Tabellen und Diagramme

1 Tabellen und Diagramme zu Kapitel 1

Mechanik – *Mechanics*

Redakteur: J. Bortfeldt

1.01 Wellenlängennormale der Länge – *Wavelength standards for length measurements* (K. Dorenwendt) 289

1.02 Auswahl einiger europäischer Normalfrequenz- und Zeitmarkensender nach CCIR 1990 – *Selection of a number of european standard-frequency and time-signal transmitters* (H. de Boer) 290

1.03 Normalschwere γ unter der geographischen Breite φ im Geodätischen Referenzsystem 1980 – *Normal gravity γ as a function of geographic latitude φ in the geodetic reference system* 1980 (S. German) 292

1.04 Werte der örtlichen Fallbeschleunigung – *Values of local acceleration due to gravity* (S. German) 293

1.05a Werte des Schweregrundnetzes 1976 in Deutschland (DSGN 76, Zentren) – *Zero order gravity net* 1976 *in Germany* (S. German) 294

1.05b Schwerewerte von Festpunkten I. Ordnung des Staatlichen Gravimetrischen Netzes (SGN) der ehemaligen DDR und Punkten des Einheitlichen Gravimetrischen Netzes (EGN) osteuropäischer Länder – *Values of local acceleration due to gravity in the former DDR* (S. German) 295

1.06 Dampfdruckkurven von Treibmitteln für Diffusionspumpen – *Vapour pressures of diffusion pump fluids* (G. Messer) 296

1.07 Manometer-Korrekturen – *Corrections of manometer readings* 296

1.07a Richtwerte von Korrekturfaktoren f zur Umrechnung der Anzeige von Ionisationvakuummeter-Betriebsgeräten, deren Druckangabe in Stickstoff-Äquivalenten kalibriert ist – *Corrections factor f for the response of ion gauges calibrated with nitrogen in the presence of different gases* (G. Messer) 296

1.07b Kapillardepression des Quecksilbers in mm – *Capillary depression of mercury in* mm (J. Jäger) 297

1.08 Barometrische Höhenmessung (Normatmosphäre). Höhe H als Funktion des Luftdrucks p und Luftdruck p als Funktion der Höhe H – *Barometric altimetry (Standard atmosphere). Altitude H in dependence on atmospheric pressure p, atmospheric pressure p in dependence on altitude H* (J. Jäger) 298

1.09 Stoffwerte der Elastizität – *Material data of elasticity* (M. Biermann) . . 299

1.09a Chemische Elemente (polykristallin) – *Chemical elements (polycrystalline)* 300

1.09b Legierungen (polykristallin) – *Alloys (polycrystalline)* 300

1.09c Keramische und mineralische Stoffe – *Ceramics and minerals* 301

1.09d Organische Stoffe – *Organic materials* 302

1.09e Verbundwerkstoffe – *Compound materials* 302

1.09f Flüssigkeiten – *Liquids* 303

1.09g Sonstige Stoffe – *Other materials* 303

1.10 Härteskala nach Mohs – *Hardness numbers to Mohs* (T. Polzin) 304
1.11 Härteprüfung Brinell: Prüfkräfte – *Hardness test Brinell: Test forces* (T. Polzin) 304
1.12 Härteprüfung Brinell: Erfaßbarer Härtebereich für verschiedene Werkstoffgruppen – *Hardness test Brinell: Hardness ranges which can be covered for various groups of materials* (T. Polzin) 304
1.13 Härteprüfung Vickers: Abhängigkeit des Härtewertes von der Prüfkraft – *Hardness Test Vickers: Dependence of the hardness value from the test force* (T. Polzin) 305
1.14 Härteprüfung Rockwell: Übersicht über die Skalen – *Hardness Test Rockwell: Survey of scales* ($HR = N - \frac{h}{S}$) (T. Polzin) 305
1.15 Härtebereiche von Kunststoffen, Elastomeren und Kunststoffbeschichtungen – *Indentation hardness ranges for plastics, rubber and coatings (typical values)* (K. Müller) 306
1.16 Übersicht zur Auswahl von Härteprüfverfahren für Kunststoffe und Gummi – *Synoptical table for the selection of hardness test methods for plastics and rubber* (K. Müller) 307
1.17 Kugeldruckhärte H – *Ball indentation hardness* (K. Müller) 308
1.18 Shore-A-Härte – *Shore hardness* A (K. Müller) 310
1.19 Shore-D-Härte – *Shore hardness* D (K. Müller) 312
1.20 Barcol-Härte – *Barcol hardness* (K. Müller) 314
1.21 Universalhärte HU – *Universal hardness* (K. Müller) 316
1.22 Eindruckwiderstand nach Buchholz – *Indentation test according to Buchholz* (K. Müller) 318
1.23 Dynamische Viskosität η einiger Flüssigkeiten beim Druck 1 bar oder beim höheren Sättigungsdruck – *Dynamic viscosity η of some liquids under a pressure of* 1 bar, *or under the saturation pressure* (*if higher*) (G. Meerlender) 320
1.24 Dynamische Viskosität η einiger Stoffe im Sättigungszustand (Flüssigkeit und Dampf) – *Dynamic viscosity η of some fluids at the state of saturation* (*both liquid and vapor*) (G. Meerlender) 320
1.25 Dynamische Viskosität η von Wasser und Kohlendioxid – *Dynamic viscosity η of water and carbon dioxide* (G. Meerlender) 321
1.25a Wasser 321
1.25b Kohlendioxid 321
1.26 Dynamische Viskosität η einiger Gase beim Druck 1 bar oder beim niedrigeren Sättigungsdruck – *Dynamic viscosity η of some gases under a pressure of* 1 bar, *or under the saturation pressure* (*if lower*) (G. Meerlender) 321
1.27 Dynamische Viskosität η und viskosimetrische Festpunkte (s. DIN 52 312, Tl. 1) einiger Gläser – *Dynamic viscosity η and viscometric fixed points* (*see* DIN 52 312 part 1) *of some glasses* (G. Meerlender) 322
1.28 Abhängigkeit der dynamischen Viskosität η (in dPa · s) von der mittleren Molmasse $\bar{M}$ und vom Geschwindigkeitsgefälle D (in s^{-1}) für Polyisobutylen bei 150 °C – *Dependence of the dynamic viscosity η* (dPa · s) *upon the mean molar mass $\bar{M}$ and the rate of simple shear D* (s^{-1}) *for polyisobutylene at* 150 °C (G. Meerlender) 322

1.01 Wellenlängennormale der Länge – *Wavelength standards for length measurements* (K. Dorenwendt)

Realisierung durch *Laser*

Lasertyp	Vakuumwellenlänge[1]) nm	Relative Unsicherheit
He-Ne-Laser, stabilisiert auf CH_4 (Übergang ν_3, P(7), Komponente $F_2^{(2)}$		
a) mit aufgelöster Hyperfeinstruktur	3392,231 397 327	$3 \cdot 10^{-12}$
b) mit nichtaufgelöster Hyperfeinstruktur	3392,231 397 31	$2{,}3 \cdot 10^{-11}$
Farbstofflaser (oder Diodenlaser), stabilisiert auf ^{40}Ca (Übergang $^3P_1$ - $^1S_0$; $\Delta m_J = 0$)	657,459 439 3	$4{,}5 \cdot 10^{-10}$
He-Ne-Laser, stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 8-5, P(10), Komponente a_9)	640,283 468 7	$4{,}5 \cdot 10^{-10}$
He-Ne-Laser, stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 11-5, R(127), Komponente a_{13})	632,991 398 22	$2{,}5 \cdot 10^{-11}$
He-Ne-Laser, stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 9-2, R(47), Komponente a_7)	611,970 770 0	$3 \cdot 10^{-10}$
Farbstofflaser (oder He-Ne-Laser mit Frequenzverdoppelung), stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 17-1, P(62), Komponente a_1)	576,294 760 4	$4 \cdot 10^{-10}$
He-Ne-Laser, stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 26-0, R(12), Komponente a_9)	543,516 333 1	$2{,}5 \cdot 10^{-10}$
Ar^+-Laser, stabilisiert auf $^{127}I_2$ (Übergang 43-0, P(13), Komponente a_3)	514,673 466 4	$2{,}5 \cdot 10^{-10}$

Realisierung durch *Spektrallampen*

Nuklid	Vakuum-wellenlänge nm	Relative Unsicherheit in 10^{-8}	Kohärenzlänge m
^{86}Kr	645,807 20	±2	0,65
	642,280 06	±2	0,70
	605,780 21[2])	±0,4	0,84
	565,112 86	±2	0,76
	450,361 62	±2	0,55
^{198}Hg	579,226 83	±5	0,50
	577,119 83	±5	0,50
	546,227 05	±5	0,47
	435,956 24	±5	0,40
^{114}Cd	644,024 80	±7	0,30
	508,723 79	±7	0,17
	480,125 21	±7	0,16
	467,945 81	±7	0,15

[1]) Die Wellenlängen der Laserstrahlungen und ihre Unsicherheiten (1σ) entsprechen dem Stand von 1992. Sie wurden aus Frequenzvergleichen und mit Hilfe des in der Meterdefinition festgelegten Wertes für die Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458$ m/s abgeleitet. Einzelheiten über die Betriebsparameter der Lasersysteme werden in der vom Internationalen Büro für Maß und Gewicht veröffentlichten „Mise en pratique de la définition du mètre" angegeben.

[2]) Bis zur Änderung der Meterdefinition im Jahre 1983 war das Meter als Vielfaches dieser Wellenlänge definiert.

1.02 Auswahl einiger europäischer Normalfrequenz- und Zeitmarkensender nach CCIR 1990 – *Selection of a number of european standard-frequency and time-signal transmitters* (H. de Boer)

Sender	Ort	Koordinaten	Frequenz	Betrieb		Zeit-marken	rel. Unsicherheit der Frequenz und des Zeit-intervalls in 10^{12}	Verantwortliche Institute
				Tage/Wo.	Std./Tag			
GBR	Rugby Großbritannien	52°22′ N 01°11′ W	15,95 kHz 16 kHz	7	22	ja	±2	Zeit: Royal Greenwich Observatory, Herstmonceux Castle, Hailsham, East Sussex BN 27 1RP Normalfrequenz: National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW 11 OLW, Großbritannien
MSF	Rugby Großbritannien	52°22′ N 01°11′ W	60 kHz	7	24	ja	±2	National Physical Laboratory
HBG	Prangins Schweiz	46°24′ N 06°15′ O	75 kHz	7	24	ja	±1	Service horaire HBG, Observatoir cantonal, 2000 Neuchâtel, Schweiz
DCF77	Mainflingen Bundesrepublik Deutschland	50°01′ N 09°00′ O	77,5 kHz	7	24	ja	±0,5	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Bundesrepublik Deutschland
Loran-C 7970-M 7930-X	Ejde Färöer Inseln	62°18,0′ N 07°04,5′ W	100 kHz	7	24	ja	±1	U.S. Naval Observatory, Time Service, 34th and Massachusetts Ave., Washington, D.C. 20390, USA
Loran-C 7970-W	Sylt Bundesrepublik Deutschland	54°48,5′ N 08°17,6′ O	100 kHz	7	24	ja	±1	U.S. Naval Observatory
Loran-C 7970-X	Boe Norwegen	68°38,1′ N 14°27,1′ O	100 kHz	7	24	ja	±1	U.S. Naval Observatory
Loran-C 7970-Y	Sandur Island	64°54,4′ N 23°55,3′ W	100 kHz	7	24	ja	±1	U.S. Naval Observatory

Fortsetzung T 1.02

Sender	Ort	Koordinaten	Frequenz	Betrieb		Zeit-marken	rel. Unsicherheit der Frequenz und des Zeit-intervalls in 10^{12}	Verantwortliche Institute
				Tage/Wo.	Std./Tag			
Loran-C 7970-Z	Jan Mayen Norwegen	70°54,9′ N 08°44,0′ W	100 kHz	7	24	ja	± 1	U.S. Naval Observatory
	Donebach Bundesrepublik Deutschland	49°34′ N 09°11′ O	155 kHz	7	24	nein	± 2	Fernmeldetechnisches Zentralamt, Am Kavalleriesand 3, 64295 Darmstadt, Bundesrepublik Deutschland
	Allouis Frankreich	47°10′ N 02°12′ O	163,84 kHz	7	24	ja	± 10	Centre National d'Etudes des Télécommunications, 196 Rue de Paris, 92220 Bagneux, Frankreich
	Droitwhich Großbritannien	52°16′ N 02°09′ W	200 kHz	7	22	nein	± 20	National Physical Laboratory
OMA	Prag Tschechien	50°07′ N 14°35′ O	2,5 MHz	7	24	ja	± 1000	Ústav radiotechniky a elektroniky AVČR, Chaberská 57, 182 51 Praha 8, Kobylisy, Czech Rep.
FFH	Paris Frankreich	48°33′ N 02°34′ O	2,5 MHz	5	8,5	ja	± 20	Centre National d'Etudes des Télécommunications
MSF	Rugby Großbritannien	52°22′ N 01°11′ W	2,5 MHz 5 MHz 10 MHz	7	24	ja	± 2	National Physical Laboratory
IBF	Turin Italien	45°02′ N 07°46′ O	5 MHz	7	2,75	ja	± 10	Institute Elettronico Nazionale, Galileo Ferraris, Corso Massimo d'Azeglio 42, 10125 Turin, Italien

Bemerkungen: 1. Die für die Normalfrequenz- und Zeitaussendungen verantwortlichen Institute geben Auskünfte über Einzelheiten wie z.B. über Sendezeiten und über Kodierweise der Zeitinformation.
2. Die Unsicherheitsangaben gelten am Sendeort. Um vergleichbare Unsicherheiten am Empfangsort zu bekommen, sind geeignete Mittelungsverfahren anzuwenden.

1.03 Normalschwere γ unter der geographischen Breite φ im Geodätischen Referenzsystem 1980 – *Normal gravity γ as a function of geographic latitude φ in the geodetic reference system* 1980 (S. German)

$\gamma_\varphi = \gamma_e(1+0{,}005\,279\,0414 \sin^2\varphi + 0{,}000\,023\,2718 \sin^4\varphi + 0{,}000\,000\,1262 \sin^6\varphi + 0{,}000\,000\,0007 \sin^8\varphi)$
mit $\gamma_e = 9{,}780\,326\,7715\,\mathrm{ms}^{-2}$.

Geographische Breite φ in Winkelgrad, Normalschwere γ_φ in ms^{-2}.

Relative Unsicherheit der Werte der Normalschwere etwa $1 \cdot 10^{-9}$.

φ	0	1	2	3	4
0	9,7803267715	,7803424976	,7803896568	,7804681925	,7805780103
10	9,7818838361	,7822068494	,7825590533	,7829400241	,7833493032
20	9,7863695384	,7869613408	,7875766053	,7882145897	,7888745238
30	9,7932487037	,7940386006	,7948434066	,7956621469	,7964938297
40	9,8016982965	,8025916046	,8034894436	,8043907213	,8052943410
50	9,8107035684	,8115927596	,8124755106	,8133507425	,8142173855
60	9,8191783851	,8199559524	,8207168404	,8214601155	,8221848653
70	9,8260961957	,8266677388	,8272143539	,8277353680	,8282301393
80	9,8306158823	,8309117814	,8311775220	,8314127762	,8316172536
90	9,8321863684				

φ	5	6	7	8	9
0	,7807189782	,7808909266	,7810936487	,7813269007	,7815904022
10	,7837863976	,7842507812	,7847418946	,7852591459	,7858019120
20	,7895556110	,7902570287	,7909779293	,7917174418	,7924746719
30	,7973374470	,7981919759	,7990563798	,7999296096	,8008106052
40	,8061992026	,8071042040	,8080082423	,8089102153	,8098090229
50	,8150743795	,8159206762	,8167552393	,8175770470	,8183850924
60	,8228901996	,8235752520	,8242391806	,8248811691	,8255004281
70	,8286980584	,8291385487	,8295510671	,8299351053	,8302901897
80	,8317907020	,8319329072	,8320436937	,8321229248	,8321705026

1.04 Werte der örtlichen Fallbeschleunigung – *Values of local acceleration due to gravity* (S. German)

Ausgewählte Punkte aus dem International Gravity Standartization Net 1971 (IGSN 71).
(Vollständige Darstellung in „The International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN 71)", Publ. Speciale No. 4 des Bureau Central der International Associaton of Geodesy.)
Unsicherheit der Werte der Fallbeschleunigung kleiner als $1 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{ms}^{-2}$.

Station des IGSN 71		Geogr. Breite φ	Geogr. Länge λ	Meeres-höhe H	Fallbeschleu-nigung g
Nummer	Name	in Grad (°)	in Grad (°)	in m	in ms^{-2}
21 520	Braunschweig	52,30 N	10,47 E	76	9,8125202
17 981	München	48,13 N	11,58 E	512	9,8072313
21 523	(Potsdam) Berlin-Tempelhof	52,48 N	13,40 E	35	9,8126670
28 603	Hammerfest	70,67 N	23,68 E	16	9,8261756
21 941	Reykjavik	64,13 N	21,95 W	8	9,8226491
25 004	Helsinki	60,17 N	24,95 E	21	9,8190054
21 590	Oslo	59,92 N	10,78 E	31	9,8191256
21 552	Kopenhagen	55,73 N	12,50 E	45	9,8154298
18 110	Teddington	51,42 N	0,33 W	9	9,8118175
18 082	Paris	48,83 N	2,22 E	66	9,8092594
17 912	Rom	41,90 N	12,52 E	45	9,8034922
14 503	Madrid	40,40 N	03,68 W	655	9,7996651
14 192	Ankara	40 N	33 E	800	9,7992514
10 591	Kairo	29,83 N	31,33 E	118	9,7927677
14 323	Tripolis	32,90 N	13,28 E	11	9,7957272
00 150	Accra	05,62 N	00,20 W		9,7809144
03 398	Addis Abeba	09 N	39 E	2300	9,7743122
46 738	Kapstadt	33,95 S	18,47 E	38	9,7963271
25 968	Thule	76,53 N	68,75 W	77	9,8291368
23 147	Fairbanks	64,87 N	147,82 W	157	9,8223165
15 255	Ottawa	45,40 N	75,72 W	83	9,8060612
12 038	Los Angeles	34 N	118 W		9,7958307
11 687	Washington	38,90 N	77,03 W	0	9,8010428
00 889	Panama	08,97 N	79,55 W	9	9,7822673
33 208	Quito	00,22 S	78,50 W	2815	9,7726323
00 844	Bogota	04,63 N	74,07 W	2592	9,7739015
36 557	Brasilia	15,84 S	47,93 W	1059	9,7808495
51 108	Puerto Santa Cruz	50,03 S	68,60 W	134	9,8103025
13 951	Teheran	36 N	51 E	1200	9,7938792
10 187	Delhi	28,57 N	77,12 E	230	9,7912156
06 206	Saigon	10,82 N	106,63 E	10	9,7821512
02 613	Singapur	01,32 N	103,82 E	19	9,7806672
13 159	Tokio	35,72 N	139,77 E	18	9,7978722
37 579	Tahiti	17 S	150 W		9,7862960
45 331	Sydney	33,88 S	151,18 E	30	9,7967186
59 676	McMurdo Sound	77,90 S	166,75 E	12	9,8297676

1.05a Werte des Schweregrundnetzes 1976 in Deutschland (DSGN 76, Zentren) – *Zero order gravity net* 1976 *in Germany* (S. German)

Auskunft über Werte der Fallbeschleunigung gibt in der Bundesrepublik Deutschland das Schwerearchiv des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts, Marstallplatz 8, 80539 München, welches mit dem Archiv des Bureau Gravimétrique Internationale in Toulouse zusammenarbeitet.

Unsicherheit der Werte der Fallbeschleunigung etwa $1 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Station des DSGN 76		Geogr. Breite φ	Geogr. Länge λ	Meeres-höhe H	Fallbeschleu-nigung g
Nummer	Name	in Grad (°)	in Grad (°)	in m	in $\mathrm{ms^{-2}}$
1/0	Flensburg, Stadion Kielseng	54,80	9,45	34,8	9,81485580
2/0	Hamburg-Harburg, Geoph. Observatorium	53,46	9,92	30,2	9,81363679
3/0	Aurich, Behördenhaus	53,47	7,47	5,9	9,81357250
4/0	Hannover, Geod. Institut der TU	52,39	9,71	54,3	9,81262404
5/0	Bentheim, Mittel-punktschule Gildehaus	52,30	7,10	65,0	9,81270640
6/0	Braunschweig, Physikalisch-Technische Bun-desanstalt, Abbe-Bau	52,30	10,46	72,2	9,81252943
7/0	Bad Harzburg, Ev. Gemeindehaus	51,88	10,57	275,3	9,81165520
8/0	Kassel, Neue Gemäldegalerie	51,31	9,49	168,2	9,81146704
9/0	Hünsborn, Hauptschule	50,94	7,90	434,4	9,81073920
10/0	Aachen, TH-Hauptgebäude	50,78	6,08	177,4	9,81094951
11/0	Wiesbaden, Hess. Landesvermessungsamt	50,09	8,23	165,8	9,81036864
12/0	Bamberg, Flurbereinigungs-direktion	49,89	10,89	237,2	9,80986584
13/0	Merzig, Kreisrealschule	49,44	6,64	189,3	9,80963716
14/0	Greding, Kirche St. Martin	49,05	11,35	424,3	9,80856339
15/0	Zwiesel, Staatl. Realschule	49,02	13,24	623,9	9,80822120
16/0	Karlsruhe, Geodätisches Institut	49,01	8,41	114,7	9,80941458
17/0	Aalen, Hofherrnschule	48,83	10,07	440,1	9,80845332
18/0	München, Bayer. Akademie d. Wissenschaften	48,14	11,58	512,5	9,80723129
19/0	Freiburg, Friedrichs-gymnasium	48,05	7,86	263,6	9,80826469
20/0	Bad Reichenhall, Pfarrkirche St. Zeno	47,73	12,63	465,0	9,80650409
21/0	Wangen, Staatl. Vermessungsamt	47,69	9,83	566,7	9,80653728

1.05b Schwerewerte von Festpunkten I. Ordnung des Staatlichen Gravimetrischen Netzes (SGN) der ehemaligen DDR und Punkten des Einheitlichen Gravimetrischen Netzes (EGN) osteuropäischer Länder – *Values of local acceleration due to gravity in the former DDR* (S. German)

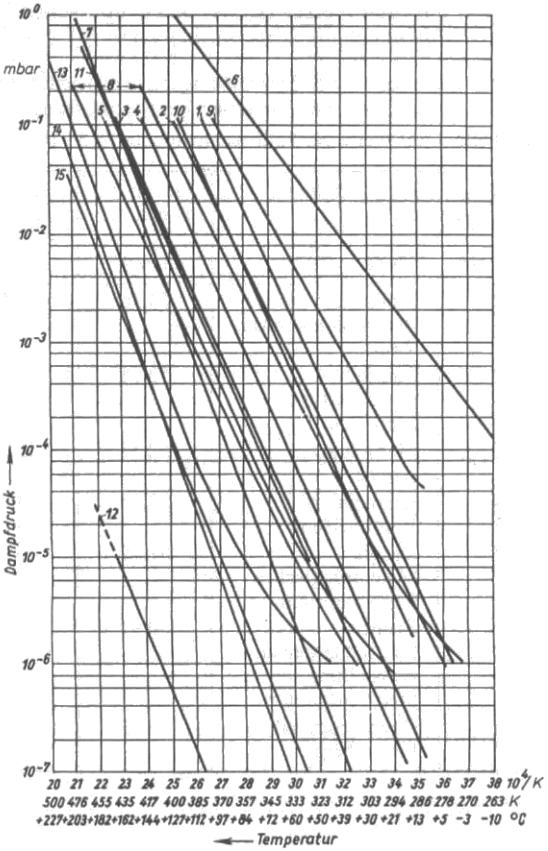
Auskunft über Werte der Fallbeschleunigung in den neuen Bundesländern erteilt die Außenstelle Leipzig des Instituts für angewandte Geodäsie, Karl-Rothe-Straße 10–14, 04105 Leipzig.

Unsicherheit der Werte der Fallbeschleunigung $< 5 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Station des SGN I. Ordnung des EGN		Geogr. Breite φ in Grad °)	Geogr. Länge λ in Grad °)	Meeres-höhe H in m	Fallbeschleunigung g in $\mathrm{ms^{-2}}$
Lfd. Nr.	Name				
1	Stralsund, Bezirkskrankenhaus West	54,30	13,04	20,9	9,814 3867
2	Potsdam, Geod. Institut, Pfeiler Nr. 2	52,38	13,07	85,2	9,812 6068
3	Manschnow, Kirche	52,55	14,55	13,5	9,812 8350
4	Ummendorf, Burgmuseum	52,16	11,19	133,3	9,812 5820
5	Dresden, Meteorologisches Observatorium	51,12	13,68	245,7	9,810 9970
6	Erfurt, Intern. Gartenbau Ausstellung, Sternwartenturm	50,97	11,01	242,6	9,810 9498
7	Oberwiesenthal, Fichtelberg	50,43	12,96	1214,1	9,808 1407

1.06 Dampfdruckkurven von Treibmitteln für Diffusionspumpen – *Vapour pressures of diffusion pump fluids* (G. Messer)

1 Dibutylphthalat
2 Amoil
3 Octoil
4 Amoil-S
5 Octoil-S
6 Quecksilber
7 Trikresilphosphat
8 Apiezon-Öl
9 Narcoil
10 Arochlor
11 Litton-Oil
12 Apiezon-Fett L
13 Silikon D.C. 703
14 Silikon D.C. 705
15 Convalex 10



1.07 Manometer-Korrekturen – *Corrections of manometer readings*

1.07a Richtwerte von Korrekturfaktoren *f* zur Umrechnung der Anzeige von Ionisationvakuummeter-Betriebsgeräten, deren Druckangabe in Stickstoff-Äquivalenten kalibriert ist – *Corrections factor f for the response of ion gauges calibrated with nitrogen in the presence of different gases* (G. Messer)

Tatsächlicher Druck $p = f \cdot p_{N_2}$-Anzeige.

Gas	*f*	Gas	*f*	Gas	*f*
He	4,8 bis 7,9	CO_2	0,59 bis 0,71	CS_2	0,21
Ne	3,1 bis 4,4	Hg	0,25 bis 0,4	$(CH_2)_2CO$	0,25
Ar	0,69 bis 0,83	Cl_2	1,4 bis 1,8	HCl	0,65
Kr	0,47 bis 0,59	J_2	0,17 bis 0,19	CF_2Cl_2	0,1 bis 0,35
Xe	0,32 bis 0,39	CH_4	0,64 bis 0,8	NH_3	0,64 bis 0,85
H_2	1,7 bis 2,6	C_2H_6	0,1 bis 0,38	N_2O	0,81
D_2	1,7 bis 2,9	C_3H_8	0,1 bis 0,22	H_2O	0,71 bis 0,91
O_2	0,8 bis 1,1	C_6H_6	0,18	SF_6	0,39 bis 0,4
N_2	1,00	$C_6H_5CH_3$	0,16	Propan	0,2
CO	0,85 bis 0,95	CCl_4	0,17	n-Butan	0,2

1.07b Kapillardepression des Quecksilbers in mm – *Capillary depression of mercury in* mm (J. Jäger)

nach Gould, F.A., Vickers, T., (1952): J. Sci. Instr. **29**, 85. Die Kapillardepression in Millibar erhält man nach Multiplikation der Zahlenwerte mit 1,3332.

Rohrdurchmesser mm	Kuppenhöhe in mm									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	bei einer Oberflächenspannung = 400 mN/m									
8	0,108	0,214	0,315	0,409	0,494	0,569	0,633	0,684	0,723	0,749
10	,058	,115	,170	,222	,270	,314	,352	,384	,410	,430
16	,011	,022	,032	,042	,052	,060	,068	,076	,082	,086
22	,002	,004	,006	,009	,010	,012	,014	,015	,016	,018
	bei einer Oberflächenspannung = 450 mN/m									
1	9,3									
2	2,56	4,54								
3	1,134	2,149	2,958	3,517						
4	0,623	1,205	1,715	2,131	2,444					
5	0,384	0,750	1,086	1,378	1,619	1,807	1,942			
6	,254	,500	0,729	0,937	1,117	1,266	1,384	1,470		
7	,176	,384	,510	,661	0,794	0,910	1,006	1,082	1,137	
8	,126	,250	,368	,478	,579	,668	0,744	0,807	0,855	0,890
9	,093	,183	,271	,353	,429	,498	,557	,608	,649	,679
10	0,069	0,137	0,202	0,264	0,322	0,375	0,422	0,462	0,495	0,522
11	,052	,104	,153	,200	,245	,285	,322	,354	,380	,402
12	,040	,079	,117	,153	,187	,218	,247	,272	,293	,311
13	,030	,060	,089	,117	,144	,168	,190	,210	,227	,241
14	,023	,046	,069	,090	,111	,130	,147	,163	,176	,187
15	0,018	0,036	0,053	0,070	0,086	0,101	0,114	0,126	0,137	0,146
16	,014	,028	,041	,054	,067	,078	,089	,098	,106	,113
17	,011	,022	,032	,042	,052	,061	,069	,076	,083	,088
18	,008	,017	,025	,033	,040	,047	,054	,059	,064	,069
19	,006	,013	,019	,026	,031	,037	,042	,046	,050	,054
20	0,005	0,010	0,015	0,020	0,024	0,029	0,032	0,036	0,039	0,042
21	,004	,008	,012	,015	,019	,022	,025	,028	,030	,032
22	,003	,006	,009	,012	,015	,017	,020	,022	,024	,025
	bei einer Oberflächenspannung = 500 mN/m									
8	0,143	0,286	0,421	0,547	0,663	0,766	0,855	0,929	0,989	1,031
10	,080	,159	,235	,308	,375	,436	,491	,542	,582	0,615
16	,017	,034	,051	,067	,082	,097	,110	,122	,133	,142
22	,004	,008	,012	,016	,020	,023	,026	,029	,032	,034

1.08 Barometrische Höhenmessung (Normatmosphäre). Höhe *H* als Funktion des Luftdrucks *p* und Luftdruck *p* als Funktion der Höhe *H* – *Barometric altimetry (Standard atmosphere). Altitude H in dependence on atmospheric pressure p, atmospheric pressure p in dependence on altitude H* (J. Jäger)

p hPa	*H* m	*p* hPa	*H* m	*H* m	*p* hPa	*H* m	*p* hPa
1013,25	0	500	5 574	0	1013,25	9 000	307,4
1000	110,9	490	5 723	100	1001,3	9 200	298,4
990	195,4	480	5 874	200	989,5	9 400	289,6
980	280,5	470	6 028	300	977,7	9 600	281,0
970	366,4	460	6 184	400	966,1	9 800	272,6
960	453,0	450	6 344	500	954,6	10 000	264,4
950	540,3	440	6 506	600	943,2	10 500	244,7
940	628,4	430	6 671	700	931,9	11 000	226,3
930	717,3	420	6 839	800	920,8	11 500	209,2
920	806,9	410	7 011	900	909,7	12 000	193,3
910	897,3	400	7 185	1 000	898,8	12 500	178,6
900	988,5	390	7 364	1 200	877,2	13 000	165,1
890	1 081	380	7 546	1 400	856,0	13 500	152,6
880	1 173	370	7 732	1 600	835,3	14 000	141,0
870	1 267	360	7 923	1 800	814,9	14 500	130,3
860	1 362	350	8 117	2 000	795,0	15 000	120,4
850	1 457	340	8 316	2 200	775,4	15 500	111,3
840	1 554	330	8 520	2 400	756,3	16 000	102,9
830	1 651	320	8 729	2 600	737,5	16 500	95,07
820	1 749	310	8 944	2 800	719,1	17 000	87,87
810	1 849	300	9 164	3 000	701,1	17 500	81,20
800	1 949	290	9 390	3 200	683,4	18 000	75,05
790	2 050	280	9 623	3 400	666,2	18 500	69,36
780	2 153	270	9 862	3 600	649,2	19 000	64,10
770	2 256	260	10 109	3 800	632,6	19 500	59,24
760	2 361	250	10 363	4 000	616,4	20 000	54,75
750	2 466	240	10 626	4 200	600,5	21 000	46,78
740	2 573	230	10 898	4 400	584,9	22 000	40,00
730	2 681	220	11 180	4 600	569,7	23 000	34,22
720	2 790	210	11 475	4 800	554,8	24 000	29,30
710	2 901	200	11 784	5 000	540,2	25 000	25,10
700	3 012	190	12 109	5 200	525,9	26 000	21,53
690	3 125	180	12 452	5 400	511,9	27 000	18,47
680	3 239	170	12 815	5 600	498,3	28 000	15,86
670	3 355	160	13 199	5 800	484,9	29 000	13,63
660	3 472	150	13 608	6 000	471,8	30 000	11,72
650	3 591	140	14 046	6 200	459,0	31 000	10,08
640	3 711	130	14 516	6 400	446,5	32 000	8,680
630	3 832	120	15 024	6 600	434,3	33 000	7,482
620	3 955	110	15 575	6 800	422,3	34 000	6,461
610	4 080	100	16 180	7 000	410,6	35 000	5,589
600	4 206	90	16 848	7 200	399,2	36 000	4,843
590	4 334	80	17 595	7 400	388,0	37 000	4,204
580	4 464	70	18 442	7 600	377,1	38 000	3,655
570	4 596	60	19 419	7 800	366,4	39 000	3,182
560	4 730	50	20 576	8 000	356,0	40 000	2,775
550	4 865	40	22 000	8 200	345,8	41 000	2,424
540	5 003	30	23 849	8 400	335,9	42 000	2,120
530	5 142	20	26 481	8 600	326,2	43 000	1,857
520	5 284	10	31 055	8 800	316,7	44 000	1,629
510	5 428						

Die geometrische Höhe h wird aus der geopotientellen Höhe H (vgl. dazu **1.6.6.3** Barometrische Höhenmessung) berechnet zu $h = r_E H/(r_E - H)$ mit dem nominellen Erdradius $r_E = 6\,356\,766$ m. Höhenmesser der Luftfahrt sind nach der geopotientellen Höhe H in Fuß geteilt. 1 m = 3, 2808398 foot.

1.09 Stoffwerte der Elastizität – *Material data of elasticity* (M. Biermann)

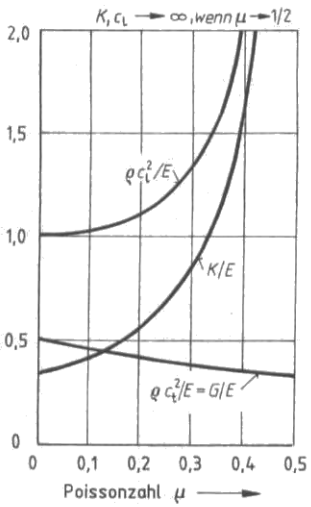
Die Lehre von der linearen und isotropen Elastizität, die den Ausführungen von **1**.9.1 zugrundeliegt, ist die denkbar einfachste und zugleich leistungsfähigste, aber eben bloß eine Näherung. Deswegen kann die auf ihr beruhende Auswertung von Meßergebnissen auch zu nichts mehr als Näherungswerten führen. Die oft überraschend großen Streuungen auch sorgfältiger Messungen sind nicht nur durch chemische Einflüsse, sondern unter anderen auch durch folgende physikalischen Ursachen zu erklären (vgl. **1**.9.1.1):

– Der räumlich periodische Aufbau fast aller materiellen Körper ist, streng genommen, weder mit deren Homogenität noch mit deren Isotropie zu vereinbaren. Während man bei einheitlichen Stoffen im großen meist Quasihomogenität voraussetzen darf, ist Quasiisotropie lediglich bei polykristallinen Stoffen im großen möglich. Eine seltene Ausnahme gibt es unter den chemischen Elementen bei Wolfram, das nahezu isotrop kristallisiert. Sind in einem Polykristall die Richtungen der anisotropen Kristallite nicht gleichmäßig im Raum verteilt, so weist der Körper sozusagen eine Textur auf. Das Ergebnis der Mittelung über die Textur hängt überdies von der Art der mechanischen Beanspruchung ab. Infolgedessen können zwei Stoffgrößen, wie sie nach der Theorie zur Kennung eines elastischen Materials bei gegebener Temperatur genügen sollen, eigentlich nicht ausreichen. Diese Problematik entfällt nur bei amorphen Stoffen (z.B. Mineralglas) und vielen Baustoffen, die aus einheitlichen Haufwerken bestehen und isotrop erscheinen (wie Feinkeramik, Mörtel und Beton). Hingegen sind Polymerisat-Kunststoffe und Biomaterialien nicht selten teilkristallin (vgl. **8**.3.1.2). In ihnen vergrößern die Kristallite durch Vernetzungen die Elastizitätsmoduln.

– Zur Kennung isotroper elastischer Materialien gehören im allgemeinen drei Materialfunktionen. Sie reduzieren sich im Fall der Linearisierung auf ein Paar von Materialkonstanten, beispielsweise auf E und μ. Dieser Grenzfall bedingt die Beschränkung auf infinitesimale Verformungen, die allerdings zu klein sind, um direkt meßbar zu sein, sondern nur indirekt über Meßreihen unter der Voraussetzung stetigen Verhaltens erfaßt werden können. Dabei sind besondere nichtlineare Effekte nicht ohne weiteres auszuschließen.

– Verformungen des Körpers können Umwandlungen auslösen, die sich in den Materialeigenschaften äußern. Ein eindrucksvolles Beispiel liefert Zink, dessen Modul E Werte zwischen 70 und 130 GPa aufweist.

– Eine hinreichend große Geschwindigkeit der Verformung kann viskoelastisches Verhalten zum Vorschein bringen. Einschlägige Erläuterungen dazu und Meßdaten unter Berücksichtigung von Zeit- und Temperaturabhängigkeiten findet man in Retting (1972).



Modulverhältnisse als Funktionen der Poissonzahl

Die nachstehend tabellierten Stoffwerte sind aus vielen Veröffentlichungen genommene Durchschnittswerte und entbehren daher unvermeidlich nicht ganz der Willkür. Grundsätzlich beziehen sie sich auf einen engen Temperaturbereich um $T = 293\,\mathrm{K}$ und auf die Nähe des natürlichen Zustandes. Wichtige Temperaturgänge sind in Biermann (1989) wiedergegeben.

Gemäß der linearen Theorie genügt es, die Werte eines Größenpaares anzugeben, um ein isotropes elastisches Material zu kennzeichen. Dazu werden der Dehnelastizitäts-(Eulersche Elastizitäts-) Modul E und die Poissonzahl μ meistens bevorzugt. Die zugehörigen Werte des Scherelastizitäts-(Schub-)Moduls G, des Volumenelastizitäts-(Kompressions-)Moduls K, der Längswellengeschwindigkeit c_l und der Querwellengeschwindigkeit c_t lassen sich dann nach **1**.9.1.1 berechnen oder aus dem nebenstehenden Diagramm ablesen. Die Werte der Massendichte ϱ sind in anderen Tabellen dieses Buches enthalten.

Die Maßeinheit GPa ist identisch mit $\mathrm{kN/mm^2}$.

1.09a Chemische Elemente (polykristallin) – *Chemical elements (polycrystalline)*

Stoff	E GPa	dE/EdT kK^{-1}	μ	Stoff	E GPa	dE/EdT kK^{-1}	μ
Aluminium	70	−0,44	0,34	Natrium	8,9		0,32
Antimon	58	−0,26	0,25	Nickel	205	−0,18	0,31
Barium	13	−0,39	0,28	Niob	105		0,40
Beryllium	303	−0,15	0,08	Osmium	570		0,25
Blei	16	−1,2	0,44	Palladium	125	−0,11	0,39
Cadmium	51	−1,1	0,30	Platin	170	−0,14	0,39
Calcium	20	−0,3	0,31	Rhenium	475		0,29
Cer	31		0,25	Rhodium	387	−0,28	0,27
Chrom	279		0,21	Silber	82	−0,44	0,36
Eisen	211	−0,25	0,29	Silicium	100		0,45
Germanium	83		0,31	Tantal	190	−0,14	0,34
Gold	78	−0,24	0,43	Thallium	8	−0,8	0,45
Hafnium	138		0,29	Thorium	80	−0,4	0,26
Indium	11	−3,2	0,45	Titan	110	−0,6	0,35
Iridium	537	−0,20	0,26	Uran	184	−0,5	0,24
Kalium	3,5		0,35	Vanadium	128		0,36
Kobalt	210	−0,26	0,31	Wismut	32	−0,6	0,33
Kupfer	128	−0,39	0,34	Wolfram	405	−0,1	0,28
Lanthan	38	−0,26	0,28	Yttrium	65		0,27
Lithium	11,5		0,36	Zink	100	−0,5	0,25
Magnesium	45	−0,40	0,29	Zinn	53	−1,4	0,34
Mangan	200	−0,32	0,24	Zirconium	80	−0,5	0,35
Molybdän	320	−0,13	0,29				

1.09b Legierungen (polykristallin) – *Alloys (polycrystalline)*

		E GPa	dE/EdT kK^{-1}	μ
Berylliumkupfer	(98% Cu, 2% Be)	128	−0,23	0,34
Chromnickelstahl	(72% Fe, 18% Cr, 10% Ni)	200	−0,35	0,30
Chromstahl	(88% Fe, 12% Cr)	215		0,28
Duraluminium	(95% Al, 5% Cu)	74		0,34
Elektronmetall	(90% Mg, 10% Al)	45		0,30
Gußeisen	(97% Fe, 3% C)	90 bis 145		0,21 bis 0,30
Invar	(64% Fe, 36% Ni)	146	+0,05	0,30
Isoelastic	(55% Fe, 36% Ni, 8% Cr)	180	−0,04 bis 40,01	0,40
Konstantan	(60% Cu, 40% Ni)	166		0,33
Manganin	(84% Cu, 4% Ni, 12% Mn)	126		0,33
Messing	(65% Cu, 35% Zn)	105	−0,45	0,35
Neusilber	(65% Cu, 20% Zn, 15% Ni + Co)	130	−0,40	0,33
Nickelstahl	(60% Fe, 40% Ni)	156		0,30
Phosphorbronze	(92% Cu, 7% Sn)	113	−0,45	0,34
Stahl (Federstahl)	(99% Fe, 1% C)	210	−0,21	0,28

1.09c Keramische und mineralische Stoffe – *Ceramics and minerals*

	E GPa	μ
Alabastergips (Modellgips)	6	0,19
Basalt	58 bis 103	0,31
Bimsbeton (Mauerwerk)	0,5 bis 3,5	0,12 bis 0,21
Bleizirkonat-Titanat	122	0,32
Borosilicatglas	62	0,24
Diabas	78 bis 116	0,28
Gabbro	67 bis 125	0,27 bis 0,30
Gasbeton (Mauerwerk)	1 bis 4	0,18
Gipsmörtel (ohne Zuschlagstoffe)	5 bis 15	0,16 bis 0,22
Granit	47	0,27
Hartbrandziegel	25 bis 50	
Kalk-Natron-Silicatglas	40 bis 80	0,20 bis 0,27
Kalkstein	60 bis 90	0,23 bis 0,29
Korund (Aluminiumoxid)	411	0,24
Leichtbeton	5 bis 20	0,15
Lithiumniobat	228	0,19
Marmor	70	0,25
Periklas (Magnesiumoxid)	308	0,19
Porzellan (Aluminiumsilicat)	60 bis 90	0,23
Quarzglas	73	0,17
Quarzit	74 bis 77	0,12 bis 0,17
Sandstein	10 bis 20	0,15
Schaumbeton	2 bis 5	0,14
Schaumglas	1	0,1
Schwerbeton	20 bis 40	0,17 bis 0,20
Siliciumcarbid	365	
Spiegelglas	71	0,20
Steatit (Magnesiumsilicat)	80 bis 120	0,25
Steinsalz (Natriumchlorid)	38	0,25
Stuckgips	3 bis 12	0,1 bis 0,3
Titancarbid	320	0,25
Wolframcarbid	534	0,22
Yttrium-Gallium-Granat	235	0,27
Zementmörtel (Feinbeton)	25	0,20

1.09d Organische Stoffe – *Organic materials*

	E GPa	μ
Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat	2,5	0,39
Castolit*	4,9	0,36
Catalin*	4,2	0,36
Celluloseacetat	2	0,44
Cellulosenitrat (Celluloid)*	2	0,37
Epoxidharz	4,5	0,36
Gelatine mit 80% Wasser	0,0002	0,49
Gummi (vulkanisierter Naturkautschuk)	0,001 bis 0,05	0,45 bis 0,49
Hartgummi	5	0,25
Phenolformaldehyd	6	0,38
Phenolharz-Schaum	0,03 bis 0,06	0,1
Polycaprolaktam (Polyamid): trocken	4,0	0,40
mit 8 % Wasser	1,0	0,35
Polycarbonat*	2,5	0,35
Polyester*	3,8	0,35
Polyethylen: niedriger Dichte	0,2	0,40
hoher Dichte	2	0,40
Polyhexamethylenadipamid	4,0	0,40
Polyisopren	0,02	0,49
Polymethylmethacrylat (Acrylglas)	3 bis 6	0,35 bis 0,38
Polyoxymethylen	4,0	0,40
Polyphenylquinoxalin	4,2	0,37
Polypropylen	3,5	0,34
Polystyrol	2 bis 4	0,34
Polystyrol-Extruderschaum	0,01 bis 0,02	0,1
Polystyrol-Elastomer	1	0,4
Polyurethan-Schaumstoff	0,00025	0,2
Polyvinylchlorid, hart	4	0,30
Polyvinylidenchlorid	6	0,35
Polyvinylidenfluorid	3	0,40

* als photoelastischer Modellwerkstoff verwendbar

1.09e Verbundwerkstoffe – *Compound materials*

	E GPa	μ
Azbestzement	20 bis 24	0,17 bis 0,20
Glasfaserbeton mit 3 bis 6 % Glasfasern	5 bis 24	0,2
Phenoplast (gefülltes Phenolharz)	15 bis 20	0,22 bis 0,27
Polyesterbeton, mit Glasgewebe verstärkt	20 bis 30	0,28
Polypropylfaserbeton	30	
Polystyrol, mit 30 % Glasfasern	8	
Reaktionsharzbeton	15 bis 35	0,28
Reaktionsharzmörtel	21	0,28
Stahlfaser-Spritzbeton	26 bis 34	0,08 bis 0,15

1.09f Flüssigkeiten – *Liquids* ($E = 3G = 0,\ \mu = 1/2$)

	K GPa	$dK/K dT$ kK^{-1}		K GPa	$dK/K dT$ kK^{-1}
Aceton	0,82	− 9	Kohlenstofftetrachlorid	1,03	− 7
Amylbenzoat	1,67	− 7	Methanol	0,91	− 7
Anilin	2,21	− 5	Methylenbromid	1,52	− 6
Anisol	1,51	− 6	Methyljodid	1,01	− 6
Benzol	1,05	− 8	Nitrobenzol	2,05	− 5
Chlorbenzol	1,37	− 6	Oktan	0,86	− 7
Chloroform	1,03	− 8	Olivenöl	1,63	− 2
Cyclohexan	0,92	− 7	Pentan	0,42	−14
Essigsäure	1,10	− 7	Pentanol	1,13	− 8
Ethanol	0,91	− 7	Petroleum	1,25	− 4
Ethylacetat	0,56	−11	Quecksilber	26	− 1
Ethylbromid	0,78	− 9	Toluol	1,12	− 7
Ethylenchlorid	1,27	− 7	Xylol	1,18	− 6
Ethylether	0,55	−12	Wasser	2,15	+ 3
Ethyljodid	1,02	− 7	2-mol. wässerige Lösungen:		
Heptan	0,72	− 7	Salzsäure	2,25	
Hexan	0,63	− 8	Natriumchlorid-Lösung	2,60	
Kohlenstoffdisulfid	1,11	− 7	Natriumhydroxid-Lösung	2,83	

1.09g Sonstige Stoffe – *Other materials*

	E GPa	μ
Eis:		0,36
bei −1 °C	4	
bei −3 °C	7	
unter −4 °C	10	
Sand-Schüttung, bei 37 kPa statischem Druck, mit 41 bis 43 % Porosität, trocken	0,24 bis 0,36	0,22 bis 0,27
Verstärkungsfasern in Längsrichtung:		
Asbest	160 bis 190	
Faserglas	70 bis 90	
Graphit	280 bis 300	
Kevlar (Polyamid)	60 bis 130	
Saphir	350 bis 420	
Siliciumcarbid	640	
Stammhölzer in Längsrichtung:		
Bongossi	17	
Buche	14 bis 16	
Douglasie, Eiche, Lärche	12 bis 13	
Kiefer	11 bis 12	
Tanne, Fichte	10 bis 11	
Holzspanplatte	1 bis 3	

Literatur: Retting, W. (1972): Viskoelastisches Verhalten bei zügig wachsender Spannung und Verformung. In: Konstruieren mit Kunststoffen, hrsgeg. v. G. Schreyer, München: Carl Hanser, 456–501. Biermann, M. (1989): Elastizitätsmodul. In: Thermophysikalische Stoffgrößen, hrsgeg. v. W. Blanke, Berlin: Springer-Verlag, 191–205 u. 374.

1.10 Härteskala nach Mohs – *Hardness numbers to Mohs* (T. Polzin)

Mohs-Härte	Mineral	Mikro-Vickers-Härte HV	Knoop-Härte	Beispiele für die Mohs-Härte			
1	Talk	2,4	32	Aluminium	2,3 bis 2,9	Molybdäncarbid	7 bis 8
2	Gips	36	135	Blei	1,5	(MoC)	
3	Kalkspat	110	163	Chrom (weich)	4,5	Nickel	3,5 bis 5
4	Flußspat	190	430	Chrom (hart)	8	Opal	5,5 bis 6,5
5	Apatit	540	560	Eisen	3,5 bis 4,5	($SiO_2 + n\,H_2O$)	
6	Feldspat	800	820	Eisenoxyd	5,5 bis 6	Platin	4,3
7	Quarz	1120	1340	Fe_2O_3, Fe_3O_4		Rutil (TiO_2)	6 bis 6,5
8	Topas	1430	1800	Fingernagel	2 bis 2,5	Silber	2,7
9	Korund	2000	7000	Gold	2,5	Sintercarbide	9 bis 9,5
10	Diamant	(10000)		Graphit	1	(z. B. WC)	
				Gußcarbide	9 bis 9,8	Titancarbid (TiC)	8 bis 9
				(z. B. WC)		Vanadiumcarbid	8
				Martensit	7	(V_2C_2)	
				Molybdänglanz	1 bis 1,5	Wolfram	7
				(MoS_2)		Zinnoxid (SnO_2)	6,5 bis 7

1.11 Härteprüfung Brinell: Prüfkräfte – *Hardness test Brinell: Test forces* (T. Polzin)

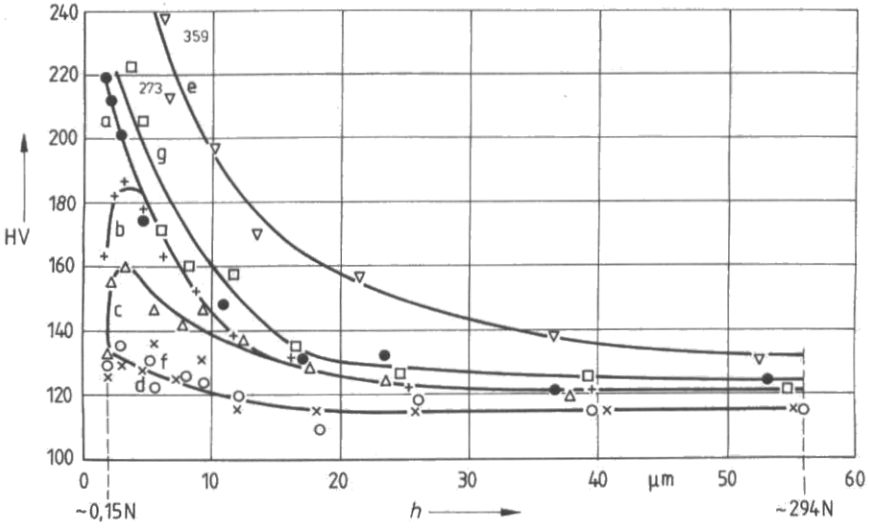
Kugeldurchmesser D mm	Prüfkraft F in N für die Beanspruchungsgrade 0,102 F/D^2				
	30	10	5	2,5	1
10	29420	9807	4903	2452	980,7
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,5	153,2	61,29
1	294,2	98,07	49,03	24,52	9,807

1.12 Härteprüfung Brinell: Erfaßbarer Härtebereich für verschiedene Werkstoffgruppen – *Hardness test Brinell: Hardness ranges which can be covered for various groups of materials* (T. Polzin)

	Beanspruchungsgrad 0,102 F/D^2 mit Prüfkraft F in N				
	30	10	5	2,5	1
	Erfaßbarer Härtebereich HB				
	95 bis 650	32 bis 218	16 bis 109	8 bis 55	3 bis 22
Bevorzugt anzuwenden bei der Härteprüfung von	Eisenwerkstoffen und hochfesten Legierungen	Nichteisenmetallen			
	Weicheisen Stahl Stahlguß Temperguß Gußeisen Titanlegierungen hochwarmfeste Nickel- und Kobaltlegierungen	Leichtmetall Guß- und Knetlegierungen Spritzguß-legierungen Kupfer Messing Bronze Nickel	Rein-aluminium Magnesium Zink Gußmessing	Lagermetall	Blei Zinn Weich-metall

1.13 Härteprüfung Vickers: Abhängigkeit des Härtewertes von der Prüfkraft – *Hardness Test Vickers: Dependence of the hardness value from the test force* (T. Polzin)

Die wegen des kausalen Zusammenhanges über der Eindringtiefe (h) aufgetragenen Werte können aus den Grenzwerten für die Prüfkraft mit guter Näherung linear interpoliert werden.



1.14 Härteprüfung Rockwell: Übersicht über die Skalen – *Hardness Test Rockwell: Survey of scales* ($HR = N - \frac{h}{S}$) (T. Polzin)

Härteskala	Zeichen für die Härte	Art des Eindringkörpers	Prüfvorkraft F_0 (N)	Prüfgesamtkraft F (N)	Zahlenwert N	Skalenfaktor S	Anwendungsbereich (Bereich der Rockwellhärte)
A	HRA	Diamantkegel	98,07	588,4	100	0,002	20 bis 88 HRA
B	HRB	Stahlkugel 1,587 5 mm	98,07	980,7	130	0,002	20 bis 100 HRB
C	HRC	Diamantkegel	98,07	1471	100	0,002	20 bis 70 HRC
D	HRD	Diamantkegel	98,07	980,7	100	0,002	40 bis 77 HRD
E	HRE	Stahlkugel 3,175 mm	98,07	980,7	130	0,002	70 bis 100 HRE
F	HRF	Stahlkugel 1,587 5 mm	98,07	588,4	130	0,002	60 bis 100 HRF
G	HRG	Stahlkugel 1,587 5 mm	98,07	1471	130	0,002	30 bis 94 HRG
H	HRH	Stahlkugel 3,175 mm	98,07	588,4	130	0,002	80 bis 100 HRH
K	HRK	Stahlkugel 3,175 mm	98,07	1471	130	0,002	40 bis 100 HRK
15N	HR15N	Diamantkegel	29,42	147,1	100	0,001	70 bis 94 HR15N
30N	HR30N	Diamantkegel	29,42	294,2	100	0,001	42 bis 86 HR30N
45N	HR45N	Diamantkegel	29,42	441,3	100	0,001	20 bis 77 HR45N
15T	HR15T	Stahlkugel 1,587 5 mm	29,42	147,1	100	0,001	67 bis 93 HR15T
30T	HR30T	Stahlkugel 1,587 5 mm	29,42	294,2	100	0,001	29 bis 82 HR30T
45T	HR45T	Stahlkugel 1,587 5 mm	29,42	441,3	100	0,001	1 bis 72 HR45T

1.15 Härtebereiche von Kunststoffen, Elastomeren und Kunststoffbeschichtungen – *Indentation hardness ranges for plastics, rubber and coatings (typical values)* (K. Müller)

Werkstoff Art	Struktur	Kurzbez. nach DIN 7728	Name	Härtebereich nach Prüfverfahren… Kugeldruckhärte (N/mm²) DIN ISO 2039 T1	Shore-D-Härte DIN 53 505	Shore-A-Härte DIN 53 505	Barcolhärte DIN EN 69	Universalhärte (N/mm²) keine Norm[3])	Eindruckwiderstand n. Buchholz DIN 53 153
Thermoplast	amorph	ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	65 bis 120	80 bis 95	–	45 bis 60	90 bis 100	–
		PMMA	Polymethylmethacrylat	165 bis 200	85 bis 95	–	55 bis 75	180 bis 200	–
		PS	Polystyrol	160 bis 190	85 bis 90	–	60 bis 70	150 bis 180	–
		PVC, hart	Polyvinylchlorid, hart	75 bis 155	80 bis 90	–	10	120 bis 130	–
		PVC, weich	Polyvinylchlorid, weich (25% DOP[1])	12	55	95	–	40	–
		PVC, weich	Polyvinylchlorid, weich (40% DOP[1])	–	15	65	–	0,06	–
	teilkristallin	PA 6	Polyamid 6	70 bis 150	75 bis 80	–	–	100 bis 110	–
		PE HD	Polyethylen, hohe Dichte	30 bis 65	55 bis 70	95	–	35 bis 45	–
		PP	Polypropylen	50 bis 80	70 bis 80	–	40 bis 50	65 bis 80	–
Duroplast	engmaschig vernetzt	PF	Phenol-Formaldehyd	250 bis 320	85 bis 95	–	80 bis 85	350 bis 450	–
		MF	Melamin-Formaldehyd	260 bis 410	90 bis 95	–	70 bis 100	450 bis 650	–
		UP	ungesättigte Polyester	260 bis 540	–	–	–	–	–
Elastomer	weitmaschig vernetzt	CR[2])	Chloropren-Kautschuk	–	–	40 bis > 90	–	–	–
		EVA	Ethylen-Vinylacetat-K.	–	–	60 bis 85	–	–	–
		FP/FKM	Fluor-Kohlenstoff-K.	–	–	70 bis > 90	–	–	–
		NR	Naturkautschuk	–	–	25 bis > 90	–	–	–
		PO	Polypropylen-K.	–	–	60 bis 80	–	–	–
Beschichtung	–	–	Alkydharz, lufttrocknend	–	–	–	–	90 bis 120	70 bis > 125
		–	Chlorkautschuk, weichgemacht	–	–	–	–	–	< 60
		–	Polyamid, lufttrocknend	–	–	–	–	70 bis 110	< 60 bis 70
		–	Polyester	–	–	–	–	130 bis 220	< 60 bis 100

[1]) DOP = Dioctylphthalat, [2]) Nicht genormte Kurzbezeichnungen für Elastomere, [3]) Eindringkörper wie bei Vickershärte, aber Messung „unter Wirkung der Prüfkraft"

1.16 Übersicht zur Auswahl von Härteprüfverfahren für Kunststoffe und Gummi
– Synoptical table for the selection of hardness test methods for plastics and rubber
(K. Müller)

(Schräge Linie = Hinweis auf Alternativen)

Anwendungsbeispiel:

Ziel: Härtemessung bei großer *sowie* kleiner Schichtdicke (A 4 und A 5) an einem Thermoplasten (B 4).

Ergebnis: Messung nur möglich mit Laborgerät (C 4), alternativ „unter Prüfkraft" oder „nach Rücknahme der Prüfkraft" (D 4; je nach Gerätetyp), und zwar nach Vickers oder mittels Universalhärte (E 4).

	Merkmal	1	2	3	4	5
A	Schichtdicke	groß				klein
B	Werkstoffart	Duroplaste	Elastomere Thermoplaste	Thermoplaste Duroplaste Hartgummi	Thermoplaste Duroplaste Hartgummi	Beschichtungen Anstriche
C	Betriebsart	Handgerät		Laborgerät		Handgerät
D	Messung	„unter Prüfkraft"				„nach Rücknahme der Prüfkraft"
E	Verfahren	Barcol	Shore A/D	Kugeldruck	Vickers[1] Universalhärte[2]	Buchholz
F	Norm	DIN EN 59	DIN 53 505 ISO 868	DIN ISO 2039	(Eindringkörper nach DIN 50 133)	DIN 53 153
G	Eindringkörper – Gestalt	Kegelstumpf	Kegelstumpf (A); Kegelstumpf mit Kugelkappe (D)	Kugel	Pyramide mit quadratischer Grundfläche	Doppelkegelstumpf („Schneidkante")
H	Eindringkörper – Werkstoff	Stahl			Diamant	Stahl
I	Meßgröße	Barcol-Härte	Shore-Härte	Eindringtiefe	Länge der Eindruckdiagonalen oder der Eindringtiefe[2]	Eindrucklänge
K	Beschreibung in Tabelle	T1.20	T1.18, T1.19	T1.17	T1.21	T1.22

[1] Messung (ausschließlich) der bleibenden Länge der Eindruckdiagonalen „nach Rücknahme der Prüfkraft" beim Vickers-Verfahren.

[2] Messung von Eindringtiefe oder Länge der Eindruckdiagonalen „unter Prüfkraft" beim Universalhärte-Verfahren.

1.17 Kugeldruckhärte H – *Ball indentation hardness* (K. Müller)

Definition		Die Kugeldruckhärte H ist der Quotient aus Prüfkraft und Oberfläche des Prüfeindrucks einer Kugel unter Wirkung der Prüfkraft.		
Anwendung		Duroplaste, Hartgummi, Thermoplaste, ausgenommen sehr weiche Stoffe wie PE-weich oder PVC-weich. Planparallele Proben. Kleine und starre Halbzeuge oder Fertigteile hinreichender Dicke.		
Hauptmerkmale		Gutes Maß der mittleren Härte über größeren Werkstoffbereich, der viele Kristallite (bei teilkristallinen Thermoplasten) oder Füll-/Verstärkungspartikel umfaßt. Ein tiefer Eindruck (max. 0,35 mm) vermeidet ausschließliche Erfassung von Eigenschaften in Oberflächennähe. Vermessen der Eindrucktiefe unter wirkender Prüfkraft. Begrenzte Anwendung bei dünnen Proben. Geringe Beeinflussung des Härtewertes durch produktionsüblichen Oberflächenzustand. Auswertung automatisierbar. Einfacher Eindringkörper; einfach austauschbar.		
Handhabung des Geräts		Gerät stationär, Probe zum Gerät.		
Eindringkörper	Geometrie	Kugel, Durchmesser 5 mm		
	Werkstoff	Stahl, gehärtet; Härte $\geqslant$ 800 HV 10		
Prüfkraft		Prüfvorkraft F_0	Prüfzusatzkraft F_1	Prüfgesamtkraft F[1])
			49 N	49 N
			132 N	132 N
			358 N	358 N
		9,8 N	961 N	961 N
			unter Beachtung des Eindringtiefenbereichs 0,15 mm $< h <$ 0,35 mm	
Aufbringdauer der Prüfkraft		–	2 bis 3 s	–
Einwirkdauer der Prüfkraft		5 s	–	30 s Abweichungen im Prüfergebnis angeben
Probe		> 20 mm × 20 mm; $\geqslant$ 4 mm dick		
Prüfvorgang		Aufbringen der Prüfvorkraft; nach 5 s Meßgerät auf Null setzen. Aufbringen der Prüfzusatzkraft; nach 30 s Meßwert ablesen; Dämpfung so einstellen, daß Prüfzusatzkraft in 2 bis 3 s erreicht wird.		

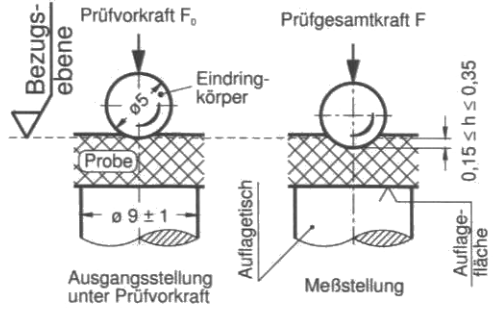


Fig. 1 Schema des Verfahrens

Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant$ 10 mm
	Randabstand	möglichst $\geqslant$ 10 mm
	Eindringtiefe	0,15 mm $\leqslant h \leqslant$ 0,35 mm
Messung	Meßgröße	Abgelesene Eindringtiefe h_{ab} unter Wirkung der Prüfgesamtkraft F; die abgelesene Eindringtiefe h_{ab} ist um die Prüfgeräteaufbiegung a, die abhängig von der Prüfkraft ist, zu korrigieren, siehe Auswertung.
	Meßbereich	0,15 mm $\leqslant h \leqslant$ 0,35 mm
	Auflösung	<0,01 mm nach DIN ISO 2039 T1, dadurch Abweichung in Härtewert bis zu etwa 10 % möglich; ±0,001 mm sind anzustreben
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	$H = \frac{1}{d \cdot \pi} \cdot \frac{F_r}{h_r}$ mit $F_r = \frac{0,21}{0,21 - h_r + h} \cdot F$ = reduzierte Prüfkraft; d = 5,0 mm (Kugeldurchmesser) h_r = 0,25 mm (reduzierte Eindringtiefe) F = Prüfgesamtkraft in N $h = h_{ab} - a$ (wirkliche Eindringtiefe in mm) h_{ab} = abgelesene Eindringtiefe in mm a = Prüfgeräteaufbiegung in mm; $H = 0,0535 \cdot \frac{F}{h - 0,04}$ siehe DIN ISO 2039 T 1 Ermittlung des Härtewertes H in der Regel aus Tabellen oder bei Prüfgeräteausstattung mit Rechnerauswertung, Ablesung des Härtewertes am Prüfgerät oder Härtewertausdruck.
	Darstellung des Prüfergebnisses	Beispiel: H 132/60 = 20 N/mm² Härtewert in N/mm² Einwirkdauer in s, wenn abweichend von der Norm Prüfgesamtkraft in N Kurzzeichen des Verfahrens
	Einheit	N/mm²
Normen		Verfahren und Gerät DIN ISO 2039 Teil 1

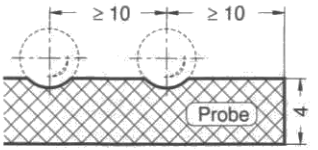


Fig. 2 Positionierung der Härteeindrücke

[1]) Als Prüfgesamtkraft F gilt die Prüfzusatzkraft F_1, da die Prüfvorkraft F_0 bei der Berechnung der Härte nicht berücksichtigt wird. In DIN ISO 2039 T1 wird F mit „F_m" bezeichnet.

1.18 Shore-A-Härte – *Shore hardness* A (K. Müller)

Definition	Die Shore-A-Härte ist die Differenz zwischen dem Zahlenwert 100 und der durch den Skalenwert 0,025 mm dividierten Eindringtiefe des Eindringkörpers in mm unter Wirkung der Prüfkraft.
Anwendung	Weiches Gummi, sehr weiche Kunststoffe, wie PVC-weich. Planparallele Proben, Halbzeuge oder Fertigteile hinreichender Dicke, beliebiger Größe.
Hauptmerkmale	Maß der mittleren Härte über größeren Werkstoffbereich. Schneller, einfach durchführbarer Versuch mit direkter Anzeige des Härtewertes. Ermittlung des Härtewertes unter wirkender Prüfkraft. Handgerät oder stationäre Meßeinrichtung; daher keine Begrenzung der Prüfstückgröße nach oben. Bei Einsatz als Handgerät größere Meßunsicherheit. Prüfvorgang automatisierbar. Begrenzte Anwendung bei dünnen Proben, kleinen Teilen oder nachgiebigen Fertigerzeugnissen.
Handhabung des Geräts	Gerät stationär oder portabel. Bei stationärem Gerät Anpreßkraft des Geräts: 12 N bis 13 N Als Handgerät: Anwendung des Geräts in jeglicher Lage, z.B. auch über Kopf.
Eindringkörper – Geometrie	Kegelstumpf, Öffnungswinkel 35° (siehe Fig. 1)
Eindringkörper – Werkstoff	Stahl, gehärtet und poliert.
Prüfkraft	$0{,}55\,\text{N} \leqslant F \leqslant 8{,}1\,\text{N}$ linearer Verlauf $2{,}5\,\text{mm} \geqslant h \geqslant 0\,\text{mm}$ (zugehöriger Bereich der Eindringtiefe)
Aufbringdauer der Prüfkraft	Stoßfrei. Sonst keine weiteren Angaben in den Normen.
Einwirkdauer der Prüfkraft	3 s nach Belastungsbeginn. Bei Proben mit deutlichen Fließeigenschaften, Dauer ggf. vereinbaren und im Prüfbericht angeben.
Probe	$\geqslant$ 35 mm Durchmesser; $\geqslant$ 6 mm dick; dünnes Material schichten, höchstens 3 Schichten, keine Schicht dünner als 2 mm. Prüf- und Auflagefläche hauchfein mit Talkum bestäuben.
Prüfvorgang	Stoßfreies Andrücken der Probe über Prüfständer an das Shore-Härteprüfgerät oder Andrücken des Geräts von Hand so, daß die Auflagefläche des Shore-Härteprüfgerät auf der Probe satt aufliegt. Ablesen des Meßwertes.

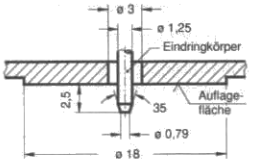


Fig. 1 Eindringkörper (schematisch)

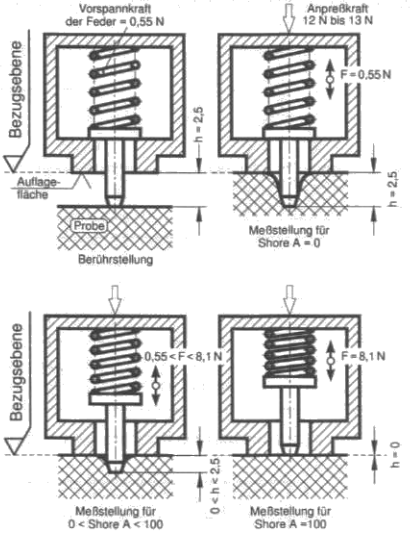


Fig. 2 Schema des Verfahrens

Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant$ 5 mm
	Randabstand	$\geqslant$ 13 mm
	Eindringtiefe h	2,5 mm $\geqslant h \geqslant$ 0 mm
Messung	Meßgröße	Shore A, 1 Skalenteil = 0,025 mm Eindringtiefe
	Meßbereich	Bereich der Härteskale: 0 $\leqslant$ Shore A $\leqslant$ 100 nutzbarer Bereich nach DIN 53 505: 10 $\leqslant$ Shore A $\leqslant$ 90 empfohlener Bereich: 10 $\leqslant$ Shore A $\leqslant$ 80
	Auflösung	1 Shore A
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	Shore A $= N - \frac{h}{S}$; $N = 100$, $S = 0,025$ mm, $h =$ Eindringtiefe in mm. Direkte Ablesung der Shore A-Härte (als Zahlenwert) am Gerät.
	Darstellung des Prüfergebnisses	Beispiel: 75 Shore-A 15 Einwirkdauer der Prüfkraft in s, wenn von der Norm abweichend Kurzzeichen des Verfahrens Härtewert
	Einheit	keine
Normen		Verfahren und Gerät: DIN 53 505; ISO 868

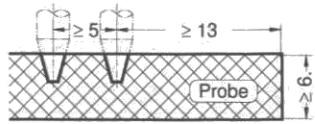


Fig. 3 Positionierung der Härteeindrücke

1.19 Shore-D-Härte – *Shore hardness* D (K. Müller)

Definition	Die Shore-D-Härte ist die Differenz zwischen dem Zahlenwert 100 und der durch den Skalenwert 0,025 mm dividierten Eindringtiefe des Eindringkörpers in mm unter Wirkung der Prüfkraft.
Anwendung	Hartes Gummi, weiche Thermoplaste, wie PTFE. Planparallele Proben. Halbzeuge oder Fertigteile hinreichender Dicke, beliebiger Größe.
Hauptmerkmale	Maß der mittleren Härte in engbegrenztem Oberflächenbereich über größere Werkstofftiefe. Schneller, einfach durchzuführender Versuch mit direkter Anzeige des Härtewertes. Ermittlung des Härtewertes unter wirkender Prüfkraft. Handgerät oder stationäre Meßeinrichtung; daher keine Begrenzung der Prüfstückgröße nach oben. Bei Einsatz als Handgerät größere Meßunsicherheit. Begrenzte Anwendung bei dünnen Proben, kleinen Teilen oder nachgiebigen Erzeugnissen.
Handhabung des Geräts	Gerät stationär oder portabel. Bei stationärem Gerät Anpreßkraft des Geräts: 49,5 N bis 50,5 N. Als Handgerät: Anwendung des Geräts in jeglicher Lage, z.B. auch über Kopf.
Eindringkörper – Geometrie	Kegelstumpf, Öffnungswinkel 30°, mit Kugelkappe (siehe Fig. 1)
Eindringkörper – Werkstoff	Stahl, gehärtet und poliert.
Prüfkraft	$0\ \text{N} \leqslant F \leqslant 44{,}5\ \text{N}$ linearer Verlauf $2{,}5\ \text{mm} \geqslant h \geqslant 0\ \text{mm}$ (zugehöriger Bereich der Eindringtiefe)
Aufbringdauer der Prüfkraft	Stoßfrei; sonst keine weiteren Angaben in den Normen.
Einwirkdauer der Prüfkraft	3 s nach Belastungsbeginn. Bei Proben mit deutlichen Fließeigenschaften, Dauer ggf. vereinbaren und im Prüfbericht angeben.
Probe	$\geqslant$ 35 mm Durchmesser; $\geqslant$ 6 mm dick; dünnes Material schichten, höchstens 3 Schichten, keine Schicht dünner als 2 mm. Prüf- und Auflagefläche hauchfein mit Talkum bestäuben.
Prüfvorgang	Andrücken der Probe über Prüfständer an das Shore-Härteprüfgerät oder Andrücken des Geräts von Hand so, daß die Auflagefläche des Shore-Härteprüfgeräts auf der Probe satt aufliegt. Ablesen des Meßwertes.

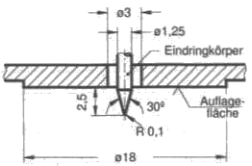


Fig. 1 Eindringkörper (schematisch)

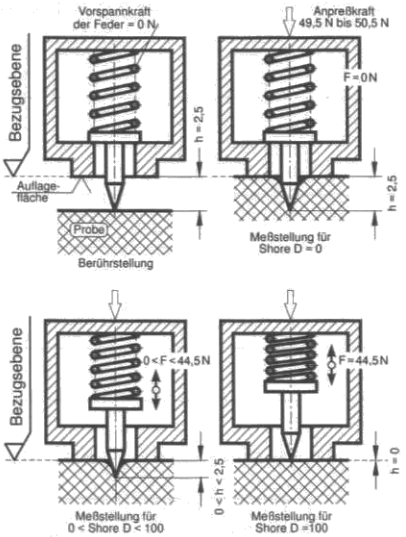


Fig. 2 Schema des Verfahrens

Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant$ 5 mm
	Randabstand	$\geqslant$ 13 mm
	Eindringtiefe h	2,5 mm $\geqslant h \geqslant$ 0 mm
Messung	Meßgröße	Shore D, 1 Skalenteil = 0,025 mm Eindringtiefe
	Meßbereich	Bereich der Härteskale: $0 \leqslant$ Shore D $\leqslant 100$ nutzbarer Bereich nach DIN 53 505: $30 \leqslant$ Shore D $\leqslant 90$ empfohlener Bereich: $30 \leqslant$ Shore D $\leqslant 80$
	Auflösung	1 Shore D
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	Shore D $= N - \frac{h}{S}$; $N = 100$, $S = 0,025$ mm, $h =$ Eindringtiefe in mm. Direkte Ablesung der Shore D-Härte (als Zahlenwert) am Gerät.
	Darstellung des Prüfergebnisses	Beispiel: 75 Shore-D 15 15 — Einwirkdauer der Prüfkraft in s, wenn von der Norm abweichen Shore-D — Kurzzeichen des Verfahrens 75 — Härtewert
	Einheit	keine
Normen		Verfahren und Gerät: DIN 53 505; ISO 868

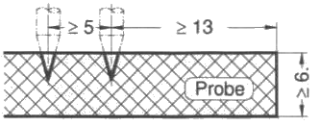


Fig. 3 Positionierung der Härteeindrücke

1.20 Barcol-Härte – *Barcol hardness* (K. Müller)

Definition	Die Barcolhärte ist die Differenz zwischen dem Zahlenwert 100 und der durch den Skalenwert 0,0076 mm dividierten Eindringtiefe des Eindringkörpers in mm unter Wirkung der Prüfkraft.	
Anwendung	Glasfaserverstärkte Kunststoffe; Duroplaste und harte Thermoplaste; ebene und auch schwach gekrümmte Proben. Halbzeuge und Fertigteile.	
Hauptmerkmale	Maß für die Härte in eng begrenztem Oberflächenbereich über mäßige Werkstofftiefe. Ermittlung des Härtewertes unter wirkender Prüfkraft. Schneller, einfach durchzuführender Versuch mit direkter Anzeige des Härtewertes. Handgerät, daher keine Begrenzung der Prüfstückgröße nach oben. Begrenzte Anwendung bei kleinen Proben oder Fertigteilen. Nicht automatisierbar bei Anwendung des Ausführungsbeispiels in der Norm. Eindringkörper einfach austauschbar.	
Handhabung des Geräts	Gerät portabel; Gerät zur Probe. Handgerät, Anwendung des Geräts in beliebiger Lage; z.B. auch über Kopf.	
Eindringkörper – Geometrie	Kegelstumpf (siehe Fig. 1)	
Eindringkörper – Werkstoff	Stahl, gehärtet und poliert.	
Prüfkraft	Prüfvorkraft F_0 61,1 N	Prüfkraft F 61,1 N bis 71,3 N linearer Verlauf in einem Bereich der Eindringtiefe von $0\ \text{mm} \leqslant h \leqslant 0{,}76\ \text{mm}$ (Befund an nur einem Meßgerät)
Aufbringdauer der Prüfkraft	zügig in ca. 1 s; keine Angaben in der Norm	
Einwirkdauer der Prüfkraft	keine eindeutigen Angaben in der Norm	
Probe	Probenfläche möglichst = 90 mm × 80 mm. Dicke > 1,5 mm. Allgemein gültige Angaben zur Prüffläche nicht möglich.	

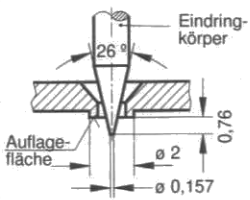


Fig. 1 Eindringkörper (schematisch)

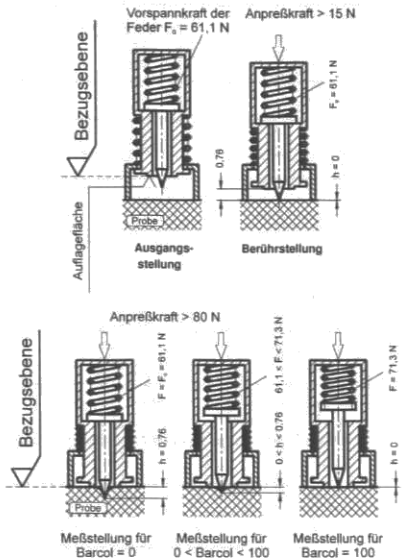


Fig. 2 Schema des Verfahrens

Prüfvorgang		Gerät von Hand schnell auf die Probe drücken und Höchstwert sofort an der Skala ablesen. Überprüfung des Geräts mit vom Hersteller kalibrierten Härtevergleichsplatten für zwei Härtewerte.
Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant 3$ mm
	Randabstand	$\geqslant 3$ mm
	Eindringtiefe h	0,76 mm $\geqslant h \geqslant$ 0 mm
Messung	Meßgröße	Barcolhärte, 1 Skalenteil = 0,0076 mm Eindringtiefe
	Meßbereich	$0 \leqslant$ Barcolhärte $\leqslant 100$
	Auflösung	1 Barcol
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	Barcolhärte $= N - \frac{h}{S}$; $N = 100$, $S = 0{,}0076$ mm, h = Eindringtiefe in mm. Direkte Ablesung der Barcolhärte (als Zahlenwert) am Gerät.
	Darstellung des Prüfergebnisses	74 Barcol Kurzzeichen des Verfahrens Härtewert
	Einheit	keine
Normen		Verfahren und Gerät: DIN EN 59 (für Barcol Härteprüfgerät Typ Nr. 934-1)

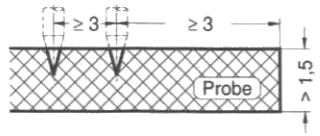


Fig. 3 Positionierung der Härteeindrücke

1.21 Universalhärte HU[1)] – *Universal hardness* (K. Müller)

Definition		Die Universalhärte HU ist der Quotient aus Prüfkraft und Oberfläche des Prüfeindrucks einer Pyramide mit quadratischer Grundfläche unter Wirkung der Prüfkraft.
Anwendung		Alle Werkstoffe, so auch Elastomere. Proben mit ebener Oberfläche. Folien und Beschichtungen, kleine Fertigteile; Halbzeuge und Fertigteile beliebiger Größe; sehr kleine auch randnahe Bereiche.
Hauptmerkmale		Erfüllung der (klassischen) Definition der technischen Härte im strengen Sinn (siehe **1**.9.3.5, Band 1). Empfindlichstes Härteprüfverfahren mit größtem Unterscheidungsvermögen. Härtewerte weitgehend unabhängig von der Prüfkraft. Vermessen der Eindruckgröße (je nach Gerätetyp die Tiefe oder Diagonalenlänge des Härteindrucks) unter wirkender Prüfkraft. Eine einzige durchgehende Härteskale für sämtliche Werkstoffe; somit auch Vergleichsmöglichkeit mit metallischen oder anderen nichtorganischen Werkstoffen. Relativ hohe Ansprüche an Oberflächenqualität im zu prüfenden Bereich. Möglichkeit der Automatisierung und Temperierung. Zusatzinformationen zum Werkstoffverhalten.
Handhabung des Geräts		Gerät stationär oder portabel. Als portables Gerät Anwendung des Geräts in jeglicher Lage, z.B. auch über Kopf. Bei Messung auf Erschütterungsfreiheit achten.
Eindringkörper	Geometrie	Pyramide mit quadratischer Grundfläche mit einem Winkel von 136° zwischen gegenüberliegenden Flächen; Dachkantenlänge < 0,5 µm (siehe Fig. 1)
	Werkstoff	Diamant
Prüfkraft		0,01 N bis 10 N empfohlener Bereich
Aufbringdauer der Prüfkraft		1 s bis 20 s
Einwirkdauer der Prüfkraft		1 s bis 3 s; für besondere Werkstoffe länger.
Probe	Größe	Probenfläche $\geqslant 40 \times h$ bzw. $6 \times d$; $\geqslant$ 1mm × 1 mm. Probendicke $\geqslant 10 \times h$ bzw. $1{,}5 \times d$ (siehe Fig. 3). Bei Beschichtungen: Schichtdicke $\geqslant 10 \times h$ bzw. $1{,}5 \times d$
	Oberfläche	Im Eindruckbereich eben und glatt (d.h., Oberflächenrauhheit etwa entsprechend Oberfläche, wie sie durch polierte Preß- und Spritzgießwerkzeuge bzw. Mikrotom-Schnitt erzeugt wird.)

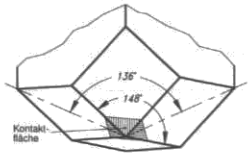


Fig. 1 Eindringkörper (schematisch)

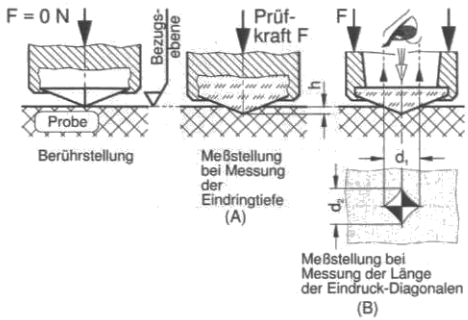
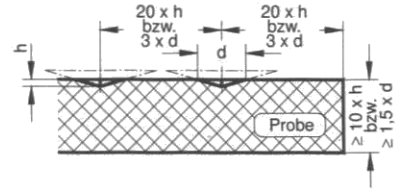


Fig. 2 Schema des Verfahrens bei Eindringtiefenmessung (A) und Diagonalenmessung (B)

Prüfvorgang		Aufsetzen des Eindringkörpers unter Beachtung der Annäherungsgeschwindigkeit, um Meßwertverfälschungen zu vermeiden. Definiertes Aufbringen der Prüfkraft. Messung der Gesamteindringtiefe bzw. Diagonalenlänge unter Wirkung der Prüfkraft.				
Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant 20 \times$ Eindringtiefe h $\geqslant 3 \times$ Diagonalenlänge d				
	Randabstand	$\geqslant 20 \times$ Eindringtiefe h $\geqslant 3 \times$ Diagonalenlänge d				
Messung	Meßgröße	Bei Eindringtiefenmessung: Eindringtiefe h (siehe Fig. 2) Bei Diagonalenmessung: mittlere Länge der Eindruckdiagonalen $d = (d_1 + d_2)/2$			Fig. 3 Positionierung der Härteeindrücke	
	Meßbereich	... der Eindringtiefe h			oder ... der mittleren Länge der Eindruckdiagonalen d	
		$h \geqslant 30$ µm	30 µm $> h \geqslant 15$ µm	15 µm $> h \geqslant 1,0$ µm	> 200 µm	$\leqslant 200$ µm
	Auflösung (bzw. Meßunsicherheit)	±0,5 % von h	±0,15 µm	±1,0 % von h bzw. ±0,02 µm	±0,5 % von d	±1,0 µm
		(einschließlich Unsicherheit bei der Ermittlung des Nullpunkts)				
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	$HU = \frac{F}{26,43 \cdot h^2}$ oder $HU = \frac{F}{0,5393 \cdot d^2}$ F =Prüfkraft in N; h =Eindringtiefe in mm; d =mittlere Länge der Eindruckdiagonalen in mm				
	Darstellung des Prüfergebnisses	Beispiel: HU = 0,05 / 2 = 320 N/mm² Härtewert in N/mm² Einwirkdauer in s Prüfkraft in N Kurzzeichen des Verfahrens				
	Einheit	N/mm²				
Normen		Das Verfahren ist z.Z. nicht genormt. Die Normungsarbeit wurde aufgenommen.				

[1]) Vor Einführung des Begriffs „Universalhärte" wurde dieses Verfahren auch benannt als „Vickershärte unter Last"; siehe Tab. T 1.16, Zeile E/Spalte 4)

1.22 Eindruckwiderstand nach Buchholz – *Indentation test according to Buchholz* (K. Müller)

Definition	Der Eindruckwiderstand nach Buchholz ist der Quotient aus dem Zahlenwert 100 mm und der Länge des bleibenden Eindrucks in mm nach Rücknahme der Prüfkraft.
Anwendung	Anstriche und Kunststoffbeschichtungen mit überwiegend plastischem Verformungsverhalten auf unnachgiebigem Untergrund. Ebene und horizontal angeordnete Prüfflächen von speziellen Proben oder Fertigerzeugnissen.
Hauptmerkmale	Maß für die Härte auf linienförmigem Bereich über relativ große Schichttiefe. Vermessen der bleibenden Eindrucklänge nach Fortnahme der Prüfkraft. Handgerät, daher keine Begrenzung der Prüfstückfläche nach oben. Begrenzte Anwendung bei kleiner Prüffläche oder unregelmäßig gestalteten Fertigerzeugnissen. Relativ hohe Ansprüche an Oberflächenqualität und Gleichmäßigkeit der Schichtdicke im zu prüfenden Bereich. Nicht automatisierbar bei Anwendung des Ausführungsbeispiels in der Norm.
Handhabung des Geräts	Gerät portabel; Gerät zur Probe. Handgerät, arbeitet durch Eigengewicht. Einsatz nur auf horizontalen Flächen möglich.
Eindringkörper – Geometrie	Schneide, gebildet aus Doppelkegelstumpf mit 120° Schneidenwinkel (Fig. 1).
Eindringkörper – Werkstoff	Stahl, gehärtet $\geqslant$ 61 HRC, Rauhtiefe $R_z \leqslant 4\,\mu m$
Prüfkraft	5,0 N Prüfkraft resultiert aus der Masse des Geräts und der Geometrie seiner Auflagerung (Fig. 2)
Aufbringdauer der Prüfkraft	Gerät stoßfrei aufsetzen; keine weiteren Angaben in der Norm.
Einwirkdauer der Prüfkraft	30 s
Probe	Ebene Probeplatten (mit Anstrich) nach DIN 53227 aus Stahl (Dicke 1 mm) oder Glas (Dicke 3 mm) oder nach Vereinbarung. Probenfläche möglichst = 150 mm × 95 mm. Dicke des Anstrichs je nach Härte 15 µm bis 35 µm; min. Trocknungsgrad 4 (DIN 53150) bei lufttrocknenden Anstrichen oder 3 h nach Trocknung.
Prüfvorgang	Gerät von Hand ohne Verkanten und seitliches Bewegen auf die waagrecht liegende Probeplatte stoßfrei aufsetzen und nach 30 s wieder abheben. 35 s nach Abheben des Geräts bleibende Eindrucklänge vermessen. Messung auf der Probe 5 mal wiederholen.

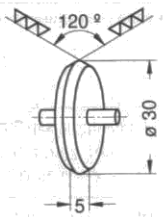


Fig. 1 Eindringkörper (schematisch)

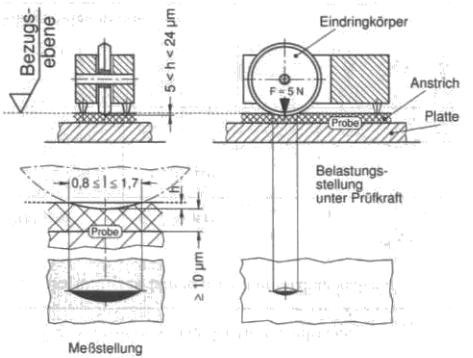


Fig. 2 Schema des Verfahrens

Prüfeindruck	Mittenabstand	$\geqslant$ 5 mm
	Randabstand	$\geqslant$ 5 mm
	Eindringtiefe	5 µm $\leqslant h \leqslant$ 24 µm Restdicke unter dem Eindruck muß $\geqslant$ 10 µm sein (Fig. 2)
Messung	Meßgröße	Eindruckwiderstand nach Buchholz; gemessen wird die bleibende Eindrucklänge l (Mittelwert von 5 Messungen auf der Probe)
	Meßbereich	0,8 mm $\leqslant l \leqslant$ 1,7 mm
	Auflösung	0,1 mm nach DIN 53153; 0,05 mm anzustreben
Auswertung	Ermittlung des Härtewertes	Eindruckwiderstand nach Buchholz = $\frac{S}{l}$; S = 100 mm, l = Eindrucklänge in mm
	Darstellung des Prüfergebnisses	27 Buchholz Kennzeichnung der Verfahrens (nicht genormt) Härtewert
	Einheit	keine
Normen		Verfahren und Gerät: DIN 53153

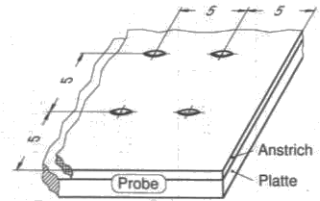


Fig. 3 Positionierung der Härteeindrücke

1.23 Dynamische Viskosität η einiger Flüssigkeiten beim Druck 1 bar oder beim höheren Sättigungsdruck (eingeklammerte Werte) – *Dynamic viscosity η of some liquids under a pressure of* 1 bar, *or under the saturation pressure* (*if higher*) (G. Meerlender)

Viskositätswerte für Wasser s. Tab. T 3.11

Stoff	η in mPa · s bei den Temperaturen in °C						
	−50	0	+20	50	80	100	150
Aceton	0,83	0,390	0,318	0,244	(0,195)	–	–
Benzol	–	–	0,650	0,437	0,317	(0,261)	(0,170)
Chlorbenzol	–	1,05	0,802	0,57	0,43	0,37	–
Dichlormethan	–	0,535	0,434	–	–	–	–
Diethylether	0,54	0,284	0,233	(0,175)	(0,135)	(0,115)	–
Ethylalkohol	6,4	1,78	1,20	0,698	0,446*)	(0,326)	(0,166)
Glycerin	–	12100	1480	180	35	–	–
Glykol	–	55	19,9	6,6	3,00	1,99	–
Methylalkohol	2,26	0,820	0,587	0,396	–	–	–
n–Pentan	0,48	0,281	0,230	(0,177)	(0,136)	(0,115)	–
Quecksilber	–	1,685	1,554	1,410	1,298	1,240	1,120
Tetrachlorethylen	–	1,14	0,896	0,66	0,51	0,44	–
Tetrachlormethan	–	1,35	0,974	0,657	(0,474)	(0,39)	(0,25)
Trichlorethylen	–	0,70	0,564	0,44	0,36	–	–
Trichlormethan	–	0,70	0,563	0,43	–	–	–
Toluol	–	0,77	0,588	0,425	0,321	0,272	–

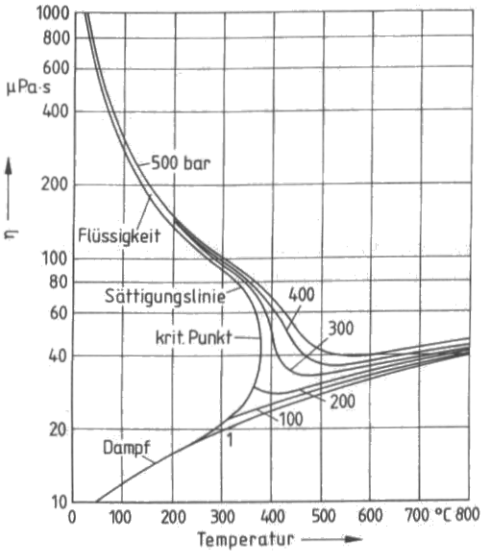
*) beim Siedepunkt 78,4 °C

1.24 Dynamische Viskosität η einiger Stoffe im Sättigungszustand (Flüssigkeit und Dampf) – *Dynamic viscosity η of some fluids at the state of saturation* (*both liquid and vapor*) (G. Meerlender)

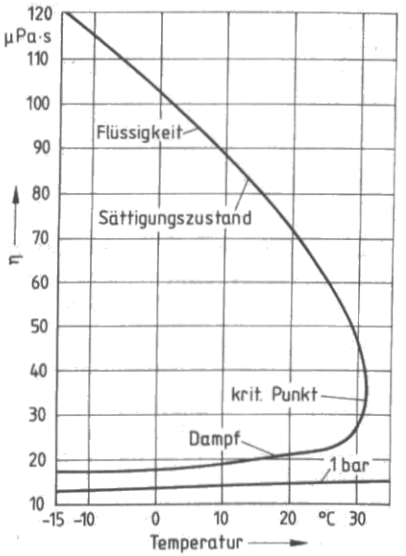
	Siedepunkt °C	Druck bar	Flüssigkeit µPa · s	Gas (Dampf) µPa · s
Ammoniak	0	4,30	240	11,8
Argon	−186	1,013	252	7,2
Bromtrifluormethan	20	10	150	17
Dichlordifluormethan	20	8	200	13
Helium	−268,9	1,013	3,5	1,2
Kohlendioxid	0	34,8	103	17,7
Methan	−161,7	1,013	98	4,5
Sauerstoff	−183,0	1,013	188	6,8
Stickstoff	−195,8	1,013	156,5	5,2
Wasserstoff	−252,8	1,013	13,0	1,1

1.25 Dynamische Viskosität η von Wasser und Kohlendioxid – *Dynamic viscosity η of water and carbon dioxide* (G. Meerlender)

1.25a Wasser



1.25b Kohlendioxid



Die beiden Äste der Sättigungslinie für Flüssigkeit und Dampf treffen sich im kritischen Punkt. Die Viskositätswerte am kritischen Punkt betragen für Wasser 47 μPa · s, für Kohlendioxid 34 μPa · s. Für CO_2 ist außerdem die Isobare für 1 bar eingetragen. Für Wasser sind mehrene Isobaren bis in das überkritische Gebiet hinein aufgezeichnet. Im Zustandsgebiet zwischen 1 bar und 20 bar und zwischen 200 °C und 300 °C ist ein beschränkter Bereich mit negativem Druckkoeffizienten der Dampfviskosität von H_2O gefunden worden, s. das ausführlichere Diagramm in Scheffler, K.; Straub, J.; Grigull, U. (1981): Wasserdampftafeln. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

1.26 Dynamische Viskosität η einiger Gase beim Druck 1 bar oder beim niedrigeren Sättigungsdruck (eingeklammerte Werte) – *Dynamic viscosity η of some gases under a pressure of* 1 bar, *or under the saturation pressure* (*if lower*) (G. Meerlender)

Viskositätswerte für Luft s. Tab. T 3.17

Stoff	η in μPa · s bei den Temperaturen in °C									
	−100	−50	0	+20	50	100	200	500	800	1200
Acetylen	–	–	9,5	10,15	11,1	12,7	15,7	–	–	–
Argon	14,2	17,9	21,3	22,31	24,3	27,3	32,7	46,3	57,8	71
Benzol	–	–	(7,0)	(7,5)	(8,2)	9,5	12,0	–	–	–
i-Butan	–	–	6,9	7,4	8,1	9,4	11,5	16	–	–
Chlor	–	550*)	12,3	13,2	14,6	16,8	21,0	32	–	–
Ethan	5,7	7,1	8,6	9,2	10,0	11,5	14,2	–	–	–
Ethylen	6,1	7,6	9,4	10,0	11,0	12,6	15,5	–	–	–
Helium**)	13,9	16,4	18,6	19,50	20,9	23,1	27,2	38,1	48,0	60
Kohlendioxid	–	11,2	13,7	14,6	16,0	18,5	22,9	34,3	–	–
Kohlenmonoxid	11,6	14,2	16,6	17,6	18,9	21,0	24,7	34,5	42,5	–

*) flüssig; **) Helium bei −200 °C: 8,0 μPa · s

Fortsetzung T 1.26

Stoff	η in µPa · s bei den Temperaturen in °C									
	−100	−50	0	+20	50	100	200	500	800	1200
Lachgas	–	11,4	13,8	14,8	16,2	18,5	23,2	36	–	–
Methan	6,8	8,6	10,3	11,0	12,0	13,5	16,3	23,2	29,0	–
Neon	22	26	29,8	31,27	33,4	36,8	43,1	59,3	73,2	90
Propan	–	–	7,5	8,1	8,8	10,2	12,5	–	–	–
Sauerstoff	13,1	16,5	19,2	20,2	21,8	24,4	29,0	40,2	50,1	–
Schwefeldioxid	–	–	11,6	12,6	14,0	16,3	20,7	–	–	–
Stickstoff	11,4	14,1	16,6	17,57	19,0	21,2	25,1	34,8	43,1	53
Wasserstoff***)	6,2	7,3	8,4	8,8	9,4	10,4	12,2	17,0	21,0	33

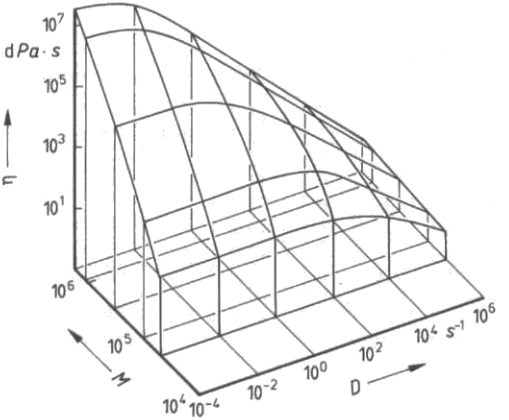
***) Wasserstoff bei −200 °C: 3,3 µPa · s

1.27 Dynamische Viskosität η und viskosimetrische Festpunkte (s. DIN 52 312, Tl. 1) einiger Gläser – *Dynamic viscosity η and viscometric fixed points (see* DIN 52 312 part 1) *of some glasses* (G. Meerlender)

Die Temperaturangaben sind auf 5 °C gerundet.

Glastyp	Herkunft und Bezeichnung	Temperatur in °C bei einer Viskosität in dPa · s					Kühlpunkte	
		10^2	10^4	$10^{7,6}$	10^{10}	10^{12}	oberer	unterer
Quarzglas (Kieselglas)	(SiO_2)	–	–	1740	1455	1290	1220	–
Kalk-Soda-Glas	NBS-Standard 710	1435	1020	725	630	575	545	505
Bleiglas	NBS-Standard 711	1330	910	600	520	465	430	390
Borosilikatglas	NBS-Standard 717	1545	1060	720	610	550	515	470
Kalk-Soda-Glas	DGG-Standard 1	1455	1025	720	625	565	525	485
Thermometerglas	Schott 16 III	1385	980	710	620	570	545	510
Brillenglas		1420	1010	715	625	570	545	510
Borsäure	(B_2O_3)	995	550	360	315	295	285	–

1.28 Abhängigkeit der dynamischen Viskosität η (in dPa · s) von der mittleren Molmasse $\bar{M}$ und vom Geschwindigkeitsgefälle D (in s^{-1}) für Polyisobutylen bei 150 °C – *Dependence of the dynamic viscosity η* (dPa · s) *upon the mean molar mass $\bar{M}$ and the rate of simple shear D* (s^{-1}) *for polyisobutylene at* 150 °C (G. Meerlender)



Tabellen und Diagramme zu Kapitel 2

Akustik – *Acoustics*

Redakteur: R. Martin †

2.01 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen – *Velocity of sound in solids, liquids and gases* (P. Dämmig) 325

2.01a Schallgeschwindigkeit in Festkörpern bei 15 °C bis 20 °C 325

2.01b Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten 326

2.01c Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen unter Normdruck 101,3 kPa 326

2.02 Schallschwächungswerte in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen – *Sound attenuation data of some solids, liquids and gases* (K. Brendel) 326

2.02a Schallschwächung in Festkörpern für Longitudinalwellen bei Zimmertemperatur 327

2.02b Schallschwächung in Flüssigkeiten 327

2.02c Schallschwächung in Gasen und Dämpfen 328

2.03 Schallschwächung in destilliertem Wasser als Funktion der Temperatur – *Sound attenuation in distilled water as a function of temperature* (K. Brendel) 328

2.04 Dämpfungskonstante m für Ausbreitung der Schallenergie in feuchter Luft ($t = 20\,°C$, $p_s = 101{,}3$ kPa) – *Attenuation coefficient m for propagation of sound energy in humid air* ($t = 20\,°C$, $p_s = 101{,}3$ kPa) (P. Dämmig) . . 329

2.05 Zulässiger Störschalldruckpegel für Hörschwellenmessungen an normalhörenden Personen – *Maximum permissible ambient sound pressure level for the determination of the threshold of hearing of otologically normal persons* (K. Brinkmann) 330

2.06 Mittlerer Hörschwellenpegel für normalhörende Personen im Alter zwischen 18 und 30 Jahren bei beidohrigem Hören im freien und im diffusen Schallfeld – *Sound pressure level corresponding to the median value of the binaural threshold of hearing of otologically normal persons within the age limits* 18 *to* 30 *years inclusive in a free and in a diffuse sound field* (K. Brinkmann) 331

2.07 Hörschwelle von Personen ohne bekannte Schwerhörigkeitsursache als Funktion des Lebensalters – *Threshold of hearing as a function of age for persons without any known cause of hearing impairment* (K. Brinkmann) 331

2.08 Relatives Freifeld-Übertragungsmaß in dB von Schallmeßgeräten mit Frequenzbewertung A, B, C oder D – *Relative free field frequency response of sound measuring instruments with frequency weighting* A, B, C *or* D, *in decibels* (R. Martin †) 333

2.09 Schalleistungspegel von Maschinen – *Sound power level of machines* (R. Martin †) 334

2.10 Richtwerte für Geräuscheinwirkungen im Wohnbereich (nach VDI 2058 Blatt 1) – *Recommended limit values for the noise exposure in residential areas* (after VDI 2058 Part 1) (R. Martin †) 334
2.11 Richtwerte für Geräuscheinwirkungen an Arbeitsplätzen (nach VDI 2058 Blatt 3) – *Recommended limit values for the noise exposure at working places* (after VDI 2058 Part 3) (R. Martin †) 335

2.01 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen – *Velocity of sound in solids, liquids and gases* (P. Dämmig)

ϱ Dichte, μ Poisson-Zahl, c_L Geschwindigkeit von Longitudinalwellen im unendlich ausgedehnten Medium, c_T Geschwindigkeit von Transversalwellen im unendlich ausgedehnten Medium, c_D Geschwindigkeit von Dehnwellen (Quasi-Longitudinalwellen in dünnen Stäben), E Elastizitätsmodul, G Torsionsmodul, t Meßtemperatur.

Die Angaben in verschiedenen Quellen weichen z.T. merklich voneinander ab. Deshalb wurden die Werte i.allg. auf zwei bzw. drei geltende Ziffern gerundet.

Literatur zu Tab. T 2.01a bis c (darin ausführliche Angaben):

D'Ans-Lax (1992): Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Bd. 1: Physikalisch-chemische Daten, 4. Aufl. Berlin usw.: Springer

Czichos, H. (Hrsg.) (1991): Hütte – Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. 29. Aufl., korr. Nachdruck. Berlin usw.: Springer

Kaye, G.W.C.; Laby, T.H. (1986): Tables of Physical and Chemical Constants, 15th Ed. Chichester/Sussex: Wiley & Sons

Kristen, Th.; Müller, H.W. (1960): Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls und des Verlustfaktors verbreiteter Baustoffe. In: Körperschall in Gebäuden. Berlin: Ernst & Sohn

Kunststoff-Handbuch (1969 u. 1986): Band II, IV, V. München: Hanser

Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen, 6. Aufl. Bd. II, 1. Teil (1971) und Bd. IV, 1. Teil (1955) sowie Neue Serie, Gruppe II, Bd. 5 (1967). Berlin: Springer

Neisecke, J. (1980): Ultraschall-Impulstechnik für Betonbauteile. TU Braunschweig, Inst. f. Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Forschungsauftr. BM Bau

Rupprecht, J. (1960): Körperschallfortleitung in Mauerwerk. In: Körperschall in Gebäuden. Berlin: Ernst & Sohn

Lide, D.R. (Hrsg.) (1992): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 73rd Ed., Boca Raton, Florida, USA: CRC Press

2.01a Schallgeschwindigkeit in Festkörpern bei 15 °C bis 20 °C

Material	ϱ g/cm³	μ	c_L km/s	c_T km/s	c_D km/s	Material	ϱ g/cm³	μ	c_L km/s	c_T km/s	c_D km/s
Aluminium	2,7	0,34	6,4	3,1	5,1	Glas					
Blei	11,4	0,44	2,1	0,7	1,2	Kron-	2,2	0,28[1])	5,1	2,8	4,5
Eisen	7,9	0,29	6,0	3,2	5,2	Quarz-	2,3	0,18	5,6	3,5	5,4
Germanium	5,3	0,31	4,6	2,4	3,9	Kork	0,2				0,5
Gold	19,7	0,42	3,2	1,2	2,0	(komprimiert)					
Kobalt	8,9	0,31	5,7	3,0	4,9	Marmor	2,6	0,30	6,2	3,3	3,8
Kupfer	8,9	0,35	4,7	2,3	3,8	Messing	8,6	0,37[1])	4,7	2,1	3,5
Magnesium	1,7	0,28	5,7	3,1	5,0	Plexiglas	1,2	0,35	2,7	1,3	2,2
Nickel	8,9	0,31	6,0	3,0	4,9	Polyethylen	0,9	0,35[3])	2,0		
Platin	21,4	0,39	3,3	1,7	2,8	Polystyrol	1,0	0,35[1])	2,4	1,1	1,8
Silber	10,4	0,37	3,7	1,7	2,8	Polyvinil-	1,4	0,30[3])	2,3		
Uran	19,1	0,25	3,4	1,9	3,1	chlorid					
Zink	7,1	0,25	4,2	2,4	3,8	Porzellan	2,3	0,23	5,3	3,1	4,9
Zinn	7,3	0,33	3,3	1,7	2,7	Sand	1,7				0,1
Basalt	3,0	0,31	5,9	3,1	5,1						bis
Beton	2,2	0,22	4,2	2,5	3,9[2])						0,3
Eis (−4 °C)	0,9	0,33	4,0	2,0	3,3	Stahl					
Glas						Fluß-	7,8	0,31	6,0	3,1	5,0
Flint-	3,9	0,22	4,0	2,4	3,7	Ziegel	2,0				3,1[4])

[1]) berechnet aus c_L, c_T, c_D. [2]) berechnet aus μ, c_L, c_T.
[3]) berechnet aus E, G. [4]) berechnet aus E, ϱ.

2.01b Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten

Flüssigkeit	t °C	ϱ g/cm³	c_L km/s	Flüssigkeit	t °C	ϱ g/cm³	c_L km/s
Aceton	20	0,79	1,19	Sauerstoff	–182,9	1,14	0,91
Ammoniak (konz.)	16	0,88	1,66	Stickstoff	–197	0,82	0,87
Benzin	17	0,68	1,17	Toluol	20	0,86	1,32
Benzol	20	0,88	1,32	Wasser	0	1,000	1,403
Ethylalkohol	20	0,79	1,16	(destilliert)	20	0,988	1,483
Glyzerin	20	1,26	1,90		40	0,992	1,529
Kochsalzlösung					60	0,983	1,551
1%	25	1,01	1,52		80	0,971	1,555
25%	25	1,19	1,77		100	0,958	1,543
Paraffinöl	33,5	0,8	1,42	Wasser			
Petroleum	15	0,8	1,33	(Seewasser)	20	1,03	1,522
Quecksilber	20	13,5	1,45	(schweres)	19,8	1,10	1,383
Salzsäure (konzentriert)	15,5	1,19	1,52	Wasserstoff	–252	0,07	1,150

2.01c Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen unter Normdruck 101,3 kPa

Gas/Dampf	t °C	ϱ kg/m³	c_L m/s	Gas/Dampf	t °C	ϱ kg/m³	c_L m/s
Acetylen	0	1,17	327	Luft	20	1,21	344
Ammoniak	0	0,77	415		40		355
Argon	0	1,78	319		100		387
Brom	58		149	Methan	0	0,72	430
Chlor	0	3,22	206	Neon	0	0,90	435
Helium	0	0,18	971	Propan	0	2,02	238
Kohlenoxid	0	1,25	338	Sauerstoff	0	1,43	316
Kohlendioxid	0	1,98	259	Stickstoff	0	1,25	334
	18		266	Wasserdampf	134		494
Leuchtgas	0		453	Wasserstoff	0	0,09	1284
Luft	–40		307		18		1301
	–20		319	Wasserstoff	0		890
	0	1,29	331	(schwerer)			

2.02 Schallschwächungswerte in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen – *Sound attenuation data of some solids, liquids and gases* (K. Brendel)

Der Schwächungskoeffizient α ist für ebene Wellen definiert durch $p_x = p_0 e^{-\alpha x}$.

α hat die Dimension 1/m, p_x Schalldruck an der Stelle x, p_0 Schalldruck an der Stelle $x = 0$, x Schallaufweg, t Temperatur, f Frequenz. Die Änderung des Schalldrucks auf dem Wege x kann auch in Dezibel (dB) angegeben werden:

$$20 \lg \frac{p_x}{p_0} \text{ dB} = -\alpha' x$$

α' hat die Dimension dB/m. Es gilt

$$\alpha' = \frac{20}{\ln 10} \alpha \text{ dB} = 20 \lg e \alpha \text{ dB} = 8{,}686 \alpha \text{ dB}.$$

Fortsetzung T 2.02

Die Angaben in verschiedenen Quellen weichen z.T. merklich voneinander ab. Besonders große Unterschiede werden bei festen Stoffen festgestellt, da die Schallschwächung stark von der Struktur des Materials (Korngröße, Versetzungsdichte u.a.) abhängt.

Mit wesentlich größeren Unterschieden sind die Schwächungswerte von biologischen Substanzen behaftet. Sie erscheinen daher nicht im Tafelband. Es wird auf die zusammenfassende Veröffentlichung von Chivers and Parry und auf das Buch von Wells verwiesen.

Literatur zur Tab. T 2.02 (darin ausführliche Angaben):
D'Ans-Lax (1949): Taschenbuch für Chemiker und Physiker. 2. Aufl. Berlin: Springer
Kaye, G.W.C.; Laby, T.H. (1973): Tables of Physical and Chemical Constants. 14th Ed. London: Longman Group Ltd.

Weitere Quellen:
Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen, 6. Aufl. Bd. IV, 1. Teil (1955) und Neue Serie, Gruppe II, Bd. 5 (1967). Berlin: Springer
Chivers, R.C.; Parry, R.J. (1977): Ultrasonic velocity and attenuation in mammalian tissues. J. of the Acoust. Soc. Amer. **63,** 940–953
Wells, P.N.T. (1977): Biomedical Ultrasonics. London: Academic Press

2.02a Schallschwächung in Festkörpern für Longitudinalwellen bei Zimmertemperatur

Material	f MHz	α m^{-1}	Material	f MHz	α m^{-1}
Aluminium	10	0,40	Plexiglas	2,5	57
Butylgummi (gefüllt)	0,35	133	Polyethylen	1	54
Duraluminium	10	1,23	Polystyrol	2,5	23
Granit	0,6	60	Polyvinylchlorid	0,35	3,5
Gummi (Kautschuk)	0,35	15	Polyvinylchloridacetat	10	1270
Gummi (gefüllt)	0,35	37	Polyvinylidenchlorid	2,5	207
Kronglas	10	2	Quarz (X-Schnitt)	10	0,0127
Neopren	2,5	230	Werkzeugstahl (gehärtet)	10	4,9
Nylon	1	11,5			

2.02b Schallschwächung in Flüssigkeiten

Flüssigkeit	t °C	f MHz	α/f^2 10^{-15} m^{-1} Hz^{-2}	Flüssigkeit	t °C	f MHz	α/f^2 10^{-15} m^{-1} Hz^{-2}
Aceton	20	9	54	Natrium	150	20	13,5
Ameisensäure	20	10	1340	Olivenöl	22	3	1350
n-Amylalkohol	29	15	106	Quecksilber	20	100	5,5
Argon	−186	44	10	Rizinusöl	19	3	10900
Benzol	20	200	840	Sauerstoff	−186	44	8,6
Blei	340	20	9,4	Schwefel	130	10	120
Chloroform	20	100	400	Stickstoff	−189	15	79
Diethylether	25	10	140	Tetrachlor-kohlenstoff	20	100	540
Ethylacetat	30	20	52				
Ethylalkohol	20	10	52	Wasserstoff	−258	44	6
Glyzerin	20	4	2000	Wismut	280	15	8
Kalium	150	20	14	Zink	450	20	3,7
Kerosin	25	10	110	Zinn	240	20	5,6
Methylalkohol	20	5	43				

2.02c Schallschwächung in Gasen und Dämpfen

Gas/Dampf	t °C	f kHz	Gasdruck bar	α/f^2 10^{-11} m^{-1} Hz^{-2}
Aceton	58	97,8	–	520
	58	695	–	15
Benzol	90	97,8	–	1050
	90	695	–	39
Deuterium	19,6	921	0,893	7,191
Diethylether	35	97,8	–	210
Ethylalkohol	80	97,8	–	730
	80	695	–	21
Helium	17,5	589,9	~1	4,325
Kohlendioxid	20	–	–	1,3
Kohlenmonoxid	18,7	304,4	0,85	11,57
Methylalkohol	67	97,8	–	53
	67	695	–	1
Neon	19	304,4	0,65	11,7
Sauerstoff	19,6	598,9	0,991	3,36
Stickstoff	19,9	598,9	0,978	2,7
Stickstoffmonoxid	16,3	598,9	0,954	3,54
Tetrachlorkohlenstoff	77	97,8	–	370
	77	695	–	6,2
Wasserstoff	18,3	598,9	0,905	7,81
	20,9	304	0,9	34,53

2.03 Schallschwächung in destilliertem Wasser als Funktion der Temperatur*) – *Sound attenuation in distilled water as a function of temperature* (K. Brendel)

t °C	α/f^2 10^{-15}m^{-1}Hz^{-2}	t °C	α/f^2 10^{-15}m^{-1}Hz^{-2}	t °C	α/f^2 10^{-15}m^{-1}Hz^{-2}
0	56,9	30	19,1	80	7,89
5	44,1	40	14,61	90	7,24
10	35,8	50	11,99	100	6,87
15	29,8	60	10,15		
20	25,3	70	8,71		

*) Nach Pinkerton, J.M.M. (1949): The Absorption of Ultrasonic Waves in Liquids and its Relation to Molecular Constitution. Proc. Phys. Soc. **B 62**, 129–141

2.04 Dämpfungskonstante m für Ausbreitung der Schallenergie in feuchter Luft ($t = 20\,°C$, $p_s = 101{,}3$ kPa) – *Attenuation coefficient m for propagation of sound energy in humid air* ($t = 20\,°C$, $p_s = 101{,}3$ kPa) (P. Dämmig)

Für die Ausbreitung der Schallintensität zwischen den Orten x_1 und x_2 gilt

$$I(x_2) = I(x_1)\exp(-m(x_2 - x_1)) .$$

Die Original-Tabelle von Bazley gibt die Dämpfung ΔL_I in dB/km an. Es gilt

$$\frac{m}{\text{Meter}^{-1}} = 2{,}303 \cdot 10^{-4} \frac{\Delta L_I}{\text{dB/km}}$$

Die Original-Tabelle enthält Werte für Temperaturen 0 °C bis 30 °C und rel. Feuchten 10% bis 95%, außerdem für $p_S = 40$, 60 und 80 kPa bei $t = 20$ °C. Sie enthält auch Formeln für die Werte-Berechnung bei beliebigen Parameter-Werten.

f Meßfrequenz (Sinuston)

f	relative Feuchte in %								
Hz	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Dämpfungskonstante $\times 10^3$ in Meter^{-1}								
500	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
630	1,2	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
800	1,9	1,9	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1
1 000	2,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3
1 250	4,2	2,0	1,5	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
1 600	6,5	3,2	2,2	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7
2 000	9,5	4,7	3,2	2,5	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0
2 500	13,5	7,1	4,7	3,6	3,0	2,7	2,5	2,5	2,4
3 150	18,9	10,9	7,1	5,3	4,4	3,8	3,5	3,3	3,1
4 000	25,4	16,6	11,1	8,2	6,6	5,6	5,0	4,6	4,3
5 000	32,1	24,4	16,7	12,4	9,9	8,3	7,3	6,6	6,1
6 300	38,8	35,3	25,3	19,0	15,2	12,7	11,0	9,8	8,9
8 000	45	50	38	29	24	20	17	15	14
16 000	62	103	108	96	83	71	62	55	49
31 500	92	160	210	231	231	219	203	187	172
63 000	202	281	363	434	488	522	537	538	529
100 000	424	505	596	687	772	846	904	947	974

Berechnet nach Bazley, E.N.(1976): Sound absorption in air at frequencies up to 100 kHz. National Physical Laboratory, NPL Acoustics Report Ac 74, London.

Weitere Tabellen: ISO 3891-1978 Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground. (Werte in dB/100 m für Terz-Frequenzbereiche mit Mittenfrequenzen 50 Hz bis 10 kHz, Temperaturen −10 °C bis 40 °C, rel. Feuchte 10% bis 100%.) – ISO 9613 (1993): Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. (Werte in dB/km für Frequenzen 50 Hz bis 10 kHz, Luftdruck 101,325 kPa, Temperatur −20 °C bis 50 °C, rel. Feuchte 10% bis 100%.) – Lide, D.R. (Hrsg.) (1992): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 73rd Ed., Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. (Werte in dB/km für Frequenzen 20 Hz bis 80 kHz, Temperatur 20 °C, rel. Feuchte 0% bis 100%.)

2.05 Zulässiger Störschalldruckpegel für Hörschwellenmessungen an normalhörenden Personen – *Maximum permissible ambient sound pressure level for the determination of the threshold of hearing of otologically normal persons*

(K. Brinkmann)

Terz-Mittenfrequenz in Hz	Schalldruckpegel in Terzbändern (bezogen auf 20 μPa) in dB		Terz-Mittenfrequenz in Hz	Schalldruckpegel in Terzbändern (bezogen auf 20 μPa) in dB	
	bei Hörschwellenmessungen über Lautsprecher oder Knochenleitungshörer	bei Hörschwellenmessungen mit einem supraauralen Kopfhörer		bei Hörschwellenmessungen über Lautsprecher oder Knochenleitungshörer	bei Hörschwellenmessungen mit einem supraauralen Kopfhörer
31,5	57	56	630	1	18
40	43	52	800	1	20
50	31	47	1 000	1	23
63	25	42	1 250	1	25
80	21	38	1 600	2	27
100	18	33	2 000	2	30
125	14	28	2 500	1	32
160	11	23	3 150	–1	34
200	9	20	4 000	–4	36
250	6	19	5 000	–2	35
315	4	18	6 300	3	34
400	3	18	8 000	10	33
500	2	18	10 000	20	

Gemäß DIN ISO 4869 Teil1 (1991): Akustik; Gehörschützer; Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung (identisch mit ISO 4869-1: 1990) (Spalte 2) und DIN ISO 8253 Teil 1 (1992): Akustik; Audiometrische Prüfverfahren. Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleistungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen (identisch mit ISO 8253-1: 1989) (Spalte 3).

Erläuterungen:

– Die Daten gelten, wenn der kleinste zu messende Hörschwellenpegel 0 dB beträgt. Ist er größer oder kleiner als 0 dB, erhöhen bzw. erniedrigen sich die zulässigen Störschalldruckpegel um gleiche Beträge wie die Hörschwellenpegel.

– Die Daten in Spalte 3 gelten unter Berücksichtigung der Schalldämmung üblicher supraauraler Kopfhörer (s. z.B. Brinkmann, K.; Richter, U. (1980): Kopfhörer DT 48 : Schalldämmung und Ohrverschlußeffekt. Acustica **47**, 53-54. Bei Verwendung anderer Kopfhörer sind Schalldämmungs-Unterschiede zu berücksichtigen.

– Die Schalldruckpegel in Spalte 2 gelten für Hörschwellenmessungen bei einer tiefsten Meßfrequenz von 63 Hz, diejenigen in Spalte 3 für eine tiefste Meßfrequenz von 125 Hz. Ist die tiefste Meßfrequenz größer als 63 Hz bzw. 125 Hz, sind wegen des geringeren Verdeckungseffektes in den Terzbändern unterhalb der tiefsten Meßfrequenz höhere Schalldruckpegel zulässig (s. DIN ISO 4869 T 1 und DIN ISO 8253 T 1).

2.06 Mittlerer Hörschwellenpegel für normalhörende Personen im Alter zwischen 18 und 30 Jahren bei beidohrigem Hören im freien und im diffusen Schallfeld – *Sound pressure level corresponding to the median value of the binaural threshold of hearing of otologically normal persons within the age limits* 18 *to* 30 *years inclusive in a free and in a diffuse sound field* (K. Brinkmann)

Frequenz in Hz	Hörschwellenpegel (bezogen auf 20 µPa) in dB bei beidohrigem Hören		Frequenz in Hz	Hörschwellenpegel (bezogen auf 20 µPa) in dB bei beidohrigem Hören	
	im freien Schallfeld bei frontalem Schalleinfall	im diffusem Schallfeld		im freien Schallfeld bei frontalem Schalleinfall	im diffusem Schallfeld
20	78,2	78,2	630	2,6	1,7
25	68,1	68,1	800	1,9	0,7
31,5	58,9	58,9	1 000	1,9	0,3
40	50,6	50,6	1 250	1,4	−0,2
50	43,7	43,7	1 600	0,2	−1,0
63	37,3	37,3	2 000	−1,6	−1,8
80	31,5	31,5	2 500	−4,1	−3,0
100	26,6	26,6	3 150	−6,3	−4,3
125	22,2	22,2	4 000	−6,4	−4,8
160	17,8	17,8	5 000	−2,9	−3,2
200	14,3	14,3	6 300	4,1	0,6
250	11,1	11,1	8 000	11,5	5,7
315	8,3	8,1	10 000	13,3	9,2
400	5,8	5,4	12 500	11,2	13,3
500	4,0	3,4	16 000	43,5	47,0

Gemäß ISO/DIS 389-7 (1993): Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listenings conditions

2.07 Hörschwelle von Personen ohne bekannte Schwerhörigkeitsursache als Funktion des Lebensalters – *Threshold of hearing as a function of age for persons without any known cause of hearing impairment* (K. Brinkmann)

Frequenz in Hz	Alter Jahre	Hörverlust in dB, bezogen auf die mittlere Hörschwelle von Achtzehnjährigen, der bei einem gegebenen Prozentsatz von Personen ohne bekannte Schwerhörigkeitsursache überschritten wird									
		Männer					Frauen				
		90%	75%	50%	25%	10%	90%	75%	50%	25%	10%
125	30	–	–	–	5	10	–	–	–	5	9
	40	–	–	2	7	12	–	–	2	6	11
	50	–	–	3	9	14	–	–	3	9	13
	60	–	–	5	12	18	–	–	5	11	17
	70	–	2	8	15	22	–	3	8	15	21
250	30	–	–	–	5	9	–	–	–	5	9
	40	–	–	2	6	11	–	–	2	6	10
	50	–	–	3	9	13	–	–	3	8	13
	60	–	–	5	11	17	–	1	5	11	16
	70	–	3	8	15	21	–	3	8	15	21

Fortsetzung T 2.07

Frequenz in Hz	Alter Jahre	Hörverlust in dB, bezogen auf die mittlere Hörschwelle von Achtzehnjährigen, der bei einem gegebenen Prozentsatz von Personen ohne bekannte Schwerhörigkeitsursache überschritten wird									
		Männer					Frauen				
		90%	75%	50%	25%	10%	90%	75%	50%	25%	10%
500	30	–	–	1	5	9	–	–	1	5	9
	40	–	–	2	6	11	–	–	2	6	11
	50	–	–	4	9	14	–	–	4	9	14
	60	–	1	6	12	18	–	1	6	12	18
	70	–	4	10	16	23	–	4	10	16	23
1 000	30	–	–	1	5	9	–	–	1	5	9
	40	–	–	2	7	11	–	–	2	7	11
	50	–	–	4	9	14	–	–	4	9	14
	60	–	2	7	13	19	–	2	7	13	19
	70	–	5	11	18	25	–	5	11	18	25
1 500	30	–	–	1	6	10	–	–	1	5	10
	40	–	–	3	8	13	–	–	2	8	12
	50	–	1	6	12	17	–	–	5	11	17
	60	–	4	10	17	24	–	3	9	16	22
	70	1	8	15	24	32	1	7	14	22	30
2 000	30	–	–	1	6	11	–	–	1	6	10
	40	–	–	3	9	15	–	–	3	8	13
	50	–	2	7	14	21	–	1	6	13	18
	60	–	6	12	21	29	–	4	11	18	25
	70	3	11	19	30	39	2	9	16	26	34
3 000	30	–	–	2	7	13	–	–	1	6	11
	40	–	–	6	13	19	–	–	4	10	15
	50	–	5	12	21	29	–	2	8	15	21
	60	3	11	20	32	42	–	6	13	22	30
	70	9	19	31	46	59	4	12	20	31	41
4 000	30	–	–	2	9	14	–	–	1	7	12
	40	–	1	8	16	23	–	–	4	11	17
	50	–	8	16	27	36	–	3	9	17	24
	60	7	17	28	42	55	1	8	16	26	35
	70	15	28	43	62	79	5	14	24	37	48
6 000	30	–	–	3	10	16	–	–	2	8	14
	40	–	2	9	18	26	–	–	6	14	21
	50	–	9	18	30	41	–	5	12	22	31
	60	8	19	32	48	62	2	11	21	34	45
	70	17	32	49	70	> 80	9	20	32	48	62
8 000	30	–	–	3	11	19	–	–	2	10	17
	40	–	2	11	21	30	–	–	7	17	25
	50	1	11	23	36	49	–	6	15	27	38
	60	10	24	39	58	75	4	14	27	42	55
	70	22	40	60	> 80	> 80	11	25	41	60	77

Gemäß DIN EN 27 029 (1992): Akustik; Luftleitungshörschwelle in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht otologisch normaler Personen (identisch mit ISO 7029: 1984)

2.08 Relatives[1]) Freifeld-Übertragungsmaß in dB von Schallmeßgeräten mit Frequenzbewertung A, B, C oder D – *Relative free field frequency response of sound measuring instruments with frequency weighting* A, B, C *or* D, *in decibels* (R. Martin †)

Nennfrequenz[2]) Hz	genaue Frequenz[3]) Hz	Frequenzbewertung[4]) A	B	C	D
10	10,00	−70,4	−38,2	−14,3	−26,6
12,5	12,59	−63,4	−33,2	−11,2	−24,6
16	15,85	−56,7	−28,5	− 8,5	−22,6
20	19,95	−50,5	−24,2	− 6,2	− 20,6
25	25,12	−44,7	−20,4	− 4,4	−18,7
31,5	31,62	−39,4	−17,1	− 3,0	−16,7
40	39,81	−34,6	−14,2	− 2,0	−14,7
50	50,12	−30,2	−11,6	− 1,3	−12,8
63	63,10	−26,2	− 9,3	− 0,8	−10,9
80	79,43	−22,5	− 7,4	− 0,5	− 9,0
100	100,0	−19,1	− 5,6	− 0,3	− 7,2
125	125,9	−16,1	− 4,2	− 0,2	− 5,5
160	158,5	−13,4	− 3,0	− 0,1	− 4,0
200	199,5	−10,9	− 2,0	− 0,0	− 2,6
250	251,2	− 8,6	− 1,3	− 0,0	− 1,6
315	316,2	− 6,6	− 0,8	− 0,0	− 0,8
400	398,1	− 4,8	− 0,5	− 0,0	− 0,4
500	501,2	− 3,2	− 0,3	− 0,0	− 0,3
630	631,0	− 1,9	− 0,1	− 0,0	− 0,5
800	794,3	− 0,8	− 0,0	− 0,0	− 0,6
1 000	1 000	0	0	0	0
1 250	1 259	0,6	− 0,0	− 0,0	2,0
1 600	1 585	1,0	− 0,0	− 0,1	4,9
2 000	1 995	1,2	− 0,1	− 0,2	7,9
2 500	2 512	1,3	− 0,2	− 0,3	10,4
3 150	3 162	1,2	− 0,4	− 0,5	11,6
4 000	3 981	1,0	− 0,7	− 0,8	11,1
5 000	5 012	0,5	− 1,2	− 1,3	9,6
6 300	6 310	− 0,1	− 1,9	− 2,0	7,6
8 000	7 943	− 1,1	− 2,9	− 3,0	5,5
10 000	10 000	− 2,5	− 4,3	− 4,4	3,4
12 500	12 590	− 4,3	− 6,1	− 6,2	1,4
16 000	15 850	− 6,6	− 8,4	− 8,5	− 0,7
20 000	19 950	− 9,3	−11,1	−11,2	− 2,7

[1]) Die Werte sind auf den Übertragungsfaktor bei 1000 Hz bezogen.
[2]) Nennfrequenzen nach DIN 45 401.
[3]) genaue Frequenz $f = 1000 \cdot 10^{n/10}$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$
[4]) Die Werte sind aus der in DIN IEC 651 und IEC 537 angegebenen Pol-Nullstellen-Anordnung berechnet.

