wärmeleitfähigkeit bei einer Mitteltemperatur		Dichte [kg/m ³]	Wasserdampf- diffu- sionswiderstand szahl [-]	spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	linearer Wärmeausdehn- ungskoeffizient [10 ⁻⁶ /K]
		[°C]	[W/(m K)]				
Dämmstoffe	Baumwolle	30	0,059	80	-	1,15	-
	Korkstoffe	-	0,045 - 0,055	80 - 500	5 - 10	-	-
	Mineralwolle	-	0,035 - 0,05	8 - 500	1	-	-
	PF-Hartschaum	-	0,03 - 0,045	≥ 30	30 - 50	-	-
	Polystyrol (PS)	20	0,17	1050	-	1,3	70
	PS-Hartschaum	-	0,025 - 0,040	≥ 15	20 - 300	-	-
	Polyurethan (PU)	20	0,33	1200	-	2,1	120 - 150
	PU-Hartschaum	-	0,02 - 0,035	≥ 30	30 - 100	-	-
	Zellstoffflocken	-	0,04	-	-	-	-
Metalle	Aluminium	20	221	2700	-	0,92	23,8
	Kupfer	20	393	8960	-	0,40	16,5
	Stahl	20	58	7850	-	0,48	11,0
	Stahl V2A	20	15	7900	-	0,50	16,0
Hölzer	Buche	20	0,14 - 0,17	690 - 720	40	2,1	-
	Eiche	20	0,14 - 0,22	690 - 1070	40	2,4	-
	Fichte	20	0,11	430 - 470	40	2,1	-
	Holzspanplatten	-	0,13 - 0,20	700	20 - 100	-	-
	Holzwoleleicht- bauplatten	-	0,093 - 0,15	360 - 570	2 - 5	-	-
	Kiefer	20	0,09 - 0,16	310 - 760	40	2,1	-
	Sperrholz	-	0,15	800	50 - 400	-	-

10.2 Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, spezifische Wärmekapazität sowie linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von festen Stoffen, Teil 2

Stoffgruppe	Stoff	Wärmeleitfähigkeit bei einer Mitteltemperatur		Dichte [kg/m ³]	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [-]	spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg K)]	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient [10 ⁻⁶ /K]
		[°C]	[W/(m K)]				
Baustoffe	Asphalt	0	0,23	1250	-	0,92	30
	Stahlbeton	20	2,1	2400	70 - 150	0,92 - 1,09	11 - 12
	Leichtbeton	20	0,41 - 1,6	800 - 2000	3 - 10	-	11 - 12
	Bimsbeton	20	0,22 - 1,2	600 - 2000	5 - 15	1,05	-
	Porenbeton	-	0,19 - 0,29	500 - 800	5 - 10	-	-
	Dachpappe	20	0,14 - 0,24	1100	-	-	-
	Faserzementplatte	-	0,58	2000	20 - 50	-	-
	Fliesen	0 - 20	1,1	2000	-	-	-
	Gipsbauplatte	20	0,47	1000	8	0,84	-
	Gipsputz	20	0,87	1400	-	0,92	10 - 18
	Glas	20	0,81	2500	-	0,84	3,5 - 8
	Granit	0 - 20	3,10 - 4,1	2500 - 3050	-	0,84	8 - 12
	Kalkputz	0 - 20	0,87	1800	-	0,92	7,3 - 9
	Kalkmörtel	-	0,87	1800	15 - 35	-	-
	Kalkstein	20	2,2	2550	-	0,85	7
	Kies, lose	0 - 20	0,7	1800	-	0,84	-
	Mauerwerk Kalksandstein	-	0,5 - 1,3	1000 - 2200	5 - 1,3	-	-
	Mauerwerk Leichtbetonsteine	-	0,29 - 0,99	500 - 2000	5 - 15	-	-
	Mauerwerk Porenbeton	-	0,22 - 0,29	500 - 800	5 - 10	-	-
	Mauerwerk Ziegel	20	0,30 - 0,96	700 - 2000	5 - 10	1,44	70 - 80
	Plexiglas	0 - 20	0,18	1180	-	0,71	12
Sandstein	-	1,63 - 2,1	2200 - 2500	-	-	-	
Zementestrich	20	1,4	2000	15 - 35	1,05	11 - 18	
Zementputz		0,87	2200				