2.09 Schalleistungspegel von Maschinen[1]) – *Sound power level of machines* (R. Martin †)

Schallquelle	A-bewerteter Schalleistungspegel in dB	Schallquelle	A-bewerteter Schalleistungspegel in dB
Flugzeug (mehrstrahlig)	150	Bohrmaschine, Antriebsleistung 6 kW Leerlauf	85 bis 95
Schnellzug	120 bis 130	Schleifmaschine, Antriebsleistung 1 kW Leerlauf	85 bis 95
Bohrhämmer, handgeführt	108 bis 126	Kaltkreissäge, Antriebsleistung 6 kW Leerlauf	80 bis 87
Lastkraftwagen (über 12 t)	110 bis 115	elektrische Schreibmaschinen	68 bis 75
Personenkraftwagen	100 bis 105	Arbeitsplatzcomputer (ohne Drucker)	45 bis 55
große Turbokompressoren, Antriebsleistung 300 bis 20 000 kW, wassergekühlt	95 bis 110	Bürokopiergeräte	67 bis 71
Rotationskompressoren, Antriebsleistung 10 kW, wassergekühlt	90 bis 95	Haushaltsmixgeräte	80 bis 85
Elektrische Asynchronmaschine, Nennleistung bis 55 kW	63 bis 93	Haushaltsstaubsauger	71 bis 83
Fahrrad mit Hilfsmotor	95 bis 97	Haushaltsgeschirrspülmaschinen	65 bis 70
Rasenmäher	96 bis 105	Waschmaschinen (Waschvorgang)	50 bis 67
Dickenhobelmaschinen (Lastlauf)	93 bis 102		
Tischfräsmaschinen (Lastlauf)	90 bis 98		

Der mittlere A-bewertete Schalldruckpegel in der Entfernung r (in Meter) vom Mittelpunkt der Schallquelle ergibt sich durch Abzug von $\Delta L = (8 + 20 \lg r)$ dB

[1]) Beispiele, Stand 1992

2.10 Richtwerte für Geräuscheinwirkungen im Wohnbereich (nach VDI 2058 Blatt 1) – *Recommended limit values for the noise exposure in residential areas* (after VDI 2058 Part 1) (R. Martin †)

Im allgemeinen ist eine Gefährdung, erhebliche Benachteiligung oder erhebliche Belästigung nicht gegeben, wenn der 0,5 m außerhalb des geöffneten Fensters des betroffenen Wohnraumes gemessene Beurteilungspegel (s. **2**.6.5) niedriger ist als folgende Richtwerte:

Einwirkungsort (Beschreibung der Umgebung)	Richtwert in dB für den Beurteilungspegel	
	tags	nachts
nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber, Betriebsleiter, Aufsichts- und Bereitschaftspersonal	70	70
vorwiegend gewerbliche Anlagen	65	50
weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen	60	45
vorwiegend Wohnungen	55	40
ausschließlich Wohnungen	50	35
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45	35

Fortsetzung T 2.10

Unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der genannten Einwirkungsorte betragen die Richtwerte innerhalb der Wohnräume, wenn die Geräusche innerhalb des Gebäudes durch Luft- oder Körperschall übertragen werden:

tags 35 dB nachts 25 dB.

Die Überschreitung der Richtwerte durch den Schalldruckpegel kurzzeitiger Geräuschspitzen sollte bei Geräuscheinwirkung von außen höchstens

tags 30 dB nachts 20 dB

sowie bei Geräuscheinwirkung innerhalb des Gebäudes tags und nachts höchstens 10 dB betragen.

Da die Auffälligkeit von Geräuschen wesentlich zur Störung und Belästigung beiträgt, sollten auffällige Geräusche unabhängig von der Einhaltung der Richtwerte möglichst vermieden werden. Ein Geräusch ist auffällig, wenn es z.B.
– das Hintergrundgeräusch insgesamt oder in einzelnen Frequenzbereichen erheblich überschreitet,
– in Zeiten der Ruhe und Erholung (z.B. nachts, abends, am frühen Morgen oder am Wochenende) auftritt,
– Töne und/oder Impulse enthält,
– in seiner Art in der betroffenen Umgebung fremd oder neu ist.

2.11 Richtwerte für Geräuscheinwirkungen an Arbeitsplätzen (nach VDI 2058 Blatt 3) – *Recommended limit values for the noise exposure at working places* (after VDI 2058 Part 3) (R. Martin †)

Richtwert für den Beurteilungspegel in dB	55	70	85
Merkmale der Tätigkeit (Auswahl)	hohe Konzentration, schöpferisches Denken, Entscheidungen besonderer Tragweite	sich wiederholende geistige Tätigkeit, einfache und überwiegend mechanisierte Tätigkeit	handwerkliche Arbeiten, Arbeiten an Maschinen
Beispiele für Tätigkeiten	Sitzungen, Verhandlungen, Prüfungen, Lehren in Schulen und Hochschulen, wissenschaftliche Arbeiten, technisch-wissenschaftliche Berechnungen, Entwickeln von Programmen, Entwerfen, Übersetzen und Diktieren von schwierigen Texten	Schreibmaschineschreiben, Datenerfassen, Arbeiten mit Tischrechenanlagen, Bedienen von Beobachtungs-, Steuerungs- und Überwachungsanlagen in geschlossenen Meßwarten, schwierige Feinmontagearbeiten	Arbeiten an Bearbeitungsmaschinen für Metall, Holz u. dgl., Arbeiten an Vervielfältigungsanlagen, Textverarbeitungsautomaten, Schnelldruckern, EDV-Lese- und Sortiermaschinen

Die Richtwerte gelten für Gewerbebetriebe als Grenzwerte (Bundesgesetzblatt Teil I (1975), 729–742: Verordnung über Arbeitsstätten)

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 3

Wärme – *Heat*

Redakteur: W. Hemminger

3.01 Thermometrische Fixpunkte – *Temperature fixed points* (W. Blanke) . . . 339

3.02 Werte der Referenzfunktion $W_r(T_{90})$ für Platinwiderstandsthermometer als Funktion der Temperatur T_{90} – *Values of the reference function* $W_r(T_{90})$ *for platinum resistance thermometers as a function of the temperature* T_{90} (W. Blanke) . . . 340

3.03a Dampfdruck des ^{3}Heliums in kPa als Funktion der Temperatur T_{90} – *Vapour pressure of* ^{3}*helium in* kPa *as a function of the temperature* T_{90} (W. Blanke) . . . 342

3.03b Dampfdruck des ^{4}Heliums in kPa als Funktion der Temperatur T_{90} – *Vapour pressure of* ^{4}*helium in* kPa *as a function of the temperature* T_{90} (W. Blanke) . . . 343

3.04 Differenz der Volumenausdehnungskoeffizienten zwischen verschiedenen thermometrischen Flüssigkeiten und Thermometergläsern – *Difference of cubic expansion coefficients for combinations of various thermometric fluids and thermometer glasses* (W. Blanke) . . . 345

3.05 Verschiedene Eigenschaften einiger gebräuchlicher Apparate- und Thermometergläser – *Various properties of commonly used laboratory and thermometer glasses* (W. Hemminger) . . . 346

3.06 Kältemischungen aus Eis und verschiedenen Salzen – *Eutectic salt-ice mixtures* (W. Blanke) . . . 346

3.07 Dichte des Quecksilbers als Funktion der Celsiustemperatur bei 101,325 kPa – *Density of mercury as a function of the Celsius temperature at* 101,325 kPa (F. Spieweck) . . . 347

3.08 Isotherme Kompressibilität von Quecksilber – *Isothermal compressibility of mercury* (G. Klingenberg) . . . 348

3.09 Dichte von luftfreiem Wasser bei 101,325 kPa als Funktion der Celsiustemperatur – *Density of water (air-free) at* 101,325 kPa *as a function of the Celsius temperature* (F. Spieweck) . . . 349

3.10 Isotherme Kompressibilität von Wasser – *Isothermal compressibility of water* (G. Klingenberg) . . . 351

3.11 Verschiedene Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf bei 0,1 MPa – *Some properties of water and steam at* 0,1 MPa (W. Blanke) . . . 351

3.12 Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf im Sättigungszustand – *Properties of water and steam in the state of saturation* (W. Blanke) . . . 352

3.13 Dampfdruck und Dichte des gesättigten Wasserdampfes zwischen –35 °C und 50 °C – *Vapour pressure and density of saturated steam between* –35 °C *and* 50 °C (W. Scheibe) . . . 353

3.14a Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa – *Boiling temperature of water in* °C *for pressures between* 86 *and* 110 kPa (W. Blanke) 354
3.14b Dampfdruck des Wassers in kPa für Temperaturen zwischen 90 und 104 °C – *Vapour pressure of water in* kPa *for temperatures between* 90 *and* 104 °C (W. Blanke) 354
3.15 Spezifische Wärmekapazität c_p des Wassers in kJ/(kg K) bei 0,1 MPa – *Specific heat* c_p *of water in* kJ/(kg K) *at* 0,1 MPa (W. Blanke) 355
3.16 Dichte der trockenen und feuchten Luft – *Density of dry and humid air* (M. Kochsiek) 355
3.17 Verschiedene Eigenschaften trockener Luft bei 0,1 MPa – *Some properties of dry air at* 0,1 MPa (W. Blanke) 356
3.18 Relative Luftfeuchte über gesättigten wäßrigen Salzlösungen – *Relative humidity of air over saturated salt-water solutions* (W. Scheibe) 357
3.19a Längenausdehnungskoeffizient einiger Stoffe – *Thermal coefficient of linear expansion for various substances* (W. Gorski) 357
3.19b Temperaturabhängigkeit der relativen Längenänderung $\Delta l/l$ bei festen Stoffen – *Temperature dependence of the relative expansion* $\Delta l/l$ *of solids* (W. Gorski) 361
3.20 Molare Wärmekapazität C_p^0 bei Standarddruck p^0 (0,1 MPa) und verschiedenen Temperaturen T – *Molar Heat capacity* C_p^0 *at standard pressure* p^0 (0,1 MPa) *and various temperatures* T (S.M. Sarge) 363
3.21 Molare Siedepunktserhöhung $\Delta T_{S,m}$ und Gefrierpunktserniedrigung $\Delta T_{G,m}$ einiger Lösungsmittel – *Molecular elevation of the boiling point,* $\Delta T_{S,m}$, *and depression of the freezing point,* $\Delta T_{G,m}$, *of some solvents* (H.-H. Kirchner) 366
3.22 Wärmeleitfähigkeit einiger Festkörper – *Thermal conductivity of solids* (W. Hemminger) 367
3.22a Elemente 367
3.22b Legierungen 368
3.22c Verschiedene Stoffe bei 20 °C 369
3.22d Eis und Schnee 370
3.22e Bau- und Wärmedämmstoffe 370
3.23 Wärmeleitfähigkeit einiger Flüssigkeiten – *Thermal conductivity of liquids* (W. Hemminger) 371
3.23a Verflüssigte Gase 371
3.23b Verschiedene Flüssigkeiten 372
3.23c Flüssige Metalle 372
3.24 Wärmeleitfähigkeit einiger Gase beim Druck von 1 bar – *Thermal conductivity of gases at a pressure of* 1 bar (W. Hemminger) 373
3.24a Elemente und anorganische Verbindungen 373
3.24b Organische Verbindungen 373

3.01 Thermometrische Fixpunkte – *Temperature fixed points* (W. Blanke)

Stoff	[1]	T_{90} K	t_{90} °C
Cadmium	Sp	0,519[2]	
Zink	Sp	0,851	
Aluminium	Sp	1,1796	
Indium	Sp	3,4145	
^{4}Helium	Sd	4,2221	
Blei	Sp	7,199	
Gleichgewichts-wasserstoff	Tr	13,8033	−259,3467
Normalwasserstoff	Tr	13,952	−259,198
Gleichgewichts-wasserstoff	Sd′	17,035	−256,115
Gleichgewichts-deuterium	Tr	18,689	−254,461
Gleichgewichts-wasserstoff	Sd	20,2711	−252,8789
Normalwasserstoff	Sd	20,388	−252,762
Sauerstoff $\alpha \rightarrow \beta$	U	23,867	−249,283
Neon	Tr	24,5561	−248,5939
Neon	Sd	27,097	−246,053
Stickstoff $\alpha \rightarrow \beta$	U	35,614	−237,536
Sauerstoff $\beta \rightarrow \gamma$	U	43,796	−229,354
Sauerstoff	Tr	54,3584	−218,7916
Stickstoff	Tr	63,151	−209,999
Stickstoff	Sd	77,352	−195,798
Argon	Tr	83,8058	−189,3442
Argon	Sd	87,302	−185,848
Sauerstoff	Ta	90,196	−182,954
Ethan	Tr	90,36	−182,79
Methan	Tr	90,692	−182,458
Methan	Sd	111,668	−161,482

Stoff	[1]	T_{90} K	t_{90} °C
Krypton	Tr	115,776	−157,374
Krypton	Sd	119,81	−153,34
Xenon	Tr	161,404	−111,746
Xenon	Sd	165,06	−108,09
Kohlenstoffdioxid	Sb	194,685	− 78,465
Kohlenstoffdioxid	Tr	216,589	− 56,561
Quecksilber	Tr	234,3156	− 38,8344
Quecksilber	E	234,321	− 38,829
Brombenzol	Tr	242,423	− 30,727
Wasser	E	273,15	0
Wasser	Tr	273,16	0,01
Diphenylether	Tr	300,015	26,865
Gallium	Tr	302,9146	29,7646
Natrium	E	370,943	97,793
Wasser	Sd	373,124	99,974
Benzoesäure	Tr	395,489	122,339
Indium	E	429,7485	156,5985
Zinn	E	505,078	231,928
Bismut	E	544,553	271,403
Cadmium	E	594,219	321,069
Blei	E	600,612	327,462
Quecksilber	Sd	629,769	356,619
Zink	E	692,677	419,527
Schwefel	Sd	717,764	444,614
Kupfer-Aluminium-Eutektikum	Sm	821,309	548,159
Antimon	E	903,779	630,629
Aluminium	E	933,473	660,323
Kupfer-Silber-Eutektikum	Sm	1053,06	779,91

Stoff	[1]	T_{90} K	t_{90} °C
Silber	E	1234,93	961,78
Gold	E	1337,33	1064,18
Kupfer	E	1357,77	1084,62
Eisen (λ = 653 nm)	St	1670	1397
Palladium (λ = 653 nm)	St	1688	1415
Nickel	E	1728	1455
Cobalt	E	1768	1495
Titan (λ = 653 nm)	St	1800	1527
Eisen	Sm	1811	1538
Palladium	E	1828,0	1554,9
Zirconium (λ = 650 nm)	St	1939	1666
Titan	Sm	1942	1669
Vanadium (λ = 653 nm)	St	1989	1716
Platin	E	2041,4	1768,3
Zirconium	Sm	2127	1854
Rhodium	E	2235	1962
Ruthenium (λ = 650 nm)	St	2293	2020
Aluminiumoxid	Sm	2326	2053
Niob (λ = 650 nm)	St	2428	2155
Molybdän (λ = 653 nm)	St	2528	2255
Ruthenium	Sm	2606	2333
Tantal (λ = 995 nm)	St	2619	2346
Yttriumoxid (Y_2O_3)	Sm	2711	2438
Iridium	E	2719	2446
Niob	Sm	2745	2472
Tantal (λ = 653 nm)	St	2845	2572
Berylliumoxid	Sm	2850	2577
Molybdän	Sm	2896	2623
Wolfram	Sm	3691	3418

[1] E Erstarrungspunkt beim Druck 101,325 kPa
Sb Sublimationspunkt
Sd Siedepunkt beim Druck 101,325 kPa
Sd′ Siedepunkt beim Druck 33,3213 kPa
Sm Schmelzpunkt beim Druck 101,325 kPa
Sp Sprungpunkt der Supraleitung
St spektrale Strahlungsdichtetemperatur beim Schmelzpunkt
Ta Taupunkt beim Druck 101,325 kPa
Tr Tripelpunkt
U Umwandlungspunkt zwischen den Phasen fester Stoffe

[2] T_{76}

3.02 Werte der Referenzfunktion $W_r(T_{90})$ für Platinwiderstandsthermometer als Funktion der Temperatur T_{90} – *Values of the reference function $W_r(T_{90})$ for platinum resistance thermometers as a function of the temperature T_{90}* (W. Blanke)

T_{90} in K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10					0,0012385	0,0015191	0,0018638	0,0022805	0,0027767	0,0033596
20	0,0040359	0,0048117	0,0056922	0,0066823	0,0077858	0,0090059	0,0103452	0,0118052	0,0133871	0,0150910
30	0,0169169	0,0188636	0,0209300	0,0231141	0,0254135	0,0278257	0,0303476	0,0329760	0,0357075	0,0385383
40	0,0414648	0,0444831	0,0475893	0,0507793	0,0540494	0,0573955	0,0608138	0,0643004	0,0678518	0,0714641
50	0,0751340	0,0788579	0,0826327	0,0864550	0,0903219	0,0942304	0,0981777	0,1021613	0,1061785	0,1102269
60	0,1143042	0,1184084	0,1225373	0,1266889	0,1308616	0,1350535	0,1392630	0,1434887	0,1477290	0,1519827
70	0,1562484	0,1605251	0,1648116	0,1691069	0,1734100	0,1777201	0,1820362	0,1863577	0,1906838	0,1950139
T_{90} in K	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
80	0,1993472	0,2080216	0,2167029	0,2253876	0,2340726	0,2427555	0,2514341	0,2601066	0,2687716	0,2774277
100	0,2860741	0,2947099	0,3033345	0,3119474	0,3205482	0,3291368	0,3377128	0,3462763	0,3548272	0,3633656
120	0,3718914	0,3804049	0,3889061	0,3973953	0,4058725	0,4143380	0,4227921	0,4312349	0,4396666	0,4480875
140	0,4564977	0,4648976	0,4732873	0,4816671	0,4900372	0,4983977	0,5067490	0,5150911	0,5234243	0,5317488
160	0,5400647	0,5483723	0,5566716	0,5649630	0,5732464	0,5815220	0,5897901	0,5980507	0,6063039	0,6145500
180	0,6227889	0,6310208	0,6392459	0,6474641	0,6556757	0,6638807	0,6720792	0,6802713	0,6884570	0,6966365
200	0,7048098	0,7129769	0,7211380	0,7292932	0,7374424	0,7455857	0,7537232	0,7618550	0,7699811	0,7781016
220	0,7862165	0,7943258	0,8024297	0,8105281	0,8186211	0,8267087	0,8347910	0,8428681	0,8509399	0,8590065
240	0,8670680	0,8751243	0,8831755	0,8912217	0,8992629	0,9072991	0,9153302	0,9233565	0,9313778	0,9393942
260	0,9474057	0,9554123	0,9634141	0,9714110	0,9794030	0,9873902	0,9953725	1,0033499	1,0113225	1,0192902
280	1,0272530	1,0352110	1,0431641	1,0511123	1,0590557	1,0669942	1,0749278	1,0828567	1,0907806	1,0986998
300	1,1066141	1,1145235	1,1224281	1,1303279	1,1382229	1,1461130	1,1539983	1,1618788	1,1697544	1,1776253
320	1,1854913	1,1933525	1,2012089	1,2090605	1,2169073	1,2247493	1,2325864	1,2404188	1,2482464	1,2560691
340	1,2638871	1,2717003	1,2795087	1,2873123	1,2951111	1,3029051	1,3106943	1,3184787	1,3262584	1,3340333
360	1,3418034	1,3495687	1,3573292	1,3650850	1,3728360	1,3805822	1,3883236	1,3960603	1,4037922	1,4115194
380	1,4192418	1,4269594	1,4346722	1,4423803	1,4500837	1,4577823	1,4654761	1,4731652	1,4808495	1,4885291
400	1,4962039	1,5038740	1,5115393	1,5191999	1,5268558	1,5345069	1,5421533	1,5497949	1,5574318	1,5650640
420	1,5726915	1,5803142	1,5879322	1,5955454	1,6031540	1,6107578	1,6183569	1,6259512	1,6335409	1,6411258
440	1,6487061	1,6562816	1,6638524	1,6714185	1,6789799	1,6865366	1,6940885	1,7016358	1,7091784	1,7167163
460	1,7242495	1,7317779	1,7393017	1,7468208	1,7543353	1,7618450	1,7693500	1,7768504	1,7843461	1,7918371
480	1,7993234	1,8068050	1,8142820	1,8217542	1,8292218	1,8366848	1,8441431	1,8515967	1,8590456	1,8664899

Fortsetzung T 3.02

T_{90} in K	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
500	1,8739295	1,8813644	1,8887947	1,8962203	1,9036413	1,9110576	1,9184692	1,9258762	1,9332786	1,9406763
520	1,9480694	1,9554578	1,9628415	1,9702206	1,9775951	1,9849649	1,9923301	1,9996906	2,0070465	2,0143978
540	2,0217444	2,0290864	2,0364238	2,0437565	2,0510846	2,0584081	2,0657269	2,0730411	2,0803507	2,0876556
560	2,0949559	2,1022516	2,1095427	2,1168291	2,1241109	2,1313881	2,1386607	2,1459286	2,1531919	2,1604506
580	2,1677047	2,1749541	2,1821990	2,1894392	2,1966748	2,2039057	2,2111321	2,2183538	2,2255709	2,2327834
600	2,2399913	2,2471945	2,2543932	2,2615872	2,2687766	2,2759613	2,2831415	2,2903170	2,2974879	2,3046542
620	2,3118159	2,3189729	2,3261253	2,3332731	2,3404163	2,3475548	2,3546888	2,3618181	2,3689427	2,3760628
640	2,3831782	2,3902890	2,3973951	2,4044966	2,4115935	2,4186858	2,4257734	2,4328564	2,4399348	2,4470085
660	2,4540776	2,4611420	2,4682018	2,4752569	2,4823074	2,4893533	2,4963945	2,5034311	2,5104630	2,5174902
680	2,5245129	2,5315308	2,5385441	2,5455527	2,5525567	2,5595560	2,5665507	2,5735406	2,5805260	2,5875066
700	2,5944826	2,6014539	2,6084205	2,6153824	2,6223397	2,6292922	2,6362401	2,6431833	2,6501218	2,6570556
720	2,6639848	2,6709092	2,6778289	2,6847439	2,6916543	2,6985599	2,7054608	2,7123569	2,7192484	2,7261352
740	2,7330172	2,7398945	2,7467671	2,7536350	2,7604981	2,7673565	2,7742101	2,7810591	2,7879032	2,7947427
760	2,8015774	2,8084073	2,8152325	2,8220529	2,8288686	2,8356795	2,8424856	2,8492870	2,8560836	2,8628754
780	2,8696624	2,8764447	2,8832222	2,8899949	2,8967628	2,9035259	2,9102843	2,9170378	2,9237865	2,9305305
800	2,9372696	2,9440039	2,9507334	2,9574581	2,9641779	2,9708930	2,9776032	2,9843086	2,9910092	2,9977049
820	3,0043958	3,0110818	3,0177631	3,0244394	3,0311110	3,0377776	3,0444394	3,0510964	3,0577485	3,0643958
840	3,0710381	3,0776756	3,0843083	3,0909361	3,0975589	3,1041770	3,1107901	3,1173984	3,1240017	3,1306002
860	3,1371938	3,1437825	3,1503663	3,1569452	3,1635192	3,1700882	3,1766524	3,1832117	3,1897661	3,1963155
880	3,2028601	3,2093997	3,2159344	3,2224642	3,2289890	3,2355090	3,2420240	3,2485340	3,2550392	3,2615394
T_{90} in K	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
900	3,2680347	3,2842512	3,3004369	3,3165917	3,3327155	3,3488084	3,3648703	3,3809011	3,3969010	3,4128699
950	3,4288077	3,4447144	3,4605901	3,4764347	3,4922482	3,5080307	3,5237821	3,5395024	3,5551917	3,5708499
1000	3,5864771	3,6020732	3,6176383	3,6331724	3,6486756	3,6641477	3,6795890	3,6949993	3,7103787	3,7257273
1050	3,7410451	3,7563320	3,7715883	3,7868138	3,8020087	3,8171729	3,8323066	3,8474098	3,8624824	3,8775247
1100	3,8925366	3,9075181	3,9224695	3,9373906	3,9522815	3,9671425	3,9819734	3,9967743	4,0115454	4,0262867
1150	4,0409982	4,0556801	4,0703324	4,0849551	4,0995485	4,1141124	4,1286471	4,1431526	4,1576289	4,1720762
1200	4,1864946	4,2008841	4,2152447	4,2295767	4,2438801	4,2581549	4,2724013	4,2866194		

3.03a Dampfdruck des ^{3}Heliums in kPa als Funktion der Temperatur T_{90} – *Vapour pressure of ^{3}helium in* kPa *as a function of the temperature T_{90}* (W. Blanke)

T_{90} in K	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,60						0,11591	0,12709	0,13905	0,15181	0,16539
0,70	0,17948	0,19516	0,21141	0,22859	0,24675	0,26591	0,28611	0,30737	0,32972	0,35320
0,80	0,37783	0,40365	0,43068	0,45897	0,48853	0,51940	0,55161	0,58519	0,62017	0,65658
0,90	0,69445	0,73382	0,77470	0,81714	0,86116	0,90679	0,95406	1,00299	1,05363	1,10599
1,00	1,16011	1,21601	1,27373	1,33328	1,39471	1,45803	1,52328	1,59047	1,65966	1,73084
1,10	1,80407	1,87936	1,95673	2,03623	2,11787	2,20168	2,28770	2,37593	2,46643	2,55920
1,20	2,65427	2,75168	2,85145	2,95361	3,05817	3,16518	3,27465	3,38662	3,50110	3,61812
1,30	3,73772	3,85991	3,98473	4,11219	4,24233	4,37517	4,51074	4,64905	4,79015	4,93405
1,40	5,08078	5,23036	5,38282	5,53819	5,69649	5,85775	6,02199	6,18924	6,35952	6,53286
1,50	6,70928	6,88881	7,07147	7,25729	7,44629	7,63850	7,83394	8,03264	8,23462	8,43991
1,60	8,64853	8,86051	9,07586	9,29462	9,51680	9,74244	9,97156	10,2042	10,4403	10,6800
1,70	10,9233	11,1701	11,4206	11,6747	11,9325	12,1940	12,4592	12,7282	13,0009	13,2773
1,80	13,5576	13,8418	14,1298	14,4216	14,7174	15,0171	15,3207	15,6283	15,9399	16,2556
1,90	16,5752	16,8990	17,2268	17,5587	17,8948	18,2350	18,5794	18,9280	19,2808	19,6379
2,00	19,9992	20,3648	20,7348	21,1090	21,4877	21,8707	22,2581	22,6500	23,0463	23,4471
2,10	23,8524	24,2622	24,6765	25,0954	25,5189	25,9470	26,3798	26,8172	27,2593	27,7061
2,20	28,1576	28,6139	29,0749	29,5407	30,0114	30,4869	30,9673	31,4525	31,9427	32,4378
2,30	32,9379	33,4429	33,9530	34,4681	34,9882	35,5135	36,0438	36,5793	37,1199	37,6657
2,40	38,2167	38,7729	39,3344	39,9012	40,4732	41,0506	41,6334	42,2215	42,8150	43,4140
2,50	44,0184	44,6283	45,2437	45,8646	46,4911	47,1232	47,7610	48,4043	49,0533	49,7080
2,60	50,3685	51,0347	51,7067	52,3845	53,0681	53,7576	54,4530	55,1543	55,8615	56,5748
2,70	57,2940	58,0193	58,7507	59,4882	60,2318	60,9816	61,7376	62,4998	63,2682	64,0430
2,80	64,8240	65,6115	66,4053	67,2055	68,0122	68,8254	69,6451	70,4714	71,3042	72,1437
2,90	72,9898	73,8427	74,7022	75,5686	76,4417	77,3217	78,2086	79,1024	80,0032	80,9109
3,00	81,8257	82,7475	83,6765	84,6126	85,5559	86,5065	87,4643	88,4295	89,4020	90,3819
3,10	91,3692	92,3641	93,3664	94,3764	95,3940	96,4192	97,4522	98,4929	99,5414	100,5978
3,20	101,6621									

3.03b Dampfdruck des ^{4}Heliums in kPa als Funktion der Temperatur T_{90} – *Vapour pressure of ^{4}helium in* kPa *as a function of the temperature T_{90}* (W. Blanke)

T_{90} in K	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,20						0,11473	0,12251	0,13069	0,13929	0,14834
1,30	0,15785	0,16783	0,17831	0,18929	0,20080	0,21285	0,22547	0,23866	0,25245	0,26686
1,40	0,28191	0,29761	0,31398	0,33104	0,34882	0,36733	0,38659	0,40662	0,42744	0,44907
1,50	0,47154	0,49485	0,51905	0,54413	0,57013	0,59706	0,62495	0,65382	0,68369	0,71458
1,60	0,74651	0,77950	0,81358	0,84877	0,88509	0,92256	0,96121	1,00105	1,04212	1,08442
1,70	1,12799	1,17285	1,21902	1,26652	1,31537	1,36561	1,41724	1,47030	1,52480	1,58076
1,80	1,63822	1,69718	1,75768	1,81972	1,88334	1,94856	2,01538	2,08383	2,15394	2,22571
1,90	2,29916	2,37432	2,45120	2,52980	2,61016	2,69228	2,77616	2,86184	2,94931	3,03858
2,00	3,12967	3,22257	3,31731	3,41387	3,51227	3,61251	3,71459	3,81850	3,92425	4,03184
2,10	4,14126	4,25250	4,36557	4,48044	4,59712	4,71559	4,83583	4,95784	5,08162	5,20734
2,20	5,33510	5,46491	5,59680	5,73080	5,86694	6,00522	6,14569	6,28835	6,43324	6,58038
2,30	6,72979	6,88149	7,03551	7,19187	7,35058	7,51167	7,67516	7,84108	9,83191	10,0285
2,40	8,35356	8,52937	8,70771	8,88859	9,07204	9,25808	9,44672	9,63799	8,00943	8,18026
2,50	10,2278	10,4297	10,6344	10,8419	11,0521	11,2651	11,4809	11,6995	11,9210	12,1453
2,60	12,3725	12,6026	12,8357	13,0716	13,3106	13,5525	13,7974	14,0453	14,2963	14,5503
2,70	14,8074	15,0676	15,3309	15,5974	15,8670	16,1397	16,4157	16,6949	16,9773	17,2629
2,80	17,5518	17,8440	18,1396	18,4384	18,7406	19,0461	19,3551	19,6674	19,9832	20,3024
2,90	20,6251	20,9512	21,2809	21,6140	21,9507	22,2910	22,6348	22,9823	23,3333	23,6880
3,00	24,0464	24,4084	24,7741	25,1435	25,5166	25,8935	26,2742	26,6587	27,0469	27,4390
3,10	27,8350	28,2348	28,6385	29,0461	29,4576	29,8730	30,2924	30,7158	31,1432	31,5746
3,20	32,0101	32,4496	32,8932	33,3409	33,7927	34,2486	34,7087	35,1729	35,6413	36,1140
3,30	36,5909	37,0720	37,5574	38,0470	38,5410	39,0393	39,5419	40,0489	40,5603	41,0761
3,40	41,5963	42,1209	42,6500	43,1835	43,7216	44,2642	44,8113	45,3629	45,9191	46,4799
3,50	47,0454	47,6154	48,1901	48,7694	49,3535	49,9422	50,5357	51,1339	51,7368	52,3446
3,60	52,9571	53,5745	54,1967	54,8237	55,4556	56,0925	56,7342	57,3808	58,0325	58,6891
3,70	59,3506	60,0172	60,6888	61,3655	62,0472	62,7341	63,4260	64,1230	64,8253	65,5326
3,80	66,2452	66,9629	67,6859	68,4142	69,1477	69,8864	70,6305	71,3799	72,1347	72,8948

Fortsetzung T 3.03b

T_{90} in K	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
3,90	73,6603	74,4313	75,2076	75,9894	76,7767	77,5694	78,3677	79,1714	79,9808	80,7957
4,00	81,6162	82,4423	83,2740	84,1114	84,9545	85,8033	86,6577	87,5180	88,3840	89,2557
4,10	90,1333	91,0167	91,9060	92,8011	93,7021	94,6090	95,5219	96,4407	97,3655	98,2964
4,20	99,2332	100,1761	101,1251	102,0801	103,0413	104,0087	104,9822	105,9619	106,9478	107,9399
4,30	108,9383	109,9430	110,9540	111,9714	112,9951	114,0252	115,0617	116,1046	117,1540	118,2099
4,40	119,2723	120,3412	121,4167	122,4988	123,5875	124,6828	125,7848	126,8936	128,0090	129,1312
4,50	130,2601	131,3959	132,5385	133,6879	134,8443	136,0075	137,1777	138,3549	139,5391	140,7303
4,60	141,9286	143,1339	144,3464	145,5661	146,7929	148,0269	149,2682	150,5167	151,7726	153,0357
4,70	154,3063	155,5842	156,8696	158,1625	159,4628	160,7707	162,0861	163,4091	164,7398	166,0781
4,80	167,4241	168,7779	170,1394	171,5087	172,8858	174,2709	175,6638	177,0647	178,4736	179,8905
4,90	181,3154	182,7485	184,1896	185,6390	187,0966	188,5624	190,0365	191,5189	193,0097	194,5089
5,00	196,0165									

3.04 Differenz der Volumenausdehnungskoeffizienten zwischen verschiedenen thermometrischen Flüssigkeiten und Thermometergläsern – *Difference of cubic expansion coefficients for combinations of various thermometric fluids and thermometer glasses* (W. Blanke)

Nicht benetzende Flüssigkeiten				
	Quecksilber und Quecksilber-Thallium in			
Temperatur °C	Normalglas 16^{III}, N16B K^{-1}	Thermometer-glas 2954 K^{-1}	Supremax K^{-1}	Quarzglas K^{-1}
0	0,000 158	0,000 164	0,000 172	0,000 181
50	0,000 158	0,000 164	0,000 172	0,000 181
100	0,000 159	0,000 165	0,000 173	0,000 182
150	0,000 160	0,000 166	0,000 174	0,000 184
200	0,000 161	0,000 168	0,000 176	0,000 186
250	0,000 163	0,000 170	0,000 179	0,000 189
300	0,000 166	0,000 173	0,000 182	0,000 193
350	0,000 170	0,000 177	0,000 186	0,000 197
400	0,000 175	0,000 182	0,000 191	0,000 203
450		0,000 189	0,000 197	0,000 209
500			0,000 204	0,000 216
600			0,000 222	0,000 234
700				0,000 254

Benetzende Flüssigkeiten		
Temperatur °C	Pentan K^{-1}	Alkohol Toluol Xylol K^{-1}
−200	0,000 9	
−150	0,000 9	
−100	0,001 0	0,001
− 50	0,001 3	0,001
0	0,001 5	0,001
50		0,001
100		0,001

3.05 Verschiedene Eigenschaften einiger gebräuchlicher Apparate- und Thermometergläser – *Various properties of commonly used laboratory and thermometer glasses* (W. Hemminger)

Glassorte und Hersteller	K	$\varrho_{20\,°C}$ in $g\,cm^{-3}$	$E_{20\,°C}$ in $10^3\,N/mm^2$	$\bar{\alpha}_{(20\,°C;\,300\,°C)}$ in $10^{-6}\,K^{-1}$	$\lambda_{20\,°C}$ in $W(m\,K)^{-1}$	$c_{20\,°C}$ in $J(g\,K)^{-1}$	t_g in °C	$t_{K,100}$ in °C
Apparategläser:								
Alkaliborosilicat Nr. 2877 (Geräteglas 20), Schott Glaswerke	1	2,40	75	4,9	1,19		570 (450)	195
Duran 50 Nr. 8330, Schott Glaswerke	1	2,23	63	3,30	1,16	0,80	530	248
Suprax Nr. 8486, Schott Glaswerke	1	2,34	66	4,15	1,14		550	
Suprax Nr. 8488, Schott Glaswerke	1	2,31	67	4,3	1,20		540	
Pyrex Borosilicatglas, Corning	1	2,23	65	3,3	1,13	0,75	560	180
Rasotherm	1	2,23	65	3,3			520	
Labortherm 1	1	2,37		4,9				
Thermometergläser:								
Normalglas 16[III] Schott Glaswerke (1 roter Streifen)	3	2,48	74	8,80	1,00	0,8	540 (430)	128
Thermometer-Spezialglas Nr. 2954, Schott Glaswerke (1 schwarzer Streifen)	1	2,42	74	6,58	1,09	0,8	590 (480)	145
Supremax Nr. 8409, Schott Glaswerke	1	2,56	90	4,1	1,16		730 (630)	535
Borosilicatglas Nr. 8800, Corning		2,39					570	
Quarzglas	1	2,2	70	0,58	1,36	0,71	1080	600
ULE-Glas Nr. 7971, Corning				0,035[+])				

K Hydrolitische Klasse nach der Standardgießmethode (DIN 12 111), $\varrho_{20\,°C}$ Dichte bei 20 °C, $E_{20\,°C}$ Elastizitätsmodul bei 20 °C, $\bar{\alpha}_{(20\,°C;\,300\,°C)}$ mittlerer linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient zwischen 20 °C und 300 °C, $\lambda_{20\,°C}$ Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C, $c_{20\,°C}$ spez. Wärmekapazität bei 20°, t_g Transformationstemperatur (Aufheizgeschwindigkeit 4 K/min) (die Zahlen in Klammern geben die höchstzulässigen Gebrauchstemperaturen für Thermometer aus dem betreffenden Glas an), $t_{K,100}$ Temperatur für den spezifischen elektrischen Widerstand $\varrho = 10^8\,\Omega\,cm$ (DIN 52 326)

[+]) zwischen 0 °C und 105 °C

3.06 Kältemischungen aus Eis und verschiedenen Salzen – *Eutectic salt-ice mixtures* (W. Blanke)

Salz	Zusammensetzung Salz (wasserfrei) Massenanteil in %	Zusammensetzung Eis Massenanteil in %	Eutektische Temperatur in °C	Salz	Zusammensetzung Salz (wasserfrei) Massenanteil in %	Zusammensetzung Eis Massenanteil in %	Eutektische Temperatur in °C
Na_2CO_3	6,0	94,0	− 2	NaCl	22,9	77,1	−21
$MgSO_4$	16,0	84,0	− 4	$MgCl_2$	14,0	86,0	−34
KCl	18,9	81,1	−11	$CaCl_2$	30,2	69,8	−50
NH_4Cl	14,0	86,0	−15	KOH	30,9	69,1	−63

3.07 Dichte des Quecksilbers als Funktion der Celsiustemperatur bei 101,325 kPa – *Density of mercury as a function of the Celsius temperature at* 101,325 kPa (F. Spieweck)

Dichte ϱ in kg/m³, Temperatur in °C (ITS-90)											Mittelwert $\Delta\varrho/\Delta t$ kg/(m³ K)	Unsicherheit kg/m³
t/°C	−20	−19	−18	−17	−16	−15	−14	−13	−12	−11		
	13644,61	13642,13	13639,64	13637,16	13634,68	13632,20	13629,72	13627,24	13624,76	13622,28	2,48	0,3
t/°C	−10	−9	−8	−7	−6	−5	−4	−3	−2	−1		
	13619,81	13617,33	13614,86	13612,380	13609,91	13607,44	13604,96	13602,49	13600,02	13597,55	2,47	0,04
t/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
0	13595,08	13592,61	13590,15	13587,68	13585,21	13582,75	13580,28	13577,82	13575,36	13572,89	2,46	0,02
10	13570,43	13567,97	13565,51	13563,05	13560,59	13558,13	13555,68	13553,22	13550,76	13548,31	2,46	0,01
20	13545,85	13543,40	13540,95	13538,49	13536,04	13533,59	13531,14	13528,69	13526,24	13523,79	2,45	0,01
30	13521,34	13518,90	13516,45	13514,00	13511,56	13509,11	13506,67	13504,23	13501,78	13499,34	2,44	0,02
40	13496,90	13494,46	13492,02	13489,58	13487,14	13484,70	13482,26	13479,83	13477,39	13474,95	2,44	
50	13472,52	13470,08	13467,65	13465,21	13462,78	13460,35	13457,92	13455,48	13453,05	13450,62	2,43	0,04
60	13448,19	13445,76	13443,34	13440,91	13438,48	13436,05	13433,63	13431,20	13428,77	13426,35	2,43	
70	13423,93	13421,50	13419,08	13416,66	13414,23	13411,81	13409,39	13406,97	13404,55	13402,13	2,42	0,06
80	13399,71	13397,29	13394,87	13392,45	13390,04	13387,62	13385,20	13382,79	13380,37	13377,96	2,42	
90	13375,54	13373,13	13370,72	13368,30	13365,89	13363,48	13361,07	13358,65	13356,24	13353,83	2,41	0,08
t/°C	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
100	13351,42	13327,3	13303,3	13279,3	13255,3	13231,4	13207,5	13183,6	13159,7	13135,9	2,40	0,1
200	13112,0	13088,2	13064,4	13040,6	13016,8	12992,9	12969,1	12945,3	12921,4	12897,5	2,38	0,2
300	12873,6											0,2

Literatur: Ambrose, D. (1990): The density of mercury, Metrologia **27**, 245–247. Die Formel zur Berechnung der Tab. T 3.07 ist in **3**.2.2.1 angegeben.

3.08 Isotherme Kompressibilität von Quecksilber – *Isothermal compressibility of mercury* (G. Klingenberg)

Die Tabelle enthält Werte der mittleren isothermen Kompressibilität $-\frac{1}{v}\frac{\Delta v}{\Delta p} \cdot 10^6$ in bar^{-1} für die angegebenen Druckintervalle. Werte nach Bett, K.E. u.a. (1954): Brit. J. appl. Phys. **5**, 243–251. Literaturübersicht: Holmann, G.J.F.; ten Seldam, C.A. (1994): J. Phys. Chem. Ref. Data 23, 807–827

t	Druckintervall Δp in bar											
	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9 000	10000	11000
°C	bis 1000	bis 2000	bis 3000	bis 4000	bis 5000	bis 6000	bis 7000	bis 8000	bis 9000	bis 10000	bis 11000	bis 12000
−30	3,72											
−20	3,77	3,57	3,52									
−10	3,82	3,67	3,57	3,47	3,37							
0	3,87	3,72	3,62	3,52	3,42	3,31	3,21					
10	3,91	3,77	3,67	3,57	3,45	3,34	3,26	3,16	3,11			
20	3,93	3,82	3,67	3,57	3,47	3,38	3,26	3,21	3,11	3,1	3,1	
30	3,98	3,87	3,72	3,62	3,52	3,42	3,31	3,26	3,16	3,1	3,1	3,1
40	4,03	3,93	3,77	3,67	3,57	3,47	3,37	3,26	3,21	3,2	3,1	3,1
50	4,08	3,98	3,82	3,72	3,62	3,52	3,37	3,31	3,22	3,2	3,1	3,1
100	4,33	4,18	4,08	3,93	3,77	3,67	3,57	3,47	3,37	3,3	3,2	3,1
150	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	4,1	4,1	3,6	3,6	3,3	3,2	3,1
Standardabweichung kleiner als:		0,25		0,50		0,75		1,00		1,25		1,50

3.09 Dichte von luftfreiem Wasser bei 101,325 kPa als Funktion der Celsiustemperatur – *Density of water (air-free) at* 101,325 kPa *as a function of the Celsius temperature* (F. Spieweck)

Die Werte dieser Tabelle wurden nach einer Formel von Kell, G.S. (1975): J. Chem. & Eng. Data **20**, 97–105, mit den von Bettin, H.; Spieweck, F. (1990): PTB-Mitteilungen **100**, 195–196, auf die ITS-90 umgerechneten Koeffizienten erstellt. Die Formel zur Berechnung von Tab. T 3.09 ist in 3.2.2.1 angegeben.

t	Dichte ϱ in kg/m³										Mittelwert $\Delta\varrho/\Delta t$	$\Delta\varrho$ luftgesättigt – luftfrei
°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	kg/(m³K)	kg/m³
0	999,840	999,846	999,853	999,859	999,865	999,871	999,877	999,883	999,888	999,893	0,059	–0,005
1	999,899	999,903	999,908	999,913	999,917	999,921	999,925	999,929	999,933	999,937	0,041	–0,005
2	999,940	999,943	999,946	999,949	999,952	999,954	999,956	999,959	999,961	999,963	0,024	–0,004
3	999,964	999,966	999,967	999,968	999,969	999,970	999,971	999,971	999,972	999,972	0,008	–0,004
4	999,972	999,972	999,972	999,971	999,971	999,970	999,969	999,968	999,967	999,965	–0,008	–0,004
5	999,964	999,962	999,960	999,958	999,956	999,954	999,951	999,949	999,946	999,943	–0,024	–0,004
6	999,940	999,937	999,934	999,930	999,926	999,923	999,919	999,915	999,910	999,906	–0,039	–0,004
7	999,901	999,897	999,892	999,887	999,882	999,877	999,871	999,866	999,860	999,854	–0,053	–0,004
8	999,848	999,842	999,836	999,829	999,823	999,816	999,809	999,802	999,795	999,788	–0,068	–0,004
9	999,781	999,773	999,766	999,758	999,750	999,742	999,734	999,725	999,717	999,708	–0,081	–0,004
10	999,699	999,691	999,682	999,672	999,663	999,654	999,644	999,635	999,625	999,615	–0,095	–0,004
11	999,605	999,595	999,584	999,574	999,563	999,553	999,542	999,531	999,520	999,508	–0,108	–0,003
12	999,497	999,486	999,474	999,462	999,450	999,438	999,426	999,414	999,402	999,389	–0,121	–0,003
13	999,377	999,364	999,351	999,338	999,325	999,312	999,299	999,285	999,271	999,258	–0,133	–0,003
14	999,244	999,230	999,216	999,202	999,187	999,173	999,158	999,144	999,129	999,114	–0,145	–0,003
15	999,099	999,084	999,069	999,053	999,038	999,022	999,006	998,991	998,975	998,959	–0,157	–0,003
16	998,942	998,926	998,910	998,893	998,876	998,860	998,843	998,826	998,809	998,792	–0,168	–0,003
17	998,774	998,757	998,739	998,722	998,704	998,686	998,668	998,650	998,632	998,613	–0,180	–0,003
18	998,595	998,576	998,558	998,539	998,520	998,501	998,482	998,463	998,443	998,424	–0,190	–0,003
19	998,404	998,385	998,365	998,345	998,325	998,305	998,285	998,265	998,244	998,224	–0,201	–0,003
20	998,203	998,182	998,162	998,141	998,120	998,099	998,077	998,056	998,035	998,013	–0,212	–0,002
21	997,991	997,970	997,948	997,926	997,904	997,882	997,859	997,837	997,815	997,792	–0,222	–0,002

Fortsetzung T 3.09

t	Dichte ϱ in kg/m³										Mittelwert $\Delta\varrho/\Delta t$	$\Delta\varrho$ luftgesättigt −luftfrei
°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	kg/(m³K)	kg/m³
22	997,769	997,747	997,724	997,701	997,678	997,654	997,631	997,608	997,584	997,561	−0,232	−0,002
23	997,537	997,513	997,490	997,466	997,442	997,417	997,393	997,369	997,344	997,320	−0,242	−0,002
24	997,295	997,270	997,246	997,221	997,196	997,170	997,145	997,120	997,094	997,069	−0,252	−0,002
25	997,043	997,018	996,992	996,966	996,940	996,914	996,888	996,861	996,835	996,809	−0,261	−0,002
26	996,782	996,755	996,729	996,702	996,675	996,648	996,621	996,594	996,566	996,539	−0,271	
27	996,511	996,484	996,456	996,428	996,401	996,373	996,345	996,316	996,288	996,260	−0,280	
28	996,232	996,203	996,174	996,146	996,117	996,088	996,059	996,030	996,001	995,972	−0,289	
29	995,943	995,913	995,884	995,854	995,825	995,795	995,765	995,735	995,705	995,675	−0,298	
30	995,645	995,615	995,584	995,554	995,523	995,493	995,462	995,431	995,401	995,370	−0,306	
31	995,339	995,307	995,276	995,245	995,214	995,182	995,151	995,119	995,087	995,056	−0,315	
32	995,024	994,992	994,960	994,928	994,895	994,863	994,831	994,798	994,766	994,733	−0,323	
33	994,700	994,667	994,635	994,602	994,569	994,535	994,502	994,469	994,436	994,402	−0,332	
34	994,369	994,335	994,301	994,268	994,234	994,200	994,166	994,132	994,097	994,063	−0,340	
35	994,029	993,994	993,960	993,925	993,891	993,856	993,821	993,786	993,751	993,716	−0,348	
36	993,681	993,646	993,610	993,575	993,540	993,504	993,469	993,433	993,397	993,361	−0,356	
37	993,325	993,289	993,253	993,217	993,181	993,144	993,108	993,072	993,035	992,998	−0,364	
38	992,962	992,925	992,888	992,851	992,814	992,777	992,740	992,703	992,665	992,628	−0,371	
39	992,591	992,553	992,515	992,478	992,440	992,402	992,364	992,326	992,288	992,250	−0,379	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
40	992,212	991,826	991,432	991,031	990,623	990,208	989,786	989,358	988,922	988,479		
50	988,030	987,575	987,113	986,644	986,169	985,688	985,201	984,707	984,208	983,702		
60	983,191	982,673	982,150	981,621	981,086	980,546	979,999	979,448	978,890	978,327		
70	977,759	977,185	976,606	976,022	975,432	974,837	974,237	973,632	973,021	972,405		
80	971,785	971,159	970,528	969,892	969,252	968,606	967,955	967,300	966,639	965,974		
90	965,304	964,630	963,950	963,266	962,577	961,883	961,185	960,482	959,774	959,062		
100	958,345											

3.10 Isotherme Kompressibilität von Wasser – *Isothermal compressibility of water* (G. Klingenberg)

Es ist $10^6\,\kappa_T$ in bar^{-1} als Funktion der Celsiustemperatur t und des Überdrucks p_e angegeben, vgl. 3.2.2.3. Werte nach Chen, C.T. u.a. (1977): J. Chem. Phys. **66**, 2142–2144
Literaturübersicht: Sato, H. u.a. (1991): J. Phys. Chem. Ref. Data **20**, 1035–1037

t °C	p_e in bar 0	100	200	300	400	500	600	800	1000
0	50,89	49,48	48,12	46,81	45,54	44,31	43,13	40,87	38,75
10	47,81	46,56	45,36	44,21	43,09	42,01	40,98	39,01	37,17
20	45,89	44,73	43,61	42,54	41,51	40,51	39,56	37,76	36,08
25	45,25	44,11	43,01	41,96	40,96	39,99	39,06	37,31	35,68
30	44,77	43,64	42,56	41,53	40,54	39,59	38,67	36,96	35,37
40	44,24	43,11	42,04	41,01	40,03	39,09	38,19	36,51	34,97
50	44,17	43,02	41,93	40,88	39,89	38,94	38,04	36,36	34,82
60	44,50	43,30	42,16	41,08	40,06	39,08	38,16	36,44	34,89
70	45,16	43,89	42,69	41,56	40,49	39,48	38,52	36,75	35,16
80	46,14	44,78	43,51	42,30	41,17	40,10	39,09	37,25	35,60
90	47,43	45,96	44,58	43,29	42,08	40,94	39,88	37,93	36,20
100	49,02	47,41	45,92	44,52	43,21	41,99	40,85	38,77	36,94

3.11 Verschiedene Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf bei 0,1 MPa – *Some properties of water and steam at* 0,1 MPa (W. Blanke)

t_{90} °C	v m³/kg	c_p kJ/kg K	η 10^{-6} Pa s	ν 10^{-6} m²/s	λ W/(m·K)	a 10^{-6} m²/s	Pr	c_s m/s
0	0,00100016	4,2204	1791	1,791	0,561	0,133	13,46	1412
10	0,00100030	4,1937	1308	1,308	0,580	0,138	9,45	1454
20	0,00100180	4,1829	1003	1,005	0,599	0,143	7,01	1488
30	0,00100438	4,1791	797,7	0,8012	0,616	0,148	5,41	1512
40	0,00100785	4,1788	653,1	0,6582	0,631	0,152	4,33	1528
50	0,00101212	4,1805	547,1	0,5537	0,644	0,156	3,55	1537
60	0,00101710	4,1839	466,8	0,4748	0,654	0,159	2,99	1541
70	0,00102275	4,1890	404,5	0,4137	0,663	0,162	2,56	1541
80	0,00102903	4,1957	355,0	0,3653	0,670	0,164	2,22	1537
90	0,00103594	4,2044	315,0	0,3263	0,675	0,166	1,96	1530
99,606	0,00103416	4,2147	283,4	0,2956	0,679	0,168	1,76	1523
99,606	1,69452	2,0742	12,28	20,81	0,0251	20,5	1,015	477
100	1,69645	2,0725	12,28	20,83	0,0251	20,9	1,014	477
120	1,79366	2,0130	13,03	23,36	0,0265	23,7	0,990	486
140	1,88945	1,9859	13,80	26,07	0,0280	26,7	0,979	498
160	1,98436	1,9744	14,58	28,93	0,0297	29,8	0,970	510
180	2,07870	1,9712	15,38	31,96	0,0314	33,1	0,965	522
200	2,17263	1,9729	16,18	35,15	0,0333	36,6	0,960	533
250	2,40632	1,9886	18,22	43,84	0,0382	46,2	0,949	560
300	2,63901	2,0123	20,29	53,55	0,0434	56,9	0,940	585
350	2,87114	2,0400	22,37	64,22	0,0490	69,1	0,931	609
400	3,10292	2,0700	24,45	75,87	0,0548	82,2	0,923	632
450	3,33449	2,1017	26,52	88,42	0,0608	96,6	0,916	653
500	3,56591	2,1346	28,57	101,85	0,0670	112,0	0,910	674
550	3,79721	2,1685	30,61	116,2	0,0734	128,6	0,904	694
600	4,02841	2,2030	32,61	131,4	0,0799	146,1	0,898	714
650	4,25909	2,2380	34,60	147,4	0,0866	164,8	0,893	732
700	4,48902	2,2730	36,55	164,1	0,0934	185	0,888	750
750	4,71930	2,3082	38,48	181,7	0,100	205	0,884	768
800	4,95030	2,3432	40,37	199,9	0,107	227	0,880	785

v spez. Volumen, c_p spez. isobare Wärmekapazität, η Viskosität, ν kinematische Viskosität, λ Wärmeleitfähigkeit, $a = \lambda/c_p\varrho$ Temperaturleitfähigkeit, $Pr = \nu/a = \eta c_p/\lambda$ Prandtl-Zahl, c_s Schallgeschwindigkeit

v, c_p: Saul, A.; Wagner, W. (1989): A Fundamental Equation for Water Covering the Range from the Melting Line to 1273 K at Pressures up to 25 000 Mpa. J. Phys. Chem. Ref. Data **18**, Nr. 4, 1537–1564
Ausführliche Tafeln: Grigull, U. (Hrsg.) (1983): Properties of Water and Steam in SI-Units. 3rd. print., Berlin, Heidelberg, New York: Springer; München: Oldenbourg. – Elsner, N.; Fischer, S.; Klinger, J. (1982): Thermophysikalische Stoffeigenschaften von Wasser. Leipzig: VEB Dt. Verlag f. Grundstoffind.

3.12 Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf im Sättigungszustand – *Properties of water and steam in the state of saturation* (W. Blanke)

t_{90} °C	p_s MPa	ϱ' kg/dm³	ϱ'' kg/m³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	Δh_v kJ/kg	η' µPa·s	η'' µPa·s	λ' mW/m·K	λ'' mW/m·K	σ mN/m
0,01	0,000612	0,9998	0,00485	0,00061	2500,5	2500,5	1791	9,22	561	17,1	75,65
10	0,001228	0,9997	0,00941	42,021	2519,3	2477,3	1308	9,46	580	17,6	74,22
20	0,002339	0,9982	0,01731	83,913	2537,7	2453,8	1003	9,73	598	18,2	72,74
30	0,004247	0,9956	0,03041	125,734	2555,7	2430,0	797,7	10,01	616	18,9	71,20
40	0,007385	0,9922	0,05124	167,534	2573,6	2406,1	653,1	10,31	631	19,6	69,90
50	0,012352	0,9880	0,08315	209,344	2591,3	2382,0	547,1	10,62	644	20,4	67,95
60	0,019947	0,9832	0,1304	251,183	2608,9	2357,7	466,8	10,94	654	21,2	66,24
70	0,03120	0,9777	0,1984	293,066	2626,2	2333,1	404,4	11,26	663	22,2	64,49
80	0,04742	0,9718	0,2937	335,012	2643,1	2308,1	355,0	11,60	670	23,0	62,68
90	0,07018	0,9653	0,4239	377,038	2659,7	2282,6	315,0	11,93	675	24,0	60,82
100	0,10142	0,9583	0,5981	419,163	2675,8	2256,6	282,2	12,28	679	25,1	58,92
110	0,14338	0,9509	0,8268	461,409	2691,3	2229,9	254,9	12,62	681	26,2	56,97
120	0,19867	0,9431	1,1219	503,802	2706,1	2202,3	232,1	12,97	683	27,5	54,97
130	0,27028	0,9348	1,4968	546,368	2720,3	2173,9	212,7	13,32	683	28,8	52,94
140	0,3615	0,9261	1,9666	589,139	2733,6	2144,5	196,1	13,67	683	30,1	50,86
150	0,4762	0,9170	2,5479	632,147	2746,0	2113,9	181,9	14,02	682	31,6	48,75
160	0,6182	0,9075	3,2595	675,430	2757,5	2082,1	169,5	14,37	680	33,1	46,60
170	0,7922	0,8975	4,1221	719,028	2767,9	2048,9	158,8	14,72	677	34,7	44,41
180	1,0028	0,8870	5,1588	762,984	2777,2	2014,2	149,3	15,07	673	36,4	42,20
190	1,2552	0,8761	6,3954	807,349	2785,2	1977,9	141,0	15,42	669	38,2	39,95
200	1,5549	0,8647	7,8610	852,17	2792,0	1939,8	133,6	15,78	663	40,1	37,7
210	1,9077	0,8527	9,5884	897,52	2797,2	1899,7	126,9	16,13	657	42,1	35,4
220	2,3196	0,8403	11,615	943,46	2800,9	1857,4	121,0	16,49	650	44,2	33,1
230	2,7971	0,8272	13,985	990,06	2802,8	1812,8	115,5	16,85	642	46,2	30,8
240	3,3470	0,8134	16,748	1037,41	2802,9	1765,5	110,5	17,22	632	48,7	28,4
250	3,9762	0,7990	19,966	1085,61	2800,9	1715,2	105,8	17,59	621	51,3	26,1
260	4,6923	0,7837	23,711	1134,79	2796,5	1661,7	101,5	17,98	610	54,0	23,7
270	5,5030	0,7676	28,072	1185,09	2789,6	1604,5	97,4	18,38	596	57,1	21,4
280	6,4166	0,7504	33,164	1236,69	2779,7	1543,0	93,4	18,80	581	60,6	19,0
290	7,4418	0,7321	39,132	1289,82	2766,4	1476,6	89,6	19,25	565	64,7	16,7
300	8,5879	0,7123	46,171	1344,77	2749,3	1404,6	85,8	19,7	548	69,6	14,4
310	9,8650	0,6909	54,546	1401,96	2727,6	1325,6	82,1	20,3	529	77,2	11,7
320	11,284	0,6673	64,643	1461,96	2700,3	1238,3	78,3	20,9	509	83,8	9,88
330	12,858	0,6409	77,049	1525,65	2665,9	1140,2	74,4	21,6	489	94,7	7,71
340	14,601	0,6106	92,741	1594,43	2621,9	1027,5	70,2	22,5	466	110	5,64
350	16,529	0,574	113,56	1670,96	2564,0	893,0	65,7	23,7	445	134	3,68
360	18,666	0,528	143,88	1761,37	2481,6	720,2	60,2	25,5	422	179	1,89
370	21,044	0,451	201,91	1890,85	2333,6	442,8	51,4	29,4	424	347	0,40
373,946	22,064	0,322	322,0	2086,6	2086,6	0	40,6	40,6	950	950	0,00

p_s Dampfdruck (Sättigungsdruck), ϱ Dichte, h Enthalpie, η Viskosität, λ Wärmeleitfähigkeit, σ Oberflächenspannung. Die Größen des siedenden Wassers sind durch einen Strich (′), die des gesättigten Dampfes durch zwei Striche (″) gekennzeichnet.

p_s, ϱ, h, Δh_v: Wagner, W.; Pruß, A. (1993): International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance. Revised according to the New International Temperature Scale of 1990. J. Phys. Chem. Ref. Data **22**, Nr. 3, 783–787

Ausführliche Tafeln: Vgl. Bemerkungen zu Tab. T 3.11.

3.13 Dampfdruck und Dichte des gesättigten Wasserdampfes zwischen –35 °C und 50 °C – *Vapour pressure and density of saturated steam between* –35 °C *and* 50 °C (W. Scheibe)

t °C	e_i mbar	ϱ_{vi} g/m³	e_w mbar	ϱ_{vw} g/m³	t °C	e_i mbar	ϱ_{vi} g/m³	e_w mbar	ϱ_{vw} g/m³
−35	0,22	0,20	0,31	0,29	−13	1,99	1,65	2,25	1,88
−30	0,38	0,34	0,51	0,45	−12	2,17	1,80	2,44	2,03
−25	0,63	0,55	0,81	0,70	−11	2,38	1,96	2,64	2,19
−24	0,70	0,61	0,88	0,77	−10	2,60	2,14	2,86	2,36
−23	0,77	0,67	0,97	0,84	− 9	2,84	2,33	3,10	2,54
−22	0,85	0,73	1,05	0,91	− 8	3,10	2,53	3,35	2,74
−21	0,94	0,81	1,15	0,99	− 7	3,38	2,75	3,62	2,95
−20	1,03	0,88	1,25	1,07	− 6	3,69	2,99	3,91	3,17
−19	1,14	0,97	1,37	1,17	− 5	4,01	3,25	4,21	3,41
−18	1,25	1,06	1,49	1,27	− 4	4,37	3,52	4,54	3,66
−17	1,37	1,16	1,62	1,37	− 3	4,76	3,82	4,90	3,93
−16	1,51	1,27	1,76	1,48	− 2	5,17	4,14	5,28	4,22
−15	1,65	1,39	1,91	1,60	− 1	5,62	4,48	5,68	4,52
−14	1,81	1,52	2,08	1,74					

t °C	e_w mbar	ϱ_{vw} g/m³	t °C	e_w mbar	ϱ_{vw} g/m³	t °C	e_w mbar	ϱ_{vw} g/m³
0	6,11	4,85	17	19,38	14,47	34	53,23	37,59
1	6,57	5,19	18	20,64	15,36	35	56,26	39,61
2	7,06	5,56	19	21,98	16,30	36	59,45	41,72
3	7,58	5,94	20	23,39	17,29	37	62,79	43,93
4	8,13	6,36	21	24,87	18,33	38	66,30	46,24
5	8,72	6,80	22	26,44	19,42	39	69,97	48,65
6	9,35	7,26	23	28,10	20,57	40	73,81	51,16
7	10,02	7,75	24	29,85	21,77	41	77,84	53,79
8	10,73	8,27	25	31,69	23,04	42	82,05	56,52
9	11,48	8,82	26	33,63	24,37	43	86,46	59,38
10	12,28	9,40	27	35,67	25,76	44	91,08	62,36
11	13,13	10,01	28	37,82	27,23	45	95,90	65,46
12	14,03	10,66	29	40,08	28,76	46	100,94	68,69
13	14,98	11,34	30	42,45	30,37	47	106,21	72,06
14	15,99	12,06	31	44,95	32,05	48	111,71	75,57
15	17,05	12,82	32	47,58	33,82	49	117,45	79,22
16	18,18	13,63	33	50,33	35,66	50	123,45	83,02

t Celsiustemperatur, e_i Dampfdruck (Sättigungsdruck) über Eis, e_w Dampfdruck (Sättigungsdruck) über Wasser, ϱ_{vi} und ϱ_{vw} Dichte des gesättigten Wasserdampfes über Eis bzw. Wasser

3.14a Siedetemperatur des Wassers in °C zwischen 86 und 110 kPa – *Boiling temperature of water in* °C *for pressures between* 86 *and* 110 kPa (W. Blanke)

Temperaturen in der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90)

p kPa	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
86	95,444	95,475	95,507	95,539	95,570	95,602	95,633	95,665	95,696	95,728
87	95,759	95,790	95,822	95,853	95,884	95,915	95,947	95,978	96,009	96,040
88	96,071	96,102	96,133	96,164	96,195	96,226	96,257	96,288	96,319	96,350
89	96,381	96,411	96,442	96,473	96,503	96,534	96,565	96,595	96,626	96,657
90	96,687	96,718	96,748	96,778	96,809	96,839	96,870	96,900	96,930	96,960
91	96,991	97,021	97,051	97,081	97,111	97,141	97,172	97,202	97,232	97,262
92	97,292	97,322	97,351	97,381	97,411	97,441	97,471	97,501	97,530	97,560
93	97,590	97,619	97,649	97,679	97,708	97,738	97,767	97,797	97,826	97,856
94	97,885	97,915	97,944	97,974	98,003	98,032	98,061	98,091	98,120	98,149
95	98,178	98,207	98,237	98,266	98,295	98,324	98,353	98,382	98,411	98,440
96	98,469	98,498	98,527	98,555	98,584	98,613	98,642	98,671	98,699	98,728
97	98,757	98,785	98,814	98,843	98,871	98,900	98,928	98,957	98,985	99,014
98	99,042	99,071	99,099	99,127	99,156	99,184	99,212	99,241	99,269	99,297
99	99,325	99,353	99,382	99,410	99,438	99,466	99,494	99,522	99,550	99,578
100	99,606	99,634	99,662	99,690	99,718	99,745	99,773	99,801	99,829	99,857
101	99,884	99,912	99,940	99,967	99,995	100,023	100,050	100,078	100,105	100,133
102	100,160	100,188	100,215	100,243	100,270	100,298	100,325	100,352	100,380	100,407
103	100,434	100,462	100,489	100,516	100,543	100,570	100,598	100,625	100,652	100,679
104	100,706	100,733	100,760	100,787	100,814	100,841	100,868	100,895	100,922	100,949
105	100,976	101,002	101,029	101,056	101,083	101,110	101,136	101,163	101,190	101,216
106	101,243	101,270	101,296	101,323	101,349	101,376	101,402	101,429	101,455	101,482
107	101,508	101,535	101,561	101,588	101,614	101,640	101,667	101,693	101,719	101,745
108	101,772	101,798	101,824	101,850	101,876	101,903	101,929	101,955	101,981	102,007
109	102,033	102,059	102,085	102,111	102,137	102,163	102,189	102,215	102,241	102,266
110	102,292	102,318	102,344	102,370	102,395	102,421	102,447	102,473	102,498	102,524

3.14b Dampfdruck des Wassers in kPa für Temperaturen zwischen 90 und 104 °C – *Vapour pressure of water in* kPa *for temperatures between* 90 *and* 104 °C (W. Blanke)

t_{90} °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
90	70,18	70,45	70,72	70,99	71,26	71,53	71,80	72,07	72,34	72,62
91	72,89	73,17	73,44	73,72	74,00	74,28	74,56	74,84	75,12	75,40
92	75,69	75,97	76,25	76,54	76,83	77,12	77,40	77,69	77,98	78,28
93	78,57	78,86	79,16	79,45	79,75	80,04	80,34	80,64	80,94	81,24
94	81,54	81,84	82,15	82,45	82,76	83,06	83,37	83,68	83,99	84,30
95	84,61	84,92	85,23	85,55	85,86	86,18	86,49	86,81	87,13	87,45
96	87,77	88,09	88,42	88,74	89,06	89,39	89,72	90,04	90,37	90,70
97	91,03	91,36	91,69	92,03	92,36	92,70	93,03	93,37	93,71	94,05
98	94,39	94,73	95,07	95,42	95,76	96,11	96,45	96,80	97,15	97,50
99	97,85	98,20	98,56	98,91	99,27	99,62	99,98	100,34	100,70	101,06
100	101,42	101,78	102,14	102,51	102,87	103,24	103,61	103,98	104,35	104,72
101	105,09	105,46	105,84	106,21	106,59	106,97	107,35	107,73	108,11	108,49
102	108,87	109,26	109,64	110,03	110,42	110,81	111,20	111,59	111,98	112,37
103	112,77	113,16	113,56	113,96	114,36	114,76	115,16	115,56	115,97	116,37
104	116,78	117,18	117,59	118,00	118,41	118,82	119,24	119,65	120,07	120,48

Quelle: Wagner, W.; Pruß, A. (1993): International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance. Revised according to the New International Temperature Scale of 1990. – J. Phys. Chem. Ref. Data **22**, Nr. 3, 783–787

3.15 Spezifische Wärmekapazität c_p des Wassers in kJ/(kg K) bei 0,1 MPa – *Specific heat c_p of water in* kJ/(kg K) *at* 0,1 MPa (W. Blanke)

t_{90} °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,2204	4,2165	4,2130	4,2098	4,2068	4,2041	4,2016	4,1994	4,1973	4,1954
10	4,1937	4,1921	4,1907	4,1893	4,1881	4,1870	4,1860	4,1851	4,1843	4,1836
20	4,1829	4,1823	4,1818	4,1813	4,1808	4,1804	4,1801	4,1798	4,1795	4,1793
30	4,1791	4,1790	4,1788	4,1787	4,1787	4,1786	4,1786	4,1786	4,1787	4,1787
40	4,1788	4,1789	4,1790	4,1791	4,1793	4,1794	4,1796	4,1798	4,1800	4,1803
50	4,1805	4,1808	4,1811	4,1814	4,1817	4,1820	4,1824	4,1827	4,1831	4,1835
60	4,1839	4,1843	4,1848	4,1853	4,1857	4,1862	4,1867	4,1873	4,1878	4,1884
70	4,1890	4,1895	4,1902	4,1908	4,1914	4,1921	4,1928	4,1935	4,1942	4,1950
80	4,1957	4,1965	4,1973	4,1981	4,1989	4,1998	4,2007	4,2016	4,2025	4,2034
90	4,2044	4,2054	4,2064	4,2074	4,2084	4,2095	4,2106	4,2117	4,2128	4,2140
99,606	4,2147									

Quelle: Saul, A.; Wagner, W. (1989): A Fundamental Equation for Water Covering the Range from the Melting Line to 1273 K at Pressures up to 25 000 MPa. J. Phys. Chem. Ref. Data **18**, Nr. 4, 1537–1564.

3.16 Dichte der trockenen und feuchten Luft – *Density of dry and humid air* (M. Kochsiek)

Nach der vom Comité International des Poids et Mesures empfohlenen Formel (Formel für die Bestimmung feuchter Luft, PTB-Mitt. **89** (1979) 271–280 sowie Metrologia **29** (1992) 67–70) ergibt sich für die Dichte feuchter Luft die Zahlenwertgleichung

$$\varrho = [3,48349 + 0,0144(x_{CO_2} - 0,04)] \cdot 10^{-3} \frac{p}{ZT}(1 - 0,378x_v)$$

mit ϱ Dichte feuchter Luft in kg/m³, p Luftdruck in Pa, T Lufttemperatur in K, x_{CO_2} Volumengehalt an CO_2 in %, x_v Molanteil des Wasserdampfes, Z Realgasfaktor (Z = 0,9996 bis 0,9997 im Temperatur- und Druckbereich der folgenden Tabelle).

Diese Gleichung läßt sich auch in der Form

$$\varrho = (\varrho_{tr} + \varphi A)[1 + 0,0041(x_{CO_2} - 0,04)]$$

schreiben. Hierin bedeuten ϱ_{tr} die Dichte der trockenen Referenzluft ($x_v = 0$, $x_{CO_2} = 0{,}04\%$) in kg/m³, φ die relative Luftfeuchte (als Dezimalbruch geschrieben), A den von der Temperatur abhängigen Feuchtekorrekturfaktor in kg/m³.

Die Zusammensetzung der trockenen Referenzluft ist in der folgenden Tabelle gegeben:

Gas	N_2	O_2	Ar	CO_2	Ne	He	CH_4	Kr	H_2	N_2O	CO
Volumengehalt in %	78,10	20,94	0,92	0,04	0,0018	0,0005	0,0002	0,0001	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$

Die Dichte ϱ_{tr} der trockenen Referenzluft und der Feuchtekorrekturfaktor A können der unten stehenden Tabelle entnommen werden.

Beispiel: t = 20°C, p =1000 mbar, φ = 0,50 (50% rel. Luftfeuchte), x_{CO_2} = 0,06%.

$$\varrho = [1{,}1887\ \text{kg m}^{-3} + 0{,}50\,(-10{,}47 \cdot 10^{3)}\text{kg m}^{-3}) \cdot [1 + 0{,}004\text{I}\,(0{,}06 - 0{,}04)] = 1{,}1836\ \text{kg m}^{-3}.$$

Fortsetzung T 3.16

t in °C	Dichte der trockenen Luft ϱ_{tr} in kg m^{-3} bei folgenden Drücken in mbar 930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	Feuchte-Korrektur-faktor A in kg m^{-3}
15	1,1247	1,1368	1,1489	1,1610	1,1731	1,1852	1,1973	1,2094	1,2215	1,2336	1,2457	1,2578	$-7{,}77 \cdot 10^{-3}$
16	1,1208	1,1329	1,1450	1,1570	1,1691	1,1811	1,1932	1,2052	1,2173	1,2294	1,2414	1,2535	$-8{,}25 \cdot 10^{-3}$
17	1,1170	1,1290	1,1410	1,1530	1,1650	1,1770	1,1891	1,2011	1,2131	1,2251	1,2371	1,2491	$-8{,}77 \cdot 10^{-3}$
18	1,1131	1,1251	1,1371	1,1490	1,1610	1,1730	1,1850	1,1969	1,2089	1,2209	1,2329	1,2448	$-9{,}30 \cdot 10^{-3}$
19	1,1093	1,1121	1,1332	1,1451	1,1570	1,1690	1,1809	1,1928	1,2048	1,2167	1,2286	1,2406	$-9{,}87 \cdot 10^{-3}$
20	1,1055	1,1174	1,1293	1,1412	1,1531	1,1650	1,1769	1,1887	1,2006	1,2125	1,2244	1,2363	$-10{,}47 \cdot 10^{-3}$
21	1,1017	1,1136	1,1254	1,1373	1,1491	1,1610	1,1728	1,1847	1,1965	1,2084	1,2202	1,2321	$-11{,}09 \cdot 10^{-3}$
22	1,0980	1,1098	1,1216	1,1334	1,1452	1,1570	1,1689	1,1807	1,1925	1,2043	1,2161	1,2279	$-11{,}75 \cdot 10^{-3}$
23	1,0943	1,1061	1,1178	1,1296	1,1414	1,1531	1,1649	1,1767	1,1884	1,2002	1,2120	1,2238	$-12{,}45 \cdot 10^{-3}$
24	1,0906	1,1023	1,1140	1,1258	1,1375	1,1492	1,1610	1,1727	1,1844	1,1962	1,2079	1,2196	$-13{,}18 \cdot 10^{-3}$
25	1,0869	1,0986	1,1103	1,1220	1,1337	1,1454	1,1571	1,1688	1,1805	1,1921	1,2038	1,2155	$-13{,}94 \cdot 10^{-3}$

3.17 Verschiedene Eigenschaften trockener Luft bei 0,1 MPa – *Some properties of dry air at* 0,1 MPa (W. Blanke)

t_{90} °C	ϱ kg/m^3	c_p kJ/kg K	λ mW/K m	a 10^{-6}m^2/s	η µPa s	ν 10^{-6}m^2/s	Pr
−100	2,0190	1,011	16,4	8,04	11,8	5,85	0,73
− 80	1,8077	1,009	18,2	9,96	12,9	7,14	0,72
− 60	1,6367	1,007	19,8	12,0	14,1	8,62	0,72
− 40	1,4954	1,006	21,5	14,3	15,2	10,17	0,71
− 20	1,3766	1,006	23,0	16,6	16,1	11,7	0,71
0	1,2754	1,006	24,5	19,1	17,0	13,3	0,70
20	1,1881	1,007	26,0	21,7	18,1	15,2	0,70
40	1,1119	1,008	27,5	24,5	19,0	17,1	0,70
60	1,0452	1,009	28,9	27,5	20,0	19,1	0,70
80	0,9858	1,010	30,4	30,5	20,9	21,2	0,69
100	0,9328	1,012	31,9	33,8	21,8	23,4	0,69
150	0,8226	1,018	35,4	42,3	23,8	28,9	0,68
200	0,7356	1,026	38,9	51,5	25,8	35,1	0,68
250	0,6653	1,035	42,4	61,6	27,6	41,5	0,67
300	0,6072	1,046	45,9	72,3	29,3	48,3	0,67
350	0,5585	1,057	49,3	83,5	31,0	55,5	0,67
400	0,5170	1,069	52,6	95,2	32,6	63,1	0,66
450	0,4813	1,081	55,6	106,9	33,1	70,8	0,66
500	0,4502	1,093	58,5	118,9	35,6	79,1	0,67

t_{90} Celsiustemperatur, ϱ Dichte, c_p isobare spez. Wärmekapazität, λ Wärmeleitfähigkeit, $a = \lambda/c_p\varrho$ Temperaturleitfähigkeit, η = Viskosität, $\nu = \eta/\varrho$ kinematische Viskosität, $Pr = \nu/a$ Prandtl-Zahl

Literatur: Baehr, H.D.; Schwier, K. (1961): Die thermodynamischen Eigenschaften der Luft. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer; Carrol, D.L.; Lo, H.Y.; Stiel, L.I. (1968): Thermal conductivity of gaseous air at moderate and high pressures. J. Chem. Engng. Data **13**, 53–57; Lo, H.Y.; Carrol, D.L.; Stiel, L.I. (1966): Viscosity of gaseous air at moderate and high pressures. J. Chem. Engng. Data **11**, 540–544

3.18 Relative Luftfeuchte über gesättigten wäßrigen Salzlösungen – *Relative humidity of air over saturated salt-water solutions* (W. Scheibe)

Salz / t in °C	5	15	20	30	40	Salz / t in °C	5	15	20	30	40
LiBr	7	7	7	6	6	KI	73	71	70	68	66
$ZnBr_2$	9	8	8	8	8	$SrCl_2 \cdot 6H_2O$	77	74	73	69	–
KOH	14	11	9	7	6	NaCl	76	76	75	75	75
LiCl	–	13	12	12	11	$(NH_4)_2SO_4$	82	82	81	81	80
CH_3COOK	–	23	23	22	–	KBr	85	83	82	80	79
$MgCl_2$	34	33	33	32	32	KCl	88	86	85	84	82
K_2CO_3	43	43	43	43	–	KNO_3	96	95	95	92	89
$Mg(NO_3)_2$	59	57	54	51	48	K_2SO_4	98	98	98	97	96
$NaBr \cdot 2H_2O$	64	61	60	56	53						

Werte der relativen Luftfeuchte in Prozent.

Literatur: Greenspan (1977): J. Res. NBS **81 A**, 89–96

3.19a Längenausdehnungskoeffizient einiger Stoffe – *Thermal coefficient of linear expansion for various substances* (W. Gorski)

Mittlerer Längenausdehnungskoeffizient $\bar{\alpha}$ (t_1, t_2) zwischen den Temperaturen t_1 und t_2, ohne Temperaturangaben Längenausdehnungskoeffizient α (20°C).
Genauere Angaben bei wichtigen Gebrauchsstoffen in Tab. T 3.19b. ||, ⊥: parallel bzw. senkrecht zur c-Achse bei Kristallen.

Stoff	t_1 °C	t_2 °C	$10^6\ \bar{\alpha}\ (t_1, t_2)$ K^{-1}		
Elemente:					
Antimon	0	20	‖ 16, 2		⊥ 8, 2
Arsen (je nach Achsenwinkel)	30	75	4	bis	28, 4
Barium	0	300	18		
Beryllium	0	20	‖ 11, 7		⊥ 8, 6
Bismut	20	240	‖ 16, 2		⊥ 12
Bor	20	750	8, 3		
Cadmium	20	100	‖ 56		⊥ 21, 5
Caesium	0	26	95		
Calcium	0	300	22		
Chrom	0	100	6, 6		
Cobalt	20	100	12, 5		
Europium	0	100	36, 4		
Indium	0	100	30, 3		
Iod	−190	17	84		
Kalium	0	95	83		
Kohlenstoff (Diamant)	40	50	1, 3		
Lanthan	0	100	‖ 12, 5		⊥ 1, 3
Lithium	0	95	56		
Magnesium	20	100	‖ 27, 5		⊥ 26, 1
Mangan	0	100	22, 8		
Molybdän	0	500	5, 5		
Natrium	0	95	71		
Neodym	20	100	214		
Niob	20	100	5, 9		
Osmium			6, 6		

Fortsetzung T 3.19a

Stoff	t_1 °C	t_2 °C	$10^6\,\bar{\alpha}\,(t_1, t_2)$ K^{-1}		
Phosphor, weiß	0	40	125		
Rhenium	17	1920	∥ 12, 45		⊥ 4, 65
Rubidium	0	38	90		
Ruthenium	50	50	∥ 8, 8		⊥ 5, 9
Schwefel, rh. Achsen *a*, *b*, *c*	18	18	67; 78; 20		
Selen	0	100	66		
Tantal	20	100	7, 7		
Tellur			∥ −1, 6		⊥ 27
Thallium	0	20	33, 7		
Thorium	0	100	11, 2		
Uran	0	100	15, 9		
Zinn	15	50	∥ 32		⊥ 17
Zirconium	40	40	∥ 4, 5		⊥ 2, 5
Gläser s. Tab. T 3.05					
Keramische Kunststoffe:					
Email	20	400	4	bis	12
Magnesia, gesintert			8	bis	10
Marquardsche Masse	20	100	4		
Nernstmasse	18	2000	10, 5		
Porzellan	0	100	3	bis	4
Pythagorasmasse	20	1000	3, 5		
Schamottestein			5		
Thoriumoxid, gesintert	0	1600	7	bis	9, 5
Wolframcarbid	20	60	4, 5		
Ziegelstein			8	bis	10
Zirkonoxid, stabilisiert	20	100	6		
Metallegierungen:					
Bronze	−190	115	17, 5		
Duraluminium	0	100	23		
Elektron	0	100	26		
Flußstahl	0	100	11		
Grauguß	−190	15	8, 7		
Messing	−190	115	16, 65		
Naturstoffe:					
Asphalt			170	bis	230
Andesit	20	100	5	bis	9
Basalt	20	100	4, 4	bis	6, 4
Baumwolle			80		
Bernstein			56		
Eis			37		
Diabas	20	100	4, 4	bis	6, 4
Feldspat: Albit ∥ a, ⊥ 010	20	1000	15, 6		6, 2
Feldspat: Anorthit je n. Richt.	20	1000	6, 1	bis	3
Fette			≈ 100		
Gabbro	20	100	4, 4	bis	6, 4
Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	12	25	25		
Glimmer	20	100	9	bis	15
Granit	20	100	5	bis	11

Fortsetzung T 3.19a

Stoff		t_1 °C	t_2 °C	$10^6\ \bar{\alpha}\ (t_1, t_2)$ K^{-1}		
Holz, ∥ Wachstumsrichtung				2	bis	11
Holz, ⊥ Wachstumsrichtung				26	bis	73
Kaliumchlorid				33		
Kaliumnitrat				78		
Kalkstein		20	100	4	bis	12
Kalkspat		20	100	∥ −0, 42		⊥ 18, 9
Kaolin				5		
Kautschuk				140	bis	200
Kolophonium				85		
Marmor		20	100	5	bis	9
Naphthalin				94		
Natriumchlorid		0	100	41		
Phenol				290		
Quarzit		20	100	11		
Rohrzucker				82		
Salpeter (KNO_3)				70		
Sandstein		20	100	8	bis	12
Schiefer		20	100	8	bis	10
Speckstein				9	bis	10
Stearinsäure				70		
Ton, 10% Feuchte				6		
Organische Kunststoffe: [1])						
Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS[2])			60	bis	80
Bakelit		20	100	30		
Buna		20	120	120	bis	185
Celluloid	C			100		
Celluloseacetat	CA			120		
Celluloseacetobutyrat	CAB			120		
Celluloseproponat	CP			110	bis	130
Epoxid	EP			15	bis	30
Ethylen-Vinylacetat	EVA			180	bis	220
Harnstoff-Formaldehyd	UF			50	bis	60
Hartgewebe				20	bis	40
Hartgummi		20	60	80		
Hartpapier		20	50	20	bis	40
Melamin-Formaldehyd	MF			50	bis	60
Perbunan		20	150	130		
Phenol-Formaldehyd	PF	20	50	15	bis	35
Poly-11-aminoundecaamid	PA11			110		
Poly-4-methyl-penten-1	PMP			120		
Polyacrylphthalat	PDAP			10	bis	35
Polyamid	PA	20	50	70	bis	100
Polyamidimid[3])	PAI			9	bis	13
Polybutylen	PB			150		
Polybutylenterephthalat	PBTP			75		
Polycaprolactam	PA6			80		
Polycarbonat	PC			70		
Polychlortrifluorethylen	PCTFE			60		
Polyester, gesättigt	SP			70		

Fortsetzung T 3.19a

Stoff		t_1 °C	t_2 °C	$10^6\ \bar{\alpha}\ (t_1, t_2)$ K^{-1}		
Polyester, ungesättigt	UP			20	bis	40
Polyetheramid	PEA			176	bis	230
Polyetheretherketon	PEEK			40	bis	50
Polyetherimid[3])	PEI			14	bis	62
Polyethersulfon	PES			20	bis	50
Polyethylen	PE			220	bis	250
Polyethylenterephthalat	PETP			40		
Polyhexamethylenadipinamid	PA66			80		
Polyimid	PI	0	40	40	bis	60
Polyisobutylen	PIB			120		
Polylaurinlactam	PA12			130		
Polymethacrylimid[3])	PMI			12	bis	65
Polymethylmethacrylat	PMMA	−10	30	70	bis	80
Polyolefin	PO	20	50	120	bis	250
Polyoxymethylen	POM	20	100	90		
Polyphenylenoxid	PPO			60		
Polyphenylensulfid	PPS			55		
Polypropylen	PP	20	90	100	bis	200
Polystyrol	PS			70	bis	80
Polysulfon	PSU			55		
Polytetrafluorethylen[4])	PTFE			20	bis	250
Polyurethan	PUR	20	100	10	bis	250
Polyvinylchlorid	PVC	20	50	70	bis	80
Silicon	SI			20	bis	50
Styrol-Acrylnitril	SAN			80		
Styrol-Butadien	SB			70	bis	120

[1]) Zusätze von Mineralien verkleinern α; noch stärker wird α verkleinert durch Textilien aus Glas-, Kohle- oder Synthesefasern. Die Materialdichte hat oft großen Einfluß.
[2]) Kurzzeichen für Kunststoffe.
[3]) Mit Zusätzen ist α von Metallen erreichbar.
[4]) Stark temperaturabhängig, zwei steile Maxima nahe Raumtemperatur.

3.19b Temperaturabhängigkeit der relativen Längenänderung $\Delta l/l$ bei festen Stoffen – *Temperature dependence of the relative expansion $\Delta l/l$ of solids* (W. Gorski)

$\Delta l/l = a \cdot t + b \cdot t^2 + c \cdot t^3 + d \cdot t^4 + e \cdot t^5$; $a \ldots e$ Koeffizienten; t Temperatur in °C

Stoff	Werkstoff-Nr. n. DIN 17007 (od. Bem.)	Temperaturbereich von °C	bis °C	$10^6 a$ °C^{-1}	$10^9 b$ °C^{-2}	$10^{12} c$ °C^{-3}	$10^{15} d$ °C^{-4}	$10^{18} e$ °C^{-5}	Stand.-abweich. für $\Delta l/l$ 10^6s
Aluminium	3.0400	−250	600	22,69	19,51	−39,52	38,71		81
Al-Legierung	3.2583	20	400	19,3	9,88	−4,27			12
Baustahl	1.01..	−250	700	11,26	10,94	−17,49	13,75		38
Blei	–	−200	150	28,3	12,0	−13,3	75		–
Bronze	2.1080	0	500	17,04	4,34				–
Duraluminium	3.1645	0	300	19,0	31,6				110
Duran	(8330)	20	300	3,494	−0,557				0,9
Edelstahl 18CrNi8	1.5920	0	600	15,83	6,645	−2,741			30
Eisen	–	−190	700	11,06	8,867	−5,815	10,15	−12,24	18
Germanium	(99,9999 %)	0	900	5,019	1,23	5,42	−4,00		–
Gold	–	−250	900	14,13	5,789	−11,69	9,234		38
Invar	1.3912	0	900	−1,615	27,54	−11,42			75
Iridium	–	−200	1000	6,35	1,528				55
Kieselglas, rein	–	−250	70	0,3922	2,526				0,12
Kieselglas, rein	(getemp. s.	0	700	0,4502	1,066	−3,139	3,533	−1,52	1,8
Kieselglas, rein	Kap. 3.2.1.1)	700	1080	0,544	0,4116	−1,037	0,556		2
Konstantan	2.0842	−250	500	13,16	12,32	−10,58			49
Kupfer		−250	600	15,95	9,879	−21,64	20,9		56
Manganin	2.1362	0	800	17,84	1,717	2,818			31
Neusilber	2.0730	−273	100	19,24	−1,938	−96,68			23

Fortsetzung T 3.19b

Stoff	Werkstoff-Nr. n. DIN 17007 (od. Bem.)	Temperaturbereich von °C	bis °C	$10^6 a$ °C^{-1}	$10^9 b$ °C^{-2}	$10^{12} c$ °C^{-3}	$10^{15} d$ °C^{-4}	$10^{18} e$ °C^{-5}	Stand.-abweich. für $\Delta l/l$ 10^6s
Nickel	–	−200	1000	12,06	6,902	−2,31			78
Palladium	–	−200	1000	11,04	3,847	−1,086			42
Platin	–	−200	1000	8,684	1,493				29
α-Quarz	(∥ *c*-Achse)	−200	573	7,751	8,257	−27,211	58,65		73
β-Quarz	(∥ *c*-Achse)	573	1000	42,05	53,9	20,6			50
α-Quarz	(⊥ *c*-Achse)	−200	573	15,61	16,79	−88,42	155,3		154
β-Quarz	(⊥ *c*-Achse)	573	1000	21,36	−28,05	11,12		[+0,01249]	13
Silber	–	−250	800	18,74	9,959	−17,24	12,68		63
Silicium	(99,9999 %)	0	900	3,893	−2,101	5,125	−1,833		–
Sinterkorund	–	0	300	4,93	5,02				15
Sinterkorund	–	0	1700	6,75	1,316				32
Thermometerglas	(16^{III})	−250	480	7,457	8,087	−19,24	21,26		15
Thermometerglas	(N 168)	0	100	7,591	5,386				1,3
Thermometerglas	(2954^{III})	−270	500	5,837	2,539	−0,08325	−2,29		12
Titan	–	−123	883	8,130	4,695	−2,203			26
Wolfram	–	−250	0	5,57	10,15				8
Wolfram	–	0	1000	4,45	0,76	−0,34			3,4
Wolfram	–	1000	3000	3,9	1,75	$\Delta l/l = 4,87 + a(t-1000) + b(t-1000)^2$			240
Zerodur[1])		−10	190	0,03276	−1,442	5,738			0,23
Zink	(∥ *c*-Achse)	0	410	58,06	42,27	−155,54	135,3		–
Zink	(⊥ *c*-Achse)	0	410	13,04	13,95	−43,89	109,7		–

[1]) > 190 °C bleibende Änderung der Ausgangslänge

3.20 Molare Wärmekapazität C_p^0 bei Standarddruck p^0 (0,1 MPa) und verschiedenen Temperaturen T – *Molar Heat capacity C_p^0 at standard pressure p^0 (0,1 MPa) and various temperatures T* (S.M. Sarge)

Stoffmengenbezogene Masse (molare Masse) M in g/mol (siehe auch Tab. T 9.05), T in K (IPTS-68), C_p^0 in J/(mol K). Angegeben ist auch die jeweilige Phasenlage (*a*: amorph; α, β, γ, I, II, III: polymorphe feste Phasen; *s*, *l*, *g*: feste, flüssige, gasförmige Phase).

Molar mass M in g/mol, T in K (IPTS-68), C_p^0 in J/(mol K). Phases: *a* amorphous; α, β, γ, I, II, III: polymorphic solid phases; *s*, *l*, *g*: solid, liquid, gaseous phase.

Symbol/Formel	Name	molare Masse	100	200	298,15	400	600	800	1000	1200	Quelle
Ag	Silber	107,87	20,17	24,27	25,40	25,82	26,94	28,28	29,83	31,55	2
Al	Aluminium	26,98	13,00	21,34	24,21	25,78	27,89	30,56 (*s*)	31,75 (*l*)	31,75	1
Au	Gold	196,97	21,49	24,43	25,32	25,76	26,63	27,50	28,56	30,57	2
Be	Beryllium	9,01	1,82	9,98	16,38	19,97	23,34	25,46	27,27	29,02	1
Bi	Bismut	208,98	23,35	25,02	25,52	26,57 (*s*)	29,46 (*l*)	28,12	27,41	27,20	2
C	Kohlenstoff (Graphit)	12,01	1,67	5,01	8,52	11,82	16,84	19,83	21,61	22,77	1
Cd	Cadmium	112,41	22,22	24,94	25,94	27,15 (*s*)	29,71 (*l*)	29,71	29,71		2
Co	Cobalt	58,93	13,91	22,23	24,80	26,53	29,67 (α)	32,43 (β)	36,99	43,22	1
Cr	Chrom	52,00	9,96	19,86	23,43	25,23	27,72	29,43	31,86	35,19	1
Cu	Kupfer	63,55	16,01	22,63	24,44	25,32	26,48	27,49	28,66	30,52	1
Fe	Eisen	55,85	12,10	21,59	25,09	27,39	32,05	37,95	54,43 (α)	34,02 (γ)	1
Ga	Gallium	69,72	18,48	23,82	26,06 (*s*)	27,15 (*l*)	26,69	26,57	26,57	26,57	1
Ge	Germanium	72,61	13,77	21,05	23,35	24,48	25,23	25,90	27,20	28,70	2
Hg	Quecksilber	200,59	24,26	27,28 (*s*)	27,98 (*l*)	27,41	27,14 (*l*)	20,79 (*g*)	20,79	20,79	1
In	Indium	114,82	23,31	25,85	26,73	28,97 (*s*)	29,33 (*l*)	29,16	29,08	29,08	2
Ir	Iridium	192,22	17,36	23,43	24,97	25,48	26,59	27,77	29,43	30,97	2
K	Kalium	39,10	24,63	27,00	29,50 (*s*)	31,50 (*l*)	30,14	29,76	30,36 (*l*)	20,79 (*g*)	1
Li	Lithium	6,94	13,36	21,57	24,62	27,61 (*s*)	29,54 (*l*)	28,94	28,84	28,74	1
Mg	Magnesium	24,31	15,76	22,72	24,87	26,14	28,18	30,51 (*s*)	34,31 (*l*)	34,31	1
Mn	Mangan	54,94	14,72	23,05	26,30	28,53	31,90	34,92 (α)	37,70 (β)	38,54	1
Mo	Molybdän	95,94	13,50	21,51	23,93	25,08	26,46	27,44	28,37	29,49	1
Na	Natrium	22,99	22,45	25,99	28,15 (*s*)	31,51 (*l*)	29,81	28,95	28,95 (*l*)	20,79 (*g*)	1
Nb	Niob	92,91	17,44	23,09	24,69	25,39	26,35	27,18	28,00	28,80	1
Ni	Nickel	58,69	13,63	22,47	25,99	28,49	34,85	31,00	32,22	33,68	1
Os	Osmium	190,23			24,71	25,10	25,86	26,62	27,38	28,14	2
P	Phosphor	30,97	13,73 (α)	21,09 (β)	23,83 (β)	26,33 (*l*)	26,33	26,33	26,33 (*l*)	18,55 (*g*)	1
Pb	Blei	207,2	24,43	25,87	26,84	27,72	29,40 (*s*)	30,02 (*l*)	29,40	28,79	1
Pd	Palladium	106,42	17,87	24,14	25,98	26,74	27,74	28,83	29,92	30,96	2
Pt	Platin	195,08	19,54	24,43	25,86	26,48	27,53	25,58	29,62	30,67	2

Fortsetzung T 3.20

Symbol/Formel	Name	molare Masse	100	200	298,15	400	600	800	1000	1200	Quelle
Rh	Rhodium	102,91	15,15	22,64	24,98	26,08	28,15	30,12	31,98	33,69	2
S	Schwefel	32,07	12,77	19,37	22,70 (α)	32,16 (*l*)	34,31	31,70 (*l*)	18,64 (*g*)	18,95	1
Sb	Antimon	121,76	20,59	24,35	25,23	25,94	27,11	29,37 (*s*)	31,38 (*l*)	31,38	2
Se	Selen	78,96	18,26	23,45	25,04	27,97 (*s*)	35,15 (*l*)	35,15	35,15		2
Si	Silicium	28,09	7,27	15,64	20,00	22,14	24,15	25,36	26,34	27,20	1
Sn	Zinn	118,71	19,41	24,31 (α)	26,99 (β)	28,83 (β)	28,77 (*l*)	28,45	28,45	28,45	2
Ta	Tantal	180,95	19,74	24,09	25,30	25,84	26,84	27,46	27,93	28,66	1
Ti	Titan	47,88	14,33	22,37	25,24	26,86	28,60	29,47	32,07 (α)	29,46 (β)	1
U	Uran	238,03	22,26	25,82	27,66	29,71	34,77	41,80 (α)	42,93 (β)	38,28 (γ)	2
V	Vanadium	50,94	13,12	21,88	24,90	26,23	27,49	28,66	30,08	31,80	1
W	Wolfram	183,84	16,03	22,49	24,30	24,93	25,79	26,67	27,56	28,47	1
Zn	Zink	65,39	19,46	24,05	25,39	26,35	28,59 (*s*)	31,38 (*l*)	31,38 (*l*)	20,79 (*g*)	1
Zr	Zirconium	91,22	18,62	23,87	25,20	25,94	27,28	28,97	31,13 (α)	28,51 (β)	1
Al_2O_3	Korund	101,96	12,86	51,12	79,02	96,09	112,55	120,14	124,77	128,25	1
$BaSO_4$	Bariumsulfat	233,39			101,74	119,37	131,62	135,91	137,89	138,97	3
BN	Bornitrid	24,82	4,95	12,41	19,72	26,28	35,23	40,46	44,35	46,86	1
CO	Kohlenstoffmonoxid (*g*)	28,01	29,10	29,11	29,14	29,34	30,44	31,90	33,18	34,18	1
CO_2	Kohlenstoffdioxid (*g*)	44,01	29,21	32,36	37,13	41,33	47,32	51,43	54,31	56,34	1
$CaCl_2$	Calciumchlorid	110,98	48,81	67,36	72,86	75,65	78,20	80,92	85,77 (*s*)	102,53 (*l*)	1
$CaSO_4$	Calciumsulfat	136,14			99,65	109,70	129,45	149,20	168,95	188,70	3
Fe_2O_3	Eisenoxid (Hämatit)	159,69	31,50	76,57	103,76	120,12	141,17	158,22 (I)	150,62 (II)	141,51 (III)	1
Fe_3O_4	Eisenoxid (Magnetit)	231,54	56,34	116,95	147,24	171,13	212,55	252,88	200,83	200,83	1
FeS	Eisensulfid (Troilit)	87,91	26,67	43,05	50,52	89,20 (α)	62,03 (γ)	58,56	58,99	63,31	1
FeS_2	Eisendisulfid (Pyrit)	119,98	18,71	49,06	62,12	68,85	74,31	78,35	82,45	86,55	1
GeO_2	Germaniumdioxid	104,61			51,95	61,80	69,92	74,04	77,01	79,52	3
H_2	Wasserstoff (*g*)	2,02	28,15	27,45	28,84	29,18	29,33	29,62	30,21	30,99	1
H_2O	Wasser	18,02	15,83	28,12 (*s*)	75,35 (*l*)	34,15 (*g*)	36,29	38,94	41,54	43,97	4
H_2SO_4	Schwefelsäure (*l*)	98,08			138,59	158,32	197,07				3
LiCl	Lithiumchlorid	42,39	36,31	43,35	48,03	50,97	55,59	59,94 (*s*)	63,91 (*l*)	62,02	1
MgO	Magnesiumoxid	40,30	7,80	26,68	37,11	42,56	47,43	49,74	51,21	52,33	1
MoS_2	Molybdändisulfid	160,07	24,05	51,84	63,56	68,91	73,60	76,23	78,24	80,00	1
NH_3	Ammoniak (*g*)	17,03	33,28	33,76	35,65	38,72	45,29	51,24	56,49	61,05	1
NaCl	Natriumchlorid	58,44	34,93	46,87	50,51	52,35	55,48	59,31	64,87 (*s*)	68,33 (*l*)	1
NaOH	Natriumhydroxid	40,00	27,74	49,58	59,53	64,94 (α)	86,07 (*l*)	84,89	83,72	82,55	1
P_4O_{10}	Phosphorpentoxid	283,89	77,61	154,56	211,71	260,25	335,98 (*s*)	294,54 (*g*)	306,80	314,08	1
Pb_3O_4	Bleitetroxid (Mennige)	685,60	87,20	130,12	154,93	173,05	190,79	199,16			1

Fortsetzung T 3.20

Symbol/Formel	Name	molare Masse	100	200	298,15	400	600	800	1000	1200	Quelle
SF_6	Schwefelhexafluorid (*g*)	146,06	38,72	68,82	96,96	116,37	136,07	144,81	149,27	151,82	1
SO_2	Schwefeldioxid (*g*)	64,06	33,53	36,37	39,88	43,49	49,05	52,43	54,48	55,79	1
SiC	Siliciumcarbid (β)	40,10	4,26	16,30	26,84	34,10	41,79	45,88	48,42	50,16	1
SiO_2	Siliciumdioxid (Quarz)	60,08	15,69	32,64	44,59	53,43	64,42	73,70 (I)	68,95 (II)	70,96	1
TiC	Titancarbid	59,89	7,34	14,92	33,81	40,69	47,65	49,90	51,18	52,45	1
TiO_2	Titandioxid (Rutil)	79,88	18,50	42,01	55,10	62,84	69,93	73,08	74,85	76,02	1
UO_2	Urandioxid	270,03			63,58	72,05	79,09	82,72	85,37	87,62	3
V_2O_5	Vanadiumpentoxid	181,88	52,65	101,12	130,60	150,95	168,31	177,25 (*s*)	190,79 (*l*)	190,79	1
WC	Wolframcarbid	195,85			35,36	40,84	45,60	48,17	50,06	51,62	3
ZnS	Zinksulfid	97,46			45,36	48,32	51,06	52,70	54,03	55,23	3
CCl_4	Tetrachlorkohlenstoff	153,82	67,49	102,72 (*s*)	130,66 (*l*)	91,70 (*g*)	99,68	103,10	104,82	105,80	5
CH_4	Methan	16,04	53,86 (*l*)	33,49 (*g*)	35,67	40,64	52,53	63,47	72,79	80,40	5
CH_4O	Methanol	32,04	43,92 (*s*)	70,64 (*l*)	81,15 (*l*)	51,69 (*g*)	67,22	79,67	89,49	97,15	5
CS_2	Kohlenstoffdisulfid	76,14	46,01 (*s*)	75,22 (*l*)	76,43 (*l*)	49,59 (*g*)	54,58	57,57	59,36	60,47	5
C_2H_2	Acetylen (*g*)	26,04		38,33	43,94	50,03	57,47	62,43	66,63	70,11	5
$C_2H_4O_2$	Essigsäure	60,05	50,05	67,29 (*s*)	123,33 (*l*)	79,55 (*g*)	105,95	125,74	139,41	148,69	5
C_2H_6O	Ethanol	46,07	48,20 (*s*)	89,34 (*l*)	112,11 (*l*)	82,24 (*g*)	107,02	126,96	142,74	154,58	5
C_3H_6O	Aceton	58,08	67,10 (*s*)	117,06 (*l*)	126,31 (*l*)	91,69 (*g*)	121,45	145,90	163,38	175,41	5
$C_4H_{10}O$	Diethylether	74,12	73,62 (*s*)	154,70 (*l*)	175,63 (*l*)	144,14 (*g*)	189,16	224,88	252,13	272,13	5
C_6H_6	Benzol	78,11	50,84	83,53 (*s*)	136,32 (*l*)	114,18 (*g*)	159,71	190,29	211,70	226,77	5
C_7H_8	Toluol	92,14	63,38 (*s*)	137,00 (*l*)	157,29 (*l*)	141,20 (*g*)	195,45	234,15	261,72	281,14	5
PS	Polystyrol	104,15*		83,97	126,48 (*a*)	201,24 (*l*)	254,30				8
PE	Polyethylen	14,03*	9,75	18,92 (*a*)	30,81 (*l*)	35,22	43,87				7
PMMA	Polymethylmethacrylat	100,12*	57,48	97,52	137,00 (*a*)	207,90 (*l*)					6
PTFE	Polytetrafluorethylen	100,02*		37,59	51,28	59,25 (*a*)	69,37 (*l*)				8

* stoffmengenbezogene Masse der Wiederholungseinheit

1 Chase, Jr., M.W.; Davies, C.A.; Downey, Jr., J.R.; Frurip, D.J.; McDonald, R.A.; Syverud, A.N. (1985): JANAF Thermochemical Tables. Part I–II, 3rd ed. J. Phys. Chem. Ref. Data **14**, Supplement 1

2 Hultgren, R.; Desai, P.D.; Hawkins, D.T.; Gleiser, M.; Kelley, K.K.; Wagman, D.D. (1973): Selected Values of the Thermodynamic Properties of the Elements. Metals Park, Ohio: American Society for Metals

3 Knacke, O.; Kubaschewski, O.; Hesselmann, K. (eds.) (1991): Thermochemical Properties of Inorganic Substances. Vol. I–II, 2nd ed. Berlin: Springer

Fortsetzung T 3.20

4 Garvin, D.; Parker, V.B.; White, Jr., H.J. (1987): CODATA Thermodynamic Tables. Selections for Some Compounds of Calcium and Related Mixtures: A Prototype Set of Tables. Washington: Hemisphere
5 Daubert, T.E.; Danner, R.P. (1989): Physical and Thermodynamic Properties of Pure Chemicals. Data Compilation. New York: Hemisphere
6 Gaur, U.; Lau, S.; Wunderlich, B.B.; Wunderlich, B. (1982): Heat Capacity and Other Thermodynamic Properties of Linear Macromolecules. VI. Acrylic Polymers. J. Phys. Chem. Ref. Data **11**, 1065–1089
7 Gaur, U.; Wunderlich, B. (1981): Heat Capacity and Other Thermodynamic Properties of Linear Macromolecules. II. Polyethylene, J. Phys. Chem. Ref. Data **10**, 119–152
8 Varma-Nair, M.; Wunderlich, B. (1991): Heat Capacity and Other Thermodynamic Properties of Linear Macromolecules. X. Update to the ATHAS 1980 Data Bank. J. Phys. Chem. Ref. Data **20**, 349–404

Weitere Angaben in:
Blanke, W. (Hrsg.) (1989): Thermophysikalische Stoffgrößen. Berlin: Springer
Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. II. Band, Eigenschaften der Materie in ihren Aggregatzuständen. 4. Teil, Kalorische Zustandsgrößen, Schäfer, K.; Lax, E. (Hrsg.). 6. Aufl. Berlin: Springer 1961. IV. Band, Technik. 4. Teil, Wärmetechnik. Bandteil a, Wärmetechnische Meßverfahren. Thermodynamische Eigenschaften homogener Stoffe. Hausen, H. (Hrsg.). 6. Aufl. Berlin: Springer 1967
Thermophysical Properties of Matter. Vol. 4. Specific Heat. Metallic Elements and Alloys, Touloukian, Y.S.; Buyco, E.H. (eds.). New York: IFI/Plenum 1970. Vol. 5. Specific Heat. Nonmetallic Solids, Touloukian, Y.S.; Buyco, E.H. (eds.). New York: IFI/Plenum 1970. Vol. 6. Specific Heat. Nonmetallic Liquids and Gases, Touloukian, Y.S.; Makita, T. (eds.). New York: IFI/Plenum 1970. Vol. 6. Supplement. Specific Heat. Nonmetallic Liquids and Gases, Touloukian, Y.S.; Makita, T. (eds.). New York: IFI/Plenum 1976
Barin, I. (1989): Thermochemical Data of Pure Substances. Vol. I–II. Weinheim: VCH

3.21 Molare Siedepunktserhöhung $\Delta T_{S,m}$ und Gefrierpunktserniedrigung $\Delta T_{G,m}$ einiger Lösungsmittel – *Molecular elevation of the boiling point, $\Delta T_{S,m}$, and depression of the freezing point, $\Delta T_{G,m}$, of some solvents* (H.-H. Kirchner)

(Ein Mol einer Substanz in 1000 g der angegebenen Lösungsmittel gelöst, erhöhen den Siedepunkt um $\Delta T_{S,m}$ in K; entsprechendes gilt für die Gefrierpunktserniedrigung)

Lösungsmittel	Formel	Siedepunkt (bei $p = 101{,}325$ kPa) in °C	$\Delta T_{S,m}$ in K	Schmelzpunkt in °C	$\Delta T_{G,m}$ in K
Aceton	CH_3COCH_3	56,3	1,69		
Ammoniak	NH_3	−33,5	0,34	−77,3	1,32
Benzol	C_6H_6	80,1	2,54	5,5	5,07
d-Campher	$C_{10}H_{16}O$	209,1	6,09	176,5	40,00
Chloroform	$CHCl_3$	61,1	3,80	−63,2	4,90
Cyclohexan	C_6H_{12}	80,7	2,75	6,2	20,20
Diethylether	$C_2H_5OC_2H_5$	34,5	2,16	−116,3	1,79
1,4-Dioxan	$C_4H_8O_2$	101,3	3,27	11,8	4,63
Essigsäure (wasserfrei)	CH_3COOH	118,5	3,08	16,6	3,59
Ethanol (Ethylalkohol)	C_2H_5OH	78,3	1,07		
n-Hexan	C_6H_{14}	68,7	2,78	−95,5	1,80
Kohlenstofftetrachlorid (Tetrachlorkohlenstoff)	CCl_4	76,5	5,07	−24,7	29,80
Methanol (Methylalkohol)	CH_3OH	64,7	0,83		

Fortsetzung T 3.21

Lösungsmittel	Formel	Siedepunkt (bei $p = 101{,}325$ kPa) in °C	$\Delta T_{S,m}$ in K	Schmelzpunkt in °C	$\Delta T_{G,m}$ in K
Naphthalin	$C_{10}H_8$	218,9	5,80	80,5	6,90
Phenol	C_6H_5OH	182,2	3,60	40,8	7,10
Quecksilber	Hg	356,6	11,40		
Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffdisulfid)	CS_2	46,3	2,40		
Schwefelwasserstoff (Hydrogensulfid)	H_2S	−60,2	0,63	−82,3	3,83
Wasser	H_2O	100,0	0,52	0,0	1,86

Literatur: D'Ans, J.; Lax, E. (1967): Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Bd. I. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; CRC (1981–1982): Handbook of Chemistry and Physics, 62nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; Kaye, G.W.C.; Laby, T.H. (1973): Tables of Physical and Chemical Constants, 14th ed. London: Longman.

3.22 Wärmeleitfähigkeit einiger Festkörper – *Thermal conductivity of solids*

(W. Hemminger)

3.22a Elemente

Alle Werte der Wärmeleitfähigkeit λ in W/m K gelten, falls nicht anders angegeben, für reines/reinstes, polykristallines (evtl. gealtertes) Material. Die Wärmeleitfähigkeit hängt – besonders bei tiefen Temperaturen – von Verunreinigungen ab.

	Temperatur in °C									
	−200	−100	−50	0	20	100	200	500	1000	1500
Aluminium	495	243	236	236	237	240	238	222		
Aluminium (ca. 99%)	270	220	217	215	220	220	222	209		
Antimon	60	33	30	25	25	22	20	17		
Beryllium	1997	382	271	218	205	170	145	109		
Bismut	22	11	9	8	8					
Blei	41	37	36	35	35	34	33			
Bor		73	45	32	29	21	15			
Cadmium	107	100	99	97	97	95	93			
Chrom	200	121	105	95	91	88	85	72	62	
Cobalt	209				100	88	77			
Eisen	193	99	90	83	81	72	63	45	29	
Armco-Eisen		83	78	75	73	67	61	44	29	
Gallium		43	42	41	41					
Germanium	310	105	75	67	62	47	36	21		
Gold	356	331	324	322	316	311	301	275		
Hafnium					23	22	22	21	21	22
Indium		92	88	84	82	76				
Iridium		156	151	148	147	145				
Kalium	113			98	97					
Kohlenstoff (1)						90	86	66	46	
Kohlenstoff (2)	$\leqslant 10^4$	$\leqslant 3 \cdot 10^3$		$\leqslant 2 \cdot 10^3$						
Kupfer	550	421	409	401	399	393	389	373	336	
Elektrolyt-Kupfer		407	395	386	384	380	374	360	317	
Lanthan		11	12	13	14	16				
Lithium	144	93	85	79	77	73				
Magnesium	210	160	158	157	156	154	151	146		
Mangan	5									

Fortsetzung T 3.22a

	Temperatur in °C									
	−200	−100	−50	0	20	100	200	500	1000	1500
Molybdän	223	146	142	139	138	135	132	119	103	91
Natrium	137	135	137	135	133					
Nickel	212	114	102	94	91	83	74	67	78	
Elektrolyt-Nickel	130			84	82	76	68	60	62	
Niob	60			52		55	56	61	69	76
Osmium	145					87	87			
Palladium	81	75	75	75	75	75	75			
Phosphor (schwarz)	37	20	16	13	12					
Platin	85	73	72	70	71	71	72	75	84	97
Plutonium		3	5	8	8	12				
Quecksilber	33	29	28							
Rhenium	66	53	50	49	48	47	45			50
Rhodium	273	156	153	151	150	147	142			
Ruthenium	211	123	117	117	117	115	113			
Schwefel (polykrist.)	0,7			0,3	0,3					
Schwefel (amorph)		0,2	0,2	0,2	0,2					
Silber	489	431	429	428	427	422	415	391		
Silicium		342	230	168	153	110	82	44	25	
Tantal	61				57	57	57	59	61	63
Titan	35	26		22	22	20	20	20	23	
Uran	20	24	26	27	27	29	30	38		
Vanadium	40						33	36	42	48
Wolfram	270	204	192	171	167	157	147	126	113	103
Zink	144	122	122	122	121	117	112			
Zinn (weiß)		74	70	68	67	63	60			
Zirconium	39				23	22	21	21	26	30

(1) Graphit: POCO AXM-5Q, Fa. Poco, USA; (2) für verschiedene Naturdiamanten

3.22b Legierungen

Die angegebenen Richtwerte gelten für 20 °C. Die Wärmeleitfähigkeit λ hängt von der Zusammensetzung und vom Gefüge ab.

Stoff	λ in W/m K	Stoff	λ in W/m K
Duraluminium	165	Messinge	
Eisen-Kohlenstofflegierungen (0,06 bis 1,22% C)	45 bis 65	CuZn28	126
Niedriglegierte Stähle (bis 0,5% C, 1% Cr, 3,5% Ni)	26 bis 46	CuZn33	117
Hochlegierte Stähle (bis 1,2% C, 19% Cr, 28% Ni)	14 bis 27	CuZn37	113
18CrNi8	14	Zinnbronzen	
Gußeisen	30 bis 50	CuSn2	165
Weißer Temperguß	46 bis 50	CuSn4	95
Schwarzer Temperguß	62 bis 71	CuSn6	70
Messsinge		CuSn8	65
CuZn10	176	Neusilber	
CuZn15	155	CuNi12Zn24	48
CuZn20	142	CuNi25Zn15	23
		Konstantan (CuNi44)	22
		Manganin (CuMn12Ni)	22
		90% Pt 10% Rh	30

3.22c Verschiedene Stoffe bei 20 °C

Stoff	λ in W/m K
Basalt	2,0
Granit	2,9
Marmor	2,8
Sandstein	
quarzitisch	2,5
feldspathaltig	1,7
Schiefer	2,0
Quarzsand	
trocken	0,2 bis 0,4
feucht	2,1 bis 3,1
Flußsand	
trocken	0,3
feucht (11%)	1,1
Kiessand, feucht	1,4
Erde, feucht (15%)	0,8 bis 1,2
Erdreich, grobkiesig	0,6
Tonboden	1,3
Steinkohle	0,21 bis 0,24
Braunkohle	0,17
Koks (Hochtemperatur)	0,7 bis 1,2
Steinsalz	4,5 bis 5,7
Asphalt	0,7
Bitumen	0,17
Fett	0,17
Gewebe	
Baumwolle	0,07
Kunstseide	0,06
Leinen	0,07
Wolle	0,04 bis 0,05
Gläser	0,7 bis 1,4
Glimmer	0,4 bis 0,6
Gummi	
Kautschukanteil 40%	0,24
60%	0,19
100%	0,13
Hartgummi	
Rohdichte 1,14 g/cm³	0,17
1,24 g/cm³	0,20
1,30 g/cm³	0,24
1,39 g/cm³	0,26
1,78 g/cm³	0,67

Stoff	λ in W/m K
Polypropylen	0,22
Polytetrafluorethylen (Teflon)	0,26
Styropor-Schaumstoffe	0,03 bis 0,045
Epoxyd-Harz (ungefüllt)	0,2
Epoxyd-Harz (mit Mineralmehl gefüllt)	0,82 bis 1,36
Hochofenschlacke	0,57
Holz (Mittelwerte für 24 °C, 12% Feuchtegehalt und senkrecht zur Faser strömende Wärme; λ parallel zur Faser etwa doppelt so groß)	
Rohdichte 500 kg/m³	0,11 bis 0,14
700 kg/m³	0,15 bis 0,17
Horn	0,18
Kreide	0,92
Leder	0,14 bis 0,16
Papier	0,12
Paraffin	0,25 bis 0,27
Porzellan	1,2 bis 1,6
Schaumgummi	0,07 bis 0,09
Steinzeug	1,3 bis 1,9
Polyethylen (Hochdruck-PE)	0,34
Polyethylen (Niederdruck-PE)	0,42 bis 0,61
Polymehylmethacrylat	0,19
Polyvinylchlorid	0,17
Polystyrol	0,16
Polyamid	0,31
Polyester (ungefüllt)	0,18
Polyester (mit Glasfaser gefüllt)	0,29 bis 0,32
Siliconkautschuk	0,17

3.22d Eis und Schnee

Eis

Temperatur in °C	Dichte in g/cm³	λ in W/m K
0	0,917	2,25
– 20	0,920	2,4
– 40	0,923	2,7
– 60	0,925	3,0
– 80	0,927	3,5
–100	0,929	4,0
–120	0,931	4,6
–150	0,933	5,7
–180	0,934	7,2

Schnee bei 0 °C

Rohdichte in g/cm³	0,2	0,4	0,6	0,8
λ in W/m K	0,15	0,32	0,6	1,1

3.22e Bau- und Wärmedämmstoffe

Angegeben sind gerundete Rechenwerte (s. DIN 4108, Teil 4) der Wärmeleitfähigkeit, die Temperatureinflüsse, den Feuchtegehalt und Stoffunterschiede berücksichtigen (Mitteltemperatur: 10 °C).

Stoff	λ in W/m K	Stoff	λ in W/m K
Mörtel	0,9 bis 1,4	Mauerwerk aus Gasbeton-Blocksteinen (500 bis 800 kg/m³)	0,2 bis 0,3
Normalbeton (nach DIN 1045)	2,1	Polyurethan-Ortschaum	0,03
Leichtbetone mit geschlossenem Gefüge, je nach Rohdichte und Art der Zuschläge	0,3 bis 1,2	Korkplatten	0,045 bis 0,055
		Polystyrol-Hartschaum	0,025 bis 0,040
		Polyurethan-Hartschaum	0,020 bis 0,035
Dampfgehärteter Gasbeton (400 bis 800 kg/m³)	0,14 bis 0,23	Mineralische und pflanzliche Faserdämmstoffe (nach DIN 1865, Teil 1)	0,035 bis 0,050
Leichtbetone mit haufwerkporigem Gefüge, je nach Rohdichte und Art der Zuschläge	0,15 bis 1,4	Schaumglas	0,045 bis 0,060
		Sperrholz	0,15
Gasbeton – Bauplatten mit normaler Fugendicke und Mauermörtel (500 bis 800 kg/m³)	0,2 bis 0,3	Harte Holzfaserplatten	0,17
		Poröse Holzfaserplatten	0,045 bis 0,056
		Lose, abgedeckte Schüttungen	
Wandbauplatten aus Leichtbeton (800 bis 1400 kg/m³)	0,3 bis 0,6	Blähperlit	0,06
		Korkschrot, expandiert	0,05
Wandbauplatten aus Gips (600 bis 1200 kg/m³)	0,3 bis 0,6	Hüttenbims	0,13
		Blähton, Blähschiefer	0,19
Gipskartonplatten	0,2	Polystyrolschaum-Partikel	0,045
Vollklinker – Mauerwerk	1,0	Sand, Kies, Splitt (trocken)	0,7
Kalksandstein – Mauerwerk (1000 bis 2200 kg/m³)	0,5 bis 1,3		

Fortsetzung T 3.22e

Tieftemperatur-Isolierungen, Wärmeleitfähigkeit in W/m K

Stoff	Rohdichte in kg/m³	Temperatur in °C −150	−100	−50	0
Mineralwolle (lose)	200	0,018	0,023	0,029	0,035
Perlit	48 80	0,021 0,024	0,026 0,030	0,032 0,036	0,037 0,042
Polyurethan-Schaum (diffusionsdicht abgedeckt)	40	0,014	0,019	0,023	0,020
Perlit (Korngröße 0,5 mm, Druck $< 10^{-6}$ bar)	60 bis 80	0,0004	0,0008	0,0017	0,0033
Superisolierung aus Glasseidegewebe und geknitterter Aluminiumfolie (30 Lagen je cm, Druck $< 10^{-7}$ bar)		0,00004	0,00006	0,0001	0,00015

Literatur: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen; 6. Aufl., Berlin: Springer; Band II/5b (1968), Band IV/4b (1972)
Touloukian, Y.S.; Ho, C.Y. (Eds.): Thermophysical Properties of Matter, Vol. 1 (1970) Thermal Conductivity, Metallic Elements and Alloys; Vol. 2 (1970) Thermal Conductivity, Nonmetallic Solids; Vol. 3 (1970) Thermal Conductivity, Nonmetallic Liquids and Gases. New York: IFI/Plenum Data Corporation
DIN 4108, Teil 4 (1981): Wärmeschutz im Hochbau. Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte. Berlin: Beuth
Jamieson, D.T.; Irving, J.B.; Tudhope, J.S. (1975): Liquid Thermal Conductivity, a data survey to 1973. Edinburgh: National Engineering Laboratory
Ziebland, H. (1981): Recommended Reference Materials: for Realization of Physicochemical Properties; Section: Thermal Conductivity of Fluid Substances. Pure Appl. Chem. **43**, 1863–1877

3.23 Wärmeleitfähigkeit einiger Flüssigkeiten – *Thermal conductivity of liquids*

(W. Hemminger)

3.23a Verflüssigte Gase

Wärmeleitfähigkeit in W/m K beim Sättigungsdruck

Stoff	Temperatur in °C −180	−160	−140	−120	−100	−80	−60	−40
Argon	0,117	0,093	0,066					
Krypton			0,082	0,069	0,056	0,043		
Xenon					0,068	0,060	0,053	0,045
Sauerstoff	0,145	0,118	0,090					
Stickstoff	0,108	0,075						
Kohlenstoffmonoxid	0,118	0,086						
Methan	0,216	0,185	0,156	0,128	0,100			
Tetrafluorkohlenstoff (Tetrafluormethan)				0,094	0,078	0,063		
Ethylen		0,253	0,231	0,210	0,188	0,166	0,145	0,123
Propan	0,205	0,202	0,195	0,182	0,169	0,157	0,144	

3.23b Verschiedene Flüssigkeiten

Wärmeleitfähigkeit λ in W/m K bei 20 °C und 1 bar bzw. Sättigungsdruck

Stoff	λ	Stoff	λ
Chlorwasserstoff HCl	0,189	Heptan C_7H_{16}	0,124
Brom Br_2	0,125	Hexan C_6H_{14}	0,119
Schwefeldioxid SO_2	0,198	Isobutylalkohol C_4H_{10}	0,133
Schwefelsäure H_2SO_4	0,330	Isopropylalkohol C_3H_8O	0,137
Ammoniak NH_3	0,491	Methanol CH_4O	0,200
Stickstoffdioxid NO_2	0,132	Nitrobenzol $C_6H_5O_2N$	0,152
Salpetersäure HNO_3, 98%	0,260	Pentan C_5H_{12}	0,113
Phosphorsäure H_3PO_4	0,431	Pentanol $C_5H_{12}O$	0,145
Kohlenstoffdioxid CO_2	0,087	Propan C_3H_8	0,093
Schwefelkohlenstoff CS_2	0,150	Propanol C_3H_8O	0,153
Aceton C_3H_6O	0,162	Tetrachlorethan $C_2H_2Cl_4$	0,114
Ameisensäure CH_2O_2	0,224	Tetrachlorkohlenstoff CCl_4 (Tetrachlormethan)	0,101
Anilin C_6H_7N	0,173	Toluol C_7H_8	0,135
Benzol C_6H_6	0,146	Trichlorethylen C_2HCl_3	0,115
Butan C_4H_{10}	0,108	Xylol C_8H_{10}	0,134
Butanol $C_4H_{10}O$	0,148	Benzin	0,11 bis 0,12
Buttersäure C_4H_8O	0,150	Blut (menschlich, 38 °C)	0,51
Chloroform $CHCl_3$ (Trichlormethan)	0,116	Vollmilch (3,5% Fett)	0,55
Dichlorethylen $C_3H_2Cl_2$	0,125	Vaseline	0,18
Diethylether $C_4H_{10}O$	0,130	Erdnußöl	0,16
Difluordichlormethan CF_2Cl_2	0,072	Leinöl	0,16
Essigsäure $C_2H_4O_2$	0,161	Olivenöl	0,17
Ethanol C_2H_6O	0,165	Siliconöle (je nach Viskosität)	0,10 bis 0,16
Glycerin $C_3H_8O_3$	0,285		

3.23c Flüssige Metalle

Wärmeleitfähigkeit in W/m K

Stoff	Temperatur in °C								
	0	50	100	200	300	400	600	800	1000
Aluminium								95	101
Blei						17	19		
Caesium		20	20	20	20	20	19	17	14
Gallium		30	35	45	56				
Kalium			53	49	45	41	35	29	24
Lithium					47	50	56	62	66
Magnesium								89	
Natrium			88	83	78	73	64	55	47
Quecksilber	8,2	9,0	9,8	11,0	11,7	12,6			
Zink							60	71	
Zinn					28	31			

Literatur vgl. Tab. T 3.22

3.24 Wärmeleitfähigkeit einiger Gase beim Druck von 1 bar – *Thermal conductivity of gases at a pressure of* 1 bar (W. Hemminger)

3.24a Elemente und anorganische Verbindungen

Wärmeleitfähigkeit in mW/m·K

Stoff	Temperatur in K														
	100	150	200	250	273	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	2000
Helium	72	95	115	134	143	183	218	250	280	307	334	360	410	457	587
Neon	22	30	37	43	46	60	70	79	88	96	104	112			
Argon	6	9	12	15	16	23	27	31	34	37	41	44	49	54	69
Krypton		5	7	8	9	12	15	17	19	21	23	25	28	31	
Xenon			4	5	5	7	9	11	12	14					
Wasserstoff	67	98	128	157	171	222	259	295	331	366	399	432	500	578	850
Sauerstoff	9	14	18	22	24	34	40	47	53	60	66	71	82	93	
Fluor	9	13	18	22	24										
Stickstoff	10	14	18	22	24	33	39	45	50	55	60	65	76	87	
Luft	9	14	18	22	24	34	40	46	52	57	62	67	77	83	
Ammoniak				19	22	37	51	67	83						
Schwefelwasserstoff					13	20	27	34							
Schwefeldioxid					9	15	20	26	31	36	41	45	52		
Schwefelhexafluorid							27	33	39						
Stickstoffoxid		13	17	22	24	33	40	47							
Distickstoffoxid			10	13	15	26	35	44	53	61					
Kohlenstoffmonoxid	9	13	17	21	23	32	38	45	50	56	61	66			
Kohlenstoffdioxid			9	13	14	24	32	40	47	54	61	67	79		

3.24b Organische Verbindungen

Wärmeleitfähigkeit in mW/m·K

Stoff	Temperatur in °C					
	0	25	50	100	150	200
Aceton C_3H_6				18	23	
Benzol C_6H_6				16	21	
Butan C_4H_{10}	13	16	18	24	31	38
Chloroform $CHCl_3$				10	12	
Diethylether $C_4H_{10}O$			17	22	28	33
Difluordichlormethan CF_2Cl_2	9	10	11	13	16	
Ethan C_2H_6	18	21	24	32	38	46
Ethanol C_2H_6				22	27	
Ethylen C_2H_4	17	21	24	31	37	44
Heptan C_7H_{16}			15	18		
Hexan C_6H_{14}				20	26	
Methan CH_4	30	34	37	44	52	60
Methanol CH_4O				24	28	
Pentan C_5H_{12}			17	23	29	36
Propan C_3H_8	15	18	21	27	34	42
Tetrachlorkohlenstoff CCl_4				9	10	
Tetrafluorkohlenstoff CF_4	14	16	18	21		

Literatur vgl. Tab. T 3.22.

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 4

Elektrizität – *Electricity*

Redakteur: F. Melchert

4.01 Symbole zur Kennzeichnung von Meßgeräten und Zubehör nach DIN EN 60 051-1 – *Symbols for marking measuring instruments and accessories according to* IEC 51-1 (DIN EN 60 051-1) (H. Bachmair) 377

4.02 Charakteristische Eigenschaften der gebräuchlichen Zerhackerschaltungen – *Characteristics of commonly used choppers* (H. Bachmair) 379

4.03 Kenndaten von elektrochemischen Stromquellen – *Characteristics of electrochemical cells* (H. Bachmair) 379

4.03a Primärelemente – *Batteries* 379

4.03b Sekundärelemente – *Accumulators* 380

4.04 Kennwerte von Widerstandswerkstoffen – *Characteristics of resistance alloys* (H. Bachmair) 380

4.05 Norm-Hohlleiter mit Rechteckquerschnitt (Frequenzbereiche, Normbezeichnungen, Kenndaten) – *Standard waveguides of rectangular cross-section* (Frequency ranges, standard symbols, characteristic date) (U. Stumper) 383

4.06 Normflansche für Rechteck-Hohlleiter zwischen 1 GHz und 40 GHz – *Standard flanges for waveguides of rectangular cross-section between* 1 GHz *and* 40 GHz (U. Stumper) 384

4.07 Doppelsteg-Hohlleiter (für ausnutzbare Bandbreite 2,4 : 1) – *Double-ridged waveguides* (for a bandwidth ratio 2,4 : 1) (U. Stumper) 385

4.08 Moden-Diagramm für Hohlraumresonatoren kreiszylindrischen Querschnitts – *Mode chart for waveguide cavity resonators of circular-cylindrical cross-section* (U.Stumper) 385

4.09 Maximale Unsicherheit der Dämpfungsmessung durch Fehlanpassung – *Maximum mismatch-error in attenuation measurements* (U. Stumper) . . 387

4.10 Reflexions-Kennwerte (Umrechnungstabelle) – *Reflection data* (*Conversion table*) (U. Stumper) 388

4.11 Smith-Diagramm – *Smith-chart* (U. Stumper) 386

4.12 Referenzsubstanzen zur Bestimmung der Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl) – *Reference materials for the determination of the relative permittivity* (U. Stumper) 389

4.13 Komplexe Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl, DZ) von Wasser bei Mikrowellenfrequenzen – *Complex relative permittivity of water at microwave frequencies* (U. Stumper) 389

4.14 Durchschlagsspannung von Kugelfunkenstrecken – *Breakdown voltage of sphere-gaps* (D. Kind) 391

4.15 Durchschlagsspannung von Stabfunkenstrecken – *Breakdown voltage of rod gaps* (D. Kind) 392

4.01 Symbole zur Kennzeichnung von Meßgeräten und Zubehör nach DIN EN 60 051-1 – *Symbols for marking measuring instruments and accessories according to* IEC 51-1 (DIN EN 60 051-1) (H. Bachmair)

Nr.	Bezeichnung	Symbol
B	Art der Meßgröße und Anzahl der Meßwerke	
B-1	Gleichstromkreis und/oder Meßwerk für Gleichstrom	(5031)*
B-2	Wechselstromkreis und/oder Meßwerk für Wechselstrom	(5032)*
B-3	Gleichstrom- und/oder Wechselstromkreis und/oder Meßwerk für Gleich- und Wechselstrom	(5033)*
B-4	Dreiphasen-Wechselstromkreis (allgemeines Symbol)	3 ~+
C	Sicherheit	
C-1	Prüfspannung 500 V	(5179)*
C-2	Prüfspannung über 500 V (z.B. 2 kV)	2
D	Gebrauchslage	
D-1	Meßgerät mit senkrechtem Skalenträger	
D-2	Meßgerät mit waagerechtem Skalenträger	
D-3	Meßgerät, das mit dem Skalenträger in Schräglage (z.B. 60°), gegenüber der Waagerechten zu verwenden ist	60°
E	Genauigkeitsklasse	
E-1	Klassenzeichen (z.B. 1), ausgenommen, wenn der Bezugswert mit der Skalenlänge, dem angezeigten Wert oder der Spanne übereinstimmt	1
E-3	Klassenzeichen (z.B. 1), wenn der Bezugswert mit dem angezeigten Wert übereinstimmt	1
E-10	Klassenzeichen (z.B. 1), wenn der Bezugswert mit der Spanne übereinstimmt	1
F	Allgemeine Symbole (siehe auch IEC 617 und 417)	
F-1	Drehspulmeßwerk	
F-2	Drehspul-Quotientenmeßwerk	
F-5	Dreheisenmeßwerk	
F-8	Elektrodynamisches Meßwerk, eisenlos	
F-9	Elektrodynamisches (ferrodynamisches) Meßwerk, eisengeschlossen	
F-10	Elektrodynamisches Quotientenmeßwerk, eisenlos	
F-11	Elektrodynamisches (ferrodynamisches) Quotientenmeßwerk, eisengeschlossen	
F-15	Bimetallmeßwerk	
F-16	Elektrostatisches Meßwerk	
F-18	Thermoumformer, nicht isoliert	1)

) Ziffern, die durch „“ gekennzeichnet sind, sind Bezugsnummern der Symbole in IEC 417: „Graphical Symbols for Use on Equipment“

+) Symbole, die mit „+“ gekennzeichnet sind, sind vom Symbol 02-02-04 in IEC 617-2: Graphical Symbols for Diagrams, Part 2: Symbol Elements, Qualifying Symbols and other Symbols having General Application, abgeleitet.

1) Wenn die Symbole F-18, F-19, F-20, F-21 oder F-22 mit einem Symbol kombiniert werden, wie z.B. Symbol F-1, ist die Anordnung eingebaut.

Fortsetzung T 4.01

Nr.	Bezeichnung	Symbol
F-19	Thermoumformer, isoliert	V [1]
F-20	Elektronische Anordnung im Meßkreis	[1]
F-21	Elektronische Anordnung im Hilfskreis	[1]
F-22	Gleichrichter	[1]
F-23	Nebenwiderstand	
F-24	Reihenwiderstand	R
F-27	Elektrostatische Schirmung	
F-28	Magnetische Schirmung	
F-29	Astatisches Meßgerät	ast
F-30	Magnetisches Fremdfeld kA/m, das einen Einflußeffekt entsprechend dem Wert des Klassenzeichens verursacht (z.B. 2 kA/m)	2 kA/m
F-31	Anschluß für Erde (allgemeines Symbol)	[2] (5017)*
F-32	Null (Spannen) Justiereinrichtung	
F-33	Hinweis auf eine gesonderte Unterlage	
F-34	Elektrisches Fremdfeld kV/m, das einen Einflußeffekt entsprechend dem Wert des Klassenzeichens verursacht (z.B. 10 kV/m)	10 kV/m
F-35	Allgemeines Zubehör	[3]
F-42	Anschluß an Rahmen oder Gehäuse	(5020)*
F-43	Anschluß für Schutzleiter	(5019)*
F-44	Anschluß für fremdspannungsarme Erde	(5018)*
F-45	Anschluß für erdnahes Potential	in Vorbereitung

[1]) Siehe Fußnote 1, vorhergehende Seite.
[2]) Das Symbol F-31 ist abzulehnen. Eines der eindeutigen Symbole F-42, F-44 oder F-45 sollte stattdessen verwendet werden.
[3]) Symbol F-35 zeigt an, daß eine Vorrichtung außen am Meßgerät ist und muß mit einem der Symbole F-18, F-19, F-20, F-21 oder F-22 kombiniert werden.
*) Siehe Fußnote vorhergehende Seite.

4.02 Charakteristische Eigenschaften der gebräuchlichen Zerhackerschaltungen – *Characteristics of commonly used choppers* (H. Bachmair)

Merkmal	Doppel-MOS-FET	Sperrschicht-FET	Elektronenröhre	Kapazitätsdiodenbrücke	Schwingkondensatoren
Eingangswiderstand in Ω	10^{16}	$\geqslant 10^{13}$	$\geqslant 10^{14}$	$\geqslant 10^{13}$	$\geqslant 10^{16}$
Eingangskapazität in pF	0,5	2	5	30	2
Eingangs-Offsetstrom in A	$\leqslant 5 \cdot 10^{-17}$	$\leqslant 10^{-13}$	$\leqslant 2 \cdot 10^{-14}$	$\leqslant 5 \cdot 10^{-15}$	$\leqslant 2 \cdot 10^{-17}$
Spannungsdrift in µV					
a) über 1 Tag	100	50	4000	100	30
b) bei 1 K Temperaturänderung	30	10	500	30	30
Stromdrift in A					
a) über 1 Tag	$< 10^{-15}$		$< 10^{-15}$	$< 10^{-13}$	$< 5 \cdot 10^{-17}$
b) bei 1 K Temperaturänderung	$< 10^{-15}$	[1])	$< 10^{-15}$	[2])	$< 10^{-15}$
Rauschen (Bandbreite 0,1 Hz bis 10 Hz)					
Spannung[3]) in µV	10	5	5	10	< 1
Strom[3]) in A	$5 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-15}$	10^{-14}	$< 2 \cdot 10^{-17}$

[1]) Strom verdoppelt sich, wenn die Temperatur um 10 K steigt.
[2]) Strom verdoppelt sich, wenn die Temperatur um 8 K steigt.
[3]) Angabe als Effektivwert im genannten Frequenzbereich.

4.03 Kenndaten von elektrochemischen Stromquellen – *Characteristics of electrochemical cells* (H. Bachmair)

4.03a Primärelemente – *Batteries*

Nach Kiehne, H.A.: Der Entwicklungsstand von Lithium-Primärbatterien, was ist zu erwarten? VARTA spezial report 2/1978

System	Bauformen *)	Kapazitätsbereich	Energiedichte		Spannung	Betriebstemperaturbereich	Einige typische Anwendungen
			m Wh/g	m Wh/cm³			
Braunsteinzellen (Leclanché)	K, R, F	0,06 bis 300 Ah	50 bis 80	120 bis 190	1,5 V	−10 bis +50 °C	Taschenlampen, Kofferradios, Taschenrechner, Uhren
Alkali-Mangan-Zellen	K, R, F	0,06 bis 10 Ah	70 bis 100	200 bis 300	1,5 V	−10 bis +50 °C	Filmkameras, Uhren, Kofferradios, Recorder, Funksprechgeräte, Blitzlichtgeräte
Quecksilberoxid-Zellen	K	0,04 bis 0,350 Ah	90 bis 120	400 bis 520	1,35 V	−10 bis +65 °C	Hörgeräte, Kleinuhren, Meßgeräte, Fotoapparate
Silber-I-Oxid-Zellen	K	0,015 bis 0,250 Ah	70 bis 100	350 bis 430	1,55 V	−10 bis +65 °C	Hörgeräte, Kleinuhren, Fotoapparate Taschenrechner

Fortsetzung T 4.03a

System	Bauformen *)	Kapazitätsbereich	Energiedichte m Wh/g	Energiedichte m Wh/cm³	Spannung	Betriebstemperaturbereich	Einige typische Anwendungen
Silber-II-Oxid-Zellen	K	0,04 bis 0,250 Ah	130 bis 170	550 bis 650	1,55 V	−10 bis +65 °C	Kleinuhren
Zink-Luft-Zellen (saurer Elektrolyt)	F	bis 90 Ah	130 bis 170	200 bis 300	1,45 V	−10 bis +50 °C	Leuchten, Weidezaungeräte
Zink-Luft-Zellen (alkal. Elektrolyt)	R, F K	50 bis 180 Ah 0,180 bis 0,300 Ah	300 bis 380	650 bis 800	1,45 V	−10 bis +50 °C	Leuchten, Weidezaungeräte, Großuhren, Bojen, Hörgeräte (nur Knopfzellen)
Lithium-Zellen	K, R, F	0,05 bis 30 Ah	150 bis 500	500 bis 800	1,5 bis 3,6 V	−40 bis +70 °C	Kleinuhren, Meßgeräte, TV-Speicher, Funksprechgeräte, Taschenrechner

4.03b Sekundärelemente – *Accumulators*

System	Bauformen *)	Kapazitätsbereich	Energiedichte m Wh/g	Energiedichte m Wh/cm³	Spannung	Betriebstemperaturbereich	Einige typische Anwendungen
PbO_2/Pb	R, M, O	1 bis 12 000 Ah	35 bis 40	70 bis 90	2,0 V	−30 bis +50 °C	Notstromversorgungen, Fahrzeugantriebe, Anlasser, elektronische Geräte
NiOOH/Fe			40 bis 50	≈50	1,25 V	−20 bis +45 °C	
NiOOH/Cd	K, R, F, M, O	10 mAh bis 1250 Ah	25 bis 35	50 bis 80	1,25 V	−45 bis +60 °C	Taschenrechner, Uhren, Meßgeräte, Konsumerelektronik, netzunabhängige Stromversorgungen

*) K Knopfzellen, R Rundzellen, F Flachzellen, M Monoblockzellen, O Ortsfeste Zellen

4.04 Kennwerte von Widerstandswerkstoffen – *Characteristics of resistance alloys*

(H. Bachmair)

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Chemische Zusammensetzung (Massenanteile) in % Mittelwerte der Legierungselemente Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	Hinweise auf besondere Eigenschaften	Hinweise für die Verwendung
CuNi 2	2.0802	–	–	98	–	–	2	–	sehr niedriger spezifischer elektrischer Widerstand, weich lötbar	Anschlußenden, niedrigohmige elektrische Widerstände, Heizdrähte, Heizkabel mit niedriger Heizleitertemperatur
CuNi 6	2.0807	–	–	94	–	–	6	–	niedriger spezifischer elektrischer Widerstand, weich lötbar	

Fortsetzung T 4.04

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	Chemische Zusammensetzung (Massenanteile) in % Mittelwerte der Legierungselemente							Hinweise	
		Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	auf besonderere Eigenschaften	für die Verwendung
CuMn 3	2.1356	–	–	97	–	3	–	–	sehr niedriger spezifischer elektrischer Widerstand bei relativ kleinem Temperaturkoeffizienten, weich lötbar	niedrigohmige elektrische Widerstände für geringe Belastung
CuNi 10	2.0811	–	–	90	–	–	10	–	niedriger spezifischer elektrischer Widerstand, korrosions- und zunderbeständig, weich lötbar	wie CuNi2 und CuNi6
CuNi 23 Mn	2.0881	–	–	75,5	–	1,5	23	–	korrosions- und zunderbeständig, weich lötbar	elektrische Widerstände, Heizdrähte, Heizkabel
CuNi 30 Mn	2.0890	–	–	67	–	3	30	–	gut korrosions- und zunderbeständig, weich lötbar	elektrische Widerstände, Anlasser, Kennmelder
CuMn 12 Ni	2.1362	–	–	86	–	12	2	–	besonders kleiner Temperaturkoeffizient, kleine Thermospannung gegen Kupfer, hohe zeitliche Konstanz des Widerstandes, weich lötbar	Präzisions-, Meß- und Normalwiderstände, Vorschaltwiderstände (shunts) („Manganin“)
CuNi 44	2.0842	–	–	55	–	1	44	–	kleiner Temperaturkoeffizient, gut zunderbeständig, hohe Thermospannung gegen Kupfer, weich lötbar	elektrische Widerstände aller Art, Meßwiderstände, Heizdrähte und -kabel, Potentiometer
CuMn 12 NiAl	2.1365	1,2	–	81,8	–	12	5	–	kleiner Temperaturkoeffizient, weich lötbar	elektrische Widerstände
NiCr 80 20	2.4869	–	20	–	–	–	80	–	hoher spezifischer elektrischer Widerstand, gut korrosions- und zunderbeständig, nicht ferromagnetisch	hochohmige elektrische Widerstände, Heizleiter siehe DIN 17 470
NiCr 60 15	2.4867	–	15	–	20	–	65	–	wie vorstehend, jedoch höherer Temperaturkoeffizient	
NiCr 20 AlSi	2.4872	3,5	20	–	0,5	0,5	74,5	1	hoher spezifischer elektrischer Widerstand, bestimmter kleiner Temperaturkoeffizient einstellbar, kleine Thermospannung gegen Kupfer, hohe Festigkeit, nicht ferromagnetisch	insbesondere für hochohmige Meß- und Präzisionswiderstände

Nach DIN 17 471

Fortsetzung T 4.04

Kurzzeichen	Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes zwischen 20 und 105 °C	Spezifischer elektrischer Widerstand in $\Omega\,mm^2/m$ bei 20 °C		Thermospannung gegen Kupfer bei 20 °C	Obere Anwendungstemperatur an Luft
		Nennwert	zul. Abw.		
	$10^{-6}/K$		%	µV/K	°C
CuNi 2	+1000 bis +1600	0,05	±10	−15	300
CuNi 6	+ 500 bis + 900	0,10	±10	−20	300
CuMn 3	+ 280 bis + 380	0,125	±10	+ 1	200
CuNi 10	+ 350 bis + 450	0,15	±10	−25	400
CuNi 23 Mn	+ 220 bis + 280	0,30	± 5	−30	500
CuNi 30 Mn	+ 80 bis + 130	0,40	± 5	−25	500
CuMn 12 Ni	− 10 bis + 10[1])	0,43	± 5	− 0,6	140[4])
CuNi 44	− 80 bis + 40	0,49	± 5	−40	600
CuMn 12 NiAl	− 50 bis + 50	0,50	± 5	− 2	500
NiCr 80 20[2])	+ 50 bis + 150	1,08	± 5	+ 4	600
NiCr 60 15[2])	+ 100 bis + 200	1,11	± 5	+ 1	600
NiCr 20 AlSi	− 50 bis + 50[3])	1,32	± 5	+ 1	200[5])

[1]) Der Temperaturkoeffizient gilt bei CuMn 12 Ni nur zwischen 20 und 50 °C. Die Widerstand-Temperaturkurve hat einen parabolischen Verlauf mit einem Maximum im Bereich von +20 bis +40 °C.
[2]) Diese Werte gelten für den Zustand nach schneller Abkühlung.
[3]) Bei Verwendung als Präzisionswiderstände wird nach Vereinbarung der Temperaturkoeffizient auf Werte zwischen $-10 \cdot 10^{-6}/K$ und $+10 \cdot 10^{-6}/K$ eingestellt.
[4]) 60 °C bei Verwendung für Präzisionswiderstände.
[5]) Bei höheren Temperaturen kann sich der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes irreversibel ändern.

4.05 Norm-Hohlleiter mit Rechteckquerschnitt (Frequenzbereiche, Normbezeichnungen, Kenndaten) – *Standard waveguides of rectangular cross-section* (Frequency ranges, standard symbols, characteristic date) (U. Stumper)

Frequenzband GHz	Ausnutzbarer Frequenzbereich $1{,}25\ \nu_{gr}$ bis $1{,}9\ \nu_{gr}$ GHz[1])	Normbezeichnungen nach IEC (DIN 47 302)	nach RCSC (U.K.)	nach E.I.A. (USA)	nach J.A.N. (USA)	Innenmaß a mm	Innenmaß b mm	Dämpfung[2]) dB/m	Grenzfrequenz ν_{gr} GHz
0,32 bis 0,49	0,321 bis 0,487	R 3	WG 00	WR 2300		584,2 ± 0,6	292,1 ± 0,6	0,0008	0,257
0,35 bis 0,53	0,352 bis 0,535	R 4	WG 0	WR 2100		533,4 ± 0,55	266,7 ± 0,55	0,0009	0,281
0,41 bis 0,62	0,410 bis 0,620	R 5	WG 1	WR 1800	RG-201/U	457,2 ± 0,45	228,60 ± 0,45	0,0011	0,328
0,49 bis 0,75	0,490 bis 0,750	R 6	WG 2	WR 1500	RG-202/U	381,0 ± 0,4	190,50 ± 0,4	0,0015	0,393
0,64 bis 0,96	0,640 bis 0,980	R 8	WG 3	WR 1150	RG-203/U	392,10 ± 0,3	146,05 ± 0,3	0,0022	0,513
0,75 bis 1,12	0,760 bis 1,150	R 9	WG 4	WR 975	RG-204/U	247,65 ± 0,25	132,82 ± 0,25	0,0027	0,605
0,96 bis 1,45	0,960 bis 1,146	R 12	WG 5	WR 770	RG-205/U	195,58 ± 0,2	97,79 ± 0,2	0,0040	0,766
1,12 bis 1,70	1,140 bis 1,730	R 14	WG 6	WR 650	RG- 69/U	165,10 ± 0,17	82,55 ± 0,17	0,0052	0,908
1,45 bis 2,20	1,450 bis 2,200	R 18	WG 7	WR 510		129,54 ± 0,13	64,77 ± 0,13	0,0075	1,157
1,70 bis 2,60	1,720 bis 2,610	R 22	WG 8	WR 430	RG-104/U	109,22 ± 0,11	54,61 ± 0,11	0,0097	1,372
2,20 bis 3,30	2,170 bis 3,300	R 26	WG 9a	WR 340	RG-112/U	86,36 ± 0,09	43,18 ± 0,09	0,0138	1,736
2,60 bis 3,95	2,600 bis 3,950	R 32	WG 10	WR 284	RG- 48/U	72,14 ± 0,07	34,04 ± 0,07	0,0188	2,078
3,30 bis 4,90	3,220 bis 4,900	R 40	WG 11a	WR 229		58,17 ± 0,06	29,083 ± 0,06	0,0249	2,577
3,95 bis 5,85	3,940 bis 5,990	R 48	WG 12	WR 187	RG- 49/U	47,55 ± 0,05	22,149 ± 0,05	0,0354	3,152
4,90 bis 7,05	4,640 bis 7,060	R 58	WG 13	WR 159		40,39 ± 0,04	20,193 ± 0,04	0,0431	3,711
5,85 bis 8,20	5,380 bis 8,180	R 70	WG 14	WR 137	RG- 50/U	34,85 ± 0,035	15,799 ± 0,035	0,0576	4,301
7,05 bis 10,0	6,580 bis 10,000	R 84	WG 15	WR 112	RG- 51/U	28,499 ± 0,03	12,624 ± 0,03	0,0791	5,260
8,2 bis 12,4	8,200 bis 12,500	R 100	WG 16	WR 90	RG- 52/U	22,860 ± 0,025	10,160 ± 0,025	0,110	6,557
10,0 bis 15,0	9,840 bis 15,000	R 120	WG 17	WR 75		19,050 ± 0,025	9,525 ± 0,025	0,133	7,869
12,4 bis 18,0	11,900 bis 18,000	R 140	WG 18	WR 62	RG- 91/U	15,799 ± 0,025	7,899 ± 0,025	0,176	9,488
15,0 bis 22,0	14,500 bis 22,000	R 180	WG 19	WR 51		12,954 ± 0,025	6,477 ± 0,025	0,237	11,57
18,0 bis 26,5	17,600 bis 26,700	R 220	WG 20	WR 42	RG- 53/U	10,668 ± 0,025	4,318 ± 0,025	0,369	14,05
22,0 bis 33,0	21,700 bis 33,000	R 260	WG 21	WR 34		8,636 ± 0,025	4,318 ± 0,025	0,424	17,92
26,5 bis 40,0	26,400 bis 40,100	R 320	WG 22	WR 28	RG- 96/U	7,112 ± 0,025	3,556 ± 0,025	0,583	21,08
33,0 bis 50,0	33,000 bis 50,100	R 400	WG 23	WR 22	RG- 97/U	5,690 ± 0,02	2,845 ± 0,02	0,815	26,34
40,0 bis 60,0	39,300 bis 59,700	R 500	WG 24	WR 19		4,775 ± 0,02	2,388 ± 0,02	1,06	31,39
50,0 bis 75,0	49,900 bis 75,800	R 620	WG 25	WR 15	RG- 98/U	3,759 ± 0,02	1,880 ± 0,02	1,52	39,88
60,0 bis 90,0	60,500 bis 92,000	R 740	WG 26	WR 12	RG- 99/U	3,099 ± 0,02	1,549 ± 0,02	2,03	48,37
75,0 bis 110,0	73,800 bis 112,000	R 900	WG 27	WR 10		2,540 ± 0,02	1,270 ± 0,02	2,73	59,01
90,0 bis 140,0	92,300 bis 140,000	R 1200	WG 28	WR 8	RG-138/U	2,032 ± 0,02	1,016 ± 0,02	3,82	73,77
110,0 bis 170,0	113,000 bis 173,000	R 1400	WG 29	WR 7	RG-136/U	1,651 ± 0,01	0,826 ± 0,01	5,21	90,79
140,0 bis 220,0	145,000 bis 220,000	R 1800	WG 30	WR 5	RG-135/U	1,295 ± 0,01	0,648 ± 0,01	7,49	115,8
170,0 bis 260,0	172,000 bis 261,000	R 2200	WG 31	WR 4	RG-137/U	1,092 ± 0,01	0,546 ± 0,01	9,69	137,3
220,0 bis 325,0	217,000 bis 330,000	R 2600	WG 32	WR 3	RG-139/U	0,864 ± 0,01	0,432 ± 0,01	13,8	173,5

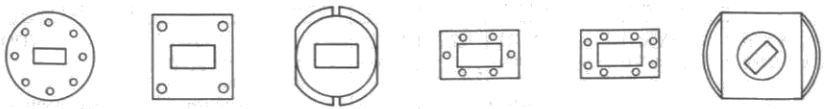
[1]) Nach DIN 47 302 [2]) Die Dämpfung bezieht sich auf reinen Cu-Hohlleiter bei der Frequenz $\nu = 1{,}5\ \nu_{gr}$

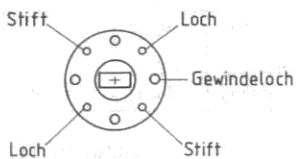
4.06 Normflansche für Rechteck-Hohlleiter zwischen 1 GHz und 40 GHz – *Standard flanges for waveguides of rectangular cross-section between* 1 GHz *and* 40 GHz (U. Stumper)

Frequenzband GHz	Hohlleiter-Norm 153-IEC	Gebräuchliche Flanschtypen nach 154-IEC					Entsprechende Kennzeichnung nach J.A.N. UG-	UG-	UG-	UG-	UG-	UG-
1,12 bis 1,70	R 14			UDR 14	PDR 14				1714/U	1362/U		
1,45 bis 2,20	R 18			UDR 14	PDR 18				1715/U	1713/U		
1,70 bis 2,60	R 22			UDR 22	PDR 22				1716/U	1344/U		
2,20 bis 3,30	R 26			UDR 26	PDR 26				1712/U	1346/U		
2,60 bis 3,95	R 32	UAR 32	CAR 32	UDR 32	PDR 32	UER 32	53/U	54B/U	1724/U	1348/U	1479/U	
3,30 bis 4,90	R 40	UDR 40	PDR 40	UER 40			1726/U	1350/U				
3,95 bis 5,85	R 48	UAR 48	CAR 48	UDR 48	PDR 48	UER 48	1491/U	148C/U	1728/U	1352/U	1475/U	
4,90 bis 7,05	R 58	UAR 58	CAR 58	UDR 58	PDR 58	UER 58			1730/U	1354/U		
5,85 bis 8,20	R 70	UAR 70	CAR 70	UDR 70	PDR 70	UER 70	344/U	343B/U	1732/U	1356/U	1476/U	
7,05 bis 10,0	R 84	UBR 84	CBR 84	UDR 84	PDR 84	UER 84	51/U	52B/U	1734/U	1358/U	1477/U	
8,2 bis 12,4	R 100	UBR100	CBR100	UDR100	PDR100	UER100	39/U	40B/U	1736/U	1360/U	1478/U	
10,0 bis 15,0	R 120	UBR120	CBR120	UDR120	PDR120							
12,4 bis 18,0	R 140	UBR140	CBR140	UDR140	PDR140		419/U	541A/U				
15,0 bis 22,0	R 180	UBR180	CBR180	UDR180	PDR180							
18,0 bis 26,5	R 220	UBR220	CBR220				595/U	596A/U				
22,0 bis 33,0	R 260	UBR260	CBR260				1530/U					
26,5 bis 40,0	R 320	UBR320	CBR320				599/U	600A/U				381/U

Der IEC-Nomenklatur liegt die Empfehlung 154-IEC zugrunde. Die Bezeichnungen setzen sich aus 3 Buchstaben und einer ein-, zwei- oder dreiziffrigen Zahl zusammen. Der erste Buchstabe (U, P oder C) bezeichnet das Grundprinzip der Konstruktion (U, P oder C), der zweite Buchstabe bezeichnet die geometrische Form (A, B, C, D, E, F), der dritte in Verbindung mit der Zahl bezeichnet das Hohlleiter-Band nach IEC-Empfehlung 153 (DIN 47 302).

Es bedeutet: U = nicht druckfester Flansch, P = druckfester (abdichtbarer) Flansch, C = druckfester Drosselflansch. Die geometrischen Flanschformen sind nach 154-IEC:



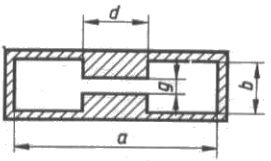


UG 38/U

Die entsprechenden Bezeichnungen nach der amerikanischen Norm J.A.N. (UG.../U) sind in der rechten Tabellenhälfte wiedergegeben. Der im Frequenzband 26,5 GHz bis 40 GHz häufig verwendete Rundflansch UG 381/U hat keine vergleichbare IEC-Norm.

4.07 Doppelsteg-Hohlleiter (für ausnutzbare Bandbreite 2,4 : 1)

– *Double-ridged waveguides (for a bandwidth ratio* 2,4 : 1)
(U. Stumper)



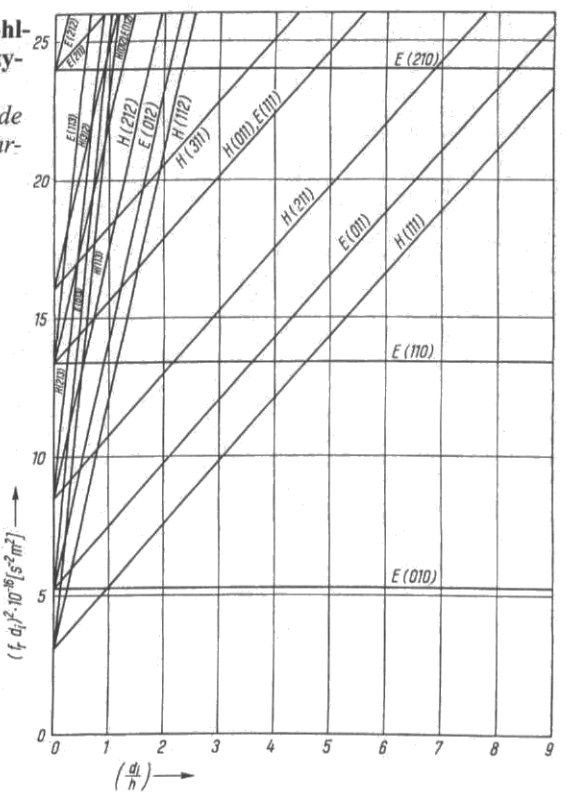
Frequenzband GHz	Bezeichnung	Innere Abmessungen (mm) a	b	d	g	Dämpfung dB/m[1])
0,18 bis 0,42	WRD 18 D24	753,54	350,39	148,92	188,39	0,0008
0,27 bis 0,64	WRD 27 D24	493,47	229,46	97,51	123,37	0,0015
0,42 bis 1,00	WRD 42 D24	313,26	145,72	61,90	78,31	0,0029
0,64 bis 1,53	WRD 64 D24	205,74	95,68	40,67	51,44	0,0054
0,84 bis 2,00	WRD 84 D24	156,64	72,85	30,96	39,17	0,0081
1,50 bis 3,60	WRD 150 D24	87,76	40,82	17,35	21,95	0,0194
2,00 bis 4,80	WRD 200 D24	65,78	30,61	13,00	16,46	0,0298
3,50 bis 8,20	WRD 350 D24	37,59	17,48	7,42	9,40	0,0696
4,75 bis 11,0	WRD 475 D24	27,69	12,85	5,72	6,91	0,109
7,50 bis 18,0	WRD 750 D24	17,55	8,15	3,45	4,39	0,217
11,0 bis 26,5	WRD 1110 D24	11,96	5,56	2,36	3,00	0,384
18,0 bis 40,0	WRD 1800 D24	7,32	3,40	1,45	1,83	0,807

[1]) Der angegebene Dämpfungswert bezieht sich auf einen Doppelsteg-Hohlleiter aus reinem Kupfer bei der Mittelfrequenz $\nu = \sqrt{3} \cdot (\nu_{gr})_{10}$. Die Grenzfrequenz $(\nu_{gr})_{10}$ liegt etwa 10% unterhalb der in Spalte 1 angegebenen unteren Frequenzbandgrenze.

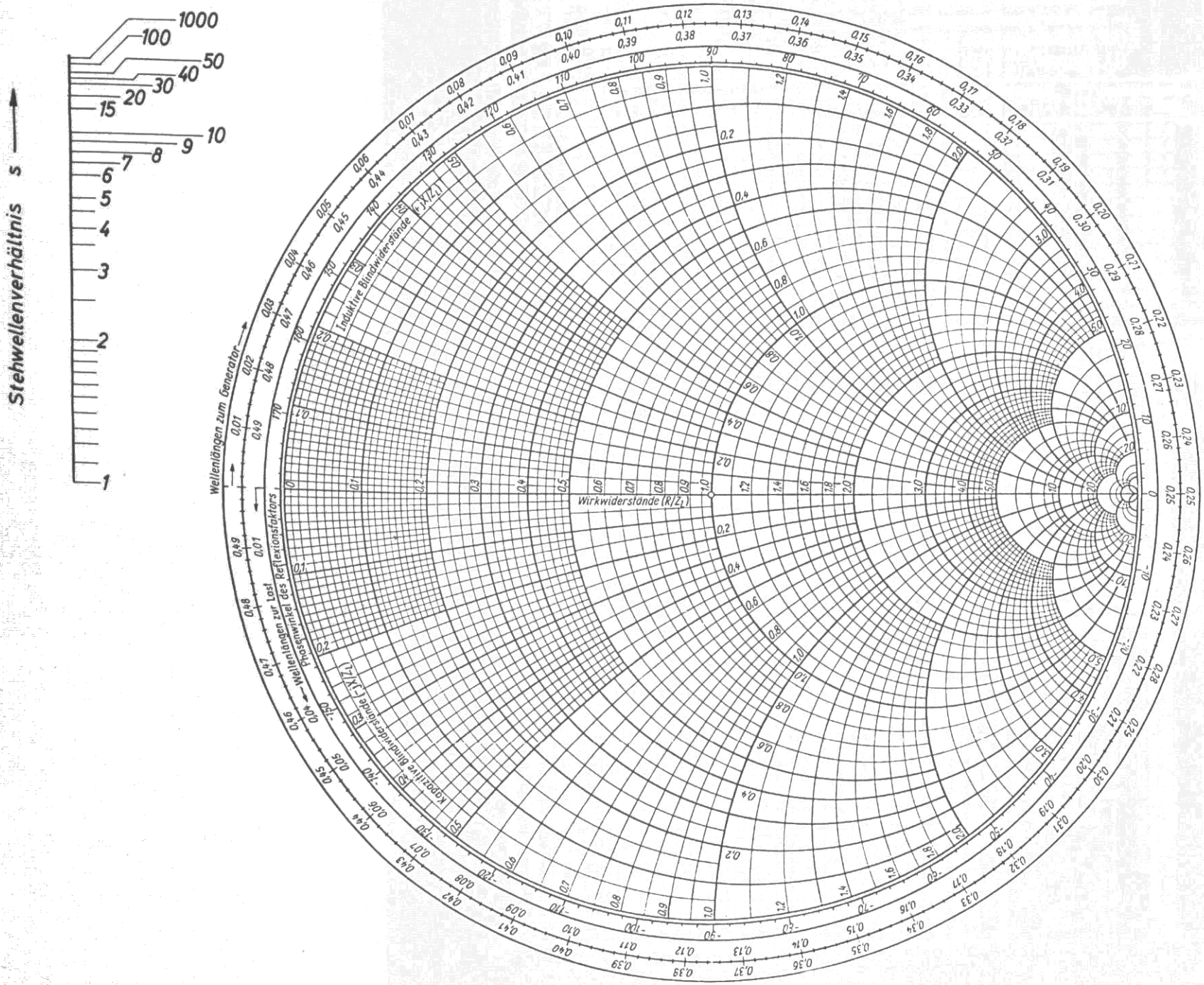
4.08 Moden-Diagramm für Hohlraumresonatoren kreiszylindrischen Querschnitts

– *Mode chart for waveguide cavity resonators of circular-cylindrical cross-section*
(U.Stumper)

d_i innerer Hohlraumdurchmesser
h Achsenlänge
f_r Resonanzfrequenz



4.11 **Smith-Diagramm** (s. 4.3.4.2) – *Smith-chart* (U. Stumper)



4.09 Maximale Unsicherheit der Dämpfungsmessung durch Fehlanpassung – *Maximum mismatch-error in attenuation measurements* (U. Stumper)

Dämpfung A in dB	Maximale Meßunsicherheit $\lvert\delta A\rvert$ in dB								
	$\lvert\Gamma_s\rvert$	$\lvert\Gamma_A\rvert$ = 0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
0,01	0,001	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}9 \cdot 10^{-4}$		
	0,002	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$4{,}2 \cdot 10^{-4}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$		
	0,005	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$	$6{,}1 \cdot 10^{-4}$	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$		
	0,01	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$		
	0,02	$7{,}3 \cdot 10^{-3}$	$7{,}6 \cdot 10^{-3}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$		
	0,05	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$	$4{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}1 \cdot 10^{-2}$	$8{,}7 \cdot 10^{-2}$		
	0,1	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$1{,}9 \cdot 10^{-1}$	$2{,}1 \cdot 10^{-1}$	$2{,}6 \cdot 10^{-1}$		
	0,2	$7{,}0 \cdot 10^{-1}$	$7{,}0 \cdot 10^{-1}$	$7{,}1 \cdot 10^{-1}$	$7{,}3 \cdot 10^{-1}$	$7{,}7 \cdot 10^{-1}$	$8{,}8 \cdot 10^{-1}$		
0,1	0,001	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}9 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	
	0,002	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$4{,}2 \cdot 10^{-4}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	
	0,005	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$	$6{,}0 \cdot 10^{-4}$	$8{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	$9{,}1 \cdot 10^{-3}$	
	0,01	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	
	0,02	$7{,}2 \cdot 10^{-3}$	$7{,}6 \cdot 10^{-3}$	$8{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}2 \cdot 10^{-2}$	
	0,05	$4{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	$5{,}2 \cdot 10^{-2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-2}$	$8{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	
	0,1	$1{,}7 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$1{,}9 \cdot 10^{-1}$	$2{,}1 \cdot 10^{-1}$	$2{,}6 \cdot 10^{-1}$	$3{,}5 \cdot 10^{-1}$	
	0,2	$6{,}9 \cdot 10^{-1}$	$6{,}9 \cdot 10^{-1}$	$7{,}0 \cdot 10^{-1}$	$7{,}2 \cdot 10^{-1}$	$7{,}6 \cdot 10^{-1}$	$8{,}7 \cdot 10^{-1}$	1,1	
1	0,001	$3{,}3 \cdot 10^{-5}$	$5{,}0 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$
	0,002	$9{,}7 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$4{,}1 \cdot 10^{-4}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$
	0,005	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	$9{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
	0,01	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$
	0,02	$6{,}6 \cdot 10^{-3}$	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	$8{,}0 \cdot 10^{-3}$	$9{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	$4{,}1 \cdot 10^{-2}$	$7{,}6 \cdot 10^{-2}$
	0,05	$4{,}0 \cdot 10^{-2}$	$4{,}1 \cdot 10^{-2}$	$4{,}3 \cdot 10^{-3}$	$4{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}6 \cdot 10^{-2}$	$8{,}3 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	$2{,}1 \cdot 10^{-1}$
	0,1	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$1{,}6 \cdot 10^{-1}$	$1{,}7 \cdot 10^{-1}$	$1{,}9 \cdot 10^{-1}$	$2{,}4 \cdot 10^{-1}$	$3{,}3 \cdot 10^{-1}$	$5{,}1 \cdot 10^{-1}$
	0,2	$6{,}2 \cdot 10^{-1}$	$6{,}3 \cdot 10^{-1}$	$6{,}4 \cdot 10^{-1}$	$6{,}6 \cdot 10^{-1}$	$6{,}9 \cdot 10^{-1}$	$8{,}0 \cdot 10^{-1}$	$9{,}8 \cdot 10^{-1}$	1,4
10	0,001	$2{,}7 \cdot 10^{-5}$	$4{,}4 \cdot 10^{-5}$	$9{,}6 \cdot 10^{-5}$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$
	0,002	$7{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}9 \cdot 10^{-4}$	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$
	0,005	$3{,}2 \cdot 10^{-4}$	$4{,}1 \cdot 10^{-4}$	$6{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}6 \cdot 10^{-3}$	$8{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
	0,01	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$2{,}7 \cdot 10^{-3}$	$4{,}4 \cdot 10^{-3}$	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$
	0,02	$4{,}2 \cdot 10^{-3}$	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$	$7{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-2}$	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	$3{,}9 \cdot 10^{-2}$	$7{,}3 \cdot 10^{-2}$
	0,05	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}3 \cdot 10^{-2}$	$4{,}1 \cdot 10^{-2}$	$6{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$2{,}0 \cdot 10^{-1}$
	0,1	$9{,}7 \cdot 10^{-2}$	$9{,}9 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0 \cdot 10^{-1}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$	$1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$2{,}6 \cdot 10^{-1}$	$4{,}5 \cdot 10^{-1}$
	0,2	$3{,}8 \cdot 10^{-1}$	$3{,}8 \cdot 10^{-1}$	$3{,}9 \cdot 10^{-1}$	$4{,}1 \cdot 10^{-1}$	$4{,}5 \cdot 10^{-1}$	$5{,}5 \cdot 10^{-1}$	$7{,}3 \cdot 10^{-1}$	1,1
100	0,001	$2{,}6 \cdot 10^{-5}$	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$	$9{,}6 \cdot 10^{-5}$	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	$3{,}6 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
	0,002	$6{,}9 \cdot 10^{-5}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$7{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$
	0,005	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$	$3{,}9 \cdot 10^{-4}$	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}6 \cdot 10^{-3}$	$8{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
	0,01	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$	$4{,}4 \cdot 10^{-3}$	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$
	0,02	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	$4{,}3 \cdot 10^{-3}$	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	$2{,}1 \cdot 10^{-2}$	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	$7{,}3 \cdot 10^{-2}$
	0,05	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}6 \cdot 10^{-2}$	$3{,}0 \cdot 10^{-2}$	$3{,}9 \cdot 10^{-2}$	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	$2{,}0 \cdot 10^{-1}$
	0,1	$8{,}8 \cdot 10^{-2}$	$9{,}0 \cdot 10^{-2}$	$9{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1{,}0 \cdot 10^{-1}$	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	$1{,}7 \cdot 10^{-1}$	$2{,}6 \cdot 10^{-1}$	$4{,}4 \cdot 10^{-1}$
	0,2	$3{,}4 \cdot 10^{-1}$	$3{,}5 \cdot 10^{-1}$	$3{,}6 \cdot 10^{-1}$	$3{,}8 \cdot 10^{-1}$	$4{,}1 \cdot 10^{-1}$	$5{,}2 \cdot 10^{-1}$	$6{,}9 \cdot 10^{-1}$	1,0

$$\boxed{\lvert\Gamma_g\rvert = \lvert\Gamma_1\rvert = \lvert\Gamma_S\rvert, \qquad \lvert S_{11}\rvert = \lvert S_{22}\rvert = \lvert\Gamma_A\rvert}$$

Die Zahlentafel gilt unter der Voraussetzung, daß die Beträge der Reflexionskoeffizienten der Empfängerseite $\lvert\Gamma_1\rvert$ und der Generatorseite $\lvert\Gamma_g\rvert$ – gemessen am Einfügungsort – gleich sind und daß das Reflexionsverhalten des Dämpfungsgliedes $\lvert\Gamma_A\rvert$ am Eingang und Ausgang dasselbe ist.

4.10 Reflexions-Kennwerte (Umrechnungstabelle) – *Reflection data (Conversion table)* (U. Stumper)

Reflexions-faktor $\lvert\Gamma\rvert$	Welligkeit s	$20 \log s$ (dB)	Anpassungs-faktor $m = 1/s$	Fehlanpassungs-dämpfung (dB)	Rückfluß-dämpfung (dB)
0,000	1,000	0,000	1,000	0,000000	∞
0,001	1,002	0,0174	0,9980	0,000004	60,000
0,002	1,004	0,0374	0,9960	0,00002	53,979
0,003	1,006	0,0521	0,9940	0,00004	50,458
0,004	1,008	0,0695	0,9920	0,00007	47,959
0,005	1,010	0,0869	0,9900	0,00011	46,021
0,006	1,012	0,1042	0,9881	0,00016	44,437
0,007	1,014	0,1216	0,9861	0,00021	43,098
0,008	1,016	0,1390	0,9841	0,00028	41,938
0,009	1,018	0,1564	0,9822	0,00035	40,915
0,010	1,020	0,1737	0,9802	0,00043	40,000
0,020	1,041	0,3475	0,9608	0,0017	33,979
0,030	1,062	0,5213	0,9417	0,0039	30,458
0,040	1,083	0,6952	0,9231	0,0070	27,959
0,050	1,105	0,8693	0,9048	0,0109	26,021
0,060	1,128	1,044	0,8868	0,0157	24,437
0,070	1,151	1,218	0,8692	0,0213	23,098
0,080	1,174	1,393	0,8519	0,0279	21,938
0,090	1,198	1,568	0,8349	0,0353	20,915
0,100	1,222	1,743	0,8182	0,0436	20,000
0,200	1,500	3,522	0,6667	0,1773	13,979
0,300	1,857	5,377	0,5385	0,4096	10,458
0,400	2,333	7,360	0,4286	0,7572	7,959
0,500	3,000	9,542	0,3333	1,249	6,021
0,600	4,000	12,041	0,2500	1,938	4,437
0,700	5,667	15,067	0,1765	2,924	3,098
0,800	9,000	19,085	0,1111	4,437	1,938
0,900	19,000	25,575	0,0526	7,212	0,915
1,000	∞	∞	0,0000	∞	0,000

Welligkeit $s = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$, Anpassungsfaktor $m = \frac{1}{s}$, Fehlanpassungsdämpfung $L_{M0} = 10 \log \frac{1}{1-|\Gamma|^2}$, Rückflußdämpfung $L_R = 20 \log \frac{1}{|\Gamma|}$.

4.11 Smith-Diagramm (s. 4.3.4.2) – *Smith-chart* (U. Stumper) s. S. 386.

4.12 Referenzsubstanzen zur Bestimmung der Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl) – *Reference materials for the determination of the relative permittivity* (U. Stumper)

(Bezugstemperatur $t = 20\,°C$, Bezugsfrequenz $\nu = 100\,kHz$)

Substanz	ε'_{r20}	Unsicherheit durch unzureichende Reinheit
Cyclohexan	$2{,}0230 \pm 0{,}0002$	$+0{,}0000_2$ $-0{,}0000_1$
Benzol	$2{,}2832 \pm 0{,}0002$	$+0{,}0001_2$ $-0{,}0000_2$
Tetrachlorkohlenstoff	$2{,}2368 \pm 0{,}0002$	$+0{,}0000_0$ $-0{,}0003_3$
Di-n-butylaether	$3{,}0920 \pm 0{,}0003$	$+0{,}0025$ $-0{,}0100$
Fluorbenzol	$5{,}4665 \pm 0{,}0003$	$+0{,}0002$ $-0{,}0006$

Nach Mecke, R.; Jaeckle, R. (1962): Präzisionsmessungen der Dielektrizitätskonstanten von fünf Eichsubstanzen zur DK- und Dipolmomentbestimmung. 3. Mitt.: Die Messungen bei 100 kHz (statische DK). Z. Elektrochem., Ber. Bunsenges. physik. Chem. **66**, 255–260. DZ-Werte verschiedener Referenzflüssigkeiten im Frequenzgebiet von 1 GHz bis 1 THz in: B.C.R.-Project 43: High Frequency Dielectric Reference Materials. Final Report of Phase One. Brüssel: Europäische Gemeinschaften (erhältlich beim Referenzbüro der Europäischen Gemeinschaften, 200 Rue de la Loi, B-1049 Brüssel).

4.13 Komplexe Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl, DZ) von Wasser bei Mikrowellenfrequenzen – *Complex relative permittivity of water at microwave frequencies* (U. Stumper)

$\varepsilon_r(\nu) = \varepsilon'_r(\nu) - j\varepsilon''_r(\nu)$ komplexe DZ, ν Frequenz, T Temperatur (in K)

a) $\varepsilon_r(\nu)$ ist näherungsweise mit Hilfe der Relaxationsfunktion von Debye zu berechnen:

$$\varepsilon'_r(\nu) = \varepsilon_r(\infty) + [\varepsilon_r(0) - \varepsilon_r(\infty)]/[1 + 4\pi^2\nu^2\tau^2],$$
$$\varepsilon''_r(\nu) = 2\pi\nu\tau \cdot [\varepsilon_r(0) - \varepsilon_r(\infty)]/[1 + 4\pi^2\nu^2\tau^2].$$

Die Abhängigkeit der Parameter $\varepsilon_r(0)$, $\varepsilon_r(\infty)$ und τ (in s) der Relaxationsfunktion von der Temperatur T (in K) werden für Frequenzen bis 100 GHz und Temperaturen von $-4{,}1\,°C$ und $60\,°C$ empirisch beschrieben durch die Ausdrücke

$$\varepsilon_r(0) = 10^x$$
$$x = 1{,}94404 - 1{,}991 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 273{,}15)$$
$$\varepsilon_r(\infty) = 5{,}77 - 2{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot (T - 273{,}15)$$
$$\tau = 3{,}745 \cdot 10^{-15} \cdot [1 + (7 \cdot 10^{-5}) \cdot (T - 300{,}65)^2] \cdot \exp\left((2{,}2957 \cdot 10^3)/T\right).$$

Fehleranalyse in Kaatze, U. (1989): Complex Permittivity of Water as a Function of Frequency and Temperature. J. Chem. Eng. Data **34**, 371–374

b) $\varepsilon_r(\nu)$ von bidestilliertem Wasser (elektrische Leitfähigkeit $\sigma = (1,9 \pm 0,1)10^{-4}$ S/m) bei einer Temperatur von $(25 \pm 0,05)$ °C, tabelliert im Frequenzbereich von $\nu = 1{,}821$ GHz bis 57,78 GHz:

ν GHz	ε_r'	ε_r''	ν GHz	ε_r'	ε_r''	ν GHz	ε_r'	ε_r''
1,821	77,98	6,49	7,900	67,84	25,65	17,39	45,06	36,38
2,000	77,93	7,57	7,905	67,56	26,11	17,43	45,95	36,04
2,200	77,51	8,22	7,941	67,78	25,78	17,43	45,57	36,10
2,610	76,88	9,77	7,950	67,40	25,69	18,02	44,41	36,70
2,628	77,07	9,86	7,950	67,60	25,74	18,48	42,73	36,61
2,800	76,59	10,59	8,243	67,13	26,04	19,02	41,73	36,19
3,142	76,69	12,16	8,579	66,77	27,18	20,03	39,23	36,56
3,417	76,35	12,87	8,979	65,38	27,73	21,01	38,01	36,26
3,623	75,81	13,42	9,516	63,76	28,67	21,96	35,54	36,40
3,733	75,30	14,49	10,01	63,04	29,32	22,77	34,96	35,97
3,750	75,57	13,54	10,15	61,74	29,96	23,53	34,41	35,75
3,750	75,56	13,74	10,23	62,04	30,02	24,45	32,76	35,24
3,922	75,74	14,34	10,45	61,10	30,20	26,43	31,09	34,82
5,300	73,14	18,72	11,32	59,46	31,81	26,64	30,80	34,58
5,300	72,90	18,58	11,73	58,49	32,29	26,70	31,04	34,60
5,300	73,14	18,64	12,00	58,18	33,05	26,79	30,03	34,34
5,306	73,11	18,66	12,35	56,03	33,67	26,83	30,97	34,93
5,323	73,19	18,87	12,42	57,47	33,34	27,61	29,93	34,10
5,433	73,13	19,30	12,49	56,60	33,44	28,13	29,38	34,14
5,536	72,71	19,39	12,50	56,61	33,28	28,58	29,24	33,94
5,638	72,63	19,75	12,53	56,64	33,43	36,56	21,40	30,07
5,853	72,25	20,42	12,77	55,78	33,49	36,84	21,29	30,00
6,000	71,92	20,62	13,14	55,27	34,23	36,87	20,79	29,43
6,145	71,50	21,07	13,38	54,03	33,95	37,58	21,69	30,33
6,300	71,21	21,60	13,82	53,47	34,45	37,81	21,05	29,62
6,414	70,97	22,06	14,23	52,63	34,73	37,97	20,78	29,53
6,729	70,34	22,67	15,24	50,03	35,34	39,03	21,28	29,74
6,850	69,45	22,97	15,63	49,59	35,84	39,62	20,66	29,10
6,958	69,74	23,32	16,14	48,20	35,46	51,82	13,20	25,20
7,267	69,24	24,15	16,60	46,95	35,90	52,25	15,25	23,94
7,406	68,78	24,49	17,17	45,39	36,12	55,80	11,70	23,38
7,681	68,69	25,34	17,38	45,52	36,40	56,80	14,01	22,80
7,850	67,86	25,59	17,39	45,63	36,09	57,78	11,47	22,46

Ausführliche Fehleranalyse in: Pottel, R.; Kaatze, U.; Uhlendorf, V.: Report on Dielectric Reference Materials for the High Frequency Region, Phase 2. BCR-Project 148. Referenzbüro der Europäischen Gemeinschaften, 200 Rue de la Loi, B-1049 Brüssel und in der unter Tab. 4.13 a) zitierten Arbeit. Für einige Frequenzen sind Meßwerte verschiedener Autoren aufgeführt.

Der Scheitelwert hoher Spannungen kann in einfacher Weise mit der Kugelfunkenstrecke gemessen werden. Der Durchschlag einer Elektrodenanordnung in Luft bei annähernd homogenem Feld erfolgt nach Erreichen einer bestimmten Spannung nahezu ohne Verzögerung. VDE 0433-2 und IEC Publ. 52 enthalten die Durchschlagsspannungen von Kugelfunkenstrecken verschiedenen Kugeldurchmessers abhängig von der Schlagweite, und zwar für 1013 mbar, 20 °C. Die relative Meßunsicherheit liegt unter 3%.

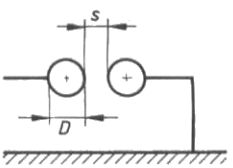
Die Werte für Wechselspannungen beruhen auf Messungen bei Frequenzen von 50 Hz bis 60 Hz und gelten ohne Einschränkung bis zu Frequenzen von 1000 Hz. Die Tafelwerte können auch für ungedämpfte Wechselspannungen bis 20 kHz sowie für gedämpfte Wechselspannungen bis 500 kHz verwendet werden, sofern der Scheitelwert 15 kV nicht übersteigt. Bei der Messung von Stoßspannungen sollte deren Rückenhalbwertszeit 50 µs nicht unterschreiten.

Die Durchschlagsspannung $\hat{u}_d$ ist der relativen Luftdichte d im Bereich von etwa $d = 0,9$ bis 1,1 proportional. Für die Bestimmung der tatsächlichen Durchschlagsspannung $\hat{u}_d$ bei der Luftdichte d aus dem in der Zahlentafel angegebenen Wert $\hat{u}_{do}$ gilt daher:

$$\hat{u}_d = d \cdot \hat{u}_{do} = 0{,}289 \cdot \frac{b}{273 + \vartheta} \cdot \hat{u}_{do} \qquad \text{Z.W. } b \text{ in mbar, } \vartheta \text{ in °C}$$

Durchschlagsspannung $\hat{u}_{do}$ einpolig geerdeter Kugelfunkenstrecken bei 20 °C, 1013 mbar
a) für Wechselspannungen, positive und negative Gleichspannungen und negative Stoßspannungen,
b) für positive Stoßspannungen.

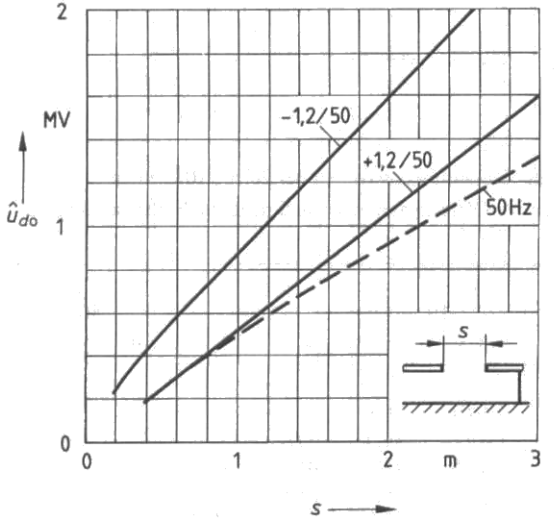
Schlagweite s in cm	Kugeldurchmesser D in cm 2 a	2 b	5 a	5 b	10 a	10 b	25 a	25 b	50 a	50 b
0,2	8,0		8,0							
0,5	17,4	17,4	17,4	17,4	16,8	16,8				
1	30,7	30,7	32,0	32,0	31,7	31,7	31,7	31,7		
1,5	(40,0)	(40,0)	45,5	46,2	45,5	45,5	45,5	45,5		
2			57,5	59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0
2,4			65,5	69,0	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
3			(75,5)	(81,0)	84,0	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0
3,5			(82,5)	(90,0)	95,0	97,5	99,0	99,0	99,0	99,0
4			(88,5)	(97,5)	105	109	112	112	112	112
4,5					115	120	125	125	125	125
5					123	130	137	138	138	138
5,5					(131)	(139)	149	151	151	151
6					(138)	(148)	161	163	164	164
6,5					(144)	(156)	173	175	177	177
7					(150)	(163)	184	187	189	189
7,5					(155)	(170)	195	199	202	202
8							206	211	214	214
9							226	233	239	239
10							244	254	263	263
11							261	273	286	287
12							275	291	309	311
14							(302)	(323)	353	357
16							(326)	(350)	392	402
18							(347)	(374)	429	442
20							(366)	(395)	460	480



4.15 Durchschlagsspannung von Stabfunkenstrecken – *Breakdown voltage of rod gaps* (D. Kind)

Stabfunkenstrecken verhalten sich qualitativ und quantitativ gleichartig wie andere Anordnungen mit stark inhomogenem Feld. Die Funktion $\hat{u}_d = f(s)$ für Stabfunkenstrecken erlaubt daher, Luftschlagweiten s abzuschätzen. Zur Spannungsmessung sind Stabfunkenstrecken nur bedingt geeignet, da die Werte stark streuen; doch sind sie für orientierende Messungen brauchbar, insbesondere von hohen Gleichspannungen.

In dem Diagramm sind die Spannungswerte für eine Durchschlagswahrscheinlichkeit von 50 % angegeben. Der Variationskoeffizient beträgt bei Stoßspannungen der Form 1,2/50 (Stirnzeit 1,2 µs, Rückenhalbwertszeit 50 µs) ungefähr 5 %, so daß für die Stehstoßspannung etwa 15 % niedrigere Werte angenommen werden müssen.



Die angegebenen Scheitelwerte der Durchschlagsspannungen $\hat{u}_{do}$ gelten für 1013 mbar, 20°C. Bei Umrechnung auf andere Werte von Luftdruck und Temperatur ist wie bei Kugelfunkenstrecken näherungsweise Proportionalität zur Luftdichte anzunehmen. Der Einfluß der Luftfeuchte kann durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden; die Bezugsfeuchte beträgt 11 g/m^3, der Korrektionsfaktor liegt zwischen 0,9 und 1,1 (IEC-Publ. 60-1). Die Ausführung der Stabelektroden ist unkritisch (Querschnitt z. B. 100 mm^2). Andere Anordnungen und größere Schlagweiten z. B. bei Kind u. Kärner (1982).

Durchschlagsspannung $\hat{u}_{do}$ einpolig geerdeter Stabfunkenstrecken bei 20°C, 1013 mbar für Wechselspannungen (50 Hz) und Blitzstoßspannungen (±1,2/50). Die für positive Blitzstoßspannungen angegebenen Werte gelten näherungsweise auch für positive und negative Gleichspannungen (Feser u. Hughes (1988)).

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 5

Magnetismus – *Magnetism*

Redakteur: J.D. Sievert

5.01 Die erdmagnetischen Elemente für 1995 von Städten der Bundesrepublik Deutschland – *The geomagnetic elements for* 1995 *of cities of the Federal Republic of Germany* (D. Voppel) 395

5.02 Mittlere jährliche Änderung der erdmagnetischen Elemente D, I und H für das Jahr 1995 – *Average annual change of the geomagnetic elements D, I, and H for the year* 1995 (D. Voppel) 396

5.03 Spezifische Suszeptibilität einiger Stoffe – *Specific susceptibility of some substances* (W. Baran) 397

5.04 Eigenschaften der wichtigsten weichmagnetischen Werkstoffe – *Properties of the most important soft magnetic materials* (W. Baran) 398

5.05 Eigenschaften der wichtigsten Dauermagnetwerkstoffe – *Properties of the most important permanent magnetic materials* (W. Baran) 400

5.06 Kernarten, Verbindungen und gyromagnetische Koeffizienten γ für Kernresonanz-Magnetometer – *Nuclei, compounds and gyromagnetic ratios for* NMR-*magnetometers* (K. Weyand) 401

5.07 Relaxationszeiten und Linienbreiten verschiedener Verbindungen für Kernresonanz-Magnetometer nach dem Präzessionsverfahren – *Relaxation times and linewidth of some compounds for* NMR-*magnetometers* (K. Weyand) 401

5.08 Gebräuchliche Kernarten und gyromagnetische Koeffizienten γ_e der Elektronen für Absorptionszellen-Magnetometer – *Commonly used atoms and the gyromagnetic ratios* γ_e *of the electrons for* ESR-*magnetometers of the absorption cell type* (K. Weyand) 401

5.09 Werkstoffe für magnetische Abschirmungen – *Materials for magnetic shields* (J. Bork) 402

5.01 Die erdmagnetischen Elemente für 1995 von Städten der Bundesrepublik Deutschland – *The geomagnetic elements for* 1995 *of cities of the Federal Republic of Germany* (D. Voppel)

D Deklination (westliche Werte negativ), *I* Nördliche Inklination, *H* Horizontalintensität in µT

	D	*I*	*H*		*D*	*I*	*H*
Aachen	−1,5°	66,3°	19,5	Hameln	−0,4°	67,2°	18,8
Altenburg	+0,7	66,3	19,3	Hamm	−0,8	66,9	19,0
Amberg	+0,7	65,1	20,1	Hanau	−0,3	65,7	19,8
Ansbach	+0,3	65,0	20,2	Hannover	−0,3	67,5	18,7
Aschaffenburg	−0,2	65,5	19,9	Heidelberg	−0,4	65,1	20,2
Augsburg	+0,4	64,2	20,7	Heilbronn	−0,2	64,9	20,3
Bamberg	+0,3	65,5	19,9	Hildesheim	−0,1	67,3	18,8
Bautzen	+1,2	66,5	19,1	Hof	+0,7	65,8	19,7
Bayreuth	+0,5	65,5	19,9	Ingolstadt	+0,5	64,6	20,5
Berlin	+0,9	67,5	18,5	Jena	+0,4	66,3	19,4
Bielefeld	−0,6	67,2	18,9	Kaiserslautern	−0,6	65,2	20,1
Bochum	−0,9	66,8	19,1	Karlsruhe	−0,5	64,8	20,4
Bonn	−1,1	66,3	19,5	Kassel	−0,3	66,7	19,2
Braunschweig	+0,1	67,4	18,7	Kempten	+0,3	63,7	21,0
Bremen	−0,6	68,0	18,3	Kiel	−0,1	68,9	17,7
Bruchsal	−0,4	64,9	20,4	Kleve	−1,4	67,0	19,0
Celle	−0,1	67,6	18,5	Koblenz	−0,9	65,9	19,7
Chemnitz	+0,8	66,2	19,4	Köln	−1,2	66,4	19,4
Coburg	+0,3	65,8	19,7	Konstanz	−0,1	63,6	21,0
Darmstadt	−0,4	65,5	19,9	Kottbus	+1,3	66,9	18,9
Delmenhorst	−0,7	68,0	18,3	Krefeld	−1,3	66,7	19,1
Dortmund	−0,9	66,8	19,1	Landau/Pfalz	−0,6	64,9	20,3
Dresden	+1,1	66,4	19,2	Landshut	+0,7	64,4	20,6
Duisburg	−1,3	66,8	19,1	Leipzig	+0,7	66,6	19,2
Düsseldorf	−1,2	66,6	19,2	Lindau	+0,1	63,5	21,1
Eberswalde	+1,2	67,7	18,4	Lübeck	+0,1	68,6	18,0
Eisenach	+0,2	66,4	19,3	Ludwigshafen	−0,5	65,2	20,1
Emden	−1,2	68,2	18,2	Lüneburg	0,0	68,0	18,3
Erfurt	+0,3	66,3	19,4	Magdeburg	+0,4	67,2	18,7
Erlangen	+0,4	65,2	20,1	Mainz	−0,6	65,6	19,9
Essen	−1,0	66,8	19,1	Mannheim	−0,5	65,2	20,1
Flensburg	−0,4	69,3	17,5	Marburg	−0,5	66,3	19,4
Frankfurt/Main	−0,4	65,7	19,8	Meiningen	+0,3	66,0	19,6
Frankfurt/Oder	+1,5	67,3	18,6	Meißen	+1,0	66,5	19,2
Freiberg	+0,9	66,3	19,3	Memmingen	+0,2	63,9	20,9
Freiburg/Breisgau	−0,6	64,0	20,9	Merseburg	+0,6	66,6	19,2
Fulda	−0,1	66,1	19,5	München	+0,5	64,1	20,8
Fürth	+0,4	65,1	20,1	Münster	−0,9	67,1	18,9
Gera	+0,6	66,2	19,4	Nordhausen	+0,2	66,8	19,1
Gießen	−0,5	66,1	19,6	Nürnberg	+0,4	65,1	20,1
Göppingen	0,0	64,5	20,6	Oldenburg	−0,8	68,0	18,3
Görlitz	+1,5	66,5	19,2	Osnabrück	−0,8	67,4	18,7
Goslar	+0,1	67,1	18,9	Paderborn	−0,5	67,0	19,0
Gotha	+0,2	66,3	19,3	Passau	+1,0	64,5	20,6
Göttingen	0,0	66,9	19,1	Pforzheim	−0,4	64,7	20,5
Greifswald	+1,4	68,6	17,8	Plauen	+0,6	65,9	19,6
Greiz	+0,6	66,1	19,5	Potsdam	+0,8	67,4	18,6
Guben	+1,6	67,0	18,8	Rastatt	−0,6	64,7	20,5
Güstrow	+0,6	68,4	18,0	Regensburg	+0,7	64,8	20,3
Hagen in Westfalen	−0,9	66,7	19,1	Rostock	+0,6	68,6	17,8
Halberstadt	+0,3	67,1	18,8	Rudolstadt	+0,3	66,1	19,5
Halle Saale	+0,6	66,7	19,1	Saarbrücken	−0,9	65,0	20,3
Hamburg	−0,2	68,3	18,1	Schweinfurt	0,0	65,7	19,8

Fortsetzung T 5.01

	D	*I*	*H*		*D*	*I*	*H*
Schwenningen	−0,4	64,0	20,9	Wesel	−1,3	66,9	19,0
Schwerin	+0,3	68,3	18,1	Wetzlar	−0,6	66,1	19,6
Solingen	−1,1	66,5	19,2	Wiesbaden	−0,6	65,7	19,8
Speyer	−0,5	65,0	20,2	Wilhelmshaven	−0,9	68,3	18,1
Stralsund	+1,2	68,8	17,7	Wismar	+0,1	68,5	17,9
Straubing	+0,8	64,7	20,4	Wittenberg	+0,7	67,1	18,8
Stuttgart	−0,2	64,6	20,5	Worms	−0,5	65,3	20,0
Trier	−1,2	65,4	20,0	Wuppertal	−1,0	66,6	19,2
Tübingen	−0,2	64,3	20,6	Würzburg	0,0	65,5	20,0
Ulm	+0,1	64,3	20,7	Zeitz	+0,6	66,3	19,3
Villingen	−0,4	64,0	20,9	Zittau	+1,2	66,4	19,3
Weiden	+0,7	65,3	20,0	Zweibrücken	−0,8	65,0	20,2
Weimar	+0,3	66,3	19,4	Zwickau	+0,7	66,1	19,5
Weißenfels	+0,6	66,5	19,3				

5.02 Mittlere jährliche Änderung der erdmagnetischen Elemente *D*, *I* und *H* für das Jahr 1995 – *Average annual change of the geomagnetic elements D, I, and H for the year* 1995 (D. Voppel)

D Deklination in Grad, *I* Inklination in Grad, *H* Horizontalintensität in nT

Geogr. Länge	Breite	Δ*D*	Δ*I*	Δ*H*	Geogr. Länge	Breite	Δ*D*	Δ*I*	Δ*H*
0	55	+0, 14	+0, 01	−1	10	45	+0, 09	+0, 01	0
0	50	+0, 14	+0, 00	5	15	55	+0, 09	+0, 02	−9
0	45	+0, 14	+0, 00	7	15	50	+0, 08	+0, 02	−4
5	55	+0, 12	+0, 01	−4	15	45	+0, 08	+0, 02	−2
5	50	+0, 11	+0, 01	1	20	55	+0, 08	+0, 02	−10
5	45	+0, 11	+0, 01	3	20	50	+0, 08	+0, 02	−6
10	55	+0, 10	+0, 02	−7	20	45	+0, 07	+0, 02	−4
10	50	+0, 10	+0, 01	−2					

Quellen für weitere Information:

Deutschland:
Bock; Burmeister; Errulat: Magnetische Reichsvermessung 1935.0, Teil I (Tabellen). Abh. Geophys. Inst. Potsdam, Nr. 6 (1948); Teil II (Karten). Dt. hydrogr. Z., Erg.-H., B, Nr. 2 (1956)
Mundt: Geomagnetic Secular Variation on the Territory of the GDR. Gerlands Beitr. Geophys. **89** (1980) 467–76
Voppel, Wienert: Die geomagnetische Vermessung der Bundesrepublik Deutschland, Epoche 1965.0. Dt. hydrogr. Z. **27** (1974) 49–56
Wienert: Deklinationskarte 1980.0 in: Ergebnisse der erdmagnetischen Beobachtungen des Geophys. Observatoriums Fürstenfeldbruck 1980. München 1981

Europa:
Bock: Atlas of magnetic declination of Europe 1944, 5. Army Map Service, Washington
Mundt: The Character of the Geomagnetic Secular Variation in Europe. Gerlands Beitr. Geophys. **89** (1980) 451–66

Welt:
Weltkarten mit Nord- und Südpolgebieten 1985.0: Horizontalintensität Nr. 33, Vertikalintensität Nr. 36, Inklination Nr. 30, Totalintensität Nr. 39; Weltkarte der Deklination (Variation) 1990.0 Nr. 42, Nr. 43 (Polargebiete). Hrsg.: Defense Mapping Agency, Hydrographic Center, Washington D.C. 20315. Sämtliche Karten mit Angaben über die jährliche Änderung
Koeffizienten für Kugelfunktionssynthese von Feldmodellen (Internationales Geomagnetisches Referenzfeld): Geophys. J. Int. **108**, (1992) (945–946)
Voppel: Observation and description of the main geomagnetic field and its secular variation. Landolt-Börnstein New Series V-2b (1985), 126–180.

5.03 Spezifische Suszeptibilität einiger Stoffe – *Specific susceptibility of some substances* (W. Baran)

Spezifische Suszeptibilität χ_m/ϱ in 10^{-9} m^3/kg, gemessen bei 20 °C, andere Temperaturen in °C in Klammern

Substanz		χ_m/ϱ
Organische Verbindungen		
Aceton		−7,3
Äthylalkohol		−9,2
Äthyläther		−9,3
Ameisensäure		−5,4
Benzol		−8,8
Essigsäure		−6,6
Glyzerin		−7,8
Naphthalin		−9,0
Nitrobenzol		−6,3
Pentan		−11,0
Petroleum		−11,4
Tetrachlorkohlenstoff		−5,5
Toluol		−9,0
Elemente		
Ag		−2,4
Al		+7,6
Ar		−6,1
Au		−1,8
Ba	(400)	+5,2
	(20)	+1,8
Bi	polykristallin	−16,8
	⊥ zur Hauptachse	−18,6
	∥ zur Hauptachse	−13,2
C	Diamant	−6,2
	Graphit	
	⊥ zur hexagonalen Achse	−5,0
	∥ zur hexagonalen Achse	−290
	Kohle	−12 bis −25
Ce		+230
Cl		−7,4
Cr	(350)	+43,1
	(20)	+39,8
Cu	(500)	−0,95
	(20)	−1,09
Fe	(1405), δ	+480
	(910), γ	+330
	(840), α	+6900
	(800)	+18900
H		−25
Hg		−2,1
Ho		+5390
Ir		+1,7
J		−4,3
K		+6,7
Li		+48
Mg		+3,1
Mn	(600)	+94
	(20)	+121
Mo		+11,6
N	(20)	−5,4
	(−185)	−5,1
Ni	(800)	+160
	(500)	+560
	(400)	+2170
O	(20)	+1340
	(−183)	+5000
Pb		−1,4
Pt	(1000)	+9,1
	(20)	+12,2
S	Dampf (600)	+23,0
	rhombisch (20)	−6,1
	monoklin (20)	−5,9
Sb	polykristallin	−10,1
Si		−1,4
Sn	weiß	+0,3
	grau	−3,9
Ti		+40
V		+56,6
W		+4,0
Zn		−1,8
Anorganische Verbindungen		
Al_2O_3		−4,6
$AuCl_3$		−4,6
$CoCl_2$		+1260
CoO		+1020
Cr_2O_3		+320
$CuCl_2$		+120
$FeCl_2$		+1460
$FeCl_2 + 4H_2O$	(20)	+360
	(−183)	+1160
FeO		+1590
HCl		−7,2
H_2O		−9,054
	Temperaturkoeffizient	0,003 je grd
D_2O	schweres Wasser	−8,0
H_2SO_4		−5,0
$MnCl_2$	(420)	+680
	(20)	+1610
	(−180)	+4940
MnO		+1010
$MnSO_4$	(550)	+310
	(20)	+860
$NiCl_2$		+690
$NiSO_4$	(20)	+460
	(−183)	+1010
SiO_2		−6,2
Ti_2O_3		+12,1
ZnO		−4,3

5.04 Eigenschaften der wichtigsten weichmagnetischen Werkstoffe – *Properties of the most important soft magnetic materials* (W. Baran) (vgl. DIN 17 405, DIN 41 280, DIN 41 301, DIN 46 400)

J_s Sättigungspolarisation, H_c Koerzitivfeldstärke, μ_4 relative Permeabilität bei 0,4 A/m, μ_{max} relative Maximalpermeabilität, ϱ spezifischer elektrischer Widerstand, T_c Curietemperatur, λ_s Sättigungsmagnetostriktion

Zusammensetzung Massenanteile in %	J_s in T	H_c statisch in A/m	μ_4 gemessen bei 50 Hz	μ_{max} gemessen bei 50 Hz	ϱ in $\mu\Omega \cdot$ cm	T_c in °C	Besondere Eigenschaften	Anwendungen	Handelsnamen (Warenzeichen; unvollständig)
Reineisen	2,15	60 −240	300	8000	15	770	Großes J_s; hohe Verluste im Wechselfeld	Relais, Abschirmungen, Polschuhe	Hyperm 0, Armco
85% Fe, Rest Binder	1,80	350	10 −100	50 −200	10^4	140[1)]	Pulververbundwerkstoff; engtolerierte Formteile	Elektrische Maschinen, dynamische Magnetsysteme, Drosselkerne	Corovac EF, Hyperm 0p
3% Si, Rest Fe	2,00	16	1000	30000	45	750	Großes J_s; kleine Verluste im Wechselfeld	Relais, Leistungstrafos, elektrische Maschinen	Hyperm 4
3% Si, Rest Fe kornorientiert	2,00	10	2000	35000	45	750	Großes J_s; kleine Verluste im Wechselfeld	Leistungstrafos, Übertrager, Meßwandler	Hyperm 5 T, Trafoperm N 2
36% Ni, Rest Fe	1,30	16	3000	16000	75	250	Geringe H-Abhängigkeit von μ	Relais, Meßwandler, klirrarme Übertrager	Hyperm 36, Permenorm 3601 K 1
ca. 50% Ni, Rest Fe	1,55	4	12000	80000	45	470	Relativ großes J_s und μ; $\lambda_s = 25 \cdot 10^{-6}$	Relais, Fehlerstromschutzschalter, Meßwandler, Übertrager	Deltamax, Hipernik, Hyperm 52, Permenorm 5000 H 2
ca. 50% Ni, Rest Fe mit Würfeltextur	1,55	12	500	50000	45	470	Rechteckschleife; großes Remanenzverhältnis $B_r/J_s \geqslant 0{,}97$	Magnetverstärker, Gleichspannungswandler	Hyperm 50 T, Permenorm 5000 Z
ca. 50% Ni, Rest Fe mit Magnetfeldbehandlung	1,55	8	Maximaler Induktionshub $\Delta B_{max} = 1{,}3$ T; Impulspermeabilität $\Delta B/\mu_0 \Delta H = 4000$		45	470	Flache Schleife; kleines Remanenzverhältnis $B_r/J_s \approx 0{,}10$	Impulsübertrager, Drosseln in der Leistungselektronik	Hyperm 54, Permax 50 F

[1)] Maximale Einsatztemperatur

Fortsetzung T 5.04

Zusammensetzung Massenanteile in %	J_s in T	H_c statisch in A/m	μ_4 gemessen bei 50 Hz	μ_{max} gemessen bei 50 Hz	ϱ in $\mu\Omega \cdot$ cm	T_c in °C	Besondere Eigenschaften	Anwendungen	Handelsnamen (Warenzeichen; unvollständig)
70 bis 80% Ni mit geringen Zusätzen, Rest Fe	0,80	2,4 −0,4	35000 −250000	90000 −400000	55	400	Höchste Permeabilität	Abschirmungen, Relais, Meßwandler, Übertrager, Fehlerstromschutzschalter	Hyperm 766, Hyperm 900, Hyperm Maximum, Mumetall, Ultraperm 10, Vacoperm 100
ca. 80% Co, Rest Fe, Mo, Si, B	0,55 −1,00	0,2 −1,0	150000	400000	100 −150	200 −500	Amorph; große Härte; nur dünne Bänder herstellbar; $\lambda_s < 10^{-7}$	Leistungsübertrager, Drosseln, Sensoren	Metglas, Vitrovac
49% Co, 2% V, Rest Fe	2,35	80	1000	11000	35	950	Größtes J_s; $\lambda_s = 80 \cdot 10^{-6}$	Polschuhe, Übertrager, magnetostriktive Schwinger, Telefonmembranen	Hyperm Co 50, Vacoflux 50, 2V-Permendur
Mn-Zn-Ferrit (J 5)	0,40	20	2400	4000	10^8	150	Geringe Verluste bei kleinen Aussteuerungen; definierte Temperaturabhängigkeit von μ_a	Spulen, lineare Übertrager	Ferroxcube 3 H 1, Siferrit N 28
Mn-Zn-Ferrit (W2)	0,45	15	2000	6000	10^8	200	Geringe Verluste bei höheren Temperaturen	Leistungsübertrager	Ferroxcube 3 C 8, Siferrit N 27

5.05 Eigenschaften der wichtigsten Dauermagnetwerkstoffe – *Properties of the most important permanent magnetic materials* (W. Baran) (vgl. DIN 17410; IEC 404-8-1)

Kurzname	siehe *)	Magnetische Eigenschaften (Typische Werte) $(BH)_{max}$-Wert in kJ/m³	Remanenzflußdichte in mT	Koerzitivfeldstärke $_BH_c$ in kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_p	Handelsnamen (z.T. Warenzeichen, unvollständig)
Hartferrit 8/27	1	9	230	155	1,2	Feroba, Ferroxdur, Indox, Koerox, Ox, Oxit
Hartferrit 24/35	2	24	360	260	1,1	
Hartferrit 32/17	2	32	410	160	1,1	
Hartferrit 32/25	2	32	410	240	1,1	
Hartferrit 1/18p	1	1	80	60	1,15	
Hartferrit 8/19p	2	8	120	80	1,1	
Hartferrit 12/22p	2	12	250	180	1,1	
AlNiCo 9/5	1	10	550	55	3,5 bis 4,5	Alcomax, Alnico, Koerzit, Oerstit, Ticonal
AlNiCo 12/6	1	12	600	57	4,0 bis 5,5	
AlNiCo 35/5	2	40	1250	50	3,0 bis 4,5	
AlNiCo 40/12	2	44	880	115	2,0 bis 4,0	
AlNiCo 40/15	2	43	740	150	1,5 bis 2,5	
AlNiCo 52/6	3	62	1350	58	1,5 bis 3,0	
AlNiCo 80/10	3	80	930	150	1,5 bis 2,5	
CrFeCo 10/4	1	13	900	39	5,5 bis 6,5	Koerflex, Crovac
CrFeCo 35/5	2	37	1150	56	3,0 bis 4,0	
SECo 160/120	2	180	950	720	<1,1	Recoma, Seco, Secolit, Vacomax
SECo 190/80	2	215	1100	750	<1,1	
NdFeB 170/170	2	200	1000	750	<1,1	Neomax, Vacodym
NdFeB 210/80	2	240	1120	800	<1,1	
NdFeB 210/170	2	240	1100	840	<1,1	
NdFeB 260/80	2	300	1250	950	<1,1	
NdFeB 34/100p	1	38	490	320	1,2	
NdFeB 65/64p	1	70	680	400	1,3	

*) 1 isotrop; 2 anisotrop; 3 anisotrop, stengelkristallisiert

5.06 Kernarten, Verbindungen und gyromagnetische Koeffizienten γ für Kernresonanz-Magnetometer – *Nuclei, compounds and gyromagnetic ratios for* NMR-*magnetometers* (K. Weyand)

Nach dem Absorptionsverfahren, wenn die maximal einstellbare Oszillatorfrequenz f_r etwa 110 MHz beträgt (nach Rahf, L.; Sievert, J.D.; Zehler, V.: Ein Kernresonanz-Magnetfeldmeßgerät für hohe Induktionen. J. Magn. and Mat. **9** (1978) 261)

Kern	Verbindung	$\frac{\gamma}{2\pi}$ in $\frac{\text{MHz}}{\text{T}}$	Meßbereich für $f_r \leqslant 110$ MHz in T	Kern	Verbindung	$\frac{\gamma}{2\pi}$ in $\frac{\text{MHz}}{\text{T}}$	Meßbereich für $f_r \leqslant 110$ MHz in T
^{1}H	H_2O	42,5760	2,6	^{27}Al	AlCl	11,0945	9,9
^{205}Tl	TlF_3	24,5672	4,5	^{2}H	D_2O	6,5358	16,8
^{7}Li	LiCl	16,5466	6,6	^{35}Cl	CCl_4	4,1718	26,3

5.07 Relaxationszeiten und Linienbreiten verschiedener Verbindungen für Kernresonanz-Magnetometer nach dem Präzessionsverfahren – *Relaxation times and linewidth of some compounds for* NMR-*magnetometers* (K. Weyand)

T_1 Relaxationszeit für Spin-Gitter-Wechselwirkung, T_2 desgl. für Spin-Spin-Wechselwirkung

Verbindung	Name	T_1 in s	T_2 in s	Linienbreite in Hz
n-C_4H_9OH	n-Butanol	1,4	0,9	0,35
H_2O	Wasser	3,5	2,3	0,14
C_6H_{12}	Cyclohexan	5,5	3,5	0,09
C_6H_6	Benzol	18	11	0,03

5.08 Gebräuchliche Kernarten und gyromagnetische Koeffizienten γ_e der Elektronen für Absorptionszellen-Magnetometer – *Commonly used atoms and the gyromagnetic ratios γ_e of the electrons for* ESR-*magnetometers of the absorption cell type* (K. Weyand)

Kern	He	^{85}Rb	^{87}Rb	^{133}Cs
$\frac{\gamma_e}{2\pi}$ in $\frac{\text{Hz}}{\text{nT}}$	28,02	4,667	7,009	7,005

5.09 Werkstoffe für magnetische Abschirmungen – *Materials for magnetic shields* (J. Bork)

Werkstoff (Massenanteile in %)	Relative Permeabilität μ_4 [4])	μ_{max}	Sätt.-Polaris. $J_s = \mu_0 M_s$ in T	Koerzit.-Feldst. H_c in A/m	Curie-Temp. T_c in °C	Spez. el. Widerstand ϱ in $10^{-6}\,\Omega m$	Bemerkungen
76 Ni, 8(Mo+Cu), 16Fe[1]) und ähnliche Leg.	30 000	100 000	0,8	3	400	0,55	Sehr hohe Schirmwirkung, gebräuchlichstes Schirmmaterial
50 Ni, 50 Fe	5 000	50 000	1,55	8	450	0,45	Hohe Schirmwirkung, geeignet auch für höhere Flußbelastung
50 Co, 2V, 48 Fe	1 000	10 000	2,35	100	950	0,35	Sondermaterial für hohe Felder, höchste Sättigungspolarisation
Fe, techn. C-arm[2])	400	3 000	2,15	100	770	0,1	Für massive Abschirmungen bei geringen Anforderungen, höherer Feldbereich
Stahlblech, verzinkt	200	1 000	2,1	300	770	0,1	Mäßige Schirmwirkung, für Anwendung mit höheren zulässigen Störfeldstärken (innen)
79 Co, 5Fe, 16 (Mo, Si, B)[3]) amorph, ungeglüht	20 000	100 000	0,55	1	250	1,35	Hohe bis sehr hohe Schirmwirkung, geeignet für flexible oder federnde Schirme. Bänder ca. 0,03 mm dick

[1]) z. B. MUMETALL, HYPERM 766, 4-79-PERMALLOY u.a., für Tieftemperaturanwendung: CRYOPERM

[2]) z. B. ARMCO–Eisen u. a. – [3]) Nur in Form dünner Bänder herstellbar, VITROVAC 6025X – [4]) Bei Feldstärke 4 mA/cm

Erläuterungen: Da μ- und H_c-Werte von den Abmessungen der Abschirmvorrichtungen und von der meist erforderlichen Schlußglühung (nach Formgebung) u.a. abhängen, dürfen die Angaben nur als Richtwerte aufgefaßt werden. Sie gelten für Abschirmungen üblicher Abmessungen und Wanddicken; bei sehr großen Einheiten wie begehbaren Kammern lassen sich z. B. wirksame μ-Werte von nur etwa 15 000 erreichen anstelle der für ca. 76 % NiFe-Legierungen angegebenen 30 000. Hochgeglühte weichmagnetische Teile sind auch mechanisch sehr weich und empfindlich gegen Verspannung bzw. Verformung, im Gegensatz zur o. a. genannten amorphen Legierung mit rel. hoher Härte und einem extrem niedrigen Magnetostriktionswert.

Literatur: Albach, W.; Voss, G. A. (1957): Ein durch vorerregte Dynamobleche magnetisch abgeschirmter Meßraum. Z. angew. Phys. **9**, 111–115
Boll, R. (1990): Weichmagnetische Werkstoffe. Berlin-München: Siemens
Heck, C. (1967): Magnetische Werkstoffe und ihre technische Anwendung. Heidelberg: Hüthig
Volk, K.E (1970): Nickel und Nickellegierungen. Berlin–Heidelberg–New York: Springer

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 6

Optik – *Optics*

Redakteur: K. Dorenwendt

6.01 Brechzahl der trockenen Luft – *Refractive index of dry air* (K.J. Rosenbruch) 405

6.02 Brechzahlen einiger Stoffe bei 20 °C – *Refractive index of some materials at* 20 °C (K.J. Rosenbruch) 405

6.02a Brechzahlen bei der Wellenlänge 589,3 nm der D-Linie des Natriums . . 405

6.02b Brechzahlen für verschiedene Wellenlängen 406

6.03 Brechzahlen einiger Stoffe im Wellenlängenbereich von 0,19 µm bis 30 µm – *Refractive index of some materials in the wavelength range from* 0,19 µm *to* 30 µm (K.J. Rosenbruch) 407

6.04 Strahlungsquellen für Radiometrie und Photometrie – *Radiation sources for radiometry and photometry* (D. Förste, G. Sauter, M. Kühne, B. Wende) 408

6.04a Strahlungsquellen für die Radiometrie 408

6.04b Lichtquellen für die Photometrie 410

6.05 Typische Werte der spektralen Strahldichte von Gebrauchsnormalen – *Typical values of spectral radiance for transfer standards* (M. Kühne, B. Wende) 411

6.06 Strahlungsempfänger für die Radiometrie – *Radiation detectors for radiometry* (K. Möstl, M. Kühne, B. Wende) 412

6.07 Spektraler Transmissionsgrad von Folien im Vakuum-UV – *Spectral transmittance of foils in the vacuum*-UV (M. Kühne, B. Wende) 414

6.08 Spektraler Transmissionsgrad von optischen Fenstern im UV, Sichtbaren und nahen IR – *Spectral transmittance of optical windows in the* UV, *visible, and near* IR (K. Möstl) 414

6.09 Mittlerer IR-Absorptionsgrad für Stickstoff und Stickstoff-Sauerstoffgemische mit H_2O- oder CO_2-Anteil – *Mean* IR *absorptance of nitrogen and nitrogen oxygen mixtures containing* H_2O *and* CO_2 (H.J. Jung) 415

6.10 Spektraler Reflexionsgrad und optische Konstanten von Metallen – *Spectral reflectance and optical constants of metals* (E. Tegeler) 416

6.11 Spektraler Emissionsgrad von Metallen für $\lambda = 0{,}65$ µm als Funktion der Temperatur, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of metals at* $\lambda = 0{,}65$ µm *as function of temperature; emission normal to the surface* (H.J. Jung) 418

6.12 Spektraler Emissiongrad von Metallen bei hohen Temperaturen im Infraroten, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of metals at high temperature in the infrared; emission normal to the surface* (H.J. Jung) . . . 419

6.13 Spektraler Emissiongrad von Hochtemperaturwerkstoffen für $\lambda = 0{,}65\ \mu m$ als Funktion der Temperatur, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of high temperature materials at* $\lambda = 0.65\ \mu m$ *as function of temperature; emission normal to the surface* (H.J. Jung) 420
6.14 Gesamtemissionsgrad verschiedener Metalloberflächen – *Total emissivity of some metal surfaces* (J. Lohrengel) 420
6.15 Gesamtemissionsgrad nichtmetallischer Oberflächen – *Total emissivity of non metallic surfaces* (J. Lohrengel) 422
6.16 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)$ – *Spectral luminous efficiency for photopic vision* $V(\lambda)$ (D. Förste, G. Sauter) 425
6.17 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen $V'(\lambda)$ – *Spectral luminous efficiency for scotopic vision* $V'(\lambda)$ (D. Förste, G. Sauter) 428
6.18 Normspektralwertfunktionen des farbmeßtechnischen Normalbeobachters CIE 1931 – *Colour-matching functions of the* CIE 1931 *standard colorimetric observer* (W. Erb) 430
6.19 Normspektralwertfunktionen des farbmeßtechnischen 10°- oder Großfeld-Normalbeobachters CIE 1964 – *Colour-matching functions of the* CIE 1964 *supplementary standard colorimetric observer* (W. Erb) 437
6.20 Relative spektrale Strahlungsverteilung (Strahlungsfunktion) der Normlichtarten A und D_{65} – *Relative spectral power distribution of standard illuminants* A *and* D_{65} (W. Erb) 444
6.21 Eigenschaften verschiedener für die Spektrometrie wichtiger Lasertypen – *Properties of lasers used in spectrometry* (W. Demtröder) 448
6.22 Wellenlängen unter spektrometrischen Normalbedingungen – *Wavelengths under spectrometric standard conditions* (K. Grützmacher) 449
6.22a Atom (I)- und Ionen (II)-Linien 449
6.22b Resonanzlinien des Wasserstoffs, des Deuteriums und wasserstoffähnlicher Ionen 455
6.23 Wellenlängen infraroter Absorptionsbanden einiger Stoffe – *Wavelengths of infrared absorption bands for some materials* (K. Grützmacher) 456
6.24 Grundzustände und Ionisierungsenergien der Elemente – *Ground states and ionization energies of the elements* (K. Grützmacher) 456
6.25 Oszillatorenstärken (Absorption) für Wasserstoff und wasserstoffähnliche Ionen – *Oscillators strengths (for absorption) of hydrogen and hydrogen-like ions* (K. Grützmacher) 458
6.26 Anregungsenergien einiger Atome – *Excitation energies of some atoms* (K. Grützmacher) 459
6.27 Anregungs-, Dissoziations- und Ionisierungsenergien einiger Moleküle – *Energies of excitation, dissociation, and ionization for some molecules* (K. Grützmacher) 460
6.28 Natürliche Drehung des Quarzes – *Natural optical rotation by quartz* (K. Zander †) 461
6.29 Drehungswerte der Quarzkontrollplatten – *Optical rotation by quartz control plates* (W. Seiler) 461
6.30 Hundertpunkt der Saccharose bei 20 °C – 100 °Z *point of sucrose by* 20 °C (W. Seiler) 461

6.01 Brechzahl der trockenen Luft – *Refractive index of dry air* (K.J. Rosenbruch)

Brechzahl gegen Vakuum von Luft der Temperatur 15 °C und des Druckes 1013,25 mbar, enthaltend 0,03% CO_2, nach der international vereinbarten Formel. λ_L Wellenlänge in Luft.

n	λ_L nm	n	λ_L nm	n	λ_L nm	n	λ_L nm
1,000 273 0	1989	1,000 280 0	464,7	1,000 287 0	339,7	1,000 294 0	284,2
1,000 273 5	1316	1,000 280 5	450,4	1,000 287 5	334,4	1,000 294 5	281,3
1,000 274 0	1054	1,000 281 0	437,4	1,000 288 0	329,4	1,000 295 0	278,6
1,000 274 5	905	1,000 281 5	425,5	1,000 288 5	324,7	1,000 295 5	275,9
1,000 275 0	806	1,000 282 0	414,6	1,000 289 0	320,1	1,000 296 0	273,3
1,000 275 5	734	1,000 282 5	404,6	1,000 289 5	315,8	1,000 296 5	270,8
1,000 276 0	678	1,000 283 0	395,3	1,000 290 0	311,7	1,000 297 0	268,4
1,000 276 5	634	1,000 283 5	386,6	1,000 290 5	307,7	1,000 297 5	266,1
1,000 277 0	597,8	1,000 284 0	378,6	1,000 291 0	303,9	1,000 298 0	263,8
1,000 277 5	567,3	1,000 284 5	371,1	1,000 291 5	300,3	1,000 298 5	261,6
1,000 278 0	541,1	1,000 285 0	364,0	1,000 292 0	296,8	1,000 299 0	259,5
1,000 278 5	518,3	1,000 285 5	357,4	1,000 292 5	293,5	1,000 299 5	257,4
1,000 279 0	498,3	1,000 286 0	351,2	1,000 293 0	290,3	1,000 300 0	255,4
1,000 279 5	480,6	1,000 286 5	345,3	1,000 293 5	287,2		

6.02 Brechzahlen einiger Stoffe bei 20 °C – *Refractive index of some materials at* 20 °C (K.J. Rosenbruch)

Die Brechzahlen und Wellenlängen beziehen sich auf feuchte Normalluft (20 °C, 1013 mbar).

6.02a Brechzahlen bei der Wellenlänge 589,3 nm der D-Linie des Natriums

Einfach brechende Stoffe	n^D	Einachsige Kristalle	$n^D_{ord.}$	$n^D_{ao.}$	
Amylalkohol $C_5H_{12}O$	1,408	Beryll $Be_3Al_2(SiO_3)_6$	1,57 bis 1,59	1,56 bis 1,58	
Diamant C	2,4173	Eis H_2O, bei 0 °C	1,3091	1,3105	
Glyzerin, wasserfrei $C_3H_3O_3$	1,455	Korund (Saphir, Rubin) Al_2O_3	1,768	1,760	
n-Heptan C_7H_{16}	1,38777	Natriumnitrat $NaNO_3$	1,5854	1,3369	
Kanadabalsam	1,542	Rutil TiO_2	2,903	2,616	
Kassiaöl	1,604	Turmalin (Na, Ca)	1,61 bis 1,69	1,63 bis 1,70	
Leinöl	1,486	(Mg, Fe, Li)$_3$ Al_6			
Methylalkohol CH_3OH	1,3290	$[(BSi_2O_9)_3 \times (O, OH, F)_4]$			
Methylenjodid CH_2J_2	1,7420	**Zweiachsige Kristalle**	n^D_1	n^D_2	n^D_3
α-Monobromnaphtalin $C_{10}H_7Br$	1,6582	Aragonit $CaCO_3$	1,6862	1,6810	1,5309
Plexiglas M 222[1])	1,491	Baryt $BaSO_4$	1,6480	1,6371	1,6361
Polystyrol[1])	1,588	Gips $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$	1,5298	1,5228	1,5208
Rizinusöl	1,478	Glaubersalz $Na_2SO_4 \cdot 10\,H_2O$	1,398	1,396	1,394
Trolon[1])	1,577	Glimmer, ostindischer	1,5993	1,5944	1,5612
o-Xylol $C_6H_4(CH_3)_2$	1,5027	Kaliumnitrat KNO_3	1,5064	1,5056	1,3346
m-Xylol m-$C_6H_4(CH_3)_2$	1,4979	Kupfervitriol $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$	1,5434	1,5368	1,5141
p-Xylol p-$C_6H_4(CH_3)_2$	1,4958	Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$	1,5710	1,5658	1,5382
Zedernholzöl	1,505	Topas, sibischer	1,6379	1,6308	1,6293
Zimtaldehyd C_9H_8O	1,61949				

[1]) Die Brechzahlen sind bei den einzelnen Chargen verschieden. Die Abbesche Zahl ν ist bei Plexiglas etwa 52, bei Polystyrol etwa 31. Vgl. Wedegärtner (1951): Kunststoffe **41**, 149.

6.02b Brechzahlen für verschiedene Wellenlängen

Linienbezeichnung:	i	h	g	F′	e	d	D[1])	C′	r	s
Element:	Hg	Hg	Hg	Cd	Hg	He	Na	Cd	He	Cs
Wellenlänge in nm:	365,0	404,7	435,8	480,0	546,1	587,6	589,3	643,8	706,5	852,1
Anilin C_6H_7N	1,6475	1,63381	1,61971	1,60578	1,59281	1,5864	1,5862	1,579	1,572	1,565
Äthylalkohol C_2H_5OH	1,3723	1,3729	1,3698	1,3666	1,3635	1,3618	1,3617	1,3602	1,358	1,359
Diäthyläther $C_2H_5OC_2H_5$	1,3687	1,3635	1,3606	1,3575	1,3544	1,3529	1,3529	1,3514	1,3501	1,3484
Benzol C_6H_6	1,5446	1,5318	1,52319	1,51420	1,50545	1,50155	1,50140	1,49740	1,4938	1,4885
Pyridin C_5H_5N	1,5652	1,5399	1,5313	1,5228	1,5136	1,5095	1,5094	1,5057	1,5027	1,4963
Schwefelkohlenstoff CS_2	1,7205	1,6934	1,6742	1,6544	1,63560	1,62804	1,62774	1,61966	1,6128	1,6044
Wasser H_2O	1,34690	1,342743	1,340210	1,337448	1,334467	1,333041	1,332988	1,331458	1,330020	1,3276
Schweres Wasser D_2O	1,34154	1,33749	1,33509	1,33250	1,32977	1,32848	1,32844	1,32709	1,325884	1,32398
Flußspat CaF_2	1,44489	1,441512	1,439494	1,437297	1,43496	1,433872	1,433830	1,432704	1,431696	1,43007
Kalkspat $CaCO_3$, ord.	1,69204	1,68137	1,67522	1,66863	1,66170	1,65850	1,65838	1,65507	1,65208	1,64705
$CaCO_3$, ao.	1,50148	1,49693	1,49417	1,49116	1,48796	1,48648	1,48643	1,48491	1,48358	1,48156
Lithiumfluorid LiF	1,4029	1,3987	1,3970	1,3951	1,3929	1,3918	1,3917	1,3906	1,3898	1,3886
Quarzglas SiO_2	1,4745	1,4696	1,4667	1,4635	1,4601	1,4585	1,4584	1,4567	1,4552	1,4526
Quarzkristall SiO_2, ord.	1,56195	1,557061	1,553772	1,550097	1,546150	1,544289	1,544220	1,542249	1,54046	1,53748
(⊥ zur Achse) ao.	1,5729	1,56667	1,56318	1,55941	1,55532	1,55339	1,55332	1,55129	1,54944	1,54623
Steinsalz NaCl	1,57715	1,56664	1,56055	1,55408	1,54740	1,54437	1,544258	1,54121	1,53857	1,53460
Sylvin KCl	1,51905	1,50994	1,50457	1,49886	1,49300	1,49033	1,490288	1,48760	1,48530	1,48180
Glas: FK 54	1,44855	1,44501	1,44291	1,44061	1,43815	1,43700	1,43696	1,43576	1,43467	1,43286
BK 7	1,53626	1,53024	1,52669	1,52283	1,51872	1,51680	1,51673	1,51472	1,51289	1,50981
K 3	1,53992	1,53311	1,52913	1,52485	1,52032	1,51823	1,51815	1,51598	1,51404	1,51082
F 3	1,65760	1,64256	1,63423	1,62560	1,61685	1,61293	1,61279	1,60883	1,60537	1,59996
SF 4	1,83333	1,80589	1,79121	1,77636	1,76167	1,75520	1,75496	1,74853	1,74300	1,73457
SF 59	[2])	2,04279	2,01559	1,98900	1,96349	1,95250	1,95210	1,94132	1,93221	1,91865

[1]) Statt der Anganben für 589,3 nm (D) sollen in Zukunft die für 587,6 nm (d) benutzt werden. [2]) absorbiert

6.03 Brechzahlen einiger Stoffe im Wellenlängenbereich von 0,19 µm bis 30 µm – *Refractive index of some materials in the wavelength range from* 0,19 µm *to* 30 µm (K.J. Rosenbruch)

Angegeben sind im jeweils nutzbaren Spektralbereich die Brechzahlen gegen feuchte Normalluft (20 °C, 1013 mbar). Der Temperaturkoeffizient – dn/dt beträgt in der Nähe von $t = 20$ °C für Natriumlicht gegen Luft der gleichen Temperatur wie der des Mittels: Quarz (ord.) $44 \cdot 10^{-7}$ °C^{-1}; Flußspat $101 \cdot 10^{-7}$ °C^{-1}; Steinsalz $29 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}; Sylvin $31 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}. KRS 5 und KRS 6 sind Mischkristalle und bestehen aus 44% TlBr, 56% TlJ bzw. 60% TlCl, 40% TlBr. Im sichtbaren Wellenlängenbereich merkliche Absorption. Vgl. Koops, Hettner u. Leisegang (1948): Optik **3**, 298 u. 305.

Wellenlänge λ µm	Quarz[1]) (ord. Strahl) n_{20}^{D} = 1,544220	Flußspat CaF_2 n_{20}^{D} = 1,4338303	Steinsalz NaCl n_{20}^{D} = 1,544258	Sylvin KCl n_{20}^{D} = 1,490288	KJ n_{38}^{D} = 1,6659	KBr n_{25}^{D} = 1,5591	LiF n_{20}^{D} = 1,3917	KRS 5 n_{20}^{D} = 2,6290	KRS 6 n_{20}^{D} = 2,3367
0,19	1,66632	1,50500	1,85343	1,78373			1,4465		
0,20	1,64932	1,49531	1,79073	1,71904			1,4399		
0,22	1,62441	1,48119	1,71591	1,64593			1,4295		
0,24	1,60740	1,47133	1,67197	1,60474			1,4217		
0,26	1,59473	1,46397	1,64294	1,57812			1,4160		
0,28	1,58522	1,45841	1,62239	1,55953			1,4116		
0,30	1,57793	1,45400	1,60714	1,54585			1,4084		
0,35	1,56544	1,44658	1,58232	1,52378			1,4027		
0,40	1,557715	1,441857	1,56769	1,51086	1,7220	1,5903	1,3990		
0,50	1,548741	1,436491	1,55175	1,49680	1,6825	1,5698	1,3944		
0,70	1,540635	1,431789	1,53881	1,48551	1,6546	1,5525	1,3900	2,5434	2,2892
0,80	1,538376	1,430563	1,53575	1,48285	1,6490	1,5482	1,3889	2,5022	2,2660
0,90	1,536583	1,429651	1,53366	1,48103	1,6447	1,5456	1,3880	2,4781	2,2510
1,00	1,535050	1,428923	1,53216	1,47973	1,6414	1,5434	1,3872	2,4611	2,2404
1,20	1,532340	1,427760	1,53016	1,47802	1,6363	1,5412	1,3856	2,4374	2,2225
1,40	1,529742	1,426772	1,52888	1,47696	1,6332	1,5398	1,3841	2,4254	2,2176
1,60	1,527047	1,425833	1,52798	1,47622	1,6319	1,5390	1,3824	2,4163	2,2124
1,80	1,524145	1,424885	1,52728	1,47567	1,6311	1,5382	1,3806	2,4110	2,2086
2,00	1,520972	1,423895	1,52670	1,47523	1,6304	1,5375	1,3787	2,4068	2,2059
2,30	1,515610	1,422294	1,52594	1,47469	1,6296	1,5368	1,3756	2,4022	2,2031
2,60	1,50986	1,420525	1,52525	1,47421	1,6290	1,5363	1,3720	2,3993	2,2010
3,00	1,49953	1,41793	1,52434	1,47363	1,6284	1,5357	1,3665	2,3966	2,1990
3,50	1,48451	1,41412	1,52317	1,47291	1,6277	1,5350	1,3583	2,3943	2,1972
4,00	1,46617	1,40971	1,52190	1,47215	1,6270	1,5345	1,3487	2,3928	2,1956
4,50		1,40469	1,52051	1,47133	1,6265	1,5340	1,3380	2,3917	2,1942
5,00		1,39901	1,51899	1,47044	1,6260	1,5336	1,3261	2,3906	2,1928
6,00		1,38562	1,51548	1,46843	1,6250	1,5327	1,2980	2,3889	2,1900
7,00		1,36932	1,51135	1,46603	1,6240	1,5312	1,262	2,3874	2,1870
8,00		1,34988	1,50655	1,46331	1,6229	1,5295	1,219	2,3856	2,1839
9,00		1,32685	1,50105	1,46018	1,6219	1,5278	1,166	2,3837	2,1805
10,00			1,49482	1,45664	1,6203	1,5258	1,093	2,3818	2,1767
11,00			1,48783	1,45266	1,6186	1,5230	1,007	2,3796	2,1723
12,00			1,48004	1,44824	1,6168	1,5202	0,918	2,3774	2,1674
13,00			1,47141	1,44335	1,6149	1,5176	0,824	2,3751	2,1620
14,00			1,46189	1,43796	1,6128	1,5149		2,3723	2,1563
15,00			1,45145	1,43204	1,6107	1,5113		2,3694	2,1504
16,00			1,44001	1,42555	1,6082	1,5077		2,3663	2,1442
17,00			1,42753	1,41847	1,6056	1,5032		2,3632	2,1377
18,00			1,41393	1,41075	1,6027	1,4988		2,3596	2,1309
19,00			1,39914	1,4026	1,5997	1,4928		2,3561	2,1236
20,00			1,38307	1,3938	1,5964	1,4870		2,3524	2,1154
21,00			1,36563	1,3844	1,5930	1,4810		2,3486	2,1067
22,00				1,3742	1,5895	1,4743		2,3443	2,0976
23,00				1,3632	1,5858	1,4670		2,3398	2,0869
25,00					1,5775	1,4507		2,3299	
30,00								2,3032	

[1]) Bei Quarz gelten die Werte für den ordentlichen Strahl senkrecht zur optischen Achse; sie sind zugleich die Mittelwerte aus den Brechzahlen der beiden Strahlen in Richtung der optischen Achse.

6.04 Strahlungsquellen für Radiometrie und Photometrie – *Radiation sources for radiometry and photometry*

(D. Förste, G. Sauter, M. Kühne, B. Wende)

6.04a Strahlungsquellen für die Radiometrie

Strahler	Strahlerprinzip	Nutzbarer Spektralbereich (10^0 nm, 10^1 nm, 10^2 nm, 10^3 nm, 10^4 nm, 10^5 nm)	Zeitliche Konstanz	Strahlerfläche in mm^2 (typisch)	Radiometrische Größe L_λ $Wm^{-3}\,sr^{-1}$	λ*) nm	I_λ $Wm^{-1}\,sr^{-1}$	Beschaffenheit d. Spektrums **)	Typische Betriebsparameter	Bemerkungen
Silitstab, Globar (SiC)	Thermische Festkörperstrahler		++	10 bis 100	10^{10}	1700		K	$T \leqslant 1700$ K	
Nernststift (ZrO_2 mit Y_2O_3)			++	10	10^{11}	1400		K	$T < 2300$ K, Strombegrenzung	erfordert Vorheizung auf ≈ 1100 K
Auer-Glühstrumpf (ThO_2 mit CeO_2)			+	100			10^5	K + L	Heizung durch Gasflamme, $T \approx 1800$ K	Emissionsgrad im IR für $\lambda < 8\,\mu m$ nur gering
Kohlebogen			++	10	$3 \cdot 10^{12}$	760		K + L	ca. 70 V; 7,3 A	Strahlung des Anodenkraters $T \approx 3900$ K
Hohlraumstrahler			++	10 bis 100				K	$T < 3500$ K	Strahlungsleistung *berechenbar* nach Planckschem Strahlungsgesetz
W-Drahtlampen, ungewendelt			+++			1000	10^5	K	30 V =; 6 A	z.B. OSRAM Wi 40 ($I_v \approx 250$ cd)
W-Drahtlampen, gewendelt			++			950	10^8	K		Strahlungsfeld oft strukturiert
W-Halogenglühlampen			++			900	10^8	K	1000 W, 8,3 A	Bevorzugt Doppelwendellampen ohne zusätzliche Halterung der Wendel
W-Bandlampen			+++	10	$1{,}4 \cdot 10^{11}$	1000		K	15 V =; 20 A, $T_S \leqslant 2600$ K	Kalibrierbare Strahlerfläche ca. 2 mm × 0,3 mm
Xe, Hg – Höchstdrucklampen	Gasentladungsstrahler		++	0,1 bis 10	10^{13}			K + L	25 A = (Hg), 40 A = (Xe)	Vorschaltgerät
Xe, Hg – Hochdrucklampen			++		10^{12}		10^9	K + L		Vorschaltgerät
Hg-Niederdrucklampen			+					L	0,1 A; Strombegrenzung	hauptsächlich Strahlung $\lambda = 254$ nm

Fortsetzung T 6.04a

Strahler	Strahlerprinzip	Nutzbarer Spektralbereich 10^0 nm	10^1 nm	10^2 nm	10^3 nm	10^4 nm	10^5 nm	Zeitliche Konstanz	Strahlerfläche in mm^2 (typisch)	Radiometrische Größe L_λ $Wm^{-3}\,sr^{-1}$	λ*) nm	I_λ $Wm^{-1}\,sr^{-1}$	Beschaffenheit d. Spektrums **)	Typische Betriebsparameter	Bemerkungen
Halogen-Metalldampflampen	Gasentladungsstrahler				—			++					K + L	Vorschaltgerät	i. a. gute Farbwiedergabe
D_2-Lampe	Gasentladungsstrahler				—			++	1	$6 \cdot 10^{10}$	190		K + L	0,3 A =	unterhalb ≈ 165 nm Bandenstrahlung
H_2-Lichtbogen	Gasentladungsstrahler			—	—			++	0,1 bis 10	$8 \cdot 10^{13}$	90		K + L	80 A =	*berechenbar*, mit differentiellem Pumpsystem nutzbar bis $\lambda \approx 60$ nm
Edelgas-Lichtbogen	Gasentladungsstrahler			—	—	—		++	0,1 bis 10	$1 \cdot 10^{12}$	330		K + L	10 A =	
Spektrallampen	Gasentladungsstrahler				—			++					L	220 V ~; 1 A; Strombegrenzung	hauptsächlich für Wellenlängen-Kalibrierungen
Hohlkathodenlampen	Gasentladungsstrahler				—			++					L	500 V =; 0,01 A; Strombegrenzung	hauptsächlich für Wellenlängen-Kalibrierungen, hohe spektrale Reinheit
Lasererzeugte Plasmen	Kurzzeitplasmastrahl.	—	—	—	—				0,01 bis 1		15	$2 \cdot 10^{14}$	K + L	Laserpulsenergie 1 J $\lambda = 1{,}06\ \mu m$	Strahlungsdauer $\approx 10^{-8}$ s
Vakuumfunken	Kurzzeitplasmastrahl.		—	—	—				0,01 bis 1				K + L	z.B. BRV-Quelle $C = 0{,}05\ \mu F$; $U = 20$ kV	Strahlungsdauer $\approx 10^{-7}$ s
Lumineszenzdioden	Lumineszenz				—	—		++				10^4	L	1,5 V; 0,05 A	Φ_λ und $\Phi_{\lambda rel}$ temperaturabhängig
Luminophore	Lumineszenz				—			++					L	Anregung z. B. durch β-Strahler	
Elektronenspeicherring		—	—	—	—	—	—	+++	0,01 bis 10		2	$2 \cdot 10^{13}$	K	≈ 100 mA, $E = 800$ MeV	spektrale Synchrotronstrahlungsleistung nach Schwinger *berechenbar*

*) λ: ungefähre Wellenlänge der maximalen Strahlungsemission

**) K: Kontinuierliches Spektrum; L: Linien- oder Bandenspektrum

6.04b Lichtquellen[1]) für die Photometrie

Lampenart und Verwendung	Strom-art	Spannung V	Stromstärke oder Leistung	Photometrische Daten	Verteilungs-temperatur K	Hersteller[2]) (Type)	Bemerkungen
Glühlampen für Lichtstärke und Verteilungs-temperatur	=	15 bis 31	4 A bis 6 A	10 cd bis 300 cd	2150 bis 2850	Osram (Wi 41/G)	Ebener Leuchtkörper, ca. $18 \times 18\,mm^2$, glatter Draht
	=	4 bis 20	13 A bis 32 A	2 cd bis 1600 cd	1900 bis 3300	GEC (T 75-325)	Leuchtkörper, ca. $14 \times 20\,mm^2$, gewendelter Draht
	=	4	4 W	4 cd	2850	GEC	ungeeignet als T_v-Normal, Leuchtkörperwendel 4 mm lang
Glühlampen für Lichtstrom	=	110 oder 220	40 W bis 1000 W	250 lm bis 15000 lm	2650 bis 2800	GEC	großer, klarer, kugelförmiger Glaskolben, Draht an Halter geschweißt
Hochdruck-Entladungslampen für Lichtstrom	~	220	70 W bis 400 W	5000 lm bis 50000 lm	–	fast alle	nur ausgesuchte elektrisch und photometrisch stabile Lampen; Betrieb mit passendem Vorschaltgerät
Niederdruck-Entladungslampen für Lichtstrom	~	220	36 W bis 65 W	1500 lm bis 4500 lm	–	fast alle	nur ausgesuchte elektrisch und photometrisch stabile Lampen; Betrieb mit passendem Vorschaltgerät
Glühlampen-normale für Leuchtdichte	~ oder =	220 oder 3 bis 30		bis zu 3000 cd m^{-2}	≈ 2800 od. var. 1900 bis 2800	LMT, Gamma Scientific, Photo Research	Lichtaustrittsflächen-Durchmesser 20 mm bis 60 mm, Leuchtdichte konstant oder stufenlos einstellbar

[1]) als photometrische Arbeitsnormale geeignete Lichtquellen

[2]) die Angaben von Herstellern erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit

6.05 Typische Werte der spektralen Strahldichte von Gebrauchsnormalen – *Typical values of spectral radiance for transfer standards* (M. Kühne, B. Wende)

λ nm	L_λ Spektrale Strahldichte in W $m^{-3}sr^{-1}$ Wolfram-bandlampe[1])	Kohle-bogen[2])	Deuterium-lampe[3])	Ar-Brenner[4]) (PTB)	Ar-Brenner[5]) (NBS)	Ar-Brenner[6]) (NPL)
1000	$1{,}4 \cdot 10^{11}$	$2{,}8 \cdot 10^{12}$				
900	$1{,}3 \cdot 10^{11}$	$3{,}2 \cdot 10^{12}$				
800	$1{,}1 \cdot 10^{11}$	$3{,}3 \cdot 10^{12}$				
700	$8{,}5 \cdot 10^{10}$	$3{,}2 \cdot 10^{12}$				
600	$5{,}0 \cdot 10^{10}$	$2{,}8 \cdot 10^{12}$				
500	$2{,}0 \cdot 10^{10}$	$2{,}0 \cdot 10^{12}$				
400	$3{,}7 \cdot 10^{9}$	$9{,}3 \cdot 10^{11}$				
340	$7{,}0 \cdot 10^{8}$	$3{,}9 \cdot 10^{11}$				
330		$3{,}3 \cdot 10^{11}$		$1{,}0 \cdot 10^{12}$	$7{,}4 \cdot 10^{11}$	
320	$3{,}4 \cdot 10^{8}$	$2{,}7 \cdot 10^{11}$	$8{,}2 \cdot 10^{9}$	$1{,}0 \cdot 10^{12}$	$6{,}9 \cdot 10^{11}$	
300	$1{,}4 \cdot 10^{8}$	$1{,}7 \cdot 10^{11}$	$1{,}2 \cdot 10^{10}$	$9{,}5 \cdot 10^{11}$	$7{,}0 \cdot 10^{11}$	
260		$5{,}6 \cdot 10^{10}$	$2{,}3 \cdot 10^{10}$	$7{,}7 \cdot 10^{11}$	$5{,}8 \cdot 10^{11}$	
230			$3{,}9 \cdot 10^{10}$	$5{,}7 \cdot 10^{11}$	$4{,}4 \cdot 10^{11}$	
200			$5{,}8 \cdot 10^{10}$	$3{,}7 \cdot 10^{11}$	$3{,}1 \cdot 10^{11}$	$2{,}2 \cdot 10^{12}$
180			$5{,}7 \cdot 10^{10}$	$2{,}2 \cdot 10^{11}$	$2{,}1 \cdot 10^{11}$	$1{,}6 \cdot 10^{12}$
165				$1{,}4 \cdot 10^{11}$	$1{,}3 \cdot 10^{11}$	$1{,}0 \cdot 10^{12}$
140				$6{,}5 \cdot 10^{10}$	$5{,}7 \cdot 10^{10}$	$5{,}1 \cdot 10^{11}$
124				$8{,}2 \cdot 10^{10}$	$4{,}1 \cdot 10^{10}$	$3{,}8 \cdot 10^{11}$
115					$8{,}5 \cdot 10^{10}$	$6{,}0 \cdot 10^{11}$
110						$3{,}3 \cdot 10^{12}$
100						$1{,}6 \cdot 10^{12}$
96						$6{,}0 \cdot 10^{12}$

Typische Betriebsbedingungen:

[1]) Wolframbandlampe Fa. Osram bei $I = 12{,}525$ A und $T_s \approx 2300$ K.

[2]) $U = 70$ V, $I = 7{,}3$ A, Anode: RW II, Kathode: Noris D. Weitere Angaben: Magdeburg, H.; Schley, U. (1966): Spektralphotometrische Eigenschaften des Niederstrom-Kohlebogens. Z. angew. Phys. **20**, 464–476. Einfeld, D.; Stuck, D. (1978): Calibration of the Spectral Radiance of a Low Current Carbon Arc between 185 nm and 340 nm. Z. Naturforsch. **33a**, 502–504.

[3]) Deuteriumlampe D-60 F, Fa. Quarzlampengesellschaft mbH, Hanau, bei $I = 300$ mA.

[4]) $I = 10$ A, Kanaldurchmesser 1,2 mm, $p = 1{,}2 \cdot 10^5$ Pa. Weitere Angaben: Einfeld, D.; Grützmacher, K.; Stuck, D. (1979): On the use of a low current argon arc with a MgF_2-window as a vuv-transfer standard of the spectral radiance (125 nm $\leqslant \lambda \leqslant$ 335 nm). Z. Naturforsch. **34a**, 233–238.

[5]) $I = 50$ A, Kanaldurchmesser 4 mm. Weitere Angaben: Bridges, J. M.; Ott, W. R. (1977): Vacuum ultraviolet radiometry. 3. The argon mini-arc as a new secondary standard of spectral radiance. Appl. Opt. **16**, 367–376.

[6]) $I = 40$ A, Kanaldurchmesser 3 mm, $p = 1{,}75 \cdot 10^5$ Pa, differentielles Pumpsystem. Weitere Angaben: Preston, R. C.; Brookes, C.; Clutterbuck, F. W. J. (1980): Vacuum ultraviolet radiance transfer standard based on an argon mini-arc with integral differential pumping unit. J. Phys. E **13**, 1206–1213.

6.06 Strahlungsempfänger für die Radiometrie – *Radiation detectors for radiometry* (K. Möstl, M. Kühne, B. Wende)

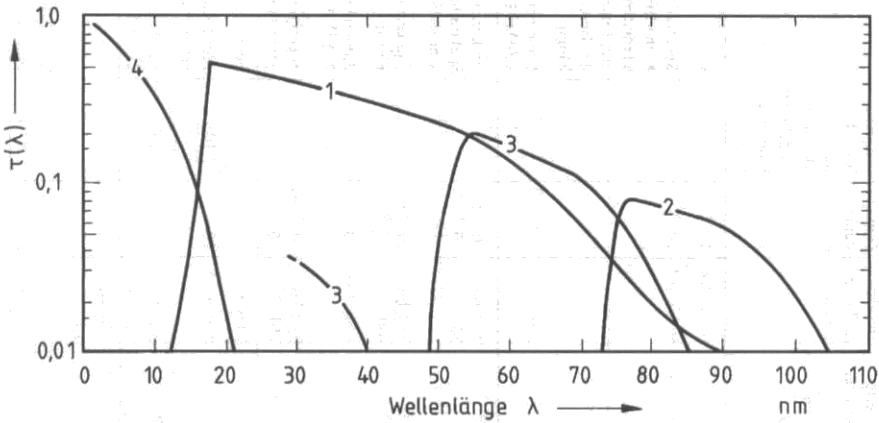
Empfänger	Empfänger-Prinzip	Nutzbarer Spektralbereich (10^0 nm, 10^1 nm, 10^2 nm, 10^3 nm, 10^4 nm, 10^5 nm)	Empfänger-Eingangsgröße	Empfänger-Ausgangsgröße	Eignung für Absolutmessung	Zeitliche Konstanz	Linearität	Typische Werte von Empfängergrößen: Empfindlichkeit	Normierte Detektivität in $\frac{\sqrt{\text{Hz}\cdot\text{cm}}}{\text{W}}$	Empfängerfläche in mm²	Zeitkonstante in s	Frequenzbereich für die Messung modulierter Strahlung in Hz	Bemerkungen
Großflächige Thermosäule ohne Fenster[1])	thermisch		Φ, E	U	+++	+++	+++	0,2 V/W	$5 \cdot 10^6$	100 bis 1000	10		Empfindlich gegen Druckschwankung
Dünnschicht-Vakuumthermosäule[1])	thermisch		$\Phi(\lambda)/\Phi(\lambda_0)$ E	U	+	+++	+++	20 V/W	10^8	0,1 bis 10	0,02	0 bis 5	Fenster begrenzt den Spektralbereich
Metallfilm-bolometer[6])	thermisch		E	U	+	++	++	5 V/W	10^8	1 bis 10	0,001	0 bis 100	Wheatstone-Brücke verwenden
Ge(Ga)-Bolometer[6])	thermisch		E	U	+			$3 \cdot 10^5$ V/W	$3 \cdot 10^{13}$	0,01 bis 10	10^{-4} bis 0,5	bis 1000	$T \approx 2$ K
Pyroelektrischer Empfänger[1])	thermisch		Φ, E	I oder U	++	+	++	10^{-6} A/W 100 V/W	$4 \cdot 10^8$	1 bis 100		10 bis 1000	Nur für modulierte Strahlung
Golay-Empfänger[1])	thermisch		$\Phi(\lambda)/\Phi(\lambda_0)$ E	U	+	++	++	$2 \cdot 10^6$ V/W	$5 \cdot 10^9$	5 bis 20		5 bis 25	
PbS-Photoleiter[5])	Photoleitung		E	I oder U	–		+	10^5 V/W	$3 \cdot 10^{11}$	0,1 bis 100		0 bis 100	Lock-in-Technik verwenden
PbSe-Photoleiter[7])	Photoleitung		E	I oder U	––		+	$5 \cdot 10^3$ V/W	10^9	0,1 bis 100	10^{-5}		
(Hg,Cd)Te-Photoleiter[4])	Photoleitung		E	I oder U	–		+	10^4 V/W	$3 \cdot 10^{10}$	0,01 bis 10	$5 \cdot 10^{-7}$	$\leqslant 10^4$	Meistens gekühlt. Spektrale Empfindlichkeit hängt vom Hg/Cd-Legierungsverhältnis ab
InSb-Photoleiter[6])	Photoleitung		E	I oder U	–		++		$3 \cdot 10^8$	0,01 bis 20	10^{-6}		$T = 77$ K
Ge(Cu)-Photoleiter	Photoleitung		E	I oder U	–		++	10^5 V/W	$2 \cdot 10^{10}$	0,1 bis 10	10^{-7}		$T \leqslant 20$ K

Nutzbarer Spektralbereich im Bereich von UV-C bis IR-C:
[1]) UV-C bis IR-C, [2]) UV-C bis IR-A, [3]) UV-A bis VIS, [4]) VIS bis IR-C, [5]) VIS bis IR-B, [6]) IR-A bis IR-C, [7]) IR-A bis IR-B, [8]) IR-B bis IR-C.

Fortsetzung T 6.06

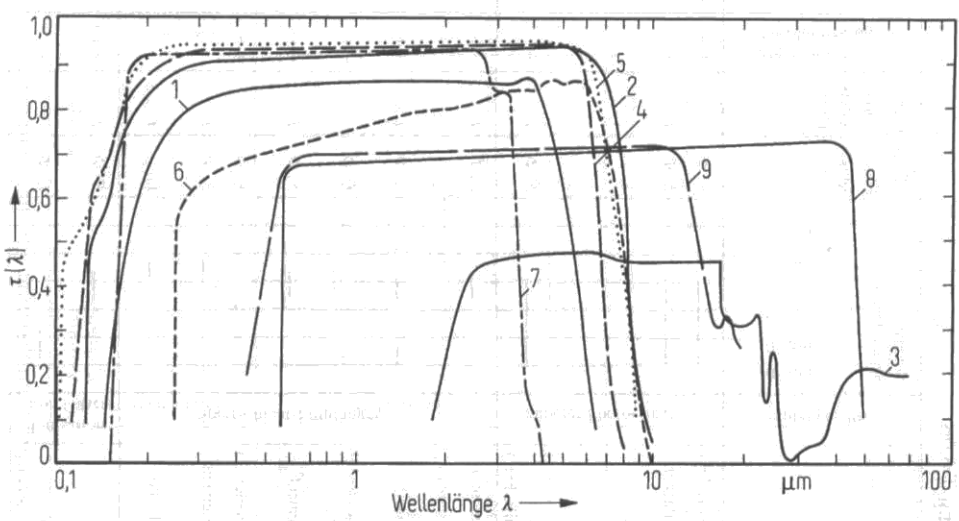
Empfänger	Empfänger-Prinzip	Nutzbarer Spektralbereich (10^0 nm, 10^1 nm, 10^2 nm, 10^3 nm, 10^4 nm, 10^5 nm)	Empfänger-Eingangsgröße	Empfänger-Ausgangsgröße	Eignung für Absolutmessung	Zeitliche Konstanz	Linearität	Typische Werte von Empfängergrößen: Empfindlichkeit	Normierte Detektivität in $\frac{\sqrt{\text{Hz}}\cdot\text{cm}}{\text{W}}$	Empfängerfläche in mm^2	Zeitkonstante in s	Frequenzbereich für die Messung modulierter Strahlung in Hz	Bemerkungen
Vakuumphotozelle[2])	äußerer Photoeffekt		E, Φ	I	++	++	++	10^{-2} A/W	10^{10}	10 bis 200	10^{-6}		
Photovervielfacher[2])	äußerer Photoeffekt		E, Φ	I	+	+	+	10^4 A/W	10^{15} bis 10^{18}	50 bis 10^4	10^{-6}		Spektralbereich von Kathoden- u. Fenstermaterial abhängig; Linearität von der Beschaltung abhängig
Kanalplatten-Photovervielfacher[2])	äußerer Photoeffekt		E, Φ	I	+	+	+	10^4 A/W	10^{15}	200	$3 \cdot 10^{-10}$		Ohne Fenster Einsatz bis 1 nm
Si-Photoelement[2])	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I	++	++	+++	0,5 A/W	$6 \cdot 10^{13}$	0,01 bis 500	10^{-3} bis 10^{-6}		Im kurzwelligen Spektralbereich nicht sehr stabil
Si-Photodiode[2])	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I, U	++	++	+++	0,5 A/W	$3 \cdot 10^{12}$	0,01 bis 100	10^{-6} bis 10^{-9}		Dunkelstrom erniedrigt D^*
Si(Li)-Diode	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I	++	++	++	0,25 A/W		1 bis 300	10^{-4}		Zählrate bis $2 \cdot 10^4$ Pulse/s
Ge-Photoelement[5])	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I	++	++	++	0,6 A/W	$8 \cdot 10^{10}$	0,01 bis 150	10^{-3} bis 10^{-5}		Niedrigen Innenwiderstand beachten
GaAsP-Photoelem.[3])	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I	++	++	+++	0,3 A/W	10^{14}	1 bis 30	10^{-5}		Sehr hochohmig
InAs-Photoelement[7])	Sperrschicht-Empfänger		E, Φ	I				1 A/W	10^{11}	0,05 bis 5	10^{-6}	$\leqslant 10^6$	Meist Kühlung erforderlich
(Hg,Cd)Te-Photoelement[8])	Sperrschicht-Empfänger		E	I				0,8 A/W	$4 \cdot 10^8$	0,01 bis 0,3		$\leqslant 10^6$	Bei T= 200 K: $D^* \approx 5 \cdot 10^{10}$
Ionisationskammer[2])	Ionisation von Gasen		E, Φ	I	+++	+++	+++	0,05 A/W		0,01 bis 0,1			
Proportionalzähler	Ionisation von Gasen		E, Φ		+	+	+	1 Puls pro Photon		1 bis 100	10^{-4}		Max. Zählrate $\approx 10^4$ Pulse pro Sekunde

6.07 Spektraler Transmissionsgrad von Folien im Vakuum-UV – *Spectral transmittance of foils in the vacuum*-UV (M. Kühne, B. Wende)



Spektraler Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ von Folien der Dicke d: 1 Aluminium, $d \approx 150$ nm; 2 Indium, $d \approx 160$ nm; 3 Zinn, $d \approx 160$ nm; 4 Polypropylen, $d \approx 800$ nm. Geglättete Richtwerte (Herstellerangabe)

6.08 Spektraler Transmissionsgrad von optischen Fenstern im UV, Sichtbaren und nahen IR – *Spectral transmittance of optical windows in the* UV, *visible, and near* IR (K. Möstl)



Spektraler Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ von Fenstermaterialien der Dicke d: 1 Saphir, $d = 1$ mm; 2 Kalziumfluorid, $d = 2$ mm; 3 Germanium, $d = 1{,}5$ mm; 4 Lithiumfluorid, $d = 10$ mm; 5 Magnesiumfluorid, $d = 2$ mm; 6 Irtran 5, $d = 2$ mm; 7 Quarzglas, $d = 3$ mm; 8 KRS, $d = 1$ mm; 9 Zinkselenid, $d = 10$ mm

6.09 Mittlerer IR-Absorptionsgrad für Stickstoff und Stickstoff-Sauerstoffgemische mit H_2O- oder CO_2-Anteil – *Mean* IR *absorptance of nitrogen and nitrogen oxygen mixtures containing* H_2O *and* CO_2 (H.J. Jung)

CO_2-freies Gas mit 10 gm^{-3} H_2O bei 101325 Pa und 20 °C (58% rel. Feuchte)

H_2O-Bande	Wellenlängenbereich	mittlerer Absorptionsgrad längs einer Strecke von		
µm	µm	10 m	100 m	1000 m
6,3	4,88 bis 8,70	0,35	0,60	0,84
3,2	2,99 bis 3,57	0,05	0,17	0,55
2,7	2,27 bis 2,99	0,26	0,49	0,73
1,87	1,69 bis 2,08	0,10	0,28	0,49
1,38	1,25 bis 1,54	0,08	0,21	0,52
1,1	1,08 bis 1,20	0,02	0,06	0,17
0,94	0,87 bis 0,99	0,02	0,05	–

H_2O-freies Gas mit 0,03% CO_2 bei 101325 Pa

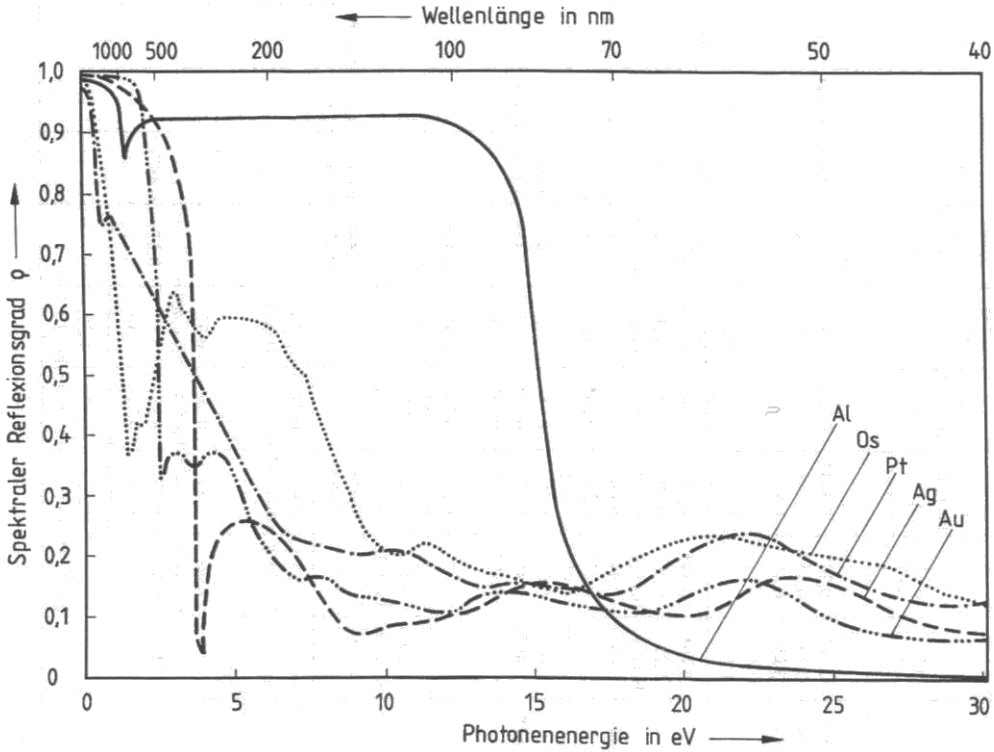
CO_2-Bande	Wellenlängenbereich	mittlerer Absorptionsgrad längs einer Strecke von		
µm	µm	50 m	500 m	5000 m
15	12,50 bis 18,18	0,31	0,53	0,75
5,2	5,05 bis 5,35	<0,01	0,01	0,04
4,8	4,63 bis 5,05	0,01	0,03	0,10
4,3	4,00 bis 4,63	0,37	0,47	0,57
2,7	2,63 bis 2,87	0,23	0,47	0,71
2,0	1,92 bis 2,11	0,02	0,06	0,21
1,6	1,53 bis 1,67	<0,01	0,01	0,02
1,4	1,38 bis 1,50	<0,01	0,01	0,02

Für andere Absorberkonzentrationen oder Absorptionsstrecken s. Howard, J. N.; Burch, D. E.; Williams, D. (1956): Infrared Transmission of Synthetic Atmospheres. J. Opt. Soc. Am. **46**, 237–245.

6.10 Spektraler Reflexionsgrad und optische Konstanten von Metallen – *Spectral reflectance and optical constants of metals*

(E. Tegeler)

Photonenenergie in eV	λ in nm	Al			Au			Ag			Pt			Os		
		n	κ	ϱ	n	κ	ϱ	n	κ	ϱ	n	κ	ϱ	n	κ	ϱ
0,1	12399	34,46	105,6	0,9889	8,17	82,83	0,995	9,91	90,27	0,995	13,21	44,72	0,976	4,08	50,23	0,994
0,15	8267	18,57	76,96	0,9882	3,71	55,55	0,995				8,18	31,16	0,969	2,90	33,60	0,990
0,2	6199	11,73	59,37	0,9873	2,13	41,73	0,995	2,84	45,70	0,995	5,90	23,95	0,962	2,44	25,11	0,985
0,3	4133	6,759	40,96	0,9844	0,99	27,82	0,995	1,41	30,51	0,994	3,92	16,16	0,945	2,23	16,54	0,969
0,4	3100	4,454	31,49	0,9826	0,59	20,83	0,995	0,91	22,89	0,993	2,81	11,38	0,922	2,45	12,32	0,940
0,5	2480	3,072	25,58	0,9817	0,39	16,61	0,994	0,67	18,32	0,992	3,91	7,71	0,813	2,41	9,97	0,913
0,7	1771	1,770	18,33	0,9794	0,22	11,75	0,994				5,71	6,83	0,751	2,02	7,04	0,862
1,0	1240	1,212	12,46	0,9697	0,13	8,03	0,992	0,28	9,03	0,987	4,25	6,62	0,762	2,09	4,41	0,712
1,5	823	2,745	8,309	0,8678	0,08	4,98	0,988	0,27	5,79	0,969	2,92	5,07	0,716	2,84	1,80	0,369
2,0	620	1,304	7,479	0,9148	0,13	3,16	0,953	0,27	4,18	0,944	2,30	4,07	0,664	3,98	1,60	0,418
3,0	413	0,523	5,024	0,9241	1,54	1,80	0,369	0,23	2,27	0,864	1,75	2,92	0,575	4,05	4,40	0,639
4,0	310	0,294	3,740	0,9248	1,55	1,81	0,369	1,61	0,60	0,103	1,49	2,25	0,472	2,71	3,34	0,565
5,0	248	0,190	2,942	0,9244	1,22	1,49	0,319	1,55	1,36	0,257	1,36	1,76	0,372	1,74	3,12	0,596
7,0	177	0,095	1,983	0,9262	1,34	0,95	0,162	1,18	1,06	0,196	1,50	1,24	0,230	0,95	2,00	0,514
10,0	124	0,044	1,178	0,9286	1,37	0,80	0,126	1,46	0,56	0,082	1,46	1,15	0,209	1,16	1,10	0,209
15	82,3	0,125	0,153	0,6119	1,25	0,84	0,134	1,56	0,92	0,156	1,27	0,91	0,150	1,16	0,90	0,151
20	62,0	0,668	0,027	0,0398	1,18	0,83	0,133	1,29	0,71	0,103	1,18	1,06	0,197	0,99	1,10	0,235
30	41,3	0,876	0,013	0,0044	0,86	0,48	0,064	0,93	0,54	0,074	0,73	0,58	0,124	0,65	0,49	0,121
40	31,0	0,940	0,008	0,0010	0,754	0,438		0,90	0,37	0,039				0,84	0,26	0,026
50	24,8	0,969	0,006	0,0003	0,795	0,272		0,88	0,29	0,027						
70	17,7	1,006	0,004	0	0,828	0,155		0,83	0,20	0,021						
100	12,4	0,991	0,030	0,0002	0,889	0,0454		0,87	0,04	0,005						
150	8,23	0,989	0,0173		0,963	0,0101		0,963	0,00407	0						
200	6,20	0,991	0,00876		0,983	0,0115		0,982	0,00377							
300	4,13	0,996	0,00257		0,991	0,00895		0,996	0,00232							
400	3,10	0,998	0,00101					0,998	0,00882							
500	2,48	0,999	0,000466		0,995	0,00471		0,997	0,00457							
700	1,77															
1000	1,24	1,000	0,000031		0,998	0,00096		0,998	0,00053							



Spektraler Reflexionsgrad ϱ für senkrechten Einfall, n und $\varkappa$ Real- bzw. Imaginärteil der Brechzahl. Daten für kleine Photonenenergien aus: Physik Daten, Fachinformationszentrum Energie, Physik Mathematik, 1981, Bd. 18-1 und 18-2, für große Photonenenergien (Al und Ag ab 150 eV, Au ab 40 eV) aus: Hagemann; Gudat; Kunz (1975): J. Opt. Soc. Am. **65**, 742.

Für beliebigen Einfallswinkel kann $\varkappa$ nach den Fresnelschen Formeln (Gl. (6.294) und (6.295) in **6**.5.2.4, Bd. 2) aus n und $\varkappa$ berechnet werden.

6.11 Spektraler Emissionsgrad von Metallen für λ= 0,65 µm als Funktion der Temperatur, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of metals at* $\lambda = 0{,}65\ \mu m$ *as function of temperature; emission normal to the surface* (H.J. Jung)

Stoff	Temperatur in °C 600	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2800
Aluminium		0,12[f]	0,14[f]	0,17[f]							
Berylium						0,61					
Chrom								0,39			
Cobalt				0,33	0,34	0,34	0,35	0,37[f]			
Eisen		0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,44[f]	0,48[f]		
Erbium				0,55	0,55	0,55	0,55	0,38[f]			
Germanium		0,55	0,54								
Gold	0,16 bis 0,18*	0,16 bis 0,19*	0,16 bis 0,20*	0,16 bis 0,21*	0,22[f]	0,22[f]					
Hafnium						0,445	0,460				
Iridium				0,36 bis 0,38*	0,35 bis 0,38*	0,34 bis 0,37*	0,32 bis 0,37*	0,30		0,30	
Kupfer		0,11	0,11	0,10	0,10[f]	0,10[f]	0,11[f]	0,12[f]	0,14[f]		
Kupfer (oxidiert)	~0,7	~0,7	~0,7	~0,7							
Mangan						0,59	0,59[f]				
Molybdän	0,39*	0,38*	0,38*	0,384*	0,380*	0,376*	0,368*	0,361*	0,354*	0,346*	
Nickel	0,36*	0,35*	0,35*	0,34*		0,36	0,36				
Nickel (oxidiert)	~0,85	~0,85	~0,85	~0,85	~0,85	~0,85	~0,85				
Niob				0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	
Osmium				0,52	0,47	0,44	0,40	0,38	0,38	0,38	
Palladium		0,40*	0,39*	0,37*	0,36*	0,34*	0,30*	0,37[f]			
Platin		0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31	0,29 bis 0,31			
Rhenium	0,44	0,44	0,44	0,48			0,41	0,41	0,41	0,41	0,39
Rhodium			0,23*	0,22*	0,20*	0,19	0,18	0,16			
Silber		0,055*	0,055*	0,055*[f]							
Silicium		0,63	0,61	0,58	0,55	0,51	0,46	0,48[f]			
Tantal	0,47*	0,46*	0,46*	0,45*	0,44*	0,44*	0,42*	0,41*	0,40*	0,39*	0,37*
Tantal (oxidiert)			0,79*	0,79*	0,78*	0,78*					
Thorium				0,38*	0,38*	0,38*	0,38*				
Titan				0,52	0,52	0,50	0,47				
Uran		0,19 bis 0,36	0,19 bis 0,36	0,19 bis 0,36	0,19 bis 0,36	0,34[f]					
Wolfram		0,456		0,453		0,450	0,448	0,444	0,440	0,436	0,422
Zirkon				0,48		0,45	0,42	0,39	0,36		
Inconel X (oxidiert) (73 Ni, 15 Cr, 7 Fe)			0,85 bis 0,89*	0,82 bis 0,86*	0,79 bis 0,85*	0,76 bis 0,82*					
Inconel X			0,40 bis 0,45*	0,39 bis 0,43*	0,38 bis 0,42*	0,37 bis 0,40*					
Gußeisen		0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,40[f]			
rostfr. Stahl			0,34 bis 0,40*	0,32 bis 0,40*	0,31 bis 0,40*	0,30 bis 0,40*					
rostfr. Stahl (oxidiert)			0,52 bis 0,73*	0,52 bis 0,71*	0,52 bis 0,71*	0,52 bis 0,71*					

[f] flüssig, * 0,665 µm

6.12 Spektraler Emissionsgrad von Metallen bei hohen Temperaturen im Infraroten, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of metals at high temperature in the infrared; emission normal to the surface* (H.J. Jung)

Stoff	Temperatur in °C	Wellenlänge in μm 1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Cobalt	800		0,26					0,21					
	1000		0,26					0,21		0,18			
	1200		0,26					0,22		0,19			
Eisen	800		0,294			0,264		0,237	0,217				
	1000		0,294			0,267		0,245	0,227				
	1200		0,291			0,300		0,252	0,235				
	1245	0,340	0,316	0,298	0,290	0,282	0,268	0,260	0,248	0,240	0,235	0,225	0,218
Iridium	827	0,229	0,203	0,185		0,167	0,152	0,140					
	1227	0,233	0,213	0,194		0,180	0,169	0,160					
	1727	0,243	0,228	0,210		0,199	0,188	0,180					
	2127	0,247	0,233	0,219		0,207	0,199	0,192					
Kupfer	762				0,031			0,029				0,025	
	985	0,049			0,037		0,034		0,032	0,031		0,030	
Molybdän	1327	0,335			0,185			0,140		0,115		0,115	
	1727	0,300			0,195			0,170		0,155		0,145	
	2527	0,260			0,210			0,193		0,185		0,185	
Nickel	900		0,29				0,23			0,17			
	1100		0,29				0,23			0,18			
	1300		0,29				0,24			0,18			
Niob	827	0,345			0,23			0,19					
	1227	0,335			0,25			0,21					
	1727	0,320			0,26			0,23					
	2127	0,315			0,27			0,25					
Platin	557							0,17		0,125		0,095	
	1127		0,26		0,23			0,19		0,15		0,13	
Rhenium	1537	0,36	0,32	0,30	0,28	0,28	0,27	0,25	0,23				
	2115	0,36	0,33	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25				
	2772	0,36	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28	0,26				
Tantal	1427	0,295			0,220			0,190		0,170		0,150	
	1927	0,310			0,245			0,215		0,190		0,180	
	2527	0,330			0,290			0,270		0,240		0,225	
Titan	750	0,490		0,510		0,500		0,455		0,520	0,575	0,595	
Wolfram	1327	0,390	0,344	0,300	0,280	0,263	0,235	0,210	0,170	0,13		0,09	
	2127	0,372	0,340	0,310	0,296	0,283	0,262	0,244	0,210	0,18		0,15	
	2527	0,368	0,338	0,314	0,303	0,291	0,275	0,259	0,228				
Zirkon	1127	0,46	0,44	0,42	0,42			0,39	0,36	0,34			
	1327	0,44	0,40	0,40				0,36	0,35	0,33		0,31	
	1727	0,44		0,38		0,37		0,36	0,35	0,34	0,33	0,30	

6.13 Spektraler Emissiongrad von Hochtemperaturwerkstoffen für $\lambda = 0{,}65\ \mu m$ als Funktion der Temperatur, senkrechte Ausstrahlung – *Spectral emissivity of high temperature materials at* $\lambda = 0.65\ \mu m$ *as function of temperature; emission normal to the surface* (H.J. Jung)

Stoff	Temperatur in °C 600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500	2700	3000
Aluminiumoxid	0,40 bis 0,47[1])	0,23[2])	0,29 bis 0,34[2])	0,33 bis 0,36[2])	0,39 bis 0,50[2])	0,35 bis 0,37[1])					
Bornitrid		0,64	0,59 bis 0,64	0,59 bis 0,63	0,60 bis 0,63	0,60 bis 0,62					
Graphit			0,74 bis 0,90[2])	0,74 bis 0,90[2])	0,72 bis 0,90[2])	0,70 bis 0,89	0,80 bis 0,88	0,80 bis 0,85	0,78 bis 0,88	0,77 bis 0,85	0,79 bis 0,85
Magnesiumoxid			0,21	0,28	0,35						
Siliciumnitrid		0,77	0,77	0,77	0,77	0,77					
Zirkondioxid			0,43[2])	0,43 bis 0,48[2])	0,50 bis 0,52[2])		0,45[3])	0,7[3])			

[1]) 0,64 µm, [2]) 0,665 µm, [3]) 0,69 µm

6.14 Gesamtemissionsgrad verschiedener Metalloberflächen – *Total emissivity of some metal surfaces* (J. Lohrengel)

Stoff	Temperatur in °C 20		50		100		200		500		1000		1500		2000		2500	
	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ
Metalle																		
Aluminium, poliert		0,05		0,05		0,05		0,06										
handelsübl. Folie,					0,09													
stark oxidiert					0,20		0,23		0,31									
Beryllium											0,56							
Blei,																		
nicht oxidiert					0,05		0,07											
oxidiert							0,63											
Chrom, poliert					0,06	0,07	0,06	0,07										
oxidiert									0,15		0,46							
Cobalt							0,16		0,21		0,69							
Eisen, poliert					0,07	0,10	0,08	0,13	0,14	0,20	0,21	0,28						
Gußeisen,																		
geschmolzen													0,29					
Germanium, poliert									0,56									
Gold, poliert		0,026					0,020	0,035	0,031	0,052								

Fortsetzung T 6.14

	Temperatur in °C																			
	20		50		100		200		500		1000		1500		2000		2500	
	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ
Kupfer, poliert		0,03		0,03		0,03		0,03	0,015	0,03								
oxidiert bei 760 °C bis zum stabilen Oxidationszustand									0,54	0,56								
Magnesium, poliert								0,12										
Molybdän, poliert					0,08	0,12	0,09	0,04–0,07	0,13	0,08–0,10	0,19	0,14–0,18	0,26	0,19–0,23		0,23–0,27		0,29
Nickel, poliert		0,09		0,09	0,07	0,09	0,08	0,10	0,12	0,13	0,18	0,20						
oxidiert									0,46									
Niob, poliert												0,16		0,20		0,24		
Palladium, poliert					0,01		0,03		0,06		0,12							
Platin, poliert					0,05	0,07	0,06	0,07	0,09	0,11	0,15	0,16		0,21				
Quecksilber		0,10		0,11		0,12												
Rhenium						0,13		0,14		0,17		0,22		0,26		0,32		0,35
auf 1700 °C erhitzt											0,21		0,28					
Rhodium, poliert							0,02		0,04		0,09							
Silber, poliert					0,019	0,019	0,021	0,022	0,029	0,032								
Tantal, poliert	0,03		0,04		0,04		0,04		0,06	0,09	0,11	0,15	0,16	0,20	0,22	0,26	0,29	0,30
Wolfram, gealtert														0,21–0,23		0,26–0,28		0,29–0,31
Zink, rein, poliert							0,04											
verzinktes Blech					0,21													
Zinn	0,04		0,04		0,05													
Legierungen																		
Aluminiumlegierung 2024 AlCuMg 2 (Dural), poliert	0,04		0,04		0,04		0,05		0,06									
verwittert	0,33–0,53		0,33–0,52		0,33–0,51		0,32–0,47		0,30 0,47									
Messing, poliert					0,03–0,06													
oxidiert							0,60		0,60									
Platin-Rhodium-Legierung									0,11		0,16		0,20					
Stahl DIN 1.4301 = AISI 304, poliert			0,111		0,118		0,132											
gesandstrahlt	0,458		0,463		0,471		0,488											

6.15 Gesamtemissionsgrad nichtmetallischer Oberflächen – *Total emissivity of non metallic surfaces* (J. Lohrengel)

Stoff	Temperatur in °C 20		50		100		200		500		1000		1500		2000		2500	
	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ	ε_n	ε_Δ
Nichtmetalle																		
Aluminiumoxid (Al_2O_3)					0,79		0,75		0,63		0,45		0,39					
Aluminiumoxid (Saphir)	0,53	0,53	0,54	0,54	0,56	0,56	0,53											
Aluminiumoxid (Al_2O_3) dicht			0,665		0,686		0,689											
Cobaltmonooxid (CoO)									0,87		0,90							
Graphit	0,77		0,77		0,77		0,78		0,79		0,81		0,82		0,82		0,82	
Elektrographit	0,607		0,613		0,623		0,642											
Magnesiumoxid (MgO)					0,73		0,69		0,54		0,34		0,31		0,54			
Siliciumcarbid (SiC)	0,83		0,83		0,83		0,84		0,85		0,86		0,82					
Siliciumnitrid									0,87		0,77							
Thoriumoxid											0,29		0,27		0,61			
Wolframcarbid									0,49		0,73		0,46		0,36		0,42	
Zinkoxid												0,81						
Zirkondioxid	0,74–0,84		0,73–0,83		0,72–0,81				0,48–0,60		0,24–0,43				0,76–0,93		0,49	
Glas und -keramik																		
B 260	0,911	0,846	0,913	0,848	0,916	0,851	0,928	0,865										
Borosilicatglas (Tempax®)	0,897	0,840			0,906	0,852	0,913	0,859										
Floatglas	0,902	0,845	0,910	0,853	0,915	0,858												
Glaskeramik (Robax®)	0,889	0,832			0,899	0,842	0,904	0,851										
Katacalor	0,911	0,848	0,913	0,850	0,918	0,855	0,932	0,868										
Kieselglas (Vitreosil)	0,857	0,784	0,860	0,787	0,865	0,791												
Maschinenglas	0,911		0,913		0,916		0,928											
Pyrex-Corning Nr. 7740	0,85		0,85		0,85		0,85		0,84		0,77							
Pyroceram, Magnesium-Aluminium-Silicat	0,81		0,80		0,78		0,74		0,67		0,59							
Tafelglas	0,911	0,852	0,913	0,854	0,918	0,858	0,932	0,871										

Fortsetzung T 6.15

Stoff	Temperatur in °C 20		50		100		200		500		1000		1500		2000		2500	
	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a	ε_n	ε_a
Mineralien																		
Basalt	0,72																	
Dolomit	0,41																	
Gips	0,80 bis 0,90																	
Kaolin, Isolationsstein													0,48					
Sand	0,76																	
Serpentin, poliert	0,90																	
Ton	0,39																	
Baustoffe																		
Asbestpappe	0,96																	
Asbestpapier			0,93															
Beton, rauh		0,94		0,94		0,94												
Betonplatte											0,63							
Dachpappe	0,91																	
Gummi	0,92																	
Holz, Eiche gehobelt		0,90		0,90		0,90												
Buche			0,94	0,91														
Magnesitziegel, feuerfest											0,38							
Marmor, poliert		0,90		0,90		0,90												
Papier		0,92																
Putz		0,91		0,91		0,91		0,91										
Schamotte											0,75							
Ton, glasiert	0,90																	
Ziegelstein, rot		0,93		0,93		0,93												
Anstriche																		
Nextel Velvet Coating 2010		0,97																
Platinschwarz (140 g/m²)		0,95																

Fortsetzung T 6.15

Stoff	Temperatur in °C 20		50		100		200		500		1000		1500		2000		2500	
	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$	ε_n	$\varepsilon_\triangle$
Kunststoffe																		
Acrylglas (Plexiglas)	0,97		0,97															
Epoxidharz					0,79–0,83													
Teflon	0,97		0,97		0,97		0,98											
Wasser und Eis																		
Wasser	0,95		0,96		0,96													

Eis, glatt mit Wasser bei 0 °C $\varepsilon_n = 0,966$ $\varepsilon_\triangle = 0,92$
Eis, rauher Reifbelag bei 0 °C $\varepsilon_n = 0,985$

6.16 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)$ – *Spectral luminous efficiency for photopic vision* $V(\lambda)$ (D. Förste, G. Sauter)

λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$
360	0.000 003 917 000	410	0.001 210 000	460	0.060 000 00
61	0.000 004 393 581	11	0.001 362 091	61	0.062 601 97
62	0.000 004 929 604	12	0.001 530 752	62	0.065 277 52
63	0.000 005 532 136	13	0.001 720 368	63	0.068 042 08
64	0.000 006 208 245	14	0.001 935 323	64	0.070 911 09
365	0.000 006 965 000	415	0.002 180 000	465	0.073 900 00
66	0.000 007 813 219	16	0.002 454 800	66	0.077 016 00
67	0.000 008 767 336	17	0.002 764 000	67	0.080 266 40
68	0.000 009 839 844	18	0.003 117 800	68	0.083 666 80
69	0.000 011 043 23	19	0.003 526 400	69	0.087 232 80
370	0.000 012 390 00	420	0.004 000 000	470	0.090 980 00
71	0.000 013 886 41	21	0.004 546 240	71	0.094 917 55
72	0.000 015 557 28	22	0.005 159 320	72	0.099 045 84
73	0.000 017 442 96	23	0.005 829 280	73	0.103 367 4
74	0.000 019 583 75	24	0.006 546 160	74	0.107 884 6
375	0.000 022 020 00	425	0.007 300 000	475	0.112 600 0
76	0.000 024 839 65	26	0.008 086 507	76	0.117 532 0
77	0.000 028 041 26	27	0.008 908 720	77	0.122 674 4
78	0.000 031 531 04	28	0.009 767 680	78	0.127 992 8
79	0.000 035 215 21	29	0.010 664 43	79	0.133 452 8
380	0.000 039 000 00	430	0.011 600 00	480	0.139 020 0
81	0.000 042 826 40	31	0.012 573 17	81	0.144 676 4
82	0.000 046 914 60	32	0.013 582 72	82	0.150 469 3
83	0.000 051 589 60	33	0.014 629 68	83	0.156 461 9
84	0.000 057 176 40	34	0.015 715 09	84	0.162 717 7
385	0.000 064 000 00	435	0.016 840 00	485	0.169 300 0
86	0.000 072 344 21	36	0.018 007 36	86	0.176 243 1
87	0.000 082 212 24	37	0.019 214 48	87	0.183 558 1
88	0.000 093 508 16	38	0.020 453 92	88	0.191 273 5
89	0.000 106 136 1	39	0.021 718 24	89	0.199 418 0
390	0.000 120 000 0	440	0.023 000 00	490	0.208 020 0
91	0.000 134 984 0	41	0.024 294 61	91	0.217 119 9
92	0.000 151 492 0	42	0.025 610 24	92	0.226 734 5
93	0.000 170 208 0	43	0.026 958 57	93	0.236 857 1
94	0.000 191 816 0	44	0.028 351 25	94	0.247 481 2
395	0.000 217 000 0	445	0.029 800 00	495	0.258 600 0
96	0.000 246 906 7	46	0.031 310 83	96	0.270 184 9
97	0.000 281 240 0	47	0.032 883 68	97	0.282 293 9
98	0.000 318 520 0	48	0.034 521 12	98	0.295 050 5
99	0.000 357 266 7	49	0.036 225 71	99	0.308 578 0
400	0.000 396 000 0	450	0.038 000 00	500	0.323 000 0
01	0.000 433 714 7	51	0.039 846 67	01	0.338 402 1
02	0.000 473 024 0	52	0.041 768 00	02	0.354 685 8
03	0.000 517 876 0	53	0.043 766 00	03	0.371 698 6
04	0.000 572 218 7	54	0.045 842 67	04	0.389 287 5
405	0.000 640 000 0	455	0.048 000 00	505	0.407 300 0
06	0.000 724 560 0	56	0.050 243 68	06	0.425 629 9
07	0.000 825 500 0	57	0.052 573 04	07	0.444 309 6
08	0.000 941 160 0	58	0.054 980 56	08	0.463 394 4
09	0.001 069 880	59	0.057 458 72	09	0.482 939 5

Fortsetzung T 6.16

λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$
510	0.503 000 0	560	0.995 000 0	610	0.503 000 0	660	0.061 000 00
11	0.523 569 3	61	0.992 600 5	11	0.490 468 8	61	0.057 396 21
12	0.544 512 0	62	0.989 742 6	12	0.478 030 4	62	0.053 955 04
13	0.565 690 0	63	0.986 444 4	13	0.465 677 6	63	0.050 673 76
14	0.586 965 3	64	0.982 724 1	14	0.453 403 2	64	0.047 549 65
515	0.608 200 0	565	0.978 600 0	615	0.441 200 0	665	0.044 580 00
16	0.629 345 6	66	0.974 083 7	16	0.429 080 0	66	0.041 758 12
17	0.650 306 8	67	0.969 171 2	17	0.417 036 0	67	0.039 084 96
18	0.670 875 2	68	0.963 856 8	18	0.405 032 0	68	0.036 563 84
19	0.690 842 4	69	0.958 134 9	19	0.393 032 0	69	0.034 200 48
520	0.710 000 0	570	0.952 000 0	620	0.381 000 0	670	0.032 000 00
21	0.728 185 2	71	0.945 450 4	21	0.368 918 4	71	0.029 962 61
22	0.745 463 6	72	0.938 499 2	22	0.356 827 2	72	0.028 076 64
23	0.761 969 4	73	0.931 162 8	23	0.344 776 8	73	0.026 329 36
24	0.777 836 8	74	0.923 457 6	24	0.332 817 6	74	0.024 708 05
525	0.793 200 0	575	0.915 400 0	625	0.321 000 0	675	0.023 200 00
26	0.808 110 4	76	0.907 006 4	26	0.309 338 1	76	0.021 800 77
27	0.822 496 2	77	0.898 277 2	27	0.297 850 4	77	0.020 501 12
28	0.836 306 8	78	0.889 204 8	28	0.286 593 6	78	0.019 281 08
29	0.849 491 6	79	0.879 781 6	29	0.275 624 5	79	0.018 120 69
530	0.862 000 0	580	0.870 000 0	630	0.265 000 0	680	0.017 000 00
31	0.873 810 8	81	0.859 861 3	31	0.254 763 2	81	0.015 903 79
32	0.884 962 4	82	0.849 392 0	32	0.244 889 6	82	0.014 837 18
33	0.895 493 6	83	0.838 622 0	33	0.235 334 4	83	0.013 810 68
34	0.905 443 2	84	0.827 581 3	34	0.226 052 8	84	0.012 834 78
535	0.914 850 1	585	0.816 300 0	635	0.217 000 0	685	0.011 920 00
36	0.923 734 8	86	0.804 794 7	36	0.208 161 6	86	0.011 068 31
37	0.932 092 4	87	0.793 082 0	37	0.199 548 8	87	0.010 273 39
38	0.939 922 6	88	0.781 192 0	38	0.191 155 2	88	0.009 533 311
39	0.947 225 2	89	0.769 154 7	39	0.182 974 4	89	0.008 846 157
540	0.954 000 0	590	0.757 000 0	640	0.175 000 0	690	0.008 210 000
41	0.960 256 1	91	0.744 754 1	41	0.167 223 5	91	0.007 623 781
42	0.966 007 4	92	0.732 422 4	42	0.159 646 4	92	0.007 085 424
43	0.971 260 6	93	0.720 003 6	43	0.152 277 6	93	0.006 591 476
44	0.976 022 5	94	0.707 496 5	44	0.145 125 9	94	0.006 138 485
545	0.980 300 0	595	0.694 900 0	645	0.138 200 0	695	0.005 723 000
46	0.984 092 4	96	0.682 219 2	46	0.131 500 3	96	0.005 343 059
47	0.987 418 2	97	0.669 471 6	47	0.125 024 8	97	0.004 995 796
48	0.990 312 8	98	0.656 674 4	48	0.118 779 2	98	0.004 676 404
49	0.992 811 6	99	0.643 844 8	49	0.112 769 1	99	0.004 380 075
550	0.994 950 1	600	0.631 000 0	650	0.107 000 0	700	0.004 102 000
51	0.996 710 8	01	0.618 155 5	51	0.101 476 2	01	0.003 838 453
52	0.998 098 3	02	0.605 314 4	52	0.096 188 64	02	0.003 589 099
53	0.999 112 0	03	0.592 475 6	53	0.091 122 96	03	0.003 354 219
54	0.999 748 2	04	0.579 637 9	54	0.086 264 85	04	0.003 134 093
555	1.000 000 0	605	0.566 800 0	655	0.081 600 00	705	0.002 929 000
56	0.999 856 7	06	0.553 961 1	56	0.077 120 64	06	0.002 738 139
57	0.999 304 6	07	0.541 137 2	57	0.072 825 52	07	0.002 559 876
58	0.998 325 5	08	0.528 352 8	58	0.068 710 08	08	0.002 393 244
59	0.996 898 7	09	0.515 632 3	59	0.064 769 76	09	0.002 237 275

Fortsetzung T 6.16

λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$
710	0.002 091 000	750	0.000 120 000 0	790	0.000 007 465 700
11	0.001 953 587	51	0.000 111 859 5	91	0.000 006 959 567
12	0.001 824 580	52	0.000 104 322 4	92	0.000 006 487 995
13	0.001 703 580	53	0.000 097 335 60	93	0.000 006 048 699
14	0.001 590 187	54	0.000 090 845 87	94	0.000 005 639 396
715	0.001 484 000	755	0.000 084 800 00	795	0.000 005 257 800
16	0.001 384 496	56	0.000 079 146 67	96	0.000 004 901 771
17	0.001 291 268	57	0.000 073 858 00	97	0.000 004 569 720
18	0.001 204 092	58	0.000 068 916 00	98	0.000 004 260 194
19	0.001 122 744	59	0.000 064 302 67	99	0.000 003 971 739
720	0.001 047 000	760	0.000 060 000 00	800	0.000 003 702 900
21	0.000 976 589 6	61	0.000 055 981 87	01	0.000 003 452 163
22	0.000 911 108 8	62	0.000 052 225 60	02	0.000 003 218 302
23	0.000 850 133 2	63	0.000 048 718 40	03	0.000 003 000 300
24	0.000 793 238 4	64	0.000 045 447 47	04	0.000 002 797 139
725	0.000 740 000 0	765	0.000 042 400 00	805	0.000 002 607 800
26	0.000 690 082 7	66	0.000 039 561 04	06	0.000 002 431 220
27	0.000 643 310 0	67	0.000 036 915 12	07	0.000 002 266 531
28	0.000 599 496 0	68	0.000 034 448 68	08	0.000 002 113 013
29	0.000 558 454 7	69	0.000 032 148 16	09	0.000 001 969 943
730	0.000 520 000 0	770	0.000 030 000 00	810	0.000 001 836 600
31	0.000 483 913 6	71	0.000 027 991 25	11	0.000 001 712 230
32	0.000 450 052 8	72	0.000 026 113 56	12	0.000 001 596 228
33	0.000 418 345 2	73	0.000 024 360 24	13	0.000 001 488 090
34	0.000 388 718 4	74	0.000 022 724 61	14	0.000 001 387 314
735	0.000 361 100 0	775	0.000 021 200 00	815	0.000 001 293 400
36	0.000 335 383 5	76	0.000 019 778 55	16	0.000 001 205 820
37	0.000 311 440 4	77	0.000 018 452 85	17	0.000 001 124 143
38	0.000 289 165 6	78	0.000 017 216 87	18	0.000 001 048 009
39	0.000 268 453 9	79	0.000 016 064 59	19	0.000 000 977 057 8
740	0.000 249 200 0	780	0.000 014 990 00	820	0.000 000 910 930 0
41	0.000 231 301 9	81	0.000 013 987 28	21	0.000 000 849 251 3
42	0.000 214 685 6	82	0.000 013 051 55	22	0.000 000 791 721 2
43	0.000 199 288 4	83	0.000 012 178 18	23	0.000 000 738 090 4
44	0.000 185 047 5	84	0.000 011 362 54	24	0.000 000 688 109 8
745	0.000 171 900 0	785	0.000 010 600 00	825	0.000 000 641 530 0
46	0.000 159 778 1	86	0.000 009 885 877	26	0.000 000 598 089 5
47	0.000 148 604 4	87	0.000 009 217 304	27	0.000 000 557 574 6
48	0.000 138 301 6	88	0.000 008 592 362	28	0.000 000 519 808 0
49	0.000 128 792 5	89	0.000 008 009 133	29	0.000 000 484 612 3
				830	0.000 000 451 810 0

6.17 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad für Nachtsehen $V'(\lambda)$ – *Spectral luminous efficiency for scotopic vision* $V'(\lambda)$ (D. Förste, G. Sauter)

λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$
380	0.000 589	430	0.199 8	480	0.793	530	0.811
81	0.000 665	31	0.211 9	81	0.805	31	0.796
82	0.000 752	32	0.224 3	82	0.817	32	0.781
83	0.000 854	33	0.236 9	83	0.828	33	0.765
84	0.000 972	34	0.249 6	84	0.840	34	0.749
385	0.001 108	435	0.262 5	485	0.851	535	0.733
86	0.001 268	36	0.275 5	86	0.862	36	0.717
87	0.001 453	37	0.288 6	87	0.873	37	0.700
88	0.001 668	38	0.301 7	88	0.884	38	0.683
89	0.001 918	39	0.314 9	89	0.894	39	0.667
390	0.002 209	440	0.328 1	490	0.904	540	0.650
91	0.002 547	41	0.341 2	91	0.914	41	0.633
92	0.002 939	42	0.354 3	92	0.923	42	0.616
93	0.003 394	43	0.367 3	93	0.932	43	0.599
94	0.003 921	44	0.380 3	94	0.941	44	0.581
395	0.004 53	445	0.393 1	495	0.949	545	0.564
96	0.005 24	46	0.406	96	0.957	46	0.548
97	0.006 05	47	0.418	97	0.964	47	0.531
98	0.006 98	48	0.431	98	0.970	48	0.514
99	0.008 06	49	0.443	99	0.976	49	0.497
400	0.009 29	450	0.455	500	0.982	550	0.481
01	0.010 70	51	0.467	01	0.986	51	0.465
02	0.012 31	52	0.479	02	0.990	52	0.448
03	0.014 13	53	0.490	03	0.994	53	0.433
04	0.016 19	54	0.502	04	0.997	54	0.417
405	0.018 52	455	0.513	505	0.998	555	0.402
06	0.021 13	56	0.524	06	1.000	56	0.386 4
07	0.024 05	57	0.535	07	1.000	57	0.371 5
08	0.027 30	58	0.546	08	1.000	58	0.356 9
09	0.030 89	59	0.557	09	0.998	59	0.342 7
410	0.034 84	460	0.567	510	0.997	560	0.328 8
11	0.039 16	61	0.578	11	0.994	61	0.315 1
12	0.043 9	62	0.588	12	0.990	62	0.301 8
13	0.049 0	63	0.599	13	0.986	63	0.288 8
14	0.054 5	64	0.610	14	0.981	64	0.276 2
415	0.060 4	465	0.620	515	0.975	565	0.263 9
16	0.066 8	66	0.631	16	0.968	66	0.251 9
17	0.073 6	67	0.642	17	0.961	67	0.240 3
18	0.080 8	68	0.653	18	0.953	68	0.229 1
19	0.088 5	69	0.664	19	0.944	69	0.218 2
420	0.096 6	470	0.676	520	0.935	570	0.207 6
21	0.105 2	71	0.687	21	0.925	71	0.197 4
22	0.114 1	72	0.699	22	0.915	72	0.187 6
23	0.123 5	73	0.710	23	0.904	73	0.178 2
24	0.133 4	74	0.722	24	0.892	74	0.169 0
425	0.143 6	475	0.734	525	0.880	575	0.160 2
26	0.154 1	76	0.745	26	0.867	76	0.151 7
27	0.165 1	77	0.757	27	0.854	77	0.143 6
28	0.176 4	78	0.769	28	0.840	78	0.135 8
29	0.187 9	79	0.781	29	0.826	79	0.128 4

Fortsetzung T 6.17

λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$	λ nm	$V'(\lambda)$
580	0.121 2	630	0.003 335	680	0.000 071 5	730	0.000 002 546
81	0.114 3	31	0.003 079	81	0.000 066 6	31	0.000 002 393
82	0.107 8	32	0.002 842	82	0.000 062 0	32	0.000 002 250
83	0.101 5	33	0.002 623	83	0.000 057 8	33	0.000 002 115
84	0.095 6	34	0.002 421	84	0.000 053 8	34	0.000 001 989
585	0.089 9	635	0.002 235	685	0.000 050 1	735	0.000 001 870
86	0.084 5	36	0.002 062	86	0.000 046 7	36	0.000 001 759
87	0.079 3	37	0.001 903	87	0.000 043 6	37	0.000 001 655
88	0.074 5	38	0.001 757	88	0.000 040 6	38	0.000 001 557
89	0.069 9	39	0.001 621	89	0.000 037 89	39	0.000 001 466
590	0.065 5	640	0.001 497	690	0.000 035 33	740	0.000 001 379
91	0.061 3	41	0.001 382	91	0.000 032 95	41	0.000 001 299
92	0.057 4	42	0.001 276	92	0.000 030 75	42	0.000 001 223
93	0.053 7	43	0.001 178	93	0.000 028 70	43	0.000 001 151
94	0.050 2	44	0.001 088	94	0.000 026 79	44	0.000 001 084
595	0.046 9	645	0.001 005	695	0.000 025 01	745	0.000 001 022
96	0.043 8	46	0.000 928	96	0.000 023 36	46	0.000 000 962
97	0.040 9	47	0.000 857	97	0.000 021 82	47	0.000 000 907
98	0.038 16	48	0.000 792	98	0.000 020 38	48	0.000 000 855
99	0.035 58	49	0.000 732	99	0.000 019 05	49	0.000 000 806
600	0.033 15	650	0.000 677	700	0.000 017 80	750	0.000 000 760
01	0.030 87	51	0.000 626	01	0.000 016 64	51	0.000 000 716
02	0.028 74	52	0.000 579	02	0.000 015 56	52	0.000 000 675
03	0.026 74	53	0.000 536	03	0.000 014 54	53	0.000 000 637
04	0.024 87	54	0.000 496	04	0.000 013 60	54	0.000 000 601
605	0.023 12	655	0.000 459	705	0.000 012 73	755	0.000 000 567
06	0.021 47	56	0.000 425	06	0.000 011 91	56	0.000 000 535
07	0.019 94	57	0.000 393 5	07	0.000 011 14	57	0.000 000 505
08	0.018 51	58	0.000 364 5	08	0.000 010 43	58	0.000 000 477
09	0.017 18	59	0.000 337 7	09	0.000 009 76	59	0.000 000 450
610	0.015 93	660	0.000 312 9	710	0.000 009 14	760	0.000 000 425
11	0.014 77	61	0.000 290 1	11	0.000 008 56	61	0.000 000 401
12	0.013 69	62	0.000 268 9	12	0.000 008 02	62	0.000 000 379 0
13	0.012 69	63	0.000 249 3	13	0.000 007 51	63	0.000 000 358 0
14	0.011 75	64	0.000 231 3	14	0.000 007 04	64	0.000 000 338 2
615	0.010 88	665	0.000 214 6	715	0.000 006 60	765	0.000 000 319 6
16	0.010 07	66	0.000 199 1	16	0.000 006 18	66	0.000 000 302 1
17	0.009 32	67	0.000 184 8	17	0.000 005 80	67	0.000 000 285 5
18	0.008 62	68	0.000 171 6	18	0.000 005 44	68	0.000 000 269 9
19	0.007 97	69	0.000 159 3	19	0.000 005 10	69	0.000 000 255 2
620	0.007 37	670	0.000 148 0	720	0.000 004 78	770	0.000 000 241 3
21	0.006 82	71	0.000 137 5	21	0.000 004 49	71	0.000 000 228 2
22	0.006 30	72	0.000 127 7	22	0.000 004 21	72	0.000 000 215 9
23	0.005 82	73	0.000 118 7	23	0.000 003 951	73	0.000 000 204 2
24	0.005 38	74	0.000 110 4	24	0.000 003 709	74	0.000 000 193 2
625	0.004 97	675	0.000 102 6	725	0.000 003 482	775	0.000 000 182 9
26	0.004 59	76	0.000 095 4	26	0.000 003 270	76	0.000 000 173 1
27	0.004 24	77	0.000 088 8	27	0.000 003 070	77	0.000 000 163 8
28	0.003 913	78	0.000 082 6	28	0.000 002 884	78	0.000 000 155 1
29	0.003 613	79	0.000 076 9	29	0.000 002 710	79	0.000 000 146 8
						780	0.000 000 139 0

6.18 Normspektralwertfunktionen des farbmeßtechnischen Normalbeobachters CIE 1931 – *Colour-matching functions of the* CIE 1931 *standard colorimetric observer* (W. Erb)

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
360	0,000 129 900 0	0,000 003 917 000	0,000 606 100 0	390	0,004 243 000	0,000 120 000 0	0,020 050 01
61	0,000 145 847 0	0,000 004 393 581	0,000 680 879 2	91	0,004 762 389	0,000 134 984 0	0,022 511 36
62	0,000 163 802 1	0,000 004 929 604	0,000 765 145 6	92	0,005 330 048	0,000 151 492 0	0,025 202 88
63	0,000 184 003 7	0,000 005 532 136	0,000 860 012 4	93	0,005 978 712	0,000 170 208 0	0,028 279 72
64	0,000 206 690 2	0,000 006 208 245	0,000 966 592 8	94	0,006 741 117	0,000 191 816 0	0,031 897 04
365	0,000 232 100 0	0,000 006 965 000	0,001 086 000	395	0,007 650 000	0,000 217 000 0	0,036 210 00
66	0,000 260 728 0	0,000 007 813 219	0,001 220 586	96	0,008 751 373	0,000 246 906 7	0,041 437 71
67	0,000 293 075 0	0,000 008 767 336	0,001 372 729	97	0,010 028 88	0,000 281 240 0	0,047 503 72
68	0,000 329 388 0	0,000 009 839 844	0,001 543 579	98	0,011 421 70	0,000 318 520 0	0,054 119 88
69	0,000 369 914 0	0,000 011 043 23	0,001 734 286	99	0,012 869 01	0,000 357 266 7	0,060 998 03
370	0,000 414 900 0	0,000 012 390 00	0,001 946 000	400	0,014 310 00	0,000 396 000 0	0,067 850 01
71	0,000 464 158 7	0,000 013 886 41	0,002 177 777	01	0,015 704 43	0,000 433 714 7	0,074 486 32
72	0,000 518 986 0	0,000 015 557 28	0,002 435 809	02	0,017 147 44	0,000 473 024 0	0,081 361 56
73	0,000 581 854 0	0,000 017 442 96	0,002 731 953	03	0,018 781 22	0,000 517 876 0	0,089 153 64
74	0,000 655 234 7	0,000 019 583 75	0,003 078 064	04	0,020 748 01	0,000 572 218 7	0,098 540 48
375	0,000 741 600 0	0,000 022 020 00	0,003 486 000	405	0,023 190 00	0,000 640 000 0	0,110 200 0
76	0,000 845 029 6	0,000 024 839 65	0,003 975 227	06	0,026 207 36	0,000 724 560 0	0,124 613 3
77	0,000 964 526 8	0,000 028 041 26	0,004 540 880	07	0,029 782 48	0,000 825 500 0	0,141 701 7
78	0,001 094 949	0,000 031 531 04	0,005 158 320	08	0,033 880 92	0,000 941 160 0	0,161 303 5
79	0,001 231 154	0,000 035 215 21	0,005 802 907	09	0,038 468 24	0,001 069 880	0,183 256 8
380	0,001 368 000	0,000 039 000 00	0,006 450 001	410	0,043 510 00	0,001 210 000	0,207 400 0
81	0,001 502 050	0,000 042 826 40	0,007 083 216	11	0,048 995 60	0,001 362 091	0,233 692 1
82	0,001 642 328	0,000 046 914 60	0,007 745 488	12	0,055 022 60	0,001 530 752	0,262 611 4
83	0,001 802 382	0,000 051 589 60	0,008 501 152	13	0,061 718 80	0,001 720 368	0,294 774 6
84	0,001 995 757	0,000 057 176 40	0,009 414 544	14	0,069 212 00	0,001 935 323	0,330 798 5
385	0,002 236 000	0,000 064 000 00	0,010 549 99	415	0,077 630 00	0,002 180 000	0,371 300 0
86	0,002 535 385	0,000 072 344 21	0,011 965 80	16	0,086 958 11	0,002 454 800	0,416 209 1
87	0,002 892 603	0,000 082 212 24	0,013 655 87	17	0,097 176 72	0,002 764 000	0,465 464 2
88	0,003 300 829	0,000 093 508 16	0,015 588 05	18	0,108 406 3	0,003 117 800	0,519 694 8
89	0,003 753 236	0,000 106 136 1	0,017 730 15	19	0,120 767 2	0,003 526 400	0,579 530 3

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
420	0,134 380 0	0,004 000 000	0,645 600 0	455	0,318 700 0	0,048 000 00	1,744 100 0
21	0,149 358 2	0,004 546 240	0,718 483 8	56	0,314 025 1	0,050 243 68	1,733 559 5
22	0,165 395 7	0,005 159 320	0,796 713 3	57	0,308 884 0	0,052 573 04	1,720 858 1
23	0,181 983 1	0,005 829 280	0,877 845 9	58	0,303 290 4	0,054 980 56	1,705 936 9
24	0,198 611 0	0,006 546 160	0,959 439 0	59	0,297 257 9	0,057 458 72	1,688 737 2
425	0,214 770 0	0,007 300 000	1,039 050 1	460	0,290 800 0	0,060 000 00	1,669 200 0
26	0,230 186 8	0,008 086 507	1,115 367 3	61	0,283 970 1	0,062 601 97	1,647 528 7
27	0,244 879 7	0,008 908 720	1,188 497 1	62	0,276 721 4	0,065 277 52	1,623 412 7
28	0,258 777 3	0,009 767 680	1,258 123 3	63	0,268 917 8	0,068 042 08	1,596 022 3
29	0,271 807 9	0,010 664 43	1,323 929 6	64	0,260 422 7	0,070 911 09	1,564 528 0
430	0,283 900 0	0,011 600 00	1,385 600 0	465	0,251 100 0	0,073 900 00	1,528 100 0
31	0,294 943 8	0,012 573 17	1,442 635 2	66	0,240 847 5	0,077 016 00	1,486 111 4
32	0,304 896 5	0,013 582 72	1,494 803 5	67	0,229 851 2	0,080 266 40	1,439 521 5
33	0,313 787 3	0,014 629 68	1,542 190 3	68	0,218 407 2	0,083 666 80	1,389 879 9
34	0,321 645 4	0,015 715 09	1,584 880 7	69	0,206 811 5	0,087 232 80	1,338 736 2
435	0,328 500 0	0,016 840 00	1,622 960 0	470	0,195 360 0	0,090 980 00	1,287 640 0
36	0,334 351 3	0,018 007 36	1,656 404 8	71	0,184 213 6	0,094 917 55	1,237 422 3
37	0,339 210 1	0,019 214 48	1,685 295 9	72	0,173 327 3	0,099 045 84	1,187 824 3
38	0,343 121 3	0,020 453 92	1,709 874 5	73	0,162 688 1	0,103 367 4	1,138 761 1
39	0,346 129 6	0,021 718 24	1,730 382 1	74	0,152 283 3	0,107 884 6	1,090 148 0
440	0,348 280 0	0,023 000 00	1,747 060 0	475	0,142 100 0	0,112 600 0	1,041 900 0
41	0,349 599 9	0,024 294 61	1,760 044 6	76	0,132 178 6	0,117 532 0	0,994 197 6
42	0,350 147 4	0,025 610 24	1,769 623 3	77	0,122 569 6	0,122 674 4	0,947 347 3
43	0,350 013 0	0,026 958 57	1,776 263 7	78	0,113 275 2	0,127 992 8	0,901 453 1
44	0,349 287 0	0,028 351 25	1,780 433 4	79	0,104 297 9	0,133 452 8	0,856 619 3
445	0,348 060 0	0,029 800 00	1,782 600 0	480	0,095 640 00	0,139 020 0	0,812 950 1
46	0,346 373 3	0,031 310 83	1,782 968 2	81	0,087 299 55	0,144 676 4	0,770 517 3
47	0,344 262 4	0,032 883 68	1,781 699 8	82	0,079 308 04	0,150 469 3	0,729 444 8
48	0,341 808 8	0,034 521 12	1,779 198 2	83	0,071 717 76	0,156 461 9	0,689 913 6
49	0,339 094 1	0,036 225 71	1,775 867 1	84	0,064 580 99	0,162 717 7	0,652 104 9
450	0,336 200 0	0,038 000 00	1,772 110 0	485	0,057 950 01	0,169 300 0	0,616 200 0
51	0,333 197 7	0,039 846 67	1,768 258 9	86	0,051 862 11	0,176 243 1	0,582 328 6
52	0,330 041 1	0,041 768 00	1,764 039 0	87	0,046 281 52	0,183 558 1	0,550 416 2
53	0,326 635 7	0,043 766 00	1,758 943 8	88	0,041 150 88	0,191 273 5	0,520 337 6
54	0,322 886 8	0,045 842 67	1,752 466 3	89	0,036 412 83	0,199 418 0	0,491 967 3

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
490	0,032 010 00	0,208 020 0	0,465 180 0	525	0,109 600 0	0,793 200 0	0,057 250 01
91	0,027 917 20	0,217 119 9	0,439 924 6	26	0,120 167 4	0,808 110 4	0,053 904 35
92	0,024 144 40	0,226 734 5	0,416 183 6	27	0,131 114 5	0,822 496 2	0,050 746 64
93	0,020 687 00	0,236 857 1	0,393 882 2	28	0,142 367 9	0,836 306 8	0,047 752 76
94	0,017 540 40	0,247 481 2	0,372 945 9	29	0,153 854 2	0,849 491 6	0,044 898 59
495	0,014 700 00	0,258 600 0	0,353 300 0	530	0,165 500 0	0,862 000 0	0,042 160 00
96	0,012 161 79	0,270 184 9	0,334 857 8	31	0,177 257 1	0,873 810 8	0,039 507 28
97	0,009 919 960	0,282 293 9	0,317 552 1	32	0,189 140 0	0,884 962 4	0,036 935 64
98	0,007 967 240	0,295 050 5	0,301 337 5	33	0,201 169 4	0,895 493 6	0,034 458 36
99	0,006 296 346	0,308 578 0	0,286 168 6	34	0,213 365 8	0,905 443 2	0,032 088 72
500	0,004 900 000	0,323 000 0	0,272 000 0	535	0,225 749 9	0,914 850 1	0,029 840 00
01	0,003 777 173	0,338 402 1	0,258 817 1	36	0,238 320 9	0,923 734 8	0,027 711 81
02	0,002 945 320	0,354 685 8	0,246 483 8	37	0,251 066 8	0,932 092 4	0,025 694 44
03	0,002 424 880	0,371 698 6	0,234 771 8	38	0,263 992 2	0,939 922 6	0,023 787 16
04	0,002 236 293	0,389 287 5	0,223 453 3	39	0,277 101 7	0,947 225 2	0,021 989 25
505	0,002 400 000	0,407 300 0	0,212 300 0	540	0,290 400 0	0,954 000 0	0,020 300 00
06	0,002 925 520	0,425 629 9	0,201 169 2	41	0,303 891 2	0,960 256 1	0,018 718 05
07	0,003 836 560	0,444 309 6	0,190 119 6	42	0,317 572 6	0,966 007 4	0,017 240 36
08	0,005 174 840	0,463 394 4	0,179 225 4	43	0,331 438 4	0,971 260 6	0,015 863 64
09	0,006 982 080	0,482 939 5	0,168 560 8	44	0,345 482 8	0,976 022 5	0,014 584 61
510	0,009 300 000	0,503 000 0	0,158 200 0	545	0,359 700 0	0,980 300 0	0,013 400 00
11	0,012 149 49	0,523 569 3	0,148 138 3	46	0,374 083 9	0,984 092 4	0,012 307 23
12	0,015 535 88	0,544 512 0	0,138 375 8	47	0,388 639 6	0,987 418 2	0,011 301 88
13	0,019 477 52	0,565 690 0	0,128 994 2	48	0,403 378 4	0,990 312 8	0,010 377 92
14	0,023 992 77	0,586 965 3	0,120 075 1	49	0,418 311 5	0,992 811 6	0,009 529 306
515	0,029 100 00	0,608 200 0	0,111 700 0	550	0,433 449 9	0,994 950 1	0,008 749 999
16	0,034 814 85	0,629 345 6	0,103 904 8	51	0,448 795 3	0,996 710 8	0,008 035 200
17	0,041 120 16	0,650 306 8	0,096 667 48	52	0,464 336 0	0,998 098 3	0,007 381 600
18	0,047 985 04	0,670 875 2	0,089 982 72	53	0,480 064 0	0,999 112 0	0,006 785 400
19	0,055 378 61	0,690 842 4	0,083 845 31	54	0,495 971 3	0,999 748 2	0,006 242 800
520	0,063 270 00	0,710 000 0	0,078 249 99	555	0,512 050 1	1,000 000 0	0,005 749 999
21	0,071 635 01	0,728 185 2	0,073 208 99	56	0,528 295 9	0,999 856 7	0,005 303 600
22	0,080 462 24	0,745 463 6	0,068 678 16	57	0,544 691 6	0,999 304 6	0,004 899 800
23	0,089 739 96	0,761 969 4	0,064 567 84	58	0,561 209 4	0,998 325 5	0,004 534 200
24	0,099 456 45	0,777 836 8	0,060 788 35	59	0,577 821 5	0,996 898 7	0,004 202 400

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
560	0,594 500 0	0,995 000 0	0,003 900 000	595	1,056 700 0	0,694 900 0	0,001 000 000
61	0,611 220 9	0,992 600 5	0,003 623 200	96	1,059 794 4	0,682 219 2	0,000 968 640 0
62	0,627 975 8	0,989 742 6	0,003 370 600	97	1,061 799 2	0,669 471 6	0,000 929 920 0
63	0,644 760 2	0,986 444 4	0,003 141 400	98	1,062 806 8	0,656 674 4	0,000 886 880 0
64	0,661 569 7	0,982 724 1	0,002 934 800	99	1,062 909 6	0,643 844 8	0,000 842 560 0
565	0,678 400 0	0,978 600 0	0,002 749 999	600	1,062 200 0	0,631 000 0	0,000 800 000 0
66	0,695 239 2	0,974 083 7	0,002 585 200	01	1,060 735 2	0,618 155 5	0,000 760 960 0
67	0,712 058 6	0,969 171 2	0,002 438 600	02	1,058 443 6	0,605 314 4	0,000 723 680 0
68	0,728 828 4	0,963 856 8	0,002 309 400	03	1,055 224 4	0,592 475 6	0,000 685 920 0
69	0,745 518 8	0,958 134 9	0,002 196 800	04	1,050 976 8	0,579 637 9	0,000 645 440 0
570	0,762 100 0	0,952 000 0	0,002 100 000	605	1,045 600 0	0,566 800 0	0,000 600 000 0
71	0,778 543 2	0,945 450 4	0,002 017 733	06	1,039 036 9	0,553 961 1	0,000 547 866 7
72	0,794 825 6	0,938 499 2	0,001 948 200	07	1,031 360 8	0,541 137 2	0,000 491 600 0
73	0,810 926 4	0,931 162 8	0,001 889 800	08	1,022 666 2	0,528 352 8	0,000 435 400 0
74	0,826 824 8	0,923 457 6	0,001 840 933	09	1,013 047 7	0,515 632 3	0,000 383 466 7
575	0,842 500 0	0,915 400 0	0,001 800 000	610	1,002 600 0	0,503 000 0	0,000 340 000 0
76	0,857 932 5	0,907 006 4	0,001 766 267	11	0,991 367 5	0,490 468 8	0,000 307 253 3
77	0,873 081 6	0,898 277 2	0,001 737 800	12	0,979 331 4	0,478 030 4	0,000 283 160 0
78	0,887 894 4	0,889 204 8	0,001 711 200	13	0,966 491 6	0,465 677 6	0,000 265 440 0
79	0,902 318 1	0,879 781 6	0,001 683 067	14	0,952 847 9	0,453 403 2	0,000 251 813 3
580	0,916 300 0	0,870 000 0	0,001 650 001	615	0,938 400 0	0,441 200 0	0,000 240 000 0
81	0,929 799 5	0,859 861 3	0,001 610 133	16	0,923 194 0	0,429 080 0	0,000 229 546 7
82	0,942 798 4	0,849 392 0	0,001 564 400	17	0,907 244 0	0,417 036 0	0,000 220 640 0
83	0,955 277 6	0,838 622 0	0,001 513 600	18	0,890 502 0	0,405 032 0	0,000 211 960 0
84	0,967 217 9	0,827 581 3	0,001 458 533	19	0,872 920 0	0,393 032 0	0,000 202 186 7
585	0,978 600 0	0,816 300 0	0,001 400 000	620	0,854 449 9	0,381 000 0	0,000 190 000 0
86	0,989 385 6	0,804 794 7	0,001 336 667	21	0,835 084 0	0,368 918 4	0,000 174 213 3
87	0,999 548 8	0,793 082 0	0,001 270 000	22	0,814 946 0	0,356 827 2	0,000 155 640 0
88	1,009 089 2	0,781 192 0	0,001 205 000	23	0,794 186 0	0,344 776 8	0,000 135 960 0
89	1,018 006 4	0,769 154 7	0,001 146 667	24	0,772 954 0	0,332 817 6	0,000 116 853 3
590	1,026 300 0	0,757 000 0	0,001 100 000	625	0,751 400 0	0,321 000 0	0,000 100 000 0
91	1,033 982 7	0,744 754 1	0,001 068 800	26	0,729 583 6	0,309 338 1	0,000 086 133 33
92	1,040 986 0	0,732 422 4	0,001 049 400	27	0,707 588 8	0,297 850 4	0,000 074 600 00
93	1,047 188 0	0,720 003 6	0,001 035 600	28	0,685 602 2	0,286 593 6	0,000 065 000 00
94	1,052 466 7	0,707 496 5	0,001 021 200	29	0,663 810 4	0,275 624 5	0,000 056 933 33

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
630	0,642 400 0	0,265 000 0	0,000 049 999 99	665	0,121 200 0	0,044 580 00	0,000 000 0
31	0,621 514 9	0,254 763 2	0,000 044 160 00	66	0,113 639 7	0,041 758 72	
32	0,601 113 8	0,244 889 6	0,000 039 480 00	67	0,106 465 0	0,039 084 96	
33	0,581 105 2	0,235 334 4	0,000 035 720 00	68	0,099 690 44	0,036 563 84	
34	0,561 397 7	0,226 052 8	0,000 032 640 00	69	0,093 330 61	0,034 200 48	
635	0,541 900 0	0,217 000 0	0,000 030 000 00	670	0,087 400 00	0,032 000 00	
36	0,522 599 5	0,208 161 6	0,000 027 653 33	71	0,081 900 96	0,029 962 61	
37	0,503 546 4	0,199 548 8	0,000 025 560 00	72	0,076 804 28	0,028 076 64	
38	0,484 743 6	0,191 155 2	0,000 023 640 00	73	0,072 077 12	0,026 329 36	
39	0,466 193 9	0,182 974 4	0,000 021 813 33	74	0,067 686 64	0,024 708 05	
640	0,447 900 0	0,175 000 0	0,000 020 000 00	675	0,063 600 00	0,023 200 00	
41	0,429 861 3	0,167 223 5	0,000 018 133 33	76	0,059 806 85	0,021 800 77	
42	0,412 098 0	0,159 646 4	0,000 016 200 00	77	0,056 282 16	0,020 501 12	
43	0,394 644 0	0,152 277 6	0,000 014 200 00	78	0,052 971 04	0,019 281 08	
44	0,377 533 3	0,145 125 9	0,000 012 133 33	79	0,049 818 61	0,018 120 69	
645	0,360 800 0	0,138 200 0	0,000 010 000 00	680	0,046 770 00	0,017 000 00	
46	0,344 456 3	0,131 500 3	0,000 007 733 333	81	0,043 784 05	0,015 903 79	
47	0,328 516 8	0,125 024 8	0,000 005 400 000	82	0,040 875 36	0,014 837 18	
48	0,313 019 2	0,118 779 2	0,000 003 200 000	83	0,038 072 64	0,013 810 68	
49	0,298 001 1	0,112 769 1	0,000 001 333 333	84	0,035 404 61	0,012 834 78	
650	0,283 500 0	0,107 000 0	0,000 000 000 000	685	0,032 900 00	0,011 920 00	
51	0,269 544 8	0,101 476 2		86	0,030 564 19	0,011 068 31	
52	0,256 118 4	0,096 188 64		87	0,028 380 56	0,010 273 39	
53	0,243 189 6	0,091 122 96		88	0,026 344 84	0,009 533 311	
54	0,230 727 2	0,086 264 85		89	0,024 452 75	0,008 846 157	
655	0,218 700 0	0,081 600 00		690	0,022 700 00	0,008 210 000	
56	0,207 097 1	0,077 120 64		91	0,021 084 29	0,007 623 781	
57	0,195 923 2	0,072 825 52		92	0,019 599 88	0,007 085 424	
58	0,185 170 8	0,068 710 08		93	0,018 237 32	0,006 591 476	
59	0,174 832 3	0,064 769 76		94	0,016 987 17	0,006 138 485	
660	0,164 900 0	0,061 000 00		695	0,015 840 00	0,005 723 000	
61	0,155 366 7	0,057 396 21		96	0,014 790 64	0,005 343 059	
62	0,146 230 0	0,053 955 04		97	0,013 831 32	0,004 995 796	
63	0,137 490 0	0,050 673 76		98	0,012 948 68	0,004 676 404	
64	0,129 146 7	0,047 549 65		99	0,012 129 20	0,004 380 075	

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
700	0,011 359 16	0,004 102 000	0,000 000 0	735	0,000 999 949 3	0,000 361 100 0	0,000 000 0
01	0,010 629 35	0,003 838 453		36	0,000 928 735 8	0,000 335 383 5	
02	0,009 938 846	0,003 589 099		37	0,000 862 433 2	0,000 311 440 4	
03	0,009 288 422	0,003 354 219		38	0,000 800 750 3	0,000 289 165 6	
04	0,008 678 854	0,003 134 093		39	0,000 743 396 0	0,000 268 453 9	
705	0,008 110 916	0,002 929 000		740	0,000 690 078 6	0,000 249 200 0	
06	0,007 582 388	0,002 738 139		41	0,000 640 515 6	0,000 231 301 9	
07	0,007 088 746	0,002 559 876		42	0,000 594 502 1	0,000 214 685 6	
08	0,006 627 313	0,002 393 244		43	0,000 551 864 6	0,000 199 288 4	
09	0,006 195 408	0,002 237 275		44	0,000 512 429 0	0,000 185 047 5	
710	0,005 790 346	0,002 091 000		745	0,000 476 021 3	0,000 171 900 0	
11	0,005 409 826	0,001 953 587		46	0,000 442 453 6	0,000 159 778 1	
12	0,005 052 583	0,001 824 580		47	0,000 411 511 7	0,000 148 604 4	
13	0,004 717 512	0,001 703 580		48	0,000 382 981 4	0,000 138 301 6	
14	0,004 403 507	0,001 590 187		49	0,000 356 649 1	0,000 128 792 5	
715	0,004 109 457	0,001 484 000		750	0,000 332 301 1	0,000 120 000 0	
16	0,003 833 913	0,001 384 496		51	0,000 309 758 6	0,000 111 859 5	
17	0,003 575 748	0,001 291 268		52	0,000 288 887 1	0,000 104 322 4	
18	0,003 334 342	0,001 204 092		53	0,000 269 539 4	0,000 097 335 60	
19	0,003 109 075	0,001 122 744		54	0,000 251 568 2	0,000 090 845 87	
720	0,002 899 327	0,001 047 000		755	0,000 234 826 1	0,000 084 800 00	
21	0,002 704 348	0,000 976 589 6		56	0,000 219 171 0	0,000 079 146 67	
22	0,002 523 020	0,000 911 108 8		57	0,000 204 525 8	0,000 073 858 00	
23	0,002 354 168	0,000 850 133 2		58	0,000 190 840 5	0,000 068 916 00	
24	0,002 196 616	0,000 793 238 4		59	0,000 178 065 4	0,000 064 302 67	
725	0,002 049 190	0,000 740 000 0		760	0,000 166 150 5	0,000 060 000 00	
26	0,001 910 960	0,000 690 082 7		6	0,000 155 023 6	0,000 055 981 87	
27	0,001 781 438	0,000 643 310 0		62	0,000 144 621 9	0,000 052 225 60	
28	0,001 660 110	0,000 599 496 0		63	0,000 134 909 8	0,000 048 718 40	
29	0,001 546 459	0,000 558 454 7		64	0,000 125 852 0	0,000 045 447 47	
730	0,001 439 971	0,000 520 000 0		765	0,000 117 413 0	0,000 042 400 00	
31	0,001 340 042	0,000 483 913 6		66	0,000 109 551 5	0,000 039 561 04	
32	0,001 246 275	0,000 450 052 8		67	0,000 102 224 5	0,000 036 915 12	
33	0,001 158 471	0,000 418 345 2		68	0,000 095 394 45	0,000 034 448 68	
34	0,001 076 430	0,000 388 718 4		69	0,000 089 023 90	0,000 032 148 16	

Fortsetzung T 6.18

λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
770	0,000 083 075 27	0,000 030 000 00	0,000 000 0	800	0,000 010 253 98	0,000 003 702 900	0,000 000 0
71	0,000 077 512 69	0,000 027 991 25		01	0,000 009 559 646	0,000 003 452 163	
72	0,000 072 313 04	0,000 026 113 56		02	0,000 008 912 044	0,000 003 218 302	
73	0,000 067 457 78	0,000 024 360 24		03	0,000 008 308 358	0,000 003 000 300	
74	0,000 062 928 44	0,000 022 724 61		04	0,000 007 745 769	0,000 002 797 139	
775	0,000 058 706 52	0,000 021 200 00		805	0,000 007 221 456	0,000 002 607 800	
76	0,000 054 770 28	0,000 019 778 55		06	0,000 006 732 475	0,000 002 431 220	
77	0,000 051 099 18	0,000 018 452 85		07	0,000 006 276 423	0,000 002 266 531	
78	0,000 047 676 54	0,000 017 216 87		08	0,000 005 851 304	0,000 002 113 013	
79	0,000 044 485 67	0,000 016 064 59		09	0,000 005 455 118	0,000 001 969 943	
780	0,000 041 509 94	0,000 014 990 00		810	0,000 005 085 868	0,000 001 836 600	
81	0,000 038 733 24	0,000 013 987 28		11	0,000 004 741 466	0,000 001 712 230	
82	0,000 036 142 03	0,000 013 051 55		12	0,000 004 420 236	0,000 001 596 228	
83	0,000 033 723 52	0,000 012 178 18		13	0,000 004 120 783	0,000 001 488 090	
84	0,000 031 464 87	0,000 011 362 54		14	0,000 003 841 716	0,000 001 387 314	
785	0,000 029 353 26	0,000 010 600 00		815	0,000 003 581 652	0,000 001 293 400	
86	0,000 027 375 73	0,000 009 885 877		16	0,000 003 339 127	0,000 001 205 820	
87	0,000 025 524 33	0,000 009 217 304		17	0,000 003 112 949	0,000 001 124 143	
88	0,000 023 793 76	0,000 008 592 362		18	0,000 002 902 121	0,000 001 048 009	
89	0,000 022 178 70	0,000 008 009 133		19	0,000 002 705 645	0,000 000 977 057 8	
790	0,000 020 673 83	0,000 007 465 700		820	0,000 002 522 525	0,000 000 910 930 0	
91	0,000 019 272 26	0,000 006 959 567		21	0,000 002 351 726	0,000 000 849 251 3	
92	0,000 017 966 40	0,000 006 487 995		22	0,000 002 192 415	0,000 000 791 721 2	
93	0,000 016 749 91	0,000 006 048 699		23	0,000 002 043 902	0,000 000 738 090 4	
94	0,000 015 616 48	0,000 005 639 396		24	0,000 001 905 497	0,000 000 688 109 8	
795	0,000 014 559 77	0,000 005 257 800		825	0,000 001 776 509	0,000 000 641 530 0	
96	0,000 013 573 87	0,000 004 901 771		26	0,000 001 656 215	0,000 000 598 089 5	
97	0,000 012 654 36	0,000 004 569 720		27	0,000 001 544 022	0,000 000 557 574 6	
98	0,000 011 797 23	0,000 004 260 194		28	0,000 001 439 440	0,000 000 519 808 0	
99	0,000 010 998 44	0,000 003 971 739		29	0,000 001 341 977	0,000 000 484 612 3	
				830	0,000 001 251 141	0,000 000 451 810 0	

$$\sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{x}(\lambda) = 106{,}865\,469\,489\,595 \qquad \sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{y}(\lambda) = 106{,}856\,917\,101\,172 \qquad \sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{z}(\lambda) = 106{,}892\,251\,278\,636$$

6.19 Normspektralwertfunktionen des farbmeßtechnischen 10°- oder Großfeld-Normalbeobachters CIE 1964 – *Colour-matching functions of the* CIE 1964 *supplementary standard colorimetric observer* (W. Erb)

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
360	0,000 000 122 200	0,000 000 013 398	0,000 000 535 027	390	0,002 361 6	0,000 253 4	0,010 482 2
61	0,000 000 185 138	0,000 000 020 294	0,000 000 810 720	91	0,002 990 6	0,000 320 2	0,013 289 0
62	0,000 000 278 83	0,000 000 030 56	0,000 001 221 20	92	0,003 764 5	0,000 402 4	0,016 747 0
63	0,000 000 417 47	0,000 000 045 74	0,000 001 828 70	93	0,004 710 2	0,000 502 3	0,020 980 0
64	0,000 000 621 33	0,000 000 068 05	0,000 002 722 20	94	0,005 858 1	0,000 623 2	0,026 127 0
365	0,000 000 919 27	0,000 000 100 65	0,000 004 028 30	395	0,007 242 3	0,000 768 5	0,032 344 0
66	0,000 001 351 98	0,000 000 147 98	0,000 005 925 70	96	0,008 899 6	0,000 941 7	0,039 802 0
67	0,000 001 976 54	0,000 000 216 27	0,000 008 665 10	97	0,010 870 9	0,001 147 8	0,048 691 0
68	0,000 002 872 5	0,000 000 314 2	0,000 012 596 0	98	0,013 198 9	0,001 390 3	0,059 210 0
69	0,000 004 149 5	0,000 000 453 7	0,000 018 201 0	99	0,015 929 2	0,001 674 0	0,071 576 0
370	0,000 005 958 6	0,000 000 651 1	0,000 026 143 7	400	0,019 109 7	0,002 004 4	0,086 010 9
71	0,000 008 505 6	0,000 000 928 8	0,000 037 330 0	01	0,022 788	0,002 386	0,102 740
72	0,000 012 068 6	0,000 001 317 5	0,000 052 987 0	02	0,027 011	0,003 822	0,122 000
73	0,000 017 022 6	0,000 001 857 2	0,000 074 764 0	03	0,031 829	0,003 319	0,144 020
74	0,000 023 868	0,000 002 602	0,000 104 870	04	0,037 278	0,003 880	0,168 990
375	0,000 033 266	0,000 003 625	0,000 146 220	405	0,043 400	0,004 509	0,197 120
76	0,000 046 087	0,000 005 019	0,000 202 660	06	0,050 223	0,005 209	0,228 570
77	0,000 063 472	0,000 006 907	0,000 279 230	07	0,057 764	0,005 985	0,263 470
78	0,000 086 892	0,000 009 449	0,000 382 450	08	0,066 038	0,006 833	0,301 900
79	0,000 118 246	0,000 012 848	0,000 520 720	09	0,075 033	0,007 757	0,343 870
380	0,000 159 952	0,000 017 364	0,000 704 776	410	0,084 736	0,008 756	0,389 366
81	0,000 215 080	0,000 023 327	0,000 948 230	11	0,095 041	0,009 816	0,437 970
82	0,000 287 49	0,000 031 15	0,001 268 20	12	0,105 836	0,010 918	0,489 220
83	0,000 381 99	0,000 041 35	0,001 686 10	13	0,117 066	0,012 058	0,542 900
84	0,000 504 55	0,000 054 56	0,002 228 50	14	0,128 682	0,013 237	0,598 810
385	0,000 662 44	0,000 071 56	0,002 927 80	415	0,140 638	0,014 456	0,656 760
86	0,000 864 50	0,000 093 30	0,003 823 70	16	0,152 893	0,015 717	0,716 580
87	0,001 121 50	0,000 120 87	0,004 964 20	17	0,165 416	0,017 025	0,778 120
88	0,001 446 16	0,000 155 64	0,006 406 70	18	0,178 191	0,018 399	0,841 310
89	0,001 853 59	0,000 199 20	0,008 219 30	19	0,191 214	0,019 848	0,906 110

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
420	0,204 492	0,021 391	0,972 542	455	0,342 957	0,106 256	1,900 70
21	0,217 650	0,022 992	1,038 90	56	0,335 893	0,109 901	1,874 10
22	0,230 267	0,024 598	1,103 10	57	0,328 284	0,113 835	1,845 10
23	0,242 311	0,026 213	1,165 10	58	0,320 150	0,118 167	1,813 90
24	0,253 793	0,027 841	1,224 90	59	0,311 475	0,122 932	1,780 60
425	0,264 737	0,029 497	1,282 50	460	0,302 273	0,128 201	1,745 37
26	0,275 195	0,031 195	1,338 20	61	0,292 858	0,133 457	1,709 10
27	0,285 301	0,032 927	1,392 60	62	0,283 502	0,138 323	1,672 30
28	0,295 143	0,034 738	1,446 10	63	0,274 044	0,143 042	1,634 70
29	0,304 869	0,036 654	1,499 40	64	0,264 263	0,147 787	1,595 60
430	0,314 679	0,038 676	1,553 48	465	0,254 085	0,152 761	1,554 90
31	0,324 355	0,040 792	1,607 20	66	0,243 392	0,158 102	1,512 20
32	0,333 570	0,042 946	1,658 90	67	0,232 187	0,163 941	1,467 30
33	0,342 243	0,045 114	1,708 20	68	0,220 488	0,170 362	1,419 90
34	0,350 312	0,047 333	1,754 80	69	0,208 198	0,177 425	1,370 00
435	0,357 719	0,049 602	1,798 50	470	0,195 618	0,185 190	1,317 56
36	0,364 482	0,051 934	1,839 20	71	0,183 034	0,193 025	1,262 40
37	0,370 493	0,054 337	1,876 60	72	0,170 222	0,200 313	1,205 00
38	0,375 727	0,056 822	1,910 50	73	0,157 348	0,207 156	1,146 60
39	0,380 158	0,059 399	1,940 80	74	0,144 650	0,213 644	1,088 00
440	0,383 734	0,062 077	1,967 28	475	0,132 349	0,219 940	1,030 20
41	0,386 327	0,064 737	1,989 10	76	0,120 584	0,226 170	0,973 830
42	0,387 858	0,067 285	2,005 70	77	0,109 456	0,232 467	0,919 430
43	0,388 396	0,069 764	2,017 40	78	0,099 042	0,239 025	0,867 460
44	0,387 978	0,072 218	2,024 40	79	0,089 388	0,245 997	0,818 280
445	0,386 726	0,074 704	2,027 30	480	0,080 507	0,253 589	0,772 125
46	0,384 696	0,077 272	2,026 40	81	0,072 034	0,261 876	0,728 290
47	0,382 006	0,079 979	2,022 30	82	0,063 710	0,270 643	0,686 040
48	0,378 709	0,082 874	2,015 30	83	0,055 694	0,279 645	0,645 530
49	0,374 915	0,086 000	2,006 00	84	0,048 117	0,288 694	0,606 850
450	0,370 702	0,089 456	1,994 80	485	0,041 072	0,297 665	0,570 060
51	0,366 089	0,092 947	1,981 40	86	0,034 642	0,306 469	0,535 220
52	0,361 045	0,096 275	1,965 30	87	0,028 896	0,315 035	0,502 340
53	0,355 518	0,099 535	1,946 40	88	0,023 876	0,323 335	0,471 400
54	0,349 486	0,102 829	1,924 80	89	0,019 628	0,331 366	0,442 390

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
490	0,016 172	0,339 133	0,415 254	525	0,172 953	0,823 330	0,043 050
91	0,013 300	0,347 860	0,390 024	26	0,185 209	0,834 120	0,040 368
92	0,010 759	0,358 326	0,366 399	27	0,197 755	0,844 600	0,037 839
93	0,008 542	0,370 001	0,344 015	28	0,210 538	0,854 870	0,035 384
94	0,006 661	0,382 464	0,322 689	29	0,223 460	0,865 040	0,032 949
495	0,005 132	0,395 379	0,302 356	530	0,236 491	0,875 211	0,030 451
96	0,003 982	0,408 482	0,283 036	31	0,249 633	0,885 370	0,028 029
97	0,003 239	0,421 588	0,264 816	32	0,262 972	0,895 370	0,025 862
98	0,002 934	0,434 619	0,247 848	33	0,276 515	0,905 150	0,023 920
99	0,003 114	0,447 601	0,232 318	34	0,290 269	0,914 650	0,022 174
500	0,003 816	0,460 777	0,218 502	535	0,304 213	0,923 810	0,020 584
01	0,005 095	0,474 340	0,205 851	36	0,318 361	0,932 550	0,019 127
02	0,006 936	0,488 200	0,193 596	37	0,332 705	0,940 810	0,017 740
03	0,009 299	0,502 340	0,181 736	38	0,347 232	0,948 520	0,016 403
04	0,012 147	0,516 740	0,170 281	39	0,361 926	0,955 600	0,015 064
505	0,015 444	0,531 360	0,159 249	540	0,376 772	0,961 988	0,013 676
06	0,019 156	0,546 190	0,148 673	41	0,391 683	0,967 540	0,012 308
07	0,023 250	0,561 180	0,138 609	42	0,406 594	0,972 230	0,011 056
08	0,027 690	0,576 290	0,129 096	43	0,421 539	0,976 170	0,009 915
09	0,032 444	0,591 500	0,120 215	44	0,436 517	0,979 460	0,008 872
510	0,037 465	0,606 741	0,112 044	545	0,451 584	0,982 200	0,007 918
11	0,042 956	0,622 150	0,104 710	46	0,466 782	0,984 520	0,007 030
12	0,049 114	0,637 830	0,098 196	47	0,482 147	0,986 520	0,006 223
13	0,055 920	0,653 710	0,092 361	48	0,497 738	0,988 320	0,005 453
14	0,063 349	0,669 680	0,087 088	49	0,513 606	0,990 020	0,004 714
515	0,071 358	0,685 660	0,082 248	550	0,529 826	0,991 761	0,003 988
16	0,079 901	0,701 550	0,077 744	51	0,546 440	0,993 530	0,003 289
17	0,088 909	0,717 230	0,073 456	52	0,563 426	0,995 230	0,002 646
18	0,098 293	0,732 570	0,069 268	53	0,580 726	0,996 770	0,002 063
19	0,107 949	0,747 460	0,065 060	54	0,598 290	0,998 090	0,001 533
520	0,117 749	0,761 757	0,060 709	555	0,616 053	0,999 110	0,001 091
21	0,127 839	0,775 340	0,056 457	56	0,633 948	0,999 770	0,000 711
22	0,138 450	0,788 220	0,052 609	57	0,651 901	1,000 000	0,000 407
23	0,149 516	0,800 460	0,049 122	58	0,669 824	0,999 710	0,000 184
24	0,161 041	0,812 140	0,045 954	59	0,687 632	0,998 850	0,000 047

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
560	0,705 224	0,997 340	0,000 000	595	1,134 30	0,720 353	0,000 000
61	0,722 773	0,995 260		96	1,134 30	0,708 281	
62	0,740 483	0,992 740		97	1,133 30	0,696 055	
63	0,758 273	0,989 750		98	1,131 20	0,683 621	
64	0,776 083	0,986 300		99	1,128 10	0,671 048	
565	0,793 832	0,982 380		600	1,123 99	0,658 341	
66	0,811 436	0,977 980		01	1,118 90	0,645 545	
67	0,828 822	0,973 110		02	1,112 90	0,632 718	
68	0,845 879	0,967 740		03	1,105 90	0,619 815	
69	0,862 525	0,961 890		04	1,098 00	0,606 887	
570	0,878 655	0,955 552		605	1,089 10	0,593 878	
71	0,894 208	0,948 601		06	1,079 20	0,580 781	
72	0,909 206	0,940 981		07	1,068 40	0,567 653	
73	0,923 672	0,932 798		08	1,056 70	0,554 490	
74	0,937 638	0,924 158		09	1,044 00	0,541 228	
575	0,951 162	0,915 175		610	1,030 48	0,527 963	
76	0,964 283	0,905 954		11	1,016 00	0,514 634	
77	0,977 068	0,896 608		12	1,000 80	0,501 363	
78	0,989 590	0,887 249		13	0,984 790	0,488 124	
79	1,001 91	0,877 986		14	0,968 080	0,474 935	
580	1,014 16	0,868 934		615	0,950 740	0,461 834	
81	1,026 50	0,860 164		16	0,932 800	0,448 823	
82	1,038 80	0,851 519		17	0,914 340	0,435 917	
83	1,051 00	0,842 963		18	0,895 390	0,423 153	
84	1,062 90	0,834 393		19	0,876 030	0,410 526	
585	1,074 30	0,825 623		620	0,856 297	0,398 057	
86	1,085 20	0,816 764		21	0,836 350	0,385 835	
87	1,095 20	0,807 544		22	0,816 290	0,373 951	
88	1,104 20	0,797 947		23	0,796 050	0,362 311	
89	1,112 00	0,787 893		24	0,775 610	0,350 863	
590	1,118 52	0,777 405		625	0,754 930	0,339 554	
91	1,123 80	0,766 490		26	0,733 990	0,328 309	
92	1,128 00	0,755 309		27	0,712 780	0,317 118	
93	1,131 10	0,743 845		28	0,691 290	0,305 936	
94	1,133 20	0,732 190		29	0,669 520	0,294 737	

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
630	0,647 467	0,283 493	0,000 000	665	0,112 210	0,044 096	0,000 000
31	0,625 110	0,272 222		66	0,105 310	0,041 345	
32	0,602 520	0,260 990		67	0,098 786 0	0,038 750 7	
33	0,579 890	0,249 877		68	0,092 610 0	0,036 297 8	
34	0,557 370	0,238 946		69	0,086 773 0	0,033 983 2	
635	0,535 110	0,228 254		670	0,081 260 6	0,031 800 4	
36	0,513 240	0,217 853		71	0,076 048 0	0,029 739 5	
37	0,491 860	0,207 780		72	0,071 114 0	0,027 791 8	
38	0,471 080	0,198 072		73	0,066 454 0	0,025 955 1	
39	0,450 960	0,188 748		74	0,062 062 0	0,024 226 3	
640	0,431 567	0,179 828		675	0,057 930 0	0,022 601 7	
41	0,412 870	0,171 285		76	0,054 050 0	0,021 077 9	
42	0,394 750	0,163 059		77	0,050 412 0	0,019 650 5	
43	0,377 210	0,155 151		78	0,047 006 0	0,018 315 3	
44	0,360 190	0,147 535		79	0,043 823 0	0,017 068 6	
645	0,343 690	0,140 211		680	0,040 850 8	0,015 905 1	
46	0,327 690	0,133 170		81	0,038 072 0	0,014 818 3	
47	0,312 170	0,126 400		82	0,035 468 0	0,013 800 8	
48	0,297 110	0,119 892		83	0,033 031 0	0,012 849 5	
49	0,282 500	0,113 640		84	0,030 753 0	0,011 960 7	
650	0,268 329	0,107 633		685	0,028 623 0	0,011 130 3	
51	0,254 590	0,101 870		86	0,026 635 0	0,010 355 5	
52	0,241 300	0,096 347		87	0,024 781 0	0,009 633 2	
53	0,228 480	0,091 063		88	0,023 052 0	0,008 959 9	
54	0,216 140	0,086 010		89	0,021 441 0	0,008 332 4	
655	0,204 300	0,081 187		690	0,019 941 3	0,007 748 8	
56	0,192 950	0,076 583		91	0,018 544 0	0,007 204 6	
57	0,182 110	0,072 198		92	0,017 241 0	0,006 697 5	
58	0,171 770	0,068 024		93	0,016 027 0	0,006 225 1	
59	0,161 920	0,064 052		94	0,014 896 0	0,005 785 0	
660	0,152 568	0,060 281		695	0,013 842 0	0,005 375 1	
61	0,143 670	0,056 697		96	0,012 862 0	0,004 994 1	
62	0,135 200	0,053 292		97	0,011 949 0	0,004 639 2	
63	0,127 130	0,050 059		98	0,011 100 0	0,004 309 3	
64	0,119 480	0,046 998		99	0,010 311 0	0,004 002 8	

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
700	0,009 576 88	0,003 717 74	0,000 000	735	0,000 727 450	0,000 284 041	0,000 000
01	0,008 894 00	0,003 452 62		36	0,000 676 900	0,000 264 375	
02	0,008 258 10	0,003 205 83		37	0,000 629 960	0,000 246 109	
03	0,007 666 40	0,002 976 23		38	0,000 586 370	0,000 229 143	
04	0,007 116 30	0,002 762 81		39	0,000 545 870	0,000 213 376	
705	0,006 605 20	0,002 564 56		740	0,000 508 258	0,000 198 730	
06	0,006 130 60	0,002 380 48		41	0,000 473 300	0,000 185 115	
07	0,005 690 30	0,002 209 71		42	0,000 440 800	0,000 172 454	
08	0,005 281 90	0,002 051 32		43	0,000 410 580	0,000 160 678	
09	0,004 903 30	0,001 904 49		44	0,000 382 490	0,000 149 730	
710	0,004 552 63	0,001 768 47		745	0,000 356 380	0,000 139 550	
11	0,004 227 50	0,001 642 36		46	0,000 332 110	0,000 130 086	
12	0,003 925 80	0,001 525 35		47	0,000 309 550	0,000 121 290	
13	0,003 645 70	0,001 416 72		48	0,000 288 580	0,000 113 106	
14	0,003 385 90	0,001 315 95		49	0,000 269 090	0,000 105 501	
715	0,003 144 70	0,001 222 39		750	0,000 250 969	0,000 098 428	
16	0,002 920 80	0,001 135 55		51	0,000 234 130	0,000 091 853	
17	0,002 713 00	0,001 054 94		52	0,000 218 470	0,000 085 738	
18	0,002 520 20	0,000 980 14		53	0,000 203 910	0,000 080 048	
19	0,002 341 10	0,000 910 66		54	0,000 190 350	0,000 074 751	
720	0,002 174 96	0,000 846 19		755	0,000 177 730	0,000 069 819	
21	0,002 020 60	0,000 786 29		56	0,000 165 970	0,000 065 222	
22	0,001 877 30	0,000 730 68		57	0,000 155 020	0,000 060 939	
23	0,001 744 10	0,000 678 99		58	0,000 144 800	0,000 056 942	
24	0,001 620 50	0,000 631 01		59	0,000 135 280	0,000 053 217	
725	0,001 505 70	0,000 586 44		760	0,000 126 390	0,000 049 737	
26	0,001 399 20	0,000 545 11		61	0,000 118 100	0,000 046 491	
27	0,001 300 40	0,000 506 72		62	0,000 110 370	0,000 043 464	
28	0,001 208 70	0,000 471 11		63	0,000 103 150	0,000 040 635	
29	0,001 123 60	0,000 438 08		64	0,000 096 427 0	0,000 038 000 0	
730	0,001 044 76	0,000 407 41		765	0,000 090 151 0	0,000 035 540 5	
31	0,000 971 560	0,000 378 962		66	0,000 084 294 0	0,000 033 244 8	
32	0,000 903 600	0,000 352 543		67	0,000 078 830 0	0,000 031 100 6	
33	0,000 840 480	0,000 328 001		68	0,000 073 729 0	0,000 029 099 0	
34	0,000 781 870	0,000 305 208		69	0,000 068 969 0	0,000 027 230 7	

Fortsetzung T 6.19

λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$	λ nm	$\bar{x}_{10}(\lambda)$	$\bar{y}_{10}(\lambda)$	$\bar{z}_{10}(\lambda)$
770	0,000 064 525 8	0,000 025 486 0	0,000 000	800	0,000 009 413 63	0,000 003 764 73	0,000 000
71	0,000 060 376 0	0,000 023 856 1		01	0,000 008 847 90	0,000 003 539 95	
72	0,000 056 500 0	0,000 022 333 2		02	0,000 008 317 10	0,000 003 329 14	
73	0,000 052 880 0	0,000 020 910 4		03	0,000 007 819 00	0,000 003 131 15	
74	0,000 049 498 0	0,000 019 580 8		04	0,000 007 351 60	0,000 002 945 29	
775	0,000 046 339 0	0,000 018 338 4		805	0,000 006 913 00	0,000 002 770 81	
76	0,000 043 389 0	0,000 017 177 7		06	0,000 006 501 50	0,000 002 607 05	
77	0,000 040 634 0	0,000 016 093 4		07	0,000 006 115 30	0,000 002 453 29	
78	0,000 038 060 0	0,000 015 080 0		08	0,000 005 752 90	0,000 002 308 94	
79	0,000 035 657 0	0,000 014 133 6		09	0,000 005 412 70	0,000 002 173 38	
780	0,000 033 411 7	0,000 013 249 0		810	0,000 005 093 47	0,000 002 046 13	
81	0,000 031 315 0	0,000 012 422 6		11	0,000 004 793 80	0,000 001 926 62	
82	0,000 029 355 0	0,000 011 649 9		12	0,000 004 512 50	0,000 001 814 40	
83	0,000 027 524 0	0,000 010 927 7		13	0,000 004 248 30	0,000 001 708 95	
84	0,000 025 811 0	0,000 010 251 9		14	0,000 004 000 20	0,000 001 609 88	
785	0,000 024 209 0	0,000 009 619 6		815	0,000 003 767 10	0,000 001 516 77	
86	0,000 022 711 0	0,000 009 028 1		16	0,000 003 548 00	0,000 001 429 21	
87	0,000 021 308 0	0,000 008 474 0		17	0,000 003 342 10	0,000 001 346 86	
88	0,000 019 994 0	0,000 007 954 8		18	0,000 003 148 50	0,000 001 269 45	
89	0,000 018 764 0	0,000 007 468 6		19	0,000 002 966 50	0,000 001 196 62	
790	0,000 017 611 5	0,000 007 012 8		820	0,000 002 795 31	0,000 001 128 09	
91	0,000 016 532 0	0,000 006 585 8		21	0,000 002 634 50	0,000 001 063 68	
92	0,000 015 521 0	0,000 006 185 7		22	0,000 002 483 40	0,000 001 003 13	
93	0,000 014 574 0	0,000 005 810 7		23	0,000 002 341 40	0,000 000 946 22	
94	0,000 013 686 0	0,000 005 459 0		24	0,000 002 207 80	0,000 000 892 63	
795	0,000 012 855 0	0,000 005 129 8		825	0,000 002 082 00	0,000 000 842 16	
96	0,000 012 075 0	0,000 004 820 6		26	0,000 001 963 60	0,000 000 794 64	
97	0,000 011 345 0	0,000 004 531 2		27	0,000 001 851 90	0,000 000 749 78	
98	0,000 010 659 0	0,000 004 259 1		28	0,000 001 746 50	0,000 000 707 44	
99	0,000 010 017 0	0,000 004 004 2		29	0,000 001 647 10	0,000 000 667 48	
				830	0,000 001 553 14	0,000 000 629 70	

$$\sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{x}_{10}(\lambda) = 116,648\,519\,508\,908 \qquad \sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{y}_{10}(\lambda) = 116,661\,877\,102\,312 \qquad \sum_{\lambda=360\,\mathrm{nm}}^{830\,\mathrm{nm}} \bar{z}_{10}(\lambda) = 116,673\,980\,514\,647$$

6.20 Relative spektrale Strahlungsverteilung (Strahlungsfunktion) der Normlichtarten A und D_{65} – *Relative spectral power distribution of standard illuminants* A *and* D_{65} (W. Erb)

λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$
300	0,930 483	0,034 100 0	350	4,742 38	44,911 7	400	14,708 0	82,754 9
01	0,967 643	0,360 140	51	4,870 95	45,084 4	01	14,989 1	83,628 0
02	1,005 97	0,686 180	52	5,002 04	45,257 0	02	15,273 6	84,501 1
03	1,045 49	1,012 22	53	5,135 68	45,429 7	03	15,561 6	85,374 2
04	1,086 23	1,338 26	54	5,271 89	45,602 3	04	15,853 0	86,247 3
305	1,128 21	1,664 30	355	5,410 70	45,775 0	405	16,148 0	87,120 4
06	1,171 47	1,990 34	56	5,552 13	45,947 7	06	16,446 4	87,993 6
07	1,216 02	2,316 38	57	5,696 22	46,120 3	07	16,748 4	88,866 7
08	1,261 88	2,642 42	58	5,842 98	46,293 0	08	17,053 8	89,739 8
09	1,309 10	2,968 46	59	5,992 44	46,465 6	09	17,362 8	90,612 9
310	1,357 69	3,294 50	360	6,144 62	46,638 3	410	17,675 3	91,486 0
11	1,407 68	4,988 65	61	6,299 55	47,183 4	11	17,991 3	91,680 6
12	1,459 10	6,682 80	62	6,457 24	47,728 5	12	18,310 8	91,875 2
13	1,511 98	8,376 95	63	6,617 74	48,273 5	13	18,633 9	92,069 7
14	1,566 33	10,071 1	64	6,781 05	48,818 6	14	18,960 5	92,264 3
315	1,622 19	11,765 2	365	6,947 20	49,363 7	415	19,290 7	92,458 9
16	1,679 59	13,459 4	66	7,116 21	49,908 8	16	19,624 4	92,653 5
17	1,738 55	15,153 5	67	7,288 11	50,453 9	17	19,961 7	92,848 1
18	1,799 10	16,847 7	68	7,462 92	50,998 9	18	20,302 6	93,042 6
19	1,861 27	18,541 8	69	7,640 66	51,544 0	19	20,647 0	93,237 2
320	1,925 08	20,236 0	370	7,821 35	52,089 1	420	20,995 0	93,431 8
21	1,990 57	21,917 7	71	8,005 01	51,877 7	21	21,346 5	92,756 8
22	2,057 76	23,599 5	72	8,191 67	51,666 4	22	21,701 6	92,081 9
23	2,126 67	25,281 3	73	8,381 34	51,455 0	23	22,060 3	91,406 9
24	2,197 34	26,963 0	74	8,574 04	51,243 7	24	22,422 5	90,732 0
325	2,269 80	28,644 7	375	8,769 80	51,032 3	425	22,788 3	90,057 0
26	2,344 06	30,326 5	76	8,968 64	50,820 9	26	23,157 7	89,382 1
27	2,420 17	32,008 2	77	9,170 56	50,609 6	27	23,530 7	88,707 1
28	2,498 14	33,690 0	78	9,375 61	50,398 2	28	23,907 2	88,032 2
29	2,578 01	35,371 7	79	9,583 78	50,186 9	29	24,287 3	87,357 2
330	2,659 81	37,053 5	380	9,795 10	49,975 5	430	24,670 9	86,682 3
31	2,743 55	37,343 0	81	10,009 6	50,442 8	31	25,058 1	88,500 6
32	2,829 28	37,632 6	82	10,227 3	50,910 0	32	25,448 9	90,318 8
33	2,917 01	37,922 1	83	10,448 1	51,377 3	33	25,843 2	92,137 1
34	3,006 78	38,211 6	84	10,672 2	51,844 6	34	26,241 1	93,955 3
335	3,098 61	38,501 1	385	10,899 6	52,311 8	435	26,642 5	95,773 6
36	3,192 53	38,790 7	86	11,130 2	52,779 1	36	27,047 5	97,591 9
37	3,288 57	39,080 2	87	11,364 0	53,246 4	37	27,456 0	99,410 1
38	3,386 76	39,369 7	88	11,601 2	53,713 7	38	27,868 1	101,228
39	3,487 12	39,659 3	89	11,841 6	54,180 9	39	28,283 6	103,047
340	3,589 68	39,948 8	390	12,085 3	54,648 2	440	28,702 7	104,865
41	3,694 47	40,445 1	91	12,332 4	57,458 9	41	29,125 3	106,079
42	3,801 52	40,941 4	92	12,582 8	60,269 5	42	29,551 5	107,293
43	3,910 85	41,437 7	93	12,836 6	63,080 2	43	29,981 1	108,508
44	4,022 50	41,934 0	94	13,093 8	65,890 9	44	30,414 2	109,722
345	4,136 48	42,430 2	395	13,354 3	68,701 5	445	30,850 8	110,936
46	4,252 82	42,926 5	96	13,618 2	71,512 2	46	31,290 9	112,151
47	4,371 56	43,422 8	97	13,885 5	74,322 9	47	31,734 5	113,365
48	4,492 72	43,919 1	98	14,156 3	77,133 6	48	32,181 5	114,579
49	4,616 31	44,415 4	99	14,430 4	79,944 2	49	32,632 0	115,793

Fortsetzung T 6.20

λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$
450	33,085 9	117,008	500	59,861 1	109,354	550	92,912 0	104,046
51	33,543 2	117,088	01	60,470 3	109,199	51	93,615 7	103,642
52	34,004 0	117,169	02	61,082 0	109,044	52	94,320 6	103,237
53	34,468 2	117,249	03	61,696 2	108,889	53	95,026 7	102,832
54	34,935 8	117,329	04	62,312 8	108,733	54	95,733 9	102,428
455	35,406 8	117,410	505	62,932 0	108,578	555	96,442 3	102,023
56	35,881 1	117,490	06	63,553 5	108,423	56	97,151 8	101,618
57	36,358 8	117,571	07	64,177 5	108,268	57	97,862 3	101,214
58	36,839 9	117,651	08	64,803 8	108,112	58	98,573 9	100,809
59	37,324 3	117,732	09	65,432 5	107,957	59	99,286 4	100,405
460	37,812 1	117,812	510	66,063 5	107,802	560	100,000	100,000
61	38,303 1	117,517	11	66,696 8	107,501	61	100,715	99,633 4
62	38,797 5	117,222	12	67,332 4	107,199	62	101,430	99,266 8
63	39,295 1	116,927	13	67,970 2	106,898	63	102,146	98,900 3
64	39,796 0	116,632	14	68,610 2	106,597	64	102,864	98,533 7
465	40,300 2	116,337	515	69,252 5	106,296	565	103,582	98,167 1
66	40,807 6	116,041	16	69,896 9	105,995	66	104,301	97,800 5
67	41,318 2	115,746	17	70,543 5	105,693	67	105,020	97,433 9
68	41,832 0	115,451	18	71,192 2	105,392	68	105,741	97,067 4
69	42,349 1	115,156	19	71,843 0	105,091	69	106,462	96,700 8
470	42,869 3	114,861	520	72,495 9	104,790	570	107,184	96,334 2
71	43,392 6	114,967	21	73,150 8	105,080	71	107,906	96,279 6
72	43,919 2	115,073	22	73,807 7	105,370	72	108,630	96,225 0
73	44,448 8	115,179	23	74,466 6	105,660	73	109,354	96,170 3
74	44,981 6	115,286	24	75,127 5	105,950	74	110,078	96,115 7
475	45,517 4	115,392	525	75,790 3	106,240	575	110,803	96,061 1
76	46,056 3	115,498	26	76,455 1	106,530	76	111,529	96,006 5
77	46,598 3	115,604	27	77,121 7	106,820	77	112,255	95,951 9
78	47,143 3	115,710	28	77,790 2	107,110	78	112,982	95,897 2
79	47,691 3	115,817	29	78,460 5	107,400	79	113,709	95,842 6
480	48,242 3	115,923	530	79,132 6	107,689	580	114,436	95,788 0
81	48,796 3	115,212	31	79,806 5	107,361	81	115,164	95,077 8
82	49,353 3	114,500	32	80,482 1	107,033	82	115,893	94,367 5
83	49,913 2	113,789	33	81,159 5	106,704	83	116,622	93,657 3
84	50,476 0	113,078	34	81,838 6	106,376	84	117,351	92,947 0
485	51,041 8	112,367	535	82,519 3	106,047	585	118,080	92,236 8
86	51,610 4	111,656	36	83,201 7	105,719	86	118,810	91,526 6
87	52,181 8	110,944	37	83,885 6	105,391	87	119,540	90,816 3
88	52,756 1	110,233	38	84,571 2	105,062	88	120,270	90,106 1
89	53,333 2	109,522	39	85,258 4	104,734	89	121,001	89,395 8
490	53,913 2	108,811	540	85,947 0	104,405	590	121,731	88,685 6
91	54,495 8	108,865	41	86,637 2	104,370	91	122,462	88,817 7
92	55,081 3	108,919	42	87,328 8	104,334	92	123,193	88,949 7
93	55,669 4	108,974	43	88,021 9	104,298	93	123,924	89,081 8
94	56,260 3	109,028	44	88,716 5	104,262	94	124,655	89,213 8
495	56,853 9	109,083	545	89,412 4	104,226	595	125,386	89,345 9
96	57,450 1	109,137	46	90,109 7	104,190	96	126,118	89,478 0
97	58,048 9	109,191	47	90,808 3	104,154	97	126,849	89,610 0
98	58,650 4	109,246	48	91,508 2	104,118	98	127,580	89,742 1
99	59,254 5	109,300	49	92,209 5	104,082	99	128,312	89,874 1

Fortsetzung T 6.20

λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$
600	129,043	90,006 2	650	165,028	80,026 8	700	198,261	71,609 1
01	129,774	89,965 5	51	165,726	80,045 6	01	198,884	71,883 1
02	130,505	89,924 8	52	166,424	80,064 4	02	199,506	72,157 1
03	131,236	89,884 1	53	167,121	80,083 1	03	200,125	72,431 1
04	131,966	89,843 4	54	167,816	80,101 9	04	200,743	72,705 1
605	132,697	89,802 6	655	168,510	80,120 7	705	201,359	72,979 0
06	133,427	89,761 9	56	169,203	80,139 5	06	201,972	73,253 0
07	134,157	89,721 2	57	169,895	80,158 3	07	202,584	73,527 0
08	134,887	89,680 5	58	170,586	80,177 0	08	203,195	73,801 0
09	135,617	89,639 8	59	171,275	80,195 8	09	203,803	74,075 0
610	136,346	89,599 1	660	171,963	80,214 6	710	204,409	74,349 0
11	137,075	89,409 1	61	172,650	80,420 9	11	205,013	73,074 5
12	137,804	89,219 0	62	173,335	80,627 2	12	205,616	71,800 0
13	138,532	89,029 0	63	174,019	80,833 6	13	206,216	70,525 5
14	139,260	88,838 9	64	174,702	81,039 9	14	206,815	69,251 0
615	139,988	88,648 9	665	175,383	81,246 2	715	207,411	67,976 5
16	140,715	88,458 9	66	176,063	81,452 5	16	208,006	66,702 0
17	141,441	88,268 8	67	176,741	81,658 8	17	208,599	65,427 5
18	142,167	88,078 8	68	177,419	81,865 2	18	209,189	64,153 0
19	142,893	87,888 7	69	178,094	82,071 5	19	209,778	62,878 5
620	143,618	87,698 7	670	178,769	82,277 8	720	210,365	61,604 0
21	144,343	87,257 7	71	179,441	81,878 4	21	210,949	62,432 2
22	145,067	86,816 7	72	180,113	81,479 1	22	211,532	63,260 3
23	145,790	86,375 7	73	180,783	81,079 7	23	212,112	64,088 5
24	146,513	85,934 7	74	181,451	80,680 4	24	212,691	64,916 6
625	147,235	85,493 6	675	182,118	80,281 0	725	213,268	65,744 8
26	147,957	85,052 6	76	182,783	79,881 6	26	213,842	66,573 0
27	148,678	84,611 6	77	183,447	79,482 3	27	214,415	67,401 1
28	149,398	84,170 6	78	184,109	79,082 9	28	214,985	68,229 3
29	150,117	83,729 6	79	184,770	78,683 6	29	215,553	69,057 4
630	150,836	83,288 6	680	185,429	78,284 2	730	216,120	69,885 6
31	151,554	83,329 7	81	186,087	77,427 9	31	216,684	70,405 7
32	152,271	83,370 7	82	186,743	76,571 6	32	217,246	70,925 9
33	152,988	83,411 8	83	187,397	75,715 3	33	217,806	71,446 0
34	153,704	83,452 8	84	188,050	74,859 0	34	218,364	71,966 2
635	154,418	83,493 9	685	188,701	74,002 7	735	218,920	72,486 3
36	155,132	83,535 0	86	189,350	73,146 5	36	219,473	73,006 4
37	155,845	83,576 0	87	189,998	72,290 2	37	220,025	73,526 6
38	156,558	83,617 1	88	190,644	71,433 9	38	220,574	74,046 7
39	157,269	83,658 1	89	191,288	70,577 6	39	221,122	74,566 9
640	157,979	83,699 2	690	191,931	69,721 3	740	221,667	75,087 0
41	158,689	83,332 0	91	192,572	69,910 1	41	222,210	73,937 6
42	159,397	82,964 7	92	193,211	70,098 9	42	222,751	72,788 1
43	160,104	82,597 5	93	193,849	70,287 6	43	223,290	71,638 7
44	160,811	82,230 2	94	194,484	70,476 4	44	223,826	70,489 3
645	161,516	81,863 0	695	195,118	70,665 2	745	224,361	69,339 8
46	162,221	81,495 8	96	195,750	70,854 0	46	224,893	68,190 4
47	162,924	81,128 5	97	196,381	71,042 8	47	225,423	67,041 0
48	163,626	80,761 3	98	197,009	71,231 5	48	225,951	65,891 6
49	164,327	80,394 0	99	197,636	71,420 3	49	226,477	64,742 1

Fortsetzung T 6.20

λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$	λ nm	A $S(\lambda)$	D_{65} $S(\lambda)$
750	227,000	63,592 7	780	241,675	63,382 8	810	254,314	51,959 0
51	227,522	61,875 2	81	242,130	63,474 9	11	254,700	52,507 2
52	228,041	60,157 8	82	242,582	63,567 0	12	255,083	53,055 3
53	228,558	58,440 4	83	243,031	63,659 2	13	255,465	53,603 5
54	229,073	56,722 9	84	243,479	63,751 3	14	255,844	54,151 6
755	229,585	55,005 4	785	243,924	63,843 4	815	256,221	54,699 8
56	230,096	53,288 0	86	244,367	63,935 5	16	256,595	55,248 0
57	230,604	51,570 5	87	244,808	64,027 6	17	256,968	55,796 1
58	231,110	49,853 1	88	245,246	64,119 8	18	257,338	56,344 3
59	231,614	48,135 6	89	245,682	64,211 9	19	257,706	56,892 4
760	232,115	46,418 2	790	246,116	64,304 0	820	258,071	57,440 6
61	232,615	48,456 9	91	246,548	63,818 8	21	258,434	57,727 8
62	233,112	50,495 6	92	246,977	63,333 6	22	258,795	58,015 0
63	233,606	52,534 4	93	247,404	62,848 4	23	259,154	58,302 2
64	234,099	54,573 1	94	247,829	62,363 2	24	259,511	58,589 4
765	234,589	56,611 8	795	248,251	61,877 9	825	259,865	58,876 5
66	235,078	58,650 5	96	248,671	61,392 7	26	260,217	59,163 7
67	235,564	60,689 2	97	249,089	60,907 5	27	260,567	59,450 9
68	236,047	62,728 0	98	249,505	60,422 3	28	260,914	59,738 1
69	236,529	64,766 7	99	249,918	59,937 1	29	261,259	60,025 3
770	237,008	66,805 4	800	250,329	59,451 9	830	261,602	60,312 5
71	237,485	66,463 1	01	250,738	58,702 6			
72	237,959	66,120 9	02	251,144	57,953 3			
73	238,432	65,778 6	03	251,548	57,204 0			
74	238,902	65,436 4	04	251,950	56,454 7			
775	239,370	65,094 1	805	252,350	55,705 4			
76	239,836	64,751 8	06	252,747	54,956 2			
77	240,299	64,409 6	07	253,142	54,206 9			
78	240,760	64,067 3	08	253,535	53,457 6			
79	241,219	63,725 1	09	253,925	52,708 3			

6.21 Eigenschaften verschiedener für die Spektrometrie wichtiger Lasertypen – *Properties of lasers used in spectrometry* (W. Demtröder)

Typ	Wellenlängenbereich	Typische Werte für Pulsenergie in mJ	Spitzenleistung in MW	Pulsfolgefrequenz in Hz	Mittlere Leistung in W	Spektrale Bandbreite
Argonlaser,						
multimode	auf 14 Übergängen,			cw	1 bis 20	8 GHz
single mode	350 bis 528 mm			cw	0,1 bis 10	1 MHz
Kryptonlaser	auf 17 Übergängen, 337 bis 793 nm			cw	0,5 bis 6	8 GHz
Nd: YAG-Laser	1064 nm	≈ 500	100	1 bis 100	⩽ 100	5 bis 30 GHz
Excimerlaser. KrF, ArF, XeF, KrCl, XeCl, XeBr	je nach Gasart 157 bis 350 nm	10^1 bis 10^3	1 bis 100	0,1 bis 200	⩽ 100	≈ 0,2 nm
Farbstofflaser, gepumpt von Argon-, Kryptonlaser	mit verschiedenen Farbstoffen kann der gesamte Bereich 320 bis 1200 nm überdeckt werden			cw cw	0,1 bis 3 0,1 bis 3	single mode, cw: < 1 MHz; single mode, gepulst: Fourier-begrenzt; multimode: 0,001 bis 0,5 nm, je nach spektraler Einengung durch Etalons oder Gitter
N_2-Laser		1 bis 10	0,1 bis 1	10 bis 1000	≈ 1	
Excimerlaser		10 bis 100	⩽2	0,1 bis 200	0,1 bis 1	
Nd: YAG-Laser-Blitzlampen		100 bis 1000	<0,1	1 bis 50	0,1 bis 100	
Farbzentrenlaser	mit verschiedenen Kristallen: 0,8 bis 3 μm			cw	0,01 bis 1	< 100 kHz für single mode
Halbleiterlaser	0,7 bis 1,5 μm			cw	0,01 bis 1	≈ 1 MHz single mode

Durch optische Frequenzvervielfachung oder Frequenzmischung kann der Wellenlängenbereich aller Laser zu kürzeren und zu längeren Wellenlängen hin beträchlich erweitert werden.

6.22 Wellenlängen unter spektrometrischen Normalbedingungen (s. auch Tab. T 1.01) – *Wavelengths under spectrometric standard conditions* (see also Tab. T 1.01) (K. Grützmacher)

Wellenlängen in nm für a) Atom- und Ionenlinien, b) Resonanzlinien des Wasserstoffs, des Deuteriums und wasserstoffähnlicher Ionen; unterhalb 200 nm für Vakuum, oberhalb 200 nm für trockene Luft von 15°C, 1013,25 mbar und einem CO_2 -Volumengehalt von 0,03 %. Abhängigkeit der Wellenlänge von Temperatur, Druck, Feuchtigkeit und CO_2 -Gehalt s. Abschnitt **6**.1.1.2, Bd. 2.

Stärkere Linien sind mit S gekennzeichnet. Die Intensität der Linien kann stark von den Erzeugungsbedingungen abhängen. Zur Verschiebung und Verbreiterung von Linien siehe z. B. Griem, H. R. (1974): Spectral Line Broadening by Plasmas. New York, London: Academic Press.

Literatur: Reader, J.; Wiese, W. L. (1980): Wavelength and Transition Probabilities for Atoms and Atomic Ions. Nat. Stand. Ref. Data Ser., Nat. Bur. Stand. (US), 68 bzw. Reader, J.; Corliss, C. H. (1983): Line Spectra of the Elements, im Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Florida, E-192 bis E-318; Harrison (1939): Wavelength Tables with Intensities in Arc, Spark or Discharge Tubes between 10 000 and 2 000 Å. New York, London; Kayser, Ritschl (1939): Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren aller Elemente, Berlin; Landolt-Börnstein (1950): Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. Bd. 1, 1. Teil, Atome und Ionen. Berlin. Eisenstandards: Trans. Int. Astron. Union **9** (1955) 220–224. Neon-, Argon- und Kryptonstandards: ebd. **9** (1955) 205–210. Edelgase: Meggers (1934): J. Res. Bur. Stand. **13**, 303. Weitere Standardwellenlängen von ^{198}Hg, natürlichem Ne, Ar, Kr, Ge siehe Trans. Int. Astron. Union **10** (1958) 228, 229 und 231.

6.22a Atom (I)- und Ionen (II)-Linien

Ag I	Vakuum	
	150,737	
	151,563	
	154,858	
	in Luft	
	206,117	
	,985	
	282,439	
	328,068	S
	338,289	S
	381,094	
	384,074	
	398,158	
	405,548	
	421,282	
	487,410	
	520,908	S
	546,550	S
	566,734	
	768,778	
	827,352	
Ag II	Vakuum	
	107,422	
	110,703	
	111,246	
	136,450	
	in Luft	
	201,596	
	203,398	
	224,643	
	243,781	
	326,735	
	408,591	
	418,548	

Al I	Vakuum	
	176,564	
	,638	
	,914	
	in Luft	
	226,910	
	236,705	
	237,312	
	257,510	
	305,714	
	308,215	S
	309,271	S
	,284	S
	394,401	S
	396,152	S
	669,602	
	877,287	
	,390	
	1125,319	
	,488	
	1312,341	
	1315,076	
Al II	Vakuum	
	153,983	
	167,079	
	171,944	
	172,127	
	,498	
	186,231	
	199,053	
	in Luft	
	209,426	
	281,619	
	358,656	

noch Al II	390,068	
	466,680	
	559,323	
	600,642	
	607,323	
	618,342	
	624,336	
	633,574	
Ar I	Vakuum	
	83,4392	
	86,6800	
	,9754	
	87,6058	
	,9947	
	104,822	S
	106,666	S
	in Luft	
	415,859	
	419,071	
	,832	
	420,067	
	425,936	
	426,629	
	427,217	
	430,010	
	433,356	
	451,073	
	696,543	S
	706,722	S
	714,704	
	727,294	
	738,398	S
	750,387	S

noch Ar I	751,465	S
	763,511	S
	772,376	S
	,421	S
	794,818	S
	800,616	S
	801,479	S
	810,369	S
	811,531	S
	826,452	S
	840,821	S
	842,465	S
	852,144	S
	866,795	
	912,297	S
	922,450	S
	965,779	S
	978,450	
	1331,321	
	1336,711	
	1350,419	
	1371,858	
Ar II	Vakuum	
	54,3203	
	66,1867	
	67,0946	S
	,1851	S
	72,3361	S
	91,9781	S
	93,2054	S
	in Luft	
	294,289	
	297,905	
	349,154	

noch Ar II	355,951	
	356,103	
	376,527	
	404,289	
	405,292	
	407,201	
	410,391	
	413,172	
	422,816	
	423,722	
	427,753	S
	433,120	
	434,806	S
	437,075	
	,967	
	440,099	
	442,600	
	443,019	
	447,476	
	448,181	
	454,505	
	457,935	
	458,990	
	460,957	
	465,790	
	472,687	
	473,541	
	476,487	S
	480,602	S
	484,781	
	487,986	S
	496,508	
	514,178	
	1046,718	

Fortsetzung T 6.22a

Au I	Vakuum	
	158,716	
	164,667	
	169,934	
	in Luft	
	201,200	S
	202,138	
	242,795	
	267,595	
	274,825	
	312,278	
	389,786	
	404,093	
	406,507	
	460,751	
	479,258	
	627,817	
	751,073	
Au II	Vakuum	
	95,778	
	110,331	
	122,457	
	174,052	
	178,322	
	in Luft	
	208,209	
	280,204	S
	281,979	
	283,785	
	291,352	
	,824	
	299,480	
Ba I	in Luft	
	350,111	
	553,548	
	659,533	
	667,527	
	669,384	
	705,994	S
	712,033	
	728,030	
	739,241	
	767,209	
	778,048	
	790,575	
	855,997	
	937,006	
	983,037	
	1023,323	
Ba II	Vakuum	
	150,401	
	169,437	
	192,470	
	in Luft	
	224,561	
noch Ba II	225,473	
	230,424	
	233,527	
	389,178	
	413,066	
	455,403	S
	493,409	S
	495,715	
	501,300	
	539,160	
	585,368	
	614,172	S
	649,690	
	676,962	
	687,409	
C I	Vakuum	
	119,3009	
	,3031	
	,3240	
	,3264	
	127,7245	
	,7282	
	,7513	
	,7550	
	156,0683	
	,0708	
	,1438	
	165,7008	
	175,1823	
	193,0905	S
	in Luft	
	247,856	S
	477,175	
	493,205	
	505,217	
	538,034	
	601,322	
	,484	
	711,318	
	,519	
	833,515	
	909,483	
	940,573	S
C II	Vakuum	
	90,414	
	103,702	
	133,453	
	,571	
	in Luft	
	283,671	S
	,760	
	299,262	
	391,898	
	392,069	
	426,700	
noch C II	426,726	S
	514,516	
	588,977	
	657,805	
	658,288	
	723,132	
	,642	S
Ca I	in Luft	
	239,856	
	272,165	
	300,086	
	,686	
	,921	
	364,441	
	,477	
	409,853	
	,857	
	430,253	
	,774	
	445,478	
	,589	
	,661	
	485,587	
	,596	
	559,012	
	,447	
	,849	
	610,272	
	612,222	
	616,129	
	,217	
	643,907	
	644,981	
	646,257	
	671,796	
	714,815	
	720,219	
Ca II	Vakuum	
	164,986	
	181,450	
	183,801	
	184,006	
	185,069	
	in Luft	
	315,887	
	317,933	
	318,128	
	370,603	
	373,690	
	393,366	S
	396,847	S
	820,172	
	824,880	
	849,802	
	854,209	
	866,214	
Cd I	in Luft	
	228,802	S
	283,690	
	288,077	
	298,062	S
	,136	
	313,317	
	325,252	
	326,106	
	340,365	
	346,620	S
	,766	
	361,051	
	,287	
	479,991	
	508,582	S
	609,914	
	643,847	S
	734,567	S
Cd II	in Luft	
	214,441	S
	219,456	S
	226,502	S
	231,277	S
	257,293	
	274,854	S
	441,563	S
	533,748	S
	537,813	S
	635,472	
	,998	
	646,494	
	672,578	
Cr I	in Luft	
	251,952	
	298,600	
	,647	
	300,089	
	301,492	
	,757	
	302,156	
	,435	
	357,869	S
	359,349	S
	360,533	
	425,435	S
	427,480	S
	428,972	S
	433,945	
	434,451	
	435,177	
	464,617	
	520,452	
	,604	
	,844	S
	540,979	
Cr II	in Luft	
	205,552	S
	206,149	S
	,542	S
	267,716	
	276,259	
	,654	
	283,563	
	284,325	
	,984	
	286,257	
	,511	
	,674	
	313,206	
Cs I	in Luft	
	387,614	
	455,528	
	658,651	
	672,328	
	697,330	
	722,854	
	727,996	
	794,388	
	807,903	
	852,112	S
	876,141	
	894,346	S
	917,232	
	1002,436	
	1012,360	
	1469,493	
	3942,122	
	,408	
Cs II	Vakuum	
	71,814	
	80,876	
	81,384	
	90,127	S
	92,666	S
	in Luft	
	257,303	
	281,694	
	293,109	
	294,095	
	326,592	
	,713	
	336,856	
	389,698	
	427,710	S
	428,835	
	436,328	S
	440,525	
	450,152	
	452,672	
	460,376	S
	522,700	

Fortsetzung T 6.22a

noch Cs II	556,302	
	583,116	
	592,565	
	695,552	
Cu I	Vakuum	
	177,482	
	182,535	
	in Luft	
	216,509	
	217,894	
	218,172	
	219,958	
	,975	
	221,458	
	222,570	
	,778	
	223,008	
	224,426	
	226,053	
	,308	
	229,384	
	239,263	
	240,666	
	249,215	
	261,837	
	276,637	
	296,116	
	299,736	
	301,084	
	303,610	
	306,341	
	310,860	
	324,754	S
	327,396	S
	330,795	
	353,038	
	406,264	
	465,112	
	515,324	
	521,820	
	793,313	
	809,263	
Cu II	Vakuum	
	89,368	
	91,421	
	104,452	
	,474	
	148,883	
	154,170	
	in Luft	
	213,598	
	224,262	
	,700	
	368,655	
	490,973	

noch Cu II	493,170	
	505,179	
	627,335	
	630,101	
	647,017	
	740,435	
	766,465	
	780,766	
	782,565	
	798,816	
Fe I	Vakuum	
	194,6988	
	195,7823	
	196,0144	
	in Luft	
	229,8169	
	245,7598	
	246,2647	
	,5149	
	,8879	
	247,2336	
	,2895	
	,9776	
	248,3271	S
	,4185	
	,6373	
	,8143	
	,9750	
	249,0644	
	,1155	
	250,1132	
	251,0835	
	252,2849	
	,7435	
	271,9027	
	272,0903	
	281,3287	
	283,2436	
	296,6898	
	302,0639	
	305,9086	
	344,0606	
	,0989	
	347,5450	
	349,0574	
	358,1195	
	371,9935	
	373,4864	
	,7131	
	374,5561	
	,8262	
	,9485	
	382,0425	
	,4444	
	385,6372	
	,9911	S

noch Fe I	387,8573	
	388,6282	
	393,0296	
	404,5813	
	427,1759	
	428,2402	
	430,7901	
	432,5761	
	440,4750	
	495,7597	
	516,7487	
	522,7150	
	526,9537	
	532,8038	
	539,7127	
	540,5774	
	544,6871	
	561,5644	
	718,7313	
	793,7131	
	799,8939	
	832,7053	
	838,7770	
	868,8621	
	1188,284	
	1197,305	
Fe II	Vakuum	
	111,209	
	114,495	
	160,846	
	163,540	
	178,526	
	,674	
	,807	
	in Luft	
	233,280	
	,801	
	234,349	
	,811	
	,830	
	238,204	S
	,863	
	239,562	S
	,924	
	240,488	
	,666	
	241,052	
	,107	
	249,326	
	252,539	
	,629	
	,955	
	253,680	
	254,066	
	256,253	
	,348	

noch Fe II	260,651	
	261,187	
	263,105	
	,132	
	268,475	
	273,955	
	274,320	
	,648	
	,948	
	275,573	S
	645,638	
H	Vakuum	
	93,0748	
	,7803	
	94,9743	
	97,2537	
	102,5722	
	121,5668	S
	,5674	S
	in Luft	
	388,905	
	397,007	
	410,174	
	434,047	
	486,133	
	656,272	S
	,285	S
	954,597	
	1004,94	
	1093,81	
	1281,81	
	1875,10	
	2165,53	
	2625,15	
	4051,16	
He I	Vakuum	
	50,9998	
	51,2098	
	,5616	
	52,2213	
	53,7030	S
	58,4334	S
	59,1412	
	in Luft	
	257,76	
	301,37	
	318,774	
	388,865	S
	396,473	
	402,619	
	447,148	
	,168	
	471,315	
	492,193	
	501,568	

noch He I	587,562	S
	,597	
	667,815	
	706,519	
	,571	
	728,135	
	1082,909	
	1083,025	S
	,034	S
	1700,247	
	1868,534	
	1869,723	
	1908,938	
	2058,130	
He II	Vakuum	
	24,3027	
	25,6317	S
	30,3780	S
	,3786	S
	108,494	
	121,504	
	,517	
	164,034	S
	,047	S
	in Luft	
	251,120	
	273,330	
	320,296	
	,310	
	468,54	
	,57	
Hg I	Vakuum	
	125,058	
	126,882	
	184,950	S
	in Luft	
	230,206	
	237,832	
	253,477	
	,652	S
	265,204	
	,369	
	,513	
	275,278	
	289,360	
	296,728	
	302,150	
	,347	
	312,567	
	313,155	
	,184	
	365,015	S
	,484	
	366,288	
	,328	
	404,656	

Fortsetzung T 6.22a

noch Hg I	407,783	
	433,922	
	434,749	
	435,833	S
	546,074	
	576,960	
	579,006	
	671,643	
	690,752	
	708,190	
	709,186	
	1013,975	
	1128,740	
	1357,021	
	1367,351	
	1395,055	
	1529,582	
	1692,016	
	1694,200	
	1707,279	
	1710,993	
	2325,307	
Hg II	Vakuum	
	109,926	
	132,171	
	133,174	
	182,034	
	in Luft	
	284,768	S
	291,627	
	293,594	
	294,708	
	320,820	
	326,406	
	345,169	
	614,950	S
K I	in Luft	
	344,637	
	,738	
	404,414	
	,721	
	464,188	
	,237	
	578,238	
	580,175	
	581,215	
	583,189	
	691,108	
	693,628	
	,877	
	766,490	
	769,896	
K II	in Luft	
	344,005	
	353,075	
	381,750	

noch K II	389,792	
	400,124	
	418,624	
	460,854	
	482,923	
	500,560	
	612,027	
Kr I	Vakuum	
	94,544	
	,654	
	95,340	
	96,337	
	100,106	
	,355	
	103,002	
	116,487	S
	123,584	S
	in Luft	
	427,397	
	431,855	
	,958	
	436,264	
	437,612	
	445,392	
	446,364	
	450,235	
	556,222	
	557,029	
	587,091	
	758,741	
	760,154	
	768,524	
	769,538	
	785,482	
	805,950	
	810,436	S
	811,240	S
	819,005	
	826,324	
	829,811	
	850,887	
	877,675	
	892,869	
	975,176	
	1181,938	
	1317,741	
	1362,242	
	1363,422	
	1442,679	
	1473,444	
	1523,962	
Kr II	Vakuum	
	76,118	
	77,103	
	78,210	
	88,414	

noch Kr II	88,630	S
	89,101	
	91,139	
	,743	S
	96,497	S
	in Luft	
	283,300	
	363,189	
	365,393	
	371,802	
	377,809	
	378,304	
	408,834	
	429,292	
	431,781	
	435,548	S
	443,169	
	,681	
	447,501	
	457,721	
	461,529	
	,917	
	463,389	
	465,888	
	468,041	
	473,900	S
	476,574	
	520,832	
	533,341	
	568,189	
	728,978	
	740,702	
	923,848	
	929,382	
	957,752	
	960,580	
	961,961	
	980,314	
	1022,146	
Li I	in Luft	
	256,231	
	323,266	
	391,530	
	,535	
	413,256	
	,262	
	427,307	
	,313	
	610,354	S
	,365	S
	670,776	S
	,791	S
	812,623	
	,645	

Li II	in Luft	
	255,17	
	371,441	
	548,355	S
	,565	S
Mg I	in Luft	
	277,669	
	,827	
	,983	
	285,213	S
	382,930	S
	383,230	
	,829	
	517,268	
	518,361	
	765,760	
	,915	
	,990	
Mg II	in Luft	
	279,553	S
	280,270	S
	310,471	
	,481	
	448,116	
	,133	
	591,643	
	,816	
	634,674	
	,696	
Mn I	Vakuum	
	199,606	
	,951	S
	in Luft	
	200,385	S
	209,216	
	210,958	
	279,482	
	,827	
	280,106	
	322,809	
	353,212	
	354,780	
	,803	
	356,949	
	357,788	
	380,672	
	382,351	
	383,436	
	403,076	S
	,307	S
	,449	S
	404,136	
	405,554	
	408,294	
	,363	
	475,404	
	482,352	

Mn II	Vakuum	
	191,510	
	in Luft	
	257,610	S
	259,373	
	260,569	
	293,306	
	,930	
	294,920	
	344,199	
N I	Vakuum	
	113,4165	
	,4415	
	,4980	
	119,9550	
	120,0223	
	,0710	
	124,3179	
	,3306	
	149,2625	
	,2820	
	,4675	
	174,2729	
	,5252	
	in Luft	
	409,994	
	410,995	
	496,398	
	575,250	
	648,270	
	,375	
	,480	
	742,364	S
	744,229	S
	746,831	S
	818,487	
	,802	
	821,634	
	822,314	
	824,239	
	856,774	
	859,400	
	862,924	
	868,028	
	,340	
	,615	
	870,325	
	871,170	
	,883	
	938,680	
	939,279	
N II	Vakuum	
	77,597	
	91,561	
	,596	

Fortsetzung T 6.22a

noch N II	91,601	
	,670	
	108,399	
	,458	
	,555	
	,570	
	in Luft	
	395,585	
	399,500	S
	404,131	
	,353	
	444,703	
	460,148	
	463,054	
	464,308	
	500,148	
	,270	
	,515	
	,732	
	566,663	
	567,602	
	,956	
	648,205	
	661,056	
	843,874	
Na I	in Luft	
	285,281	
	,301	
	330,237	
	,298	
	449,418	
	,766	
	568,263	
	,820	
	588,9950	
	589,5924	
	1074,644	
	,929	
	1476,748	S
Na II	Vakuum	
	188,191	
	in Luft	
	249,315	
	267,183	
	284,172	
	291,752	
	,905	
	,985	
	292,095	
	295,124	
	,240	
	312,442	
	313,548	
	,786	
	314,928	

noch Na II	316,374	
	318,979	
	321,219	
	325,796	
	328,560	
	330,135	
	,496	
	353,305	
	363,127	
Ne I	Vakuum	
	60,2726	
	61,5628	
	,8672	
	,9102	
	62,6823	
	,4739	
	73,5896	S
	74,3720	S
	in Luft	
	585,249	
	618,215	
	783,906	
	794,318	
	808,246	
	813,641	
	825,938	
	826,608	
	830,033	
	837,761	
	841,843	
	849,536	
	859,126	
	863,465	
	864,704	
	865,438	S
	,552	
	867,949	
	868,192	
	877,166	
	878,0621	S
	,375	S
	885,387	
	914,867	
	920,176	
	930,085	
	932,651	
	942,538	
	948,668	
	953,416	
	1114,302	
	1117,753	
	1152,275	
	1206,633	
	2363,652	

Ne II	Vakuum	
	44,5040	
	,6256	
	,6590	
	,7815	
	45,5274	
	46,0728	S
	,2391	S
	190,749	
	191,608	
	193,003	
	,883	
	in Luft	
	302,702	
	,886	
	314,133	
	319,859	
	331,972	
	332,374	
	334,545	
	337,822	
	339,280	
	376,626	S
	377,713	S
Ni I	in Luft	
	231,096	
	,234	
	,366	
	,398	
	,716	
	232,003	
	,138	
	,579	
	300,249	
	,363	
	301,200	
	305,082	
	310,155	
	,188	
	313,411	
	336,957	
	338,057	
	339,299	
	341,476	S
	344,626	
	345,847	
	346,165	
	349,296	
	351,505	
	352,454	S
	356,637	
	361,939	
Ni II	Vakuum	
	131,722	
	133,520	

noch Ni II	174,155	
	,828	
	in Luft	
	216,555	
	,910	
	217,467	
	,515	
	218,550	
	219,209	
	220,555	S
	,672	S
	221,648	S
	226,446	
	227,021	
	230,300	
	231,604	
	237,542	
	239,452	
	241,613	
	333,188	
	809,675	
	811,421	
	812,148	
O I	Vakuum	
	102,5762	
	130,2168	
	,4858	
	,6029	
	in Luft	
	297,229	
	394,729	
	,748	
	,759	
	532,968	
	533,074	
	595,839	
	,858	
	604,623	
	,644	
	615,598	
	,677	
	,818	
	700,193	
	,223	
	777,194	
	,417	
	,539	
	844,625	S
	,636	S
	,676	S
O II	Vakuum	
	71,848	
	,856	
	83,333	
	,447	

noch O II	in Luft	
	244,555	
	273,334	
	313,482	
	,844	
	328,759	
	374,949	
	391,196	
	397,326	
	407,587	
	418,546	
	,976	
	441,491	
	,698	
	464,181	
	,914	
Pb I	in Luft	
	217,000	
	261,418	
	280,199	
	282,319	
	283,305	S
	287,331	
	357,273	
	363,957	S
	367,149	
	368,346	S
	373,994	
	401,963	
	405,781	S
	406,214	
	416,803	
	520,144	
	600,186	
	722,897	
Pb II	Vakuum	
	172,675	
	in Luft	
	220,353	
	301,639	
	371,398	
	415,282	
	424,492	
	504,258	
	560,885	
	607,574	
	608,141	
	666,020	
Pt I	in Luft	
	203,063	S
	,241	S
	204,937	S
	206,750	
	208,459	
	210,333	

Fortsetzung T 6.22a

noch Pt I	214,423	
	217,467	
	248,717	
	262,803	
	264,689	
	265,945	S
	270,240	
	,589	
	271,904	
	273,396	
	283,030	
	292,979	
	299,797	
	306,471	S
	330,186	
	340,813	
Pt II	Vakuum	
	177,709	
	189,952	
	191,170	
	in Luft	
	203,646	
	214,424	
	224,552	
	231,096	
	237,728	
	242,487	
	277,477	
	279,421	
	286,068	
	287,752	
Rb I	in Luft	
	358,705	
	420,180	
	421,553	
	543,153	
	572,412	
	607,076	
	620,631	
	629,832	
	728,000	
	740,817	
	761,893	
	775,765	
	780,027	S
	794,760	S
	1323,517	
	1475,241	
	1528,843	
Rb II	Vakuum	
	71,119	
	74,146	S
	176,050	
	in Luft	
	207,595	

noch Rb II	214,383	
	221,708	
	229,171	
	247,220	S
	314,890	
	360,060	
	,064	
	394,051	
	424,440	S
	427,314	
	457,177	
	464,857	
	477,595	
	478,283	
	515,208	
	552,278	
	563,599	
	645,833	
	656,081	
Si I	Vakuum	
	162,943	
	,992	
	169,620	
	,794	
	181,407	
	184,747	
	185,067	
	187,484	
	190,133	S
	in Luft	
	243,515	
	250,690	
	251,432	
	,611	
	,920	
	252,411	
	,851	
	288,158	S
	390,552	
	568,448	
	570,840	
	594,855	
	615,513	
	623,732	
	625,419	
	700,357	
	,588	
	703,490	
	716,555	
	728,917	
Si II	Vakuum	
	126,042	
	,473	
	152,672	
	153,345	
	181,692	

noch Si II	in Luft	
	207,202	
	,270	
	235,630	
	290,428	
	,569	
	333,982	
	385,602	
	413,089	
	504,103	S
	505,598	S
	520,241	
	546,643	
	,687	
	566,956	S
	595,756	
	597,893	
	634,810	
	637,136	
	784,880	
	,972	
Sr I	in Luft	
	403,038	
	460,733	S
	472,228	
	481,188	
	483,208	
	487,249	
	496,226	
	525,690	
	548,084	
	640,847	
	650,400	
	661,729	
	687,838	
	707,010	
Sr II	in Luft	
	215,284	
	216,596	
	338,071	
	346,446	
	407,771	S
	421,552	S
	1032,731	
Ti I	in Luft	
	295,613	
	318,645	
	319,199	
	,992	
	334,188	
	335,464	
	337,145	
	,748	
	363,546	
	364,268	S

noch Ti I	365,350	S
	372,982	
	374,106	
	375,286	
	390,478	
	394,867	
	395,634	
	,821	
	398,176	
	,976	
	399,864	S
	429,866	
	430,056	
	,109	
	,592	S
	453,324	S
	,478	
	,558	
Ti II	in Luft	
	306,622	
	307,297	
	,522	
	,864	
	308,802	
	316,257	
	,852	
	323,452	S
	,657	S
	,904	
	324,199	
	332,294	
	,946	
	334,904	
	,941	S
	336,121	S
	337,280	
	338,376	
	375,930	
	376,132	
Tl I	in Luft	
	237,969	
	258,014	
	270,923	
	276,787	
	291,832	
	292,152	
	322,975	
	351,9245	
	352,943	
	377,572	
	535,046	S
	1151,282	
Tl II	in Luft	
	229,804	
	253,086	

noch Tl II	309,156	
	318,551	
	,656	
	,774	
	427,498	
	430,680	
	507,854	
	515,214	
	594,948	
Xe I	Vakuum	
	111,071	
	112,931	
	117,041	
	119,204	
	125,020	
	129,559	S
	146,961	S
	in Luft	
	473,415	
	480,702	
	491,651	
	492,315	
	796,734	
	820,634	
	823,164	S
	828,012	S
	834,682	
	840,919	
	881,941	S
	895,225	
	979,970	
	992,319	
	1262,339	
	1365,706	
	1414,244	
	1473,281	
	1541,839	
	2026,224	
	2482,471	
	2626,908	
	2651,086	
	3106,923	
	3273,926	
	3366,669	
	3507,025	
Xe II	Vakuum	
	104,131	
	104,827	
	105,192	
	107,448	
	110,043	
	in Luft	
	297,932	
	418,010	
	433,052	

Fortsetzung T 6.22a

noch	446,219		Zn I	in Luft	noch	328,258	S	noch	186,412		noch	209,994		
Xe II	508,062			207,908	Zn I	,294	S	Zn II	,608		Zn II	210,218		
	529,222			210,442		334,502	S		187,213			250,199	S	
	531,387			213,856	S	,557			191,896			255,795	S	
	533,433			251,581		472,215			192,967			319,631		
	541,915	S		258,249		481,053			196,940			491,162		
	547,261			260,864		518,198			198,211			492,403		
	,646			268,416		636,234	S		,699			589,433		
	603,620			271,249								602,118		
	605,115			277,086	Zn II	Vakuum			in Luft			610,249		
	609,759			,098		179,764			202,548			621,461		
	659,501			280,087		181,105			206,200					
	680,574			328,087		183,357			,423					
	699,088													

6.22b Resonanzlinien des Wasserstoffs, des Deuteriums und wasserstoffähnlicher Ionen

H I	121,56701	102,57223	97,25368	94,97430	,78035	93,07483
D I	121,53394	102,44433	97,22722	94,94847	93,75484	93,04951
He II	30,37822	25,63170	24,30266	23,73307	23,43472	23,25842
Li III	13,49976	11,39050	10,79989	10,54678	10,41420	10,33585
Be IV	7,59277	6,40648	6,07431	5,93195	5,85739	5,81333
B V	4,85873	4,09964	3,88708	3,79599	3,74827	3,72008
C VI	3,37360	2,84656	2,69898	2,63573	2,60260	2,58303
N VII	2,47810	2,09098	1,98258	1,93613	1,91179	1,89741
O VIII	1,89689	1,60059	1,51762	1,48206	1,46343	1,45243
F IX	1,49841	1,26438	1,19884	1,17075	1,15604	1,14734
Ne X	1,21339	1,02389	0,97082	0,94807	0,93616	0,92912
Na XI	1,00250	0,84595	0,80211	0,78332	0,77348	0,76766
Mg XII	0,84210	0,71062	0,67379	0,65801	0,64974	0,64486
Al XIII	0,71727	0,60529	0,57393	0,56049	0,55345	0,54929
Si XIV	0,61822	0,52172	0,49469	0,48311	0,47704	0,47346
P XV	0,53831	0,45430	0,43076	0,42068	0,41540	0,41228
S XVI	0,47291	0,39912	0,37845	0,36959	0,36495	0,36221
Cl XVII	0,41871	0,35339	0,33508	0,32724	0,32313	0,32071
Ar XVIII	0,37329	0,31506	0,29875	0,29176	0,28810	0,28593
K XIX	0,33485	0,28263	0,26799	0,26172	0,25844	0,25650
Ca XX	0,30203	0,25493	0,24174	0,23608	0,23312	0,23137

6.23 Wellenlängen infraroter Absorptionsbanden einiger Stoffe – *Wavelengths of infrared absorption bands for some materials* (K. Grützmacher)

Zum Kalibrieren von Spektrometern im nahen IR geeignete Absorptionsmaxima (vgl. auch Tab. T 6.09). Wellenzahl $\sigma = 1/\lambda$.

λ in µm	σ in cm^{-1}	λ in µm	σ in cm^{-1}	λ in µm	σ in cm^{-1}
Chlorwasserstoff HCl		Benzol C_6H_6 flüssig		Polystyrol 25 µm-Film	
1,764	5668,0	3,227	3098	3,2439	3081,9
3,465	2885,9	3,267	3061	3,2668	3060,3
		6,733	1480	3,3026	3027,1
Methylalkohol (Methanol)		9,644	1038	3,3303	3001,9
CH_3OH Dampf ca. 5cm		14,90	671	3,422	2921,5
2,7144	3683,0			3,5070	2850,7
4,866	2054	1,2,4-Trichlorbenzol			
7,46	1340	flüssig 0,5mm		Polystyrol 50 µm-Film	
9,672	1034,2	1,6606	6020,3	5,138	1945,8
		2,1526	4644,2	5,343	1871,1
Ethylalkohol C_2H_5OH flüssig		2,3126	4322,9	5,549	1801,6
6,945	1439,5	2,4030	4160,3	6,238	1602,7
7,169	1394,5	2,4374	4101,6	8,662	1154,2
7,466	1339,0	2,4944	4007,9	9,724	1028,1
9,074	1101,8	2,5434	3930,6	11,035	906,0
9,421	1061,2				
11,220	891,0				

Zahlen für Methanol, Polystyrol und 1,2,4-Trichlorbenzol nach Plyler u. a. (1957): J. Res. Nat. Bur. Stand. **58**, 195. Weitere Wellenlängen für Kalibrierung bei höherer Auflösung: Rao; Humphreys; Rank (1966): Wavelength Standards in the Infrared. New York, London.

6.24 Grundzustände und Ionisierungsenergien der Elemente – *Ground states and ionization energies of the elements* (K. Grützmacher)

Nach dem Pauliprinzip sind in den abgeschlossenen Elektronenschalen folgende Besetzungen möglich:

K	L	M	N	O
$1s^2$	$2s^2\,2p^6$	$3s^2\,3p^6\,3d^{10}$	$4s^2\,4p^6\,4d^{10}\,4f^{14}$	$5s^2$ bis $5f^{14}\,5g^{18}$
2	8	18	32	50

Die Buschstaben s, p, d, f, g,... bezeichnen Elektronen mit einer Bahndrehimpulsquantenzahl l = 0, 1, 2, 3, 4,... Der Bahndrehimpuls hat in einem äußeren Feld $(2l + 1)$ Einstellmöglichkeiten. Hieraus und aus der doppelten Einstellmöglichkeit des Elektronenspins folgen die jeweiligen Besetzungszahlen. Die vollständigen Elektronenkonfigurationen der Grundzustände ergeben sich aus den Konfigurationen der abgeschlossenen Elektronenschalen für kleinere Kernladungszahlen Z (gekennzeichnet durch *) und den jeweils angegebenen Konfigurationen.

Die Ionisierungsenergien sind – soweit möglich – aus spektroskopischen Daten berechnet und in eV angegeben worden.

Literatur: 1) Moore, Atomic Energy Levels, Circular of the NBS 467, Washington Vol. I (1949), Vol. II (1952), Vol. III (1958); 2) Moore, Appl. Opt. **2**, 665 (1963); 3) Candler, Atomic Spectra, 2nd ed. London (1964); 4) Moore, NSRDS, Natl. Bur. Std. **3**, Sec. 1 (1965); 5) Bender, Penslin, Schlüpmann, Z. f. Phys. **179**, 4 (1964); 6) Wyborne, Spectroscopic Properties of Rare Earth, New York 1965. Ionisationsenergien in () direkt bzw. ⟨()⟩ indirekt bestimmt nach 2), in [ ] nach 3). Ionisierungsenergien für $Z \leqslant 25$ nach Bashkin und Stoner, Atomic Energy-Level and Grotrian Diagrams, Amsterdam: North-Holland, Vol. I (1975), Vol. II (1978), Vol. III (1981), Vol. IV (1982).

Fortsetzung T 6.24

	Z	Konfiguration	Grundterm	Ionisierungsenergie eV
H	1	$1s$	$^2S_{1/2}$	13,595
He	2	* $1s^2$	$^1S_0$	24,588
Li	3	$2s$	$^2S_{1/2}$	5,392
Be	4	$2s^2$	$^1S_0$	9,322
B	5	$2s^2\ 2p$	$^2P_{1/2}$	8,298
C	6	$2s^2\ 2p^2$	$^3P_0$	11,260
N	7	$2s^2\ 2p^3$	$^4S_{3/2}$	14,534
O	8	$2s^2\ 2p^4$	$^3P_2$	13,618
F	9	$2s^2\ 2p^5$	$^2P_{3/2}$	17,422
Ne	10	* $2s^2\ 2p^6$	$^1S_0$	21,564
Na	11	$3s$	$^2S_{1/2}$	5,139
Mg	12	$3s^2$	$^1S_0$	7,646
Al	13	$3s^2\ 3p$	$^2P_{1/2}$	5,986
Si	14	$3s^2\ 3p^2$	$^3P_0$	8,151
P	15	$3s^2\ 3p^3$	$^4S_{3/2}$	10,486
S	16	$3s^2\ 3p^4$	$^3P_2$	10,360
Cl	17	$3s^2\ 3p^5$	$^2P_{3/2}$	12,967
Ar	18	* $3s^2\ 3p^6$	$^1S_0$	15,759
K	19	$4s$	$^2S_{1/2}$	4,341
Ca	20	$4s^2$	$^2S_0$	6,113
Sc	21	$3d\ 4s^2$	$^2D_{3/2}$	6,560
Ti	22	$3d^2\ 4s^2$	$^3F_2$	6,821
V	23	$3d^3\ 4s^2$	$^4F_{3/2}$	6,740
Cr	24	$3d^5\ 4s$	$^7S_3$	6,767
Mn	25	$3d^5\ 4s^2$	$^6S_{5/2}$	7,434
Fe	26	$3d^6\ 4s^2$	$^5D_4$	7,87
Co	27	$3d^7\ 4s^2$	$^4F_{9/2}$	7,86
Ni	28	$3d^8\ 4s^2$	$^3F_4$	7,633
Cu^+	29	* $3d^{10}$	$^1S_0$	20,29
Cu	29	$4s$	$^2S_{1/2}$	7,724
Zn	30	$4s^2$	$^1S_0$	9,391
Ga	31	$4s^2\ 4p$	$^2P_{1/2}$	6,00
Ge	32	$4s^2\ 4p^2$	$^3P_0$	7,88
As	33	$4s^2\ 4p^3$	$^4S_{3/2}$	9,81
Se	34	$4s^2\ 4p^4$	$^3P_2$	9,75
Br	35	$4s^2\ 4p^5$	$^2P_{3/2}$	11,84
Kr	36	* $4s^2\ 4p^6$	$^1S_0$	13,996
Rb	37	$5s$	$^2S_{1/2}$	4,176
Sr	38	$5s^2$	$^1S_0$	5,692
Y	39	$4d\ 5s^2$	$^2D_{3/2}$	6,38
Zr	40	$4d^2\ 5s^2$	$^3F_2$	6,84
Nb	41	$4d^4\ 5s$	$^6D_{1/2}$	6,88
Mo	42	$4d^5\ 5s$	$^7S_3$	7,10
Tc	43	$4d^5\ 5s^2$	$^6S_{5/2}$	7,28
Ru	44	$4d^7\ 5s$	$^5F_5$	7,364
Rh	45	$4d^8\ 5s$	$^4F_{9/2}$	7,46
Pd	46	* $4d^{10}$	$^1S_0$	8,33
Pg	47	$5s$	$^2S_{1/2}$	7,574
Cd	48	$5s^2$	$^1S_0$	8,991
In	49	$5s^2\ 5p$	$^2P_{1/2}$	5,785
Sn	50	$5s^2\ 5p^2$	$^3P_0$	7,342
Sb	51	$5s^2\ 5p^3$	$^4S_{3/2}$	8,639
Te	52	$5s^2\ 5p^4$	$^3P_2$	9,01
I	53	$5s^2\ 5p^5$	$^2P_{3/2}$	10,454
Xe	54	* $5s^2\ 5p^6$	$^1S_0$	12,127
Cs	55	$6s$	$^2S_{1/2}$	3,893
Ba	56	$6s^2$	$^1S_0$	5,210
La	57	$5d\ 6s^2$	$^2D_{3/2}$	5,61
Ce	58	$4f\ 5d\ 6s^2$ oder $4f^2\ 6s^2$	$^1G_4$	⟨(5,60)⟩ [6,54]
Pr	59	$4f^3\ 6s^2$	$^4I_{9/2}$	⟨(5,48)⟩ [5,8]
Nd	60	$4f^4\ 6s^2$	$^5I_4$	⟨(5,51)⟩ [6,3]
Pm	61	$4f^5\ 6s^2$	$^6H_{5/2}$	–
Sm	62	$4f^6\ 6s^2$	$^1F_0$	(5,6) [6,5]
Eu	63	$4f^7\ 6s^2$	$^8S_{7/2}$	(5,67) [5,60]
Gd	64	$4f^7\ 5d\ 6s^2$	$^9D_2$	(6,16) [6,6]
Tb	65	$4f^8\ 5d\ 6s^2$	$^8G_{15/2}$ [5])	⟨(5,98)⟩ [6,7]
Dy	66	$4f^{10}\ 6s^2$	$^5I_8$	[6,8]
Ho	67	$4f^{11}\ 6s^2$	$^4I_{15/2}$	–
Er	68	$4f^{12}\ 6s^2$	$^3H_6$	⟨(6,08)⟩
Tm	69	$4f^{13}\ 6s^2$	$^2F_{7/2}$	(12,05)
Yb	70	$4f^{14}\ 6s^2$	$^1S_0$	(14)

Fortsetzung T 6.24

	Z	Konfiguration	Grundterm	Ionisierungsenergie eV
Lu^{3+}	71	* $4f^{14}$	$^1S_0$	
Lu	71	$5d\ 6s^2$	$^2D_{3/2}$	(6,15)
Hf	72	$5d^2\ 6s^2$	$^3F_2$	7
Ta	73	$5d^3\ 6s^2$	$^4F_{3/2}$	7,88
W	74	$5d^4\ 6s^2$	$^5D_0$	7,98
Re	75	$5d^5\ 6s^2$	$^6S_{5/2}$	7,87
Os	76	$5d^6\ 6s^2$	$^5D_4$	8,7
Ir	77	$5d^7\ 6s^2$	$^4F_{9/2}$	9
Pt	78	$5d^9\ 6s$	$^3D_3$	9,0
Au^+	79	* $5d^{10}$	$^1S_0$	20,5
Au	79	$6s$	$^2S_{1/2}$	9,22
Hg	80	$6s^2$	$^1S_0$	10,43
Tl	81	$6s^2\ 6p$	$^2P_{1/2}$	6,106
Pb	82	$6s^2\ 6p^2$	$^3P_0$	7,415
Bi	83	$6s^2\ 6p^3$	$^4S_{3/2}$	7,287
Po	84	$6s^2\ 6p^4$	$^3P_2$	8,43
At	85	$6s^2\ 6p^5$	$^2P_{3/2}$	–
Rn	86	* $6s^2\ 6p^6$	$^1S_0$	10,746

	Z	Konfiguration	Grundterm	Ionisierungsenergie eV
Fr	87	$7s$	$^2S_{1/2}$	–
Ra	88	$7s^2$	$^1S_0$	5,277
Ac	89	$6d\ 7s^2$	$^2D_{3/2}$	6,9
Th	90	$6d^2\ 7s^2$	$^3F_2$	⟨(6,95)⟩
Pa	91	$5f^2\ 6d\ 7s^2$ oder $5f\ 6d^2\ 7s^2$	$^4K_{11/2(?)}$	–
U	92	$5f^3\ 6d\ 7s^2$	$^5L_6$	⟨(6,08)⟩
Np	93	$5f^4\ 6d\ 7s^2$ oder $5f^5\ 7s^2$	$^6L_{11/2(?)}$	–
Pu	94	$5f^6\ 7s^2$	$^7F_0$	5,8
Am	95	$5f^7\ 7s^2$	$^8S_{7/2}$	(6,0)
Cm	96	$5f^7\ 6d\ 7s^2$	$^9D_2$	–
Bk	97	$5f^8\ 6d\ 7s^2$ oder $5f^9\ 7s^2$	–	–
Cf	98	$5f^{10}\ 7s^2$	–	–
Es	99	$5f^{11}\ 7s^2$	–	–
Fm	100	$5f^{12}\ 7s^2$	–	–
Md	101	$5f^{13}\ 7s^2$	–	–
No	102	$5f^{14}\ 7s^2$	–	–
Lw	103	$5f^{14}\ 6d\ 7s^2$	–	–

6.25 Oszillatorenstärken (Absorption) für Wasserstoff und wasserstoffähnliche Ionen – *Oscillators strengths (for absorption) of hydrogen and hydrogen-like ions* (K. Grützmacher)

Serie	Lyman				Balmer						Paschen
Ausgangszustand	1 s	2 s	2 p		2	3 s	3 p		3 d		3
Endzustand	*n* p	*n* p	*n* s	*n* d	*n*	*n* p	*n* s	*n* d	*n* p	*n* f	*n*
n = 1			−0,139		−0,1040		−0,026				−0,0088
2	0,4162					−0,041	−0,145		−0,417		−0,2848
3	0,0791	0,435	0,014	0,696	0,6408						
4	0,0290	0,103	0,0031	0,122	0,1193	0,484	0,032	0,619	0,011	1,016	0,8420
5	0,0139	0,042	0,0012	0,044	0,0447	0,121	0,007	0,139	0,0022	0,156	0,1506
6	0,0078	0,022	0,0006	0,022	0,0221	0,052	0,003	0,056	0,0009	0,053	0,0559
7	0,0048	0,013	0,0003	0,012	0,0127	0,027	0,002	0,028	0,0004	0,025	0,0277
8	0,0032	0,008	0,0002	0,008	0,0080	0,016	0,001	0,017	0,0002	0,015	0,0160

Die negativen Oszillatorenstärken gelten für Emission.

Fortsetzung T 6.25

Die Werte für Übergänge zwischen den nur durch die Hauptquantenzahlen n unterschiedenen Energieniveaus der ersten drei Serien sind über die Unterzustände mit deren statistischen Gewichten $2\,(2l+1)$ (einschließlich Spin) gemittelt. Das statistische Gewicht g_n des n-ten Energieniveaus ist gleich der Summe der statistischen Gewichte der Unterzustände:

$$g_n = 2\sum_{l=0}^{n-1}(2l+1) = 2n^2$$

Da die Oszillatorenstärken nicht von der Kernladungszahl Z abhängen, sind sie für Wasserstoff und wasserstoffähnliche Ionen gleich. Die Übergangswahrscheinlichkeiten gehen dagegen mit Z^4.

Aus Griem (1964): Plasma Spectroscopy, S. 362, New York. Die Seiten 363 bis 441 enthalten Absorptionsoszillatorstärken für He I, Li I u. II, Be I u. II, B I bis III, C I bis IV, N I bis V, O I bis VI, Ne II bis IV, Na I, Mg I u. II, Al I bis III, Si I bis IV, Ar I bis V, K I u. III, Ca I u. II und Cs I für Linien im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich. Siehe auch Unsöld (1955): Physik der Sternatmosphären, S. 344 bis 348, Berlin. Die dortigen Tabellen enthalten auch Werte für höhere Niveaus und Grenzkontinua des Wasserstoffs.

6.26 Anregungsenergien einiger Atome – *Excitation energies of some atoms* (K. Grützmacher)

Die Anregungsenergien der tiefsten Elektronenterme sind aus spektroskopischen Daten berechnet und in eV angegeben. Grundterme und Ionisierungsenergien sowie Literatur s. Tab. T6.24. Wellenlängen der Resonanzlinien in nm sind *kursiv* gesetzt.

Term	H	D	Term n=	Na 3	K 4	Cs 6	Term	Ca
2s 2p	10,198	10,201	n p $^2P_{1/2}$	2,102	1,610	1,39	4p $^3P_0$	1,879
	121,567	*121,534*		*589,592*	*769,896*	*894,346*	4p $^3P_1$	1,886
3s 3d	12,087	12,090		2,104	1,617	1,45		*657,278*
4s 4f	12,748	12,751	n p $^2P_{3/2}$	*588,995*	*766,490*	*852,112*	4p $^3P_2$	1,899
5s 5g	13,054	13,058	$(n+1)$s $^2S_{1/2}$	3,191	2,607	2,30	3d $^1D_2$	2,709
6s 6h	13,220	13,224	$\binom{n}{(n-1)}$ d^{2}D*)	3,617	2,67	1,8	4p $^1P_1$	2,932
Ion.-Grenze	13,595	13,599	$(n+1)$p ^{2}P	3,75	3,06	2,7		*422,673*
Term	**He**	**Term**)** **n=**	**Ne** **3**	**Ar** **4**	**Kr** **5**	**Xe** **6**	**Term**	**Al**
								3,14
2s $^3S_1$	19,82	n s [3/2]$_2$	16,62	11,55	9,91	8,31	4s $^2S_{1/2}$	*396,152*
2s $^1S_0$	20,61		16,67	11,62	10,03	8,43		*394,401*
2p ^{3}P	20,96	n s [3/2]$_1$	*74,372*	*106,666*	*123,584*	*146,961*	3p^2 ^{4}P	3,60
	59,141	n s′ [1/2]$_0$	16,72	11,72	10,56	9,44	3d ^{2}D	4,02
2p $^1P_1$	22,22	n s′ [1/2]$_1$	16,85	11,83	10,64	9,57	4p ^{2}P	4,09
	58,433		*73,589*	*104,822*	*116,487*	*129,559*	5s $^2S_{1/2}$	4,67
3s $^3S_1$	22,72	n p [1/2]$_1$	18,38	12,91	11,30	9,58	4d ^{2}D	4,83

*) Bei Na ist die Quantenzahl des tiefsten d-Terms gleich n, bei K und Cs gleich $(n-1)$.

) Termkennzeichnung für Jl-(Paar)-Kopplungnach Racah (1942): Phys. Rev. **61, 537 (s. auch J.O.S.A. (1953): **43**, 422). Bei dieser Kopplungsart koppelt der Gesamtdrehimpuls J des Rumpf-Ions mit dem Bahndrehimpuls l des äußeren Elektrons zum resultierenden Drehimpuls K. K koppelt seinerseits mit dem Spin des äußeren Elektrons zum Gesamtdrehimpuls des (angeregten) Atoms.

In Tab. T6.26 bezeichnen n s (oder n p) die Quantenzahlen des äußeren Elektrons, in eckigen Klammern ist K angegeben, der Gesamtdrehimpuls des Atoms wird als Index an die eckige Klammer angefügt. Den Zusammenhang mit den gebräuchlichen Termsymbolen nach Russel-Saunders und Paschen gibt die nachfolgende Tabelle wieder:

Jl-Kopplung	–	n s [3/2]$_2$	n s [3/2]$_1$	n s′ [1/2]$_0$	n s′ [1/2]$_1$	n p [1/2]$_1$
Russel-Saunders	$(n-1)$p^6 $^1S_0$	n s $^3P_2$	n s $^3P_1$	n s $^3P_0$	n s $^1P_1$	n p $^3S_1$
Paschen	1 p$_0$	1 s$_5$	1 s$_4$	1 s$_3$	1 s$_2$	2 p$_{10}$

Fortsetzung T 6.26

Term n =	Cd 5	Hg 6	Term	Cu	Term	O	Term	N
$n\,p\ ^3P_0$	3,73	4,67	$4s^2\ ^2D_{5/2}$	1,38	$2p^4\ ^1D_1$	1,97	$2p^3\ ^2D$	2,38
$n\,p\ ^3P_1$	3,80 *326,106*	4,88 *253,652*	$4s^2\ ^2D_{3/2}$	1,64	$2p^4\ ^1S_0$	4,19	$2p^3\ ^2P$	3,58
$n\,p\ ^3P_2$	3,94	5,46	$4p\ ^2P_{1/2}$	3,79 *327,396*	$3s\ ^5S_2$	9,15 *135,560* *135,852*	$3s\ ^4P$	10,33 *119,955* *120,022* *120,071*
$n\,p\ ^1P_1$	5,29 *228,802*	6,70 *184,950*	$4p\ ^2P_{3/2}$	3,82 *324,754*	$3s\ ^3S_1$	9,52 *130,217* *130,486* *130,602*	$3s\ ^2P$ $2p^4\ ^4P$	10,68 10,93
$(n+1)s\ ^1S_0$	6,38	7,73	$4p^1\ ^4P_{5/2}$	4,84	$3p\ ^5P$	10,74	$3p\ ^2S_{1/2}$	11,60

6.27 Anregungs-, Dissoziations- und Ionisierungsenergien einiger Moleküle – *Energies of excitation, dissociation, and ionization for some molecules*

(K. Grützmacher)

Angegeben sind die Energiedifferenzen zwischen den jeweiligen Schwingungsgrundzuständen in eV.

Die Energien sind im allgemeinen aus spektroskopischen Daten berechnet. Unter der Dissoziationsenergie D_0, bezogen auf das unterste Schwingungsniveau, und der Ionisationsenergie ist der Wert für nicht angeregte Dissoziationsprodukte bzw. das nicht angeregte Molekülion zu verstehen. Bekannte Bandensysteme der Elektronenterme sind in den Anmerkungen auf S. 461 zusammengestellt.

1) H_2	eV	*2)* N_2	eV	*3)* O_2	eV	*4)* NO	eV
	$^1\Sigma_g^+$	0		$^1\Sigma_g^+$	0		$^3\Sigma_g^-$	0		$X\ ^2P$	0
a)	$B\ ^1\Sigma_u^+$	11,37	*a)*	$A\ ^3\Sigma_u^+$	6,17	*a)*	$a^1\Delta_g$	0,98	*a)*	$A\ ^2\Sigma^+$	5,45
	$a\ ^3\Sigma_g^+$	11,89	*b)*	$B\ ^3\Pi_g$	7,39	*b)*	$b\ ^1\Sigma_g^+$	1,63	*b)*	$B\ ^2\Pi$	5,69
b)	$c\ ^1\Pi_u$	12,40	*d)*	$a\ ^1\Pi_g$	8,59	*c)*	$A\ ^3\Sigma_u^+$	4,48	*c)*	$C\ ^2\Sigma^+$	6,46
c)	$b\ ^3\Sigma_u$	[8,8]	*c)*	$C\ ^3\Pi_u$	11,05	*d)*	$B\ ^3\Sigma_u^-$	6,12	*d)*	$D\ ^2\Sigma^+$	6,58
	$D_0(H_2)$	4,48		$D_0(N_2)$	9,76		$D_0(O_2)$	5,11		$D_0(NO)$	6,49
	$H_2^+\ (^2\Sigma_g^+)$	15,43		$N_2^+\ (X\ ^2\Sigma_g^+)$	15,55		$O_2^+(^2\Pi_g)$	12,08		$NO^+(X\ ^1\Sigma^+)$	9,27
5) CO			*6)* C_2			*7)* CN			*8)* CH	
	$X\ ^1\Sigma^+$	0		$X\ ^3\Pi_u$	0		$X^2\Sigma^+$	0		$X^2\Pi$	0
a)	$a\ ^3\Pi_r$	6,00	*a)*	$A\ ^3\Pi_g$	2,40	*a)*	$A^2\Pi$	1,35	*a)*	$A^2\Delta$	2,87
b)	$d\ ^3\Pi_i$	7,72	*b)*	$B\ ^3\Pi_g$	4,97	*b)*	$B^2\Sigma^+$	3,20	*b)*	$B\ ^2\Sigma^-$	3,19
c)	$A\ ^1\Pi$	8,03		$D_0(C_2)$	4,9		$D_0(CN)$	8,11		$C\ ^2\Sigma^+$	3,94
d)	$b\ ^3\Sigma^+$	10,4	*9)* N_2^+			*10)* CO^+				$D_0(CH)$	3,47
	$D_0(CO)$	11,10		$X\ ^2\Sigma_g^+$	0		$X\ ^2\Sigma^+$	0		$CH^+\ (^1\Sigma)$	10,64
	$CO^+(^2\Sigma^+)$	13,94	*a)*	$B\ ^2\Sigma_u^+$	3,16	*a)*	$A\ ^2\Pi$	2,57	*11)* O_2^+		
12) OH			*b)*	$C\ ^2\Sigma_u^+$	8,01	*b)*	$B\ ^2\Sigma^+$	5,69		$X\ ^2\Pi_g$	0
	$X\ ^2\Pi_i$	0		$D_0(N_2^+)$	8,73		$D_0(CO^+)$	8,41	*a)*	$A\ ^2\Pi_u$	4,81
	$A\ ^2\Sigma^+$	4,02		H_2^+			D_2^+		*b)*	$b\ ^4\Sigma_g^-$	6,01
	$D_0(OH)$	4,40		$D_0(H_2^+)$	2,648		$D_0(D_2^+)$	2,690		$D_0(O_2^+)$	6,48

Fortsetzung T 6.27

Anmerkungen zu Tab. T 6.27:
1) H_2: *a)* Lyman banden, *b)* Werner banden, *c)* instabiler unterer Zustand des kontinuierlichen H_2-Spektrums.
2) N_2: *a)* Vegard-Kaplan-Banden (Interkombination), *b), c)* 1. und 2. positive Gruppe, *d)* Lyman-Birge-Hopfield-Banden.
3) O_2: *a)* infrarotes atmosphärisches Absorptions-System, *b)* atmosphärisches Absorptions-System, *c)* Herzberg-Banden, *d)* Schumann-Runge-System.
4) NO: *a)* γ-System, *b)* β-System, *c), d)* δ-System, ε-System.
5) CO: *a)* Cameron-Banden, *b)* Triplettbanden, *c), d)* 4. bzw. 3. positive Gruppe.
6) C_2: *a)* Swan-Banden, *b)* Fox-Herzberg-Banden.
7) CN: *a)* rote, *b)* violette Cyanbanden.
8) CH: *a)* 4300-Å-System, *b)* 3900-Å-System.
9) N_2^+: *a)* 1. negatives System, *b)* 2. negatives System.
10) CO^+: *a)* Kometenschwanzbanden, *b)* 1. negative Gruppe.
11) O_2^+: *a), b)* 2. und 1. negative Gruppe.
12) OH: 3064-Å-System.

Literatur: Herzberg (1950): Molecular Spectra and Molecular Structure, I: Spectra of Diatomic Molecules. Toronto–New York–London; Gaydon (1953): Dissociation Energies and Spectra of Diatomic Molecules. London; Gaydon (1957): The Spectroscopy of Flames. London; Pearse; Gaydon (1963): The Identification of Molecular Spectra, 3rd ed. London

6.28 Natürliche Drehung des Quarzes – *Natural optical rotation by quartz* (K. Zander †)

Drehung (α_{20}) von 1 mm Quarz bei 20 °C in Winkelgraden

λ_{vac} nm	Element	(α_{20}) °	λ_{vac} nm	Element	(α_{20}) °
407,8989	Hg	48,112	546,2271	Hg	25,535
435,9562	Hg	41,546	589,4400	Na	21,724
480,1253	Cd	33,674	632,9914	Ne	18,690
508,7240	Cd	29,729	644,0251	Cd	18,022

6.29 Drehungswerte der Quarzkontrollplatten – *Optical rotation by quartz control plates* (W. Seiler)

100 °Z für Saccharimeter bei 20°C

a) mit Hg-Licht	$\alpha(\lambda_1)$	= 40,777°	d) mit gefiltertem	$\alpha(\lambda_1)$	= 40,703°
b) mit Na-Licht	$\alpha(\lambda_2)$	= 34,626°	Glühlicht und	$\alpha(\lambda_2)$	= 34,629°
c) mit He-Ne-Laser	$\alpha(\lambda_3)$	= 29,751°	Quarzkeilkompensation	$\alpha(\lambda_3)$	= 29,792°

λ_1 = 546,2271 nm; λ_2 = 589,4400 nm; λ_3 = 632,9914 nm

6.30 Hundertpunkt der Saccharose bei 20 °C – 100 °Z *point of sucrose by* 20 °C (W. Seiler)

λ_{vac} nm	α °	λ_{vac} nm	α °
407,8989	77,911	546,2271	40,777
435,9562	66,984	589,4400	34,626
480,1253	54,024	632,9914	29,751
508,7240	47,584	644,0251	28,682

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 7

Ionisierende Strahlung und Radioaktivität
– Ionizing radiation and radioactivity
Redakteur: G. Dietze

7.01 Energien und relative Emissionswahrscheinlichkeiten der K-Röntgenstrahlung, Bindungsenergien von K-Elektronen sowie K-Schalen-Fluoreszenzausbeuten von Elementen mit $Z \geqslant 5$ – *Energies and relative emission probabilities of* K X-*rays, binding energies of* K *electrons, and* K-*shell fluorescence yields of elements with* $Z \geqslant 5$ (K. Debertin) 467

7.02 Erzeugung monoenergetischer Röntgenstrahlung (Röntgen-Fluoreszenzstrahlung) zur Kalibrierung von Dosimetern – *Production of monoenergetic* X-*rays (fluorescense radiation) for calibrating dosimeters* (B. Großwendt) 469

7.03 Strahlungsqualitäten für Photonenstrahlung – *Radiation qualities for photon radiation* (H.M. Kramer) 470

7.03a Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern . . 470

7.03b Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Diagnostikdosimetern 472

7.03c Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Therapiedosimetern 473

7.04 β-Strahler zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern – β-*ray sources for calibrating radiation protection dosimeters* (J. Böhm) 474

7.05 Röhrenspannungen und Halbwertdicken für Kupfer und Aluminium zur Kalibrierung von Therapiedosimetern und zur Bestimmung der Korrektionsfaktoren k_Q – *Tube voltages and halfvalue thicknesses of copper and aluminium for calibrating therapy level dosimeters and determining the correction factors* k_Q (H. Reich) 474

7.06 Diagramme der Photonen-Wechselwirkungskoeffizienten für einige Stoffe im Energiebereich von 10 keV bis 100 MeV – *Diagrams of photon interaction coefficients for some materials in the energy range from* 10 keV *to* 100 MeV (H. Reich) 475

7.07 Massen-Schwächungskoeffizienten und Massen-Energieabsorptionskoeffizienten einiger Stoffe für Photonenstrahlung von 10 keV bis 100 MeV – *Mass attenuation and mass energy absorption coefficients of some materials for photon radiation* (H. Reich) 477

7.07a Phantommaterial, Wasser, Luft und Gewebe 478

7.07b Elemente; Eisensulfat und Lithiumfluorid für Dosimeter 479

7.07c Werte der Koeffizienten bei den Absorptionskanten einiger Elemente für Photonenenergien größer als 5 keV 480

7.08a Dosisschwächungsgrade für Röntgenstrahlung in Blei und für Gammastrahlung in verschiedenen Materialien – *Dose attenuation rates for X-rays in lead and for gamma radiation in several materials* (H. Reich) 480

7.08b Bestimmung der Schutzdicken aus verschiedenen Baustoffen für breite Strahlenbündel – *Determination of protection layers of different building materials for broad radiation beams* (H. Reich) 482
7.09 Dosisschwächungsgrade für Photonen- und Neutronenstrahlen hoher Energie; Zehntelwertdicken – *Dose attenuation rates for high energy photon and neutron radiation; tenth value layers* (H. Reich) 483
7.10 Bremsstrahlungskorrektionen *g* und Kerma-Umrechnungsfaktoren – *Correction factors g for bremsstrahlung production and conversion coefficients for kerma* (H. Reich) 485
7.11 Zusammensetzung einiger Gewebe und dazu äquivalenter Materialien – *Composition of various tissues and tissue-equivalent materials* (H. Reich) 486
7.12 Dosisleistungskonstanten – *Dose rate constants* (K. Debertin) 487
7.12a Dosisleistungskonstanten $\Gamma(E)$ für die Luftkermaleistung 487
7.12b Dosisleistungskonstanten für die Luftkermaleistung für einige gebräuchliche Radionuklide unter Berücksichtigung von Photonenenergien $E \geqslant 20\,\mathrm{keV}$ (Γ_{20}) 488
7.13 Fluenz- und Luftkerma-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für Photonen – *Fluence and air kerma-to-dose equivalent conversion coefficients for photons* (G. Dietze) 488
7.14 α-, γ- und Elektronenstrahler zur Kalibrierung von Spektrometern – *α-ray, γ-ray and electron-ray sources for calibrating spectrometers* (K. Debertin) 489
7.15 Energie und Wellenlänge von Photonenstrahlung, magnetische Ablenkung von Elektronen und Protonen – *Energy and wave length of photon radiation, magnetic deflection of electrons and photons* (B. Großwendt) 491
7.16 Diagramme des Massen-Bremsvermögens für Elektronen, Protonen und α-Teilchen in einigen Stoffen – *Diagrams of the mass stopping power for electrons, protons and α-particles* (B. Großwendt) 492
7.17 Massen-Stoßbremsvermögen und gesamtes Massen-Bremsvermögen für Elektronen – *Mass collision stopping power and total mass stopping power for electrons* (H. Reich) 493
7.18 Massen-Reichweiten und Bremsstrahlungsausbeuten bei vollständiger Abbremsung von Elektronen – *Mass ranges and bremsstrahlung efficiencies for the total slowing down of electrons* (H. Reich) 494
7.19 Massen-Reichweiten von Elektronen und Protonen in Luft, Wasser und Aluminium – *Mass ranges of electrons and protons in air, water and aluminium* (B. Großwendt) 495
7.20 Reichweiten von Elektronen, Protonen und α-Teilchen in Detektormaterialien – *Ranges of electrons, protons and α-particles in detector materials* (B. Großwendt) 496
7.21 Erzeugung von Neutronen mit Radionuklidquellen – *Production of neutrons by radionuclide sources* (H. Kluge) 497
7.22 Erzeugung von gefilterten Reaktorneutronen – *Production of filtered reactor neutrons* (W.G. Alberts) 497
7.23 Energie und Ausbeute von Neutronen aus Kernreaktionen – *Neutron energy and yield of some nuclear reactions* (M. Cosack) 498
7.24 Aktivierungsquerschnitte für thermische Neutronen – *Activation cross sections for thermal neutrons* (M. Matzke) 498

7.25 Neutronenindikatoren und Neutronenwirkungsquerschnitte – *Neutron indicators and neutron cross sections* (M. Matzke) 500
7.26 Kermafaktoren und Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für monoenergetische Neutronen – *Kerma factors and fluence-to-dose equivalent conversion coefficients for monoenergetic neutrons* (G. Dietze) . . 502
7.26a Kermafaktoren für einige Materialien 502
7.26b Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für monoenergetische Neutronen 502
7.27 Mittlere Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren und mittlere gewichtete Energien für Neutronen aus Radionuklidquellen – *Mean fluence-to-dose equivalent conversion factors and weighted mean energies for neutrons from radioactive sources* (H. Kluge) 503
7.28 Stabile Nuklide – *Stable nuclides* (K. Debertin) 504
7.29 Radionuklide – *Radionuclides* (K. Debertin) 507
7.30 Radionuklidstrahlen (Energien, Emissionswahrscheinlichkeiten) – *Radiations from radionuclides (energies, emission probabilities)* (K. Debertin) 510
7.31 Zerfallsreihen von natürlichen Radionukliden – *Decay series of natural radionuclides* (K. Debertin) 522
7.31a Diagramme 522
7.31b Zeitlicher Anstieg der Aktivität von Folgeprodukten 523

7.01 Energien und relative Emissionswahrscheinlichkeiten der K-Röntgenstrahlung, Bindungsenergien von K-Elektronen sowie K-Schalen-Fluoreszenzausbeuten von Elementen mit $Z \geqslant 5$ – *Energies and relative emission probabilities of* K *X-rays, binding energies of* K *electrons, and* K*-shell fluorescence yields of elements with* $Z \geqslant 5$ (K. Debertin)

Z Ordnungszahl; El Element; E Energie der Röntgenstrahlung; E_B Bindungsenergie der K-Elektronen; p_r Verhältnis von Emissionswahrscheinlichkeiten; ω_K K-Schalen-Fluoreszenzausbeute; K_α Übergang L → K; $K_{\alpha 1}$ Übergang $L_3 \rightarrow K$; $K_{\alpha 2}$ Übergang $L_2 \rightarrow K$; K_β Übergang M, N, ... → K

Literatur:
zu Energien: Browne, E.; Firestone, R. B. (1986): Table of Radioactive Isotopes. New York: John Wiley & Sons; p_r: Salem, S. I.; Panossian, S. L.; Krause, R. A. (1974): Atomic Data and Nuclear Data Tables 14, 91–109; ω_K nach Bambynek, W. (1984): New Evalution of K-Shell Fluorescence Yields. In: Proc. Int. Conf. on X-Ray and Inner-Shell Processes in Atoms, Molecules and Solids (Hrsg. A. Meisel), Leipzig. VEB Druckerei Thomas Münzer, Langensalza

Z	El	E in keV $K_{\alpha 2}$	$K_{\alpha 1}$	K_β	E_B in keV	p_r $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$	K_β/K_α	ω_K
5	B	0,183	0,183		0,188			0,0014
6	C	0,277	0,277		0,284			0,0026
7	N	0,392	0,392		0,402			0,0044
8	O	0,525	0,525		0,532			0,0069
9	F	0,677	0,677		0,685			0,0105
10	Ne	0,848	0,849		0,870			0,015
11	Na	1,041	1,041		1,072			0,021
12	Mg	1,254	1,254		1,305		0,013	0,029
13	Al	1,486	1,487	1,554	1,560			0,039
14	Si	1,739	1,740	1,836	1,839		0,027	0,050
15	P	2,009	2,010	2,136	2,145			0,065
16	S	2,307	2,308	2,464	2,472		0,059	0,080
17	Cl	2,621	2,622	2,816	2,822			0,099
18	Ar	2,955	2,957	3,190	3,206		0,105	0,120
19	K	3,311	3,314	3,590	3,607			0,143
20	Ca	3,688	3,692	4,013	4,038	0,502	0,128	0,169
21	Sc	4,086	4,091	4,461	4,493			0,196
22	Ti	4,505	4,511	4,932	4,966	0,503	0,134	0,226
23	V	4,945	4,952	5,427	5,465			0,256
24	Cr	5,405	5,415	5,947	5,989	0,504	0,135	0,288
25	Mn	5,888	5,899	6,490	6,539			0,321
26	Fe	6,391	6,404	7,058 – 7,108	7,112	0,506	0,135	0,355
27	Co	6,915	6,930	7,649 – 7,706	7,709			0,388
28	Ni	7,461	7,478	8,265 – 8,329	8,333	0,508	0,135	0,421
29	Cu	8,028	8,048	8,905 – 8,977	8,979			0,454
30	Zn	8,616	8,639	9,572 – 9,651	9,659	0,510	0,138	0,486
31	Ga	9,225	9,252	10,260 – 10,366	10,367			0,517
32	Ge	9,855	9,886	10,975 – 11,101	11,103	0,513	0,147	0,546
33	As	10,508	10,544	11,720 – 11,864	11,867			0,575
34	Se	11,182	11,222	12,490 – 12,652	12,658	0,515	0,157	0,602
35	Br	11,878	11,924	13,284 – 13,469	13,474			0,627
36	Kr	12,598	12,651	14,104 – 14,311	14,326	0,517	0,172	0,652
37	Rb	13,336	13,395	14,952 – 15,185	15,200			0,674
38	Sr	14,098	14,165	15,825 – 16,085	16,105	0,520	0,180	0,696
39	Y	14,883	14,958	16,726 – 17,013	17,038			0,715
40	Zr	15,691	15,775	17,653 – 17,969	17,998	0,523	0,190	0,734
41	Nb	16,521	16,615	18,607 – 18,982	18,986			0,751
42	Mo	17,374	17,479	19,590 – 19,998	20,000	0,525	0,197	0,767
43	Tc	18,251	18,367	20,599 – 21,042	21,044			0,782
44	Ru	19,150	19,279	21,634 – 22,115	22,117	0,527	0,204	0,796

Fortsetzung T 7.01

Z	El	E in keV $K_{\alpha 2}$	$K_{\alpha 1}$	K_β	E_B in keV	p_r $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$	K_β/K_α	ω_K
45	Rh	20,074	20,216	22,699 – 23,217	23,220			0,809
46	Pd	21,020	21,177	23,791 – 24,349	24,350	0,529	0,210	0,820
47	Ag	21,990	22,163	24,912 – 25,511	25,514			0,831
48	Cd	22,984	23,174	26,060 – 26,702	26,711	0,532	0,213	0,841
49	In	24,002	24,210	27,238 – 27,939	27,940			0,851
50	Sn	25,044	25,271	28,444 – 29,199	29,200	0,534	0,220	0,860
51	Sb	26,111	26,359	29,679 – 30,489	30,491			0,868
52	Te	27,202	27,472	30,944 – 31,812	31,814	0,537	0,225	0,875
53	I	28,317	28,612	32,239 – 33,166	33,169			0,882
54	Xe	29,461	29,782	33,562 – 34,552	34,564	0,539	0,232	0,888
55	Cs	30,625	30,973	34,920 – 35,972	35,985			0,894
56	Ba	31,817	32,194	36,304 – 37,425	37,441	0,543	0,237	0,900
57	La	33,034	33,442	37,720 – 38,910	38,925			0,905
58	Ce	34,279	34,720	39,170 – 40,423	40,443	0,546	0,242	0,910
59	Pr	35,550	36,026	40,653 – 41,968	41,991			0,914
60	Nd	36,847	37,361	42,166 – 43,548	43,569	0,549	0,247	0,918
61	Pm	38,171	38,725	43,713 – 45,162	45,184			0,922
62	Sm	39,522	40,118	45,293 – 46,813	46,834	0,552	0,250	0,926
63	Eu	40,902	41,542	46,905 – 48,497	48,519			0,929
64	Gd	42,309	42,996	48,551 – 50,219	50,239	0,556	0,255	0,932
65	Tb	43,744	44,482	50,228 – 51,970	51,996			0,935
66	Dy	45,208	45,998	51,947 – 53,762	53,789	0,560	0,257	0,938
67	Ho	46,700	47,547	53,695 – 55,597	55,618			0,940
68	Er	48,221	49,128	55,480 – 57,456	57,486	0,564	0,260	0,942
69	Tm	49,773	50,742	57,300 – 59,357	59,390			0,945
70	Yb	51,354	52,389	59,159 – 61,309	61,332	0,567	0,264	0,947
71	Lu	52,965	54,070	61,050 – 63,286	63,314			0,949
72	Hf	54,611	55,790	62,985 – 65,316	65,351	0,572	0,267	0,950
73	Ta	56,280	57,535	64,948 – 67,376	67,416			0,952
74	W	57,981	59,318	66,950 – 69,484	69,525	0,576	0,269	0,954
75	Re	59,718	61,141	68,995 – 71,636	71,676			0,955
76	Os	61,486	63,000	71,079 – 73,819	73,871	0,580	0,273	0,957
77	Ir	63,287	64,896	73,202 – 76,054	76,111			0,958
78	Pt	65,122	66,831	75,368 – 78,337	78,395	0,583	0,275	0,959
79	Au	66,991	68,806	77,577 – 80,660	80,725			0,960
80	Hg	68,894	70,818	79,824 – 83,028	83,102	0,588	0,278	0,961
81	Tl	70,832	72,873	82,115 – 85,530	85,530			0,962
82	Pb	72,805	74,969	84,450 – 88,003	88,005	0,593	0,280	0,963
83	Bi	74,815	77,107	86,830 – 90,522	90,526			0,964
84	Po	76,863	79,290	89,256 – 93,095	93,100	0,597	0,283	0,965
85	At	78,948	81,517	91,730 – 95,717	95,724			0,966
86	Rn	81,069	83,787	94,247 – 98,389	98,397	0,602	0,286	0,967
87	Fr	83,231	86,105	96,815 – 101,118	101,130			0,967
88	Ra	85,431	88,471	99,432 – 103,899	103,915	0,608	0,287	0,968
89	Ac	87,675	90,886	102,101 – 106,738	106,756			0,969
90	Th	89,957	93,350	104,819 – 109,630	109,650	0,613	0,288	0,970
91	Pa	92,282	95,863	107,595 – 112,575	112,596			0,970
92	U	94,654	98,434	110,421 – 115,580	115,602	0,619	0,289	0,971
93	Np	97,069	101,059	113,303 – 118,646	118,669			0,971
94	Pu	99,525	103,734	116,244 – 121,768	121,791	0,625	0,291	0,971
95	Am	102,030	106,472	119,243 – 124,955	124,982			0,971
96	Cm	104,590	109,271	122,304 – 128,210	128,241	0,632	0,293	0,972
97	Bk	107,185	112,121	125,418 – 131,524	131,556			0,972
98	Cf	109,831	115,032	128,594 – 134,908	134,939	0,642	0,295	0,972
99	Es	112,531	118,012	131,838 – 138,363	138,396			0,972

7.02 Erzeugung monoenergetischer Röntgenstrahlung (Röntgen-Fluoreszenzstrahlung) zur Kalibrierung von Dosimetern

– *Production of monoenergetic X-rays (fluorescense radiation) for calibrating dosimeters* (B. Großwendt)

Versuchsanordnung hierzu s. Bd. 2, 7.2.1.3

Literatur: International Standard ISO 4037-1/DIS-1992 (E): X and γ reference radiations for calibrating dosimeters and dose ratemeters and for determining their response as a function of photon energy

Strahlungs-qualität (ISO)	Erzeugung der Fluoreszenzstrahlung					Erstes Filter		Zweites Filter	
	Röhren-spannung in kV	Energie der $K_{\alpha 1}$-Linie in keV	Chemisches Element	Empfohlene Zusammen-setzung	Empfohlene flächenbez. Masse in g/cm²	Stoff, flächen-bezogene Masse (Minimalwert) in g/cm²		Stoff, flächen-bezogene Masse (Minimalwert) in g/cm²	
F-Ge	60	9,9	Germanium	GeO_2	0,180	Al	0,135	GaO	0,020[1])
F-Zr	80	15,8	Zirconium	Zr	0,180	Al	0,27	$SrCO_3$	0,053
F-Cd	100	23,2	Cadmium	Cd	0,150	Al	0,27	Ag	0,053
F-Cs	100	31	Caesium	Cs_2SO_4	0,190	Al	0,27	TeO_2	0,132
F-Sm	120	40,1	Samarium	Sm_2O_3	0,175	Al	0,27	CeO_2	0,195
F-Er	120	49,1	Erbium	Er_2O_3	0,230	Al	0,27	Gd_2O_3	0,263
F-W	170	59,3	Wolfram	W	0,600	Al	0,27	Yb_2O_3	0,358
F-Au	170	68,8	Gold	Au	0,600	Al	0,27	W	0,433
F-Pb	190	75	Blei	Pb	0,700	Al	0,27	Au	0,476
F-U	210	98,4	Uran	U	0,800	Al	0,27	Th	0,776

[1]) Der Wert bezieht sich auf den Galliumanteil.

7.03 Strahlungsqualitäten für Photonenstrahlung – *Radiation qualities for photon radiation* (H.M. Kramer)

7.03a Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern

Die Strahlungsqualitäten werden zum Prüfen des Ansprechvermögens und zum Kalibrieren von Strahlenschutzdosimetern benutzt (s. auch Tab. T 7.02).

Literatur: Engelke, B.A.; Oetzmann, W. (1977): Strahlenschutzdosimeter für Photonenstrahlung mit Energien zwischen 5 keV und 3 MeV. PTB-Prüfregeln Bd. 11, Braunschweig: Phys.-Tech. Bundesanstalt; DIN 6818 Teil 1 (1992): Strahlenschutzdosimeter. Allgemeine Regeln; ISO 4037 (1996): X and γ reference radiations for calibrating dosemeters and dose ratemeters and for determining their response as a function of photon energy. Part 1: Characteristics of the radiations and their methods of production

Erläuterungen:

U: Röhrenspannung

Zusatzfilter: Um die im Filtermaterial angeregte Eigenstrahlung möglichst vom Prüfling fernzuhalten, werden Kombinationsfilter verwendet. Diese sind so in den Strahlengang zu bringen, daß die Röntgenstrahlung die Filtermaterialien in Richtung abnehmender Ordnungszahl durchdringt. Der Reinheitsgrad des Filtermaterials muß besser als 99,9% sein

s_1: 1. Halbwertdicke. Die angegebenen Werte sind Richtwerte und beziehen sich auf einen Abstand von 1 m zwischen Brennfleck und Meßort. Die wahren Werte der Halbwertdicke können je nach verwendeter Röntgeneinrichtung um einige Prozent von den Richtwerten abweichen

$\bar{E}$: mittlere Photonenenergie; $\bar{E} = \int_0^{E_{max}} \phi_E(E) E \, dE \Big/ \left(\int_0^{E_{max}} \phi_E(E) \, dE \right)$

E: Photonenenergie

E_{max}: maximale Photonenenergie

$\phi_E(E)$ ist die spektrale (nach E differenzierte) Photonenfluenz als Funktion von E

Serie A: Röntgenstrahlung, Standardserie, starke Filterung (ISO 4037: narrow spectra)

Kurzzeichen	U in kV	Zusatzfilter in mm				s_1 in mm		$\bar{E}$ in keV
		Al	Cu	Sn	Pb	Al	Cu	
A 7,5	7,5	keine				0,025		6,5
A 10	10	0,1				0,05		9
A 15	15	0,5				0,15		12
A 20	20	1,0				0,35		17
A 30	30	4,0				1,2		26
A 40	40		0,21				0,09	33
A 60	60		0,6				0,24	48
A 80	80		2,0				0,59	65
A 100	100		5,0				1,1	83
A 120	120		5,0	1,0			1,7	100
A 150	150			2,5			2,4	118
A 200	200		2,0	3,0	1,0		3,9	161
A 250	250			2,0	3,0		5,2	205
A 300	300			3,0	5,0		6,2	248
Cs	Caesium-137-Gammastrahlung						10,8	662
Co	Kobalt-60-Gammastrahlung						14,6	1250

Eigenfilterung: Angepaßt an 2 mm Beryllium für Röhrenspannung < 40 kV; angepaßt an 4 mm Aluminium für Röhrenspannung ⩾ 40 kV.

Dosisleistung in 1 m Abstand vom Brennfleck der Röntgenröhre für einen Röhrenstrom von 10 mA: etwa 10 bis 100 mSv/h.

Fortsetzung T 7.03a

Serie B: Röntgenstrahlung, mittlere Filterung (ISO 4037: wide spectra) (Anwendung, wenn die Dosisleistung bei Serie A nicht ausreicht)

Kurzzeichen	U in kV	Zusatzfilter in mm Al	Cu	Sn	s_1 in mm Al	Cu	$\bar{E}$ in keV
B 7,5	7,5	keine			0,025		6,5
B 10	10	0,1			0,05		9
B 15	15	0,5			0,15		12
B 20	20	1,0			0,35		17
B 30	30	2,0			0,88		23
B 40	40	4,0			1,7		31
B 60	60		0,3			0,18	45
B 80	80		0,5			0,35	58
B 110	110		2,0			0,94	79
B 150	150			1,0		1,8	104
B 200	200			2,0		3,1	134
B 250	250			4,0		4,3	169
B 300	300			6,5		5,0	202

Eigenfilterung: Angepaßt an 2 mm Beryllium für Röhrenspannung < 60 kV; angepaßt an 4 mm Aluminium für Röhrenspannung ⩾ 60 kV.
Dosisleistung in 1 m Abstand vom Brennfleck der Röntgenröhre für einen Röhrenstrom von 10 mA: etwa 0,1 bis 1 Sv/h.

Serie C: Röntgenstrahlung, schwache Filterung (ISO 4037: High air kerma rate spectra) (Anwendung, wenn die Dosisleistungen bei den Serien A oder B nicht ausreichen)

Kurzzeichen	U in kV	Zusatzfilter in mm Al	Cu	s_1 in mm Al	Cu	$\bar{E}$ in keV
C 7,5	7,5	keine		0,025		6,5
C 10	10	keine		0,04		7,5
C 20	20	0,15		0,11		12
C 30	30	0,5		0,35		19
C 40	40	1,0		0,80		25
C 60	60	3,9		2,4		37
C 80	80	3,2		5,0		49
C 100	100		0,15		0,29	57
C 150	150		0,50		0,92	78
C 200	200		1,0		1,7	102
C 250	250		1,6		2,6	122
C 300	300		2,2		3,4	147

Eigenfilterung: Angepaßt an 2 mm Beryllium für Röhrenspannung < 80 kV; angepaßt an 4 mm Aluminium für Röhrenspannung ⩾ 80 kV.
Dosisleistung in 1 m Abstand vom Brennfleck der Röntgenröhre für einen Röhrenstrom von 10 mA: etwa 0, 1 Sv/h für Röhrenspannung von 7,5 kV und 1 bis 5 Sv/h für Röhrenspannungen > 7, 5 kV.

7.03b Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Diagnostikdosimetern

Von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt benutzte Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Diagnostikdosimetern.

Literatur: DIN 6872 (1983): Strahlenqualitäten für Messungen in der Radiologischen Technik, Patientdurchlaßstrahlung ohne Streustrahlenanteil in der Röntgendiagnostik. IEC 1267 (1994): X-ray Equipment operating up to 400 kV; Radiation conditions for use in the determination of characteristics of diagnostic X-ray equipment.

Kurzzeichen	Röhrengleichspannung in kV	Feste Filterung in mm	Zusatzfilterung in mm	Abstand Brennfleck Meßort in cm	1. Halbwertdicke mm Al	1. Halbwertdicke mm Cu
Ungeschwächte Nutzstrahlung (IEC 1267: RQR-Serie)						
DV 30	30	1,0 Be	2,5 Al	100	1,05	0,031
DV 40	40	1,0 Be	2,5 Al	100	1,42	0,045
DV 50	50	1,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	1,82	0,059
DV 60	60	1,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	1,95	0,065
DV 70	70	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	2,45	0,081
DV 80	80	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	2,75	0,092
DV 90	90	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	3,10	0,112
DV 100	100	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	3,60	0,126
DV 120	120	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	4,30	0,165
DV 150	150	7,0 Be	2,5 Al	100 bis 300	5,40	0,231
Nutzstrahlung hinter dem Phantom (IEC 1267: RQA-Serie)						
DN 40	40	1,0 Be	6,5 Al	100	2,15 Al	0,07
DN 50	50	1,0 Be	12,5 Al	100 bis 300	3,40 Al	0,123
DN 60	60	1,0 Be	18,5 Al	100 bis 300	5,00 Al	0,207
DN 70	70	7,0 Be	23,5 Al	100 bis 300	6,20 Al	0,289
DN 80	80	7,0 Be	28,5 Al	100 bis 300	7,80 Al	0,403
DN 90	90	7,0 Be	32,5 Al	100 bis 300	9,00 Al	0,501
DN 100	100	7,0 Be	36,5 Al	100 bis 300	–	0,609
DN 120	120	7,0 Be	42,5 Al	100 bis 300	–	0,839
DN 150	150	7,0 Be	47,5 Al	100 bis 300	–	1,245
Mammographie ungeschwächte Nutzstrahlung						
MV 25	25	1,0 Be + 0,03 Mo	–	100	0,282	–
MV 30	30	1,0 Be + 0,03 Mo	–	100	0,337	–
MV 35	35	1,0 Be + 0,03 Mo	–	100	0,374	–
Mammographie Nutzstrahlung hinter dem Phantom						
MH 25	25	1,0 Be + 0,03 Mo	2,0 Al	100	0,58	–
MH 30	30	1,0 Be + 0,03 Mo	2,0 Al	100	0,67	–
MH 35	35	1,0 Be + 0,03 Mo	2,0 Al	100	0,75	–

7.03c Strahlungsqualitäten zur Kalibrierung von Therapiedosimetern

Von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt benutzte Strahlungsqualitäten.

Literatur: DIN 6817 (1984): Dosimeter mit Ionisationskammern für Photonen- und Elektronenstrahlung zur Verwendung in der Strahlentherapie. Regeln für die Herstellung; Anforderungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt an Therapiedosimeter mit Ionisationskammern für die Zulassung zur Eichung und Anlage 15.10 zur Eichordnung (1990); Engelke, B.A.; Oetzmann, W. (1984): Therapiedosimeter mit Ionisationskammern für Photonenstrahlungen mit Energien unterhalb von 3 MeV, PTB Prüfregeln, Band 16.

Röntgenstrahlung

Kurzzeichen	Röhrengleichspannung in kV	Feste Filter[1]) in mm	Zusatzfilter in mm	Abstand Brennfleck-Meßort in cm	1. Halbwertdicke[2]) in mm Al	Cu
T 7,5	7,5	1,5 Be		30	0,02	
T 10	10	1,5 Be		30	0,03	
T 15	15	1,5 Be	0,05 Al	30	0,07	
T 20	20	1,5 Be	0,15 Al	30	0,11	
T 30	30	1,5 Be	0,5 Al	30	0,36	
T 40	40	1,5 Be	0,8 Al	30	0,71	
T 50	50	1,5 Be	1,0 Al	30	0,94	
T 70	70	4,0 Al		30, 100	2,8	0,09
T 100	100	4,0 Al	0,5 Al	30, 100	4,4	0,17
T 120	120	4,0 Al	2,0 Al	100		0,28
T 140	140	4,0 Al	5,0 Al	100		0,50
T 150	150	4,0 Al	0,5 Cu	100		0,85
T 200	200	4,0 Al	1,0 Cu	100		1,65
T 250	250	4,0 Al	1,6 Cu	100		2,5
T 280	280	4,0 Al	3,0 Cu	100		3,4

Gammastrahlung

Nuklid	Energie in keV					
^{137}Cs	662			ca. 50 bis 150		
^{60}Co	1170 + 1332			ca. 50 bis 150		

[1]) Einschließlich Eigenfilterung von Röntgenröhre und Röhrenschutzgehäuse.
[2]) Die angegebenen Werte sind Richtwerte. Die wahren Werte der Halbwertdicke können je nach verwendeter Röntgeneinrichtung um einige Prozente von den Richtwerten abweichen.

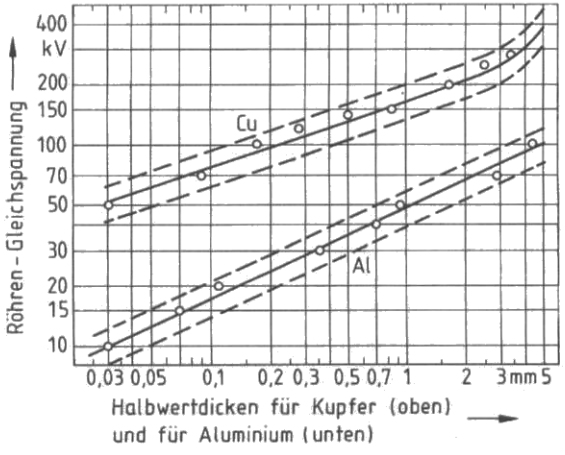
7.04 β-Strahler zur Kalibrierung von Strahlenschutzdosimetern – *β-ray sources for calibrating radiation protection dosimeters* (J. Böhm)

$T_{1/2}$ Halbwertszeit; E_{max} Maximalenergie des Betaspektrums des Nuklids; E_r Mindestwert, den die Maximalenergie des Betaspektrums am Ort der Kalibrierung haben muß (residual maximum energy). Erzeugung von homogenen Betastrahlungsfeldern s. Bd. 2, 7.2.3. In der letzten Spalte sind die Energien der wichtigsten Photonenstrahlungen (in Klammern die Emissionswahrscheinlichkeiten) angegeben.

Nuklid	$T_{1/2}$ in Tagen	E_{max} in keV	E_r in keV	Photonen, Energien in keV
^{14}C	2 093 000	156	90	
^{147}Pm	957	225	130	γ 121 (0,01%)
^{204}Tl	1 381	763	530	Hg-Röntgenstrahlen: 9,9 bis 13,8; 68,9 bis 82,5
$^{90}Sr+^{90}Y$	10 483	2274	1800	
$^{106}Ru+^{106}Rh$	372,6	3541	2800	^{106}Rh-γ, 512 (21%) 622 (11% Dublett) 1050 (1,5% Dublett) 1128 (0,5% Dublett) 1550 (0,2%) und andere

7.05 Röhrenspannungen und Halbwertdicken für Kupfer und Aluminium zur Kalibrierung von Therapiedosimetern und zur Bestimmung der Korrektionsfaktoren k_Q – *Tube voltages and halfvalue thicknesses of copper and aluminium for calibrating therapy level dosimeters and determining the correction factors* k_Q (H. Reich)

Zu jeder Röhrenspannungen soll durch geeignete Filterung eine Halbwertdicke erzielt werden, die in dem durch die gestrichelten Linien begrenzten Bereich liegt. Die Punkte deuten die Strahlungsqualitäten nach Tab. T 7.03c an (nach DIN 6817 (1984)).



7.06 Diagramme der Photonen-Wechselwirkungskoeffizienten für einige Stoffe im Energiebereich von 10 keV bis 100 MeV – *Diagrams of photon interaction coefficients for some materials in the energy range from* 10 keV *to* 100 MeV (H. Reich)

Literatur: s. bei Tab. T 7.07

Die Diagramme (a) für Wasser, b) für Blei und c) für vier Stoffe nebeneinander) geben in Abhängigkeit von der Photonenenergie folgende jeweils auf die Masse bezogenen (d.h. durch die Dichte ϱ des Streukörpers oder Absorbers dividierten) Koeffizienten wieder:

μ/ϱ für die Gesamtschwächung, τ/ϱ für den Photoeffekt, σ_{coh}/ϱ für kohärente (Rayleigh-)Photonenstreuung, σ/ϱ für inkohärente (Compton-)Photonenstreuung und κ/ϱ für die Paarerzeugung. Nicht enthalten in μ/ϱ ist die Schwächung durch den Kernphotoeffekt (Emission eines Neutrons oder Protons), der im Gebiet zwischen 10 und 30 MeV bis zu mehreren Prozent beitragen kann (s. Hubbel (1982), zitiert bei Tab. T 7.07).

Ferner deuten mit dem Index tr versehene Koeffizienten den Bruchteil der Photonenenergie an, der in kinetische Energie sekundärer Elektronen umgewandelt wird (in Wasser: 92,5 % bei 10 keV und 15 % bei 100 keV). Es gilt

$$\mu/\varrho = \tau/\varrho + \sigma_{coh}/\varrho + \sigma/\varrho + \kappa/\varrho$$

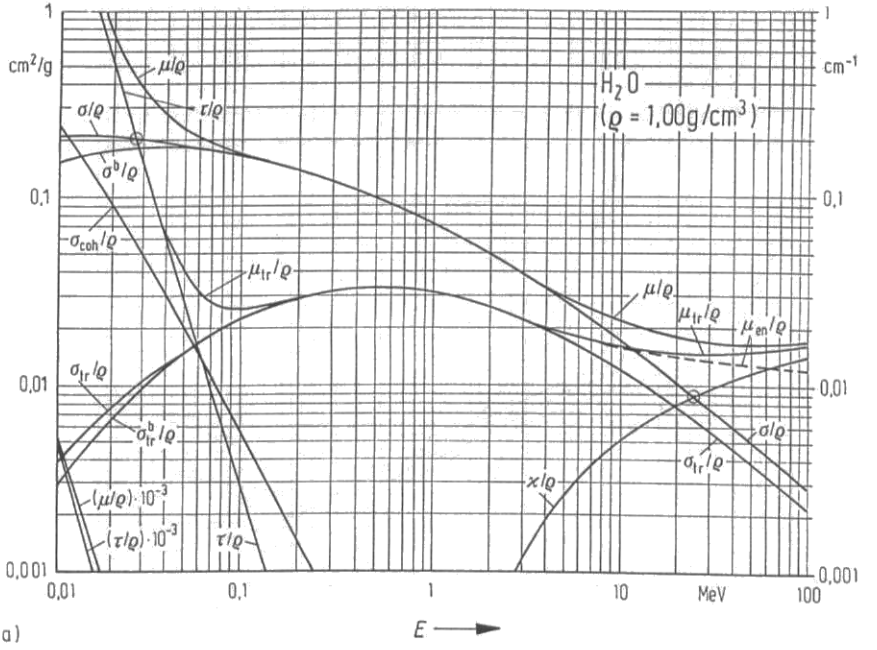
und

$$\mu_{tr}/\varrho = \tau_{tr}/\varrho + \sigma_{tr}/\varrho + \kappa_{tr}/\varrho$$

σ_{coh}/ϱ und σ/ϱ wurden nach der Klein-Nishina-Formel für freie Elektronen berechnet. Hiervon weichen bei niederen Energien die Koeffizienten σ^b/ϱ und σ^b_{tr}/ϱ ab, bei denen die Bindungsenergie der Comptonelektronen berücksichtigt wurde.

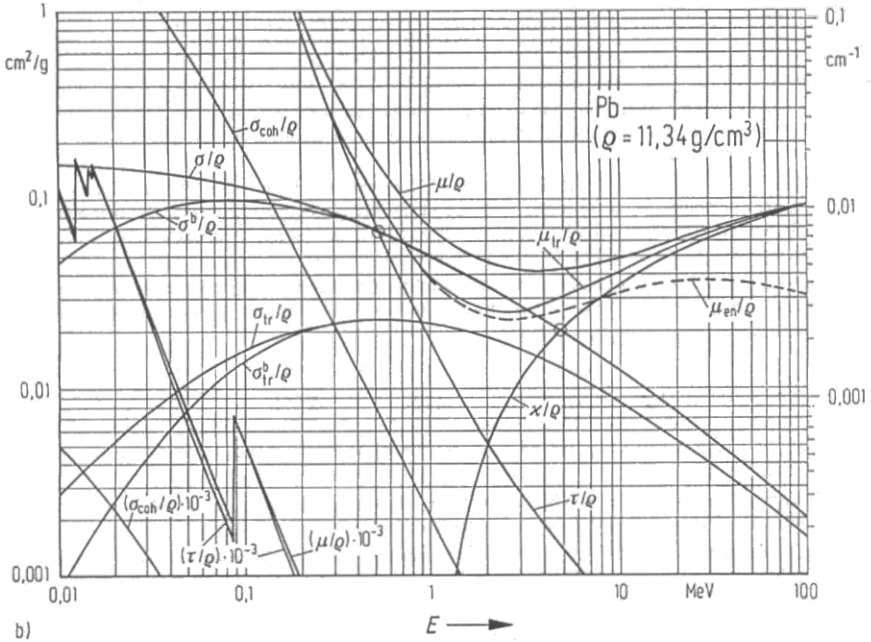
Bezüglich der Energieaufteilung zwischen den bei den Wechselwirkungen entstehenden Sekundärteilchen wird auf die Literatur (s. z.B. Reich, H. (Hrsg.) (1990): Dosimetrie ionisierender Strahlung) verwiesen.

Der linke Ordinatenmaßstab und die Netzlinien geben die massenbezogenen Koeffizienten, der durch kurze Striche angedeutete rechte Maßstab gibt die linearen Koeffizienten (μ, τ usw.) an. Der rechte Maßstab ist beim Blei (Diagramm b) gegen das Koordinatennetz verschoben.

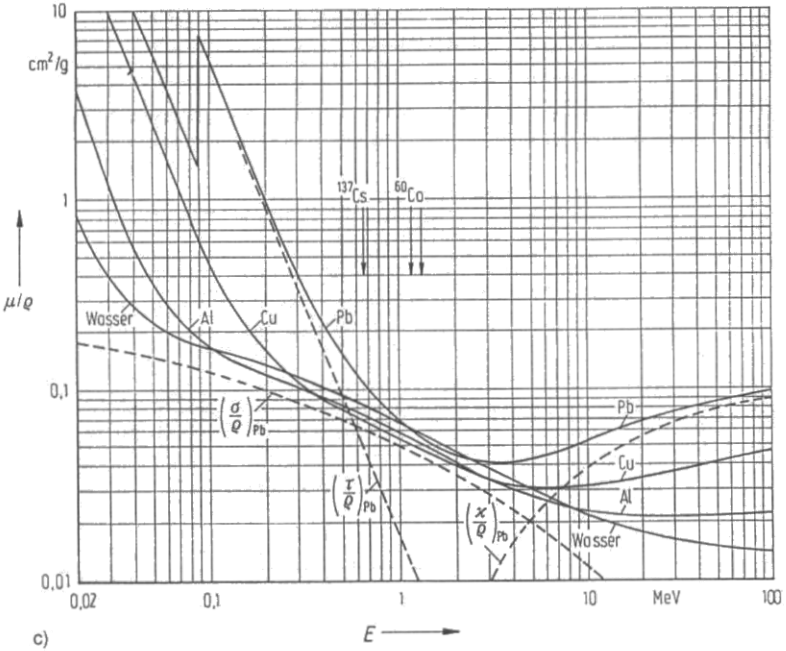


a)

Fortsetzung T 7.06



b)



c)

7.07 Massen-Schwächungskoeffizienten und Massen-Energieabsorptionskoeffizienten einiger Stoffe für Photonenstrahlung von 10 keV bis 100 MeV – *Mass attenuation and mass energy absorption coefficients of some materials for photon radiation* (H. Reich)

Literatur: Hubbell, J.H. (1977): Photon mass attenuation and mass energy absorption coefficients for H, C, N, O, Ar, and seven mixtures from 0,1 keV to 20 MeV. Rad. Res. **70**, 58–81, und (1982): Photon mass attenuation and energy absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV. Int. J. Appl. Radiat. Isot. **33**, 1269–1290. Johns, H.E.; Cunningham, J.R. (1983): The Physics of Radiology, Charles C. Thomas, Springfield/Ill./USA. Higgins, P.D.; Attix, F.H.; Hubbell, J.H.; Seltzer, S.M.; Berger, M.J.; Sibata, C.H. (1992): Mass energy transfer and mass energy absorption coefficients including in-flight positron annihilition for photon energies from 1 keV to 100 MeV. NISTIR 92–4812, 66 S., Internal Report, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA. S. Kohlrausch Bd. 2, 7.1.3.2.

E Photonenenergie in MeV, μ/ϱ Massen-Schwächungskoeffizient, μ_{en}/ϱ Massen-Energieabsorptionskoeffizient, beide Koeffizienten in cm^2/g, Z Ordungszahl, ϱ Dichte in g/cm^3 bei 20 °C, ϱ_{NTP} (e: normal temperature and pressure) Dichte der Gase bei 20 °C, 101,3 kPa.

Die Massen-Schwächungskoeffizienten gelten einschließlich der kohärenten Streustrahlung (außer bei Polyethylen und PMMA in Tab. T 7.07a und Wasserstoff in Tab. T 7.07b). Die Werte für die Kunststoffe beziehen sich auf das reine Polymerisationsprodukt ohne Füllstoffe.

Die (hier nicht aufgenommenen) Massen-Energieumwandlungskoeffizienten μ_{tr}/ϱ unterscheiden sich von den Massen-Energieabsorptionskoeffizienten μ_{en}/ϱ nur um den dicht bei 1 liegenden Faktor $(1 - g)$ (Werte für g s. Tab. T 7.10). Die Zahlen der Tabelle sind durch 10 zu dividieren, um μ/ϱ und μ_{en}/ϱ in der Einheit m^2/kg zu erhalten.

Die μ/ϱ- und μ_{en}/ϱ-Werte für Materialmischungen und Verbindungen können nach der Formel $\mu/\varrho = \Sigma_i w_i (\mu/\varrho)_i$ berechnet werden, wobei w_i den Quotienten aus der Masse des i-ten Bestandteiles und der Gesamtmasse des Materials bedeutet.

7.07a Phantommaterial, Wasser, Luft und Gewebe s. S. 478

7.07b Elemente; Eisensulfat und Lithiumfluorid für Dosimeter s. S. 479

7.07c Werte der Koeffizienten bei den Absorptionskanten einiger Elemente für Photonenenergien größer als 5 keV s. S. 480

7.07a Phantommaterial, Wasser, Luft und Gewebe

Kleine Zahlen: Exponenten des Faktors 10

E in MeV	Polyethylen $\bar{Z} = 5,53$, $\varrho = 0,92$		PMMA (Plexiglas) $\bar{Z} = 6,56$, $\varrho = 1,18$		H_2O, $\bar{Z} = 7,51$ $\varrho(20\,°C) = 0,9982$		Luft, $\bar{Z} = 7,78$ $\varrho_{NTP} = 1,204 \cdot 10^{-3}$		Fett, $\bar{Z} = 6,46$ $\varrho = 0,92$		Muskel, $\bar{Z} = 7,64$ $\varrho = 1,04$		Knoechen, $\bar{Z} = 12,31$ $\varrho = 1,65$	
	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ
0,010	2,023+0	1,717+0	3,273+0	2,944+0	5,223+0	4,840+0	5,016+0	4,640+0	3,048+0	2,716+0	5,284+0	4,895+0	2,690+1	2,524+1
0,015	7,279−1	4,661−1	1,077+0	8,083−1	1,639+0	1,340+0	1,581+0	1,300+0	1,022+0	7,499−1	1,668+0	1,371+0	8,524+0	7,897+0
0,02	4,247−1	1,868−1	5,616−1	3,232−1	7,958−1	5,367−1	7,643−1	5,255−1	5,437−1	3,014−1	8,099−1	5,531−1	3,782+0	3,389+0
0,03	2,689−1	5,758−2	3,006−1	9,391−2	3,718−1	1,520−1	3,501−1	1,501−1	3,004−1	8,881−2	3,754−1	1,579−1	1,267+0	1,009+0
0,04	2,269−1	3,128−2	2,340−1	4,500−2	2,668−1	6,803−2	2,471−1	6,649−2	2,377−1	4,344−2	2,674−1	7,067−2	6,400−1	4,250−1
0,05	2,081−1	2,410−2	2,069−1	3,020−2	2,262−1	4,155−2	2,073−1	4,031−2	2,118−1	2,980−2	2,257−1	4,288−2	4,121−1	2,207−1
0,06	1,968−1	2,218−2	1,921−1	2,504−2	2,055−1	3,152−2	1,871−1	3,004−2	1,974−1	2,514−2	2,045−1	3,224−2	3,087−1	1,327−1
0,08	1,822−1	2,258−2	1,750−1	2,292−2	1,835−1	2,583−2	1,661−1	2,393−2	1,805−1	2,344−2	1,822−1	2,601−2	2,215−1	6,621−2
0,10	1,719−1	2,420−2	1,640−1	2,363−2	1,707−1	2,539−2	1,541−1	2,318−2	1,694−1	2,434−2	1,693−1	2,538−2	1,857−1	4,468−2
0,15	1,534−1	2,788−2	1,456−1	2,656−2	1,504−1	2,762−2	1,356−1	2,494−2	1,506−1	2,747−2	1,491−1	2,743−2	1,492−1	3,175−2
0,2	1,401−1	3,029−2	1,328−1	2,842−2	1,370−1	2,966−2	1,234−1	2,642−2	1,374−1	2,972−2	1,358−1	2,942−2	1,322−1	3,023−2
0,3	1,216−1	3,275−2	1,152−1	3,099−2	1,187−1	3,192−2	1,068−1	2,872−2	1,192−1	3,209−2	1,176−1	3,164−2	1,126−1	3,066−2
0,4	1,089−1	3,367−2	1,031−1	3,185−2	1,061−1	3,279−2	9,548−2	2,949−2	1,067−1	3,298−2	1,052−1	3,250−2	1,003−1	3,107−2
0,6	9,198−2	3,375−2	8,701−2	3,191−2	8,957−2	3,284−2	8,056−2	2,953−2	9,008−2	3,304−2	8,876−2	3,254−2	8,436−2	3,090−2
0,8	8,079−2	3,295−2	7,642−2	3,115−2	7,866−2	3,205−2	7,075−2	2,882−2	7,912−2	3,226−2	7,795−2	3,176−2	7,400−2	3,010−2
1,0	7,263−2	3,188−2	6,869−2	3,014−2	7,070−2	3,100−2	6,359−2	2,787−2	7,112−2	3,121−2	7,006−2	3,072−2	6,648−2	2,909−2
1,25*)	6,489−2	3,046−2	6,137−2	2,879−2	6,317−2	2,961−2	5,681−2	2,662−2	6,36 −2	2,98 −2	6,26 −2	2,93 −2	5,94 −2	2,78 −2
1,5	5,909−2	2,911−2	5,590−2	2,751−2	5,755−2	2,831−2	5,176−2	2,545−2	5,787−2	2,850−2	5,702−2	2,805−2	5,413−2	2,654−2
2	5,065−2	2,674−2	4,796−2	2,530−2	4,940−2	2,604−2	4,447−2	2,342−2	4,963−2	2,619−2	4,895−2	2,580−2	4,663−2	2,447−2
4	3,444−2	2,088−2	3,286−2	1,992−2	3,403−2	2,063−2	3,079−2	1,866−2	3,390−2	2,055−2	3,370−2	2,043−2	3,289−2	1,990−2
6	2,761−2	1,792−2	2,659−2	1,729−2	2,771−2	1,804−2	2,523−2	1,644−2	2,732−2	1,775−2	2,743−2	1,785−2	2,754−2	1,796−2
10	2,146−2	1,504−2	2,105−2	1,481−2	2,219−2	1,566−2	2,045−2	1,446−2	2,147−2	1,508−2	2,196−2	1,548−2	2,320−2	1,641−2
15	1,819−2	1,342−2	1,819−2	1,348−2	1,941−2	1,442−2	1,810−2	1,349−2	1,840−2	1,361−2	1,918−2	1,424−2	2,129−2	1,573−2
20	1,658−2	1,261−2	1,684−2	1,285−2	1,813−2	1,386−2	1,705−2	1,308−2	1,693−2	1,290−2	1,790−2	1,367−2	2,059−2	1,553−2
30	1,51 −2	1,18 −2	1,57 −2	1,23 −2	1,71 −2	1,32 −2	1,63 −2	1,28 −2	1,57 −2	1,22 −2	1,68 −2	1,30 −2	2,05 −2	1,53 −2
50	1,43 −2	1,11 −2	1,51 −2	1,18 −2	1,67 −2	1,28 −2	1,61 −2	1,24 −2	1,51 −2	1,17 −2	1,64 −2	1,26 −2	2,11 −2	1,51 −2
100	1,41 −2	1,03 −2	1,54 −2	1,11 −2	1,73 −2	1,21 −2	1,68 −2	1,19 −2	1,53 −2	1,11 −2	1,69 −2	1,19 −2	2,26 −2	1,43 −2

*) 1,25 MeV ist die mittlere Energie der beiden Quanten des Nuklids ^{60}Co (1,1731 und 1,3325 MeV)

7.07b Elemente; Eisensulfat und Lithiumfluorid für Dosimeter

Horizontaler Strich bei Pb: K-Kante

E in MeV	H, $Z = 1$ $\varrho_{NTP} =$ 8,38−5		C, $Z = 6$ $\varrho = 1{,}8$ bis 2,25		N, $Z = 7$ $\varrho_{NTB} =$ 1,165−3		O, $Z = 8$ $\varrho_{NTB} =$ 1,331−3		Ca, $Z = 20$ $\varrho = 1{,}55$		Cu, $Z = 29$ $\varrho = 8{,}96$		Pb, $Z = 82$ $\varrho = 11{,}34$		$FeSO_4$, $\bar{Z} =$ 7,83, $\varrho = 1{,}024$		LiF, $\bar{Z} = 8{,}31$ $\varrho = 2{,}675$	
	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ	μ/ϱ	μ_{en}/ϱ
0,010	0,385	0,00985	2,298	2,003	3,779	3,446	5,832	5,449	92,34	86,26	214,0	151,4	130,6	125,6	5,812	5,413	5,970	5,607
0,015	0,377	0,0110	0,787	0,545	1,207	0,942	1,798	1,508	29,47	27,73	73,43	58,53	111,6	89,39	1,821	1,517	1,847	1,576
0,02	0,370	0,0136	0,434	0,216	0,606	0,375	0,850	0,603	12,92	12,07	33,52	28,10	86,36	69,23	0,873	0,611	0,865	0,635
0,03	0,357	0,0186	0,254	0,0641	0,304	0,107	0,374	0,169	4,040	3,637	10,83	9,382	30,32	25,50	0,394	0,174	0,369	0,179
0,04	0,346	0,0232	0,207	0,0327	0,228	0,0493	0,257	0,0737	1,814	1,525	4,828	4,173	14,36	12,21	0,276	0,0769	0,247	0,0774
0,05	0,335	0,0271	0,187	0,0236	0,197	0,0316	0,212	0,0434	1,011	0,776	2,595	2,196	8,041	6,796	0,231	0,0459	0,201	0,0447
0,06	0,326	0,0305	0,175	0,0208	0,181	0,0252	0,190	0,0317	0,653	0,448	1,583	1,290	5,020	4,177	0,208	0,0340	0,179	0,0318
0,08	0,309	0,0362	0,161	0,0203	0,164	0,0220	0,168	0,0245	0,364	0,194	0,759	0,559	2,419	1,936	0,184	0,0268	0,156	0,0237
0,10	0,294	0,0406	0,151	0,0214	0,153	0,0223	0,155	0,0235	0,256	0,108	0,456	0,295	5,550	2,229	0,171	0,0258	0,144	0,0222
0,15	0,265	0,0481	0,135	0,0245	0,135	0,0247	0,136	0,0250	0,167	0,0486	0,221	0,103	2,014	1,135	0,150	0,0277	0,126	0,0233
0,2	0,243	0,0525	0,123	0,0266	0,123	0,0266	0,124	0,0268	0,137	0,0364	0,156	0,0581	0,999	0,623	0,137	0,0296	0,115	0,0248
0,3	0,211	0,0569	0,107	0,0287	0,107	0,0287	0,107	0,0288	0,112	0,0315	0,112	0,0364	0,403	0,258	0,118	0,0318	0,0990	0,0266
0,4	0,189	0,0586	0,0955	0,0295	0,0956	0,0295	0,0957	0,0295	0,0978	0,0306	0,0941	0,0314	0,232	0,144	0,106	0,0327	0,0885	0,0273
0,6	0,160	0,0588	0,0806	0,0296	0,0806	0,0296	0,0807	0,0296	0,0815	0,0298	0,0762	0,0284	0,125	0,0713	0,0893	0,0327	0,0747	0,0274
0,8	0,140	0,0574	0,0708	0,0289	0,0708	0,0289	0,0709	0,0289	0,0712	0,0289	0,0661	0,0269	0,0887	0,0484	0,0784	0,0320	0,0656	0,0267
1,0	0,126	0,0556	0,0636	0,0279	0,0637	0,0279	0,0637	0,0279	0,0639	0,0278	0,0590	0,0256	0,0710	0,0379	0,0705	0,0309	0,0589	0,0258
1,5	0,103	0,0507	0,0518	0,0255	0,0518	0,0255	0,0519	0,0255	0,0521	0,0253	0,0480	0,0231	0,0522	0,0271	0,0574	0,0282	0,0480	0,0236
2	0,0877	0,0465	0,0444	0,0234	0,0445	0,0235	0,0446	0,0235	0,0453	0,0235	0,0420	0,0216	0,0461	0,0241	0,0493	0,0260	0,0412	0,0217
4	0,0581	0,0352	0,0305	0,0185	0,0307	0,0186	0,0310	0,0188	0,0340	0,0204	0,0332	0,0198	0,0420	0,0246	0,0340	0,0206	0,0286	0,0173
6	0,0450	0,0290	0,0247	0,0161	0,0251	0,0164	0,0255	0,0167	0,0303	0,0199	0,0311	0,0202	0,0439	0,0273	0,0277	0,0180	0,0234	0,0153
10	0,0325	0,0225	0,0196	0,0138	0,0202	0,0143	0,0209	0,0148	0,0284	0,0201	0,0310	0,0217	0,0497	0,0311	0,0222	0,0157	0,0190	0,0135
15	0,0254	0,0184	0,0170	0,0126	0,0178	0,0133	0,0187	0,0139	0,0284	0,0207	0,0325	0,0229	0,0566	0,0335	0,0195	0,0145	0,0169	0,0125
20	0,0215	0,0161	0,0158	0,0120	0,0167	0,0128	0,0177	0,0136	0,0290	0,0214	0,0341	0,0238	0,0621	0,0344	0,0182	0,0139	0,0159	0,0122
30	0,0175	0,0136	0,0147	0,0115	0,0159	0,0126	0,0171	0,0135	0,0307	0,0225	0,0371	0,0255	0,0700	0,0378	0,0172	0,0135	0,0152	0,0119
50	0,0142	0,0114	0,0143	0,0111	0,0157	0,0124	0,0171	0,0133	0,0333	0,0226	0,0412	0,0254	0,0807	0,0363	0,0169	0,0131	0,0151	0,0116
100	0,0119	0,0098	0,0145	0,0104	0,0162	0,0119	0,0179	0,0129	0,0371	0,0208	0,0467	0,0227	0,0937	0,0304	0,0174	0,0124	0,0158	0,0110

7.07c Werte der Koeffizienten bei den Absorptionskanten einiger Elemente für Photonenenergien größer als 5 keV

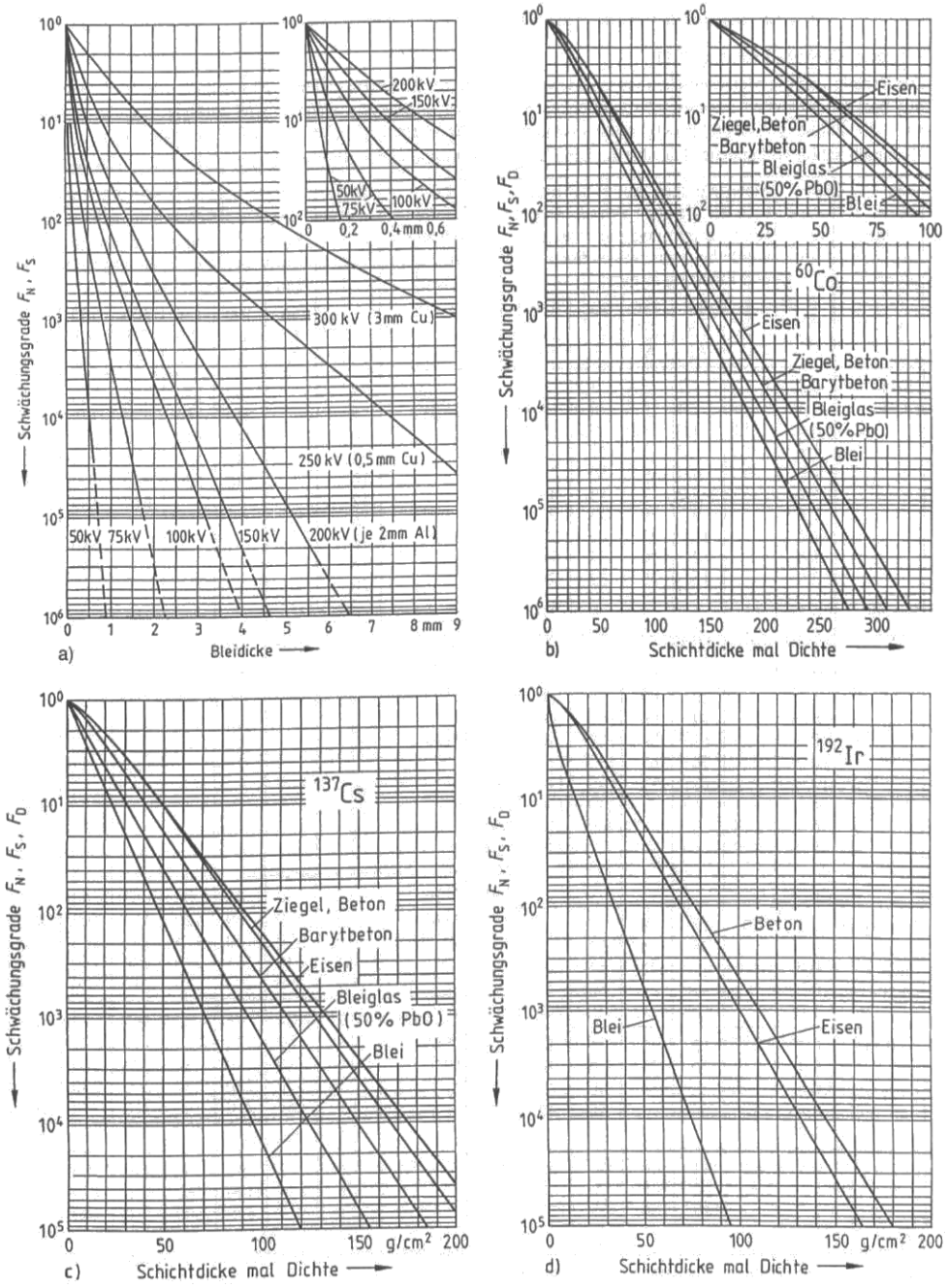
Element Z	Kante	E in keV	μ/ϱ in cm^2/g		μ_{en}/ϱ in cm^2/g	
			von	auf	von	auf
Fe, 26	K	7,112	49,0	442	47,2	329
Cu, 29	K	8,981	36,0	302	34,2	284
Sn, 50	K	29,20	7,61	44,9	6,70	16,2
Pb, 82	L_{III}	13,04	64,8	162	61,0	113
	L_{II}	15,20	110	151	80,8	109
	L_I	15,86	135	157	98,8	114
	K	88,00	1,85	7,65	1,45	2,31

7.08a Dosisschwächungsgrade für Röntgenstrahlung in Blei und für Gammastrahlung in verschiedenen Materialien – *Dose attenuation rates for X-rays in lead and for gamma radiation in several materials* (H. Reich)

Literatur: Daten: Wachsmann. F.; Drexler, G. (1976): Kurven und Tabellen für die Radiologie; 2. Aufl. Berlin: Springer. Normen: DIN 6812 E(1994): Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV; Strahlenschutzregeln für die Errichtung. DIN 54113, T. 3 (1995): Zerstörungsfreie Prüfung – Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 500 kV; Formeln und Diagramme für Strahlenschutzberechnungen. DIN 6845 T. 1 (1980): Prüfung von Strahlenschutzstoffen für Röntgen- und Gammastrahlung; Röntgenstrahlung bis 400 kV. Göttel, K.; Kraft, A. (1972): Einfluß der Bestrahlungsfeldgröße auf die Schwächung von Röntgenstrahlung; GSF-Bericht, S 209; Oberschleißheim: GSF-Forschungszentrum, Inst. f. Strahlenschutz. DIN 6844: Nuklearmedizinische Betriebe; T. 3 (1989): Strahlenschutzberechnungen. DIN 6846: Medizinische Gammabestrahlungsanlagen; T. 2 (1983): Strahlenschutzregeln für die Errichtung. DIN 54115: Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe; T. 5 (1992): Errichtung von Anlagen für die Gammaradiographie. Dimitrijevic, D. (1972): Praktische Berechnung der Abschirmung von radioaktiver und Röntgenstrahlung; Weinheim: VCH Verlag. Chilton, A.B., u.a. (1984): Principles of Radiation Shielding; Englewood Cliffs: Prentice Hall. Sauermann, P.F. (1985): Abschirmungspraxis – aus 25 Jahren Erfahrung; Jülich: Kernforschungsanlage, Inst. f. Chemie – Strahlenschutz.

F_N, F_S, F_D Schwächungsgrade für Nutzstrahlung, für Streustrahlung und für Durchlaßstrahlung; die letztere (bei den Diagrammen b) bis d)) ist die von der Wand der Strahlerköpfe von Gamma-Bestrahlungseinrichtungen hindurchgelassene Strahlung. Diagramm a) gilt für Röntgenstrahlung hinter Bleischichten. Die Kurven gelten für ausgedehnte Strahlenfelder (z. B. 50 cm × 50 cm) und Aufstellung der Dosimeter dicht hinter der Schutzwand.

Fortsetzung T 7.08a



7.08b Bestimmung der Schutzdicken aus verschiedenen Baustoffen für breite Strahlenbündel – *Determination of protection layers of different building materials for broad radiation beams* (H. Reich)

Literatur: DIN 6812 Entw. (1994)

Der Tabelle sind die Materialdicken verschiedener Baustoffe zur Erzielung gleicher Schwächung wie mit Schutzdicken aus Blei zu entnehmen. Lineare Interpolationen zwischen den angegebenen Werten sind zulässig. Handelt es sich bei mehr als 200 kV um Schutz gegen Störstrahlung, so sind die Werte der Spalte für 200 kV zu entnehmen.

Eventuell schon vorhandene Bausubstanz kann bei der Bestimmung der Abschirmung berücksichtigt werden (s. u.).

Baustoffe Dichte in g/cm³	Bleidicke in mm	Materialdicken in mm zur Erzielung der gleichen Schwächung für Röntgenstrahlung, die erzeugt wurde bei max. Spannungen in kV und Filterung in mm					
		50 2,5 Al	100 2,5 Al	150 2,5 Al	200 2,5 Al	250 0,5 Cu	300 3 Cu
Eisen (7,9)	0,2	1,1	1,2	2,4	3,2	3,4	3,8
	0,4	2,4	2,4	5,2	6,0	6,4	7,2
	0,6	3,8	4,0	8,0	9,2	9,4	10
	0,8	5,2	5,2	11	12	12	13
	1,0	6,5	6,4	14	16	16	16
	1,2		8,0	17	19	18	18
	1,4		9,2	20	23	21	20
	1,6		10	23	26	23	22
	1,8		12	26	29	26	24
	2,0		13	28	32	29	26
Baryth-beton (3,2)	0,5	15	4,0	7,3	9,0	10	11
	1	31	8,6	15	19	19	21
	2		17	33	38	37	37
	3		24	51	57	53	50
	4		30	67	74	68	64
	6		44	100	105	96	88
	8		57	130	135	120	115
	10		70	165	170	145	135
	12		82	195	195	170	155
	14				230	190	180
	16				260	220	200
	18					240	220
	20						240
	22						260
Isolierglas (Float-glas) (2,5)	0,2	20	18	18	15	15	15
	0,4		36	36	32	27	24
	0,6			45	44	39	34
	0,8				50	45	38
	1,0					47	42
Alumini-um (2,7)	0,2	15	16	17	15	14	12
	0,4		30	34	30	26	20
	0,6			44	40	37	32
	0,8				46	42	37
	1,0					46	42
Beton (2,3)	0,5	62	44	60	56	52	50
	1	130	80	105	96	85	80
	2		140	180	165	135	125

Baustoffe Dichte in g/cm³	Bleidicke in mm	Materialdicken in mm zur Erzielung der gleichen Schwächung für Röntgenstrahlung, die erzeugt wurde bei max. Spannungen in kV und Filterung in mm					
		50 2,5 Al	100 2,5 Al	150 2,5 Al	200 2,5 Al	250 0,5 Cu	300 3 Cu
Beton (2,3)	3		190	250	220	180	155
	4		240	300	270	220	185
	6		340	410	360	280	240
	8		440	530	440	350	290
	10		540	630	530	400	330
	12				610	460	370
	14					520	420
	16					580	460
	18					640	500
	20						550
	22						590
Voll-ziegel (1,8)	0,5	100	70	84	76	68	62
	1	200	120	150	130	120	105
	2		195	260	230	190	165
	3		260	340	310	250	210
	4		330	420	370	300	250
	6		450	570	490	390	330
	8				600	470	390
	10					540	450
	12					610	510
	14						570
	16						620
Gips-platten (0,84)[1]	0,2	50	48	63	62	60	56
	0,4	110	89	120	110	105	95
	0,6	170	130	175	155	145	130
	0,8	230	165	220	200	180	165
	1,0	290	200	270	240	220	190
Schaum-beton (0,63)	0,2	84	66	82	92	77	86
	0,4	180	120	160	145	135	130
	0,6	280	170	230	200	180	170
	0,8	380	220	280	260	230	210
	1,0	480	270	340	310	270	240
	1,2		310	400	360	310	270
	1,4		350	450	410	340	300
	1,6		390	500	450	380	330
	1,8		430	560	500	410	360
	2,0		470	600	530	440	380

[1]) Bei Gips abweichender Dichte ist die Materialdicke entsprechend dem Quotienten der Dichtewerte umzurechnen. Bei unbekannter Dichte ist der Wert 0,6g/cm³ anzuwenden.

Fortsetzung T 7.08b

Die Materialdicken x_m in mm verschiedener Baustoffe zur Erzielung gleicher Schwächung wie mit Schutzdicken x (mm) aus Blei können auch aus folgender Gleichung ermittelt werden:

$$x_m = a\left(\frac{\varrho}{\varrho_0}\right)^b \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^c \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^d$$

Hierin bedeuten: ϱ Dichte des Materials, U Röhrenspannung in kV, $\varrho_0 = 1$ g/cm³, $U_0 = 100$ kV, $x_0 = 1$ mm.
Die Konstanten a, b, c und d sind durch die folgende Tabelle gegeben:

Röhrenspannungsbereich	< 100 kV		100 bis 175 kV		> 175 bis 200 kV		> 200 kV	
Dichte des Materials in g/cm³	< 3,2	⩾ 3,2	< 3,2	⩾ 3,2	< 3,2	⩾ 3,2	< 3,2	⩾ 3,2
a in mm	177	–	177	10,5	290	9,3	290	25
b	−0,83	–	−0,95	−0,20	−0,95	−0,22	−0,95	−0,20
c	−0,70	–	0,69	2,10	−0,53	1,31	−0,50	0,00
d	1,1	–	0,82	0,90	0,75	0,96	0,70	0,87

7.09 Dosisschwächungsgrade für Photonen- und Neutronenstrahlen hoher Energie; Zehntelwertdicken – *Dose attenuation rates for high energy photon and neutron radiation; tenth value layers* (H. Reich)

Literatur: s. Tab. T 7.08, ferner: DIN 6847: Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen; T. 2 (1990): Strahlenschutzregeln für die Errichtung. ICRP 33 (1982): Protection Against Ionizing Radiation from External Sources used in Medicine; 74 S. Strahlenschutzvorkehrungen allgemein: NCRP 38 (1971): Protection Against Neutron Radiation. NCRP 51 (1977): Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities. NCRP 79 (1984): Neutron contamination from medical electron accelerators. Die Diagramme sind dem Bericht IAEA 188 (1979) entnommen: Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators, Techn. Rep. Ser. No. 188. Zur Abschwächung von Neutronen s. auch Chilton, A. B., u. a. (1984): Principles of Radiation Shielding. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Alle Angaben für Schwächungsgrade und Zehntelwertdicken beziehen sich auf breite Strahlenbündel bei senkrechtem Einfall auf die Abschirmungswand und Aufstellung der Dosimeter direkt dahinter.

Als *Zehntelwertdicke* wird diejenige Wanddicke bezeichnet, durch welche die dahinter gemessene Dosis auf 1/10 herabgesetzt wird. Die *Röntgennutzstrahlung* ist bei hohen Energien die von monoenergetischen Elektronen in Targets hoher Ordnungszahl ausgelöste Photonenstrahlung in der Richtung des Elektronenstrahles.

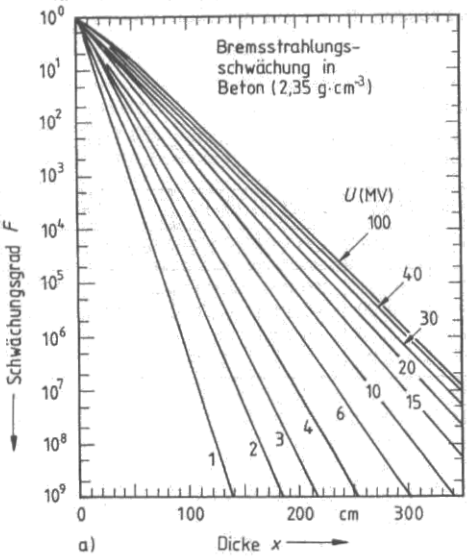
a) bis c): *Schwächungsgrad F* der Röntgennutzstrahlung für verschiedene Stoffe in Abhängigkeit von der Abschirmdicke x; Parameter: Erzeugungsspannung U.

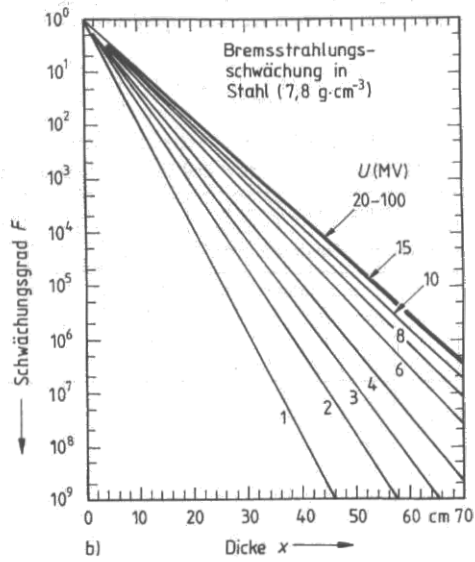
d): *Zehntelwertdicken* als flächenbezogene Massen verschiedener Stoffe für Röntgennutzstrahlung in Abhängigkeit von U; ϱx_1 „erste" Zehntelwertdicke; ϱx_G „Gleichgewicht"-Zehntelwertdicke, die der annähernd exponentiellen Abschwächung in späteren Schichten entspricht.

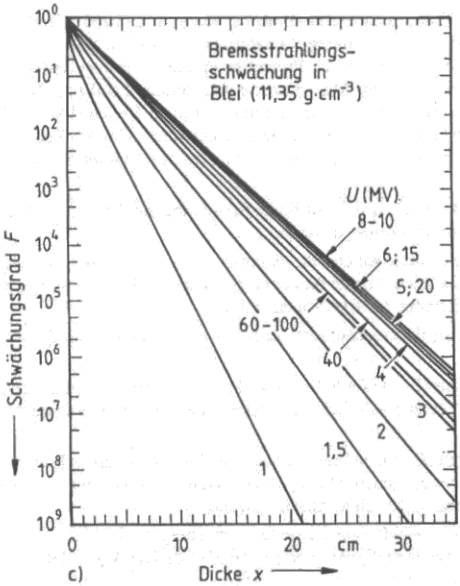
e): *Abschwächung monoenergetischer* Neutronen der Energie E_n, die in breitem Strahl senkrecht auf eine Abschirmwand aus Beton auftreffen, in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse ϱx der Wand. Die Ordinate ist das Verhältnis B_n der Aquivalentdosis $H(\varrho x)$ zur Neutronenfluenz $\Phi_n(0)$ ohne Abschirmwand.

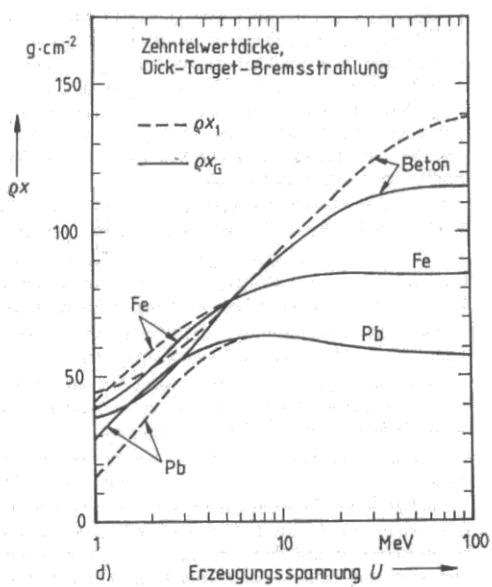
f): *Zehntelwertdicken* als flächenbezogene Massen von Abschirmwänden aus Beton für monoenergetische Neutronen bei senkrechtem Auftreffen in Abhängigkeit von der Neutronenenergie E_n, ϱx_1 und ϱx_G wie bei d). Die Äquivalentdosis von Neutronen-Einfang-Gammastrahlung ist mitberücksichtigt.

Fortsetzung Tab. T 7.09

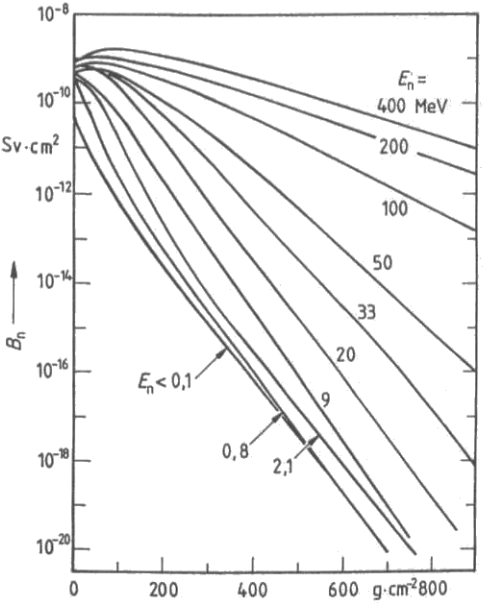


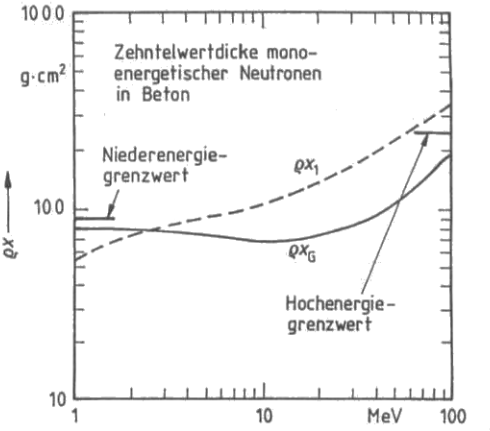






Fortsetzung Tab. T 7.09





7.10 Bremsstrahlungskorrektionen *g* und Kerma-Umrechnungsfaktoren – *Correction factors g for bremsstrahlung production and conversion coefficients for kerma* (H. Reich)

Literatur: s. Kohlrausch. Bd. 2, 7.1.3.2, 7.8.1.3, 7.8.1.7 und 7.8.3.1

g Bruchteil der Anfangsenergie, der von Sekundärelektronen bei Abbremsung in Luft (g_a), in Wasser (g_w) und in Graphit (g_c) in Bremsstrahlung umgewandelt wird, berechnet von M. Roos (private Mitteilung) nach Daten von Hubbell, J. H. (1977) (s. Zitat bei Tab. T 7.07) und ICRU 37 (1984), Stopping Powers for Electrons and Positrons.

K_a/J_s, K_w/K_a Konversionfaktoren zur Umrechnung der Standard-Ionendosis in die Luftkerma und der Luftkerma (in Wasser) in die Wasser-Kerma (s. 7.8.3.1 und 7.8.3.3 in Bd. 2) unter Benutzung der Faktoren g_a, W/e = 33,97 V, und $t_{wa}^{en} = (\mu_{en}/\varrho)_w/(\mu_{en}/\varrho)_a$ (letztere Werte s. Tab. T 7.07a). Die Wasserkerma K_w in Wasser kann jenseits des Tiefendosismaximums bis zu hohen Energien der dort erzeugten Wasser-Energiedosis D_w näherungsweise gleichgesetzt werden (s. Nilsson, B.; Brahme, A. (1983): Relation between kerma and absorbed dose in photon beams. Acta Radiol. Oncol. **22**, 77–85). Bei Messungen der Dosisgrößen mit einer Kammer in Luft und in Wasser sind Korrektionen nach 7.8.4.3 in Bd. 2 zu berücksichtigen. E Photonenenergie.

E keV	g_a 10^{-3}	g_w 10^{-3}	g_C 10^{-3}	K_a/J_s mGy/R	K_w/K_a	E keV	g_a 10^{-3}	g_w 10^{-3}	g_C 10^{-3}	K_a/J_s mGy/R	K_w/K_a
50	0, 28	0, 24	0, 16	8, 77	1, 031	1,00	2, 49	2, 22	2, 05	8, 79	1, 112
100	0, 24	0, 21	0, 16	8, 77	1, 095	1,25*)	3, 15	2, 82	2, 61	8, 79	1, 112
200	0, 45	0, 40	0, 36	8, 77	1, 110	1,50	3, 84	3, 44	3, 20	8, 80	1, 112
400	0, 97	0, 86	0, 78	8, 77	1, 112	2,00	5, 25	4, 75	4, 45	8, 81	1, 112
600	1, 48	1, 31	1, 20	8, 78	1, 112	3,00	8, 20	7, 55	7, 12	8, 84	1, 109

*) Als Mittelwert der beiden Gammalinien des ^{60}Co. Für Spektren ausgedehnter Quellen ergeben sich ein wenig niedrigere Werte (s. Großwendt, B.; Roos, M. (1984): Spektren von Cobaltquellen für die Strahlentherapie. In: Med. Physik 84 (Th. Schmidt Hrsg.), 391–394. DGMP).

7.11 Zusammensetzung einiger Gewebe und dazu äquivalenter Materialien – *Composition of various tissues and tissue-equivalent materials* (H. Reich)

Unter Verwendung von Daten aus ICRU 10b (1964), 33 (1980), 37 (1984), 44 (1989) und ICRP 23 (1975); s. auch Literatur in 7.8.3.5 in Bd. 2. Bestandteile mit einem Massenanteil von weniger als 0,001% sind nicht aufgenommen. Schrifttumshinweise zur Herkunft, Herstellung und Anwendung der Materialien s. DIN 6809 Teil 4 (1988), und Teil 5 (1996). E-3 bedeutet: 10^{-3}. [...] = Grundsubstanz der äquivalenten Materialien.

Material	Dichte g/cm³	Zusammensetzung (Massengehalt in Prozent)	[...]
Wasser (20°C)	0,9982	H(11,19); O(88,81)	
Luft (20°C, 101,3 kPa)	1,204E-3	N(75,5); O(23,2); Ar(1,3)	
Muskel (ICRU 10b)	1,04	H(10,2); C(12,3); N(3,5); O(72,9); Na(0,08); Mg(0,02); P(0,2); S(0,5); K(0,3)	
Fettgewebe (ICRP 23)	0,92	H(11,9477); C(63,724); N(0,797); O(23,2333); Na(0,050); Mg(0,002); P(0,016); S(0,073); Cl(0,119); K(0,032); Ca(0,002); Fe(0,002); Zn(0,002)	
Knochen (ICRP 23) Corticalis	1,85	H(4,7234); C(14,433); N(4,199); O(44,6096); Mg(0,220); P(10,497); S(0,315); Ca(20,993); Zn(0,010)	
Weichteilgewebe für Strahlenschutz (ICRU 33)	1,00	H(10,1); C(11,1); N(2,6); O(76,2)	
RW-1 (wasseräqu.)[1])	0,97	H(13,19); C(79,41); O(3,81); Mg(0,91); Ca(2,68)	[Polyethylen]
RM-1 (muskeläqu.)[1])	1,03	H(12,24); C(73,36); O(6,37); Mg(6,03); Ca (2,0)	[Polyethylen]
RF-1 (fettäqu.)[1])	0,93	H(14,11); C(84,07); O(0,92); Mg(0,3); Ca(0,6)	[Polyethylen]
RS-1 (gewebeäqu., für Strahlenschutz)[1])	0,98	H(13,11); C(78,53); O(4,01); Mg(2,23); Ca(2,12)	[Polyethylen]
RW-2 (muskeläqu.)[2])	1,112	H(6,97); C(83,03); O(4,0); Ti(6,0)	[Polystyrol]
RW-3 (wasseräqu.)[2])	1,045	H(7,59); C(90,41); O(0,80); Ti(1,20)	[Polystyrol]
M3 (muskeläqu.)	1,055	H(11,43); C(65,58); O(9,22); Mg(13,48); Ca(0,29)	[Paraffin]
WT/SR 6 (muskeläqu.)	1,015	H(8,09); C(67,22); N(2,40); O(19,84); Cl(0,13); Ca(2,32)	[Epoxidharz]
A-150 (muskeläqu.)[3])	1,12	H(10,20); C(76,80); N(3,60); O(5,90); F(1,70); Ca(1,80)	[Polyethylen, Nylon]
AP6 (fettäqu.)	0,92	H(8,36); C(69,14); N(2,36); O(16,93); F(3,07); Cl(0,14)	[Epoxidharz]
Triolein (fettäqu., flüssig)	0,92	H(11,84); C(77,32); O(10,84)	
SB4 (knochenäqu.)	1,75	H(3,72); C(32,46); N(0,53); O(36,12); Cl(0,3); Ca(26,87)	[Epoxidharz]
C 552 (Shonka, luftäqu.)	1,760	H(2,468); C(50,161); O(0,4527); F(46,521); Si(0,3973)	[Polyvinyliden-fluorid]
Polyethylen (CH_2, fettäqu.)[2])	0,92	H(14,37); C(85,63)	
Polystyrol, rein (C_8H_8)[4])	1,024	H(7,74); C(92,26)	
Paraffin ($C_{25}H_{52}$)	0,88	H(14,86); C(85,14)	
PMMA ($C_5H_8O_2$)[5])	1,18	H(8,05); C(59,99); O(31,96)	

[1]) für Röntgenstrahlung bis 200 kV Erzeugungsspannung.
[2]) für Photonenstrahlung ab 1 MeV und Elektronenstrahlung ab 5 MeV.
[3]) A-150 ist elektrisch leitend und wird i. allg. als Granulat (geeignet zum Schmelzen) oder in Stabform geliefert (Adresse: Exradin, 1950 University Lane, Lisle, Illinois 60532, USA). Weitere Angaben s. Smathers u.a. (1977), Goodman (1978).
[4]) Handelsname Vestyron 628–31 der Chemischen Werke Hüls.
[5]) Polymethylmethacrylat. Handelsnamen: Plexiglas, Perspex, Lucite. Die Dichte des PMMA weicht bei verschiedenen Proben z. T. um mehrere Prozent nach oben und unten von dem angegebenen Wert ab (s. Schulz u. Nath (1979)).

Fortsetzung T 7.11

Literatur: Goodman, L. J. (1978): Density and Composition Uniformity of A-150 Tissue-Equivalent Plastic. Phys. Med. Biol. **23**, 753–758
ICRP 23 (1975): Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. ICRP Publication 23. Oxford: Pergamon
ICRU 10b (1964): Physical Aspects of Irradiation. ICRU Report 10b. Washington, D.C.: ICRU.
ICRU 33 (1980): Radiation Quantities and Units. ICRU Report 33. Bethesda, MA.: ICRU Publications.
ICRU 37 (1984): Stopping Powers for Electrons and Positrons. ICRU Report 37. s. ICRU 33.
ICRU 44 (1989): Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement. ICRU Report 44. s. ICRU 33.
Schulz, R. J.; Nath, R. (1979): On the constancy in composition of polystyrene and polymethylmetacrylate. Med. Phys. **6**, 153–156,
Smathers, J. B. u.a. (1977): Composition of A-150 tissue-equivalent plastic. Med. Phys. **4**, 74–77

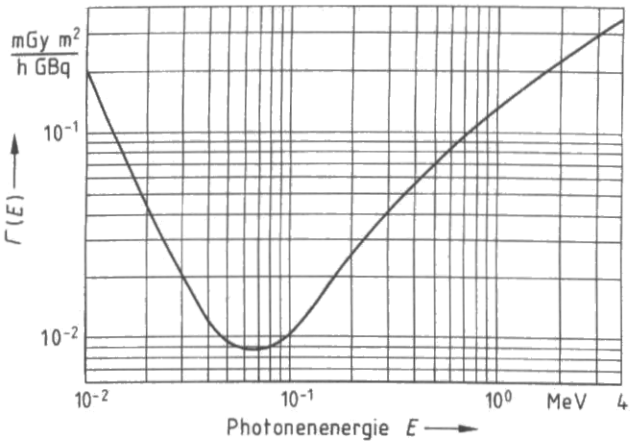
7.12 Dosisleistungskonstanten – *Dose rate constants* (K. Debertin)

Für ein Radionuklid, das verschiedene Photonen der Energie $E_i \geqslant \delta$ mit den Wahrscheinlichkeiten p_i je Zerfall emittiert, ist die Dosisleistungskonstante für die Luftkermaleistung

$$\Gamma_\delta = \sum_{E_i \geqslant \delta} p_i \cdot \Gamma(E_i) \qquad (\Gamma(E_i) \text{ s. Fig. 7.12a})$$

Es gilt $\Gamma(E) = 4{,}59 \cdot E \cdot [\mu_{tr}(E)/\varrho]$ (Z. W.: Γ in mGy m^{2}h^{-1}GBq^{-1}, E in MeV, μ_{tr}/ϱ in cm^{2}g^{-1}). μ_{tr}/ϱ ist der Massen-Energieumwandlungskoeffizient für Luft. Bis 1 MeV ist μ_{tr}/ϱ für Luft um weniger als 1 % größer als der Massen-Energieabsorptionskoeffizient μ_{en}/ϱ, dessen Werte in Tab. T 7.07 wiedergegeben sind.

7.12a Dosisleistungskonstanten $\Gamma(E)$ für die Luftkermaleistung



7.12b Dosisleistungskonstanten für die Luftkermaleistung für einige gebräuchliche Radionuklide unter Berücksichtigung von Photonenenergien $E \geqslant 20$ keV (Γ_{20})

Radionuklid	Γ_{20} mGy m^{2}h^{-1}GBq^{-1}	Radionuklid	Γ_{20} mGy m^{2}h^{-1}GBq^{-1}	Radionuklid	Γ_{20} mGy m^{2}h^{-1}GBq^{-1}
^{22}Na	0,281	^{88}Y	0,314	^{139}Ce	0,0284
^{24}Na	0,433	^{99}Mo	0,0341	^{141}Ce	0,0102
^{51}Cr	$4{,}19 \cdot 10^{-3}$	^{99}Tc^m	0,0146	^{153}Gd	0,0193
^{54}Mn	0,110	^{109}Cd	0,0373	^{169}Yb	0,0428
^{57}Co	0,0132	^{111}In	0,0759	^{182}Ta	0,162
^{58}Co	0,129	^{113}Sn[1])	0,0648	^{192}Ir	0,109
^{59}Fe	0,147	^{113}In^m	0,0418	^{197}Hg	$7{,}69 \cdot 10^{-3}$
^{60}Co	0,307	^{123}I	0,0382	^{198}Au	0,0546
^{65}Zn	0,0729	^{125}I	0,0340	^{201}Tl	0,0103
^{67}Ga	0,0190	^{131}I	0,0522	^{203}Hg	0,0308
^{68}Ge[1])	0,129	^{133}Xe	0,0126	^{226}Ra[1])	0,199
^{73}Se	0,0481	^{133}Ba	0,0705	^{241}Am	$5{,}78 \cdot 10^{-3}$
^{82}Br	0,344	^{134}Cs	0,208		
^{85}Sr	0,0689	^{137}Cs[1])	0,0772		

[1]) im Gleichgewicht mit Folgeprodukten

Für Zwecke des Strahlenschutzes wird die Dosisleistungskonstante für die Photonen-Äquivalentdosisleistung Γ_H angegeben. Zahlenwerte für Γ_H in mSv m^{2}h^{-1}GBq^{-1} erhält man durch Multiplikation der o. a. Tabellenwerte mit 1,141.

Tabellen weiterer Dosisleistungskonstanten für 200 Radionuklide s. Tschurlovits, M.; Leitner, A.; Daverda, G. (1992): Dose rate constants for new dose quantities. Radiat. Prot. Dosim. **42**, 77–82.

7.13 Fluenz- und Luftkerma-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für Photonen – *Fluence and air kerma-to-dose equivalent conversion coefficients for photons* (G. Dietze)

Die Tabelle enthält Daten für die Umrechnung von der Photonenfluenz Φ bzw. Luftkerma K_a frei-in-Luft auf die Strahlenschutz-Meßgrößen zur Messung der Ortsdosis, d.h. auf die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ für durchdringende Strahlung und die Richtungs-Äquivalentdosis für Strahlung geringer Eindringtiefe (s. 7.8.1.10 in Bd. 2). Die Daten sind aus ICRP Publikation xx (Entwurf, 1995): Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation.

Photonenenergie keV	$H^*(10)/K_a$ Sv Gy^{-1}	$H'(0,07)/K_a$ Sv Gy^{-1}	K_a/Φ pGy cm^2	$H^*(10)/\Phi$ pSv cm^2	$H'(0,07)/\Phi$ pSv cm^2
10	0,008	0,95	7,60	0,061	7,2
15	0,26	0,99	3,21	0,83	3,19
20	0,61	1,05	1,73	1,05	1,81
30	1,10	1,22	0,739	0,81	0,90
40	1,47	1,41	0,438	0,64	0,62
50	1,67	1,53	0,328	0,55	0,50
60	1,74	1,59	0,292	0,51	0,47
80	1,72	1,61	0,308	0,53	0,49
100	1,65	1,55	0,372	0,61	0,58
150	1,49	1,42	0,600	0,89	0,85
200	1,40	1,34	0,856	1,20	1,15
300	1,31	1,31	1,38	1,80	1,80

Fortsetzung T 7.13

Photonen-energie keV	$H^*(10)/K_a$ Sv Gy^{-1}	$H'(0,07)/K_a$ Sv Gy^{-1}	K_a/Φ pGy cm^2	$H^*(10)/\Phi$ pSv cm^2	$H'(0,07)/\Phi$ pSv cm^2
400	1,26	1,26	1,89	2,38	2,38
500	1,23	1,23	2,38	2,93	2,93
600	1,21	1,21	2,84	3,44	3,44
800	1,19	1,19	3,69	4,38	4,38
1 000	1,17	1,17	4,47	5,2	5,2
1 500	1,15	1,15	6,12	6,9	6,9
2 000	1,14	1,14	7,51	8,6	8,6
3 000	1,13	1,13	9,89	11,1	11,1
4 000	1,12	1,12	12,0	13,4	13,4
5 000	1,11	1,11	13,9	15,5	15,5
6 000	1,11	1,11	15,8	17,6	17,6
8 000	1,11	1,11	19,5	21,6	21,6
10 000	1,10	1,10	23,2	25,6	25,6

7.14 α-, γ- und Elektronenstrahler zur Kalibrierung von Spektrometern – *α-ray, γ-ray and electron-ray sources for calibrating spectrometers* (K. Debertin)

E Energie; *p* Emissionswahrscheinlichkeit; Zahlen in Klammern: Unsicherheit (Standardabweichung) der letzten angegebenen Ziffern.

Literatur:

Zu α-Strahlern: Rytz, A. (1991): Recommended Energy and Intensity Values of Alpha Particles from Radioactive Decay. Atomic Data and Nuclear Data Tables **47**, 205–239

Zu γ-Strahlern: International Atomic Energy Agency (1991): X-ray and gamma-ray standards for detector calibration. IAEA-TECDOC-619, Wien

Zu Elektronenstrahlern: Legrand, J.; Perolat, J.-P.; Lagoutine, F.; Le Gallic, Y. (1982–1987): Table de Radionucléides. Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, CEA und BNM. Gif-sur-Yvette, Frankreich. Browne, E.; Firestone, R. B. (1986): Table of Radioactive Isotopes, John Wiley & Sons, New York.

α-Strahler

Nuklid	*E* in keV	*p* in %	Nuklid	*E* in keV	*p* in %
^{148}Gd	3182, 680(24)	100	^{233}U	4782, 3(15)	14, 1(4)
^{210}Po	5304, 33(7)	≈100		4824, 4(9)	84, 4(5)
^{212}Bi	6050, 776(26)	25, 17(8)	^{238}Pu	5456, 3(3)	28, 6(4)
	6089, 879(34)	9, 75(6)		5499, 03(20)	71, 4(5)
^{212}Po	8784, 86(12)	100	^{239}Pu	5105, 8(8)	11, 5(8)
^{214}Po	7686, 82(7)	99, 99		5144, 3(8)	15, 1(8)
^{218}Po	6002, 35(9)	99, 9		5156, 59(14)	73, 3(8)
^{223}Ra	5606, 73(30)	25, 7(5)	^{240}Pu	5123, 45(23)	26, 39(21)
	5716, 23(29)	52, 6(13)		5168, 13(15)	73, 51(36)
^{224}Ra	5685, 37(15)	94, 91(7)	^{241}Am	5442, 80(13)	13, 3(7)
^{228}Th	5340, 36(15)	26, 6(3)		5485, 56(12)	85, 1(3)
	5423, 15(22)	73, 4(10)	^{242}Cm	6069, 43(12)	25, 9(17)
^{232}U	5262, 36(9)	31, 4(4)		6112, 72(8)	74, 1(17)
	5320, 12(14)	68, 6(4)	^{244}Cm	5762, 16(3)	23, 6(12)
				5804, 77(5)	76, 4(12)

Fortsetzung T 7.14

γ-Strahler

Nuklid	*E* in keV	*p* in %	Nuklid	*E* in keV	*p* in %
^{22}Na	1274, 542(7)	99, 935(15)	^{139}Ce	165, 857(6)	79, 87(6)
^{24}Na	1368, 633(6)	99, 9936(15)	^{152}Eu	121, 7824(4)	28, 37(13)
	2754, 030(14)	99, 855(5)		244, 6989(10)	7, 53(4)
^{54}Mn	834, 843(6)	99, 9758(24)		344, 2811(19)	26, 57(11)
^{57}Co	14, 4127(4)	9, 16(15)		411, 126(3)	2, 238(10)
	122, 0614(3)	85, 60(17)		443, 965(4)	3, 125(14)
	136, 4743(5)	10, 68(8)		778, 903(6)	12, 97(6)
^{60}Co	1173, 238(4)	99, 857(22)		964, 055(4)	14, 63(6)
	1332, 502(5)	99, 983(6)		1085, 842(4)	10, 13(5)
^{65}Zn	1115, 546(4)	50, 60(24)		1112, 087(6)	13, 54(6)
				1408, 022(4)	20, 85(9)
^{85}Sr	514, 0076(22)	98, 4(4)	^{198}Au	411, 8044(11)	95, 57(47)
^{88}Y	898, 042(4)	94, 0(3)	^{203}Hg	279, 1967(12)	81, 48(8)
	1836, 063(13)	99, 36(3)	^{207}Bi	569, 702(2)	97, 74(3)
^{109}Cd	88, 0341(11)	3, 63(2)		1063, 662(4)	74, 5(2)
^{113}Sn	391, 702(4)	64, 89(13)	^{228}Th/^{208}Tl	2614, 533(13)	35, 86(6)
^{134}Cs	604, 720(3)	97, 63(6)	^{241}Am	59, 537(1)	36, 0(4)
	795, 859(5)	85, 4(3)			
^{137}Cs	661, 660(3)	85, 1(2)			

Elektronen-Strahler

Nuklid	*E* in keV	*p* in %	Nuklid	*E* in keV	*p* in %
^{57}Co	114, 950(2)	1, 63(10)	^{137}Cs/^{137}Ba^{m}	624, 213(3)	7, 60(10)
	129, 362(2)	1, 43(4)		655, 67–656, 41	1, 42(5)
^{109}Cd/^{109}Ag^{m}	62, 520(2)	41, 2(8)	^{192}Ir	217, 563(1)	1, 92(9)
	84, 228–84, 683	45, 3(8)		230, 062(1)	1, 88(13)
	87, 317–88, 031	9, 8(2)		238, 113(1)	4, 50(15)
^{113}Sn/^{113}In^{m}	363, 762(4)	28, 4(5)		389, 677(1)	1, 02(3)
	387, 46–387, 97	5, 3(3)	^{198}Au	328, 702(2)	2, 88(3)
^{114}In^{m}	162, 34(3)	39, 4(13)		396, 96–399, 52	1, 03(2)
	186, 04–186, 55	32, 2(10)	^{203}Hg	193, 666(1)	13, 46(20)
^{123}Te^{m}	56, 64(7)	41, 9(5)		263, 85–266, 54	3, 92(9)
	83, 52–84, 12	45, 0(5)	^{207}Bi	481, 680(10)	1, 57(3)
	127, 15(7)	13, 70(8)		553–569	0, 580(6)
^{125}Te^{m}	77, 460(8)	50, 5(15)		975, 637(21)	7, 33(21)
	104, 33–104, 93	38, 0(10)		1047, 8–1050, 6	1, 86(5)
	108, 26–109, 27	11, 1(12)			

7.15 Energie und Wellenlänge von Photonenstrahlung, magnetische Ablenkung von Elektronen und Protonen – *Energy and wave length of photon radiation, magnetic deflection of electrons and photons* (B. Großwendt)

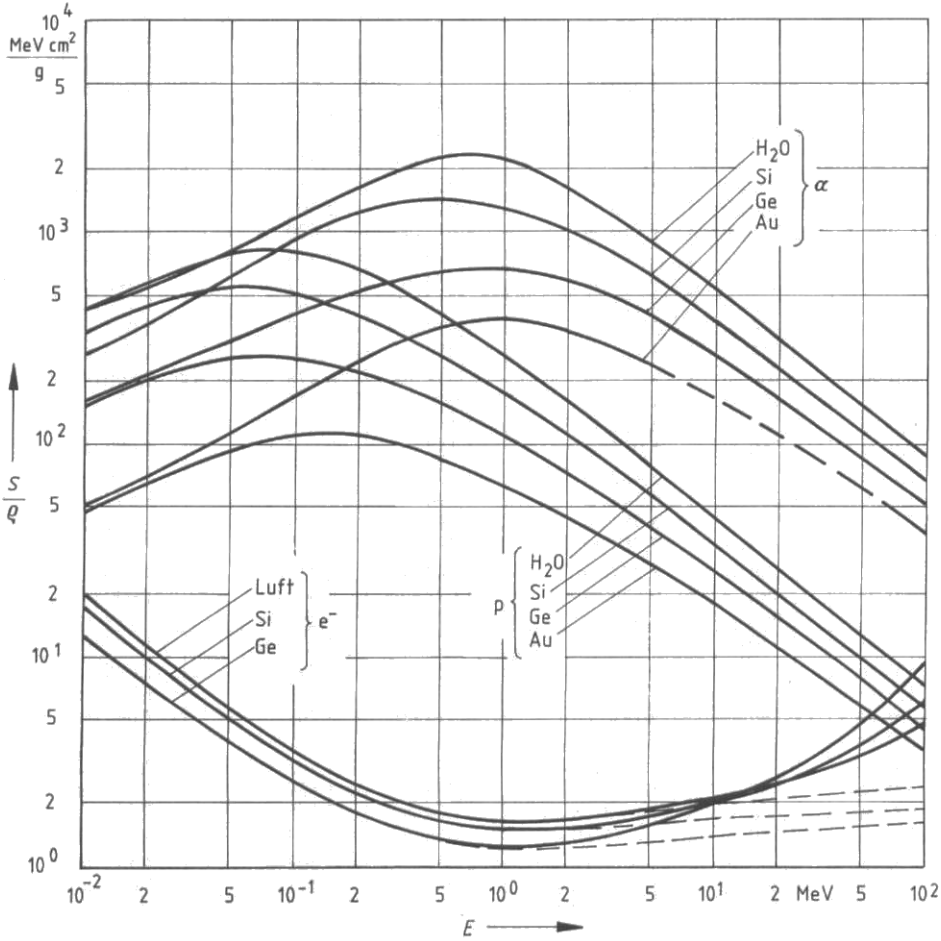
$\lambda = hc/E$ bzw. als Z. W. G.: $\lambda = 1,2399/E$ (λ Wellenlänge in pm (= 10^{-2} Å) eines Photons mit der Energie E in MeV). Für Elektronen: $\beta = v/c$, v Geschwindigkeit, c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum; $\varepsilon = (E + E_0)/E_0 = m/m_0 = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, E kinetische Energie, $E_0 = m_0c^2$ Ruhenergie, m Masse, m_0 Ruhmasse. Für Elektronen und Protonen: ϱ Krümmungsradius der Bahn eines Teilchens mit der Ladung ze und der Ruhenergie E_0, das sich senkrecht zu einem Magnetfeld mit der Induktion B bewegt: $B\varrho = \sqrt{E^2 + 2EE_0}/zec$ bzw. $B\varrho = 3,3356 \cdot 10^{-3} z^{-1}\sqrt{E^2 + EE_0}$ (B in Vs m^{-2}, ϱ in m (10^{-6} Vs m^{-1} $\hat{=}$ 1 G cm), E und E_0 in MeV). (Zahlen in Kleindruck: Exponenten zur Basis 10.)

E MeV	λ pm	Elektronen β	ε	$B\varrho$ 10^{-3} Vs m^{-1}	Protonen $B\varrho$ 10^{-3} Vs m^{-1}
1,0$_{-03}$	1,240$_{+03}$	6,247$_{-02}$	1,002$_{+00}$	1,067$_{-01}$	4,569$_{+00}$
1,5$_{-03}$	8,266$_{+02}$	7,645$_{-02}$	1,003$_{+00}$	1,307$_{-01}$	5,596$_{+00}$
2,0$_{-03}$	6,199$_{+02}$	8,822$_{-02}$	1,004$_{+00}$	1,510$_{-01}$	6,462$_{+00}$
3,0$_{-03}$	4,133$_{+02}$	1,079$_{-01}$	1,006$_{+00}$	1,850$_{-01}$	7,914$_{+00}$
4,0$_{-03}$	3,100$_{+02}$	1,244$_{-01}$	1,008$_{+00}$	2,137$_{-01}$	9,139$_{+00}$
5,0$_{-03}$	2,480$_{+02}$	1,389$_{-01}$	1,010$_{+00}$	2,390$_{-01}$	1,022$_{+01}$
6,0$_{-03}$	2,066$_{+02}$	1,519$_{-01}$	1,012$_{+00}$	2,620$_{-01}$	1,119$_{+01}$
8,0$_{-03}$	1,550$_{+02}$	1,749$_{-01}$	1,016$_{+00}$	3,028$_{-01}$	1,292$_{+01}$
1,0$_{-02}$	1,240$_{+02}$	1,950$_{-01}$	1,020$_{+00}$	3,389$_{-01}$	1,445$_{+01}$
1,5$_{-02}$	8,266$_{+01}$	2,371$_{-01}$	1,029$_{+00}$	4,160$_{-01}$	1,770$_{+01}$
2,0$_{-02}$	6,199$_{+01}$	2,719$_{-01}$	1,039$_{+00}$	4,815$_{-01}$	2,044$_{+01}$
3,0$_{-02}$	4,133$_{+01}$	3,284$_{-01}$	1,059$_{+00}$	5,926$_{-01}$	2,503$_{+01}$
4,0$_{-02}$	3,100$_{+01}$	3,741$_{-01}$	1,078$_{+00}$	6,875$_{-01}$	2,890$_{+01}$
5,0$_{-02}$	2,480$_{+01}$	4,127$_{-01}$	1,098$_{+00}$	7,723$_{-01}$	3,231$_{+01}$
6,0$_{-02}$	2,066$_{+01}$	4,462$_{-01}$	1,117$_{+00}$	8,499$_{-01}$	3,540$_{+01}$
8,0$_{-02}$	1,550$_{+01}$	5,024$_{-01}$	1,157$_{+00}$	9,904$_{-01}$	4,087$_{+01}$
1,0$_{-01}$	1,240$_{+01}$	5,482$_{-01}$	1,196$_{+00}$	1,117$_{+00}$	4,570$_{+01}$
1,5$_{-01}$	8,266$_{+00}$	6,343$_{-01}$	1,294$_{+00}$	1,399$_{+00}$	5,597$_{+01}$
2,0$_{-01}$	6,199$_{+00}$	6,953$_{-01}$	1,391$_{+00}$	1,649$_{+00}$	6,462$_{+01}$
3,0$_{-01}$	4,133$_{+00}$	7,765$_{-01}$	1,587$_{+00}$	2,101$_{+00}$	7,915$_{+01}$
4,0$_{-01}$	3,100$_{+00}$	8,279$_{-01}$	1,783$_{+00}$	2,516$_{+00}$	9,140$_{+01}$
5,0$_{-01}$	2,480$_{+00}$	8,629$_{-01}$	1,978$_{+00}$	2,910$_{+00}$	1,022$_{+02}$
6,0$_{-01}$	2,066$_{+00}$	8,879$_{-01}$	2,174$_{+00}$	3,291$_{+00}$	1,119$_{+02}$
8,0$_{-01}$	1,550$_{+00}$	9,209$_{-01}$	2,566$_{+00}$	4,027$_{+00}$	1,293$_{+02}$
1,0$_{+00}$	1,240$_{+00}$	9,411$_{-01}$	2,957$_{+00}$	4,743$_{+00}$	1,445$_{+02}$
1,5$_{+00}$	8,266$_{-01}$	9,672$_{-01}$	3,935$_{+00}$	6,488$_{+00}$	1,770$_{+02}$
2,0$_{+00}$	6,199$_{-01}$	9,791$_{-01}$	4,914$_{+00}$	8,201$_{+00}$	2,045$_{+02}$
3,0$_{+00}$	4,133$_{-01}$	9,894$_{-01}$	6,871$_{+00}$	1,159$_{+01}$	2,505$_{+02}$
4,0$_{+00}$	3,100$_{-01}$	1 − (6,44$_{-03}$)	8,828$_{+00}$	1,495$_{+01}$	2,893$_{+02}$
5,0$_{+00}$	2,480$_{-01}$	1 − (4,31$_{-03}$)	1,078$_{+01}$	1,830$_{+01}$	3,235$_{+02}$
6,0$_{+00}$	2,066$_{-01}$	1 − (3,08$_{-03}$)	1,274$_{+01}$	2,165$_{+01}$	3,545$_{+02}$
8,0$_{+00}$	1,550$_{-01}$	1 − (1,80$_{-03}$)	1,666$_{+01}$	2,834$_{+01}$	4,096$_{+02}$
1,0$_{+01}$	1,240$_{-01}$	1 − (1,18$_{-03}$)	2,057$_{+01}$	3,502$_{+01}$	4,582$_{+02}$
1,5$_{+01}$	8,266$_{-02}$	1 − (5,43$_{-04}$)	3,035$_{+01}$	5,171$_{+01}$	5,619$_{+02}$
2,0$_{+01}$	6,199$_{-02}$	1 − (3,10$_{-04}$)	4,014$_{+01}$	6,840$_{+01}$	6,496$_{+02}$
3,0$_{+01}$	4,133$_{-02}$	1 − (1,40$_{-04}$)	5,971$_{+01}$	1,018$_{+02}$	7,977$_{+02}$
4,0$_{+01}$	3,100$_{-02}$	1 − (7,96$_{-05}$)	7,928$_{+01}$	1,351$_{+02}$	9,236$_{+02}$
5,0$_{+01}$	2,480$_{-02}$	1 − (5,12$_{-05}$)	9,885$_{+01}$	1,685$_{+02}$	1,035$_{+03}$
6,0$_{+01}$	2,066$_{-02}$	1 − (3,57$_{-05}$)	1,184$_{+02}$	2,018$_{+02}$	1,137$_{+03}$
8,0$_{+01}$	1,550$_{-02}$	1 − (2,01$_{-05}$)	1,576$_{+02}$	2,686$_{+02}$	1,320$_{+03}$
1,0$_{+02}$	1,240$_{-02}$	1 − (1,29$_{-05}$)	1,967$_{+02}$	3,353$_{+02}$	1,483$_{+03}$
1,5$_{+02}$	8,266$_{-03}$	1 − (5,76$_{-06}$)	2,945$_{+02}$	5,020$_{+02}$	1,839$_{+03}$

7.16 Diagramme des Massen-Bremsvermögens für Elektronen, Protonen und α-Teilchen in einigen Stoffen – *Diagrams of the mass stopping power for electrons, protons and α-particles* (B. Großwendt)

Literatur zu Tab. T 7.16 bis T 7.20: ICRU 37 (1984): Stopping Powers and Ranges for Electrons and Positrons. ICRU Report 37. Bethesda, MA.: ICRU Publications; ICRU 49 (1993): Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles. ICRU Report 49. Bethesda, MA.: ICRU Publications

S/ϱ Massen-Bremsvermögen für Elektronen (e^-), Protonen (p) und α-Teilchen (α); E kinetische Teilchenenergie; das Massen-Stoßbremsvermögen für Elektronen ist gestrichelt gezeichnet.



7.17 Massen-Stoßbremsvermögen und gesamtes Massen-Bremsvermögen für Elektronen – *Mass collision stopping power and total mass stopping power for electrons* (H. Reich)

Massen-Stoßbremsvermögen und gesamtes Massen-Bremsvermögen (einschließlich Massen-Strahlungsbremsvermögen) in MeV cm²/g, *E* kinetische Energie der Elektronen

E	C		Al		Si		Ge		Pb	
MeV	Stoß	ges.	Stoß	ges.	Stoß	ges.	Stoß	ges.	Stoß	ges.
0, 01	20, 14	20, 14	16, 49	16, 50	16, 89	16, 90	12, 43	12, 44	8, 428	8, 448
0, 02	11, 77	11, 77	9, 845	9, 851	10, 10	10, 11	7, 641	7, 655	5, 453	5, 480
0, 04	6, 950	6, 953	5, 909	5, 916	6, 067	6, 075	4, 685	4, 701	3, 463	3, 497
0, 07	4, 652	4, 655	3, 999	4, 006	4, 107	4, 116	3, 213	3, 213	2, 426	2, 466
0, 1	3, 674	3, 677	3, 178	3, 186	3, 265	3, 274	2, 572	2, 591	1, 964	2, 008
0, 2	2, 485	2, 489	2, 175	2, 184	2, 236	2, 245	1, 783	1, 918	1, 387	1, 442
0, 4	1, 896	1, 901	1, 681	1, 692	1, 729	1, 741	1, 395	1, 422	1, 102	1, 175
0, 7	1, 679	1, 687	1, 508	1, 524	1, 551	1, 568	1, 263	1, 300	1, 009	1, 110
1	1, 617	1, 627	1, 466	1, 487	1, 507	1, 531	1, 234	1, 283	0, 994	1, 123
2	1, 597	1, 619	1, 475	1, 518	1, 518	1, 567	1, 250	1, 347	1, 024	1, 256
4	1, 647	1, 697	1, 539	1, 636	1, 591	1, 699	1, 314	1, 523	1, 095	1, 553
7	1, 706	1, 804	1, 600	1, 788	1, 657	1, 865	1, 376	1, 771	1, 160	1, 983
10	1, 745	1, 896	1, 638	1, 924	1, 697	2, 013	1, 416	2, 009	1, 201	2, 407
20	1, 816	2, 157	1, 707	2, 343	1, 769	2, 472	1, 492	2, 786	1, 277	3, 830
40	1, 877	2, 627	1, 770	3, 149	1, 837	3, 360	1, 561	4, 342	1, 345	6, 747
70	1, 922	3, 313	1, 816	4, 352	1, 888	4, 686	1, 611	6, 704	1, 395	11, 23
100	1, 950	3, 996	1, 845	5, 559	1, 918	6, 017	1, 640	9, 085	1, 423	15, 78

E	Luft (trocken)		Wasser (flüssig)		Polymethylmethacrylat[1])		Muskelgewebe[2])	
MeV	Stoß	ges.	Stoß	ges.	Stoß	ges.	Stoß	ges.
0, 01	19, 75	19, 76	22, 56	22, 57	21, 98	21, 98	22, 37	22, 38
0, 02	11, 57	11, 58	13, 17	13, 18	12, 83	12, 84	13, 06	13, 07
0, 04	6, 848	6, 852	7, 777	7, 781	7, 573	7, 576	7, 711	7, 715
0, 07	4, 593	4, 597	5, 207	5, 211	5, 070	5, 073	5, 163	5, 167
0, 1	3, 633	3, 637	4, 115	4, 120	4, 006	4, 010	4, 080	4, 084
0, 2	2, 470	2, 242	2, 793	2, 798	2, 719	2, 723	2, 769	2, 774
0, 4	1, 902	1, 908	2, 145	2, 152	2, 090	2, 096	2, 129	2, 136
0, 7	1, 706	1, 715	1, 910	1, 919	1, 856	1, 864	1, 898	1, 907
1	1, 661	1, 674	1, 844	1, 857	1, 788	1, 799	1, 830	1, 842
2	1, 684	1, 711	1, 825	1, 851	1, 762	1, 785	1, 804	1, 830
4	1, 790	1, 850	1, 877	1, 937	1, 809	1, 862	1, 851	1, 910
7	1, 902	2, 020	1, 936	2, 055	1, 868	1, 972	1, 909	2, 026
10	1, 979	2, 159	1, 976	2, 157	1, 908	2, 067	1, 949	2, 127
20	2, 134	2, 539	2, 051	2, 459	1, 982	2, 342	2, 026	2, 428
40	2, 282	3, 167	2, 120	3, 015	2, 049	2, 840	2, 097	2, 977
70	2, 369	4, 006	2, 171	3, 828	2, 098	3, 563	2, 148	3, 777
100	2, 417	4, 822	2, 203	4, 637	2, 128	4, 284	2, 180	4, 574

[1]) Handelsname: Plexiglas; $(C_5H_8O_2)_n$, Dichte ϱ=1,19 g/cm³

[2]) Massenanteile in %: H 10,2, C 12,3, N 3,5, O 72,9, Na 0,08, Mg 0,02, P 0,2, S 0,5, K 0,3

Literatur: ICRU 37 (1984), s. bei Tab. T 7.16.

7.18 Massen-Reichweiten und Bremsstrahlungsausbeuten bei vollständiger Abbremsung von Elektronen – *Mass ranges and bremsstrahlung efficiencies for the total slowing down of electrons* (H. Reich)

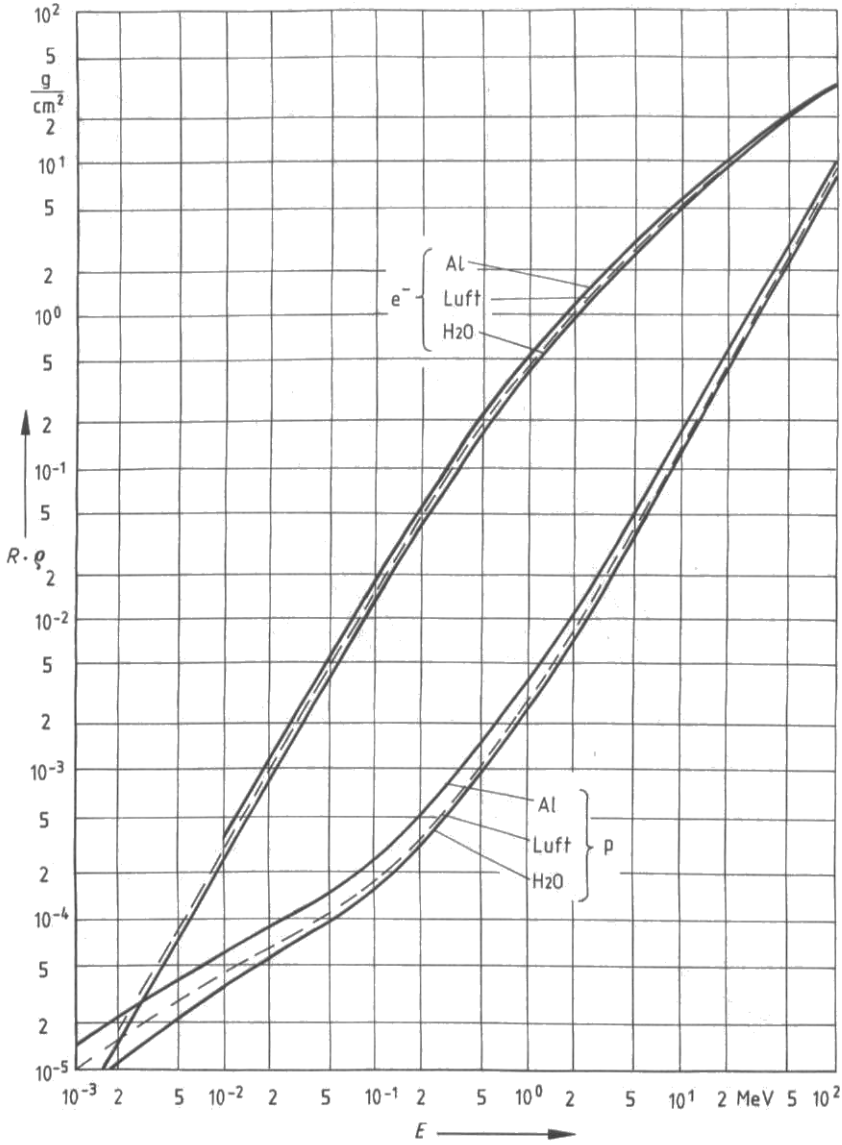
Massen-Reichweite ϱR in der Näherung für kontinuierliche Abbremsung und Bremsstrahlungsausbeuten B bei vollständiger Abbremsung der Elektronen in Abhängigkeit von der Anfangsenergie E_0 (nach ICRU 37 (1984)). Den Zahlen, die mit einem Komma beginnen, ist eine Null voranzustellen.

E_0	Luft		Wasser		Knochen		Graphit		Aluminium	
MeV	ϱR g/cm²	B	ϱR g/cm²	B	ϱR g/cm²	B	ϱR g/cm²	B	ϱR g/cm²	B
,01	,0003		,0003		,0003		,0003		,0004	
,015	,0006	,0002	,0005	,0001	,0006	,0002	,0006	,0001	,0007	,0003
,02	,0010	,0002	,0009	,0002	,0010	,0003	,0010	,0002	,0012	,0004
,03	,0020	,0003	,0018	,0002	,0020	,0004	,0020	,0002	,0024	,0005
,04	,0033	,0003	,0029	,0003	,0033	,0005	,0033	,0003	,0039	,0007
,05	,0049	,0004	,0043	,0003	,0049	,0006	,0048	,0003	,0057	,0008
,06	,0067	,0004	,0059	,0004	,0067	,0007	,0066	,0004	,0079	,0009
,07	,0088	,0005	,0078	,0004	,0087	,0007	,0087	,0004	,0102	,0010
,08	,0111	,0006	,0098	,0005	,0110	,0008	,0109	,0004	,0128	,0011
,09	,0136	,0006	,0119	,0005	,0135	,0009	,0134	,0005	,0157	,0013
,1	,0162	,0007	,0143	,0006	,0161	,0010	,0160	,0005	,0187	,0014
,15	,0319	,0009	,0282	,0008	,0316	,0013	,0316	,0007	,0366	,0018
,2	,0508	,0011	,0449	,0010	,0502	,0016	,0503	,0009	,0580	,0022
,3	,0953	,0015	,0842	,0013	,0939	,0022	,0946	,0012	,1083	,0030
,4	,1456	,0019	,1288	,0017	,1433	,0027	,1450	,0015	,1651	,0037
,5	,1995	,0022	,1767	,0020	,1964	,0032	,1993	,0018	,2259	,0043
,6	,2558	,0026	,2268	,0023	,2519	,0037	,2561	,0021	,2893	,0050
,7	,3135	,0029	,2783	,0026	,3090	,0042	,3147	,0024	,3543	,0057
,8	,3722	,0033	,3308	,0029	,3673	,0047	,3745	,0027	,4203	,0063
,9	,4315	,0036	,3841	,0033	,4262	,0052	,4352	,0030	,4871	,0070
1	,4912	,0040	,4378	,0036	,4857	,0058	,4964	,0033	,5542	,0076
2	1,085	,0077	,9801	,0071	1,085	,0111	1,116	,0067	1,223	,0145
3	1,658	,0117	1,514	,0109	1,671	,0169	1,727	,0103	1,869	,0217
4	2,208	,0158	2,037	,0149	2,241	,0229	2,323	,0141	2,491	,0292
5	2,740	,0200	2,547	,0191	2,795	,0290	2,906	,0180	3,029	,0368
6	3,255	,0242	3,048	,0233	3,335	,0351	3,476	,0220	3,675	,0444
7	3,757	,0285	3,539	,0276	3,862	,0413	4,036	,0261	4,242	,0520
8	4,246	,0327	4,021	,0319	4,377	,0475	4,585	,0302	4,794	,0595
9	4,724	,0369	4,496	,0362	4,880	,0537	5,125	,0343	5,333	,0671
10	5,192	,0411	4,963	,0406	5,375	,0598	5,657	,0385	5,859	,0745
20	9,446	,0817	9,295	,0833	9,850	,1180	10,59	,0792	10,56	,1436
30	13,15	,1186	13,14	,1230	13,69	,1694	14,98	,1173	14,49	,2025
40	16,46	,1520	16,62	,1592	17,07	,2143	18,97	,1522	17,89	,2526
50	19,48	,1825	19,80	,1920	20,08	,2538	22,62	,1841	20,88	,2957
60	22,27	,2104	22,72	,2220	22,80	,2888	25,98	,2133	23,55	,3332
70	24,86	,2361	25,43	,2494	25,29	,3199	29,11	,2401	25,96	,3661
80	27,27	,2598	27,95	,2745	27,57	,3480	32,03	,2648	28,16	,3953
90	29,54	,2818	30,32	,2976	29,68	,3733	34,77	,2875	30,18	,4214
100	31,67	,3022	32,54	,3190	31,64	,3964	37,35	,3087	32,04	,4449

7.19 Massen-Reichweiten von Elektronen und Protonen in Luft, Wasser und Aluminium – *Mass ranges of electrons and protons in air, water and aluminium* (B. Großwendt)

Literatur (ausführl. Zitate s. Tab. T 7.16): Elektronen nach ICRU 37 (1984); Protonen nach ICRU 49 (1993).

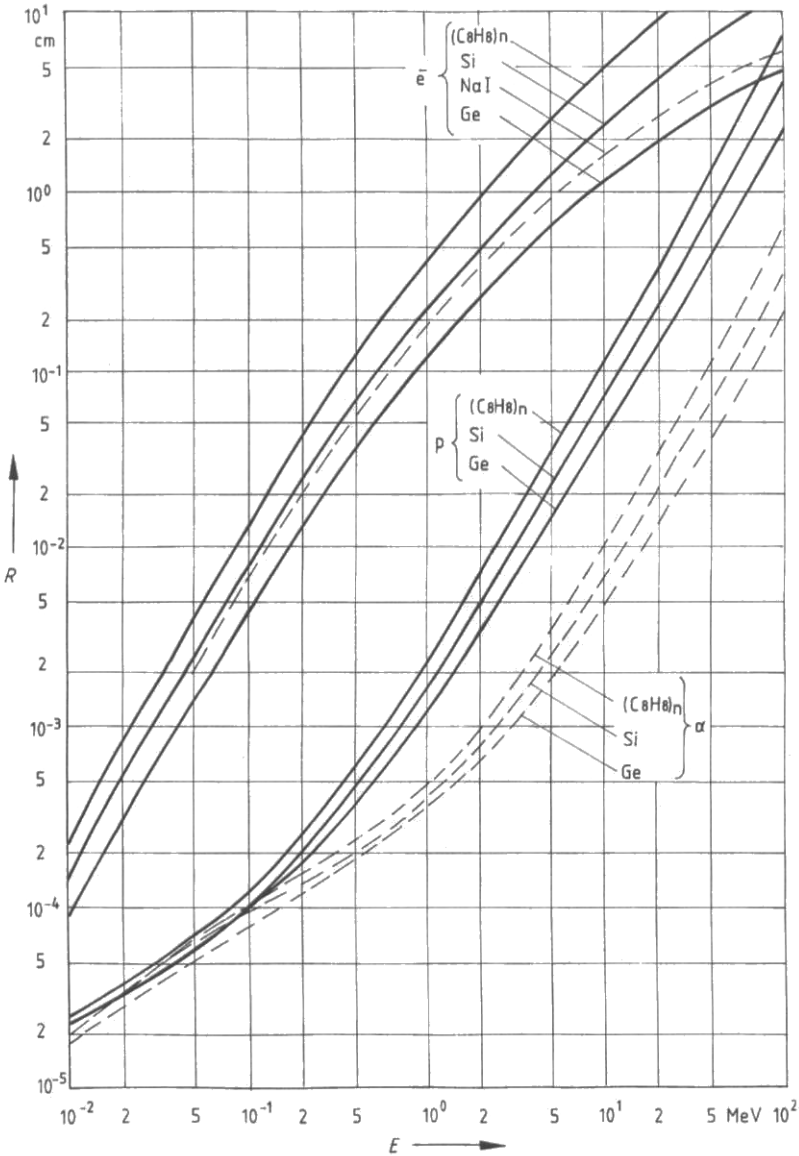
$R \cdot \rho$ Massenreichweite für Elektronen (e^-) und Protonen (p) bei kontinuierlicher Abbremsung; E kinetische Teilchenenergie



7.20 Reichweiten von Elektronen, Protonen und α-Teilchen in Detektormaterialien – *Ranges of electrons, protons and α-particles in detector materials* (B. Großwendt)

Literatur (ausführl. Zitate s. Tab. T 7.16): Elektronen nach ICRU 37 (1984); Protonen und α-Teilchen nach ICRU 49 (1993).

R Reichweite für Elektronen (e^-), Protonen (p) und α-Teilchen (α) bei kontinuierlicher Abbremsung; *E* kinetische Teilchenenergie; $(C_8H_8)_n$, Polystyrol, gilt näherungsweise für Plastikszintillatoren



7.21 Erzeugung von Neutronen mit Radionuklidquellen – *Production of neutrons by radionuclide sources* (H. Kluge)

$T_{1/2}$ Halbwertszeit des Radionuklids. Die mittlere Energie $\bar{E}$ der emittierten Neutronen wurde aus der Beziehung

$$\bar{E} = 1/B \int_0^\infty E B_E \mathrm{d}E \quad \text{mit} \quad B = \int_0^\infty B_E \mathrm{d}E$$

(B_E spektrale Neutronenquellstärke, B Neutronenquellstärke) berechnet.

$B_m = B/m$ bzw. $B_A = B/A$ ist die auf die Masse m bzw. die Aktivität A bezogene Neutronenquellstärke. $\dot{H}_{m,1} = \dot{H}(1\ \mathrm{m})/m$ bzw. $\dot{H}_{A,1} = \dot{H}(1\ \mathrm{m})/A$ ist die auf die Masse bzw. die Aktivität bezogene Äquivalentdosisleistung in 1 m Entfernung von der Quelle. Die Zahlenwerte für $T_{1/2}$, B_m, B_A, $\dot{H}_{m,1}$ und wurden ISO (1989) entnommen. Die Werte für $\bar{E}$ wurden aus den für die jeweilige Quelle in ISO (1989) angegebenen Werten des Spektrums berechnet.

Literatur: ICRP Pub. 15 & 21 (1976): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Protection against Ionizing Radiation from External Sources (ICRP Pub. 15) and Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources (ICRP Pub. 21) Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt: Pergamon Press. ISO (1989): International Organization for Standardization: Neutron reference radiations for calibrating neutron-measuring devices used for radiation protection purposes and for determining their response as a function of neutron energy. International Standard ISO 8529, First edition 1989-10-01.

Quelle	$T_{1/2}$ a	$\bar{E}$ MeV	B_m $s^{-1}\ kg^{-1}$	$\dot{H}_{m,1}$ $Sv\ s^{-1}\ kg^{-1}$	
				Neutronen[1])	Photonen[2])
$^{252}Cf + D_2O$[3])	2,65	0,5[4])	$2{,}1 \cdot 10^{15}$[4])	1,5[4])	0,25
^{252}Cf	2,65	2,1	$2{,}4 \cdot 10^{15}$	6,5	0,31[5])
			B_A $s^{-1}\ Bq^{-1}$	$\dot{H}_{A,1}$ $Svs^{-1}\ Bq^{-1}$	
^{241}Am-B (α,n)	432	2,7	$1{,}6 \cdot 10^{-5}$	$5{,}0 \cdot 10^{-20}$	$1{,}9 \cdot 10^{-19}$
^{241}Am-Be (α,n)	432	4,2	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-19}$	$1{,}9 \cdot 10^{-19}$

[1]) Die Werte gelten für den einseitigen Einfall eines breiten, parallelen Neutronenbündels in Weichteilgewebe (nach ICRP 15 & 21 (1976); ISO (1989)).
[2]) Angegeben ist die auf die Masse bzw. Aktivität des Radionuklids bezogene Photonen-Äquivalentdosisleistung frei in Luft. Die Exposure wurde mit Hilfe des Faktors 0,01 Sv/R in die Photonen-Äquivalentdosis umgerechnet (ISO (1989)).
[3]) Quelle im Zentrum einer mit schwerem Wasser (D_2O) gefüllten und mit Cadmium von etwa 1 mm Dicke umhüllten Kugel von 30 cm Durchmesser (ISO (1989)).
[4]) Gültig im Grenzfall großen Abstandes.
[5]) Gültig für eine Kapsel mit einer Wandstärke von etwa 2,5 mm (ISO (1989)).

7.22 Erzeugung von gefilterten Reaktorneutronen – *Production of filtered reactor neutrons* (W.G. Alberts)

S. auch 7.2.5.3 in Bd. 2

Energie		Filtermaterial	Zusatzmaterial[1])	Differenzfilter[2])
186	eV	Uran	Mangan, Germanium	Wolfram
2	keV	Scandium	Titan	Mangan
25	keV	Eisen/Aluminium	Schwefel	Titan
55	keV	Silizium	Schwefel	Titan
144	keV	Silizium	Titan	Schwefel
2,35	MeV	Sauerstoff	Uran, Wismut	

Fortsetzung T 7.22

[1]) Mit den Zusatzmaterialien werden die Flußdichten der Photonen oder der Neutronen mit anderer als der angegebenen Energie herabgesetzt.
[2]) Die Differenzfilter absorbieren Neutronen der genannten Energien stärker als die anderer Energien. Die im Strahl gemessene Differenz aus zwei Detektoranzeigen ohne und mit Differenzfilter entspricht dann einer Messung in einem Strahl mit reduziertem Untergrund.

7.23 Energie und Ausbeute von Neutronen aus Kernreaktionen – *Neutron energy and yield of some nuclear reactions* (M. Cosack)

E_n ist die Neutronenenergie, E_g die Energie der Geschoßteilchen, die erforderlich ist, damit die in Vorwärtsrichtung emittierten Neutronen die kinetische Energie E_n erreichen. S ist der Differentialquotient der Anzahl der emittierten Neutronen nach dem Raumwinkel, geteilt durch die Ladung der Geschoßteilchen und die flächenbezogene Masse des Targets.

Reaktion	E_n keV	E_g keV	S $(\mathrm{sr\,C\,\mu g})^{-1}\,\mathrm{cm}^{2*})$	Reaktion	E_n keV	E_g keV	S $(\mathrm{sr\,C\,\mu g})^{-1}\,\mathrm{cm}^{2*})$
^{45}Sc(p, n) ^{45}Ti	25	2924	1 (+08)	D(d, n) ^{3}He	2800	80	2 (+08)
^{7}Li(p, n) ^{3}Be	144	1935	3 (+10)		5000	1774	4 (+09)
	250	2015	1 (+10)	T(d, n) ^{4}He	14800	110	4 (+10)
	570	2297	6 (+10)				
T(p, n) ^{3}He	1200	1997	7 (+09)				
	2500	3282	1 (+10)				

*) In Klammern: Exponent zur Basis 10

Literatur: Chartier, J. J., u. a. (1981): In: Fourth Symp. on Neutron Dosimetry, Neuherberg, Hrsg. CEC, EUR 7448 EN, S. 387–394. Brüssel: Europäische Gemeinschaft. Huynh, V. D. (1980): Metrologia **16**, 31–49

7.24 Aktivierungsquerschnitte für thermische Neutronen – *Activation cross sections for thermal neutrons* (M. Matzke)

σ_a Aktivierungsquerschnitt eines Nuklids für thermische Neutronen bei einer Energie von 0,0253 eV. Im Falle einer zusätzlichen Anregung von isomeren Zuständen sind kumulative Wirkungsquerschnitte angegeben (Index ^{c}); I_R Resonanzintegral (vgl. Tab. T 7.25); $T_{1/2}$ Halbwertszeit des gebildeten Nuklids. Bei mehreren Zerfallskanälen ist meist die größere Halbwertszeit angegeben (vgl. Tab. T 7.29); $\dot{n}_R$ spezifische Reaktionsrate (Sättigungsaktivität) des Nuklids für eine thermische Flußdichte von $10^{13}\ \mathrm{s}^{-1}\ \mathrm{cm}^{-2}$; H relative Isotopenhäufigkeit in % (vgl. Tab. T 7.28).

Angegeben ist eine Auswahl der in der Praxis für die Neutronenaktivierung benutzten Isotope. Daten über γ-Strahlen-Energien und -Emissionswahrscheinlichkeiten sind für die meisten der hier aufgeführten Reaktionen in Tab. T 7.30 zu finden.

Literatur: Mughabghab, S.F.; Divadeenam, M.; Holden, N.E.: Neutron Cross Sections, Vol. I, Part A (1981), Part B (1984), New York, London usw.: Academic Press.

Erdtmann, G. (1976): Neutron Activation Tables, Weinheim, New York: Verlag Chemie

Baard, J.H.; Zijp, W.L.; Nolthenius, H.J. (1989): Nuclear Data Guide for Neutron Metrology, Dordrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers

Handbook on Nuclear Activation Data (1987): Techn. Rep. Ser. No. 273. Wien: International Atomic Energy

Fortsetzung T 7.24

Bestrahltes Nuclid mit Häufigkeit H	σ_a $10^{-24}cm^2$	I_R $10^{-24}cm^2$	Erzeugtes Nuclid	$T_{1/2}$	$\dot{n}_R$ $(\mu g)^{-1}s^{-1}$
^{23}Na (100)	0,530[c]	0,320	$^{24}Na^c$	14,96 h	$1,4 \cdot 10^5$
^{26}Mg (11,01)	0,0382	0,027	^{27}Mg	9,45 min	$1,0 \cdot 10^3$
^{27}Al (100)	0,232	0,175	^{28}Al	2,246 min	$5,1 \cdot 10^4$
^{37}Cl (24,23)	0,433[c]	0,30	$^{38}Cl^c$	37,21 min	$1,8 \cdot 10^4$
^{40}Ar (99,60)	0,660	0,42	^{41}Ar	1,822 h	$9,9 \cdot 10^4$
^{41}K (6,730)	1,46	1,40	^{42}K	12,36 h	$1,5 \cdot 10^4$
^{48}Ca (0,187)	1,09	0,89	^{49}Ca	8,72 min	$3,1 \cdot 10^3$
^{45}Sc (100)	27,2[c]	11,5	^{46}Sc	83,80 d	$3,6 \cdot 10^6$
^{50}Ti (5,4)	0,179	0,118	^{51}Ti	5,76 min	$1,2 \cdot 10^3$
^{51}V (99,75)	4,93	2,6	^{52}V	3,755 min	$5,8 \cdot 10^5$
^{50}Cr (4,35)	15,9	8,1	^{51}Cr	27,705 d	$8,0 \cdot 10^4$
^{55}Mn (100)	13,3	14,0	^{56}Mn	2,578 h	$1,5 \cdot 10^6$
^{58}Fe (0,28)	1,28	1,7	^{59}Fe	44,53 d	$3,9 \cdot 10^2$
^{59}Co (100)	37,18[c]	74	$^{60}Co^c$	5,272 a	$3,8 \cdot 10^6$
^{64}Ni (0,91)	1,58	1,19	^{65}Ni	2,520 h	$1,4 \cdot 10^3$
^{63}Cu (69,17)	4,50	4,97	^{64}Cu	12,70 h	$3,0 \cdot 10^5$
^{68}Zn (18,8)	1,072[c]	3,6	$^{69}Zn^c$	13,9 h	$1,9 \cdot 10^4$
^{71}Ga (39,9)	4,71[c]	31,1	$^{72}Ga^c$	14,1 h	$1,6 \cdot 10^5$
^{74}Ge (36,5)	0,51[c]	1,0	$^{75}Ge^c$	82,8 min	$1,5 \cdot 10^4$
^{75}As (100)	4,48	61	^{76}As	26,32 h	$3,6 \cdot 10^5$
^{80}Se (49,8)	0,61[c]	1,7	$^{81}Se^c$	57,3 min	$2,3 \cdot 10^4$
^{79}Br (50,69)	11,0[c]	131	$^{80}Br^c$	17,4 min	$4,2 \cdot 10^5$
^{87}Rb (27,83)	0,120	2,2	^{88}Rb	17,8 min	$2,3 \cdot 10^3$
^{86}Sr (9,86)	0,84	4,79	$^{87}Sr^m$	2,81 h	$5,7 \cdot 10^3$
^{96}Zr (2,80)	0,0229	5,6	^{97}Zr	16,90 h	$4,2 \cdot 10^1$
^{93}Nb (100)	1,15[c]	8,5	$^{94}Nb^c$	6,26 min	$7,4 \cdot 10^4$
^{100}Mo (9,63)	0,199	4,2	^{101}Mo	14,6 min	$1,2 \cdot 10^3$
^{103}Rh (100)	145,0[c]	1100	$^{104}Rh^c$	4,35 min	$8,4 \cdot 10^6$
^{108}Pd (26,46)	8,48[c]	227	$^{109}Pd^c$	13,453 h	$1,3 \cdot 10^5$
^{107}Ag (51,84)	37,6[c]	100	$^{108}Ag^c$	2,37 min	$1,1 \cdot 10^6$
^{114}Cd (28,73)	0,336[c]	23	$^{115}Cd^c$	53,5 h	$5,2 \cdot 10^3$
^{115}In (95,7)	162,3[m]	2650	$^{116}In^m$	54,15 min	$8,6 \cdot 10^6$
^{121}Sb (57,3)	5,9[c]	202	$^{122}Sb^c$	2,70 d	$1,7 \cdot 10^5$
^{130}Te (33,80)	0,27[c]	0,446	$^{131}Te^c$	25,0 min	$4,6 \cdot 10^3$
^{127}J (100)	6,2	148	^{128}J	25,0 min	$2,9 \cdot 10^5$
^{133}Cs (100)	29[c]	437	^{134}Cs	2,9 h	$1,3 \cdot 10^6$
^{138}Ba (71,70)	0,360	0,32	^{139}Ba	83,3 min	$1,1 \cdot 10^4$
^{139}La (99,91)	8,93	11,8	^{140}La	40,27 h	$3,9 \cdot 10^5$
^{141}Pr (100)	11,5[c]	17,4	$^{142}Pr^c$	19,13 h	$4,9 \cdot 10^5$
^{152}Sm (26,7)	206	2960	^{153}Sm	46,7 h	$2,2 \cdot 10^6$

Fortsetzung T 7.24

Bestrahltes Nuklid mit Häufigkeit H	σ_a $10^{-24}cm^2$	I_R $10^{-24}cm^2$	Erzeugtes Nuklid	$T_{1/2}$	$\dot{n}_R$ $(\mu g)^{-1}s^{-1}$
^{154}Sm (22,7)	5,5	29	^{155}Sm	22,2 min	$5{,}0 \cdot 10^4$
^{151}Eu (47,8)	3211^m	1823	$^{152}Eu^m$	9,3 h	$6{,}3 \cdot 10^7$
^{151}Eu (47,8)	5935^g	3552	$^{152}Eu^g$	12,7 a	$1{,}1 \cdot 10^8$
^{158}Gd (24,84)	2,5	80	^{159}Gd	18,6 h	$2{,}4 \cdot 10^4$
^{164}Dy (28,2)	2700^c	650	$^{165}Dy^c$	2,35 h	$2{,}8 \cdot 10^7$
^{165}Ho (100)	$66{,}5^c$	700	$^{166}Ho^c$	26,8 h	$2{,}4 \cdot 10^6$
^{170}Er (14,9)	5,7	24	^{171}Er	7,52 h	$3{,}0 \cdot 10^4$
^{169}Tm (100)	103	1720	^{170}Tm	128,6 d	$3{,}7 \cdot 10^6$
^{174}Yb (31,8)	65^c	33	$^{175}Yb^c$	4,19 d	$7{,}2 \cdot 10^5$
^{175}Lu (97,40)	$22{,}1^c$	725	$^{176}Lu^c$	3,69 h	$7{,}8 \cdot 10^5$
^{176}Lu (2,60)	2100^c	1017	$^{177}Lu^c$	6,71 d	$1{,}9 \cdot 10^6$
^{181}Ta (99,99)	$21{,}0^c$	710	$^{182}Ta^c$	114,43 d	$7{,}0 \cdot 10^5$
^{186}W (28,6)	37,9	485	^{187}W	23,83 h	$3{,}5 \cdot 10^5$
^{187}Re (62,60)	74^c	305	$^{188}Re^c$	16,7 h	$1{,}5 \cdot 10^6$
^{193}lr (62,7)	$112{,}5^c$	1362	$^{194}Ir^c$	19,38 h	$2{,}2 \cdot 10^6$
^{198}Pt (7,2)	3,7	56	^{199}Au	3,139 d	$8{,}2 \cdot 10^3$
^{197}Au (100)	98,65	1550	^{198}Au	2,695 d	$3{,}0 \cdot 10^6$
^{196}Hg (0,15)	3080	413	^{197}Hg	64,1 d	$1{,}4 \cdot 10^5$
^{196}Hg (0,15)	120^m	58,9	$^{197}Hg^m$	23,8 h	$5{,}4 \cdot 10^3$
^{232}Th (100)	7,40	82,4	^{233}Pa	27,0 d	$1{,}9 \cdot 10^5$
^{238}U (99,275)	2,70	275	^{239}U	23,5 min	$6{,}8 \cdot 10^4$

7.25 Neutronenindikatoren und Neutronenwirkungsquerschnitte – *Neutron indicators and neutron cross sections* (M. Matzke)

σ_0 Einfangquerschnitt für die Neutronenenergie $E_0 = 0{,}0253$ eV; g Korrektionsfaktor für Abweichung vom $1/v$ proportionalen Verlauf des Wirkungsquerschnitts (v Neutronengeschwindigkeit); $g\sigma_0$ über ein thermisches Maxwellspektrum gemittelter Wirkungsquerschnitt; $T_{1/2}$ Halbwertszeit des gebildeten Nuklids; ↓ innerer Übergang; E_R Energie der tiefsten Resonanz; $I_R = \int_{0.5\,eV}^{\infty} \sigma(E) \cdot E^{-1} dE$ Resonanzintegral; E_S Schwellenenergie, oberhalb der in einem ^{235}U-Spaltneutronenspektrum 95 % der Reaktionen stattfinden (Werte für Spaltreaktionen sind eingeklammert, da diese Reaktionen keine echten Schwellwertreaktionen sind); $< \sigma >$ spektrumsgemittelter Wirkungsquerschnitt für ^{235}U-Spaltneutronen.

Literatur: Wirkungsquerschnitte s. Baard, J.H.; Zijp, W.L.; Nolthenius, H.J. (1989): Nuclear Data Guide for Neutron Metrology, Dordrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers

Handbook on Nuclear Activation Data (1987): Techn. Rep. Ser. No. 273. Wien: International Atomic Energy Agency

Mughabghab, S.F.; Divadeenam, M.; Holden, N.E. (1981): Neutron Cross Sections, Vol. I. Part A (1981), Part B (1984) New York, London usw.: Academic Press

Fortsetzung T 7.25

Ausgangsnuklid	Einfang thermischer Neutronen			Resonanzeinfang		Schwellwertindikatoren			
	σ_0 $10^{-24}cm^2$	g	$T_{1/2}$	E_R eV	I_R $10^{-24}cm^2$	Reaktion	$T_{1/2}$	E_S MeV	$\langle\sigma\rangle$ $10^{-27}cm^2$
^{23}Na	0,530	1	15,0 h	2850	0,311				
^{24}Mg	0,51		stabil			(n,p)	15,0 h	6,5	1,50
^{27}Al	0,231	1	2,24 min		0,17	(n,α)	15,0 h	6,4	0,720
						(n,p)	9,46 min	3,4	3,95
^{31}P	0,172	1	14,3 d	27000	0,085	(n,p)	157 min	2,1	33,5
^{32}S	0,53		stabil		0,08	(n,p)	14,3 d	2,2	64,6
^{46}Ti	0,59		stabil		0,3	(n,p)	83,8 d	3,8	11,8
^{47}Ti	1,7		stabil		1,5	(n,p)	3,35 d	1,8	18,0
^{48}Ti	7,84		stabil		3,9	(n,p)	43,7 h	5,9	0,307
^{55}Mn	13,3	1	2,58 h	337	14,0	(n,2n)	312 d	11	0,258
^{54}Fe	2,25		2,7 a		1,2	(n,p)	312 d	2,3	81,7
^{56}Fe	2,59		stabil		1,4	(n,p)	2,58 h	5,4	1,09
^{58}Fe	1,28	1	44,5 d	230	1,7				
^{59}Co	37,18	1	5,27 a	132	74	(n,α)	2,58 h	5,9	0,161
^{58}Ni	4,6		$7{,}5 \cdot 10^4$ a		2,2	(n,p)	70,82 d	2,1	111
						(n,2n)	35,9 h	13	0,0042
^{63}Cu	4,5	1	12,7 h	577	4,97	(n,α)	5,27 a	4,7	0,60
						(n,2n)	9,74 min	12	0,122
^{93}Nb	1,15		6,3 min	36	8,5	(n,n′)	16,1 a	1,0	146
^{103}Rh	10	1,02	4,4 min	1,26		(n,n′)	56,1 min	0,72	724
	145		↓42 s		1100				
^{109}Ag	4,7	1	250 d	5,19	72,3				
			↓25 s						
^{115}In	162,3	1,03	54,1 min	1,46	2650	(n,n′)	4,49 h	1,1	190
	40		↓14,1 s						
^{139}La	8,93		40,3 h	72	11,8				
^{164}Dy	1610	0,9876	75,5 s	145	340				
	1040		↓2,33 h						
^{176}Lu	2090	1,747	6,71 d	0,14	1087				
^{186}W	37,9	1,0014	23,9 h	18,8	485				
^{197}Au	98,65	1,0051	2,696 d	4,91	1550	(n,2n)	6,18 d	8,9	3,50
^{232}Th	7,37	0,9982	22,3 min	21,8	85	(n,Sp)		1,5	82,9
^{235}U	582,6	0,9761	Sp. Prod.	0,28	275	(n,Sp)		(0,2)	1200
^{238}U	2,68	1,0009	23,5 min	6,67	277	(n,Sp)		(1,5)	312
^{237}Np	175,9	0,982	50,81 h	0,489	640	(n,Sp)		(0,7)	1359
^{239}Pu	269,3	1,137	$6{,}5 \cdot 10^3$ a		200	(n,Sp)		(0,3)	1818
	748,1	1,0553	Sp. Prod.		301				

7.26 Kermafaktoren und Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für monoenergetische Neutronen – *Kerma factors and fluence-to-dose equivalent conversion coefficients for monoenergetic neutrons* (G. Dietze)

7.26a Kermafaktoren für einige Materialien

Umfangreiche berechnete Datensätze s. Caswell u.a. (1980): Kerma factors for Neutron Energies below 30 MeV. Radiat. Res. **83**, 217–254

E Neutronenenergie, Kermafaktoren gemittelt über das Energieintervall ΔE

E	ΔE	Kermafaktor in 10^{-13} Gy cm^2				
MeV	MeV	Muskel[1])	H_2O	A-150	TE-Gas[2])	Mg
0,01	0,006	10,6	11,5	10,7	10,7	0,11
0,1	0,01	67	73	69	68	2,2
0,5	0,04	160	174	165	163	5,1
1,0	0,1	246	270	232	240	5,2
2,0	0,1	307	332	318	313	10,5
5,0	0,4	455	492	449	452	24
10,0	0,4	572	614	574	573	66
15,0	1,0	678	715	712	697	144
20,0	1,0	732	761	802	772	151

[1]) ICRU Standardmuskelgewebe, s. Tab. T 7.11

[2]) Gewebeäquivalentes Gas (Methan+CO_2+N_2; relative Massenanteile: 10,2 % H, 45,6 % C, 3,5 % N, 40,7 % O).

7.26b Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren für monoenergetische Neutronen

Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren $h_\Phi(E) = H/\Phi(E)$ werden benutzt, um die Äquivalentdosis zu ermitteln, die durch Neutronen der Fluenz Φ und der Energie E unter festgelegten Bedingungen in einem Phantom erzeugt wird.

$\hat{h}_\Phi$ ist der Umrechnungsfaktor für die maximale Äquivalentdosis, die bei Einfall eines breiten Parallelbündels von Neutronen auf ein zylindrisches Phantom (30 cm Durchmesser, 60 cm Höhe) aus Weichteilgewebe senkrecht zur Zylinderachse erzeugt wird (alte Meßgröße, s. DIN 6814 Teil 3 (1985), ICRP 21 (1976)). h^*_Φ ist der Umrechnungsfaktor für die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ (s. 7.8.1.10 in Bd. 2, DIN 6814 Teil 3 A1 (1994), Alberts u.a. (1994)). Zwischenwerte können mit Hilfe Hilfe der Lagrangeschen 4-Punkte-Interpolationsformel für beliebige Stützstellen (Jordan-Engeln u. Reutter (1981)) ermittelt werden (s. auch Fig. 7.94 in Bd. 2).

Literatur: ICRP 21 (1976): Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources. ICRP Publication 21. Oxford: Pergamon; Alberts, W.G. u.a. (1994): Neue Dosismeßgrößen im Strahlenschutz. PTB-Bericht DOS-23. Braunschweig: PTB. Jordan-Engeln, G.; Reutter, F. (1981): Formelsammlung zur Numerischen Mathematik mit Standard-FORTRAN-Programmen. Mannheim, Wien, Zürich: B. I. Hochschultaschenbücher Bd. 106

E	$\hat{h}_\Phi$[1])	h^*_Φ	E	$\hat{h}_\Phi$[1])	h^*_Φ
eV	pSv cm^2	pSv cm^2	eV	pSv cm^2	pSv cm^2
$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	10,7	10,6	$1 \cdot 10^5$	57,9	88,0
$1 \cdot 10^{-1}$	11,6	12,9	$5 \cdot 10^5$	198	322
$1 \cdot 10^0$	12,6	13,3	$1 \cdot 10^6$	327	416
$1 \cdot 10^1$	12,1	11,3	$2 \cdot 10^6$	397	420
$1 \cdot 10^2$	11,6	9,4	$5 \cdot 10^6$	409	405
$1 \cdot 10^3$	10,3	7,9	$1 \cdot 10^7$	409	440
$5 \cdot 10^3$	9,1	8,0	$2 \cdot 10^7$	427	600
$1 \cdot 10^4$	9,9	10,5	$5 \cdot 10^7$	455	400
$2 \cdot 10^4$	16,3	16,6	$1 \cdot 10^8$	496	285
$5 \cdot 10^4$	32,7	41,1			

[1]) Daten nach ICRP 21 (1976)

7.27 Mittlere Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktoren und mittlere gewichtete Energien für Neutronen aus Radionuklidquellen – *Mean fluence-to-dose equivalent conversion factors and weighted mean energies for neutrons from radioactive sources* (H. Kluge)

Der mittlere Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktor $\bar{h}_\Phi = H/\Phi$ ist das Verhältnis aus der Äquivalentdosis H, die von den Neutronen mit dem Energiespektrum $\Phi_E(E)$ (Φ_E spektrale Neutronenfluenz, E Neutronenenergie) unter festgelegten Bedingungen erzeugt wird, und der Fluenz Φ der Neutronen. $\bar{h}_\Phi$ und die über das „Äquivalentdosisspektrum" $\Phi_E h_\Phi(E)$ gemittelte Neutronenenergie $\bar{E}_H$ wurden aus den Beziehungen

$$\bar{h}_\Phi = 1/\Phi \int_0^\infty \Phi_E h_\Phi(E)\mathrm{d}E \quad \text{mit} \quad \Phi = \int_0^\infty \Phi_E \mathrm{d}E \quad \text{und}$$

$$\bar{E}_H = 1/H \int_0^\infty \Phi_E h_\Phi(E) E \mathrm{d}E \quad \text{mit} \quad H = \int_0^\infty \Phi_E h_\Phi(E)\mathrm{d}E$$

berechnet.

Für punktförmige Quellen und isotrope, im Meßzeitintervall T konstante Emission kann die im Abstand r im Vakuum erzeugte spektrale Fluenz aus der spektralen Quellstärke B_E der Neutronen nach $\Phi_E = TB_E/(4\pi r^2)$ bestimmt werden.

Literatur: ICRP Pub. 15 und 21 (1976): Protection against Ionizing Radiation from External Sources (ICRP Pub. 15). Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources (ICRP Pub. 21). Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt: Pergamon Press.
ICRP Pub. 60 (1991): 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP, **21** No. 1–3. Oxford, New York, Frankfurt, Seoul, Sydney, Tokyo: Pergamon Press.
Siebert, B.R.L.; Schumacher, H. (1995): Quality Factors, Ambient and Personal Dose Equivalent for Neutrons Based on the New ICRU Stopping Power Data for Protons and Alpha Particels. Rad. Prot. Dos. **58**, 177–183.
ICRU Rep. 49 (1993): Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles. Bethesda, MD: ICRU.

Quelle	$\bar{\hat{h}}_\Phi$ [2]) 10^{-10}	$\bar{E}_{\hat{H}}$ [2]) MeV	ICRP 21[4]) $\bar{h}^*_\Phi$ 10^{-10} Sv cm²	ICRP 21[4]) $\bar{E}_{H^*}$ MeV	ICRP 60[5]) $\bar{h}^*_\Phi$ 10^{-10} Sv cm²	ICRP 60[5]) $\bar{E}_{H^*}$ MeV
^{252}Cf+D_2O[1])	0,91[3])	2,2[3])	0,93[3])	2,2[3])	1,05[3])	2,0[3])
^{252}Cf	3,4	2,4	3,4	2,4	3,8	2,3
^{241}Am-B(α,n)	3,9	2,8	3,9	2,8	4,1	2,8
^{241}Am-Be(α,n)	3,8	4,4	3,8	4,5	3,9	4,3

[1]) Quelle im Zentrum einer mit schwerem Wasser (D_2O) gefüllten und mit Cadmium umhüllten Kugel von 30 cm Durchmesser (ISO (1989)).

[2]) Werte nach ISO (1989). $\bar{\hat{h}}_\Phi$ ist der mittlere Umrechnungsfaktor für die maximale Äquivalentdosis, die bei einseitigem Einfall eines Parallelbündels in Weichteilgewebe unter Bedingungen nach ICRP Pub. 15 und 21 (1976) erzeugt wird.

[3]) Gültig im Grenzfall großen Abstandes.

[4]) $Q(L)$-Beziehung (Q Qualitätsfaktor, L lineares Energieübertragungsvermögen L_∞ in Wasser) nach ICRP Pub. 15 und 21 (1976). $\bar{h}^*_\Phi$ bezieht sich auf die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$.

[5]) $Q(L)$-Beziehung nach ICRP Pub. 60 (1991). Für die Berechnung der $\bar{h}^*_\Phi$-Werte wurden die von Siebert u. Schuhmacher (1995) unter Berücksichtigung neuer Werte für Bremsvermögen und Reichweiten von Protonen und Alphateilchen nach ICRU Rep. 49 (1993) angegebenen h^*_Φ-Werte für monoenergetische Neutronen und die in ISO (1989) für die jeweilige Quelle angegebenen Werte des Spektrums benutzt.

7.28 Stabile Nuklide – *Stable nuclides* (K. Debertin)

Z Ordnungszahl, Protonenzahl; A Massenzahl, Nukleonenzahl; El Elementsymbol; H relative Isotopenhäufigkeit; I, P Kernspin-Quantenzahl, Parität; Δ Massenüberschuß; $\Delta = (A_r - A)m_u$; (A_r relative Atommasse; $A_r = m_a/m_u$; m_a Atommasse; m_u Atommassenkonstante; $m_u = m_a\,(^{12}C)/12 = 1u = (1,66005655 \pm 0,0000086) \cdot 10^{-27}kg = (931,5016 \pm 0,0026)$ MeV).

Literatur: Zu H: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) (1991): Pure and Appl. Chem. **63**, 991–1002.

Zu I, P: Browne, E.; Firestone, R.B. (1986): Table of Radioactive Isotopes. John Wiley and Sons, New York.

Zu Δ: Wapstra, A.H.; Audi, G. (1985): The 1983 Atomic Mass Evaluation. Nucl. Phys. **A 432**, 1–54. Nach Redaktionsschluß wurde 1993 in Nucl. Phys. **A 565**, 1–66, eine Überarbeitung veröffentlicht.

Z	El	A	H in %	I, P	Δ in MeV
1	H	1	99,985	1/2+	7,289030
		2	0,015	1+	13,135824
2	He	3	0,000137	1/2+	14,93132
		4	99,999863	0+	2,42492
3	Li	6	7,5	1+	14,0856
		7	92,5	3/2−	14,9068
4	Be	9	100	3/2−	11,3477
5	B	10	19,9	3+	12,05078
		11	80,1	3/2−	8,6680
6	C	12	98,90	0+	0
		13	1,10	1/2−	3,125025
7	N	14	99,634	1+	2,863436
		15	0,366	1/2−	0,10150
8	O	16	99,762	0+	−4,73703
		17	0,038	5/2+	−0,8093
		18	0,200	0+	−0,7822
9	F	19	100	1/2+	−1,48740
10	Ne	20	90,48	0+	−7,0462
		21	0,27	3/2+	−5,7354
		22	9,25	0+	−8,0266
11	Na	23	100	3/2+	−9,5314
12	Mg	24	78,99	0+	−13,9331
		25	10,00	5/2+	−13,1925
		26	11,01	0+	−16,2140
13	Al	27	100	5/2+	−17,1968
14	Si	28	92,23	0+	−21,4924
		29	4,67	1/2+	−21,8950
		30	3,10	0+	−24,4332
15	P	31	100	1/2+	−24,4407
16	S	32	95,02	0+	−26,01618
		33	0,75	3/2+	−26,58651
		34	4,21	0+	−29,93225
		36	0,02	0+	−30,66444
17	Cl	35	75,77	3/2+	−29,01372
		37	24,23	3/2+	−31,76175
18	Ar	36	0,337	0+	−30,23139
		38	0,063	0+	−34,7147
		40	99,600	0+	−35,0396
19	K	39	93,2581	3/2+	−33,8066
		40	0,0117	4−	−33,5348
		41	6,7302	3/2+	−35,5597
20	Ca	40	96,941	0+	−34,8469
		42	0,647	0+	−38,5478
		43	0,135	7/2−	−38,4094
		44	2,086	0+	−41,4699
		46	0,004	0+	−43,138
		48	0,187	0+	−44,216
21	Sc	45	100	7/2−	−41,0699
22	Ti	46	8,0	0+	−44,1257
		47	7,3	5/2−	−44,9319
		48	73,8	0+	−48,4871
		49	5,5	7/2−	−48,5581
		50	5,4	0+	−51,4262
23	V	50	0,250	6+	−49,2197
		51	99,750	7/2−	−52,1997
24	Cr	50	4,345	0+	−50,2579
		52	83,789	0+	−55,4152
		53	9,501	3/2−	−55,2834
		54	2,365	0+	−56,9310
25	Mn	55	100	5/2−	−57,7092
26	Fe	54	5,8	0+	−56,2508
		56	91,72	0+	−60,6041
		57	2,2	1/2−	−60,1789
		58	0,28	0+	−62,1522
27	Co	59	100	7/2−	−62,2265
28	Ni	58	68,077	0+	−60,2251
		60	26,223	0+	−64,4707
		61	1,140	3/2−	−64,2196
		62	3,634	0+	−66,7457
		64	0,926	0+	−67,0980
29	Cu	63	69,17	3/2−	−65,5787
		65	30,83	3/2−	−67,2610
30	Zn	64	48,6	0+	−66,0017
		66	27,9	0+	−68,8987
		67	4,1	5/2−	−67,8793
		68	18,8	0+	−70,0061
		70	0,6	0+	−69,560
31	Ga	69	60,108	3/2−	−69,3225
		71	39,892	3/2−	−70,1415
32	Ge	70	21,23	0+	−70,5615
		72	27,66	0+	−72,5836
		73	7,73	9/2+	−71,2947
		74	35,94	0+	−73,4234
		76	7,44	0+	−73,2145

Fortsetzung T 7.28

Z	El	A	H in %	I, P	Δ in MeV
33	As	75	100	3/2−	−73,0351
34	Se	74	0,89	0+	−72,2150
		76	9,36	0+	−75,2541
		77	7,63	1/2−	−74,6016
		78	23,78	0+	−77,0281
		80	49,61	0+	−77,7621
		82	8,73	0+	−77,5961
35	Br	79	50,69	3/2−	−76,0700
		81	49,31	3/2−	−77,977
36	Kr	78	0,35	0+	−74,151
		80	2,25	0+	−77,892
		82	11,6	0+	−80,591
		83	11,5	9/2+	−79,983
		84	57,0	0+	−82,431
		86	17,3	0+	−83,262
37	Rb	85	72,165	5/2−	−82,1644
		87	27,835	3/2−	−84,5923
38	Sr	84	0,56	0+	−80,640
		86	9,86	0+	−84,5177
		87	7,00	9/2+	−84,8746
		88	82,58	0+	−87, 9162
39	Y	89	100	1/2−	−87,7022
40	Zr	90	51,45	0+	−88,7697
		91	11,22	5/2+	−87,8928
		92	17,15	0+	−88,4566
		94	17,38	0+	−87,2679
		96	2,80	0+	−85,442
41	Nb	93	100	9/2+	−87,2098
42	Mo	92	14,84	0+	−86,808
		94	9,25	0+	−88,4132
		95	15,92	5/2+	−87,7092
		96	16,68	0+	−88,7921
		97	9,55	5/2+	−87,5421
		98	24,13	0+	−88,1132
		100	9,63	0+	−86,186
44	Ru	96	5,52	0+	−86,071
		98	1,88	0+	−88,225
		99	12,7	5/2+	−87,6180
		100	12,6	0+	−89,2199
		101	17,0	5/2+	−87,9506
		102	31,6	0+	−89,0995
		104	18,7	0+	−88,098
45	Rh	103	100	1/2−	−88,027
46	Pd	102	1,02	0+	−87,902
		104	11,14	0+	−89,397
		105	22,33	5/2+	−88,419
		106	27,33	0+	−89,910
		108	26,46	0+	−89,522
		110	11,72	0+	−88,337
47	Ag	107	51,839	1/2−	−88,407
		109	48,161	1/2−	−88,720
48	Cd	106	1,25	0+	−87,132
		108	0,89	0+	−89,260
		110	12,49	0+	−90,351
		111	12,80	1/2+	−89,255
		112	24,13	0+	−90,5823
		113	12,22	1/2+	−89,0511
		114	28,73	0+	−90,0229
		116	7,49	0+	−88,721
49	In	113	4,3	9/2+	−89,367
		115	95,7	9/2+	−89,534
50	Sn	112	0,97	0+	−88,654
		114	0,65	0+	−90,557
		115	0,34	1/2+	−90,032
		116	14,53	0+	−91,523
		117	7,68	1/2+	−90,3964
		118	24,23	0+	−91,6516
		119	8,59	1/2+	−90,0657
		120	32,59	0+	−91,1017
		122	4,63	0+	−89,9454
		124	5,79	0+	−88,2371
51	Sb	121	57,36	5/2+	−89,5907
		123	42,64	7/2+	−89,2229
52	Te	120	0,096	0+	−89,380
		122	2,603	0+	−90,309
		123	0,908	1/2+	−89,1717
		124	4,816	0+	−90,5252
		125	7,139	1/2+	−89,0250
		126	18,95	0+	−90,0673
		128	31,69	0+	−88,993
		130	33,80	0+	−87,348
53	I	127	100	5/2+	−88,984
54	Xe	124	0,10	0+	−87,6596
		126	0,09	0+	−89,162
		128	1,91	0+	−89,8608
		129	26,4	1/2+	−88,6974
		130	4,1	0+	−89,8811
		131	21,2	3/2+	−88,426
		132	26,9	0+	−89,290
		134	10,4	0+	−88,125
		136	8,9	0+	−86,431
55	Cs	133	100	7/2+	−88,093
56	Ba	130	0,106	0+	−87,299
		132	0,101	0+	−88,453
		134	2,417	0+	−88,972
		135	6,592	3/2+	−87,873
		136	7,854	0+	−88,909
		137	11,23	3/2+	−87,736
		138	71,70	0+	−88,276
57	La	138	0,0902	5+	−86,531
		139	99,9098	7/2+	−87,238
58	Ce	136	0,19	0+	−86,500
		138	0,25	0+	−87,575

Fortsetzung T 7.28

Z	El	A	H in %	I, P	Δ in MeV
58	Ce	140	88,48	0+	−88,089
		142	11,08	0+	−84,542
59	Pr	141	100	5/2+	−86,027
60	Nd	142	27,13	0+	−85,959
		143	12,18	7/2−	−84,012
		144	23,80	0+	−83,757
		145	8,30	7/2−	−81,441
		146	17,19	0+	−80,935
		148	5,76	0+	−77,418
		150	5,64	0+	−73,694
62	Sm	144	3,1	0+	−81,974
		147	15,0	7/2−	−79,276
		148	11,3	0+	−79,346
		149	13,8	7/2−	−77,147
		150	7,4	0+	−77,061
		152	26,7	0+	−74,773
		154	22,7	0+	−72,466
63	Eu	151	47,8	5/2+	−74,663
		153	52,2	5/2+	−73,379
64	Gd	152	0,20	0+	−74,719
		154	2,18	0+	−73,718
		155	14,80	3/2−	−72,082
		156	20,47	0+	−72,547
		157	15,65	3/2−	−70,835
		158	24,84	0+	−70,702
		160	21,86	0+	−67,954
65	Tb	159	100	3/2+	−69,544
66	Dy	156	0,06	0+	−70,536
		158	0,10	0+	−70,419
		160	2,34	0+	−69,683
		161	18,9	5/2+	−68,065
		162	25,5	0+	−68,190
		163	24,9	5/2−	−66,390
		164	28,2	0+	−65,977
67	Ho	165	100	7/2−	−64,908
68	Er	162	0,14	0+	−66,347
		164	1,61	0+	−65,952
		166	33,6	0+	−64,935
		167	22,95	7/2+	−63,299
		168	26,8	0+	−62,999
		170	14,9	0+	−60,118
69	Tm	169	100	1/2+	−61,282
70	Yb	168	0,13	0+	−61,578
		170	3,05	0+	−60,772
		171	14,3	1/2−	−59,315
		172	21,9	0+	−59,264
		173	16,12	5/2−	−57,560
		174	31,8	0+	−56,953
		176	12,7	0+	−53,502
71	Lu	175	97,41	7/2+	−55,173
		176	2,59	7−	−53,3946
72	Hf	174	0,162	0+	−55,849
		176	5,206	0+	−54,581
		177	18,606	7/2−	−52,8932
		178	27,297	0+	−52,4474
		179	13,629	9/2+	−50,4760
		180	35,100	0+	−49,7928
73	Ta	180	0,012	9−	−48,940
		181	99,988	7/2+	−48,445
74	W	180	0,13	0+	−49,648
		182	26,3	0+	−48,250
		183	14,3	1/2−	−46,370
		184	30,67	0+	−45,710
		186	28,6	0+	−42,517
75	Re	185	37,40	5/2+	−43,826
		187	62,60	5/2+	−41,224
76	Os	184	0,02	0+	−44,257
		186	1,58	0+	−43,007
		187	1,6	1/2−	−41,227
		188	13,3	0+	−41,145
		189	16,1	3/2−	−38,995
		190	26,4	0+	−38,717
		192	41,0	0+	−35,893
77	Ir	191	37,3	3/2+	−36,716
		193	62,7	3/2+	−34,543
78	Pt	190	0,01	0+	−37,338
		192	0,79	0+	−36,311
		194	32,9	0+	−34,787
		195	33,8	1/2−	−32,821
		196	25,3	0+	−32,671
		198	7,2	0+	−29,930
79	Au	197	100	3/2+	−31,165
80	Hg	196	0,15	0+	−31,851
		198	9,97	0+	−30,979
		199	16,87	1/2−	−29,571
		200	23,10	0+	−29,529
		201	13,18	3/2−	−27,687
		202	29,86	0+	−27,370
		204	6,87	0+	−24,716
81	Tl	203	29,524	1/2+	−25,784
		205	70,476	1/2+	−23,846
82	Pb	204	1,4	0+	−25,132
		206	24,1	0+	−23,809
		207	22,1	1/2−	−22,476
		208	52,4	0+	−21,772
83	Bi	209	100	9/2−	−18,282
90	Th	232	100	0+	35,4444
92	U	234	0,0055	0+	38,1420
		235	0,7200	7/2−	40,9155
		238	99,2745	0+	47,3060

7.29 Radionuklide – *Radionuclides* (K. Debertin)

Erz. Methode zur Erzeugung des Radionuklids: n neutroneninduzierte Reaktion, p Kernreaktion mit geladenen Teilchen, Sp Kernspaltung, M Zerfall des Mutternuklids, N natürliches Vorkommen. Bei mehreren Erzeugungsmethoden ist die häufigere zuerst genannt. Ein + Zeichen zwischen zwei Methoden bedeutet, daß beide sukzessiv angewandt werden.

$T_{1/2}$ Halbwertszeit

U Umwandlungsart (α α-Zerfall, β^- β^--Zerfall, β^+ β^+-Zerfall, ε Elektroneneinfang, IÜ isomerer Übergang, Sp spontane Spaltung). Verzweigungsverhältnisse können aus Tab. T 7.30 entnommen werden. Ist die Umwandlungsart eingeklammert, so beträgt ihr Anteil weniger als 0,1 %.

TN Tochternuklid (*kursiv*, falls $T_{1/2} < 10^5$ a)

Die Tabelle enthält etwa 200 Radionuklide, die in der Praxis häufig vorkommen oder verwendet werden. In der Regel wurden nur Nuklide mit $T_{1/2} > 1$ h aufgenommen. Kurzlebigere Nuklide sind dann aufgeführt, wenn das Mutternuklid langlebig ist. Bei der Umrechnung von Jahren (a) in Tage (d) gilt 1 a = 365,24 d. Zu den Eigenschaften der von den Radionukliden emittierten Strahlen s. Tab. T 7.30. Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen enthält Tab. T 7.31. Für die Kalibrierung von Detektoren besonders geeignete Nuklide sind in Tab. T 7.14 zusammengestellt.

Literatur: Browne, E.; Firestone, R.B. (1986) Table of Radioactive Isotopes. New York: Wiley. IAEA (1986): Decay Data of the Transactinium Nuclides. Technical Reports Series No. 261. Wien: International Atomic Energy Agency. IAEA (1991): X-ray and gamma-ray standards for detector calibration. IAEA-TECDOC-619, Wien: International Atomic Energy Agency. Schötzig, U.; Schrader, H. (1993): Halbwertszeiten und Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von häufig verwendeten Radionukliden. Bericht PTB-Ra-16/4. Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Nuclear Data Sheets (1977–1992). New York, London: Academic Press.

Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN	Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN
H-3	n	12,35 a	β^-	He-3	Sc-44	M, p	3,927 h	β^+, ε	Ca-44
Be-7	p	53,29 d	ε	Li-7	Ti-44	p	47,3 a	ε	*Sc-44*
C-11	p	20,39 min	β^+, ε	B-11	Ca-45	n	163 d	β^-	Sc-45
N-13	p	9,965 min	β^+, ε	C-13	Sc-46	n	83,79 d	β^-	Ti-46
C-14	n, N	5730 a	β^-	N-14	Ca-47	n	4,536 d	β^-	*Sc-47*
O-15	p	2,037 min	β^+, ε	N-15	Sc-47	n	3,351 d	β^-	Ti-47
F-18	p, n	1,828 h	β^+, ε	O-18	V-49	p	330 d	ε	Ti-49
Na-22	p, n	950,8 d	β^+, ε	Ne-22	Cr-51	n	27,706 d	ε	V-51
Na-24	n	14,96 h	β^-	Mg-24	Mn-52	p	5,591 d	ε, β^+	Cr-52
Al-26	p	$7{,}2 \cdot 10^5$ a	β^+, ε	Mg-26	Mn-52m	p+M	21,1 min	β^+, ε	Cr-52
Si-31	n	2,622 h	β^-	P-31				IÜ	*Mn-52*
Si-32	p	104 a	β^-	*P-32*	Fe-52	p	8,275 h	β^+, ε	*Mn-52m*
P-32	n	14,29 d	β^-	S-32	Mn-54	p, n	312,3 d	ε	Cr-54
P-33	n	25,34 d	β^-	S-33	Fe-55	n, p	999 d	ε	Mn-55
S-35	n	87,44 d	β^-	Cl-35	Mn-56	n	2,5785 h	β^-	Fe-56
Cl-36	n	$3{,}01 \cdot 10^5$ a	β^-	Ar-36	Co-56	p	77,31 d	ε, β^+	Fe-56
			$\varepsilon, (\beta^+)$	S-36	Co-57	p	271,79 d	ε	Fe-57
Ar-37	n, p	35,04 d	ε	Cl-37	Co-58	n, p	70,86 d	ε, β^+	Fe-58
K-40	N, n	$1{,}277 \cdot 10^9$ a	β^-	Ca-40	Fe-59	n	44,51 d	β^-	Co-59
			$\varepsilon, (\beta^+)$	Ar-40	Co-60	n	5,272 a	β^-	Ni-60
Ar-41	n	1,827 h	β^-	K-41	Ni-63	n	100,1 a	β^-	Cu-63
Ca-41	n	$1{,}03 \cdot 10^5$ h	ε	K-41	Cu-64	n	12,701 h	ε, β^+	Ni-64
K-42	n	12,36 h	β^-	Ca-42				β^-	Zn-64
K-43	p	22,3 h	β^-	Ca-43	Zn-65	n	244,26 d	ε, β^+	Cu-65

Fortsetzung T 7.29

Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN	Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN
Ga-66	p	9,49 h	β^+, ε	Zn-66	Ag-110	n+M	24,6 s	β^-	Cd-110
Ga-67	p	3,261 d	ε	Zn-67				ε	Pd-110
Ge-68	p	270,8 d	ε	*Ga-68*	Ag-110m	n	249,76 d	β^-	Cd-110
Ga-68	n, p, M	68,0 min	β^+, ε	Zn-68				IÜ	*Ag-110*
Se-75	n	119,64 d	ε	As-75	Ag-111	n+M	7,45 d	β^-	Cd-111
As-76	n	26,32 h	β^-	Se-76	In-111	p	2,8047 d	ε	Cd-111
Ge-77	n	11,30 h	β^-	*As-77*	Cd-113m	Sp, n	13,7 a	β^-	In-113
Br-82	n	35,34 h	β^-	Kr-82				(IÜ)	Cd-113
Sr-82	p	25,55 d	ε	*Rb-82*	In-113m	M	1,658 h	IÜ	In-113
Rb-82	M	1,273 min	β^+, ε	Kr-82	Sn-113	n, p	115,09 d	ε	*In-113m*
Kr-85	n, Sp	10,72 a	β^-	Rb-85	In-114	n+M	71,9 s	β^-	Sn-114
Sr-85	n, p	64,849 d	ε	Rb-85				ε	Cd-114
Rb-86	n	18,66 d	β^-	Sr-86	In-114m	n	49,51 d	IÜ	*In-114*
			(ε)	Kr-86				ε	Cd-114
Rb-87	N	$4{,}80 \cdot 10^{10}$ a	β^-	Sr-87	Cd-115m	n	44,6 d	β^-	In-115
Kr-88	Sp	2,84 h	β^-	*Rb-88*	In-115m	n+M	4,486 h	IÜ	In-115
Rb-88	n, M	17,8 min	β^-	Sr-88				β^-	Sn-115
Y-88	p	106,630 d	ε, β^+	Sr-88	Sb-122	n	2,70 d	β^-	Te-122
Sr-89	Sp, n	50,5 d	β^-	Y-89				ε	Sn-122
Sr-90	Sp	28,7 a	β^-	*Y-90*	Te-123m	n	119,7 d	IÜ	Te-123
Y-90	M, n	64,0 h	β^-	Zr-90	I-123	p	13,2 h	ε	Te-123
Y-91	Sp	58,51 d	β^-	Zr-91	Sb-124	n	60,20 d	β^-	Te-124
Sr-92	Sp	2,71 h	β^-	*Y-92*	I-124	p	4,18 d	ε, β^+	Te-124
Y-92	M, n, p	3,54 h	β^-	Zr-92	Sb-125	n+M	1007,7 d	β^-	*Te-125m*
Y-93	Sp	10,25 h	β^-	Zr-93	Te-125m	n, M	58 d	IÜ	Te-125
Zr-93	Sp	$1{,}53 \cdot 10^6$ a	β^-	Nb-93	I-125	p	59,43 d	ε	Te-125
Nb-93m	n, M	16,1 a	IÜ	Nb-93	I-126	p	13,02 d	ε, β^+	Te-126
Nb-94	n	$2{,}0 \cdot 10^4$ a	β^-	Mo-94				β^-	Xe-126
Zr-95	Sp, n	64,02 d	β^-	*Nb-95*	Xe-127	p	36,41 d	ε	I-127
Nb-95	n+M	34,975 d	β^-	Mo-95	I-129	Sp, n+M	$1{,}57 \cdot 10^7$ a	β^-	Xe-129
Zr-97	Sp, n	16,90 h	β^-	*Nb-97*	I-130	p, n	12,36 h	β^-	Xe-130
Nb-97	Sp, M	72,1 min	β^-	Mo-97	I-131	Sp, n+M	8,021 d	β^-	Xe-131
Tc-97	n+M	$2{,}6 \cdot 10^6$ a	ε	Mo-97	Xe-131m	n, M	11,9 d	IÜ	Xe-131
Mo-99	Sp, n	2,7477 d	β^-	*Tc-99m*	Cs-131	n+M	9,69 d	ε	Xe-131
Tc-99	Sp, n+M	$2{,}13 \cdot 10^5$ a	β^-	Ru-99	Te-132	Sp	3,26 d	β^-	*I-132*
Tc-99m	Sp, n+M	6,006 h	IÜ	Tc-99	I-132	Sp	2,284 h	β^-	Xe-132
			(β^-)	Ru-99	I-133	Sp	20,8 h	β^-	*Xe-133*
Ru-103	Sp, n	39,26 d	β^-	*Rh-103m*	Xe-133	n, Sp	5,245 d	β^-	Cs-133
Rh-103m	n+M	56,12 min	IÜ	Rh-103	Xe-133m	n, Sp	2,19 d	IÜ	*Xe-133*
Pd-103	n, p	16,97 d	ε	*Rh-103m*	Ba-133	n, p	10,57 a	ε	Cs-133
Rh-105	n, Sp	35,36 h	β^-	Pd-105	Cs-134	n	754,28 d	β^-	Ba-134
Ru-106	Sp	372,6 d	β^-	*Rh-106*				(ε)	Xe-134
Ag-108	n+M	2,37 min	β^-	Cd-108	I-135	Sp	6,55 h	β^-	*Xe-135*
			ε, β^+	Pd-108	Xe-135	n, Sp	9,104 h	β^-	Cs-135
Ag-108m	n	418 a	ε, β^+	Pd-108	Cs-137	Sp	30,2 a	β^-	Ba-137
			IÜ	*Ag-108*	Xe-138	Sp	14,08 min	β^-	*Cs-138*
Cd-109	n, p	462,6 d	ε	Ag-109	Ce-139	p, n	137,640 d	ε	La-139

Fortsetzung T 7.29

Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN	Nuklid	Erz.	$T_{1/2}$	U	TN
Ba-140	Sp	12,75 d	β^-	*La-140*	Pb-210	N, M	22,3 a	β^-	*Bi-210*
La-140	n, Sp	1,678 d	β^-	Ce-140	Bi-210	N, M	5,013 d	β^-	*Po-210*
Ce-141	n, Sp	32,50 d	β^-	Pr-141	Po-210	N, M	138,4 d	α	Pb-206
Pr-142	n	19,13 h	β^-	Nd-142	Pb-211	N, M	36,1 min	β^-	*Bi-211*
			(ε)	Ce-142	Bi-211	N, M	2,17 min	α	*Tl-207*
Ce-143	n, Sp	33,0 h	β^-	*Pr-143*	Pb-212	N, M	10,64 h	β^-	*Bi-212*
Pr-143	n+M	13,58 d	β^-	Nd-143	Bi-212	N, M	60,55 min	β^-	*Po-212*
Ce-144	Sp	284,9 d	β^-	*Pr-144*				α	*Tl-208*
Pr-144	Sp, M	17,28 min	β^-	Nd-144	Pb-214	N, M	26,8 min	β^-	*Bi-214*
Nd-147	n, Sp	10,98 d	β^-	*Pm-147*	Bi-214	N, M	19,9 min	β^-	*Po-214*
Pm-147	n+M, Sp	2,62 a	β^-	Sm-147	Po-214	N, M	165 µs	α	*Pb-210*
Gd-148	p	75 a	α	Sm-144	Po-218	N, M	3,05 min	α	*Pb-214*
Pm-151	n+M, Sp	28,40 h	β^-	*Sm-151*	Rn-220	N, M	55,6 s	α	*Po-216*
Sm-151	Sp, M	90 a	β^-	Eu-151	Rn-222	N, M	3,8235 d	α	*Po-218*
Eu-152	n	13,51 a	ε, (β^+)	Sm-152	Ra-223	N, M	11,43 d	α	*Rn-219*
			β^-	Gd-152	Ra-224	N, M	3,66 d	α	*Rn-220*
Gd-153	n	241,6 d	ε	Eu-153	Ra-225	M	14,8 d	β^-	*Ac-225*
Eu-154	n	8,59 a	β^-	Gd-154	Ac-225	M	10,0 d	α	*Fr-221*
			(ε)	Sm-154	Ra-226	N, M	1600 a	α	*Rn-222*
Eu-155	n+M, Sp	4,85 a	β^-	Gd-155	Ac-227	N, M	21,77 a	β^-	*Th-227*
Tb-160	n	72,3 d	β^-	Dy-160				α	*Fr-223*
Ho-166m	n	$1{,}2 \cdot 10^3$ a	β^-	Er-166	Th-227	N, M	18,72 d	α	*Ra-223*
Er-169	n	9,40 d	β^-	Tm-169	Ra-228	N, M	5,75 a	β^-	*Ac-228*
Yb-169	n	32,032 d	ε	Tm-169	Ac-228	N, M	6,15 h	β^-	*Th-228*
Lu-176	N, n	$3{,}59 \cdot 10^{10}$ a	β^-	Hf-176	Th-228	N, M	1,912 a	α	*Ra-224*
Hf-180m	n	5,519 h	IÜ	Hf-180	Th-229	M	7340 a	α	*Ra-225*
Hf-181	n	42,39 d	β^-	Ta-181	Th-230	N, M	$7{,}538 \cdot 10^4$ a	α	*Ra-226*
Ta-182	n	114,43 d	β^-	W-182	Th-231	N, M	25,52 h	β^-	*Pa-231*
W-185	n	75,1 d	β^-	Re-185	Pa-231	N, M	$3{,}276 \cdot 10^4$ a	α	*Ac-227*
Re-186	n	3,718 d	β^-	Os-186	Th-232	N	$1{,}405 \cdot 10^{10}$ a	α, (Sp)	*Ra-228*
			ε	W-186	U-232	n, p	69,8 a	α, (Sp)	*Th-228*
Ir-192	n	73,831 d	β^-	Pt-192	Pa-233	N+M, p	27,0 d	β^-	U-233
			ε	Os-192	U-233	n+M	$1{,}592 \cdot 10^5$ a	α, (Sp)	*Th-229*
Au-195	p	186,09 d	ε	Pt-195	Th-234	N, M	24,10 d	β^-	*Pa-234m*
Hg-195m	p	1,73 d	IÜ	*Hg-195*	Pa-234m	N, M	1,17 min	β^-	U-234
			ε	*Au-195m*	U-234	N, M	$2{,}454 \cdot 10^5$ a	α, (Sp)	*Th-230*
Au-195m	M	30,5 s	IÜ	*Au-195*	U-235	N	$7{,}037 \cdot 10^8$ a	α, (Sp)	*Th-231*
Hg-197	p, n	64,14 h	ε	Au-197	U-236	M	$2{,}342 \cdot 10^7$ a	α, (Sp)	Th-232
Hg-197m	n, p	23,8 h	IÜ	*Hg-197*	Np-237	n+M	$2{,}14 \cdot 10^6$ a	α, (Sp)	*Pa-233*
			ε	Au-197	U-238	N	$4{,}468 \cdot 10^9$ a	α, (Sp)	*Th-234*
Au-198	n	2,6943 d	β^-	Hg-198	Pu-238	n+M	87,7 a	α, (Sp)	U-234
Au-199	n+M, n+n	3,139 d	β^-	Hg-199	Np-239	M	2,350 d	β^-	*Pu-239*
Tl-201	p	3,043 d	ε	Hg-201	Pu-239	n+M	$2{,}411 \cdot 10^4$ a	α, (Sp)	U-235
Hg-203	n	46,595 d	β^-	Tl-203	Pu-240	n	6563 a	α, (Sp)	U-236
Pb-203	p, n	52,06 h	ε	Tl-203	Pu-241	n	14,35 a	β^-	*Am-241*
Tl-204	n	3,78 a	β^-	Pb-204				(α)	*U-237*
			ε	Hg-204	Am-241	n+M	432,2 a	α, (Sp)	*Np-237*
Tl-207	N, M	4,77 min	β^-	Pb-207	Pu-242	n	$3{,}735 \cdot 10^5$ a	α, (Sp)	U-238
Bi-207	p	31,8 a	ε, (β^+)	Pb-207	Cm-242	n	162,94 d	α, (Sp)	*Pu-238*
Tl-208	N, M	3,053 min	β^-	Pb-208	Am-243	n	$7{,}37 \cdot 10^3$ a	α, (Sp)	*Np-239*
Po-208	p	2,898 a	α	Pb-204	Cm-244	n	18,10 a	α, (Sp)	*Pu-240*
			(ε)	Bi-208	Cf-252	n	2,645 a	α, (Sp)	*Cm-248*

7.30 Radionuklidstrahlen (Energien, Emissionswahrscheinlichkeiten) – *Radiations from radionuclides (energies, emission probabilities)* (K. Debertin)

Typ: Strahlentyp (α Alphastrahlen, β^-, β^+ Betastrahlen, γ Gammastrahlen, e Konversionselektronen und/oder Augerelektronen, X–K, X–L K-, L-Röntgenstrahlen).

E Energie. Bei β-Strahlen ist die über das gesamte Energiespektrum gemittelte Energie, in Klammern zusätzlich die Maximalenergie angegeben. Bei Röntgenstrahlen sowie Konversions- und Augerelektronen sind häufig mehrere Energien zu Energiebereichen zusammengefaßt.

p Emissionswahrscheinlichkeit (Anzahl der emittierten Teilchen oder Quanten pro Zerfall).

Die Tabelle enthält die gleichen Radionuklide wie Tab. T 7.29. Es sind in der Regel nur die Energien solcher Strahlen angegeben, deren Emissionswahrscheinlichkeit größer als 5% ist. Übergänge mit β-Emissionswahrscheinlichkeiten kleiner als 5% sind bei der Energie-Mittelwertbildung berücksichtigt, nicht aber bei dem Maximalwert in Klammern. Teilchenenergien kleiner als 10 keV und Photonenenergien kleiner als 5 keV wurden nicht aufgenommen. Die Strahlen kurzlebiger Tochterprodukte sind beim Mutternuklid aufgeführt (Tochternuklide in Klammern). Die Energien sind dann durch ein T gekennzeichnet, die *p*-Werte beziehen sich auf einen Zerfall des Mutternuklids im Gleichgewicht mit den Tochterprodukten. Ein T in Klammern bedeutet, daß sowohl Mutter- als auch Tochternuklid diese Strahlung emittieren. Nuklide der natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen sind hinter dem Mutternuklid aufgeführt. Zu Daten von α-, Elektronen- und γ-Strahlern zur Kalibrierung von Spektrometern s. auch Tab. T 7.14.

Literatur: Browne, E.; Firestone, R.B. (1986): Table of Radioactive Isotopes. New York: Wiley. Rytz, A. (1991): Recommended Energy and Intensity Values of Alpha Particles from Radioactive Decay. Atomic Data and Nuclear Data Tables **47**, 205–239. IAEA (1986): Decay Data of the Transactinium Nuclides. Technical Reports Series No. 261, Wien: International Atomic Energy Agency. IAEA (1991): X-ray and gamma-ray standards for detector calibration. IAEA-TECDOC-619, Wien: International Atomic Energy Agency. Schötzig, U.; Schrader, H. (1993): Halbwertszeiten und Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von häufig verwendeten Radionukliden. Bericht PTB-Ra-16/4. Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Nuclear Data Sheets (1977–1992). New York, London: Academic Press. Kocher, D.C. (1981): Radioactive Decay Data Tables, US Department of Energy, Bericht DOE/TIC-11026. Verschiedene Originalveröffentlichungen.

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %	Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
H-3	β^-	5,7 (18,7)	100	K-41	X–K	3,3	12,5
Be-7	γ	477,6	10,39			bis 3,6	
C-11	β^+	386 (960)	99,76	K-42	β^-	1425 (3525)	100
N-13	β^+	492 (1199)	99,81		γ	1524,6	18,8
C-14	β^-	49,5 (156)	100	K-43	β^-	314 (827)	100
O-15	β^+	736 (1732)	99,89		γ	372,8	86,7
F-18	β^+	250 (633)	96,9		γ	396,9	11,36
Na-22	β^+	218 (546)	89,4		γ	593,4	11,0
	γ	1274,5	99,935		γ	617,5	80,0
Na-24	β^-	554 (1391)	100	Sc-44	β^+	635 (1476)	94
	γ	1368,6	100		γ	1157,0	99,9
	γ	2754,0	99,86	Ti-44	e	63	10,6
Al-26	β^+	487 (1173)	82			bis 78	
	γ	1808,7	99,76		X–K	4,1	18,5
Si-31	β^-	595 (1491)	100			bis 4,5	
Si-32	β^-	69 (225)	100		γ	67,9	93,5
P-32	β^-	695 (1710)	100		γ	78,4	97,4
P-33	β^-	76 (249)	100	Ca-45	β^-	77 (257)	100
S-35	β^-	48,6 (167)	100	Sc-46	β^-	112 (357)	100
Cl-36	β^-	251 (709)	98,1		γ	889,3	99,98
Ar-37	e	<5	82		γ	1120,5	99,99
	X–K	<5	8,7	Ca-47	β^-	345 (1988)	100
K-40	β^-	510 (1312)	89,33		γ	489,2	6,7
	γ	1460,8	10,67		γ	807,9	6,9
Ar-41	β^-	464 (1199)	100		γ	1297,1	74,9
	γ	1293,6	99,16	Sc-47	β^-	162 (601)	100

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	γ	159,4	69,0
V-48	e	4	69
	X–K	4,5	19,0
		bis 4,9	
Cr-51	X–K	4,9	22,8
		bis 5,5	
	γ	320,1	9,86
Mn-52	β^+	245 (576)	29
	X–K	5,4	17,1
		bis 6,0	
	γ	744,2	90,0
	γ	935,5	94,5
	γ	1434,1	100
Fe-52	β^+	804	56,0
	X–K	5,9	13,0
		bis 6,5	
	γ	168,7	99,2
(Mn-52m)	β^+	1168 (2633) T	97
	γ	1434,1 T	98,2
Mn-54	X–K	5,4	25,6
		bis 6,0	
	γ	834,8	99,98
Fe-55	X–K	5,9	28,3
		bis 6,5	
Mn-56	β^-	830 (2849)	56,2
	γ	846,8	98,9
	γ	1810,8	27,2
	γ	2113,2	14,3
Co-56	β^+	600 (1459)	20
	X–K	6,4	24,3
		bis 7,1	
	γ	846,8	99,93
	γ	1037,8	14,13
	γ	1238,3	66,07
	γ	1360,2	4,256
	γ	1771,4	15,49
	γ	2034,8	7,77
	γ	2598,5	16,96
	γ	3253,4	7,62
Co-57	e	14	7,3
	X–K	6,4	57,9
		bis 7,1	
	γ	14,4	9,2
	γ	122,1	85,60
	γ	136,5	10,68
Co-58	β^+	201 (475)	14,9
	X–K	6,4	26,7
		bis 7,1	
	γ	810,8	99,45
Fe-59	β^-	118 (466)	100
	γ	1099,3	56,1
	γ	1291,6	43,6
Co-60	β^-	96 (318)	100
	γ	1173,2	99,857
	γ	1332,5	99,983
Ni-63	β^-	17,1 (66)	100
Cu-64	β^+	277 (653)	18
	β^-	191 (578)	37,1
	X–K	7,5	16,2
		bis 8,3	
Zn-65	X–K	8,0	38,7
		bis 9,0	
	γ	1115,5	50,60
Ga-66	β^+	1730 (4153)	57
	X–K	8,6	18,3
		bis 9,6	
	γ	833,6	6,03
	γ	1039,4	37,9
	γ	2190,0	5,71
	γ	2752,3	23,2
	γ	4295,7	3,5
Ga-67	e	82	31,5
		bis 93	
	X–K	8,6	55,4
		bis 9,6	
	γ	93,3	37,0
	γ	184,6	20,4
	γ	300,2	16,6
(Ga-68)	β^+	831 (1899)	89
Ge-68	X–K	9,2	43,9
		bis 10,4	
Se-75	e	10	14,7
		bis 13	
	e	85	5,4
		bis 124	
	X–K	10,5	56,8
		bis 12,0	
	γ	121,1	17,1
	γ	136,0	58,8
	γ	264,7	59,0
	γ	279,5	25,0
	γ	400,7	11,5
As-76	β^-	1068 (2964)	100
	γ	559,1	45
	γ	657,1	6,2
	γ	1216,1	3,42
Ge-77	β^-	664 (2488)	100
	γ	211,0	29,2
	γ	215,5	27,1
	γ	264,4	51,0
	γ	367,4	13,3
	γ	416,3	20,6
	γ	558,0	15,2
	γ	631,8	6,59
	γ	714,3	6,77
	γ	1085,1	5,72
Br-82	β^-	137 (444)	100
	γ	554,4	70,9

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	γ	619,1	43,1
	γ	698,4	28,2
	γ	776,5	83,6
	γ	827,8	24,0
	γ	1044,1	27,4
	γ	1317,5	26,9
	γ	1474,9	16,63
(Rb-82)	β^+	776,5	13,4
Sr-82	e	11	28,7
		bis 15	
	X–K	13,3	57,5
		bis 15,3	
Kr-85	β^-	229 (687)	100
	γ	514,0	0,43
Sr-85	e	11	29,2
		bis 15	
	X–K	13,3	58,7
		bis 15,3	
	γ	514,0	98,4
Rb-86	β^-	667 (1774)	100
	γ	1076,7	8,78
Rb-87	β^-	82 (282)	100
Kr-88	e	11	15
		bis 13	
	β^-	359 (2913)	100
	X–K	13,3	8,16
		bis 15,2	
(Rb-88)	β^-	2068 (5316) T	100
	γ	898,0 T	14,1
	γ	1836,1 T	21,4
Y-88	e	12	26,9
	X–K	14,1	61,6
		bis 16,2	
	γ	898,0	94,0
	γ	1836,1	99,36
Sr-89	β^-	583 (1492)	100
Sr-90	β^-	196 (546)	100
(Y-90)	β^-	934 (2282) T	100
Y-91	β^-	603 (1546)	100
Sr-92	β^-	177 (1888)	100
	γ	1384,1	90
Y-92	β^-	1435 (3612)	100
	γ	934,5	13,9
Nb-93m	e	11	17,7
		bis 18	
	e	28	85
		bis 30	
	X–K	16,5	11,04
		bis 19,1	
Y-93	β^-	1171 (2884)	100
	γ	266,9	6,8
Zr-93	e	11	17,6
		bis 16	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	e	28	85,9
		bis 30	
	β^-	19 (60)	100
	X–K	16,5	10,5
		bis 19,1	
Nb-94	β^-	146 (472)	100
	γ	702,6	99,79
	γ	871,1	99,86
Zr-95	β^-	116 (400)	100
	γ	724,2	44,0
	γ	756,7	54,3
Nb-95	β^-	43 (160)	100
	γ	765,8	99,81
Zr-97	β^-	696 (1915)	100
	γ	507,7	5,1
(Nb-97)	β^-	467 (1276) T	5,2
	γ	658,2 T	5,2
(Nb-97m)	γ	743,3 T	92,8
Tc-97	e	14	19,7
		bis 17	
	X–K	17,4	65,8
		bis 20,0	
Mo-99/	β^-	390 (1214)	100
Tc-99m	e	119 (T)	11,1
		bis 142	
	X–K	18,3	11,2
		bis 21,1	
	γ	140,5 (T)	90,7
	γ	181,1	6,07
	γ	739,5	12,14
	γ	777,9	4,35
Tc-99	β^-	85 (294)	100
Tc-99m	e	119	10,9
		bis 142	
	X–K	18,3	7,2
		bis 21,1	
	γ	140,5	89,0
Ru-103/	β^-	69 (229)	100
Rh-103m	e	17 (T)	105,0
		bis 40	
	X–K	20,1 (T)	8,6
		bis 23,3	
	γ	497,1	90,9
	γ	610,3	5,65
Pd-103/	e	16 (T)	117,2
Rh-103m		bis 40	
	X–K	20,0 (T)	77,0
		bis 23,2	
Rh-105	β^-	152 (566)	100
	γ	306,3	5,13
	γ	319,2	19,0
Ru-106	β^-	10,0 (39,4)	100
(Rh-106)	β^-	1411 (3540) T	100
	γ	511,9 T	20,47

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	γ	621,9 T	9,95
Ag-108m	e	18	20,7
		bis 30	
	X–K	21,0	66,2
		bis 25,6	
	γ	79,2	6,6
	γ	433,9	90,5
	γ	614,4	89,8
	γ	723,0	90,8
(Ag-108)	β⁻	626 (1655) T	8,5
Cd-109/	e	18	20,0
Ag-109m		bis 25	
	e	63 T	96,3
		bis 88	
	X–K	22,0 (T)	99,4
		bis 25,6	
	γ	88,0 T	3,63
Ag-110m	β⁻	70 (530)	100
	γ	657,8	94,6
	γ	677,6	10,7
	γ	687,0	6,47
	γ	706,7	16,6
	γ	763,9	22,4
	γ	818,0	7,30
	γ	884,7	73,4
	γ	937,5	34,6
	γ	1384,3	24,7
	γ	1505,0	13,16
Ag-111	β⁻	354 (1037)	100,0
	γ	342,1	6,7
In-111	e	19	15,1
		bis 23	
	e	145	8,5
	e	219	6,0
		bis 245	
	X–K	23,0	83,0
		bis 26,8	
	γ	171,3	90,78
	γ	245,4	94,16
Cd-113m	β⁻	183 (580)	99,9
In-113m	e	364	35,9
		bis 392	
	X–K	24,0	15,9
		bis 28,0	
	γ	391,7	64,8
Sn-113/	e	19 (T)	17,1
In-113m		28,0	
	X–K	24,0 (T)	96,8
		bis 28	
	e	364 T	35,9
		bis 392	
	γ	391,7 T	64,89
In-114m	e	19	6,3
		bis 27	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	e	162	79,5
		bis 190	
	X–K	23,0	36,9
		bis 28,0	
	γ	190,3	15,4
	γ	558,4	4,4
	γ	725,2	4,3
(In-114)	β⁻	788 (1986) T	98,1
Cd-115m	β⁻	602 (1623)	100
	γ	933,8	2,00
In-115m	β⁻	282 (833)	5,0
	e	19	5,9
		bis 27	
	e	308	50,2
		bis 336	
	X–K	24,0	33,9
		bis 28,0	
	γ	336,3	45,8
Sb-122	β⁻	577 (1983)	97,6
	γ	564,4	70,0
Te-123m	e	22	7,1
		bis 31	
	e	57	103,6
		bis 88	
	e	127	16,2
		bis 159	
	X–K	27,2	50,3
		bis 31,9	
	γ	159,0	84,0
I-123	e	22	12,2
		bis 31	
	e	127	15,9
		bis 158	
	X–K	27,2	87,0
		bis 31,9	
	γ	159,0	83,3
Sb-124	β⁻	386 (2303)	100
	γ	602,7	97,8
	γ	645,9	7,4
	γ	722,8	10,9
	γ	1691,0	47,1
I-124	e	22	7,9
		bis 27	
	β⁺	817 (2135)	23
	X–K	27,2	58,0
		bis 31,9	
	γ	602,7	60,5
	γ	722,8	9,96
	γ	1691,0	10,41
Sb-125/	e	22 (T)	23,4
Te-125m		bis 35	
	e	77 (T)	24,4
		bis 108	
	β⁻	86 (622)	100

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	X–K	27,2 (T) bis 31,9	75,1
	γ	35,5	6,01
	γ	176,3	6,79
	γ	427,9	29,4
	γ	463,4	10,45
	γ	600,6	17,8
	γ	636,0	11,32
Te-125m	e	22 bis 35	30
	e	77 bis 109	102,4
	X–K	27,2 bis 31,9	116,9
	γ	35,5	6,58
I-125	e	22 bis 27	19,2
	e	30 bis 35	14,1
	X–K	27,2 bis 31,9	139,0
	γ	35,5	6,58
I-126	e	22 bis 33	5,8
	β^-	307 (1251)	43,7
	X–K	27,2 bis 34,6	41,9
	γ	388,6	34,1
	γ	666,4	33,1
Xe-127	e	22 bis 24	11,3
	e	139 bis 198	12,1
	X–K	28,3 bis 33,2	87,7
	γ	172,1	23,5
	γ	202,9	68
	γ	375,0	15,9
I-129	e	24 bis 40	22,3
	β^-	41,5 (154)	100
	X–K	29,5 bis 34,6	70,8
	γ	39,6	7,5
I-130	β^-	285 (1040)	100
	γ	418,0	34,2
	γ	536,1	99
	γ	668,6	96,1
	γ	739,5	82,3
	γ	1157,5	11,31
I-131	β^-	182 (606)	100
	γ	284,3	6,06
	γ	364,5	81,2
	γ	637,0	7,27
Xe-131m	e	24 bis 33	6,6
	e	129 bis 164	98,1
	X–K	29,5 bis 34,6	54,0
Cs-131	e	24 bis 33	9,1
	X–K	29,5 bis 34,6	74,2
Te-132	e	17 bis 32	80
	e	45 bis 50	11,8
	e	195 bis 228	8,8
	β^-	59 (215)	100
	X–K	28,3 bis 33,2	70,9
	γ	49,8	14,4
	γ	228,3	88,2
I-132	β^-	486 (2140)	100
	γ	505,9	5,02
	γ	522,7	16,1
	γ	630,3	13,8
	γ	667,7	98,7
	γ	671,6	5,2
	γ	772,7	76,2
	γ	812,3	5,6
	γ	954,6	18,1
	γ	1398,6	7,1
I-133	β^-	406 (1230)	83,5
	γ	529,9	86
	γ	875,3	4,47
Xe-133	e	24 bis 34	5,9
	e	74 bis 80	10,1
	β^-	100 (346)	100
	X–K	30,6 bis 36,0	48,9
	γ	81,0	37,0
Xe-133m	e	24 bis 33	6,8
	e	199 bis 233	89,7
	X–K	29,5 bis 34,6	56,3
	γ	233,2	10,3
Ba-133	e	17 bis 35	10,7
	e	44 bis 81	70

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	X–K	30,6	121,0
		bis 36,0	
	γ	79,6	2,61
	γ	81,0	34,11
	γ	276,4	7,147
	γ	302,9	18,30
	γ	356,0	61,94
	γ	383,9	8,905
Cs-134	β⁻	157 (658)	100
	γ	563,2	8,36
	γ	569,3	15,39
	γ	604,7	97,63
	γ	795,9	85,4
	γ	801,9	8,69
	γ	1365,2	3,016
I-135	β⁻	358 (1436)	100
	γ	546,6	7,13
	γ	836,8	6,67
	γ	1038,8	7,9
	γ	1131,5	22,5
	γ	1260,4	28,6
	γ	1457,6	8,6
	γ	1678,1	9,5
	γ	1791,2	7,70
(Xe-135m)	γ	526,6 T	13,3
Xe-135	e	214	6,8
		bis 249	
	β⁻	303 (910)	100
	X–K	30,6	5,2
		bis 36,0	
	γ	249,8	90
Cs-137	β⁻	188 (1175)	100
(Ba-137m)	e	624 T	9,73
		bis 662	
	X–K	31,8 T	7,00
		bis 37,5	
	γ	661,7 T	85,1
Xe-138	β⁻	628 (2759)	100
	γ	153,9	5,95
	γ	258,4	31,5
	γ	396,6	6,30
	γ	434,6	20,3
	γ	1768,4	16,7
	γ	2004,8	5,35
	γ	2015,9	12,25
Ce-139	e	26	8,2
		bis 38	
	e	127	20,2
		bis 164	
	X–K	33,0	79,7
		bis 38,9	
	γ	165,9	79,87
Ba-140	e	12	93
		bis 30	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	β⁻	276 (1004)	100
	γ	30,0	13,7
	γ	162,7	6,21
	γ	304,9	4,30
	γ	537,3	24,39
	β⁻	525 (2164) (T)	115
	γ	328,8 T	23,9
	γ	487,0 T	52,9
	γ	815,8 T	27,2
	γ	867,8 T	6,44
	γ	925,2 T	8,12
	γ	1596,5 T	109,9
La-140	β⁻	525 (2164)	100
	γ	328,8	20,74
	γ	487,0	45,9
	γ	815,8	23,64
	γ	867,8	5,59
	γ	925,2	7,05
	γ	1596,5	95,40
Ce-141	e	103	22,3
		bis 145	
	β⁻	145 (581)	100
	X–K	35,6	17,4
		bis 42,0	
	γ	145,4	48,4
Pr-142	β⁻	809 (2160)	100
	γ	1575,5	3,70
Ce-143	e	15	66
	e	28	17,3
		bis 56	
	β⁻	409 (1404)	100
	X–K	35,6	63,2
		bis 42	
	γ	57,4	11,8
	γ	293,3	42
	γ	664,6	5,3
	γ	722,0	5,1
Pr-143	β⁻	315 (935)	100
Ce-144	e	92	6,5
		bis 134	
	β⁻	82 (319)	100
	X–K	35,6	8,4
		bis 42,0	
	γ	133,5	11,1
(Pr-144)	β⁻	1209 (2997) T	100
	γ	696,5 T	1,34
Nd-147	e	46	57,8
		bis 89	
	β⁻	233 (804)	100
	X–K	38,2	46,3
		bis 45,2	
	γ	91,1	28
	γ	531,0	13,1
Pm-147	β⁻	62 (224)	100

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
Gd-148	α	3182,7	100
Pm-151	e	18	34
		bis 58	
	β^-	281 (1187)	100
	X–K	39,5	29,2
		bis 46,8	
	γ	167,7	7,8
	γ	275,2	6,6
	γ	340,1	22
Sm-151	β^-	20 (76)	100
Eu-152	e	33	6
		bis 50	
	e	75	32,5
		bis 120	
	β^-	297 (1478)	27,92
	X–K	39,5	74
		bis 50,2	
	γ	121,8	28,37
	γ	244,7	7,51
	γ	344,3	26,58
	γ	778,9	12,96
	γ	964,1	14,62
	γ	1085,8	10,16
	γ	1112,1	13,56
	γ	1408,0	20,85
Gd-153	e	21	55,6
		bis 55	
	e	62	9,4
		bis 145	
	X–K	40,9	120,1
		bis 48,5	
	γ	97,4	27,6
	γ	103,2	19,6
Eu-154	e	73	48,4
		bis 123	
	β^-	227 (1846)	100
	X–K	42,3	25,6
		bis 50,2	
	γ	123,1	41,2
	γ	247,9	6,95
	γ	723,3	20,2
	γ	873,2	12,24
	γ	996,3	10,48
	γ	1004,7	18,2
	γ	1274,4	35,0
Eu-155	e	10	43
		bis 36	
	β^-	47 (253)	100
	X–K	42,3	24,0
		bis 50,2	
	γ	86,5	30,9
	γ	105,3	20,6
Tb-160	e	33	62,8
		bis 86	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	β^-	204 (870)	100
	X–K	45,2	20,9
		bis 53,7	
	γ	86,8	13,2
	γ	197,0	5,15
	γ	298,6	26,8
	γ	879,4	29,8
	γ	962,3	9,8
	γ	966,2	25,0
	γ	1177,9	15,2
	γ	1271,9	7,49
Ho-166m	e	23	21,1
	e	71	63,6
		bis 79	
	e	127	23,2
		bis 176	
	β^-	16,5 (72)	100
	X–K	48,2	39,0
		bis 57,4	
	γ	80,6	12,8
	γ	184,4	75
	γ	280,4	30,4
	γ	410,9	11,8
	γ	529,8	10,5
	γ	571,0	5,9
	γ	670,5	5,9
	γ	711,7	60
	γ	752,3	13,4
	γ	810,2	64
	γ	830,6	10,8
Er-169	β^-	99,6 (351)	100
Yb-169	e	11	28,8
		bis 49	
	e	50	54,2
		bis 97	
	e	100	43,7
		bis 188	
	X–K	49,8	185,6
		bis 59,3	
	γ	63,1	44,7
	γ	109,8	17,5
	γ	130,5	11,3
	γ	177,2	22,4
	γ	198,0	36,0
	γ	307,7	10,1
Lu-176	e	23	16,8
	e	77	67,9
		bis 88	
	e	136	22,0
		bis 202	
	e	241	6,9
		bis 307	
	β^-	? (589)	100

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	X–K	54,6 bis 65,2	32,7
	γ	88,4	14,5
	γ	201,9	78,0
	γ	306,9	93,0
Hf-180m	e	28	18,2
	e	46 bis 93	96,5
	e	150 bis 267	22,5
	X–K	54,6 bis 65,0	34,9
	γ	57,5	48,4
	γ	93,3	17,0
	γ	215,2	81,7
	γ	332,3	94,4
	γ	443,1	85
	γ	500,7	12,8
Hf-181	e	66 bis 69	26,1
	e	121 bis 137	30,2
	β^-	131 (409)	100
	X–K	56,3 bis 67,3	26,9
	γ	132,9	35,9
	γ	136,2	5,80
	γ	345,8	15,1
	γ	482,0	80,6
Ta-182	e	10 bis 49	88
	e	54 bis 100	66,6
	β^-	126 (524)	100
	X–K	58,0 bis 69,1	35,5
	γ	65,7	3,24
	γ	67,7	46,3
	γ	100,1	14,23
	γ	152,4	6,95
	γ	222,1	7,50
	γ	1121,3	35,30
	γ	1189,1	16,44
	γ	1221,4	27,17
	γ	1231,0	11,58
W-185	β^-	127 (433)	100
Re-186	e	63 bis 137	11,8
	β^-	350 (1075)	92,2
	X–K	58,0 bis 73,6	9,7
	γ	137,1	9,45
Ir-192	e	11 bis 60	10,1

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	e	218 bis 238	8,1
	β^-	179 (669)	95,4
	X–K	61,5 bis 78,1	13,2
	γ	296,0	28,6
	γ	308,5	29,8
	γ	316,5	82,8
	γ	468,1	47,7
	γ	604,4	8,19
	γ	612,5	5,31
Au-195	e	12 bis 20	161
	e	28 bis 75	11,2
	e	85 bis 133	15,7
	X–L	8,3 bis 13,1	52
	X–K	65,1 bis 78,1	101
	γ	98,9	10,9
Hg-195/ Au-195m	e	12 (T) bis 42	147
	e	43 (T) bis 122	99
	e	181 (T) bis 297	14,6
	X–L	8,5 (T) bis 14,1	59,5
	X–K	67,0 (T) bis 82,8	32,2
	γ	261,8 (T)	32,4
	γ	560,3	7,5
Hg-197	e	12 bis 14	61
	e	52 bis 77	75
	X–L	8,5 bis 13,5	44
	X–K	67,0 bis 80,4	71
	γ	77,3	18,0
Hg-197m	e	12 bis 49	68
	e	50 bis 82	35,8
	e	116 bis 164	123,4
	X–L	8,5 bis 13,5	43
	X–K	67,0 bis 82,8	39,5
	γ	134,0	34,1

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
Au-198	β^-	406 (961)	100
	γ	411,8	95,57
Au-199	e	12	23,1
		bis 59	
	e	75,3	10,8
	e	125	29,6
		bis 158	
	β^-	87 (453)	100
	X–L	8,7	12,5
		bis 13,9	
	X–K	68,9	16,5
		bis 82,8	
	γ	158,4	36,9
	γ	208,2	8,37
Tl-201	e	12	75
		bis 32	
	e	52	36,0
		bis 84	
	X–L	8,7	40,1
		bis 14,0	
	X–K	68,9	93,4
		bis 82,8	
	γ	167,4	10,6
Hg-203	e	10	7,8
		bis 15	
	e	194	18,3
		bis 279	
	β^-	58 (212)	100
	X–L	9,0	6,0
		bis 14,4	
	X–K	70,8	13,0
		bis 85,2	
	γ	279,2	81,48
Pb-203	e	10	48
		bis 15	
	e	194	18,0
		bis 279	
	X–L	9,0	33,2
		bis 14,4	
	X–K	70,8	86,4
		bis 85,2	
	γ	279,2	80,1
Tl-204	β^-	244 (763)	97,45
Bi-207	e	13	43
		bis 62	
	e	481	2,15
		bis 569	
	e	975	9,78
		bis 1063	
	X–L	9,2	32,5
		bis 14,9	
	X–K	72,8	77,7
		bis 87,6	
	γ	569,7	97,74

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	γ	1063,7	74,5
	γ	1770,2	6,87
Po-208	α	5114,9	100
Th-229	e	12	95
		bis 39	
	e	49	68
		bis 90	
	e	102	16,2
		bis 174	
	α	4814,6	9,6
	α	4845,1	58,2
	α	4900,9	10,6
	α	4967,6	7,0
	α	5051,2	6,6
	X–L	10,6	90
		bis 18,0	
	γ	31,4	2,45
	X–K	85,4	49
		bis 103,0	
	γ	193,5	4,41
	γ	210,8	3,18
(Ra-225)	e	16 T	49
		bis 40	
	β^-	94 (362) T	28
	X–L	10,9 T	13,4
		bis 18,6	
	γ	40,3 T	29
(Ac-225)	e	15 T	57
		bis 46	
	α	5731,9 T	8,2
	α	5790,9 T	8,6
	α	5793,1 T	18,3
	α	5829,6 T	50,7
	X–L	10,4 T	20,1
		bis 17,4	
(Fr-221)	α	6126,3 T	15,1
	α	6341,0 T	83,3
	γ	218,0 T	10,9
(At-217)	α	7066,9 T	99,9
(Bi-213)	β^-	454 (1420) T	97,84
	γ	440,3 T	16,5
(Po-213)	α	8375,9 T	100
(Pb-209)	β^-	198 (645) T	100
Th-232	e	40	22,8
		bis 58	
	α	3950	23
	α	4013	77
	X–L	10,6	8,4
		bis 18,0	
(Ra-228)	β^-	7,5 (39) T	100
(Ac-228)	e	16 T	120
		bis 57	
	e	75 T	22
		bis 113	

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	β^-	391 (2079) T	100
	X–L	11,1 T	41
		bis 19,1	
	X–K	90,0 T	11,7
		bis 109,0	
	γ	338,4 T	11,26
	γ	911,2 T	26,6
	γ	964,6 T	5,05
	γ	969,0 T	16,23
	γ	1588,2 T	3,26
(Th-228)	e	65 T	24,4
		bis 84	
	α	5340,4 T	26,6
	α	5423,2 T	73,4
	X–L	10,6 T	9,1
		bis 18,0	
(Ra-224)	α	5448,6 T	5,07
	α	5685,4 T	94,91
	γ	241,0 T	4,10
(Rn-220)	α	6288,1 T	99,9
(Po-216)	α	6778,3 T	100
(Pb-212)	e	148 T	39,4
		bis 225	
	β^-	101 (573) T	100
	X–L	9,4 T	14,2
		bis 15,4	
	X–K	74,8 T	8,1
		bis 90,1	
	γ	238,6 T	43,5
	γ	300,1 T	3,25
(Bi-212)	e	24 T	25,5
		bis 36	
	β^-	768 (2246) T	64,07
	X–L	8,9 T	7,6
		bis 15,9	
	γ	727,3 T	6,69
	α	6050,8 T	25,12
	α	6089,9 T	9,74
(Po-212)	α	8784,9 T	64,07
(Tl-208)	β^-	560 (1796) T	35,93
	γ	510,8 T	8,18
	γ	583,2 T	30,6
	γ	2614,5 T	35,86
U-232	e	37	31,5
		bis 56	
	α	5264,4	31,4
	α	5320,1	68,6
	X–L	11,1	12,0
		bis 19,1	
(Th-228)	usw. s. unter Th 232		
Pa-233	e	18	21
		bis 40	
	e	53	35
		bis 104	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	e	155	41
		bis 290	
	β^-	64 (260)	100
	X–L	11,6	35,5
		bis 20,4	
	X–K	94,6	31,2
		bis 114,9	
	γ	300,1	6,63
	γ	312,0	38,63
	γ	340,5	4,50
U-233	e	11	18
		bis 41	
	α	4782,3	14,1
	α	4824,0	83,3
	X–L	11,1	6,9
		bis 19,1	
U-235	α	4214,7	6,4
	α	4366,1	17
	α	4397,8	57,0
	α	4596,4	5,6
	X–L	11,1	41
		bis 19,1	
	X–K	90,0	11,5
		bis 109,0	
	γ	143,8	10,96
	γ	163,3	5,08
	γ	185,7	57,2
	γ	205,3	5,01
(Th-231)	e	12 T	>188
		bis 38	
	e	42 T	76
		bis 79	
	β^-	79 (306) T	100
	X–L	11,4 T	96
		bis 19,8	
	γ	25,6 T	14,6
	γ	84,2 T	6,71
(Pa-231)	e	10 T	174
		bis 38	
	e	39 T	14
		bis 88	
	α	4736,0 T	8,4
	α	4951,3 T	22,8
	α	5013,8 T	25,4
	α	5028,4 T	20,0
	α	5058,6 T	11,0
	X–L	10,9 T	54
		bis 18,6	
	γ	27,4 T	11,1
(Ac-227)	e	10 T	9,1
		bis 15	
	β^-	9,6 (44) T	98,62
(Th-227)	e	11 T	142
		bis 42	

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	e	43 T	20
		bis 147	
	α	5708,8 T	8,2
	α	5756,9 T	20,1
	α	5977,7 T	23,2
	α	6038,0 T	23,9
	X–L	10,6 T	44
		bis 18,0	
	γ	50,1 T	8,4
	γ	236,0 T	11,0
	γ	256,2 T	6,6
(Ra-223)	e	15 T	25
		bis 18	
	e	24 T	39,0
		bis 56	
	e	126 T	21,6
		bis 251	
	α	5539,8 T	9,2
	α	5606,7 T	25,7
	α	5716,2 T	52,6
	α	5747,0 T	9,2
	X–L	10,1 T	22,6
		bis 16,9	
	X–K	81,1 T	49,1
		bis 97,9	
	γ	154,2 T	5,59
	γ	269,4 T	13,6
(Rn-219)	α	6425,0 T	7,5
	α	6552,6 T	12,9
	α	6819,1 T	79,4
	γ	271,1 T	9,9
	γ	401,7 T	6,64
(Po-215)	α	7386,1 T	100
(Pb-211)	β^-	447 (1373) T	100
(Bi-211)	α	6278,2 T	16,2
	α	6622,9 T	83,8
	γ	351,1 T	12,94
(Tl-207)	β^-	493 (1422) T	100
U-236	e	16	33
		bis 45	
	α	4445	26
	α	4493,5	74
	X–L	11,1	9,4
		bis 19,1	
Np-237	e	17	137
		bis 66	
	α	4644	5,9
	α	4769,2	14,3
	α	4774,2	18,1
	α	4789,8	47,6
	X–L	11,4	54,5
		bis 21,6	
	γ	29,4	15,3
	γ	86,5	12,3

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
U-238	e	16	29
		bis 46	
	α	4151	23
	α	4198	77
	X–L	11,1	8,3
		bis 19,1	
(Th-234)	e	71 T	15,6
		bis 91	
	β^-	44 (207) T	100
	X–L	11,4 T	9,7
		bis 19,8	
	γ	63,3 T	4,47
	γ	92,4 T	2,60
	γ	92,8 T	2,56
(Pa-234m)	β^-	820 (2281) T	99,87
	γ	1001,0 T	0,839
(U-234)	e	33 T	27,6
		bis 52	
	α	4722,4 T	27,5
	α	4774,6 T	72,5
	X–L	11,1 T	10,5
		bis 19,1	
(Th-230)	e	49 T	23,1
		bis 67	
	α	4620,5 T	23,4
	α	4687,0 T	76,3
	X–L	10,6 T	8,4
		bis 18,0	
(Ra-226)	α	4601 T	5,55
	α	4784,3 T	94,45
	γ	186,2 T	3,51
(Rn-222)	α	5489,5 T	99,92
(Po-218)	α	6002,4 T	99,9
(Pb-214)	e	13 T	13,7
		bis 16	
	e	37 T	15,1
		bis 87	
	e	151 T	25,6
		bis 279	
	β^-	220 (1024) T	100
	X–L	9,4 T	13,0
		bis 15,4	
	X–K	74,8 T	21,6
		bis 90,1	
	γ	241,9 T	7,12
	γ	295,1 T	18,15
	γ	351,9 T	35,1
(Bi-214)	β^-	641 (3270) T	99,98
	β^-	3270 T	17,2
	γ	609,3 T	44,6
	γ	768,4 T	4,76
	γ	1120,3 T	14,7
	γ	1238,1 T	5,78
	γ	1764,5 T	15,1

Fortsetzung T 7.30

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
	γ	2204,1 T	4,98
	γ	2447,7 T	1,55
(Po-214)	α	7686,8 T	99,99
(Pb-210)	e	30 T	72,4
		bis 43	
	β^-	6,5 (63) T	100
	X–L	9,4 T	22,7
		bis 15,5	
	γ	46,5 T	4,24
(Bi-210)	β^-	389 (1161) T	100
(Po-210)	α	5304,3 T	100
Pu-238	e	22	29,1
		bis 34	
	α	5456,3	28,6
	α	5499,0	71,4
	X–L	11,6	10,7
		bis 21,6	
Np-239	e	18	110
		bis 87	
	e	88	35,7
		bis 106	
	e	156	31,4
		bis 304	
	β^-	118 (714)	100
	X–L	12,1	56
		bis 21,6	
	X–K	99,5	50,5
		bis 121,0	
	γ	106,1	26,7
	γ	228,2	11,12
	γ	277,6	14,31
Pu-239	α	5105,8	11,5
	α	5144,3	15,1
	α	5156,6	73,3
	X–L	11,6	4,6
		bis 21,6	
Pu-240	e	23	26,6
		bis 45	
	α	5123,5	26,39
	α	5168,1	73,51
	X–L	11,6	10,5
		bis 21,6	

Radionuklid	Typ	*E* keV	*p* %
Pu-241	β^-	5,2 (20,8)	100
Am-241	e	11	100
		bis 54	
	α	5442,8	13,3
	α	5485,6	85,1
	X–L	11,9	38,4
		bis 21,0	
	γ	26,3	2,4
	γ	59,5	36,0
Pu-242	e	23	25,5
		bis 45	
	α	4858,1	21
	α	4902,3	79
	X–L	11,6	8,7
		bis 21,6	
Cm-242	e	21	26,1
		bis 44	
	α	6069,4	25,9
	α	6112,7	74,1
	X–L	12,1	11
		bis 22,9	
Am-243	e	21	51
		bis 76	
	α	5233,3	11,0
	α	5275,3	87,4
	X–L	11,9	39
		bis 21,0	
	γ	43,5	5,94
	γ	74,7	67,4
Cm-244	e	20	23,3
		bis 43	
	α	5762,2	23,6
	α	5804,8	76,4
	X–L	12,1	9,4
		bis 22,9	
Cf-252	e	19	18,3
		bis 39	
	α	6075,6	15,5
	α	6118,1	84,3
	X–L	12,1	6,3
		bis 22,9	

7.31 Zerfallsreihen von natürlichen Radionukliden – *Decay series of natural radionuclides* (K. Debertin)

7.31a Diagramme

N-Z \ Z	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
54	Uran-Radium-Reihe ($A = 4n + 2$)									Th-234 24,1 d	←	U-238 $4,5 \cdot 10^9$ a
52											Pa-234m 1,2 min	
50		Pb-214 26,8 min	←	Po-218 3,05 min	←	Rn-222 3,82 d	←	Ra-226 1600 a	←	Th-230 $7,5 \cdot 10^4$ a	←	U-234 $2,45 \cdot 10^5$ a
48			Bi-214 19,9 min									
46		Pb-210 22,3 a	←	Po-214 165 µs					α ←		β^-	
44			Bi-210 5,0 d									
42		Pb-206 stabil	←	Po-210 138,4 d								
51	Uran-Actinium-Reihe ($A = 4n + 3$)									Th-231 25,5 h	←	U-235 $7,0 \cdot 10^8$ a
49									Ac-227 21,8 a	←	Pa-231 $3,3 \cdot 10^4$ a	
47		Pb-211 36,1 min	←	Po-215 1,8 ms	←	Rn-219 3,96 s	←	Ra-223 11,4 d	←	Th-227 18,7 d		
45	Tl-207 4,8 min	←	Bi-211 2,2 min									
43		Pb-207 stabil										
52	Thorium-Reihe ($A = 4n$)							Ra-228 5,75 a	←	Th-232 $1,4 \cdot 10^{10}$ a		
50									Ac-228 6,15 h			
48		Pb-212 10,6 h	←	Po-216 0,15 s	←	Rn-220 55,6 s	←	Ra-224 3,66 d	←	Th-228 1,91 a		
46	Tl-208 3,05 min	36% ←	Bi-212 60,6 min	64%								
44		Pb-208 stabil	←	Po-212 0,3 µs								

7.31b Zeitlicher Anstieg der Aktivität von Folgeprodukten

Die Formeln gelten für den Fall, daß zur Zeit $t = 0$ nur das jeweilige Ausgangsnuklid vorliegt; handelt es sich bei der Ausgangssubstanz um ein Gemisch, so sind die aus jedem einzelnen Nuklid genetisch entstandenen Aktivitäten des betreffenden Folgeprodukts gesondert zu berechnen und zu addieren. Die Aktivitäten der Ausgangsnuklide beziehen sich auf den Zeitpunkt $t = 0$. Die Indizes von A und λ entsprechen der lfd. Nr. in der Halbwertszeittabelle der Zerfallsreihe. Es gilt $\lambda = (\ln 2)/T_{1/2} = 0{,}639/T_{1/2}$.

Uran-Radium-Reihe:

lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$		lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$	
1	U-238	$4{,}468 \cdot 10^9$	a	8	Po-218	3,05	min
2	Th-234	24,10	d	9	Pb-214	26,8	min
3	Pa-234	1,17	min	10	Bi-214	19,9	min
4	U-234	$2{,}454 \cdot 10^5$	a	11	Po-214	$1{,}65 \cdot 10^{-4}$	s
5	Th-230	$7{,}538 \cdot 10^4$	a	12	Pb-210	22,3	a
6	Ra-226	$1{,}60 \cdot 10^3$	a	13	Bi-210	5,013	d
7	Rn-222	3,8235	d	14	Po-210	138,4	d

[1]) U = ^{238}U und ^{234}U im Gleichgewicht.

^{230}Th aus U[1]): $A_5 = A_1\,(1 - e^{-\lambda_5 t})$

^{226}Ra aus ^{230}Th: $A_6 = A_5 \cdot 1{,}022(e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_6 t})$

^{226}Ra aus U[1]): $A_6 = A_1\,(1 - 1{,}022\,e^{-\lambda_5 t} + 0{,}022\,e^{-\lambda_6 t})$

^{222}Rn aus ^{226}Ra: $A_7 = A_6\,(1 - e^{-\lambda_7 t})$

^{218}Po aus ^{222}Rn: $A_8 = A_7 \cdot 1{,}0006(e^{-\lambda_7 t}t - e^{-\lambda_8 t})$

^{214}Pb aus ^{222}Rn: $A_9 = A_7\,(1{,}0055\,e^{-\lambda_7 t} + 0{,}1285\,e^{-\lambda_8 t} - 1{,}134\,e^{-\lambda_9 t})$

^{214}Bi aus ^{222}Rn: $A_{10} = A_7\,(1{,}009\,e^{-\lambda_7 t} - 0{,}0233\,e^{-\lambda_8 t} - 4{,}404\,e^{-\lambda_9 t} + 3{,}418\,e^{-\lambda_{10} t})$

^{214}Bi aus ^{218}Po: $A_{10} = A_8\,(0{,}023\,e^{-\lambda_8 t} + 0{,}499\,e^{-\lambda_9 t} - 0{,}522\,e^{-\lambda_{10} t})$

^{214}Bi aus ^{214}Pb: $A_{10} = A_9 \cdot 3{,}88(e^{-\lambda_9 t} - e^{-\lambda_{10} t})$

^{210}Pb aus ^{222}Rn: $A_{12} = A_7 \cdot 0{,}00047(e^{-\lambda_{12} t} - e^{-\lambda_7 t})$

^{210}Pb aus ^{226}Ra: $A_{12} = A_6\,(1{,}0141\,e^{-\lambda_6 t} + 0{,}0005\,e^{-\lambda_7 t} - 1{,}0146\,e^{-\lambda_{12} t})$

^{210}Pb aus ^{230}Th: $A_{12} = A_5\,(1{,}022\,e^{-\lambda_5 t} - 1{,}036\,e^{-\lambda_6 t} + 0{,}014\,e^{-\lambda_{12} t})$

^{210}Pb aus U[1]): $A_{12} = A_1\,(1 - 1{,}022\,e^{-\lambda_5 t} + 0{,}022\,e^{-\lambda_6 t})$

^{210}Po aus ^{210}Pb: $A_{14} = A_{12}\,(1{,}0179\,e^{-\lambda_{12} t} + 0{,}0376\,e^{-\lambda_{13} t} - 1{,}0555\,e^{-\lambda_{14} t})$

^{210}Po aus ^{222}Rn: $A_{14} = A_7 \cdot 10^{-4}(-0{,}429\,e^{-\lambda_7 t} + 4{,}780e^{-\lambda_{12} t} + 0{,}744\,e^{-\lambda_{13} t} - 5{,}095\,e^{-\lambda_{14} t})$

^{210}Po aus ^{226}Ra: $A_{14} = A_6\,(1{,}0144\,e^{-\lambda_6 t} - 1{,}0317\,e^{-\lambda_{12} t} + 0{,}0173\,e^{-\lambda_{14} t})$

Uran-Actinium-Reihe:

lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$		lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$	
1	U-235	$7{,}037 \cdot 10^8$	a	7	Rn-219	3,96	s
2	Th-231	25,5	h	8	Po-215	1,78	ms
3	Pa-231	$3{,}276 \cdot 10^4$	a	9	Pb-211	36,1	min
4	Ac-227	21,77	a	10	Bi-211	2,17	min
5	Th-227	18,72	d	11	Tl-207	4,77	min
6	Ra-223	11,43	d				

Fortsetzung T 7.31b

^{231}Pa aus ^{235}U: $A_3 = A_1\,(1 - e^{-\lambda_3 t})$

^{227}Ac aus ^{231}Pa: $A_4 = A_3 \cdot 1,001(e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_4 t})$

^{227}Ac aus ^{235}U: $A_4 = A_1\,(1 - 1,001\,e^{-\lambda_3 t} + 0,001\,e^{-\lambda_4 t})$

^{227}Th aus ^{227}Ac: $A_5 = A_4 \cdot 0,988(e^{-\lambda_4 t} - e^{-\lambda_5 t})$

^{227}Th aus ^{231}Pa: $A_5 = A_3 \cdot 0,986(1,001\,e^{-\lambda_3 t} - 1,003\,e^{-\lambda_4 t} + 0,002\,e^{-\lambda_5 t})$

^{223}Ra aus ^{227}Th: $A_6 = A_5 \cdot 2,57(e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_6 t})$

^{223}Ra aus ^{227}Ac: $A_6 = A_4\,(1,004\,e^{-\lambda_4 t} - 2,574\,e^{-\lambda_5 t} + 1,570\,e^{-\lambda_6 t})$

^{211}Pb aus ^{219}Rn: $A_9 = A_7 \cdot 0,00183(1 - e^{-\lambda_7 t})$

^{211}Pb aus ^{223}Ra: $A_9 = A_6\,(1,002\,e^{-\lambda_6 t} + 0,002\,e^{-\lambda_7 t} - 1,004\,e^{-\lambda_9 t})$

^{211}Bi aus ^{211}Pb: $A_{10} = A_9 \cdot 1,064(e^{-\lambda_9 t} - e^{-\lambda_{10} t})$

^{211}Bi aus ^{223}Ra: $A_{10} = A_6\,(1,002\,e^{-\lambda_6 t} - 1,066\,e^{-\lambda_9 t} + 0,064\,e^{-\lambda_{10} t})$

Thorium-Reihe:

lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$		lfd. Nr.	Nuklid	$T_{1/2}$	
1	Th-232	$1,405 \cdot 10^{10}$	a	7	Po-216	0,15	s
2	Ra-228	5,75	a	8	Pb-212	10,64	h
3	Ac-228	6,15	h	9	Bi-212	60,55	min
4	Th-228	1,912	a	10	Po-212	0,298	µs
5	Ra-224	3,66	d	11	Tl-208	3,053	min
6	Rn-220	55,6	s				

^{228}Ra aus ^{232}Th: $A_2 = A_1\,(1 - e^{-\lambda_2 t})$

^{228}Th aus ^{228}Ra: $A_4 = A_2 \cdot 1,499(e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_4 t})$

^{228}Th aus ^{232}Th: $A_4 = A_1\,(1 - 1,499\,e^{-\lambda_2 t} + 0,499\,e^{-\lambda_4 t})$

^{224}Ra aus ^{228}Th: $A_5 = A_4 \cdot 1,005(e^{-\lambda_4 t} - e^{-\lambda_5 t})$

^{224}Ra aus ^{228}Ra: $A_5 = A_2\,(1,501\,e^{-\lambda_2 t} - 1,506\,e^{-\lambda_4 t} + 0,005\,e^{-\lambda_5 t})$

^{212}Pb aus ^{220}Rn: $A_8 = A_6 \cdot 0,00145(1 - e^{-\lambda_6 t})$

^{212}Pb aus ^{228}Th: $A_8 = A_4\,(1,006\,e^{-\lambda_4 t} - 1,144\,e^{-\lambda_5 t} + 0,138\,e^{-\lambda_8 t})$

^{212}Bi aus ^{212}Pb: $A_9 = A_8 \cdot 1,105(e^{-\lambda_8 t} - e^{-\lambda_9 t})$

^{212}Bi aus ^{220}Rn: $A_9 = A_6 \cdot 0,001(0,022\,e^{-\lambda_6 t} + 1,607\,e^{-\lambda_8 t} - 1,629\,e^{-\lambda_9 t})$

^{212}Bi aus ^{228}Th: $A_9 = A_4\,(1,006\,e^{-\lambda_4 t} - 1,157\,e^{-\lambda_5 t} + 0,152\,e^{-\lambda_8 t} - 0,001\,e^{-\lambda_9 t})$

^{208}Tl aus ^{212}Bi: $A_{11} = A_9 \cdot 0,378(e^{-\lambda_9 t} - e^{-\lambda_{11} t})$

^{208}Tl aus ^{212}Pb: $A_{11} = A_8 \cdot 0,359(1,110\,e^{-\lambda_8 t} - 1,163\,e^{-\lambda_9 t} + 0,053\,e^{-\lambda_{11} t})$

^{208}Tl aus ^{224}Ra: $A_{11} = A_5 \cdot 0,359(1,151\,e^{-\lambda_5 t} - 1,257\,e^{-\lambda_8 t} + 0,106\,e^{-\lambda_9 t})$

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 8

Struktur und Eigenschaften der Materie
– Structure and properties of matter
Redakteur: A. Scharmann

8.01 Verschiedene Eigenschaften von Festkörpern – *Various properties of solids* (W. Hemminger) 529

8.02 Verschiedene Eigenschaften von Flüssigkeiten – *Various properties of liquids* (W. Hemminger) 532

8.03 Verschiedene Eigenschaften von Gasen – *Various properties of gases* (W. Blanke) 534

8.04 Abschätzung typischer Intensitäten von Molekularstrahlquellen in Strahlrichtung als Funktion der Molekülenergie – *Estimate of typical intensities of molecular beam sources within the beam direction as a function of the energy of molecules* (K.-H. Schartner) 540

8.05 Die sieben Kristallsysteme und die vierzehn Bravais-Gitter – *The seven crystal systems and the fourteen Bravais lattices* (H. Bradaczek u. G. Hildebrandt) 540

8.06 Kristallstruktur der wichtigsten Elemente und einfacher chemischer Verbindungen – *Crystal structure of the most important elements and of simple chemical compounds* (H. Bradaczek u. G. Hildebrandt) 541

8.07 Relativistisch korrigierte de Broglie-Wellenlängen λ des Elektrons im Energiebereich $E = 10^2$ bis 10^7 eV – *Relativistically corrected de Broglie wavelengths λ for electrons of energies between 10^2 and 10^7 eV* (R. Lauer) 544

8.08 Neutronenstreulängen und Wirkungsquerschnitte – *Neutron scattering lengths and cross sections* (V.F. Sears u. R. Scherm) 544

8.09 Teilchenausbeuten beim Ionenbeschuß von Festkörpern – *Particle yields from ion-bombarded solids* (H. Oechsner) 555

8.09a Gesamtausbeuten Y_{tot} (Atome/Ion) bei der Festkörperzerstäubung durch Ionenbeschuß (Sputtering) – *Total sputtering yields Y_{tot} of solids (atoms/ion)* 555

8.09b Sekundärionenausbeuten Y_{Me^+} (Me^+-Ionen/Primärion) an reinen und oxidierten Metalloberflächen beim Beschuß mit Ar^+-Ionen von 2,5 keV unter 70° gegen die Flächennormale (nach Benninghoven) – *Secondary ion yields Y_{Me^+} (Me^+ ions/primary ion) at clean and at oxidized metal surfaces under bombardment with* 2,5 keV Ar^+*-ions under* 70° *with respect to the normal (of the surface)* (H. Oechsner) 555

8.10 Ioneninduzierte Elektronenausbeuten γ für reine polykristalline Targets bei senkrechtem Beschuß mit Ar^+-Ionen von 1 keV – *Ion induced electrons yields from clean polycrystalline targets under normal bombardment with Ar^+-ions of* 1 keV (H. Oechsner) 556

8.11 Elektronenaustrittsarbeit Φ von verschiedenen Elementen (polykristalline Proben) in eV (nach Michaelson und Hölzl u. Schulte) – *Electronic work function Φ of different elements (polycrystalline samples) in* eV (H. Jahrreiss) 556
8.12 Elektronenaustrittsarbeiten Φ_{hkl} in eV aus bestimmten niedrig indizierten Netzebenen von Einkristallen ausgewählter Metalle – *Electronic work function Φ_{hkl} in* eV *of single-crystalline metals measured in the direction of low-index planes* (H. Jahrreiss) 557
8.13 Elektronenaustrittsarbeiten fremdstoffbedeckter und oxidierter Metalle in eV (nach Herrmann u. Wagener und Kluge) – *Electronic work function of impurity-covered and of oxidized metals in* eV (H. Jahrreiss) 557
8.14 Kernmagnetische Momente und Spinresonanzdaten – *Nuclear magnetic moments and spin resonance data* (A. Hofstaetter) 557
8.15 Ionenleitfähigkeiten Λ_∞^+, Λ_∞^- in wässeriger Lösung – *Ionic conductivities Λ_∞^+, Λ_∞^- in aqueous solutions* (W. Seidel) 568
8.16 Leitfähigkeit von Salzschmelzen – *Conductivity of molten salts* (W. Seidel) 568
8.17 Überführungszahlen t_i der Ionen in festen Leitern – *Transference numbers t_i of ions in solid conductors* (W. Seidel) 569
8.18 Spezifische Leitfähigkeit wässeriger KCl-Lösungen – *Specific conductivities of aqueous* KCl-*solutions* (W. Seidel) 570
8.19 Standard-Redoxpotentiale in wäßrigem Elektrolyten in V (bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode) – *Standard potentials in aqueous solution in* V (*vs. the standard hydrogen electrode*) (B. Kastening) 570
8.20 Nulladungspotentiale in V (gegen die Standard-Wasserstoffelektrode) – *Potentials of zero charge in* V (*vs. the standard hydrogen electrode*) (B. Kastening) 571
8.21 Kinetische Daten ausgewählter Redox-Reaktionen an verschiedenen Metallen in wäßriger Lösung – *Kinetic data of selected redox reactions at various metals in aqueous solutions* (B. Kastening) 572
8.22 Permittivitätszahlen und Verlustfaktoren wichtiger Isolierstoffe bei Raumtemperatur, falls nicht anders angegeben – *Permittivities and loss factors of important insulating materials at room temperature* (P. Thoma) 573
8.23 Permittivitätszahlen der wichtigsten Ionenkristalle – *Permittivities of the most important ionic crystals* (P. Thoma) 577
8.24 Die thermoelastodielektrischen Materialkonstanten zweiter Ordnung mit Darstellung ihres Zusammenhangs durch das Heckmann-Diagramm – *The thermoelastodielectric material constants of second order with a representation of their interrelation by means of the Heckmann diagram* (P. Thoma) 578
8.25 Fermi-Energie E_F einiger Metalle – *Fermi energy E_F of some metals* (E.Braun) 579
8.26 Spezifischer elektrischer Widerstand ϱ_0 bei 0 °C, Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes α und Debye-Temperatur Θ_D von reinen Metallen – *Electrical resistivity ϱ_0 at* 0 °C, *temperature coefficient of the resistivity α and Debye temperature Θ_D of pure metals* (E.Braun) 579
8.27 Atomare Widerstandserhöhung $\Delta\varrho_{At}$ und $\Delta\varrho'_{At}$ für verschiedene in Kupfer gelöste Metalle – *Atomic resistivity increase $\Delta\varrho_{At}$ und $\Delta\varrho'_{At}$ of different metals dissolved in copper* (E. Braun) 580
8.28 Grüneisen-Funktion $G(\vartheta)$ – *Grüneisen function $G(\vartheta)$* (E. Braun) 581

8.29 Mittlere Druckkoeffizienten des elektrischen Widerstandes γ_p in 10^{-11} m^2/N für Drücke bis zu $7 \cdot 10^8$ N/m^2 bei 0 °C – *Mean pressure coefficients of the electrical resistivity* γ_p *in* 10^{-11} m^2/N *for pressures up to* $7 \cdot 10^8$ N/m^2 *at* 0 °C (E.Braun) 582
8.30a Die thermoelektrische Spannungsreihe – *Thermoelectric series* (E. Braun) 582
8.30b Thermospannungen in mV nach DIN 43710 für einige gebräuchliche Thermoelemente– *Thermoelectric voltages in* mV *according to* DIN 43710 *for some common thermocouples* (E.Braun) 582
8.31 Kenndaten von Supraleitern – *Properties of superconductors* (E. Braun) . 584
8.31a Supraleitende Elemente – *Superconducting elements* 584
8.31b Supraleitende Verbindungen und Legierungen vom Typ II mit hohen kritischen Flußdichten – *Type* II *superconducting compounds and alloys* . . . 584
8.31c Hochtemperatur-Supraleiter – *High temperature superconductors* 584
8.32 Kenndaten von Halbleitern – *Properties of semiconductors* (E. Braun) . . 585
8.32a Elementare Halbleiter – *Elementary semiconductors* 586
8.32b III-V-Verbindungen – III-V *compounds* 586
8.32c II-VI-Verbindungen – II-VI *compounds* 587
8.32d Sonstige Halbleiter – *Other semiconductors* 588
8.33 Fachglossar „Technische Acronyme“ der Materialkunde (P. Thoma) . . . 589

8.01 Verschiedene Eigenschaften von Festkörpern*) – *Various properties of solids* (W. Hemminger)

Dichte ϱ, mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient α, spezifische Wärmekapazität c_p, Schmelzpunkt t_F, molare Schmelzenthalpie $\Delta H_{F,m}$, Siedepunkt t_B (bei 101325 Pa), molare Verdampfungsenthalpie $\Delta H_{V,m}$ am normalen Siedepunkt.

Lfd. Nr.	Stoff	Symbol oder Formel	ϱ bei 20 °C in g/cm³	$10^6\alpha$ zwischen 0 u. 100 °C in K^{-1}	c_p bei 25 °C in $Jg^{-1}K^{-1}$	t_F in °C	$\Delta H_{F,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$	t_B in °C	$\Delta H_{V,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$
1	Actinium	Ac	10,06		0,24	1050	10,46	3200	
2	Aluminium	Al	2,702	23,8	0,9	660,3	10,71	2447	294,1
3	Antimon	Sb	6,69	10,9	0,21	630,6	20,33	1637	128,2
4	Barium	Ba	3,51	18	0,19	710	7,66	1637	150,9
5	Beryllium	Be	1,85	12,3	1,82	1283	12,53	2477	294
6	Bismut	Bi	9,80	13,5	0,12	271,4	11,13	1560	151,5
7	Blei	Pb	11,34	29,4	0,13	327,4	4,77	1751	179,5
8	Bor	B	2,34 (amorph)	8,3	1,03	2030	(15,5)	3900	~314
9	Cadmium	Cd	8,65	29,4	0,23	321,1	6,29	765	99,9
10	Caesium	Cs	1,873	97	0,24	28,64	2,18	685	65,9
11	Calcium	Ca	1,55	25,2[1])	0,65	850	18,66	1487	150,9
12	Cer	Ce	6,77		0,21	797	12,80	3426	313,8
13	Chrom	Cr	6,93	6,6	0,45	1860	14,56	2642	348,4
14	Cobalt	Co	8,9	12,6	0,42	1495	15,3	2880	389,8
15	Eisen	Fe	7,87	12	0,45	1538	15,47	2750	354,1
16	Gallium	Ga	5,91	18	0,42	29,76	5,57	2227	253,8
17	Germanium	Ge	5,33	6	0,32	937,2	29,76	2830	333,9
18	Gold	Au	19,29	14,3	0,12	1064	12,77	2707	325,0
19	Hafnium	Hf	13,36	6,6	0,14	2220	21,8	(4602)	661,3
20	Indium	In	7,36	30	0,23	156,6	3,28	2047	226,2
21	Iridium	Ir	22,42	6,5	0,13	2446	27,63	4350	749,7
22	Jod	I_2	4,93	83	0,43	113,6	15,77	182,8	41,71
23	Kalium	K	0,86	84[2])	0,75	63,25	2,33	753,8	77,42
24	Kohlenstoff (amorph)	C	1,8 bis 2,1			subl. 3650			
	Graphit		2,25	7,9	0,71	subl. 3650			
	Diamant		3,51	1,3	0,5	>3550			

*) Die hier aufgeführten Stoffwerte hängen beträchtlich von der Reinheit der Stoffe ab. [1]) 20 °C bis 100 °C, [2]) 0 °C bis 50 °C.

Fortsetzung T 8.01

Lfd. Nr.	Stoff	Symbol oder Formel	ϱ bei 20 °C in g/cm³	$10^6\alpha$ zwischen 0 u. 100 °C in K^{-1}	c_p bei 25 °C in $Jg^{-1}K^{-1}$	t_F in °C	$\Delta H_{F,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$	t_B in °C	$\Delta H_{V,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$
25	Kupfer	Cu	8,96	16,8	0,386	1085	13,03	2595	304,4
26	Lanthan	La	6,16	4,9[3])	0,200	920	6,7	3457	393
27	Lithium	Li	0,534	56	3,406	180,5	3,01	1330	148,1
28	Lutetium	Lu	9,84		0,119	1663	19	3395	
29	Magnesium	Mg	1,74	26,0	1,025	649,5	8,95	1120	131,8
30	Mangan	Mn	7,43	23	0,479	1244	14,61	2095	224,8
31	Molybdän	Mo	10,22	5,1	0,247	2623	27,82	~ 4800	594
32	Natrium	Na	0,97	71	1,226	97,79	2,60	883	89,30
33	Neodym	Nd	7,01	6,7[4])	0,188	1020	10,67	3100	296
34	Nickel	Ni	8,91	13	0,444	1455	17,79	2800	380,3
35	Niob	Nb	8,55	7,3	0,268	2473	26,76	~ 4900	696,8
36	Osmium	Os	22,48	6,6	0,131	3045	27,96	~ 4400	~ 630
37	Palladium	Pd	12,02	11,9	0,244	1555	17,24	3560	372,6
38	Phosphor, weiß	P	1,82	124	0,797	44,2	2,51[+])	281	12,39
	schwarz		2,69						
39	Platin	Pt	21,45	9,1	0,132	1768	21,66	4300	446,8
40	Polonium	Po	9,4		0,126	254	(10,05)	962	(103)
41	Radium	Ra	5,0		0,121	700	(8,30)	(1530)	136,9
42	Rhenium	Re	21,04	6,6	0,137	3180	33,11	~ 5600	707
43	Rhodium	Rh	12,5	8,5	0,248	1962	22,43	3960	531
44	Rubidium	Rb	1,53	90	0,361	39,27	2,20	701	75,22
45	Ruthenium	Ru	12,3	9,6	0,236	2333	~ 26	4110	~ 568
46	Scandium	Sc	2,99		0,490	1538	16,74	2830	~ 330
47	Schwefel, monokl. (β)	S_8	1,96		0,737	119,0	1,718	444,6	90,57
	rhomb. (α)	S_8	2,07		0,705	112,8			
48	Selen (grau)	Se	4,79	37	0,321	217,4	5,42	684,9	95,48
49	Silber	Ag	10,5	19,7	0,235	961,8	11,27	2180	253,5
50	Silicium	Si	2,33	7,6	0,705	1423	46,47	2355	394,6
51	Strontium	Sr	2,67		0,287	770	9,20	1367	139,3
52	Tantal	Ta	16,6	6,5	0,141	2996	31,49	~ 5400	752,7
53	Tellur (amorph)	Te	6,00	17,2	0,201	449,5	17,49	989,8	114,1
54	Thallium	Tl	11,85	29,4	0,129	303,5	4,21	1457	162,5

[3]) 0 °C bis 25 °C, [4]) 0 °C bis 25 °C. [+]) für P_4.

Fortsetzung T 8.01

Lfd. Nr.	Stoff	Symbol oder Formel	ϱ bei 20 °C in g/cm³	$10^6\alpha$ zwischen 0 u. 100 °C in K^{-1}	c_p bei 25 °C in $Jg^{-1}K^{-1}$	t_F in °C	$\Delta H_{F,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$	t_B in °C	$\Delta H_{V,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$
55	Thorium	Th	11,7	10,5	0,118	1695	15,64	4200	543,0
56	Titan	Ti	4,51	8,35	0,523	1669	15,52	3287	430,0
57	Uran	U	19,1	15,3	0,116	1132	19,71	3930	411,8
58	Vanadium	V	6,12	8,3	0,483	1890	17,5	~ 3380	458
59	Wolfram	W	19,27	4,5	0,135	3418	35,30	~ 5500	799,8
60	Yttrium	Y	4,47		0,298	1523	17,16	3338	393,0
61	Zink	Zn	7,13	26,3	0,389	419,5	7,26	907	114,7
62	Zinn (grau)	Sn	α5,75		0,217	231,9	} 7,17	2687	290,8
	(weiß)		β7,28	27	0,227	231,9			
63	Zirconium	Zr	6,5	4,8	0,276	1854	19,98	~ 4380	582,0
64	Benzoesäure	C_6H_5COOH	1,266		1,204	122,76	17,71	249,1	
65	Benzophenon	$C_6H_5COC_6H_5$	1,108			48,1	20,05	305,9	
66	Biphenyl	$C_{12}H_{10}$	1,16			70,5	18,60	255,9	47,9
67	Kaliumchlorid	KCl	1,984	33	0,690	772	25,50	1413	161,5
68	Kaliumnitrat	KNO_3	2,109	78	0,953	337	10,82	~ 400	
69	Naphthalin	$C_{10}H_8$	1,168	94	1,295	80,5	18,97	218,8	40,25
70	Natriumchlorid	NaCl	2,163	40	0,869	800	29,22	1460	169,5
71	Natriumnitrat	$NaNO_3$	2,257		1,095	306	15,30	380	
72	Natriumsulfat	Na_2SO_4	2,698		0,921	884	26,99		
73	Phenol	C_6H_5OH	1,058	290	1,434	40,8	11,48	181,7	47,99
74	Rohrzucker (Saccharose)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1,59	83	1,242	186	19,17		
75	Stearinsäure	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	0,94	70	1,66	71,2	56,9	374	66,0

Literatur: D'Ans, J.; Lax, E. (1967 u. 1983): Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Bd. I u. II. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; CRC (1981 bis 1982): CRC-Handbook of Chemistry and Physics, 62rd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; Kaye, G.W.C; Laby, T.H. (1973): Tables of Physical and Chemical Constats, 14th ed. London: Longman.

8.02 Verschiedene Eigenschaften von Flüssigkeiten*) – *Various properties of liquids* (W. Hemminger)

Dichte ϱ, Volumenausdehnungskoeffizient α_V, Oberflächenspannung σ, spezifische Wärmekapazität c_p, Schmelzpunkt t_F, molare Schmelzenthalpie $\Delta H_{F,m}$, Siedepunkt t_B bei 101325 Pa, seine Erhöhung dT_B/dp durch

Lfd. Nr.	Flüssigkeit	Formel+	ϱ bei 20 °C in kg/m³	$10^3\ \alpha_V$ bei 20 °C in K⁻¹	σ bei 20 °C in mN · m⁻¹
1	Acetaldehyd (Ethanal)	CH_3CHO	782,0		21,2
2	Aceton (2-Propanon)	CH_3COCH_3	791,0	1,49	23,3
3	Ameisensäure	$HCOOH$	1220,0	1,02	37,6
4	Amylalkohol, Iso-(3-Methyl-1-Butanol)	$(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$	809,0	0,93	24,3
5	Amylalkohol, n- (1-Pentanol)	$CH_3(CH_2)_4OH$	815,0	0,90	25,6
6	Anilin	$C_6H_5NH_2$	1022,0	0,84	43,3
7	Benzol	C_6H_6	878,0	1,23	28,9
8	Brom	Br_2	3120,0	1,13	41,5
9	Bromoform	$CHBr_3$	2890,0	0,91	41,6
10	Butylalkohol, Iso-(2-Methyl-1-Propanol)	$(CH_3)_2CHCH_2OH$	802,0	0,94	23,0
11	Butylalkohol, n- (1-Butanol)	$CH_3(CH_2)_3OH$	809,4		24,6
12	Chinolin (Benzopyridin)	$\underbrace{C_6H_4CH{=}CHCH{=}N}$	1090,0		45,6
13	Chlorbenzol	C_6H_5Cl	1106,4	0,98	33,5
14	Chloroform (Trichlormethan)	$CHCl_3$	1489,0	1,28	27,3
15	Chlortoluol, m-	$CH_3C_6H_4Cl$	1072,0		33,4
16	Cyanwasserstoff	HCN	688,0	1,93	17,9
17	Cyclohexan	$\underbrace{CH_2(CH_2)_4CH_2}$	778,4	1,20	25,0
18	Decalin, cis- (cis-Decahydronaphthalin)	$C_{10}H_{18}$	897,0	0,86	
19	Decalin, trans- (trans-Decahydronaphthalin)	$C_{10}H_{18}$	870,0		
20	Diethylether	$C_2H_5OC_2H_5$	714,0	1,62	17,1
21	Dioxan, 1,4-	$\underbrace{OCH_2CH_2OCH_2CH_2}$	1034,0	1,094	33,7
22	Essigsäure	CH_3COOH	1049,0	1,07	27,4
23	Ethylacetat (Essigsäureethylester)	$CH_3COOC_2H_5$	925,0	1,38	23,9
24	Ethylalkohol (Ethanol)	CH_3CH_2OH	789,2	1,10	22,3
25	Ethylbenzoat (Benzoesäureethylester)	$C_6H_5COOC_2H_5$	1047,0	0,88	35,3
26	Glycerin (1,2,3-Propantriol)	$CH_2CHCH_2(OH)_3$	1261,0	0,47	63,4
27	Heptan, n-	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	686,8	1,244	20,3
28	Hexan, n-	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	659,5	1,35	18,4
29	Methylalkohol (Methanol)	CH_3OH	791,5	1,20	22,6
30	Methylacetat (Essigsäuremethylester)	CH_3COOCH_3	934,0		24,5
31	Methylenchlorid (Dichlormethan)	CH_2Cl_2	1325,5	1,37	26,5
32	Nitrobenzol	$C_6H_5NO_2$	1203,1	0,83	43,3
33	Octan, n-	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	702,7	1,14	21,8
34	Pentan, Iso- (2-Methyl-Butan)	$CH_3CH_2CH(CH_3)_2$	619,7	1,54	13,7
35	Pentan, n-	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	625,9	1,61	16,0
36	Propylalkohol, Iso- (2-Propanol)	$(CH_3)_2CHOH$	785,1	1,06	21,4
37	Propylalkohol, n- (1-Propanol)	$CH_3(CH_2)_2OH$	803,5	0,99	23,7
38	Pyridin	C_5H_5N	983,0	1,122	37,2
39	Quecksilber	Hg	13545,9	0,1819	465
40	Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffdisulfid)	CS_2	1263,0	1,18	32,2
41	Stickstofftetraoxid	N_2O4	1447,0		27,5
42	Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff)	CCl_4	1593,7	1,23	26,8
43	Tetralin (Tetrahydronaphthalin)	$\underbrace{C_6H_4(CH_2)_3CH_2}$	970,0	0,78	35,4
44	Toluol	$C_6H_5CH_3$	866,9	1,11	28,5
45	Trichlormonofluormethan R 11	CCl_3F	1488,0		18
46	Trichlortrifluorethan R 113	$C_2Cl_3F_3$	1576,0		19
47	Wasser, normales	H_2O	998,2	0,207	72,75
48	Wasser, schweres	D_2O	1105,3		
49	Xylol, o-	$C_6H_4(CH_3)_2$	877,7	0,97	30,1
50	Xylol, m-	$C_6H_4(CH_3)_2$	864,2	0,99	28,6
51	Xylol, p-	$C_6H_4(CH_3)_2$	861,0		28,4

*) Die hier aufgeführten Stoffwerte hängen beträchtlich von der Reinheit der Stoffe ab.

+) Vereinfachte Strukturformel

Literatur: Siehe Tab. T 8.01

Druckänderung um 1 kPa, molare Verdampfungswärme $\Delta H_{V,m}$ am normalen Siedepunkt, kritische Größen t_k, p_k und ϱ_k, Dielektrizitätszahl ε_r.

Lfd. Nr.	c_p bei 25 °C in $Jg^{-1}\,K^{-1}$	t_F in °C	$\Delta H_{F,m}$ in $kJ \cdot mol^{-1}$	t_B in °C	dT_B/dp in $K \cdot (kPa)^{-1}$	$\Delta H_{V,m}$ t_k in $kJ \cdot mol^{-1}$	kritische Größen p_k in °C	ϱ_k in M Pa	in g/cm^3	ε_r bei 200 °C
1	1,26	−123, 5	3,23	20,2	0,263	25,73	187,8	5,54		14,8
2	2,15	−94, 9	5,69	56,3	0,289	30,43	235,5	4,72	0,273	21,4
3	2,15	8, 4	12,70	100,6	0,301	19,88				58[1])
4	2,24	−117, 2		120	0,256		309,8			15,6
5	2,37	−78, 9	9,79	138,1	0,278	44,34				15,0
6	2,05	−6, 1	10,52	184,4	0,383	45,1	425,6	5,30	0,340	6,89
7	1,74	−5, 53	9,99	80,08	0,320	30,78	288,9	4,9	0,308	2,284
8	0,47	−7, 2	10,84	58,8	0,278	29,25	311	10,34	1,184	3,09
9	0,53	8, 3	11,63	149,5	0,367					4,39
10	2,43	−114, 7		108,0	0,270	45,66	277	4,30		18,1
11	2,42	−89, 8	9,27	117,5	0,279	46,32	289,8	4,4		17,8
12	1,53	−19, 5	10,81	237,7	0,427		508,8			8,7
13	1,33	−45, 2	9,88	131,8	0,367	36,81	359,2	4,52	0,365	5,708
14	0,97	−63, 5	8,95	61,3	0,296	33,31	263,4	5,47	0,497	4,806
15	1,32	−47, 8		162	0,390					5,55
16	2,63	−13, 24	8,41	25,69	0,191	25,27	183,5	5,39	0,195	114,9
17	1,85	6, 55		80,72	0,326		280,4	4,05	0,273	2,023
18	1,68	−43, 3	14,38	194,6	0,428	41,06	418	2,91		2,22
19	1,65	−31, 5		185,5	0,424		408	2,91		2,18
20	2,31	−116, 3	7,19	34,4	0,279	26,54	193,6	3,63	0,265	4,335
21	1,74	11, 78	12,60	101,5	0,323	31,71	311,9	5,20	0,360	2,27
22	2,06	16, 63	11,53	118,1	0,316	24,38	321,4	5,79	0,351	6,15
23	1,93	−83, 6	10,48	77,13	0,291	32,24	250,1	3,83	0,308	6,02[2])
24	2,42	−114, 5	4,97	78,31	0,250	37,47	243	6,38	0,276	25,1
25	1,63	−34, 7	40,55	212,5	0,401	133,95				6,02
26	2,39	18, 4	18,51	290,5	0,473		(452)			41,1
27	2,24	−90, 6	14,13	98,4	0,336	31,86	167,1	2,74	0,236	1,92
28	2,26	−95, 3	13,10	68,7	0,315	28,61	234,4	3,03	0,234	1,890
29	2,55	−93, 9	2,95	64,5	0,261	35,24	240,0	7,95	0,272	33,62
30	2,14	−98, 7		57,8	0,278	30,07	233,7	4,69	0,325	6,68[2])
31	1,18	−96, 8	4,20	40,7	0,270	27,94	237	6,08		9,08
32	1,52	5, 7	11,59	210,9	0,416	48,88				35,74
33	2,23	−56, 8	20,68	125,7	0,355	34,16	296	2,49	0,233	1,948
34	2,27	−159, 9	5,15	27,84	0,289	24,60	187,8	3,33	0,234	1,84
35	2,37	−129, 7	8,37	36,06	0,293	25,97	196,6	3,37	0,232	1,844
36	2,55	−89, 5	5,38	82,2	0,247	40,02	235,6	4,76	0,274	18,3[2])
37	2,48	−126, 2	5,20	97,2	0,261	41,80	263,6	5,09	0,273	20,1[2])
38	1,68	−41, 6	8,31	115,4	0,339	35,60	346,8	6,08		13,2
39	0,14	−38, 83	2,37	356,62	0,562	57,17	1491	151,0		
40	0,99	−111, 6	4,40	46,3	0,313	26,80	278,9	7,90	0,440	2,641
41	0,86	−9, 3	14,72	21,6		38,08	158	10,10	0,56	2,4
42	0,86	−23, 0	3,28	76,7	0,330	29,99	283,2	4,56	0,558	2,238
43	1,67	−35		207,2	0,417	43,89				2,7
44	1,76	−95, 0		110,6	0,349	33,54	320,8	4,22	0,290	2,379[2])
45	0,89	−110, 5		23,82		25,00	198,0	4,38	0,554	2,28[3])
46	0,93	−36, 4		47,56		27,53	214,2	3,41	0,576	2,41[2])
47	4,17	0, 00	6,01	99,97	0,285	40,64	374,2	22,12	0,328	80,37
48	4,21	3, 80	6,36	101,39		41,49	371,5	21,72	0,366	80,1
49	1,78	−25, 21	13,80	144,38	0,373	36,84	358,4	3,77	0,289	2,568
50	1,73	−47, 88	11,57	139,1	0,368	36,42	346	3,55	0,282	2,374
51	1,73	13, 26	16,99	138,32	0,369	36,10	345	3,51	0,281	2,023

[1]) bei 16 °C, [2]) bei 25 °C, [3]) bei 29 °C

8.03 Verschiedene Eigenschaften von Gasen – *Various properties of gases* (W. Blanke)

Temperaturangaben in der ITS-90 (Internationale Temperaturskala von 1990, s. **3**.1.2. in Band 1). M_B stoffmengenbezogene Masse, t_{Tr} Tripelpunktstemperatur, t_F Schmelztemperatur am Schmelzpunkt bei 101,325 kPa (durch * gekennzeichnet), p_{Tr} Tripelpunktsdruck, Δh_F massenbezogene Schmelzenthalpie bei t_{Tr} oder t_F, t_B Siedetemperatur oder (durch * gekennzeichnet) Sublimationstemperatur, ϱ' Dichte der flüssigen Phase, Δh massenbezogene Verdampfungsenthalpie bei 101,325 kPa (normaler Siedepunkt), t_k kritische Temperatur, p_k kritischer Druck, ϱ_k kritische Dichte, ϱ_n Dichte des Gases bei 101,325 kPa und 0°C (Normdichte). p (20 °C) Dampfdruck bei 20 °C,

Lfd. Nr.	Gas			Tripel- oder Schmelzpunkt			normaler Siede- oder Sublimationspunkt		
	Name	Formel oder Symbol	M_B in kg/kmol	t_{Tr} oder t_F in °C	p_{Tr} in kPa	Δh_F in kJ/kg	t_B in °C	ϱ' in kg/dm³	Δh in kJ/kg
1	Acetylen (Ethin)	CH = CH	26,038	–80,8	128,2	96,5	–84,02*		802*
2	Ammoniak	NH_3	17,031	–77,73	6,08	332	–33,33	0,6816	1370
3	Argon	Ar	39,948	–189,3442	68,891	29,3	–185,848	1,3928	163
4	Arsenwasserstoff (Arsenhydrid)	AsH_3	77,945	–116,9	2,98	15,4	–62,47	1,634	214
5	Bortrichlorid	BCl_3	117,169	–107,5	<0,1	18,0	12,5	1,34	203
6	Bortrifluorid	BF_3	67,806	–128,7	7,0	62,5	–100,3	1,589	279
7	Bromwasserstoff (Hydrogenbromid)	HBr	80,912	–86,85	29,9	37,5	–66,7	2,203	218
8	Butadien, 1,3-	$CH_2{=}CHCH{=}CH_2$	54,092	–108,91	0,07	147,7	–4,5	0,650	418
9	Butan, *n*-	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	58,123	–138,28	0,0005	80,2	–0,54	0,601	386
10	Butylen (1-Buten)	$CH_3CH_2CH{=}CH_2$	56,108	–185,34*		68,6	–6,25	0,626	390
11	*cis*-Butylen-2	$CH_3CH = CHCH_3$	56,108	–138,90	0,0001	130,3	3,72	0,641	416
12	*trans*-Butylen-2	$CH_3CH{=}CHCH_3$	56,108	–105,5	0,054	174,0	0,88	0,626	406
13	Chlor	Cl_2	70,905	–101,0	1,39	90,3	–34,1	1,563	288
14	Chlorcyan	CNCl	61,470	–6,9*		185	12,9	1,247	445
15	Chlorkohlenstoff monooxid (Phosgen)	$COCl_2$	98,916	–127,77		58,0	7,5	1,41	246
16	Chlortritluorid	ClF_3	92,448	–76,31	0,97	82,4	11,75	1,850	298
17	Chlorwasserstoff (Hydrogenchlorid)	HCl	36,461	–114,18	14,0	54,7	–85,02	1,191	443
18	Cyanwasserstoff	HCN	27,026	–13,3	18,7	311	25,70	0,668	934
19	Cyclopropan	$CH_2CH_2CH_2$	42,081	–127,61*		129,4	–32,86	0,680	477
20	Deuterium	D_2	4,028	–254,441	17,1	48,8	–249,50	0,1624	304
21	Diboran (Borwasserstoff)	B_2H_6	27,670	–164,84	0,06	161,6	–92,5	0,421	516
22	Dichlordifluormethan R12	CF_2Cl_2	120,913	–157,048	0,010	34,3	–29,749	1,484	163
23	Dichlortrifluorethan R123	$CHCl_2{=}CF_3$	152,931	–107*			27,82	1,457	170,2
24	Dichlormonofluormethan R21	$CHFCl_2$	102,923	–135*			8,73	1,407	233
25	Dichlorsilan	SiH_2Cl_2	101,007	–122,0*			8,4	1,261	249
26	Dichlortetrafluorethan R114	CF_2ClCF_2Cl	170,921	–92,55			3,92	1,526	132
27	Dicyan	$(CN)_2$	52,035	–27,82	73,8	155,9	–21,2	0,953	449
28	Difluorethan,1,1- R152a	CH_3CHF_2	66,051	–118,590	0,065	20	–24,016	1,011	330
29	Difluorethylen,1,1- R1132a	$CH_2 = CF_2$	64,035	–144*			–84	1,122	248
30	Dimethylamin	$(CH_3)_2NH$	45,084	–92,2	≈0,1	132	7,0	0,671	588
31	Dimethylether	CH_3OCH_3	46,069	–141,5*		111,4	–24,81	0,735	467
32	Dimethylsilan	$(CH_3)_2SiH_2$	60,171	–150,2*			–19,6		354

ϱ' (20 °C) Dichte der flüssigen Phase bei 20 °C, c_p spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck bei 101,325 kPa und 25 °C, c_p^0 spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck für das ideale Gas bei $p \rightarrow 0$ und 25 °C (durch * gekennzeichnet), c_p/c_v Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten im gasförmigen Zustand bei 101,325 kPa und 25 °C, λ Wärmeleitfähigkeit bei 101,325 kPa und 25 °C, ε_r Dielektrizitätszahl bei 101,325 kPa und t

Lfd. Nr.	kritischer Punkt									ε_r	
	t_k in °C	p_k in MPa	ϱ_k in kg/dm³	ϱ_n in kg/m³	p(20 °C) in MPa	ϱ'(20 °C) in kg/dm³	c_p oder c_p^0 in kJ/(kgK)	c_p/c_v	λ in mW/(K · m)	$(\varepsilon_r - 1) \cdot 10^6$	bei t in °C
1	35,17	6,191	0,231	1,1747	4,4	0,40	1,70	1,235	21,1	1220	25
2	132,4	11,30	0,235	0,7715	0,857	0,610	2,170	1,315	24,2	6590	16
3	−122,28	4,8979	0,5357	1,7839	–	–	0,521	1,676	17,7	517	20
4	99,9	6,6			1,5	1,37	0,494		11,7		
5	178,8	3,87	0,790	5,252	1,60	1,38	0,55		8,4		
6	−12,2	4,965	0,591	3,065	–	–	0,745*		18,9		
7	89,9	8,53	0,807	3,6443	2,09	1,792	0,360	1,42	9,4	2780	21
8	152	4,32	0,245	2,4787	0,240	0,621	1,47		15,8		
9	151,99	3,796	0,225	2,705	0,2081	0,579	1,731	1,105	17,1	2540	25
10	146,4	3,926	0,233	2,582	0,255	0,596	1,59*		16	2870	25
11	162,4	4,21	0,239	2,582	0,18	0,623	1,41*		15,2		
12	155,5	4,10	0,238	2,582	0,20	0,605	1,56*		15,1		
13	144	7,70	0,573	3,214	0,673	1,409	0,473	1,35	8,8		
14	215				0,133	1,186	0,724*		13,8		
15	182,0	5,67	0,52	4,496	0,157	1,372	0,582*		9,5		
16	153,7	5,8	0,548	3,57	0,15	1,825	0,695*		14		
17	51,53	8,31	0,42	1,6422	4,26	0,836	0,82	1,39	16,9	3790	21
18	183,5	5,39	0,195	1,2245	0,08	0,686	1,33*		12		
19	125,12	5,579	0,2585	1,88	0,64	0,610	1,33*				
20	−234,8	1,665	0,0668	0,1796	–	–	7,25	1,40	138	251	20
21	16,6	4,053	0,16	1,259	–	–	2,04*		21,3		
22	111,8	4,180	0,5574	5,562	0,559	1,331	0,613	1,143	10,0	3550	0
23	183,68	3,666	0,550	–	0,076	1,477	0,671*				
24	178,5	5,17	0,522	–	0,153	1,381	0,618	1,18	9,0		
25	176,3	4,378	0,479	–	0,16	1,236	0,611*				
26	145,7	3,248	0,582	–	0,179	1,479	0,735	1,089	10,9		
27	126,6	5,94		2,3492	0,48	0,877	1,09*		15,5		
28	113,26	4,520	0,368	3,034	0,5146	0,912	1,046	1,154	14,2		
29	29,69	4,463	0,414		3,611	0,670	0,942*		15		
30	164,6	5,31	0,256	–	0,169	0,655	1,53	1,15	16		
31	126,9	5,37	0,2714	2,1097	0,510	0,666	1,39	1,11	16,3	6020	25
32	125			2,73	0,38	0,584					

Fortsetzung T 8.03

Lfd. Nr.	Gas			Tripel- oder Schmelzpunkt			normaler Siede- oder Sublimationspunkt		
	Name	Formel oder Symbol	M_B in kg/kmol	t_{Tr} oder t_F in °C	p_{Tr} in kPa	Δh_F in kJ/kg	t_B in °C	ϱ' in kg/dm³	Δh in kJ/kg
33	Distickstoff monooxid (Stickoxydul)	N_2O	44,013	–90,80	87,85	149	–88,46	1,223	376
34	Ethan	CH_3CH_3	30,070	–182,79	0,001	95,0	–88,67	0,54649	489
35	Ethylamin	$C_2H_5NH_2$	45,084	–81,0	0,15		16,6	0,6874	603
36	Ethylchlorid R160	CH_3CH_2Cl	64,514	–138,3*		69,0	12,28	0,906	382
37	Ethylen (Ethen)	$CH_2{=}CH_2$	28,054	–169,17	0,12	119,5	–103,71	0,5679	483
38	Ethylenoxid	$\underset{\underset{O}{\llcorner\!\lrcorner}}{CH_2\ CH_2}$	44,053	–112,54*		117,5	10,45	0,887	580
39	Fluor	F_2	37,997	–219,67	0,25	13,4	–188,2	1,502	175
40	Fluorwasserstoff (Hydrogenfluorid)	HF	20,006	–83,36		196	19,51	0,969	375
				unterer λ-Punkt					
41	Helium 4	^4He	4,003	–270,9732	5,042		–268,9279	0,1250	20,6
42	Hexafluorpropylen	$CF_3CF{=}CF_2$	150,023	–156,5*			–29,6		
43	Isobutan (2-Methylpropan)	$(CH_3)_3CH$	58,123	–159,41	0,005	78,2	–11,61	0,594	367
44	Isobutylen (2-Methylpropen)	$(CH_3)_2C{=}CH_2$	56,108	–140,34*		106	–7,12	0,6263	401
								fest	
45	Kohlenstoffdioxid	CO_2	44,010	–56,561	518,5	196,6	–78,465*	1,562	573*
46	Kohlenstoff-monooxid	CO	28,010	–205,00	15,35	29,9	–191,51	0,789	216
47	Krypton	Kr	83,800	–157,374	73,2	19,5	–153,34	2,413	108
				Liquidus-Punkt					
48	Luft (trocken und CO_2-frei)		28,95	–213,40	6,2		–194,48	0,8758	205
49	Methan	CH_4	16,043	–182,458	11,7	58,7	–161,482	0,4225	510
50	Methylamin	CH_3NH_2	31,057	–93,45*		198	–6,33	0,694	831
51	Methylbromid R40B1	CH_3Br	94,939	–93,65	0,2	63,0	3,56	1,721	252
52	Methylchlorid R40	CH_3Cl	50,488	–97,70	0,87	127,4	–23,76	1,003	428
53	Methylfluorid R41	CH_3F	34,033	–141,8	0,33		–78,40	0,877	516
54	Methylmercaptan	CH_3SH	48,109	–123,0*		123	5,96	0,886	511
55	Methylsilan	CH_6Si	46,144	–156,8			–57,5		398
56	Monobrom-monochlordifluor-methan R12B1	CF_2ClBr	165,365	–159,5*			–3,3	1,895	135
57	Monobromtrifluor-methan R13B1	CF_3Br	148,910	–168,15			–58,70	1,990	112
58	Monochlordifluor-ethan R142b	CH_3CF_2Cl	100,496	–130,432	0,005	26,7	–9,103	1,193	220
59	Monochlordifluor-methan R22	CHF_2Cl	86,468	–157,385		47,6	–40,799	1,409	234
60	Monochlorpenta-fluorethan R115	CF_2ClCF3	154,467	–106,15	2,32	12,2	–38,98	1,558	123
61	Monochlortetra-fluorethan R124	$CHClF{=}CF_3$	136,476				–11,950	1,473	166
62	Monochlortrifluor-ethan R133a	CH_2ClCF_3	118,486	–105,5*			6,93		206
63	Monochlortrifluor-ethylen R1113	$CFCl{=}CF_2$	116,470	–158,1*		47,7	–28,35	1,46	178

Fortsetzung T 8.03

Lfd. Nr.	kritischer Punkt t_k in °C	p_k in MPa	ϱ_k in kg/dm³	ϱ_n in kg/m³	$p(20\,°C)$ in MPa	$\varrho'(20\,°C)$ in kg/dm³	c_p oder c_p^0 in kJ/(kgK)	c_p/c_v	λ in mW/(K · m)	ε_r $(\varepsilon_r-1)\cdot 10^6$	bei t in °C
33	36,40	7,245	0,452	1,9778	5,08	0,785	0,880*		17,3	1028	25
34	32,26	4,884	0,2056	1,3566	3,78	0,351	1,768	1,19	21,2	1380	25
35	183,4	5,63	0,2483	–	0,116	0,683	1,55	1,13	16,9		
36	187,2	5,27	0,331	–	0,133	0,893	1,15	1,19	10,9	12900	25
37	9,22	5,02	0,218	1,2611	–	–	1,54	1,25	20,1	1328	25
38	195,74	7,19	0,314	–	0,144	0,882	1,10*		12,4	10600	25
39	–128,84	5,215	0,574	1,696	–	–	0,825		27,8		
40	188	6,49	0,29	–	0,103	0,968	1,46*		25,8	750	31
41	–267,949	0,2275	0,06964	0,17847	–	–	5,20	1,66	152	66	25
42	86,2	3,0	0,56		0,64	1,34	0,490*				
43	134,95	3,65	0,221	2,689	0,302	0,557	1,70	1,11	17,0	2560	25
44	144,7	4,000	0,234	2,587	0,259	0,594	1,59*		16,4	3170	25
45	31,05	7,3825	0,4661	1,9769	5,722	0,7742	0,852	1,294	18,1	922	20
46	–140,23	3,499	0,301	1,2500	–	–	1,04	1,40	24,9	634	25
47	–63,74	5,502	0,919	3,744	–	–	0,248	1,69	9,5	768	25
	Punkt des kritischen Kontakts										
48	–140,629	3,766	0,313	1,2923	–	–	1,007	1,402	26,2	536	20
49	–82,601	4,5950	0,16266	0,7174	–	–	2,231	1,307	34	704	25
50	156,9	7,41	0,216	1,396	0,300	0,662	1,74	1,20	16	5640	25
51	194	5,23	0,577	–	0,189	1,677	0,448*		8,0	10000	25
52	143	6,67	0,353	2,3075	0,490	0,921	0,808*		10,7	10400	25
53	44,54	5,87	0,300	1,5450	3,5	0,578	1,10*		18	9500	25
54	196,8	7,24	0,332	–	0,171	0,867	1,05*		13,3		
55	79,3	4,37	0,236	2,076	1,30	0,507					
56	153,69	4,254	0,6732	7,65	0,229	1,814	0,45*		7,8		
57	67,05	4,017	0,745	6,778	1,425	1,588	0,472	1,15	9,8		
58	137,07	4,246	0,435	4,667	0,2876	1,127	0,849	1,127	11,8		
59	96,13	4,989	0,520	3,935	0,910	1,210	0,661	1,18	11,4		
60	79,9	3,153	0,596	7,106	0,792	1,313	0,713	1,09	12,0		
61	122,47	3,6384	0,560	6,318	0,3272	1,373	0,781	1,10	12,1		
62	150			–	0,182	1,330					
63	105,8	4,06	0,55	5,34	0,562	1,31	0,722*		10,3	2729	28

Fortsetzung T 8.03

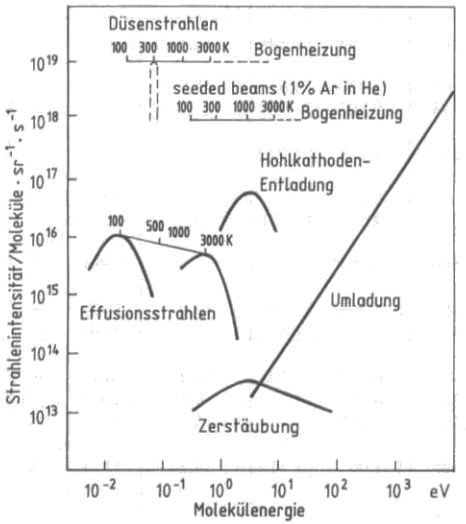
Lfd. Nr.	Gas			Tripel- oder Schmelzpunkt			normaler Siede- oder Sublimationspunkt		
	Name	Formel oder Symbol	M_B in kg/kmol	t_{Tr} oder t_F in °C	p_{Tr} in kPa	Δh_F in kJ/kg	t_B in °C	ϱ' in kg/dm³	Δh in kJ/kg
64	Monochlortrifluormethan R13	CF_3Cl	104,459	–181,15			–81,23	1,524	146
65	Neon	Ne	20,180	–248,5939	43,394	16,6	–246,053	1,207	91,3
66	Octafluorcyclobutan RC318	$\underbrace{CF_2CF_2CF_2CF_2}$	200,031	–40,2	19,0	13,8	–4,37	1,476	111
67	Octafluorpropan R218	C_3F_8	188,020	183*			–37,16	1,525	101
68	Ozon	O_3	47,998	–192,5	0,0011	43,5	–111,3	1,352	316
69	Pentafluorethan R125	$CHF_2{=}CF_3$	120,022	–103,15			–48,14	1,515	164
70	Phosphorwasserstoff (Phosphin)	H_3P	33,998	–133,79	3,64	33,3	–87,76	0,746	430
71	Propan	$CH_3CH_2CH_3$	44,097	–187,7	$3 \cdot 10^{-7}$	80,0	–42,1	0,581	426
72	Propylen (Propen)	$CH_3CH{=}CH_2$	42,081	–185,2	$1 \cdot 10^{-6}$	71,4	–47,68	0,6091	439
73	Sauerstoff	O_2	31,999	–218,7916	0,147	13,9	–182,954	1,1407	213
74	Schwefeldioxid	SO_2	64,065	–75,5	1,67	116	–10,02	1,460	390
75	Schwefelhexafluorid	SF_6	146,056	–49,596	231,82	40	–63,8*	–	162*
76	Schwefelwasserstoff (Hydrogensulfid)	H_2S	34,082	–85,7	22,7	69,8	–60,2	0,915	548
77	Selenwasserstoff (Hydrogenselenid)	H_2Se	80,98	–65,7	27,4	31,1	–41,4	2,004	243
78	Siliciumwasserstoff (Monosilan)	H_4Si	32,117	–186,4	<0,1	24,6	–111,4	0,556	363
79	Stickstoff	N_2	28,013	–209,999	12,526	25,7	–195,798	0,8086	199
80	Stickstoffmonooxid	NO	30,006	–163,6	21,92	76,6	–151,74	1,269	461
81	Stickstofftetraoxid	N_2O_4	92,011	–11,20	18,64	159,5	21,10	1,443	414
82	Tetrafluorethan R134a	$CF_3{=}CH_2F$	102,031	–103,289	0,41	18,2	–26,083	1,377	216,4
83	Tetrafluorethylen R1114	$CF_2{=}CF_2$	100,016	–131	1,2	77	–75,62	1,515	168
84	Tetrafluormethan R14	CF_4	88,005	–183,55		8,0	–127,88	1,611	130
85	Trichlormonofluormethan R11	$CFCl_3$	137,368	–110,446		50,2	23,82	1,484	177
86	Trifluorethan, 1,1,1-R143a	CH_3CF_3	84,041	–111,33		73,7	–47,28	1,162	228
87	Trifluormethan R23	CHF_3	70,014	–155,1		58,0	–82,06	1,441	240
88	Trimethylamin	$(CH_3)_3N$	59,111	–117,1*		111	2,87	0,6534	388
89	Trimethylsilan	$(CH_3)_3SiH$	74,198	–135,8			6,7		328
90	Vinylbromid R1140B1	$CH_2{=}CHBr$	106,950	–138*		215	15,7	1,525	243
91	Vinylchlorid R1140	$CH_2{=}CHCl$	62,499	–154*		75,9	–13,7	0,971	333
92	Vinylfluorid R1141	$CH_2{=}CHF$	46,044	–160,5			–72,2	0,907	372
93	Vinylmethylether	$CH_3OCH = CH_2$	58,080	–122*			6,0	0,765	
94	Wasserstoff, Normal-	H_2	2,016	259,198	7,193	58,2	–252,762	0,07098	454
95	Wasserstoff, Gleichgewichts-	H_2	2,016	–259,3467	7,03	58,2	–252,8789	0,07078	446
96	Xenon	Xe	131,29	–111,746	81,6	17,5	–108,08	3,057	99,2

Fortsetzung T 8.03

Lfd. Nr.	kritischer Punkt									ε_r	
	t_k in °C	p_k in MPa	ϱ_k in kg/dm³	ϱ_n in kg/m³	$p(20\,°C)$ in MPa	$\varrho'(20\,°C)$ in kg/dm³	c_p oder c_p^0 in kJ/(kgK)	c_p/c_v	λ in mW/(K · m)	$(\varepsilon_r-1)\cdot 10^6$	bei t in °C
64	28,86	3,870	0,581	4,724	3,24	0,849	0,645	1,149	12,5		
65	–228,756	2,654	0,4835	0,9002	–	–	1,030	1,67	48,9	123	25
66	115,22	2,775	0,620	9,48	0,244	1,394	0,802	1,069	11,7		
67	71,95	2,68	0,268	8,694	0,761	1,281	0,798	1,07	13,1		
68	–12,1	5,53	0,537	2,142	–	–	0,820			1900	0
69	66,18	3,631	0,572	5,496	1,204	1,219	0,807	1,102	14,2		
70	51,3	6,53	0,30	1,531	3,46	0,566	1,091*		17,9	2380	16
71	96,8	4,26	0,226	2,011	0,836	0,500	1,706	1,135	18,9	1960	25
72	92,4	4,6646	0,2234	1,9149	1,021	0,513	1,55	1,157	17	2250	25
73	–118,560	5,043	0,4361	1,4290	–	–	0,917	1,396	26,4	494	20
74	157,5	7,88	0,525	2,9263	0,330	1,382	0,65	1,27	9,5	(8200)	(22)
75	45,567	3,745	0,7420	6,602	2,0977	1,390	0,665		13,8	2050	25
76	100,02	8,937	0,346	1,5362	1,81	0,796	1,00	1,31	14,5	3310	28
77	138	8,92	0,760	3,6643	0,95	0,182	0,427*		10		
78	–3,5	4,84	0,242	1,44	–	–	1,33*		21,9		
79	–146,94	3,400	0,3140	1,2504	–	–	1,041	1,401	25,9	547	20
80	–93,0	6,485	0,520	1,3402			0,996	1,39	25,7	593	25
81	157,9	10,132	0,550	–	0,097	1,441	0,858*				
82	101,03	4,056	0,517	4,684	0,5719	1,225	0,850	1,068	13,1	14000	25
83	33,3	4,05	0,588		≈3,0	0,97	0,804*		16		
84	–45,65	3,795	0,626	3,947	–	–	0,693	1,162	16,7		
85	198,05	4,467	0,554	–	0,088	1,493	0,597	1,143	8,4		
86	73,10	3,811	0,434	3,833	1,113	0,951	0,951	1,127	14,5		
87	25,95	4,900	0,526	3,156	4,19	0,836	0,736	1,201	14,6		
88	160,11	4,08	0,233	–	0,188	0,633	1,55*		15,1		
89	155			–	0,16	0,618					
90	198	5,54		–	0,121	1,515	0,561*			8200	18
91	156,5	5,59	0,37		0,34	0,911	0,858*		8,0		
92	54,72	5,112	0,3220		2,393	0,638	1,12*		14,1		
93	171,6	3,19		–	0,17	0,747					
94	–239,92	1,296	0,0301	0,08989	–	–	14,3	1,41	182	252	25
95	–240,18	1,293	0,0314		–	–					
96	16,58	5,840	1,110	5,8971	–	–	0,160	1,68	5,55	1240	25

8.04 Abschätzung typischer Intensitäten von Molekularstrahlquellen in Strahlrichtung als Funktion der Molekülenergie – *Estimate of typical intensities of molecular beam sources within the beam direction as a function of the energy of molecules* (K.-H. Schartner)

Nach Pauly, H. (1988 b): High-Energy Beam Sources. In: Atomic and Molecular Beam Methods, Vol. 1, 124–152, Scoles. G. (ed.), New York, Oxford: Oxford Univ. Press.



Aufgetragen ist für Masse 40 die Intensität in Strahlrichtung; für Effusionsquelle, Sputterquelle und Hohlkathodenentladung integriert über ein Geschwindigkeitsintervall $\Delta v/v = 7\,\%$ bei 40 % Transmission des v-Selektors.

8.05 Die sieben Kristallsysteme (Spalten 1–3) und die vierzehn Bravais-Gitter (Spalten 4–7) – *The seven crystal systems* (column 1–3) *and the fourteen Bravais lattices* (column 4–7) (H. Bradaczek u. G. Hildebrandt)

1 Kristall-System	2 Achsen	3 Achsenwinkel	4 Zahl der Gitter im System	5 Gitter-Symbol	6 Gitter-Zentrierung	7 Gitterpunkte je Einh. Zelle
triklin	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$	1	P	unzentriert	8/8
monoklin	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$	2	P	unzentriert	8/8
				C	basiszentriert	8/8 + 2/2
rhombisch	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	4	P	unzentriert	8/8
				C	basiszentriert	8/8 + 2/2
				I	innenzentriert	8/8 + 1
				F	flächenzentriert	8/8 + 6/2
tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	2	P	unzentriert	8/8
				I	innenzentriert	8/8 + 1
kubisch	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$	3	P	unzentr. (sc)⁺)	8/8
				I	innenzentr. (bcc)	8/8 + 1
				F	flächenzentr. (fcc)	8/8 + 6/2
rhomboedrisch oder trigonal)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$ und $< 120°$	1	R	unzentriert	8/8
hexagonal	$a = b \neq c$ oder $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$	1	P	unzentr. (hcp)⁺)	8/8

⁺) sc = simple cubic; bcc = body-centred cubic; fcc = face-centred cubic; hcp = hexagonal close-packed.

8.06 Kristallstruktur der wichtigsten Elemente und einfacher chemischer Verbindungen – *Crystal structure of the most important elements and of simple chemical compounds* (H. Bradaczek u. G. Hildebrandt)

Gittertyp	Gitterbau	Koordinaten der Atome	Gitterkonstanten in Å = 10^{-10} m = 10^{-1} nm*)					
Kubische Gitter mit der Gitterkonstanten *a*								
Innenzentriert kubisches Gitter (bcc)	Koordinationszahl 8 2 einfach kubische Gitter	$000, \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	Ba	5,024	α-Fe	2,866	Nb	3,300
			Cr	2,884	Mo	3,147	Ta	3,304
			Cs	6,05	Na	4,291	W	3,165
Flächenzentriert kubisches Gitter (fcc)	Koordinationszahl 12 4 einfach kubische Gitter	$000, 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ [1]	Ag	4,086	β-Co[2]	3,554	Pb	4,950
			Al	4,049	Cu	3,615	Pd	3,882
			Au	4,078	Ni[3]	3,524	Pt	3,918
Caesiumchloridtypus CsCl	Koordinationszahl 8 2 einfach kubische Gitter 2 Atome je Zelle	$000, \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	AgCd[4]	3,333	CsBr	4,286	TlBr	3,975
			β-AlNi[5]	2,884	CsCl	4,123	TlI	4,205
			AuCd[6]	3,34	β-CuZn	3,615		
Zinkblendetypus ZnS und Diamanttyp	Koordinationszahl 4 2 flächenzentriert kubische Gitter 8 Atome je Zelle	$000, 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$		Ge[7]	5,65754	Si[7]	5,43102032	
			C[8]	3,563	β-SiC[9]	4,352	α-Sn[10]	6,491
				AgJ[11]	6,473	CuJ	6,043	
			AlP	5,451	GaP	5,451	InP	5,8688
			AlAs	5,662	GaAs	5,653	InAs	6,0584
			AlSb	6,136	GaSb	6,095	InSb	6,4788
			CdS	5,582	HgS[12]	5,852	ZnS	5,409
			CdSe	6,05	HgSe	6,084	ZnSe	5,667
Steinsalztypus NaCl	2 flächenzentriert kubische Gitter 8 Atome je Zelle	$000, 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}, \frac{1}{2}00$	AgBr	5,775	FeO	4,310	MgO	4,208
			AgCl	5,549	KBr	6,599	NaCl	5,640
			BaO	5,533	KCl	6,293	NiO	4,177
			CaO	4,811	KF	5,347	PbS	5,936
			CdO	4,695	KJ	7,064	PbSe	6,125
			CoO	4,260	LiF	4,026	TiN	4,24
Flußspattypus CaF_2	3 flächenzentriert kubische Gitter 12 Atome je Zelle	Ca: $000, 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$; F: $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$; F: $\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}, \frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}$	CaF_2	5,463	Cu_2Se[13]	5,85	ZrO_2	5,07
			CeO_2	5,411	ThO_2	5,596		
			Cu_2S[13]	5,57	UO_2	5,468		
Cuprittypus Cu_2O	6 Atome je Zelle; O-Atome bilden ein innenzentriertes, Cu-Atome ein flächenzentriertes Gitter	O: $000, \frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$; Cu: $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$		Ag_2O	4,72	Cu_2O[14]	4,270	

Fortsetzung T 8.06

Gittertyp	Gitterbau	Koordinaten der Atome	Gitterkonstanten in Å = 10^{-10} m = 10^{-1} nm*)					
Perowskittypus $CaTiO_3$	5 einfach kubische Gitter 5 Atome je Zelle	Ca: 000; Ti: $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ O: $0\,\frac{1}{2}\frac{1}{2}$		$CaTiO_3$[15])	3,82	$SrTiO_3$[16])	3,904	
Spinelltypus Al_2MgO_4	Alle Teilgitter flächenzentriert. 8 Moleküle je Zelle. Sauerstoffionen in kubisch dichtester Kugelpackung, Kationen in deren Lücken		$FeAl_2O_4$ $MgAl_2O_4$ $ZnAl_2O_4$ $CdFe_2O_4$	8,14 8,09 8,084 8,73	$CoFe_2O_4$ $FeFe_2O_4$ $MgFe_2O_4$ $MnFe_2O_4$	8,36 8,393 8,37 8,48	$NiFe_2O_4$ $ZnFe_2O_4$ $SnZn_2O_4$ $TiZn_2O_4$	8,34 8,43 8,63 8,45
Hiermit verwandt: γ-Al_2O_3-Typus	10,7 Moleküle je Zelle			γ-Al_2O_3	7,92	γ-Fe_2O_3	8,33	
Alauntypus $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	4 Moleküle je Zelle, mindestens 8 Parameter. Statt KAl auch: KCr, NH_4Al, NH_4Fe, RbAl, CsAl usw.		$12{,}1 \leqslant a \leqslant 12{,}5$ (gilt für die bisher untersuchten Alaune)					
Eisensilizidtypus FeSi	4 Moleküle je Zelle 2 Parameter				FeSi	4,489		
Sonstige kubische Gittertypen mit der Gitterkonstanten a				Ag_2S[17]) α-N_2[19])	4,88 5,65	CO[18]) SiO_2[20])	5,64 7,138	
Tetragonale Gitter mit den Gitterkonstanten a; c								
Flächenzentriert tetragonales Gitter	4 einfach tetragonale Gitter 4 Atome je Zelle	000, $0\,\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	AuCu	3,99; 3,72				
Zinnoxydultypus SnO	4 Moleküle je Zelle 1 Parameter		SnO	5,38; 4,84				
Rutiltypus TiO_2	2 Moleküle je Zelle 1 Parameter		MgF_2 SnO_2 TiO_2	4,622; 3,051 4,738; 3,188 4,594; 2,962				
Scheelittypus $CaWO_4$	Körperzentrierte Teilgitter 4 Moleküle je Zelle 3 Parameter		$CaWO_4$	5,242; 11,37				
Hexagonale und rhomboedrische Gitter mit den Gitterkonstanten a; c bzw. dem Rhomboederwinkel α								
Hexagonale dichteste Kugelpackung (hcp)	2 einfach hexagonale Gitter Im Idealfall ist $c/a = 1{,}633$	000, $\frac{1}{3}\frac{2}{3}\frac{1}{2}$	Cd Co Mg	2,979; 5,618 2,504; 4,067 3,209; 5,211	Ni Re Zn	2,65; 4,33 2,761; 4,458 2,664; 4,946		
Wolframkarbidtypus WC	2 Atome je Zelle Die Metallatome bilden ein einfach hexagonales Gitter		γ-MoC WC	2,898; 2,808 2,904; 2,834				

Fortsetzung T 8.06

Gittertyp	Gitterbau	Koordinaten der Atome	Gitterkonstanten in Å = 10^{-10} m = 10^{-1} nm*)			
Wurzittypus ZnS	2 Moleküle je Zelle 1 Parameter		BeO CdS CdSe	2,698; 4,380 4,135; 6,749 4,299; 7,010	ZnO ZnS ZnSe	3,250; 5,207 3,814; 6,258 3,996; 6,626
Cadmiumjodidtypus CdJ_2	1 Molekül je Zelle 1 Parameter (Schichtengitter)		CdJ_2	4,24; 6,84		
Korundtypus Al_2O_3 (rhomboedr. Koord.[21]))	2 Moleküle je Zelle 2 Parameter		α-Al_2O_3 Cr_2O_3 α-Fe_2O_3	5,13 (α = 55° 14′) 5,34 (α = 55° 9′) 5,42 (α = 55° 15′)		
Phenakittypus Be_2SiO_4 (rhomboedr. Koord.[21]))	6 Moleküle je Zelle kein Parameter		Be_2SiO_4 Zn_2SiO_4	7,70 (α = 108° 1′) 8,68 (α = 107° 45′)		
Sonstige hexagonale Gittertypen (hexag. Koord.: *a* und *c*; rhomboedr. Koord.[21]) *a* und α)			β-Al_2O_3 CuS Hg HgS MoS_2 Se α-SiO_2[22])	5,57; 22,6 3,792; 16,34 3,00 (α = 70° 32′) bei 5 K 4,149; 9,496 (Zinnober) 3,16; 12,3 4,364; 4,959 4,91291; 5,40461		
Rhombische Gitter mit den Gitterkonstanten *a*; *b*; *c*						
Aragonittypus $CaCO_3$	4 Moleküle je Zelle 9 Parameter		$BaCO_3$ $CaCO_3$ $SrCO_3$	8,904; 6,430; 5,314 7,968; 5,741; 4,959 8,414; 6,029; 5,107		
Sonstige rhombische Gittertypen			Cu_2S Fe_3C U	11,91; 27,31; 13,43 4,52; 5,08; 6,75 2,853; 5,867; 4,950		

[1]) bedeutet zyklische Vertauschung; [2]) bei $T > 450$ °C, vgl. auch hcp-Gitter; [3]) vgl. auch hcp-Gitter; [4]) bei höheren Temperaturen; 50 at%Cd; [5]) 50 at%Ni; [6]) bei höheren Temperaturen; [7]) ±0,034 fm; Vakuum; $T = 22{,}5$ °C; [8]) Diamant; [9]) amorpher Carborund; [10]) graues Zinn, $T < 18$ °C; [11]) vgl. auch Wurtzittypus; [12]) Metacinnabarit; [13]) $T = 170$ °C; [14]) $T = 26$ °C; [15]) gilt nur näherungsweise; Würfel mit 8 Elementarzellen wiederholen sich jedoch exakt periodisch mit $a = 2 \cdot 3{,}82 = 7{,}64$ Å; [16]) $T = 25$ °C; [17]) $T > 180$ °C; [18]) fest; $T = 20$ K; [19]) $T < 35{,}4$ K; [20]) β-Cristobalit; $T = 290$ °C; [21]) Umrechnung von hexagonalen in rhomboedrische Bestimmungsgrößen; [22]) $T = 20$ °C

*) In älteren Tabellen und Büchern findet sich häufig die Einheit kXU; die Umrechnung erfolgt über 1 kXU = 0,100202 nm.

Literatur: Strukturbericht der Z. Kristallogr. I–VII, Leipzig 1931–1943; fortgesetzt in Structure Reports der Internat. Union of Crystallography, Utrecht ab 1956. Gmelin, alle Bände, Leipzig–Berlin–Weinheim ab 1926. Wyckoff (1963/64): Crystal Structures, 2. Aufl. New York–London–Sydney. CRC (1979): CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60. Ausg. Boca Raton, Florida.

8.07 Relativistisch korrigierte de Broglie-Wellenlängen λ des Elektrons im Energiebereich $E = 10^2$ bis 10^7 eV – *Relativistically corrected de Broglie wavelengths λ for electrons of energies between 10^2 and 10^7 eV* (R. Lauer)

Berechnet aus: $\lambda = hc_0/\sqrt{2EE_0(1 + E/2E_0)}$

Kinetische Energie in eV	Wellenlänge in pm	Kinetische Energie in eV	Wellenlänge in pm	Kinetische Energie in eV	Wellenlänge in pm
$1 \cdot 10^2$	122,63	$1 \cdot 10^4$	12,20	$1 \cdot 10^6$	0,8719
$2 \cdot 10^2$	86,71	$2 \cdot 10^4$	8,588	$2 \cdot 10^6$	0,5043
$5 \cdot 10^2$	54,83	$5 \cdot 10^4$	5,355	$5 \cdot 10^6$	0,2259
$1 \cdot 10^3$	38,76	$1 \cdot 10^5$	3,701	$1 \cdot 10^7$	0,1181
$2 \cdot 10^3$	27,40	$2 \cdot 10^5$	2,508		
$5 \cdot 10^3$	17,30	$5 \cdot 10^5$	1,421		

8.08 Neutronenstreulängen und Wirkungsquerschnitte – *Neutron scattering lengths and cross sections* (V.F. Sears u. R. Scherm)

Z Kernladungszahl; El Element; A_r relative Massenzahl; ϱ (in g/cm^3) Dichte; $I(p)$ Spin (Parität); c (in %) natürliche Häufigkeit der stabilen Isotope, bei unstabilen Elementen ist stattdessen in ( ) die Halbwertszeit angegeben; b_c (in fm) gebundene kohärente Streulänge; b_i (in fm) gebundene inkohärente Streulänge; σ_c (in barn, 1 barn = 100 fm^2) gebundener kohärenter Streuquerschnitt; σ_i (in barn) gebundener inkohärenter Streuquerschnitt; σ_s (in barn) totaler gebundener Streuquerschnitt; σ_a (in barn) Absorptionquerschnitt von Neutronen mit $v = 2200$ m/s Neutronen ($E = 25{,}30$ meV, $k = 3{,}494$ Å^{-1}, $\lambda = 1{,}798$ Å). # kennzeichnet Nuklide mit Resonanzen, deren σ_a vom $1/v$-Verlauf stark abweicht.

Literatur: Sears, V.F. (1992): Neutron Scattering Lengths and Cross Sections. In: Neutron News, Vol. 3, Nr. 3.

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
1	H	1,008	0,07(d)			−3,7390(11)		1,7568(10)	80,26(6)	82,02(6)	0,3326(7)
	^{1}H	1,0078		1/2(+)	99,985	−3,7406(11)	25,274(9)	1,7583(10)	80,27(6)	82,03(6)	0,3326(7)
	^{2}H	2,0141		1(+)	0,015	6,671(4)	4,04(3)	5,592(7)	2,05(3)	7,64(3)	0,000519(7)
	^{3}H	3,016		1/2(+)	(12,32a)	4,792(27)	−1,04(17)	2,89(3)	0,14(4)	3,03(5)	0
2	He	4,0026	0,12(d)			3,26(3)		1,34(2)	0	1,34(2)	0,00747(1)
	^{3}He	3,016		1/2(+)	0,00014	5,74(7) −1,483(2)i	−2,5(6) +2,568(3)i	4,42(10)	1,6(4)	6,0(4)	5333,(7,)
	^{4}He	4,0026		0(+)	99,99986	3,26(3)	0	1,34(2)	0	1,34(2)	0
3	Li	6,941	0,534			−1,90(2)		0,454(10)	0,92(3)	1,37(3)	70,5(3)
	^{6}Li	6,0151		1(+)	7,5	2,00(11) −0,261(1)i	−1,89(10) +0,26(1)i	0,51(5)	0,46(5)	0,97(7)	940,(4,)
	^{7}Li	7,016		3/2(−)	92,5	−2,22(2)	−2,49(5)	0,619(11)	0,78(3)	1,40(3)	0,0454(3)
4	Be	9,0122	1,85	3/2(−)	100	7,79(1)	0,12(3)	7,63(2)	0,0018(9)	7,63(2)	0,0076(8)
5	B	10,81	2,34			5,30(4) −0,213(2)i		3,54(5)	1,70(12)	5,24(11)	767,(8,)
	^{10}B	10,0129		3(+)	20,0	0,1(3) −1,066(3)i	−4,7(3) +1,231(3)i	0,144(8)	3,0(4)	3,1(4)	3835,(9,)
	^{11}B	11,0093		3/2(−)	80,0	6,65(4)	−1,3(2)	5,56(7)	0,21(7)	5,77(10)	0,0055(33)
6	C	12,011	2,25			6,6460(12)		5,550(2)	0,001(4)	5,551(3)	0,00350(7)
	^{12}C	12		0(+)	98,90	6,6511(16)	0	5,559(3)	0	5,559(3)	0,00353(7)
	^{13}C	13,0034		1/2(−)	1,10	6,19(9)	−0,52(9)	4,81(14)	0,034(11)	4,84(14)	0,00137(4)
7	N	14,0067	0,81(d)			9,36(2)		11,01(5)	0,50(12)	11,51(11)	1,90(3)
	^{14}N	14,0031		1(+)	99,63	9,37(2)	2,0(2)	11,03(5)	0,5(1)	11,53(11)	1,91(3)
	^{15}N	15,0001		1/2(−)	0,37	6,44(3)	−0,02(2)	5,21(5)	0,00005(10)	5,21(5)	0,000024(8)
8	O	15,9994	1,13(d)			5,803(4)		4,232(6)	0,000(8)	4,232(6)	0,00019(2)
	^{16}O	15,9949		0(+)	99,762	5,803(4)	0	4,232(6)	0	4,232(6)	0,00010(2)
	^{17}O	16,9991		5/2(+)	0,038	5,78(15)	0,18(6)	4,20(22)	0,004(3)	4,20(22)	0,236(10)
	^{18}O	17,9992		0(+)	0,200	5,84(7)	0	4,29(10)	0	4,29(10)	0,00016(1)
9	F	18,9984	1,1(d)	1/2(+)	100	5,654(10)	−0,082(9)	4,017(14)	0,0008(2)	4,018(14)	0,0096(5)
10	Ne	20,179	1,2(d)			4,566(6)		2,620(7)	0,008(9)	2,628(6)	0,039(4)
	^{20}Ne	19,992		0(+)	90,51	4,631(6)	0	2,695(7)	0	2,695(7)	0,036(4)
	^{21}Ne	20,994		3/2(+)	0,27	6,66(19)	±0,6(1)	5,6(3)	0,05(2)	5,7(3)	0,67(11)
	^{22}Ne	21,991		0(+)	9,22	3,87(1)	0	1,88(1)	0	1,88(1)	0,046(6)
11	Na	22,99	0,97	3/2(+)	100	3,63(2)	3,59(3)	1,66(2)	1,62(3)	3,28(4)	0,530(5)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
12	Mg	24,305	1,74			5,375(4)		3,631(5)	0,08(6)	3,71(4)	0,063(3)
	^{24}Mg	23,985		0(+)	78,99	5,66(3)	0	4,03(4)	0	4,03(4)	0,050(5)
	^{25}Mg	24,986		5/2(+)	10,00	3,62(14)	1,48(10)	1,65(13)	0,28(4)	1,93(14)	0,19(3)
	^{26}Mg	25,983		0(+)	11,01	4,89(15)	0	3,00(18)	0	3,00(18)	0,0382(8)
13	Al	26,982	2,702	5/2(+)	100	3,449(5)	0,256(10)	1,495(4)	0,0082(6)	1,503(4)	0,231(3)
14	Si	28,086	2,33			4,1491(10)		2,1633(10)	0,004(8)	2,167(8)	0,171(3)
	^{28}Si	27,977		0(+)	92,23	4,107(6)	0	2,120(6)	0	2,120(6)	0,177(3)
	^{29}Si	28,977		1/2(+)	4,67	4,70(10)	0,09(9)	2,78(12)	0,001(2)	2,78(12)	0,101(14)
	^{30}Si	29,974		0(+)	3,10	4,58(8)	0	2,64(9)	0	2,64(9)	0,107(2)
15	P	30,974	1,8	1/2(+)	100	5,13(1)	0,2(2)	3,307(13)	0,005(10)	3,312(16)	0,172(6)
16	S	32,06	1,96			2,847(1)		1,0186(7)	0,007(5)	1,026(5)	0,53(1)
	^{32}S	31,972		0(+)	95,02	2,804(2)	0	0,9880(14)	0	0,9880(14)	0,54(4)
	^{33}S	32,972		3/2(+)	0,75	4,74(19)	1,5(1,5)	2,8(2)	0,3(6)	3,1(6)	0,54(4)
	^{34}S	33,968		0(+)	4,21	3,48(3)	0	1,52(3)	0	1,52(3)	0,227(5)
	^{36}S	35,967		0(+)	0,02	3,(1,)E	0	1,1(8)	0	1,1(8)	0,15(3)
17	Cl	35,453	1,6(d)			9,5770(8)		11,526(2)	5,3(5)	16,8(5)	33,5(3)
	^{35}Cl	34,689		3/2(+)	75,77	11,65(2)	6,1(4)	17,06(6)	4,7(6)	21,8(6)	44,1(4)
	^{37}Cl	36,966		3/2(+)	24,23	3,08(6)	0,1(1)	1,19(5)	0,001(3)	1,19(5)	0,433(6)
18	Ar	39,948	1,41(d)			1,909(6)		0,458(3)	0,225(5)	0,683(4)	0,675(9)
	^{36}Ar	35,968		0(+)	0,337	24,90(7)	0	77,9(4)	0	77,9(4)	5,2(5)
	^{38}Ar	37,963		0(+)	0,063	3,5(3,5)	0	1,5(3,1)	0	1,5(3,1)	0,8(2)
	^{40}Ar	39,962		0(+)	99,600	1,830(6)	0	0,421(3)	0	0,421(3)	0,660(9)
19	K	39,098	0,86			3,67(2)		1,69(2)	0,27(11)	1,96(11)	2,1(1)
	^{39}K	38,964		3/2(+)	93,258	3,74(2)	1,4(3)	1,76(2)	0,25(11)	2,01(11)	2,1(1)
	^{40}K	39,964		4(−)	0,012	3,(1,)E		1,1(8)	0,5(5)E	1,6(9)	35,(8,)
	^{41}K	40,962		3/2(+)	6,730	2,69(8)	1,5(1,5)	0,91(5)	0,3(6)	1,2(6)	1,46(3)
20	Ca	40,08	1,55			4,70(2)		2,78(2)	0,05(3)	2,83(2)	0,43(2)
	^{40}Ca	39,963		0(+)	96,941	4,80(2)	0	2,90(2)	0	2,90(2)	0,41(2)
	^{42}Ca	41,959		0(+)	0,647	3,36(10)	0	1,42(8)	0	1,42(8)	0,68(7)
	^{43}Ca	42,959		7/2(−)	0,135	−1,56(9)		0,31(4)	0,5(5)E	0,8(5)	6,2(6)
	^{44}Ca	43,955		0(+)	2,086	1,42(6)	0	0,25(2)	0	0,25(2)	0,88(5)
	^{46}Ca	45,954		0(+)	0,004	3,6(2)	0	1,6(2)	0	1,6(2)	0,74(7)
	^{48}Ca	47,953		0(+)	0,187	0,39(9)	0	0,019(9)	0	0,019(9)	1,09(14)
21	Sc	44,956	2,99	7/2(−)	100	12,29(11)	−6,0(3)	19,0(3)	4,5(5)	23,5(6)	27,5(2)
22	Ti	47,88	4,51			−3,370(13)		1,427(11)	2,63(3)	4,06(3)	6,43(6)
	^{46}Ti	45,953		0(+)	8,2	4,72(5)	0	2,80(6)	0	2,80(6)	0,59(18)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
	^{47}Ti	46,952		5/2(−)	7,4	3,53(7)	−3,5(2)	1,57(6)	1,5(2)	3,1(2)	1,7(2)
	^{48}Ti	47,948		0(+)	73,8	−5,86(2)	0	4,32(3)	0	4,32(3)	8,30(9)
	^{49}Ti	48,948		7/2(−)	5,4	0,98(5)	5,1(2)	0,12(1)	3,3(3)	3,4(3)	2,2(3)
	^{50}Ti	49,945		0(+)	5,2	5,88(10)	0	4,34(15)	0	4,34(15)	0,179(3)
23	V	50,942	6,12			−0,3824(12)		0,01838(12)	5,08(6)	5,10(6)	5,08(4)
	^{50}V	49,947		6(+)	0,250	7,6(6)		7,3(1,1)	0,5(5)E	7,8(1,0)	60,(40,)
	^{51}V	50,944		7/2(−)	99,750	−0,402(2)	6,35(4)	0,0203(2)	5,07(6)	5,09(6)	4,9(1)
24	Cr	51,996	6,93			3,635(7)		1,660(6)	1,83(2)	3,49(2)	3,05(8)
	^{50}Cr	49,946		0(+)	4,35	−4,50(5)	0	2,54(6)	0	2,54(6)	15,8(2)
	^{52}Cr	51,941		0(+)	83,79	4,920(10)	0	3,042(12)	0	3,042(12)	0,76(6)
	^{53}Cr	52,941		3/2(−)	9,50	−4,20(3)	6,87(10)	2,22(3)	5,93(17)	8,15(17)	18,1(1,5)
	^{54}Cr	53,939		0(+)	2,36	4,55(10)	0	2,60(11)	0	2,60(11)	0,36(4)
25	Mn	54,938	7,43	5/2(−)	100	−3,750(18)	1,79(4)	1,77(2)	0,40(2)	2,17(3)	13,3(2)
26	Fe	55,847	7,87			9,45(2)		11,22(5)	0,40(11)	11,62(10)	2,56(3)
	^{54}Fe	53,94		0(+)	5,8	4,2(1)	0	2,2(1)	0	2,2(1)	2,25(18)
	^{56}Fe	55,935		0(+)	91,7	9,94(3)	0	12,42(7)	0	12,42(7)	2,59(14)
	^{57}Fe	56,935		1/2(−)	2,2	2,3(1)		0,66(6)	0,3(3)E	1,0(3)	2,48(30)
	^{58}Fe	57,933		0(+)	0,3	15,(7,)	0	28,(26,)	0	28,(26,)	1,28(5)
27	Co	58,933	8,9	7/2(−)	100	2,49(2)	−6,2(2)	0,779(13)	4,8(3)	5,6(3)	37,18(6)
28	Ni	58,69	8,91			10,3(1)		13,3(3)	5,2(4)	18,5(3)	4,49(16)
	^{58}Ni	57,935		0(+)	68,27	14,4(1)	0	26,1(4)	0	26,1(4)	4,6(3)
	^{60}Ni	59,931		0(+)	26,10	2,8(1)	0	0,99(7)	0	0,99(7)	2,9(2)
	^{61}Ni	60,931		3/2(−)	1,13	7,60(6)	±3,9(3)	7,26(11)	1,9(3)	9,2(3)	2,5(8)
	^{62}Ni	61,928		0(+)	3,59	−8,7(2)	0	9,5(4)	0	9,5(4)	14,5(3)
	^{64}Ni	63,928		0(+)	0,91	−0,37(7)	0	0,017(7)	0	0,017(7)	1,52(3)
29	Cu	63,546	8,96			7,718(4)		7,485(8)	0,55(3)	8,03(3)	3,78(2)
	^{63}Cu	62,93		3/2(−)	69,17	6,43(15)	0,22(2)	5,2(2)	0,006(1)	5,2(2)	4,50(2)
	^{65}Cu	64,928		3/2(−)	30,83	10,61(19)	1,79(10)	14,1(5)	0,40(4)	14,5(5)	2,17(3)
30	Zn	65,38	7,13			5,680(5)		4,054(7)	0,077(7)	4,131(10)	1,11(2)
	^{64}Zn	63,929		0(+)	48,6	5,22(4)	0	3,42(5)	0	3,42(5)	0,93(9)
	^{66}Zn	65,926		0(+)	27,9	5,97(5)	0	4,48(8)	0	4,48(8)	0,62(6)
	^{67}Zn	66,927		5/2(−)	4,1	7,56(8)	−1,50(7)	7,18(15)	0,28(3)	7,46(15)	6,8(8)
	^{68}Zn	67,925		0(+)	18,8	6,03(3)	0	4,57(5)	0	4,57(5)	1,1(1)
	^{70}Zn	69,925		0(+)	0,6	6,(1,)E	0	4,5(1,5)	0	4,5(1,5)	0,092(5)
31	Ga	69,72	5,91			7,288(2)		6,675(4)	0,16(3)	6,83(3)	2,75(3)
	^{69}Ga	68,926		3/2(−)	60,1	7,88(2)	−0,85(5)	7,80(4)	0,091(11)	7,89(4)	2,18(5)
	^{71}Ga	70,925		3/2(−)	39,9	6,40(3)	−0,82(4)	5,15(5)	0,084(8)	5,23(5)	3,61(10)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
32	Ge	72,59	5,33			8,185(20)		8,42(4)	0,18(7)	8,60(6)	2,20(4)
	^{70}Ge	69,924		0(+)	20,5	10,0(1)	0	12,6(3)	0	12,6(3)	3,0(2)
	^{72}Ge	71,922		0(+)	27,4	8,51(10)	0	9,1(2)	0	9,1(2)	0,8(2)
	^{73}Ge	72,923		9/2(+)	7,8	5,02(4)	3,4(3)	3,17(5)	1,5(3)	4,7(3)	15,1(4)
	^{74}Ge	73,921		0(+)	36,5	7,58(10)	0	7,2(2)	0	7,2(2)	0,4(2)
	^{76}Ge	75,924		0(+)	7,8	8,2(1,5)	0	8,(3,)	0	8,(3,)	0,16(2)
33	As	74,922	5,73	3/2(−)	100	6,58(1)	−0,69(6)	5,44(2)	0,060(10)	5,50(2)	4,5(1)
34	Se	78,96	4,79			7,970(9)		7,98(2)	0,32(6)	8,30(6)	11,7(2)
	^{74}Se	73,922		0(+)	0,9	0,8(3,0)	0	0,1(6)	0	0,1(6)	51,8(1,2)
	^{76}Se	75,919		0(+)	9,0	12,2(1)	0	18,7(3)	0	18,7(3)	85,(7,)
	^{77}Se	76,92		1/2(−)	7,6	8,25(8)	±0,6(1,6)	8,6(2)	0,05(26)	8,65(16)	42,(4,)
	^{78}Se	77,917		0(+)	23,5	8,24(9)	0	8,5(2)	0	8,5(2)	0,43(2)
	^{80}Se	79,917		0(+)	49,6	7,48(3)	0	7,03(6)	0	7,03(6)	0,61(5)
	^{82}Se	81,917		0(+)	9,4	6,34(8)	0	5,05(13)	0	5,05(13)	0,044(3)
35	Br	79,904	3,12			6,795(15)		5,80(3)	0,10(9)	5,90(9)	6,9(2)
	^{79}Br	78,918		3/2(−)	50,69	6,80(7)	−1,1(2)	5,81(12)	0,15(6)	5,96(13)	11,0(7)
	^{81}Br	80,916		3/2(−)	49,31	6,79(7)	0,6(1)	5,79(12)	0,05(2)	5,84(12)	2,7(2)
36	Kr	83,8	2,16(d)			7,81(2)		7,67(4)	0,01(14)	7,68(13)	25,(1,)
	^{78}Kr	77,92		0(+)	0,35		0		0		6,4(9)
	^{80}Kr	79,916		0(+)	2,25		0		0		11,8(5)
	^{82}Kr	81,913		0(+)	11,6		0		0		29,(20,)
	^{83}Kr	82,914		9/2(+)	11,5						185,(30,)
	^{84}Kr	83,912		0(+)	57,0		0		0		0,113(15)
	^{86}Kr	85,911		0(+)	17,3	8,1(2)	0	8,2(4)	0	8,2(4)	0,003(2)
37	Rb	85,468	1,53			7,09(2)		6,32(4)	0,5(4)	6,8(4)	0,38(1)
	^{85}Rb	84,912		5/2(−)	72,17	7,03(10)		6,2(2)	0,5(5)E	6,7(5)	0,48(1)
	^{87}Rb	86,908		3/2(−)	27,83	7,23(12)		6,6(2)	0,5(5)E	7,1(5)	0,12(3)
38	Sr	87,62	2,67			7,02(2)		6,19(4)	0,06(11)	6,25(10)	1,28(6)
	^{84}Sr	83,913		0(+)	0,56	7,(1,)E	0	6,(2,)	0	6,(2,)	0,87(7)
	^{86}Sr	85,909		0(+)	9,86	5,67(5)	0	4,04(7)	0	4,04(7)	1,04(7)
	^{87}Sr	86,909		9/2(+)	7,00	7,40(7)		6,88(13)	0,5(5)E	7,4(5)	16,(3,)
	^{88}Sr	87,906		0(+)	82,58	7,15(6)	0	6,42(11)	0	6,42(11)	0,058(4)
39	Y	88,906	4,47	1/2(−)	100	7,75(2)	1,1(3)	7,55(4)	0,15(8)	7,70(9)	1,28(2)
40	Zr	91,22	6,5			7,16(3)		6,44(5)	0,02(15)	6,46(14)	0,185(3)
	^{90}Zr	89,905		0(+)	51,45	6,4(1)	0	5,1(2)	0	5,1(2)	0,011(5)
	^{91}Zr	90,906		5/2(+)	11,32	8,7(1)	−1,08(15)	9,5(2)	0,15(4)	9,7(2)	1,17(10)
	^{92}Zr	91,905		0(+)	17,19	7,4(2)	0	6,9(4)	0	6,9(4)	0,22(6)
	^{94}Zr	93,906		0(+)	17,28	8,2(2)	0	8,4(4)	0	8,4(4)	0,0499(24)
	^{96}Zr	95,908		0(+)	2,76	5,5(1)	0	3,8(1)	0	3,8(1)	0,0229(10)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
41	Nb	92,906	8,55	9/2(+)	100	7,054(3)	−0,139(10)	6,253(5)	0,0024(3)	6,255(5)	1,15(5)
42	Mo	95,94	10,22			6,715(20)		5,67(3)	0,04(5)	5,71(4)	2,48(4)
	^{92}Mo	91,907		0(+)	14,84	6,91(8)	0	6,00(14)	0	6,00(14)	0,019(2)
	^{94}Mo	93,905		0(+)	9,25	6,80(7)	0	5,81(12)	0	5,81(12)	0,015(2)
	^{95}Mo	94,906		5/2(+)	15,92	6,91(6)		6,00(10)	0,5(5)E	6,5(5)	13,1(3)
	^{96}Mo	95,905		0(+)	16,68	6,20(6)	0	4,83(9)	0	4,83(9)	0,5(2)
	^{97}Mo	96,906		5/2(+)	9,55	7,24(8)		6,59(15)	0,5(5)E	7,1(5)	2,5(2)
	^{98}Mo	97,905		0(+)	24,13	6,58(7)	0	5,44(12)	0	5,44(12)	0,127(6)
	^{100}Mo	99,907		0(+)	9,63	6,73(7)	0	5,69(12)	0	5,69(12)	0,4(2)
43	^{99}Tc	98,906		9/2(+)	(2,13·10⁵a)	6,8(3)		5,8(5)	0,5(5)E	6,3(7)	20,(1,)
44	Ru	101,07	12,3			7,03(3)		6,21(5)	0,4(1)	6,6(1)	2,56(13)
	^{96}Ru	95,908		0(+)	5,5		0		0		0,28(2)
	^{98}Ru	97,905		0(+)	1,9		0		0		¡8,
	^{99}Ru	98,906		5/2(+)	12,7						6,9(1,0)
	^{100}Ru	99,904		0(+)	12,6		0		0		4,8(6)
	^{101}Ru	100,906		5/2(+)	17,0						3,3(9)
	^{102}Ru	101,904		0(+)	31,6		0		0		1,17(7)
	^{104}Ru	103,905		0(+)	18,7		0		0		0,31(2)
45	Rh	102,906	12,5	1/2(−)	100	5,88(4)		4,34(6)	0,3(3)E	4,6(3)	144,8(7)
46	Pd	106,42				5,91(6)		4,39(9)	0,093(9)	4,48(9)	6,9(4)
	^{102}Pd	101,906		0(+)	1,02	7,7(7)E	0	7,5(1,4)	0	7,5(1,4)	3,4(3)
	^{104}Pd	103,904		0(+)	11,14	7,7(7)E	0	7,5(1,4)	0	7,5(1,4)	0,6(3)
	^{105}Pd	104,905		5/2(+)	22,33	5,5(3)	−2,6(1,6)	3,8(4)	0,8(1,0)	4,6(1,1)	20,(3,)
	^{106}Pd	105,903		0(+)	27,33	6,4(4)	0	5,1(6)	0	5,1(6)	0,304(29)
	^{108}Pd	107,904		0(+)	26,46	4,1(3)	0	2,1(3)	0	2,1(3)	8,5(5)
	^{110}Pd	109,905		0(+)	11,72	7,7(7)E	0	7,5(1,4)	0	7,5(1,4)	0,226(31)
47	Ag	107,868	10,5			5,922(7)		4,407(10)	0,58(3)	4,99(3)	63,3(4)
	^{107}Ag	106,905		1/2(−)	51,83	7,555(11)	1,00(13)	7,17(2)	0,13(3)	7,30(4)	37,6(1,2)
	^{109}Ag	108,905		1/2(−)	48,17	4,165(11)	−1,60(13)	2,18(1)	0,32(5)	2,50(5)	91,0(1,0)
48	Cd	112,41	8,65			4,87(5) −0,70(1)i		3,04(6)	3,46(13)	6,50(12)	2520,(50,)
	^{106}Cd	105,906		0(+)	1,25	5,(2,)E	0	3,1(2,5)	0	3,1(2,5)	1,
	^{108}Cd	107,904		0(+)	0,89	5,4(1)	0	3,7(1)	0	3,7(1)	1,1(3)
	^{110}Cd	109,903		0(+)	12,51	5,9(1)	0	4,4(1)	0	4,4(1)	11,(1,)
	^{111}Cd	110,904		1/2(+)	12,81	6,5(1)		5,3(2)	0,3(3)E	5,6(4)	24,(3,)
	^{112}Cd	111,903		0(+)	24,13	6,4(1)	0	5,1(2)	0	5,1(2)	2,2(5)
#	^{113}Cd	112,904		1/2(+)	12,22	−8,0(2) −5,73(11)i		12,1(4)	0,3(3)E	12,4(5)	20600,(400,)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
	^{114}Cd	113,903		0(+)	28,72	7,5(1)	0	7,1(2)	0	7,1(2)	0,34(2)
	^{116}Cd	115,905		0(+)	7,47	6,3(1)	0	5,0(2)	0	5,0(2)	0,075(13)
49	In	114,82	7,36			4,065(20) −0,0539(4)i		2,08(2)	0,54(11)	2,62(11)	193,8(1,5)
	^{113}In	112,904		9/2(+)	4,3	5,39(6)	±0,017(1)	3,65(8)	0,000037(5)	3,65(8)	12,0(1,1)
	^{115}In	114,904		9/2(+)	95,7	4,01(2) −0,0562(6)i	−2,1(2)	2,02(2)	0,55(11)	2,57(11)	202,(2)
50	Sn	118,69	7,28			6,225(2)		4,870(3)	0,022(5)	4,892(6)	0,626(9)
	^{112}Sn	111,905		0(+)	1,0	6,(1)E	0	4,5(1,5)	0	4,5(1,5)	1,00(11)
	^{114}Sn	113,903		0(+)	0,7	6,2(3)	0	4,8(5)	0	4,8(5)	0,114(30)
	^{115}Sn	114,903		1/2(+)	0,4	6,(1)E		4,5(1,5)	0,3(3)E	4,8(1,5)	30,(7,)
	^{116}Sn	115,902		0(+)	14,7	5,93(5)	0	4,42(7)	0	4,42(7)	0,14(3)
	^{117}Sn	116,903		1/2(+)	7,7	6,48(5)		5,28(8)	0,3(3)E	5,6(3)	2,3(5)
	^{118}Sn	117,902		0(+)	24,3	6,07(5)	0	4,63(8)	0	4,63(8)	0,22(5)
	^{119}Sn	118,903		1/2(+)	8,6	6,12(5)		4,71(8)	0,3(3)E	5,0(3)	2,2(5)
	^{120}Sn	119,902		0(+)	32,4	6,49(5)	0	5,29(8)	0	5,29(8)	0,14(3)
	^{122}Sn	121,903		0(+)	4,6	5,74(5)	0	4,14(7)	0	4,14(7)	0,18(2)
	^{124}Sn	123,905		0(+)	5,6	5,97(5)	0	4,48(8)	0	4,48(8)	0,133(5)
51	Sb	121,75	6,69			5,57(3)		3,90(4)	0,00(7)	3,90(6)	4,91(5)
	^{121}Sb	120,904		5/2(+)	57,3	5,71(6)	−0,05(15)	4,10(9)	0,0003(19)	4,10(9)	5,75(12)
	^{123}Sb	122,904		7/2(+)	42,7	5,38(7)	−0,10(15)	3,64(9)	0,001(4)	3,64(9)	3,8(2)
52	Te	127,6	6,00			5,80(3)		4,23(4)	0,09(6)	4,32(5)	4,7(1)
	^{120}Te	119,904		0(+)	0,096	5,3(5)	0	3,5(7)	0	3,5(7)	2,3(3)
	^{122}Te	121,903		0(+)	2,60	3,8(2)	0	1,8(2)	0	1,8(2)	3,4(5)
	^{123}Te	122,904		1/2(+)	0,908	−0,05(25) −0,116(8)i	−2,04(9)	0,002(3)	0,52(5)	0,52(5)	418,(30)
	^{124}Te	123,903		0(+)	4,816	7,96(10)	0	8,0(2)	0	8,0(2)	6,8(1,3)
	^{125}Te	124,904		1/2(+)	7,14	5,02(8)	−0,26(13)	3,17(10)	0,008(8)	3,18(10)	1,55(16)
	^{126}Te	125,903		0(+)	18,95	5,56(7)	0	3,88(10)	0	3,88(10)	1,04(15)
	^{128}Te	127,904		0(+)	31,69	5,89(7)	0	4,36(10)	0	4,36(10)	0,215(8)
	^{130}Te	129,906		0(+)	33,80	6,02(7)	0	4,55(11)	0	4,55(11)	0,29(6)
53	J	126,905	4,93	5/2(+)	100	5,28(2)	1,58(15)	3,50(3)	0,31(6)	3,81(7)	6,15(6)
54	Xe	131,29	3,5(d)			4,92(3)		3,04(4)			23,9(1,2)
	^{124}Xe	123,906		0(+)	0,10		0		0		165,(20)
	^{126}Xe	125,904		0(+)	0,09		0		0		3,5(8)
	^{128}Xe	127,904		0(+)	1,91		0		0		¡8,
	^{129}Xe	128,905		1/2(+)	26,4						21,(5)
	^{130}Xe	129,904		0(+)	4,1		0		0		¡26,
	^{131}Xe	130,905		3/2(+)	21,2						85,(10)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
	^{132}Xe	131,904		0(+)	26,9		0		0		0,45(6)
	^{134}Xe	133,905		0(+)	10,4		0		0		0,265(20)
	^{136}Xe	135,907		0(+)	8,9		0		0		0,26(2)
55	Cs	132,905	1,873	7/2(+)	100	5,42(2)	1,29(15)	3,69(3)	0,21(5)	3,90(6)	29,0(1,5)
56	Ba	137,33	3,51			5,07(3)		3,23(4)	0,15(11)	3,38(10)	1,1(1)
	^{130}Ba	129,906		0(+)	0,11	−3,6(6)	0	1,6(5)	0	1,6(5)	30,(5,)
	^{132}Ba	131,905		0(+)	0,10	7,8(3)	0	7,6(6)	0	7,6(6)	7,0(8)
	^{134}Ba	133,905		0(+)	2,42	5,7(1)	0	4,08(14)	0	4,08(14)	2,0(1,6)
	^{135}Ba	134,906		3/2(+)	6,59	4,67(10)		2,74(12)	0,5(5)E	3,2(5)	5,8(9)
	^{136}Ba	135,904		0(+)	7,85	4,91(8)	0	3,03(10)	0	3,03(10)	0,68(17)
	^{137}Ba	136,905		3/2(+)	11,23	6,83(10)		5,86(17)	0,5(5)E	6,4(5)	3,6(2)
	^{138}Ba	137,905		0(+)	71,70	4,84(8)	0	2,94(10)	0	2,94(10)	0,27(14)
57	La	138,906	6,16			8,24(4)		8,53(8)	1,13(19)	9,66(17)	8,97(4)
	^{138}La	137,907		5(+)	0,09	8,(2,)E		8,(4,)	0,5(5)E	8,5(4,0)	57,(6)
	^{139}La	138,906		7/2(+)	99,91	8,24(4)	3,0(2)	8,53(8)	1,13(15)	9,66(17)	8,93(4)
58	Ce	140,12	6,77			4,84(2)		2,94(2)	0,00(10)	2,94(10)	0,63(4)
	^{136}Ce	135,907		0(+)	0,19	5,80(9)	0	4,23(13)	0	4,23(13)	7,3(1,5)
	^{138}Ce	137,906		0(+)	0,25	6,70(9)	0	5,64(15)	0	5,64(15)	1,1(3)
	^{140}Ce	139,905		0(+)	88,48	4,84(9)	0	2,94(11)	0	2,94(11)	0,57(4)
	^{142}Ce	141,909		0(+)	11,08	4,75(9)	0	2,84(11)	0	2,84(11)	0,95(5)
59	Pr	140,908	6,8	5/2(+)	100	4,58(5)	−0,35(3)	2,64(6)	0,015(3)	2,66(6)	11,5(3)
60	Nd	144,24	7,01			7,69(5)		7,43(10)	9,2(8)	16,6(8)	50,5(1,2)
	^{142}Nd	141,908		0(+)	27,16	7,7(3)	0	7,5(6)	0	7,5(6)	18,7(7)
	^{143}Nd	142,91		7/2(−)	12,18	14,(2,)E	±21,(1,)	25,(7,)	55,(7,)	80,(2,)	334,(10,)
	^{144}Nd	143,91		0(+)	23,80	2,8(3)	0	1,0(2)	0	1,0(2)	3,6(3)
	^{145}Nd	144,913		7/2(−)	8,29	14,(2,)E		25,(7,)	5,(5,)E	30,(9,)	42,(2)
	^{146}Nd	145,913		0(+)	17,19	8,7(2)	0	9,5(4)	0	9,5(4)	1,4(1)
	^{148}Nd	147,917		0(+)	5,75	5,7(3)	0	4,1(4)	0	4,1(4)	2,5(2)
	^{150}Nd	149,921		0(+)	5,63	5,3(2)	0	3,5(3)	0	3,5(3)	1,2(2)
61	Pm	146,915		7/2(+)	(2,62a)	12,6(4)	±3,2(2,5)	20,0(1,3)	1,3(2,0)	21,3(1,5)	168,4(3,5)
62	Sm	150,36	7,5			0,80(2) −1,65(2)i		0,422(9)	39,(3,)	39,(3,)	5922,(56)
	^{144}Sm	143,912		0(+)	3,1	−3,(4,)E	0	1,(3,)	0	1,(3,)	0,7(3)
	^{147}Sm	146,915		7/2(−)	15,1	14,(3,)	±11,(7,)	25,(11,)	14,(19,)	39,(16,)	57,(3,)
	^{148}Sm	147,915		0(+)	11,3	−3,(4,)E	0	1,(3,)	0	1,(3,)	2,4(6)
#	^{149}Sm	148,917		7/2(−)	13,9	−19,2(1) −11,7(1)i	±31,4(6) −10,3(1)i	63,5(6)	137,(5,)	200,(5,)	42080,(400,)
	^{150}Sm	149,917		0(+)	7,4	14,(3))	0	25,(11,)	0	25,(11,)	104,(4,)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
	^{152}Sm	151,92		0(+)	26,6	−5,0(6)	0	3,1(8)	0	3,1(8)	206,(6,)
	^{154}Sm	153,922		0(+)	22,6	9,3(1,0)	0	11,(2,)	0	11,(2,)	8,4(5)
63	Eu	151,96	5,2			7,22(2) −1,26(1)i		6,75(4)	2,5(4)	9,2(4)	4530,(40)
#	^{151}Eu	150,92		5/2(+)	47,8	6,13(14) −2,53(3)i	±4,5(4) −2,14(2)i	5,5(2)	3,1(4)	8,6(4)	9100,(100)
	^{153}Eu	152,921		5/2(+)	52,2	8,22(12)	±3,2(9)	8,5(2)	1,3(7)	9,8(7)	312,(7)
64	Gd	157,25	7,9			6,5(5) −13,82(3)i		29,3(8)	151,(2,)	180,(2,)	49700,(125)
	^{152}Gd	151,92		0(+)	0,2	10,(3,)E	0	13,(8,)	0	13,(8,)	735,(20)
	^{154}Gd	153,921		0(+)	2,1	10,(3,)E	0	13,(8,)	0	13,(8,)	85,(12)
#	^{155}Gd	154,923		3/2(−)	14,8	6,0(1) −17,0(1)i	±5,(5,)E −13,16(9)i	40,8(4)	25,(6,)	66,(6,)	61100,(400)
	^{156}Gd	155,922		0(+)	20,6	6,3(4)	0	5,0(6)	0	5,0(6)	1,5(1,2)
#	^{157}Gd	156,924		3/2(−)	15,7	−1,14(2) −71,9(2)i	±5,(5,)E −55,8(2)i	650,(4,)	394,(7,)	1044,(8,)	259000,(700)
	^{158}Gd	157,924		0(+)	24,8	9,(2,)	0	10,(5,)	0	10,(5,)	2,2(2)
	^{160}Gd	159,927		0(+)	21,8	9,15(5)	0	10,52(11)	0	10,52(11)	0,77(2)
65	Tb	158,925	8,3	3/2(+)	100	7,38(3)	−0,17(7)	6,84(6)	0,004(3)	6,84(6)	23,4(4)
66	Dy	162,5	8,5			16,9(2) −0,276(4)i		35,9(8)	54,4(1,2)	90,3(9)	994,(13)
	^{156}Dy	155,924		0(+)	0,06	6,1(5)	0	4,7(8)	0	4,7(8)	33,(3)
	^{158}Dy	157,924		0(+)	0,10	6,(4,)E	0	5,(6,)	0	5,(6,)	43,(6)
	^{160}Dy	159,925		0(+)	2,34	6,7(4)	0	5,6(7)	0	5,6(7)	56,(5)
	^{161}Dy	160,927		5/2(+)	19,0	10,3(4)	±4,9(8)	13,3(1,0)	3,(1,)	16,(1,)	600,(25)
	^{162}Dy	161,927		0(+)	25,5	−1,4(5)	0	0,25(18)	0	0,25(18)	194,(10)
	^{163}Dy	162,929		5/2(−)	24,9	5,0(4)	1,3(3)	3,1(5)	0,21(10)	3,3(5)	124,(7)
	^{164}Dy	163,929		0(+)	28,1	49,4(2) −0,79(1)i	0	307,(3,)	0	307,(3,)	2840,(40)
67	Ho	164,93	8,8	7/2(−)	100	8,01(8)	−1,70(8)	8,06(16)	0,36(3)	8,42(16)	64,7(1,2)
68	Er	167,26	9,0			7,79(2)		7,63(4)	1,1(3)	8,7(3)	159,(4)
	^{162}Er	161,929		0(+)	0,14	8,8(2)	0	9,7(4)	0	9,7(4)	19,(2)
	^{164}Er	163,929		0(+)	1,56	8,2(2)	0	8,4(4)	0	8,4(4)	13,(2)
	^{166}Er	165,93		0(+)	33,4	10,6(2)	0	14,1(5)	0	14,1(5)	19,6(1,5)
	^{167}Er	166,932		7/2(+)	22,9	3,0(3)	1,0(3)	1,1(2)	0,13(8)	1,2(2)	659,(16)
	^{168}Er	167,932		0(+)	27,1	7,4(4)	0	6,9(7)	0	6,9(7)	2,74(8)
	^{170}Er	169,936		0(+)	14,9	9,6(5)	0	11,6(1,2)	0	11,6(1,2)	5,8(3)
69	Tm	168,934	9,3	1/2(+)	100	7,07(3)	0,9(3)	6,28(5)	0,10(7)	6,38(9)	100,(2)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
70	Yb	174,04	7,0			12,43(3)		19,42(9)	4,0(2)	23,4(2)	34,8(8)
	^{168}Yb	167,934		0(+)	0,14	−4,07(2) −0,62(1)i	0	2,13(2)	0	2,13(2)	2230,(40)
	^{170}Yb	169,935		0(+)	3,06	6,77(10)	0	5,8(2)	0	5,8(2)	11,4(1,0)
	^{171}Yb	170,936		1/2(−)	14,3	9,66(10)	−5,59(17)	11,7(2)	3,9(2)	15,6(3)	48,6(2,5)
	^{172}Yb	171,936		0(+)	21,9	9,43(10)	0	11,2(2)	0	11,2(2)	0,8(4)
	^{173}Yb	172,938		5/2(−)	16,1	9,56(7)	−5,3(2)	11,5(2)	3,5(3)	15,0(4)	17,1(1,3)
	^{174}Yb	173,939		0(+)	31,8	19,3(1)	0	46,8(5)	0	46,8(5)	69,4(5,0)
	^{176}Yb	175,943		0(+)	12,7	8,72(10)	0	9,6(2)	0	9,6(2)	2,85(5)
71	Lu	174,967	9,84			7,21(3)		6,53(5)	0,7(4)	7,2(4)	74,(2)
	^{175}Lu	174,941		7/2(+)	97,39	7,24(3)	±2,2(7)	6,59(5)	0,6(4)	7,2(4)	21,(3)
#	^{176}Lu	175,943		7(−)	2,61	6,1(1) −0,57(1)i	±3,0(4) +0,61(1)i	4,7(2)	1,2(3)	5,9(4)	2065,(35)
72	Hf	178,49	13,36			7,77(14)		7,6(3)	2,6(5)	10,2(4)	104,1(5)
	^{174}Hf	173,94		0(+)	0,2	10,9(1,1)	0	15,(3,)	0	15,(3,)	561,(35)
	^{176}Hf	175,942		0(+)	5,2	6,61(18)	0	5,5(3)	0	5,5(3)	23,5(3,1)
	^{177}Hf	176,943		7/2(−)	18,6	0,8(1,0)E	±0,9(1,3)	0,1(2)	0,1(3)	0,2(2)	373,(10)
	^{178}Hf	177,944		0(+)	27,1	5,9(2)	0	4,4(3)	0	4,4(3)	84,(4)
	^{179}Hf	178,946		9/2(+)	13,7	7,46(16)	±1,06(8)	7,0(3)	0,14(2)	7,1(3)	41,(3)
	^{180}Hf	179,947		0(+)	35,2	13,2(3)	0	21,9(1,0)	0	21,9(1,0)	13,04(7)
73	Ta	180,945	16,6			6,91(7)		6,00(12)	0,01(17)	6,01(12)	20,6(5)
#	^{180}Ta	179,948		9(−)	0,012	7,(2,)E		6,2(3,5)	0,5(5)E	7,(4,)	563,(60)
	^{181}Ta	180,948		7/2(+)	99,988	6,91(7)	−0,29(3)	6,00(12)	0,011(2)	6,01(12)	20,5(5)
74	W	183,85	19,27			4,86(2)		2,97(2)	1,63(6)	4,60(6)	18,3(2)
	^{180}W	179,947		0(+)	0,1	5,(3,)E	0	3,(4,)	0	3,(4,)	30,(20)
	^{182}W	181,948		0(+)	26,3	6,97(4)	0	6,10(7)	0	6,10(7)	20,7(5)
	^{183}W	182,95		1/2(−)	14,3	6,53(4)		5,36(7)	0,3(3)E	5,7(3)	10,1(3)
	^{184}W	183,95		0(+)	30,7	7,48(6)	0	7,03(11)	0	7,03(11)	1,7(1)
	^{186}W	185,954		0(+)	28,6	−0,72(4)	0	0,065(7)	0	0,065(7)	37,9(6)
75	Re	186,207	21,04			9,2(2)		10,6(5)	0,9(6)	11,5(3)	89,7(1,0)
	^{185}Re	184,953		5/2(+)	37,40	9,0(3)	±2,0(1,8)	10,2(7)	0,5(9)	10,7(6)	112,(2)
	^{187}Re	186,956		5/2(+)	62,60	9,3(3)	±2,8(1,1)	10,9(7)	1,0(8)	11,9(4)	76,4(1,0)
76	Os	190,2	22,48			10,7(2)		14,4(5)	0,3(8)	14,7(6)	16,0(4)
	^{184}Os	183,953		0(+)	0,02	10,(2,)E	0	13,(5,)	0	13,(5,)	3000,(150)
	^{186}Os	185,954		0(+)	1,58	11,6(1,7)	0	17,(5,)	0	17,(5,)	80,(13,)
	^{187}Os	186,956		1/2(−)	1,6	10,(2,)E		13,(5,)	0,3(3)E	13,(5,)	320,(10)
	^{188}Os	187,956		0(+)	13,3	7,6(3)	0	7,3(6)	0	7,3(6)	4,7(5)
	^{189}Os	188,958		3/2(−)	16,1	10,7(3)		14,4(8)	0,5(5)E	14,9(9)	25,(4)
	^{190}Os	189,959		0(+)	26,4	11,0(3)	0	15,2(8)	0	15,2(8)	13,1(3)

Fortsetzung T 8.08

Z	El	A_r	ϱ in g/cm³	$I(p)$	c in %	b_c in fm	b_i in fm	σ_c in barn	σ_i in barn	σ_s in barn	σ_a in barn
	^{192}Os	191,961		0(+)	41,0	11,5(4)	0	16,6(1,2)	0	16,6(1,2)	2,0(1)
77	Ir	192,22	22,42			10,6(3)		14,1(8)	0,(3,)	14,(3,)	425,(2,)
	^{191}Ir	190,961		3/2(+)	37,3						954,(10,)
	^{193}Ir	192,963		3/2(+)	62,7						111,(5,)
78	Pt	195,08	21,45			9,60(1)		11,58(2)	0,13(11)	11,71(11)	10,3(3)
	^{190}Pt	189,96		0(+)	0,01	9,0(1,0)	0	10,(2,)	0	10,(2,)	152,(4,)
	^{192}Pt	191,961		0(+)	0,79	9,9(5)	0	12,3(1,2)	0	12,3(1,2)	10,0(2,5)
	^{194}Pt	193,963		0(+)	32,9	10,55(8)	0	14,0(2)	0	14,0(2)	1,44(19)
	^{195}Pt	194,965		1/2(−)	33,8	8,83(11)	−1,00(17)	9,8(2)	0,13(4)	9,9(2)	27,5(1,2)
	^{196}Pt	195,965		0(+)	25,3	9,89(8)	0	12,3(2)	0	12,3(2)	0,72(4)
	^{198}Pt	197,968		0(+)	7,2	7,8(1)	0	7,6(2)	0	7,6(2)	3,66(19)
79	Au	196,967	19,29	3/2(+)	100	7,63(6)	−1,84(10)	7,32(12)	0,43(5)	7,75(13)	98,65(9)
80	Hg	200,59	13,55			12,692(15)		20,24(5)	6,6(1)	26,8(1)	372,3(4,0)
	^{196}Hg	195,966		0(+)	0,2	30,3(1,0)	0	115,(8,)	0	115,(8,)	3080,(180,)
	^{198}Hg	197,967		0(+)	10,1		0		0		2,0(3)
	^{199}Hg	198,968		1/2(−)	17,0	16,9(4)	±15,5(8)	36,(2,)	30,(3,)	66,(2,)	2150 (48)
	^{200}Hg	199,968		0(+)	23,1		0		0		¡60,
	^{201}Hg	200,97		3/2(−)	13,2						7,8(2,0)
	^{202}Hg	201,971		0(+)	29,6		0		0		4,89(5)
	^{204}Hg	203,973		0(+)	6,8		0		0		0,43(10)
81	Tl	204,383	11,85			8,776(5)		9,678(11)	0,21(15)	9,89(15)	3,43(6)
	^{203}Tl	202,973		1/2(+)	29,524	6,99(16)	1,06(14)	6,14(28)	0,14(4)	6,28(28)	11,4(2)
	^{205}Tl	204,974		1/2(+)	70,476	9,52(7)	−0,242(17)	11,39(17)	0,007(1)	11,40(17)	0,104(17)
82	Pb	207,2	11,34			9,405(3)		11,115(7)	0,0030(7)	11,118(7)	0,171(2)
	^{204}Pb	203,97		0(+)	1,4	9,90(10)	0	12,3(2)	0	12,3(2)	0,65(7)
	^{206}Pb	205,974		0(+)	24,1	9,22(5)	0	10,68(12)	0	10,68(12)	0,0300(8)
	^{207}Pb	206,976		1/2(−)	22,1	9,28(4)	0,14(6)	10,82(9)	0,002(2)	10,82(9)	0,699(10)
	^{208}Pb	207,977		0(+)	52,4	9,50(2)	0	11,34(5)	0	11,34(5)	0,00048(3)
83	Bi	208,98	9,80	9/2(−)	100	8,532(2)	0,259(15)	9,148(4)	0,0084(10)	9,156(4)	0,0338(7)
84	Po										
85	At										
86	Rn										
87	Fr										
88	^{226}Ra	226,025		0(+)	(1,60·10³a)	10,0(1,0)	0	13,(3,)	0	13,(3,)	12,8(1,5)
89	Ac										
90	Th	232,038	11,7	0(+)	100	10,31(3)	0	13,36(8)	0	13,36(8)	7,37(6)

8.09 Teilchenausbeuten beim Ionenbeschuß von Festkörpern – *Particle yields from ion-bombarded solids* (H. Oechsner)

8.09a Gesamtausbeuten Y_{tot} (Atome/Ion) bei der Festkörperzerstäubung durch Ionenbeschuß (Sputtering) – *Total sputtering yields Y_{tot} of solids (atoms/ion)*

Y_{tot} für elementare polykristalline Targets

Senkrechter Beschuß mit Edelgasionen von 1 keV

Target	He^+	Ne^+	Ar^+	Kr^+	Xe^+	Target	He^+	Ne^+	Ar^+	Kr^+	Xe^+
Be	0,35	0,8	1,1	0,8	0,7	Nb			1,0	1,3	1,8
C (Graphit)	0,08		0,6			Mo	0,05	0,5	1,2	1,4	1,6
Mg			3,3			Pd			3,0		
Al		1,1	1,9	1,5	1,2	Ag	1,8	2,4	4,7	4,7	5,5
Si	0,1		0,7		1,0	Cd			11,2		
Ti	0,06		1,1			In			5,0		
V	0,06		0,9			Ta	0,015	0,4	0,9		
Cr			1,7			W	0,02	0,5	1,1	1,3	1,8
Fe	0,1	0,8	1,5	1,6	1,8	Pt	0,08	0,9	2,0	2,3	2,5
Ni	0,2	1,3	2,1	1,9	2,2	Au	0,15	1,5	4,0	3,8	4.2
Cu	0,7	2,7	3,6	3,6	3,4	Pb	1,5		4,2		
Ge			1,5			U	0,02		1,1		
Zr	0,04		1,0								

Literatur: Andersen, H.H.; Bay, H.L. (1981): Sputtering Yield Measurements. In: Behrisch, R. (ed.): Sputtering by Particle Bombardment I. Topics in Applied Physics vol. 47. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. Matsunami, N. u.a. (1983): Energy Dependence of the Yields of Ion-induced Sputtering of Monoatomic Solids. IPPJ AM-32, Inst. Plasma Physics, Nagoya

Y_{tot} für Oxide

Senkrechter Beschuß mit Ar^+-Ionen von 1 keV

Oxid	Y_{tot} (Atome/Ion)
Al_2O_3	0,2
SiO_2	1,1
Nb_2O_5	1,4
Ta_2O_5	1,7

Senkrechter Beschuß mit Kr^+-Ionen von 10 keV (nach Kelly u. Lam)[1])

Oxid	Y_{tot} (Atome/Ion)	Oxid	Y_{tot} (Atome/Ion)	Oxid	Y_{tot} (Atome/Ion)
MgO	1,8	V_2O_5	12,7	SnO_2	15,3
Al_2O_3	1,6	ZrO_2	2,8	Ta_2O_5	2,5
SiO_2	4,2	Nb_2O_5	3,4	WO_3	9,2
TiO_2	1,9	MoO_3	9,6	UO_2	3,8

[1]) Kelly, R; Lam, N.Q. (1973): The Sputtering of Oxides Part I: A Survey of the Experimental Results. Radiation Effects **19**, 39–47.

Literatur: Betz, G.; Wehner, G.K. (1983): Sputtering of Multicomponent Materials. In: Behrisch, R. (ed.): Sputtering by Particle Bombardment II. Topics in Applied Physics vol. 52. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.

8.09b Sekundärionenausbeuten Y_{Me^+} (Me^+-Ionen/Primärion) an reinen und oxidierten Metalloberflächen beim Beschuß mit Ar^+-Ionen von 2,5 keV unter 70° gegen die Flächennormale (nach Benninghoven)[1]) – *Secondary ion yields Y_{Me^+} (Me^+ ions/primary ion) at clean and at oxidized metal surfaces under bombardment with 2,5 keV Ar^+-ions under 70° with respect to the normal (of the surface)* (H. Oechsner)

[1]) Benninghoven, A. (1975): Developments in Secondary Ion Mass Spectroscopy and Applications to Surface Studies. Surface Sci. **53**, 596–625.

Fortsetzung T 8.09b

Target	saubere Oberfläche	oxidbedeckte Oberfläche	Target	saubere Oberfläche	oxidbedeckte Oberfläche	Target	saubere Oberfläche	oxidbedeckte Oberfläche
Mg	0,01	0,9	Mn	0,0006	0,3	Nb	0,0006	0,05
Al	0,007	0,7	Fe	0,0015	0,35	Mo	0,00065	0,4
Si	0,0084	0,58	Ni	0,0006	0,045	Ba	0,0002	0,03
Ti	0,0013	0,4	Cu	0,0003	0,07	Ta	0,00007	0,02
V	0,001	0,3	Ge	0,0044	0,02	W	0,00009	0,035
Cr	0,0012	1,2	Sr	0,0002	0,16			

8.10 Ioneninduzierte Elektronenausbeuten γ für reine polykristalline Targets bei senkrechtem Beschuß mit Ar^+-Ionen von 1 keV – *Ion induced electrons yields from clean polycrystalline targets under normal bombardment with* Ar^+*-ions of* 1 keV (H. Oechsner)

Target	Mg	Al	Si	Ti	V	Cr	Fe	Ni	Cu
γ (Elektronen/Ion)	0,15	0,09	0,07	0,15	0,16	0,11	0,08	0,08	0,08
Target	Zr	Nb	Mo	Pd	Ag	Ta	W	Au	
γ (Elektronen/Ion)	0,14	0,14	0,11	0,08	0,09	0,12	0,10	0,06	

Literatur: Oechsner, H. (1978): Electron Yields from Clean Polycristalline Metal Surfaces by Noble-Gas-Ion Bombardment at Energies around 1 keV. Phys. Rev. B **17**, 1052–1056.

8.11 Elektronenaustrittsarbeit Φ von verschiedenen Elementen (polykristalline Proben) in eV (nach Michaelson[1]) und Hölzl u. Schulte[2]) – *Electronic work function* Φ *of different elements (polycrystalline samples) in* eV (H. Jahrreiss)

Element	Φ	Element	Φ	Element	Φ	Element	Φ
Ag	4,26	Eu	2,5	Nb	4,3	Sr	2,59
Al	4,28	Fe	4,5	Nd	3,2	Ta	4,25
As	3,75	Ga	4,35	Ni	5,15	Tb	3,0
Au	5,1	Gd	3,1	Os	4,83	Tc	4,88
B	4,45	Ge	5,0	Pb	4,25	Te	4,95
Ba	2,52	Hf	3,9	Pd	5,55	Th	3,4
Be	4,98	Hg	4,49	Pt	5,65	Ti	4,33
Bi	4,34	In	4,12	Rb	2,26	Tl	3,84
C	5,0	Ir	5,27	Re	4,72	U	3,63
Ca	2,87	K	2,30	Rh	4,98	V	4,3
Cd	4,08	La	3,5	Ru	4,71	W	4,55
Ce	2,9	Li	2,93	Sb	4,55	Y	3,1
Co	5,0	Lu	3,3	Sc	3,5	Zn	4,33
Cr	4,5	Mg	3,66	Se	5,9	Zr	4,05
Cs	1,95	Mn	4,1	Si	4,85		
Cu	4,65	Mo	4,6	Sm	2,7		
Er	2,97	Na	2,75	Sn	4,42		

[1]) Michaelson, H.B. (1977): The work function of the elements and its periodicity. J. Appl. Phys. **48**, 4721–4733
[2]) Hölzl, J.; Schulte, F.K. (1979): Work functions of metals. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. Springer Tracts in Modern Physics, Vol. 85, 1–150 (vgl. pp. 85–95)

8.12 Elektronenaustrittsarbeiten Φ_{hkl} in eV aus bestimmten niedrig indizierten Netzebenen von Einkristallen ausgewählter Metalle – *Electronic work function Φ_{hkl} in* eV *of single-crystalline metals measured in the direction of low-index planes* (H. Jahrreiss)

Element	Netzebene (hkl) (100)	(110)	(111)	(112)	Element	Netzebene (hkl) (100)	(110)	(111)	(112)	Element	Netzebene (hkl) (100)	(110)	(111)	(112)
Ag	4,64	4,52	4,74		K	2,30				Pt			5,7	
Al	4,41	4,06	4,24		Li	2,9				Sb	4,7			
Au	5,47	5,37	5,31		Mo	4,53	4,95	4,55	4,36	Ta	4,15	4,80	4,00	
Cs	2,14				Na	2,75				U	3,73	3,90		
Cu	4,59	4,48	4,98	4,53	Nb	4,02	4,87	4,36	4,63	W	4,63	5,25	4,47	
Fe	4,67		4,81		Ni	5,22	5,04	5,35						
Ir	5,67	5,42	5,76		Pd			5,6						

Literatur s. Tab. T 8.11

8.13 Elektronenaustrittsarbeiten fremdstoffbedeckter und oxidierter Metalle in eV (nach Herrmann u. Wagener[1]) und Kluge[2])) – *Electronic work function of impurity-covered and of oxidized metals in* eV (H. Jahrreiss)

W – Ba	1,56 bis 2,07	W – Th	2,86	SrO	1,4
W – O – Ba	1,34	Mo – Th	2,58	Ni – SrO	2,0
W – Cs	1,38 bis 1,70	Ta – Th	2,52	W – SrO	1,1
W – O – Cs	1,44	Pt – H_2	4,21	BaO + SrO	0,93
W – O	6,42	BaO	1,1	ThO_2	2,5
Pt – O	6,55	Ni – BaO	1,27	W – ThO_2	1,6
Ni – O	4,34	W – BaO	1,34		

[1]) Herrmann, G.; Wagener, S. (1948): Die Oxydkathode, Bd. I. Leipzig: Barth, p. 88 f.
[2]) Kluge, W. (1959): Glühemission und Austrittsarbeit. In: Landolt–Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen, Band II/6, 909–928. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer p. 920 f.

Die angegebenen Werte gelten für optimale Bedingungen hinsichtlich Bedeckungsgrad sowie Herstellung und Formierung für die jeweilige Kombination von Unterlage und Bedeckung. Zu den davon abweichenden Austrittsarbeiten, die sich insbesondere bei dünnsten Bedeckungen im Bereich weniger Monolagen und bei verschiedenen Temperaturen ergeben, muß auf die umfangreiche Spezialliteratur verwiesen werden.

8.14 Kernmagnetische Momente und Spinresonanzdaten – *Nuclear magnetic moments and spin resonance data* (A. Hofstaetter)

μ magnetisches Kerndipolmoment; μ_N Kernmagneton; Q elektrisches Kernquadrupolmoment; ν_0 magnetische Kernresonanzfrequenz in einem Magnetfeld der Flußdichte 1 T; $(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$ bzw. $(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$ Kernresonanzabsorption relativ zur Protonenresonanzabsorption im gleichen Magnetfeld bzw. bei gleicher Resonanzfrequenz (bei gleichen Kernanzahlen, gleicher Linienform, gleichen Relaxationszeiten, bei langsamem, adiabatischem Resonanzdurchgang und optimaler Wechselfeldstärke).

Elementsymbol mit r: radioaktiver Kern, Symbol mit *: isomerer Kern, gekennzeichnet durch Anregungsenergie (in Klammern; Angabe $(0)_x$: relative Lage der Isomere unbekannt). Alle magnetischen Dipolmomente ohne Index a sind an den angegebenen Wert für ^1H angeschlossen und nach Feiock u. Johnson (1969): Phys. Rev. **187**, 39, diamagnetisch korrigiert (siehe auch Lederer u. Shirley (1978): Table of Isotopes, 7th ed. New York: Wiley Interscience). Werte mit Index a und Quadrupolmomente ohne Index sind angegeben wie von den Autoren veröffentlicht, im allgemeinen, weil deren Verfahrensweise bei der Analyse nicht erkennbar ist. Quadrupolmomente mit Index s sind Sternheimer-korrigiert, solche mit Index u unkorrigiert; Werte mit Index t sind wahre Quadrupolmomente, da sie aus Messung direkter Kernwechselwirkung stammen.

In den Fällen, in denen mehrere, über die angegebenen Fehlergrenzen hinaus verschiedene Momente in der Literatur angegeben sind, ist meist der neueste Wert, in besonderen Fällen der am genauesten gemessene Wert angegeben.

Nicht sicher bekannte Vorzeichen und Werte sind in Klammern gesetzt.

Nicht aufgenommen wurden gg-Kerne, Kerne mit Lebensdauern unter 1 s und magnetische Oktupolmomente.

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
0 n r	1/2	−1,91304211a		29,1644551	0,321	0,685
1 H	1/2	+2,7928456		42,577118	1,000	1,000
2 H	1	+0,8574376	+0,002875s	6,5358468	0,00965	0,409
3 H r	1/2	+2,978960		45,414445	1,214	1,067
3 He	1/2	−2,127624a		32,43577	0,442	0,762
6 Li	1	−0,8220467	−0,000644s	6,2660785	0,00850	0,392
7 Li	3/2	+3,256424	−0,041s	16,54813	0,294	1,943
9 Be	3/2	−1,17749	+0,053s	5,98364	0,0139	0,703
10 B	3	+1,80065	+0,08472s	4,57517	0,0199	1,719
11 B	3/2	+2,688637	+0,04065s	13,66282	0,165	1,604
11 C r	3/2	−0,964	0,03426s	4,899	0,00762	0,575
13 C	1/2	+0,702411		10,70830	0,0159	0,252
13 N r	1/2	0,32224		4,91257	0,00154	0,115
14 N	1	+0,4037607	+0,0156	3,0776795	0,00101	0,193
15 N	1/2	−0,2831892		4,3172383	0,00104	0,101
15 O r	1/2	0,7189		10,960	0,0171	0,257
17 O	5/2	−1,89379	−0,02578s	5,77419	0,0291	1,582
17 F r	5/2	+4,7223	0,10s	14,398	0,451	3,945
19 F	1/2	+2,628866		40,07724	0,834	0,941
20 F r	2	+2,0935	0,070s	7,9789	0,0527	1,499
19 Ne r	1/2	−1,887		28,77	0,308	0,676
21 Ne	3/2	−0,661796	+0,1029s	3,363041	0,00246	0,395
23 Ne r	5/2	−1,08		3,29	0,00540	0,902
21 Na r	3/2	+2,38629	−0,060s	12,1264	0,116	1,424
22 Na r	3	+1,746		4,436	0,0181	1,667
23 Na	3/2	+2,217654	+0,101s	11,26943	0,0927	1,323
24 Na r	4	+1,6903		3,2211	0,0115	2,017
25 Na r	5/2	+3,683	+0,23s	11,23	0,214	3,077
25 Mg	5/2	−0,85545	+0,22	2,60828	0,00268	0,715
25 Al r	5/2	3,6455		11,115	0,208	3,046
27 Al	5/2	+3,641504	+0,140s	11,10299	0,207	3,042
28 Al r	3	+2,791	0,17	7,091	0,0739	2,665
29 Si	1/2	−0,55529		8,46543	0,00786	0,199
29 P r	1/2	1,2349		18,826	0,0865	0,442
31 P	1/2	+1,13160		17,25132	0,0665	0,405
32 P r	1	−0,2524		1,9239	$2{,}46 \cdot 10^{-4}$	0,120
31 S r	1/2	0,48793		7,43853	0,00533	0,175
33 S	3/2	+0,643821	−0,11	3,271698	0,00227	0,384
35 S r	3/2	(+)1,00	+0,045s	5,082	0,00850	0,597
35 Cl	3/2	+0,8218736	−0,08249s	4,1765060	0,00472	0,490
36 Cl r	2	+1,28547	−0,0180s	4,89927	0,0122	0,921
37 Cl	3/2	+0,6841230	−0,06493s	3,47650032	0,00272	0,408
38 Cl r	2	2,05		7,81	0,0494	1,468
35 Ar r	3/2	+0,633		3,217	0,00216	0,378
37 Ar r	3/2	+0,95		4,83	0,00729	0,567
39 Ar r	7/2	−1,3		2,8	0,00617	1,396
37 K r	3/2	+0,20321		1,03265	$7{,}13 \cdot 10^{-5}$	0,121
38 K r	3	+1,3737		3,4904	0,00882	1,312
39 K	3/2	+0,3914658	+0,049s	1,9893074	$5{,}10 \cdot 10^{-4}$	0,234
40 K r	4	−1,298099	−0,061s	2,473701	0,00523	1,549
41 K	3/2	+0,2148699	+0,060s	1,0919020	$8{,}43 \cdot 10^{-5}$	0,128
42 K r	2	−1,1425		4,3544	0,00856	0,818
43 K r	3/2	0,163		0,828	$3{,}68 \cdot 10^{-5}$	0,0973
45 K r	3/2	0,1734		0,8812	$4{,}43 \cdot 10^{-5}$	0,103
41 Ca r	7/2	−1,594780		3,4732183	0,0114	1,713

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
43 Ca	7/2	−1,317642	−0,06u	2,869649	0,00643	1,415
45 Ca r	7/2	−1,3282	+0,05u	2,8926	0,00659	1,427
43 Sc r	7/2	+4,62	−0,26u	10,1	0,277	4,963
44 Sc r	2	+2,56	+0,10u	9,76	0,0963	1,833
44 Sc * (271 keV)	6	+3,88	−0,19u	4,93	0,0869	6,483
45 Sc	7/2	+4,756483	−0,22u	10,35899	0,302	5,109
46 Sc r	4	+3,03	+0,119u	5,77	0,0665	3,616
47 Sc r	7/2	+5,34	−0,22u	11,6	0,428	5,736
45 Ti r	7/2	0,095	0,015u	0,207	$2{,}41 \cdot 10^{-6}$	0,102
47 Ti	5/2	−0,78848	+0,29u	2,40409	0,00210	0,659
49 Ti	7/2	−1,10417	+0,24u	2,40474	0,00378	1,186
48 V r	4	1,63		3,11	0,0104	1,945
49 V r	7/2	4,47		9,74	0,251	4,802
50 V	6	+3,34745	0,07u	4,25267	0,0558	5,593
51 V	7/2	+5,1514	−0,052u	11,219	0,384	5,533
49 Cr r	5/2	0,476		1,451	$4{,}62 \cdot 10^{-4}$	0,398
51 Cr r	7/2	(−)0,934		2,034	0,00229	1,003
53 Cr	3/2	−0,47454	−0,0285s	2,41146	$9{,}08 \cdot 10^{-4}$	0,283
51 Mn r	5/2	3,568	0,50	10,88	0,195	2,981
52 Mn r	6	+3,0631	+0,60	3,8914	0,0428	5,118
52 Mn * (378 keV)	2	0,0076		0,0290	$2{,}52 \cdot 10^{-9}$	0,00544
53 Mn r	7/2	5,024		10,94	0,356	5,397
54 Mn r	3	+3,2818	+0,40	8,3385	0,120	3,134
55 Mn	5/2	+3,468716	+0,40	10,57616	0,179	2,898
56 Mn r	3	+3,2266		8,1983	0,114	3,081
57 Fe	1/2	+0,09062293		1,38155264	$3{,}42 \cdot 10^{-5}$	0,0324
59 Fe r	3/2	0,29		1,47	$2{,}07 \cdot 10^{-4}$	0,173
55 Co r	7/2	+4,822		10,50	0,315	5,180
56 Co r	4	3,830		7,2986	0,134	4,571
57 Co r	7/2	+4,719	+0,52u	10,28	0,295	5,069
58 Co r	2	+4,044	+0,22u	15,41	0,380	2,896
59 Co	7/2	+4,627	+0,42s	10,08	0,278	4,970
60 Co r	5	+3,799	+0,44u	5,792	0,101	5,441
60 Co * (59 keV)	2	+4,40	+0,3	16,77	0,489	3,151
57 Ni r	3/2	0,88		4,47	0,00579	0,525
61 Ni	3/2	−0,75002	+0,162s	3,81137	0,00359	0,448
65 Ni r	5/2	0,69		2,10	0,00141	0,576
60 Cu r	2	+1,219		4,646	0,0104	0,873
61 Cu r	3/2	+2,14		10,9	0,0833	1,277
62 Cu r	1	−0,380		2,8966	$8{,}40 \cdot 10^{-4}$	0,181
63 Cu	3/2	+2,2264	−0,209s	11,314	0,0938	1,329
64 Cu r	1	−0,217		1,654	$1{,}56 \cdot 10^{-4}$	0,104
65 Cu	3/2	+2,3853	−0,195s	12,121	0,115	1,423
66 Cu r	1	−0,282		2,150	$3{,}43 \cdot 10^{-4}$	0,135
63 Zn r	3/2	−0,28164	+0,29u	1,43121	$1{,}90 \cdot 10^{-4}$	0,168
65 Zn r	5/2	+0,7690	−0,023u	2,34469	0,00195	0,642
67 Zn	5/2	+0,8760822	+0,150u	2,6711864	0,00288	0,732
67 Ga r	3/2	+1,8507	+0,195s	9,4047	0,0539	1,104
68 Ga r	1	0,01175	0,0277s	0,08956	$2{,}48 \cdot 10^{-8}$	0,00561
69 Ga	3/2	+2,01659	+0,168s	10,2477	0,0697	1,203
71 Ga	3/2	+2,56227	+0,106s	13,0207	0,143	1,529
72 Ga r	3	−0,13224	+0,52s	0,33600	$7{,}86 \cdot 10^{-6}$	0,126

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
69 Ge r	5/2	0,735	0,024s	2,241	0,00170	0,614
71 Ge r	1/2	+0,547		8,339	0,00751	0,196
73 Ge	9/2	−0,8794669	−0,173u	1,4897258	0,00141	1,155
75 Ge r	1/2	+0,510		7,7750	0,00609	0,183
70 As r	4	2,1		4,0	0,0221	2,506
71 As r	5/2	(+)1,6735		5,1025	0,0201	1,398
72 As r	2	(−)2,1578		8,2240	0,0577	1,545
74 As r	2	−1,597		6,087	0,0234	1,144
75 As	3/2	+1,43947	+0,29u	7,31494	0,0254	0,859
76 As r	2	−0,906	7	3,453	0,00427	0,649
75 Se r	5/2	0,67	+1,0u	2,04	0,00129	0,560
77 Se	1/2	+0,534270		8,1449819	0,00700	0,191
79 Se r	7/2	−1,018	+0,8u	2,217	0,00297	1,094
76 Br r	1	0,5482	0,27s	4,1787	0,00252	0,262
79 Br	3/2	+2,106399	+0,293u	10,70406	0,0795	1,257
80 Br r	1	0,5140	0,199s	3,91798	0,00208	0,245
80 Br * (86 keV)	5	+1,3177	+0,76s	2,0088	0,00420	1,887
81 Br	3/2	+2,270560	+0,27s	11,538280	0,0995	1,355
82 Br r	5	+1,6270	+0,76s	2,48037	0,00791	2,330
83 Kr	9/2	−0,970669	+0,270u	1,644213	0,00190	1,274
85 Kr r	9/2	1,005	+0,45u	1,702	0,00211	1,319
77 Rb r	3/2	0,652		3,313	0,00236	0,389
78 Rb * (103 keV)	4	2,56		4,88	0,0401	3,055
79 Rb r	5/2	3,36		10,2	0,163	2,807
80 Rb r	1	−0,0834a		0,6357	$8{,}88 \cdot 10^{-6}$	0,0398
81 Rb r	3/2	+2,05		10,4	0,0732	1,223
82 Rb r	1	+0,554a		4,223	0,00260	0,264
82 Rb * (≈100 keV)	5	+1,6434		2,5054	0,00815	2,354
83 Rb r	5/2	+1,43	+0,27s	4,36	0,0125	1,195
84 Rb r	2	−1,297	+0,005s	4,943	0,0125	0,929
85 Rb	5/2	+1,3533505	+0,274s	4,1263838	0,0106	1,131
86 Rb r	2	−1,6920	+0,20s	6,44866	0,0278	1,212
87 Rb r	3/2	+2,751816	+0,130s	13,98387	0,177	1,642
88 Rb r	2	0,508		1,936	$7{,}52 \cdot 10^{-4}$	0,364
89 Rb r	3/2	2,377	0,16s	12,08	0,114	1,419
91 Rb r	3/2	2,177	0,14s	11,06	0,0877	1,299
93 Rb r	5/2	1,400	0,27s	4,2686	0,0118	1,170
87 Sr	9/2	−1,093602	+0,36u	1,852448	0,00272	1,436
87 Y * (381 keV)	9/2	6,10a		10,33	0,472	8,009
89 Y	1/2	−0,1374153		2,0949055	$1{,}19 \cdot 10^{-4}$	0,0492
90 Y r	2	−1,630	−0,155u	6,2124	0,0249	1,167
91 Y r	1/2	0,1641		2,5017	$2{,}03 \cdot 10^{-4}$	0,0588
91 Zr	5/2	−1,30362		3,97475	0,00949	1,089
90 Nb r	8	4,941		4,708	0,130	10,615
92 Nb * (135 keV)	2	6,114a		23,30	1,311	4,378
93 Nb	9/2	+6,1705	−0,36u	10,452	0,488	8,101
95 Nb r	9/2	6,123		10,37	0,477	8,039
97 Nb r	9/2	7,3		12	0,808	9,584
93 Mo * (2245 keV)	21/2	(+)9,21		6,69	0,623	25,282

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
95 Mo	5/2	−0,9142	−0,019u	2,7874	0,00327	0,764
97 Mo	5/2	−0,9335	−0,102u	2,8463	0,00349	0,780
93 Tc r	9/2	6,15		10,4	0,483	8,074
94 Tc r	7	5,20		5,662	0,176	9,930
95 Tc r	9/2	9,058		15,34	1,544	11,892
96 Tc r	7	+5,37		5,85	0,193	10,255
99 Tc r	9/2	+5,6847	(+)0,34	9,6293	0,382	7,463
97 Ru r	5/2	0,687		2,095	0,00139	0,574
99 Ru	5/2	−0,6413	+0,076u	1,9553	0,00113	0,536
101 Ru	5/2	−0,7188	+0,44u	2,1916	0,00159	0,601
103 Ru r	5/2	0,67		2,04	0,00129	0,560
101 Rh * (157 keV)	9/2	+5,51		9,33	0,348	7,234
102 Rh r	(6)	4,11		(5,22)	(0,103)	(6,868)
102 Rh * (<70 keV)	(2)	0,45		(1,72)	$(5{,}23 \cdot 10^{-4})$	(0,322)
103 Rh	1/2	−0,08840		1,347664	$3{,}17 \cdot 10^{-5}$	0,0317
103 Rh * (40 keV)	7/2	+4,78		10,4	0,307	5,135
105 Rh r	7/2	+4,428		9,644	0,244	4,756
106 Rh r	1	(+)3,07		23,4	0,443	1,466
105 Pd	5/2	−0,642	+0,8u	1,957	0,00113	0,536
102 Ag * (9 keV)	2	+4,14		15,8	0,407	2,965
103 Ag r	7/2	+4,47		9,74	0,251	4,802
104 Ag r	5	+4,0		6,10	0,118	5,729
104 Ag * (<15 keV)	2	+3,7		14	0,291	2,650
105 Ag r	1/2	0,1014		1,5458	$4{,}79 \cdot 10^{-5}$	0,0363
106 Ag r	1	+2,85		21,7	0,354	1,361
106 Ag * (88 keV)	6	3,71		4,71	0,0760	6,199
107 Ag	1/2	−0,1136796		1,7330531	$6{,}74 \cdot 10^{-5}$	0,0407
108 Ag r	1	+2,6884		20,492	0,297	1,283
108 Ag * (110 keV)	6	3,580	1,52u	4,5481	0,0683	5,982
109 Ag	1/2	−0,1306905		1,9923854	$1{,}02 \cdot 10^{-4}$	0,0468
109 Ag * (88 keV)	7/2	+4,27		9,30	0,219	4,587
110 Ag r	1	+2,7271		20,787	0,310	1,302
110 Ag * (118 keV)	6	+3,607	1,65u	4,582	0,0698	6,027
111 Ag r	1/2	−0,146		2,226	$1{,}43 \cdot 10^{-4}$	0,0523
112 Ag r	2	0,0547		0,2085	$9{,}39 \cdot 10^{-7}$	0,0392
113 Ag r	1/2	0,159		2,424	$1{,}85 \cdot 10^{-4}$	0,0569
105 Cd r	5/2	−0,7393	+0,43u	2,2541	0,00173	0,618
107 Cd r	5/2	−0,615055	+0,68u	1,875311	$9{,}97 \cdot 10^{-4}$	0,514
109 Cd r	5/2	−0,827846	+0,69u	2,524114	0,00243	0,692
111 Cd	1/2	−0,595542		9,079078	0,00970	0,213
111 Cd * (396 keV)	11/2	−1,1051	−0,85u	1,5316	0,00222	1,715
113 Cd r	1/2	−0,6223005		9,4870128	0,0111	0,223
113 Cd * (264 keV)	11/2	−1,087783	−0,71u	1,507575	0,00212	1,688
115 Cd r	1/2	−0,648425		9,885283	0,0125	0,232

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
115 Cd * (173 keV)	11/2	−1,041034	−0,54u	1,442785	0,00185	1,615
109 In r	9/2	+5,53	+0,89s	9,37	0,351	7,260
110 In * ((0)x)	2	+4,365	+0,37s	16,64	0,477	3,126
110 In * ((0)x)	7	5,2	(−)0,215s	5,7	0,176	9,930
111 In r	9/2	+5,53	+0,87s	9,37	0,351	7,260
112 In r	1	+2,82	+0,093s	21,5	0,343	1,346
113 In	9/2	+5,5289	+0,777u	9,3654	0,351	7,259
113 In * (392 keV)	1/2	−0,21074		3,21275	$4{,}30 \cdot 10^{-4}$	0,0755
114 In r	1	+1,7		13	0,0752	0,812
114 In * (190 keV)	5	+4,7		7,2	0,191	6,731
115 In r	9/2	+5,5408	+0,861s	9,3855	0,353	7,274
115 In * (336 keV)	1/2	−0,24398		3,71949	$6{,}67 \cdot 10^{-4}$	0,0874
116 In r	1	2,7867	0,09	21,242	0,331	1,330
116 In * (127 keV)	5	+4,4		6,7	0,156	6,302
117 In r	1/2	−0,25174		3,83779	$7{,}32 \cdot 10^{-4}$	0,0901
113 Sn r	1/2	0,880		13,416	0,0313	0,315
115 Sn	1/2	−0,91883		14,0076	0,0356	0,329
117 Sn	1/2	−1,00104		15,2609	0,0461	0,358
119 Sn	1/2	−1,04728		15,9659	0,0527	0,375
119 Sn * (90 keV)	11/2	−1,40	0,21	1,940	0,00451	2,172
121 Sn r	3/2	0,699	0,08u	3,552	0,00290	0,417
115 Sb r	5/2	+3,46	−0,20u	10,5	0,177	2,891
117 Sb r	5/2	+3,43	−0,30u	10,5	0,173	2,866
118 Sb r	1	2,47		18,8	0,231	1,179
118 Sb * (220 keV)	8	2,32		2,21	0,0134	4,984
119 Sb r	5/2	+3,45	−0,21u	10,5	0,176	2,882
120 Sb * ((0)x)	1	2,34		17,8	0,196	1,117
120 Sb * ((0)x)	8	2,34		2,23	0,0138	5,027
121 Sb	5/2	+3,3634	−0,020u	10,255	0,163	2,810
122 Sb r	2	−1,905	+0,47u	7,260	0,0397	1,364
123 Sb	7/2	+2,5498	−0,26u	5,5531	0,0466	2,739
124 Sb r	3	1,20		3,049	0,00588	1,146
125 Sb r	7/2	+2,630		5,7278	0,0511	2,825
126 Sb r	(8)	1,28		(1,22)	(0,00226)	(2,750)
127 Sb r	7/2	2,59		5,64	0,0488	2,782
128 Sb r	8	1,31		1,25	0,00242	2,814
119 Te r	1/2	0,25		3,81	$7{,}17 \cdot 10^{-4}$	0,0895
119 Te * (300 keV)	11/2	0,95		1,32	0,00141	1,474
123 Te	1/2	−0,73679		11,2324	0,0184	0,264
123 Te * (248 keV)	11/2	−1,00		1,386	0,00164	1,552
125 Te	1/2	−0,88828		13,5419	0,0322	0,318

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
125 Te * (145 keV)	11/2	−0,93		1,29	0,00132	1,443
127 Te r	3/2	0,635a		3,227	0,00218	0,379
127 Te * (88 keV)	11/2	−0,91		1,26	0,00124	1,412
129 Te r	3/2	0,702a		3,567	0,00294	0,419
129 Te * (106 keV)	11/2	−1,15		1,59	0,00250	1,784
131 Te r	3/2	0,696a		3,537	0,00287	0,415
131 Te * (182 keV)	11/2	−1,04		1,44	0,00185	1,614
123 I r	5/2	2,818a		8,592	0,0959	2,354
125 I r	5/2	2,821a	−0,889	8,601	0,0962	2,357
127 I	5/2	+2,81327	−0,789	8,57770	0,0954	2,350
129 I r	7/2	+2,6210	−0,553	5,70819	0,0506	2,815
131 I r	7/2	+2,742	−0,40	5,972	0,0579	2,945
132 I r	4	3,088	0,09	5,885	0,0704	3,686
133 I r	7/2	+2,856	−0,27	6,220	0,0655	3,068
129 Xe	1/2	−0,777976		11,86030	0,0216	0,279
129 Xe * (236 keV)	11/2	−0,847		1,174	$9{,}99 \cdot 10^{-4}$	1,314
131 Xe	3/2	+0,691861	−0,120u	3,515822	0,00282	0,413
131 Xe * (164 keV)	11/2	−0,80		1,109	$8{,}42 \cdot 10^{-4}$	1,241
133 Xe * (233 keV)	11/2	−0,87		1,21	0,00108	1,350
121 Cs r	3/2	0,785a		3,989	0,00411	0,468
122 Cs r	1	0,133a		1,014	$3{,}60 \cdot 10^{-5}$	0,0635
123 Cs r	1/2	1,389a		21,18	0,123	0,497
124 Cs r	1	0,674a		5,138	0,00469	0,322
125 Cs r	1/2	+1,41		21,5	0,129	0,505
126 Cs r	1	0,779a		5,938	0,00723	0,372
127 Cs r	1/2	+1,46		22,3	0,143	0,523
128 Cs r	1	0,977a		7,447	0,0143	0,466
129 Cs r	1/2	+1,482		22,59	0,149	0,531
130 Cs r	1	1,466a		11,17	0,0482	0,700
131 Cs r	5/2	+3,543	−0,620s	10,80	0,191	2,960
132 Cs r	2	+2,222	+0,508s	8,469	0,0630	1,591
133 Cs	7/2	+2,582023	−0,003s	5,623302	0,0484	2,774
134 Cs r	4	+2,9937	+0,389s	5,7049	0,0642	3,573
134 Cs * (139 keV)	8	+1,0978		1,0460	0,00142	2,358
135 Cs r	7/2	+2,7324	+0,050s	5,9508	0,0573	2,935
136 Cs r	5	+3,711	+0,225s	5,657	0,0938	5,315
137 Cs r	7/2	+2,8413	+0,051s	6,1880	0,0645	3,052
138 Cs r	3	0,701	0,125s	1,781	0,00117	0,669
139 Cs r	7/2	2,969	−0,075s	6,466	0,0736	3,189
140 Cs r	1	0,134	−0,112s	1,021	$3{,}68 \cdot 10^{-5}$	0,0640
141 Cs r	7/2	2,438	−0,36s	5,310	0,0407	2,619
129 Ba r	1/2	−0,398		6,068	0,00289	0,143
129 Ba * (277 keV)	11/2	+0,930	1,94u	1,2889	0,00132	1,443
131 Ba r	1/2	−0,708		10,79	0,0163	0,254
133 Ba r	1/2	−0,777		11,85	0,0215	0,278

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{\mathrm{H}})_{H_0=\mathrm{const}}$	$(S/S_{\mathrm{H}})_{\nu_0=\mathrm{const}}$
133 Ba * (288 keV)	11/2	−0,912	1,08u	1,264	0,00125	1,415
135 Ba	3/2	+0,837943	+0,18u	4,258166	0,00500	0,500
135 Ba * (268 keV)	11/2	−1,001	1,16u	1,387	0,00165	1,553
137 Ba	3/2	+0,937365	+0,28u	4,763397	0,00700	0,559
137 La r	7/2	+2,695	+0,26s	5,869	0,0550	2,895
138 La r	5	+3,7139	+0,51s	5,6619	0,0941	5,319
139 La	7/2	+2,7832	+0,22s	6,0614	0,0606	2,990
140 La r	3	+0,730	+0,103s	1,8548	0,00132	0,697
137 Ce r	3/2	0,91		4,62	0,00641	0,543
137 Ce * (254 keV)	11/2	0,70		0,970	$5{,}64 \cdot 10^{-4}$	1,086
139 Ce r	3/2	0,96		4,88	0,00752	0,573
141 Ce r	7/2	0,970		2,1125	0,00257	1,042
143 Ce r	3/2	≈1		≈5	≈0,00850	≈0,597
141 Pr	5/2	+4,136a	−0,024u	12,61	0,303	3,455
142 Pr r	2	+0,234a	+0,0297u	0,892	$7{,}35 \cdot 10^{-5}$	0,168
142 Pr * (4 keV)	5	2,2		3,4	0,0196	3,151
143 Nd	7/2	−1,065	−0,56s	2,319	0,00340	1,144
145 Nd	7/2	−0,656	−0,29s	1,429	$7{,}93 \cdot 10^{-4}$	0,705
147 Nd r	5/2	0,554	0,9	1,689	$7{,}29 \cdot 10^{-4}$	0,463
149 Nd r	5/2	0,351	1,3	1,070	$1{,}85 \cdot 10^{-4}$	0,293
143 Pm r	5/2	3,78		11,5	0,231	3,158
144 Pm r	5	1,69		2,58	0,00886	2,420
147 Pm r	7/2	+2,58	+0,74u	5,62	0,0483	2,771
148 Pm r	1	+2,08	+0,2u	15,9	0,138	0,993
148 Pm * (137 keV)	6	1,82		2,31	0,00897	3,041
149 Pm r	7/2	3,3		7,2	0,101	3,545
151 Pm r	5/2	1,8	1,9u	5,5	0,0250	1,504
145 Sm r	7/2	0,92		2,00	0,00219	0,988
147 Sm r	7/2	−0,8109	−0,18u	1,7660	0,00150	0,871
149 Sm	7/2	−0,6692	+0,060u	1,4574	$8{,}42 \cdot 10^{-4}$	0,719
151 Sm r	5/2	0,355		1,082	$1{,}92 \cdot 10^{-4}$	0,297
153 Sm r	3/2	−0,0216	+1,0u	0,1098	$8{,}57 \cdot 10^{-8}$	0,0129
151 Eu	5/2	+3,4717	+1,12	10,585	0,179	2,900
152 Eu r	3	−1,9414	+3,16u	4,9328	0,0249	1,854
153 Eu	5/2	+1,5330	+2,85	4,67414	0,0154	1,281
154 Eu r	3	2,005	+3,9u	5,094	0,0274	1,914
155 Eu r	5/2	1,93		5,88	0,0308	1,612
155 Gd	3/2	−0,2591	+1,59u	1,3167	$1{,}48 \cdot 10^{-4}$	0,155
157 Gd	3/2	−0,3398	+1,69u	1,7268	$3{,}34 \cdot 10^{-4}$	0,203
159 Gd r	3/2	−0,44		2,24	$7{,}24 \cdot 10^{-4}$	0,263
155 Tb r	3/2	2,0		10,2	0,0680	1,194
156 Tb r	3	1,41	+1,40u	3,58	0,00953	1,346
157 Tb r	3/2	2,0		10,2	0,0680	1,194
158 Tb r	3	+1,785	+2,7s	4,467	0,0185	1,679
159 Tb	3/2	+2,014	+1,34s	10,23	0,0694	1,202
160 Tb r	3	+1,702	+3,0s	4,325	0,0168	1,625
153 Dy r	7/2	−0,72	−0,15s	1,57	0,00105	0,773
155 Dy r	3/2	−0,34	+0,94s	1,73	$3{,}34 \cdot 10^{-4}$	0,203
157 Dy r	3/2	−0,30	+1,27s	1,525	$2{,}30 \cdot 10^{-4}$	0,179
161 Dy	5/2	−0,4805	+2,33s	1,4651	$4{,}75 \cdot 10^{-4}$	0,401

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=const}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=const}$
163 Dy	5/2	+0,6726	+2,46s	2,0508	0,00130	0,562
165 Dy r	7/2	0,51	2,8u	1,11	$3,73 \cdot 10^{-4}$	0,548
165 Ho	7/2	+4,173	+3,49t	9,088	0,204	4,483
166 Ho * (5 keV)	(7)	4,1		(4,5)	(0,0861)	(7,830)
161 Er r	3/2	−0,370	+1,20s	1,8802	$4,31 \cdot 10^{-4}$	0,221
163 E r r	5/2	+0,57	+2,2s	1,74	$7,93 \cdot 10^{-4}$	0,476
165 Er r	5/2	0,66	2,2u	2,01	0,00123	0,551
167 Er	7/2	−0,5665	+2,827u	1,2338	$5,11 \cdot 10^{-4}$	0,609
169 Er r	1/2	+0,515		7,851	0,00627	0,184
171 Er r	5/2	0,70	2,4u	2,134	0,00147	0,585
163 Tm r	1/2	0,081		1,235	$2,44 \cdot 10^{-5}$	0,0290
165 Tm r	1/2	0,139		2,119	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,0498
166 Tm r	2	0,092	1,85s	0,351	$4,47 \cdot 10^{-6}$	0,0659
167 Tm r	1/2	−0,197		3,003	$3,51 \cdot 10^{-4}$	0,0705
169 Tm	1/2	−0,2316		3,5308	$5,70 \cdot 10^{-4}$	0,0829
170 Tm r	1	0,2476	0,574u	1,8873	$2,32 \cdot 10^{-4}$	0,118
171 Tm r	1/2	0,2303		3,5109	$5,61 \cdot 10^{-4}$	0,0825
169 Yb r	7/2	−0,63	+4,10u	1,37	$7,03 \cdot 10^{-4}$	0,677
171 Yb	1/2	+0,49367		7,52603	0,00552	0,177
173 Yb	5/2	−0,67989	+2,80t	2,07299	0,00135	0,568
175 Yb r	7/2	0,58		1,26	$5,48 \cdot 10^{-4}$	0,623
171 Lu r	7/2	2,03		4,42	0,0235	2,181
172 Lu r	4	2,25		4,29	0,0272	2,685
173 Lu r	7/2	2,34		5,10	0,0360	2,514
174 Lu r	(1)	1,94		(14,8)	(0,112)	(0,926)
174 Lu * (171 keV)	(6)	2,34		(2,97)	(0,0191)	(3,910)
175 Lu	7/2	+2,23799	+3,46t	4,87404	0,0315	2,404
176 Lu r	7	+3,19	+8,0u	3,47	0,0406	6,092
176 Lu * (127 keV)	1	+0,318	−2,39u	2,424	$4,92 \cdot 10^{-4}$	0,152
177 Lu r	7/2	+2,239	+5,51u	4,876	0,0315	2,405
177 Lu * (970 keV)	23/2	3,3		2,2	0,0260	9,847
175 Hf r	5/2	0,70	+2,7	2,134	0,00147	0,585
177 Hf	7/2	+0,7935	+4,5s	1,7281	0,00140	0,852
179 Hf	9/2	−0,6409	+5,1s	1,0856	$5,47 \cdot 10^{-4}$	0,841
179 Hf * (1106 keV)	25/2	7,43		4,53	0,271	23,943
180 Hf * (1142 keV)	8	+9,0	+4,4	8,58	0,784	19,335
178 Ta r	1	+2,89		22,0	0,369	1,380
180 Ta	(9)	4,77a		(4,04)	(0,103)	(11,386)
181 Ta	7/2	+2,371	+3,9u	5,164	0,0375	2,547
182 Ta r	3	(+)2,98a		7,57	0,0900	2,845
183 W	1/2	+0,1177847		1,7956356	$7,50 \cdot 10^{-5}$	0,0422
187 W r	3/2	0,688		3,496	0,00277	0,411
181 Re r	5/2	3,242		9,885	0,146	2,709
182 Re * ((0)x)	7	2,79a		3,04	0,0271	5,328
182 Re * ((0)x)	2	3,11a		11,9	0,173	2,227
183 Re r	(5/2)	(+)3,19		(9,73)	(0,139)	(2,665)
184 Re r	3	(+)2,499		6,350	0,0531	2,386

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{H_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
184 Re * (188 keV)	8	(+)2,90		2,763	0,0262	6,230
185 Re	5/2	+3,1871	+2,36u	9,7175	0,139	2,663
186 Re r	1	+1,739	≈0,4	13,26	0,0805	0,830
187 Re r	5/2	+3,2197	+2,24u	9,8169	0,143	2,690
188 Re r	1	+1,788	≈0,4	13,63	0,0875	0,854
183 Os r	9/2	(−)0,794a		1,345	0,00104	1,042
187 Os	1/2	+0,06465184		0,98562163	$1,24 \cdot 10^{-5}$	0,0231
189 Os	3/2	+0,659933	+0,86	3,353574	0,00244	0,394
193 Os r	3/2	1,30	+0,87	6,606	0,0187	0,776
191 Ir	3/2	+0,1461	+0,86t	0,7424	$2,65 \cdot 10^{-5}$	0,0872
191 Ir * (171 keV)	11/2	6,026		8,352	0,360	9,350
192 Ir r	4	+1,880		3,5826	0,0159	2,244
193 Ir	3/2	+0,1591	+0,78t	0,8085	$3,42 \cdot 10^{-5}$	0,0949
194 Ir r	1	0,37		2,82	$7,75 \cdot 10^{-4}$	0,177
189 Pt r	3/2	0,41a		2,08	$5,86 \cdot 10^{-4}$	0,245
191 Pt r	3/2	0,45a		2,29	$7,75 \cdot 10^{-4}$	0,269
195 Pt	1/2	+0,60949		9,29172	0,0104	0,218
195 Pt * (259 keV)	13/2	0,597		0,700	$2,89 \cdot 10^{-4}$	1,069
197 Pt r	1/2	0,51		7,77	0,00609	0,183
188 Au r	1	0,064a		0,488	$4,01 \cdot 10^{-6}$	0,0306
190 Au r	1	0,066		0,503	$4,40 \cdot 10^{-6}$	0,0315
191 Au r	3/2	0,138		0,701	$2,23 \cdot 10^{-5}$	0,0824
192 Au r	1	0,0079		0,0602	$7,54 \cdot 10^{-9}$	0,00377
193 Au r	3/2	0,140		0,7114	$2,33 \cdot 10^{-5}$	0,0835
194 Au r	1	0,074		0,564	$6,20 \cdot 10^{-6}$	0,0353
195 Au r	3/2	0,148		0,752	$2,76 \cdot 10^{-5}$	0,0883
195 Au * (319 keV)	11/2	6,268a		8,687	0,405	9,725
196 Au r	2	+0,5914		2,2540	0,00119	0,424
196 Au * (595 keV)	12	5,35		3,40	0,106	16,602
197 Au	3/2	+0,148158	+0,547t	0,752893	$2,76 \cdot 10^{-5}$	0,0884
198 Au r	2	+0,5934		2,2616	0,00120	0,425
198 Au * (812 keV)	(12)	5,55		3,53	0,118	17,223
199 Au r	3/2	+0,2715		1,3797	$1,70 \cdot 10^{-4}$	0,162
200 Au * (≈1000 keV)	12	6,10		3,875	0,157	18,929
181 Hg r	1/2	+0,5071		7,7308	0,00599	0,182
183 Hg r	1/2	+0,524		7,988	0,00661	0,188
185 Hg r	1/2	+0,507		7,729	0,00598	0,182
187 Hg r	3/2	−0,593	−0,50s	3,013	0,00177	0,354
189 Hg * ((0)x)	3/2	−0,6086	−1,15s	3,0927	0,00192	0,363
193 Hg r	3/2	−0,62757	−0,86s	3,18912	0,00210	0,375
193 Hg * (141 keV)	13/2	−1,058429	+1,08s	1,241217	0,00161	1,895
195 Hg r	1/2	+0,541475		8,254823	0,00729	0,194
195 Hg * (176 keV)	13/2	−1,044647	+1,27s	1,225055	0,00155	1,870
197 Hg r	1/2	+0,5273741		8,0398535	0,00673	0,189

Fortsetzung T 8.14

Kern	Kern-spin	μ/μ_N	$Q \cdot 10^{24}$ cm^2	ν_0 MHz	$(S/S_{^1H})_{B_0=\text{const}}$	$(S/S_{^1H})_{\nu_0=\text{const}}$
197 Hg * (299 keV)	13/2	−1,027684	+1,47s	1,205162	0,00147	1,840
199 Hg	1/2	+0,5058851		7,7122522	0,00594	0,181
199 Hg * (532 keV)	13/2	−1,014702	+1,40s	1,189938	0,00142	1,817
201 Hg	3/2	−0,560225	+0,39s	2,846889	0,00149	0,334
203 Hg r	5/2	+0,84895	+0,40s	2,58846	0,00262	0,709
205 Hg r	1/2	+0,6010		9,16229	0,00997	0,215
194 Tl r	2	0,14		0,53	$1,57 \cdot 10^{-5}$	0,100
195 Tl r	1/2	+1,66		25,3	0,210	0,594
196 Tl r	2	0,07		0,27	$1,97 \cdot 10^{-6}$	0,0501
197 Tl r	1/2	+1,66		25,3	0,210	0,594
198 Tl r	2	0,00		0,000	0,00	
198 Tl * (544 keV)	7	0,64		0,70	$3,27 \cdot 10^{-4}$	1,222
199 Tl r	1/2	+1,64		25,0	0,202	0,587
200 Tl r	2	0,04		0,15	$3,67 \cdot 10^{-7}$	0,0286
201 Tl r	1/2	+1,66		25,3	0,210	0,594
202 Tl r	2	0,06		0,23	$1,24 \cdot 10^{-6}$	0,0430
203 Tl	1/2	+1,622257		24,73142	0,196	0,581
204 Tl r	2	0,0908		0,3461	$4,30 \cdot 10^{-6}$	0,0650
205 Tl	1/2	+1,6382134		24,974673	0,202	0,587
207 Pb	1/2	+0,592582		9,033952	0,00955	0,212
203 Bi r	9/2	+4,62	−0,64u	7,83	0,205	6,065
204 Bi r	6	+4,28	−0,41u	5,44	0,117	7,152
205 Bi r	9/2	(+)4,16		7,05	0,150	5,462
206 Bi r	6	+4,59	−0,19u	5,83	0,144	7,670
207 Bi r	9/2	4,63	−0,50	7,84	0,206	6,079
209 Bi	9/2	+4,1106	−0,37t	6,9629	0,144	5,397
210 Bi r	1	−0,0446	+0,13u	0,3400	$1,36 \cdot 10^{-6}$	0,0213
205 Po r	5/2	+ ≈0,26	+0,17u	≈0,79	$\approx 7,53 \cdot 10^{-5}$	≈0,217
207 Po r	5/2	+ ≈0,27	+0,28u	≈0,82	$\approx 8,43 \cdot 10^{-5}$	≈0,226
209 Po r	1/2	+ ≈0,77		≈11,7	≈0,0210	≈0,276
227 Ac r	3/2	+1,1	+1,7	5,6	0,0113	0,656
229 Th r	5/2	+0,46	+4,3	1,40	$4,17 \cdot 10^{-4}$	0,384
231 Pa r	3/2	2,01		10,2	0,0690	1,199
233 Pa r	3/2	+3,5	−3,0	18	0,364	2,089
233 U r	5/2	+0,55	+3,5	1,68	$7,13 \cdot 10^{-4}$	0,460
235 U r	7/2	−0,35	+4,55t	0,76	$1,21 \cdot 10^{-4}$	0,376
237 Np r	5/2	+3,14	+4,1u	9,57	0,133	2,623
239 Pu r	1/2	+0,203		3,095	$3,84 \cdot 10^{-4}$	0,0727
241 Pu r	5/2	−0,714	+5,6u	2,177	0,00156	0,597
241 Am r	5/2	+1,61	+4,9u	4,91	0,0179	1,345
242 Am r	1	+0,3878	−2,76u	2,9560	$8,92 \cdot 10^{-4}$	0,185
243 Am r	5/2	+1,61	+4,9u	4,91	0,0179	1,345
243 Cm r	5/2	0,41		1,25	$2,95 \cdot 10^{-4}$	0,343
245 Cm r	7/2	0,5		1,1	$3,51 \cdot 10^{-4}$	0,537
247 Cm r	9/2	0,37		0,63	$1,05 \cdot 10^{-4}$	0,486
249 Bk r	7/2	2,0	+5,79	4,36	0,0225	2,148
253 Es r	7/2	+4,10a	6,7s	8,929	0,194	4,404
254 Es * (78 keV)	2	2,90a	3,7s	11,05	0,140	2,077
freies Elektron		−1838,281		28024,71	$2,852 \cdot 10^8$	658,2
		$g_e = 2,0023193134$				
Charred Dextrose		$g = 2,0025917 \pm 2,5 \cdot 10^{-6}$ (Kalibrierungsstandard)				

8.15 Ionenleitfähigkeiten Λ_∞^+, Λ_∞^- in wässeriger Lösung – *Ionic conductivities* Λ_∞^+, Λ_∞^- *in aqueous solutions* (W. Seidel)

Λ in 10^{-4} m^2 Ω^{-1} mol^{-1}; T in K.
278 K $\leqslant T \leqslant$ 328 K: $\Lambda_\infty(T) = \Lambda_\infty(298) + a \cdot (T - 298) + b \cdot (T - 298)^2 + c \cdot (T - 298)^3$

	Λ_∞ (298)	a in 10^{-4}m^2 Ω^{-1} mol^{-1} K^{-1}	b in 10^{-6}m^2 Ω^{-1} mol^{-1} K^{-2}	c in 10^{-8}m^2 Ω^{-1} mol^{-1} K^{-3}
H^+	349,85	4,81595	–1,03125	–0,7670
Li^+	38,64	0,88986	0,44075	–0,2042
Na^+	50,15	1,09160	0,47150	–0,1150
K^+	73,50	1,43262	0,40563	–0,3183
Cl^-	76,35	1,54037	0,4650	–0,1285
Br^-	78,17	1,54370	0,4470	–0,230
J^-	76,85	1,50893	0,4375	–0,2170

	273 K	291 K	298 K	323 K	348 K	373 K
Ag^+	33	53,86	62,2	101	143	180
NH_4^+	40,3	64,67	73,7	115	159	207
$N(CH_3)_4^+$	23,0	39,72	44,82		363K:	121,0
Mg^{2+}	31	46,0	53,06			170
Ca^{2+}	30,5	51,41	59,06	98	142	187
Cu^{2+}	28,0	45,7	55,5			
Zn^{2+}	27,0	47,0	54	93,2		
OH^-	105	174	197	284	360	449
NO_3^-	40,2	62,04	71,42	106,7		189
ClO_4^-	36,5	59,1	67,94			183
SO_4^{2-}	40,7	68,3	80,8	125	177	256

Literatur: Falkenhagen, H.; Kelbg, G.; Schmutzer, E. (1960): In: Landolt-Börnstein, Zahlenwerte u. Funktionen, 6. Aufl. 2. Bd., Teil 7, S. 257–268; Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer. Weitere Daten: ELDAR, Detherm-Datenbank, Frankfurt: Dechema.

8.16 Leitfähigkeit von Salzschmelzen – *Conductivity of molten salts* (W. Seidel)

Temperaturen T in K; spez. Leitfähigkeit σ in Ω^{-1}m^{-1}.

T	NaCl	Na_2SO_4	$NaNO_3$	Na_3PO_4	KCl	KNO_3	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$AgNO_3$	AgCl	$ZnCl_2$	$LaCl_3$
523									85			
573									106			
623			115			66			127			
673			135			81					1,48	
723			156			97					4,48	
773			176			112					8,38	
823										419	15,6	
873										429	23,6	
923										439	31,2	
973				55						450		
1023							109			480		
1073	358			80	225		119	221		490		
1123	375				236		129	238				
1173	391	223		105	247		137	256				
1223	405	237			256		144	271				130
1273	417	250		130	265		155					140
1323	429	264			273							160
1373	439	277		154	280							170

Literatur: Drossbach, P. (1960): In: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte u. Funktionen, 6. Aufl. 2. Bd., Teil 7, S. 1–5. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.

8.17 Überführungszahlen t_i der Ionen in festen Leitern – *Transference numbers t_i of ions in solid conductors* (W. Seidel)

Temperaturen T in K; $\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E^*/RT)$ in $\Omega^{-1}\mathrm{m}^{-1}$ (vgl. Gl. (8.147)); relative Aktivierungsenergie E^*/R in K.
Probenart: E = Einkristall; S = erstarrte Schmelze; P = Preßkörper.
Leitungsart: EL = Eigenleitung; ST = Störleitung.

Substanz	T	Überführungszahl	Spezifische Leitfähigkeit nach Gl. (8.147) σ_0	E^*/R	T	P-, L-Art
LiCl	$500 < T < 1100$	$t_{Li^+} \approx 1$	$5 \cdot 10^9$ $1{,}15 \cdot 10^2$	19 100 6 850	< 879 $303 \leqslant T \leqslant 623$	E, EL S, ST
NaCl	698 773 823 853 873	$t_{Na^+} = 1 - t_{Cl^-}$ 1,0 0,98 0,94 0,92 0,91	$1 \cdot 10^8$ $3{,}6 \cdot 10^2$	21 900 10 200	< 1073 $643 \leqslant T \leqslant 833$	E, EL P, ST
KCl	723 773 823 873 923 973	$t_{K^+} = 1 - t_{Cl^-}$ 0,96 0,93 0,91 0,88 0,85 0,83	$2 \cdot 10^8$ $2 \cdot 10^2$	23 700 11 500	< 1041 $523 \leqslant T \leqslant 723$	E, EL P, ST
KBr	878	$t_{K^+} = 1 - t_{Br^-}$ 0,5	$1{,}5 \cdot 10^8$ $9{,}5 \cdot 10^2$	22 700 9 900	1001 $493 \leqslant T \leqslant 673$	E, EL P, ST
PbJ_2	428 467 501 528 543 563 611 649	$t_{Pb^{2+}} = 1 - t_{J^-}$ $4 \cdot 10^{-3}$ $3 \cdot 10^{-2}$ 0,12 0,33 0,45 0,6 0,82 0,97	J^-: $9{,}79 \cdot 10^{-2}$ Pb^{2+}: $1{,}15 \cdot 10^7$	4 710 15 100	$423 \leqslant T \leqslant 648$	
CuCl	313 451 470 498 505 517 527 573	$t_{Cu^+} = 1 - t_{e^-}$ 0,02 0,05 0,12 0,39 0,50 0,78 0,90 0,99				
Cu_2O	1073 1173 1273 1273	$t_{Cu^+} = 1 - t_{e^-}$ $2{,}2 \cdot 10^{-4}$ $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-4}$	bei 0,7 mbar O_2 bei 5,2 mbar O_2 bei 0,85 mbar O_2 bei 56 mbar O_2			
FeO	1273	$t_{Fe^{2+}} = 1 - t_{e^-}$ $1{,}1 \cdot 10^{-3}$	bei Fe_2O_3-Zersetzungsdruck			

Fortsetzung T 8.17

Substanz	T	Überführungszahl	Spezifische Leitfähigkeit nach Gl. (8.147) σ_0	E^*/R	T	P-, L-Art
FeS	943	$t_{Fe^{2+}} = 1 - t_{e^-}$ $1 \cdot 10^{-3}$	133 mbar $\lesssim p_{S_2} \leqslant$ 1013 mbar			
TiO_2	1123	$t_{Ti^{4+}} = 10^{-5}$ $t_{O^{2-}} = 10^{-3}$				
γ-CuJ	528 573 598 623 648 673	$t_{Cu^+} = 1 - t_{J^-} t_{e^-}$ 0, 01 0, 25 0, 5 0, 75 0, 98 1, 0		17 500	<637	S, Ionenleitungskomponente

Literatur: Jost, W.; Weiss, K.; Wagner, H.G. (1959): in Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen, 6. Aufl. 2. Bd., Teil 6, S. 223–248. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer

8.18 Spezifische Leitfähigkeit wässeriger KCl-Lösungen – *Specific conductivities of aqueous* KCl-*solutions* (W. Seidel)

Eichlösungen g KCl in 1 kg Lösung	σ in $\Omega^{-1}m^{-1}$ $T = 291$ K	$T = 293$ K	$T = 298$ K
71, 3828 g	9, 8200 ± 0, 00009	10, 2024 ± 0, 00007	11, 1733 ± 0, 0011
7, 43344 g	1, 11919 ± 0, 00011	1, 16676 ± 0, 00007	1, 2886 ± 0, 0001
0, 746558 g	0, 122269 ± 0, 0000016	0, 12757 ± 0, 00002	0, 141145 ± 0, 00002

Konzentration in mol dm^{-3}	Temperatur 298 K $1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0,1	0,5	1,0	2,005	3,0	3,959
$\Omega^{-1}m^{-1}$	0,014695	0,071795	0,1413	0,66685	1,2896	5,860	11,19	21,215	30,114	37,448

Literatur: Falkenhagen, H.; Kelbg, G.; Schmutzer, E. (1960): In: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte u. Funktionen, 6. Aufl. 2. Bd., Teil 7, S. 27–89. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.

8.19 Standard-Redoxpotentiale in wäßrigem Elektrolyten in V (bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode) – *Standard potentials in aqueous solution in* V (*vs. the standard hydrogen electrode*) (B. Kastening)

$T = 298$ K. Aktivitäten $a_i = 1$ (siehe **8**.6.2.7). Bei Formulierung der Redoxsysteme ist H_2O weggelassen.

Li/Li^+	−3,045	Pb/Pb^{2+}	−0,126
Na/Na^+	−2,714	$H_2/2H^+$	0,000
Mg/Mg^{2+}	−2,356	$CH_3OH/HCOOH+4H^+$ [2])	+0,100
$Al+4OH^-/Al(OH)_4^-$	−2,310	Cu/Cu^{2+}	+0,340
Al/Al^{3+}	−1,676	$Fe(CN)_6^{4-}/Fe(CN)_6^{3-}$	+0,361
$H_2+2OH^-/2H_2O$	−0,828	$4OH^-/O_2$	+0,401
Zn/Zn^{2+}	−0,763	$2I^-/I_2$	+0,536
$(COOH)_2/2CO_2+2H^+$ [2])	−0,481	Br^-+6OH^-/BrO_3^-	+0,584
Fe/Fe^{2+}	−0,44	MnO_2+4OH^-/MnO_4^-	+0,62
Cd/Cd^{2+}	−0,403	$H_2Q/Q+2H^+$ [1])	+0,700

Fortsetzung T 8.19

Fe^{2+}/Fe^{3+}	+0,771	$2Cr^{3+}/Cr_2O_7^{2-}+14H^+$	+1,36
Ag/Ag^+	+0,799	$Mn^{2+}/MnO_4^-+8H^+$	+1,51
$2Br^-/Br_2$	+1,065	Ce^{3+}/Ce^{4+}	+1,72
$2H_2O/O_2+4H^+$	+1,229	$2SO_4^{2-}/S_2O_8^{2-}$	+1,96
$2Cl^-/Cl_2$	+1,358	$2F^-/F_2$	+2,87

[1]) H_2Q: p-Benzohydrochinon; Q: p-Benzochinon.
[2]) Beispiele organisch-chemischer Redox-Reaktionen, zumeist irreversibel.

Literatur: Bard, A.J.; Parsons, R.; Jordan, J.(1985): Standard Potentials in Aqueous Solution. New York, Basel: Marcel Dekker. Weast, R. (ed.) (1979): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 59th edition, D–196. Boca Raton, FL: CRC Press.

8.20 Nulladungspotentiale in V (gegen die Standard-Wasserstoffelektrode) – *Potentials of zero charge in* V (*vs. the standard hydrogen electrode*) (B. Kastening)

Ag	0,01 M Na_2SO_4	−0,7
Al	0,01 M KCl	−0,52
Au	0,01 M Na_2SO_4	+0,23
	1 M $NaClO_4$ + 0,005 M $HClO_4$	+0,3
Bi	0,01 M KCl	−0,36
C (akt)	0,5 M Na_2SO_4 + 0,005 M H_2SO_4	+0,07
Cd	0,001 M KCl	−0,9
Co	0,01 M Na_2SO_4	−0,32
Cu	0,01 M Na_2SO_4	+0,03
	0,1 M NaOH	+0,05
Fe	0,005 M H_2SO_4	−0,37
Ga	1 M $NaClO_4$ + 0,1 M $HClO_4$	−0,61
Hg	0,01 M NaF	−0,19
In[1])	0,5 M Na_2SO_4 + 0,005 M H_2SO_4	−0,65
Na[1])	0,05 M $N(CH_3)_4I$ + 0,1 M NaOH	−1,85
Pb	0,0005 M K_2SO_4	−0,64
PbO_2	0,005 M H_2SO_4	+1,8
Pt	0,025 M H_2SO_4	+0,12
	0,003 M $HClO_4$	+0,41
Sb	0,1 M HCl	−0,19
Sn	0,001 M $KClO_4$	−0,46
Tl	0,001 M KCl	−0,82
Tl[1])	0,5 M Na_2SO_4	−0,65

[1]) als Amalgam (41,5% Tl bzw. 0,3% Na)

Literatur: Koryta, J.; Dvořák, J; Boháčková, V. (1975): Lehrbuch der Elektrochemie. Wien, New York: Springer-Verlag. Bockris, J.O'M.; Reddy, A.K.N. (1974): Modern Electrochemistry. Vol.2. New York: Plenum Press.

8.21 Kinetische Daten ausgewählter Redox-Reaktionen an verschiedenen Metallen in wäßriger Lösung[1]) – *Kinetic data of selected redox reactions at various metals in aqueous solutions*[1]) (B. Kastening)

J^0: Austauschstromdichte in A/m². α: Durchtrittsfaktor.

Redox-Reaktion	Temp. °C	Elektrode	Elektrolyt	J^0	α
Ag/Ag^+	20	Ag	1 M $HClO_4$	$1{,}34 \cdot 10^5$	0,65
Cd/Cd^{2+}	20	Cd	0,4 M K_2SO_4	$1{,}9 \cdot 10^2$	0,55
Ce^{3+}/Ce^{4+}	25	Pt	H_2SO_4	$4{,}0 \cdot 10^{-1}$	
Cr^{2+}/Cr^{3+}	25	Hg	KCl	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	
Cu/Cu^{2+}	20	Cu	1 M $CuSO_4$	$2{,}0 \cdot 10^{-1}$	0,5
Fe/Fe^{2+}	20	Fe	1 M $FeSO_4$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	0,5
Fe^{2+}/Fe^{3+}	25	Pt	1 M $HClO_4$	$4{,}0 \cdot 10^3$	0,58
$Fe(CN)_6^{4-}$ $/Fe(CN)_6^{3-}$	25	Pt	0,5 M K_2SO_4	5	0,49
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Ag	1 M HCl	2	0,45
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	25	Al	1 M H_2SO_4	$1 \cdot 10^{-6}$	0,59
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	25	Au	H_2SO_4	2,5	
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Cu	1 M HCl	$1{,}7 \cdot 10^{-3}$	0,5
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Fe	1 M HCl	$1 \cdot 10^{-2}$	0,4
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Hg	1 M HCl	$2 \cdot 10^{-8}$	0,5
$\frac{1}{2}H_2+OH^-/H_2O$	20	Hg	0,1 M NaOH	$2{,}5 \cdot 10^{-11}$	0,59
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Ni	1 M HCl	$4 \cdot 10^{-2}$	0,5
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Pd	1 M HCl	2	2,0[2])
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	25	Pt	1 M H_2SO_4	$1{,}0 \cdot 10^1$	0,5
$\frac{1}{2}H_2+OH^-/H_2O$	25	Pt	1 M KOH	$1{,}0 \cdot 10^1$	0,5
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	Sn	1 M HCl	$1 \cdot 10^{-4}$	0,4
$\frac{1}{2}H_2/H^+$	20	W	1 M HCl	$1 \cdot 10^{-2}$	1,5[2])
Ni/Ni^{2+}	20	Ni	1 M $NiSO_4$	$2 \cdot 10^{-5}$	0,5
$2H_2O/O_2+4H^+$	25	Pt	1 M H_2SO_4	$1 \cdot 10^{-2}$	0,25
$4OH^-/O_2$	25	Pt	1 M KOH	$1 \cdot 10^{-2}$	0,3
Ti^{3+}/Ti^{4+}	25	Pt	1 M Weinsäure	$9 \cdot 10^3$	0,55
Zn/Zn^{2+}	20	Zn	1 M $ZnSO_4$	$2 \cdot 10^{-1}$	0,5

[1]) Die kinetischen Parameter hängen stark von der Oberflächenbeschaffenheit des Metalls ab.
[2]) Werte $\alpha > 1$ weisen auf ein dem geschwindigkeitsbestimmenden Schritt vorgelagertes, potentialabhängiges Gleichgewicht hin.

Literatur: Parsons, R. (1959): Handbook of Electrochemical Constants. London: Butterworths. Bockris, J.O'M.; Reddy, A.K.N. (1974): Modern Electrochemistry. Vol. 2. New York: Plenum Press. Hamann, C.H.; Vielstich, W. (1981): Elektrochemie II. Weinheim: Verlag Chemie. Rieger, P.H. (1987): Electrochemistry. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

8.22 Permittivitätszahlen und Verlustfaktoren wichtiger Isolierstoffe bei Raumtemperatur, falls nicht anders angegeben – *Permittivities and loss factors of important insulating materials at room temperature* (P. Thoma)

Die Zahl hinter dem Buchstaben E ist der Exponent zur Basis 10.

Material bzw. Handelsname	Permittivitätszahl ε_r	Verlustfaktoren tan δ 50 Hz	1 MHz	10 GHz
a) *Technische Isolierstoffe*				
Bernstein	2,2 bis 2,9	0,05		
Quarzgut (aus Quarzsand erschmolzen)	3,5 bis 3,7	0,002 bis 0,0006	0,0015 bis 0,0005	0,0012 bis 0,0004
Quarzglas (aus ein kristallinem SiO_2 erschmolzen)	3,70 bis 3,83	2,8E−4 bis 8,2E−5	1,4E−4 bis 8,8E−5	3,5E−4 bis E−4
(50 °C)	3,7 bis 5,75	1,2E−3 bis 3E−4	E−3 bis 4E−4	5E−4 bis E−4
Ultrasil (DR)	3,7 bis 3,8	1,2E−4 bis 9,8E−5	1,32E−4 bis 8,8E−5	2,4E−4 bis 6E−5
Acrylgläser (Plexiglas, Plexidur)	2,54 bis 5,2	0,06	0,032 bis 0,012	8E−3 bis 3E−3
Glimmer (Mineral)	5 bis 9	5E−4 bis 2E−5	5E−4 bis 2E−5	
Hartgummi	3 bis 4	0,005 bis 0,003	0,009 bis 0,005	
Hartporzellan	5 bis 6,5	0,003 bis 0,002	0,001 bis 0,0005	
b) *Glaskeramiken*				
Zerodur	7,6	0,013	0,015	
Mexim (Alsthom-Glaskeramik) (DR)	4,32 bis 5,72	4E−4 bis E−4	4E−4 bis E−4	4E−4 bis E−4
$SrTiO_3$ (Glaskeramik)	61 bis 68	0,003	0,0154	0,015
Alkali-Calciumsilikat	5 bis 7	0,02 bis 0,015	0,015	
Aluminium-Calciumsilikat	6 bis 7	0,002 bis 0,0016	0,003 bis 0,002	
Blei-Alkalisilikat	6 bis 8,5	0,003 bis 0,002	0,012 bis 0,008	
Borsilikat	5	0,02 bis 0,015	0,01 bis 0,005	
c) *Isolierkeramiken*				
BeO	3,3 bis 6,4	0,017 bis 3E−4	0,0038 bis 4E−4	1,5E−3 bis 5E−4
AlN	9,8 bis 10,7	0,054 bis 5E−4	0,002 bis 2E−4	0,0039
Al_2O_3	8,4 bis 9,7	2E−3 bis 4E−4	3E−4 bis E−4	6E−4 bis 3E−4
d) *Ferroelektrische Keramiken und Einkristalle für Speicherzellen und Kondensatoren*				
$BaTiO_3$ (220 bis 373 K)	1150 bis 8100	0,008 bis 0,02	0,002 bis 0,01	0,4 bis 0,5
$Ba(Pb, Bi)O_3$ (Mischeinkristall) (4,2 bis 700 K)	120 bis 2,2E+5	0,008 bis 0,12	0,007 bis 0,09	
TiO_2 Rutil (Einkristall)	25 bis 87	0,01 bis 0,007	0,0004 bis 0,0001	
TiO_2 (Keramik Dupont R200) (DR) (273 bis 351 K)	103 bis 97	0,0023 bis 0,013	3E−4 bis 4,5E−4	2E−4 bis 2E−3

Fortsetzung T 8.22

Material bzw. Handelsname	Permittivitätszahl ε_r	Verlustfaktoren tan δ		
		50 Hz	1 MHz	10 GHz
$Pb(Mg, Nb)O_3$ (PMN)				
(223 K)	3200 bis 1800	0,06 bis 0,05	0,1 bis 0,08	
(300 K)	1,4E+4 bis 1,8E+4	0,07 bis 0,06	0,12 bis 0,11	
(335 K)	9000	0,11 bis 0,04	0,2 bis 0,15	
Mg_2SiO_4 (Steatit 410) (DR)				
(273 bis 345 K)	5,77 bis 5,70	0,0055 bis 0,0050	0,0006	0,0022 bis 0,00089
andere Typen	5,1 bis 7,0	0,01 bis 0,005	0,0012 bis 0,0006	0,0031 bis 0,00089
$(Pb, Zr)TiO_4$ (PZT) (0 bis 20 kV/cm)	130 bis 3400	0,02 bis 0,004	0,03 bis 0,02	
$MgTiO_3$ (DR) (15 bis 25 °C)	13,7 bis 13,9	4E−4	4E−4	2,8E−4
$CaTiO_3$	167	0,0021 bis 0,0013	0,0002	0,0085 bis 0,0028
(82 °C)	157	0,04	0,0006	
$(Mg, Ca)TiO_3$ (233 bis 373 K)	22 bis 25	0,005 bis 0,0016	0,005 bis 0,0016	0,0007 bis 0,0003
$(Zr, Sn)TiO_4$ (233 bis 373 K)	39	3E−4 bis 9E−5	5E−5	3E−5 bis 4E−5
$LiNbO_3$ (Einkristallscheiben)	27,9 bis 85,2	0,001 bis 0,003	0,006 bis 0,23	0,07 bis 0,09
(600 K)	5,2E+3 bis 5,4E+3			
$LiTaO_3$ (Einkristallscheiben)	38 bis 54	0,001	0,004	0,001 bis 0,008
(630 bis 930 °C)	E+4 bis 2E+7	0,5 bis 0,1	0,5 bis 0,1	
$KSbSiO_4$				
(273 bis 565 K)	15	0,32	0,02	
(632 bis 730 K)	260 bis 130	0,08 bis 0,018	0,01 bis 0,0046	
$(Sr, Ba)Nb_2O_6$ (273 bis 393 K)	500 bis 7,8E+4	0,02 bis 0,8	0,03 bis 0,8	0,01 bis 0,7
$(Pb, Mg)_2Nb_2O_7$ (0 bis 3 kV/cm)	21000 bis 80	0,06 bis 0,1	0,06 bis 0,1	
$Bi_4V_2O_{11}$ (300 bis 900 K)	33 bis 79	0,04 bis 0,1	0,04 bis 0,175	0,05 bis 0,01
$BaFe_{12}O_{19}$ Ferrit (4,2 bis 293 K)	320 bis E+5	0,1	0,1	
$BaTiFe_4O_{11}$ Ferrit (4,2 bis 293 K)	50 bis 900	0,08	0,08	
Bi_2WO_6 (4,2 bis 350 K)	64 bis 140	0,3 bis 0,4	0,3 bis 0,5	
$(Ni, Zn)Fe_2O_5$ Ferrit	450 bis 200	0,5 bis 0,3	0,4 bis 0,3	
$NbSe_3$ (60 bis 110 K) (E > 0,1 V/cm)	2E+8			
$K_{0.3}MoO_3$ (60 bis 110 K)	3,46E+7 bis 3,89E+6			
$Sn_2P_2S_6$				
(60 K)	100	0,065	0,065	0,07
(340 bis 400 K)	2,4E+4 bis 500	0,17 bis 0,08	0,17 bis 0,08	0,18 bis 0,08

Fortsetzung T 8.22

Material bzw. Handelsname	Permittivitätszahl ε_r	Verlustfaktoren tan δ 50 Hz	1 MHz	10 GHz
e) *Ferroelektrische Gläser*				
V_2O_5–TeO_2 (Mischglas)	80 bis 180	0,1 bis 0,08	0,008	
$LiTaO_3$ (273 bis 300 K)	41 bis 49	0,001	0,001	
(600 K)	32000	0,6	0,6	
(K, Li)TaO_3 (0,1 bis 1 kV/mm)	1,5E+4 bis 2E+3	0,16	0,15	
f) *Pyroelektrische Gläser*				
$BaAl_2O_4$ (123 bis 593 K)	7,2 bis 16,9	0,001 bis 0,02	0,0008 bis 0,008	
$LiNbO_3$ (273 bis 300 K)	32 bis 65	0,001 bis 0,006	0,004 bis 0,008	0,08 bis 0,1
(600 K)	51000			
g) *Substrate und Wafer für die Halbleitertechnik*				
Al_2O_3 Sinterpresslinge	8,4 bis 9,5	5E−3 bis 4E−4	E−3 bis 4E−4	3,5E−4 bis 6E−5
Al_2O_3 Einkristallscheiben	8,8 bis 9,4	1,8E−3 bis E−4	8E−5 bis 3E−4	6E−5 bis 8E−6
(4,2 bis 300 K)	8,0 bis 11,58	2E−6 bis 1,6E−3	2E−6 bis 1,8E−4	2E−6 bis 6E−5
GeO_2	39,8	0,53	0,66	
Ge (100 bis 473 K)	11,4 bis 16,0		0,005 bis 0,9	0,0018 bis 0,76
$NdPO_4$ (Keramik)	7	4E−3 bis 6E−4	4E−3 bis 6E−4	
MgO, Einkristallscheiben				
(300 K)	8,8 bis 10,8	0,016 bis 0,0002	0,008 bis 0,0005	0,0025 bis 0,0009
(77 K)	9,6	2,5E−4 bis 6E−5	2,5E−4 bis 4E−5	9E−5 bis 4E−5
(4,2 K)	9,6	< 2E−5	< 2E−5	< 2E−5
Si (DR) (100 bis 473 K)	11,8 bis 13		5E−4 bis 0,02	0,0016 bis 0,039
SiC	6,53 bis 6,7	0,032	0,036	
$MgAl_2O_4$ (Isometrischer Spinelkristall) (DR)	8,17 bis 8,57	0,0009 bis 0,0006	0,0011 bis 0,0008	
GaAs	11,2 bis 13,5	2E−3 bis 8E−4	0,02 bis 0,008	0,007 bis 0,0006
(100 bis 473 K)	10,6 bis 13,5	7E−5 bis 2E−3	2E−4 bis 0,07	0,0001 bis 0,03
h) *Stark wärmeleitende, dünne Isolierfilme und Scheiben für die Halbleitertechnik*				
Diamant, polykrist. (Quasidiamant)	7,5 bis 9,5	< 0,0001	< 0,00001	< 0,0001
Diamant (Einkristallscheiben, isometrisch)	5,5 bis 5,7	< 0,0001	< 0,00001	< 0,0001
B_4C (4,8 bis 46 K)	12 bis 3200	0,004 bis 0,15	0,002 bis 0,08	
BN	3,5	5E−4 bis 0,002	6E−5 bis 3E−4	
Al_2O_3 polykrist.	9,3 bis 11,7	0,005 bis 0,0004	5E−4 bis 3E−4	E−4 bis 3E−4
SiO_2 polykrist.	3,75 bis 6,0	0,02 bis 0,0006	0,02 bis 0,0002	8,5E−3 bis E−4
$SiO_{0.25}N_{1.5}$	2,18 bis 2,5	0,032	0,036	0,02
GaN polykrist.	12,4 bis 18	0,0097	0,0066	0,005
AlN polykrist.	6,2 bis 9,6	0,0003 bis 0,002	0,0005 bis 0,003	3,2E−4
Si_3N_4 polykrist.	5,5 bis 8,9	0,29 bis 0,08	0,085 bis 0,007	0,015

Fortsetzung T 8.22

Material bzw. Handelsname	Permittivitätszahl ε_r	Verlustfaktoren tan δ 50 Hz	1 MHz	10 GHz
i) *Substrate für Hochtemperatursupraleiter*				
$YZrO_3$ (Ceraflex)	30 bis 23	0,0037	0,0037	
$SrTiO_3$ (Einkristallscheiben)				
(300 K)	140 bis 310	0,12 bis 0,02	0,008 bis 0,0003	0,03 bis 0,0003
(77 K)	1900	0,02 bis 0,004	0,02 bis 0,003	0,002 bis 6E−5
(4,2 K)	2E+4	0,006 bis 0,0003	0,0008 bis 8E−5	
ZrO_2 (Einkristallscheiben)				
(300 K)	38 bis 40	0,03	0,016	0,004
(77 K)	28	0,016	0,002	8E−4
(4,2 K)	25	2E−4	2E−4	4E−4
$LaAlO_3$ (Einkristallscheiben)				
(273 bis 300 K)	15,2	0,00052 bis 0,0007	0,00056 bis 0,00065	0,00058 bis 0,0007
(4,2 bis 90 K)	26,3 bis 22	8E−6 bis 2E−5	8E−6 bis 2E−5	2,5E−6 bis 4E−5
$NdGaO_3$ (Einkristallscheiben)	20 bis 25			
$LaGaO_3$ (Einkristallscheiben) (4,2 bis 300 K)	25	8E−5 bis 2E−3	E−5 bis 1,8E−3	3E−6 bis 8E−4
k) *Platinenmaterial*				
Cuflon Streifenleitersubstrat (DR) (Teflon)	2,1	1E−4	1E−4	6,6E−4 bis 4,5E−4
Diaclad Glasfaserteflon	2,3 bis 2,6	0,001	0,001	0,0008 bis 0,0025
Diaclad Teflonkeramik	10,2 bis 10,5	0,0025	0,0025	0,0025 bis 0,001
Duroid Streifenleitersubstrate	2,2	8E−4 bis 5E−4	8E−4 bis 4E−4	9E−4
(mit Teflon)	2,5	8E−4 bis 5E−4	8E−4 bis 4E−4	2,2E−3
(mit Korundpulver)	2,94	8E−4 bis 5E−4	8E−4 bis 4E−4	2,3E−3
	10,2	7E−4 bis 5E−4	7E−4 bis 5E−4	1,2E−3
l) *Dielektrika für Hoch-C Kondensatoren bzw. Ladungssammler*				
Ta_2O_5 (−55 bis 100 °C)	5 bis 25	0,15 bis 0,02	0,08 bis 0,006	
$SrTiO_3$ polykrist. (20 bis 1000 °C)	140 bis 210	0,08 bis 0,001	0,01 bis 0,006	0,008 bis 0,004
$Cd_2Nb_2O_7$ (pyroel. Keramik) (290 bis 470 K)	800 bis 360	0,0022 bis 0,004	0,008 bis 0,017	
m) *Plastomere Isolierstoffe*				
Celluloseacetat	3,4 bis 5,5	0,01 bis 0,005	0,021 bis 0,064	
Polyäthylen	2,15 bis 2,32	0,0002	2E−5	6E−6 bis 4E−5
Polyäthylenterephthalat	4	0,02		
Polymethylpenten	2,1	0,0004	0,0005	
Polypropylen	2,2	0,0004	0,0005	
Polystyrol	2,5 bis 3,1	4E−4 bis E−4	4E−4 bis 5E−5	

Fortsetzung T 8.22

Material bzw. Handelsname	Permittivitätszahl ε_r	Verlustfaktoren $\tan\delta$ 50 Hz	1 MHz	10 GHz
Polytetrafluoräthylen (Teflon)	2,1 bis 2,2	0,0005	0,0005	7,1E−5 bis 4E−4
Teflon AF (DR)	1,89 bis 1,93	7,3E−5	8,4E−5	0,00035
n) *Duromere Isolierstoffe*				
Epoxidharze	4 bis 4,5	0,01	0,01 bis 0,04	
Polyesterharze	4 bis 4,5	0,02	0,01 bis 0,03	
Silikonharze	2,8 bis 3,5	0,02	0,015	
Polystone	2,2 bis 2,3	0,0002	0,0004	0,0005
o) *Elastomere Isolierstoffe*				
Äthylen-Propylen Misch-polymerisat	2,3 bis 3,3	0,005		
Polymethan-elastomere	6,3 bis 8,5	0,01 bis 0,36	0,05 bis 0,1	
Silikonkautschuk	2,8 bis 3,6	0,01 bis 0,03	0,004 bis 0,005	

Bemerkung: Bei den Werten handelt es sich um Richtwerte, die besonders vom Elektrodenmaterial, von Verunreinigungen und Zusätzen im Isolator, aber auch von Fremdstoffeinschlüssen im Übergangsbereich Elektrode-Isolator abhängen. Bei Keramiken ist die Abhängigkeit von d. Zusammensetzung besonders stark. Die mit DR bezeichneten Materialien können als dielektrische Referenzmaterialien bei $T \leqslant 300\,\mathrm{K}$ dienen. Ihre Struktureigenschaften verkleinern die Abhängigkeit der Verlustfaktoren vom Elektrodenmaterial. Sie dürfen nicht mit ladungsinjizierenden Medien bei $T > 300\,\mathrm{K}$ in Berührung kommen.

8.23 Permittivitätszahlen der wichtigsten Ionenkristalle – *Permittivities of the most important ionic crystals* (P. Thoma)

Kristall	ε_r	$\varepsilon_{r,\infty} = n^2$	Kristall	ε_r	$\varepsilon_{r,\infty} = n^2$	Kristall	ε_r	$\varepsilon_{r,\infty} = n^2$
AgBr	13,1	4,62	KCl	4,68	2,13	NaI	6,60	2,91
AgCl	12,3	4,01	KF	6,05	1,85	NH_4Cl	6,96	2,62
BaF_2	7,33	2,09	KI	4,94	2,69	RbBr	5,0	2,33
BeO	7,35	2,95	LiBr	12,1	3,16	RbCl	5,0	2,19
CaF_2	8,43	1,99	LiCl	11,05	2,75	RbF	5,91	1,93
CaO	11,8	3,28	LiF	9,27	1,92	RbI	5,0	2,63
CaBr	6,51	2,78	LiI	11,03	3,80	SrF_2	7,69	2,08
CsCl	7,20	2,60	MgF_2	5,1	2,4	SrO	13,3	3,31
CsI	5,65	3,03	MgO	9,8	2,95	TlBr	29,8	5,41
CuBr	8,0	4,08	NaBr	5,99	2,62	TlCl	31,9	5,10
CuCl	10,0	3,57	NaCl	5,62	2,25	ZnS	8,3	5,07
KBr	4,78	2,33	NaF	6,0	1,74			

8.24 Die thermoelastodielektrischen Materialkonstanten zweiter Ordnung mit Darstellung ihres Zusammenhangs durch das Heckmann-Diagramm – *The thermoelastodielectric material constants of second order with a representation of their interrelation by means of the Heckmann diagram* (P. Thoma)[1])

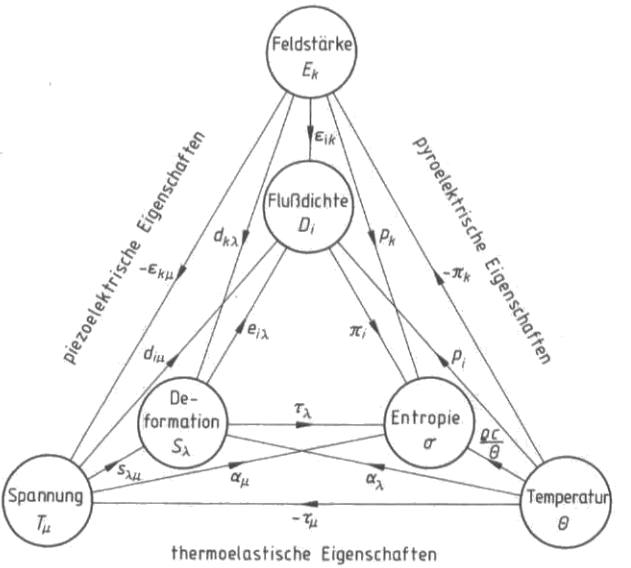
Material-eigenschaften	Materialkonstante	Symbol und Definition	SI-Einheit
thermische	spezifische Wärmekapazität	$c = \frac{\Theta \delta\sigma}{\varrho \delta\Theta}$	$\mathrm{Jkg^{-1}\,K^{-1}}$
dielektrische	Permittivität	$\varepsilon_{ik} = \frac{\delta D_i}{\delta E_k}$	$\mathrm{Fm^{-1}}$
	Inverse Permittivität	$\beta_{ik} = \frac{\delta E_i}{\delta D_k}$	$\mathrm{F^{-1}\,m}$
elastische	Elastizitätskoeffizient	$s_{\lambda\mu} = \frac{\delta S_\lambda}{\delta T_\mu}$	$\mathrm{N^{-1}\,m^2}$
	Elastizitätsmodul	$c_{\lambda\mu} = \frac{\delta T_\lambda}{\delta S_\mu}$	$\mathrm{Nm^{-2}}$
pyroelektrische	pyroelektrischer Koeffizient	$p_i = \frac{\delta D_i}{\delta\Theta} = \frac{\delta\sigma}{\delta E_i}$	$\mathrm{Cm^{-2}\,K^{-1}}$
	pyroelektrischer Koeffizient	$\pi_i = -\frac{\delta E_i}{\delta\Theta} = \frac{\delta\sigma}{\delta D_i} = \pi_k$	$\mathrm{Vm^{-1}\,K^{-1}}$
	pyroelektrischer Modul	$q_i = -\frac{\delta E_i}{\Theta\delta\sigma} = -\frac{\delta\Theta}{\Theta\delta D_i}$	$\mathrm{C^{-1}\,m^2}$
	pyroelektrischer Modul	$\varrho_i = \frac{\delta D_i}{\Theta\delta\sigma} = -\frac{\delta\Theta}{\Theta\delta E_i}$	$\mathrm{V^{-1}\,m}$
piezoelektrische	piezoelektrischer Koeffizient	$d_{i\mu} = \frac{\delta D_i}{\delta T} = \frac{\delta S_\mu}{\delta E_i} = d_{k\lambda}$	$\mathrm{CN^{-1}}$
	piezoelektrischer Koeffizient	$g_{i\mu} = \frac{\delta E_i}{\delta T_\mu} = \frac{\delta S_\mu}{\delta D_i} = g_{k\mu}$	$\mathrm{C^{-1}\,m^2}$
	piezoelektrischer Modul	$h_{ik} = -\frac{\delta E_i}{\delta S_\mu} = -\frac{\delta T_\mu}{\delta D_i} = h_{k\lambda}$	$\mathrm{C^{-1}N}$
	piezoelektrischer Modul	$e_{i\mu} = \frac{\delta D_i}{\delta S_\mu} = -\frac{\delta T_\mu}{\delta E_i} = e_{ik} = e_{k\mu}$	$\mathrm{Cm^{-2}}$
thermoelastische	Ausdehnungskoeffizient	$\alpha_i = \frac{\delta S_\lambda}{\delta\Theta} = \frac{\delta\sigma}{\delta T_\lambda} = \alpha_\mu$	$\mathrm{K^{-1}}$
	Spannungskoeffizient	$\tau_\lambda = -\frac{\delta T_\lambda}{\delta\Theta} = \frac{\delta\sigma}{\delta S_\lambda} = \tau_\mu$	$\mathrm{Nm^{-2}\,K^{-1}}$
	Spannungsmodul	$\gamma_\lambda = -\frac{\delta T_\lambda}{\Theta\delta\sigma} = -\frac{\delta\Theta}{\Theta\delta S_\lambda}$	
	Ausdehnungsmodul	$\sigma_\lambda = \frac{\delta S_\lambda}{\Theta\delta\sigma} = -\frac{\delta\Theta}{\Theta\delta T_\lambda}$	$\mathrm{N^{-1}\,m^2}$

Die durch partielle Ableitungen erklärten Konstanten sind zweiter Ordnung, weil sie Größen enthalten, die ihrerseits durch partielle Ableitungen erklärt sind.

[1]) Nach Tichy, J.; Gautschi, G. (1980): Piezoelektrische Meßtechnik. Berlin: Springer

Fortsetzung T 8.24

Das Heckmann-Diagramm vermittelt einen anschaulichen Zusammenhang zwischen den Materialkonstanten. An den Ecken des äußeren Dreiecks stehen die intensiven Zustandsgrößen, an den Ecken des inneren Dreiecks die extensiven Zustandsgrößen. Die Pfeile geben die Richtung von der unabhängigen Zustandsgröße zu der abhängigen Zustandsgröße an. Die kurzen Verbindungslinien der gleichgelegenen Ecken des inneren und äußeren Dreiecks stellen die Haupteffekte dar, die Linien zwischen den nicht gleichgelegenen Ekken repräsentieren die Kopplungseffekte. Nach Heckmann, G. (1925): Ergebnisse der exakt. Naturwiss. **4**, 100.



8.25 Fermi-Energie E_F einiger Metalle – *Fermi energy E_F of some metals* (E.Braun)

Metall	Li	Na	K	Rb	Cs	Mg	Ca	Al	Ag	Au	Cu
E_F in eV	4,7	3,1	2,1	1,8	1,5	7,0	4,7	11,6	5,5	5,5	7,0

Literatur: Hellwege, K.H. (1976): Einführung in die Festkörperphysik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

8.26 Spezifischer elektrischer Widerstand ϱ_0 [1]) bei 0 °C, Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes α [2]) und Debye-Temperatur Θ_D von reinen Metallen – *Electrical resistivity ϱ_0 at 0°C, temperature coefficient of the resistivity α and Debye temperature Θ_D of pure metals* (E.Braun)

Metall	ϱ_0 in 10^{-8} Ωm	α in 10^{-3} K^{-1}	Θ_D in K	Metall	ϱ_0 in 10^{-8} Ωm	α in 10^{-3} K^{-1}	Θ_D in K
Ag	1,50	4,10	210	Ca	3,6	~4	230
Al	2,50	4,67	419	Cd	6,73	4,26	300
As	26,0		291	Co	5,2	6,58	445
Au	2,04	3,98	165	Cr	15,0		403
Ba	36	6,1	133	Cs	19,0	5,0	219
Be	2,78	7,5	1160	Cu	1,55	4,33	335
Bi	107	4,45	120	Fe_α	8,71	6,57	462

[1]) Die Werte für nicht kubische Metalle sind aus Einkristalldaten gemittelt oder an polykristallinen Materialien gemessen.

[2]) α ist ein mittlerer relativer Temperaturkoeffizient, in der Regel für den Bereich zwischen 0 und 100 °C.

Fortsetzung T 8.26

Metall	ϱ_0 in 10^{-8} Ωm	α in 10^{-3} K^{-1}	Θ_D in K	Metall	ϱ_0 in 10^{-8} Ωm	α in 10^{-3} K^{-1}	Θ_D in K
Ga	13,7	4,1	125	Pr	69	1,65	
Hf	26,5	4,4	254	Pt	9,81	3,92	233
Hg[3])	94,1	0,99	69	Pu	160	−2,97	
In	8,2	5,1	109	Rb	11,6	5,3	68
Ir	4,74	4,33	316	Re	18,9	3,1	310
K	6,3	5,4	100	Rh	4,33	4,57	370
La	65		132	Ru	6,67	4,5	426
Li	8,5	4,37	363	Sb	32,1	5,1	201
Mg	3,94	4,2	330	Sn	10,1	4,63	160
Mn_α	710	0,17		Sr_α	20	~5	148
Mn_β	91	1,4	410	Ta	12,4	3,6	247
Mn_γ	23	6,3		Th	19,1	3,3	
Mo	5,03	4,7	425	Ti	42	5,5	278
Na	4,27	5,5	160	Tl	15	5,2	89
Nb	23,3	2,28	250	U	~25		
Ni	6,58	6,75	413	V	18,2		300
Os	95	4,2	256	W	4,89	4,83	380
Pb	19,3	4,22	90	Zn	5,45	4,2	100
Pd	9,77	3,8	275	Zr	40,5	4,0	270
Po	~45	~4,6					

[3]) flüssig.

Literatur: Gerritsen, A.N. (1956): In: Handbuch der Physik XIX, Hrsg. Flügge. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer; Meissner (1935): Handbuch d.Exp.-Physik 11/2. Leipzig; Grüneisen (1945): Erg.d. exakten Naturw. **21**, Berlin.

8.27 Atomare Widerstandserhöhung $\Delta\varrho_{At}$ und $\Delta\varrho'_{At}$ für verschiedene in Kupfer gelöste Metalle – *Atomic resistivity increase* $\Delta\varrho_{At}$ *und* $\Delta\varrho'_{At}$ *of different metals dissolved in copper* (E. Braun)

Die Widerstandserhöhung $\Delta\varrho$, die durch gelöste Fremdatome verursacht wird, deren Konzentration c in Atomprozent gemessen wird, ergibt sich zu: $\Delta\varrho = \Delta\varrho_{At}c + \Delta\varrho'_{At}c^2$.

	$\Delta\varrho_{At}$ in 10^{-8} Ωm/at %	$\Delta\varrho'_{At}$ in 10^{-8} Ωm/(at %)^2		$\Delta\varrho_{At}$ in 10^{-8} Ωm/at %	$\Delta\varrho'_{At}$ in 10^{-8} Ωm/(at %)^2		$\Delta\varrho_{At}$ in 10^{-8} Ωm/at %	$\Delta\varrho'_{At}$ in 10^{-8} Ωm/(at %)^2
Be	0,62		Ni	1,25		In	1,06	0,026
Mg	0,65		Zn	0,32		Sn	2,88	0,094
Al	1,25	0,055	Ga	1,42	0,066	Sb	5,4	0,076
Si	3,95		Ge	3,79	0,096	Ir	5,7	
P	6,7		As	6,8		Pt	2,1	
Cr	3,6		Rh	4,40		Au	0,55	
Mn	2,90		Pd	0,89		Hg	1,0	
Fe	9,3		Ag	0,14				
Co	6,35	1,3	Cd	0,30				

Literatur: Gerritsen, A. N. (1956): Hdb. d. Physik, Bd. XIX. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.

8.28 Grüneisen-Funktion $G(\vartheta)$ – *Grüneisen function* $G(\vartheta)$ (E. Braun)

$\vartheta = \Theta_D/T$, Θ_D Debye-Temperatur

ϑ	$G(\vartheta)$	ϑ	$G(\vartheta)$	ϑ	$G(\vartheta)$	ϑ	$G(\vartheta)$
0	1,0000	4,5	0,3867	9,0	0,06740	14,0	0,01289
0,1	0,9994	4,6	0,3729	9,1	0,06490	14,2	0,012185
0,2	0,9978	4,7	0,3595	9,2	0,06250	14,4	0,011528
0,3	0,9950	4,8	0,3466	9,3	0,06021	14,6	0,010915
0,4	0,9912	4,9	0,3340	9,4	0,05800	14,8	0,010344
0,5	0,9862	5,0	0,3217	9,5	0,05589	15,0	$0{,}0_29805$
0,6	0,9803	5,1	0,3098	9,6	0,05386	15,2	$0{,}0_29302$
0,7	0,9733	5,2	0,2983	9,7	0,05192	15,4	$0{,}0_28831$
0,8	0,9653	5,3	0,2871	9,8	0,05005	15,6	$0{,}0_28389$
0,9	0,9563	5,4	0,2763	9,9	0,04826	15,8	$0{,}0_27974$
1,0	0,9465	5,5	0,2658	10,0	0,04655	16,0	$0{,}0_27584$
1,1	0,9357	5,6	0,2557	10,1	0,04490	16,2	$0{,}0_27218$
1,2	0,9241	5,7	0,2460	10,2	0,04332	16,4	$0{,}0_26873$
1,3	0,9118	5,8	0,2366	10,3	0,04181	16,6	$0{,}0_26549$
1,4	0,8986	5,9	0,2275	10,4	0,04035	16,8	$0{,}0_26243$
1,5	0,8848	6,0	0,2187	10,5	0,03896	17,0	$0{,}0_25955$
1,6	0,8704	6,1	0,2103	10,6	0,03762	17,2	$0{,}0_25683$
1,7	0,8554	6,2	0,2021	10,7	0,03633	17,4	$0{,}0_25427$
1,8	0,8398	6,3	$0{,}1942_5$	10,8	0,03509	17,6	$0{,}0_25185$
1,9	0,8238	6,4	0,1867	10,9	0,03390	17,8	$0{,}0_24956$
2,0	0,8073	6,5	0,1795	11,0	0,03276	18,0	$0{,}0_24740$
2,1	0,7905	6,6	0,1725	11,1	0,03167	19,0	$0{,}0_23819$
2,2	0,7733	6,7	0,1658	11,2	0,03061	20,0	$0{,}0_23111$
2,3	0,7559	6,8	0,1593	11,3	0,02960	22	$0{,}0_22125$
2,4	0,7383	6,9	0,1531	11,4	0,02863	24	$0{,}0_21500$
2,5	0,7205	7,0	$0{,}1471_5$	11,5	0,02769	26	$0{,}0_21089$
2,6	0,7026	7,1	0,1414	11,6	0,02680	28	$0{,}0_38097$
2,7	0,6846	7,2	0,1359	11,7	0,02593	30	$0{,}0_36145$
2,8	0,6666	7,3	0,1306	11,8	0,02510	32	$0{,}0_34747$
2,9	0,6486	7,4	$0{,}1255_5$	11,9	0,02430	34	$0{,}0_33724$
3,0	0,6307	7,5	$0{,}1206_7$	12,0	0,02353	36	$0{,}0_32963$
3,1	0,6128	7,6	0,11599	12,1	0,02279	38	$0{,}0_32387$
3,2	0,5950	7,7	0,11150	12,2	0,02208	40	$0{,}0_31944$
3,3	0,5775	7,8	0,10719	12,3	0,02139	44	$0{,}0_31328$
3,4	0,5600	7,9	0,10306	12,4	0,02073	48	$0{,}0_49375$
3,5	0,5428	8,0	0,09909	12,5	0,02009	50	$0{,}0_47964$
3,6	0,5259	8,1	0,09529	12,6	0,01948	52	$0{,}0_46806$
3,7	0,5091	8,2	0,09165	12,7	0,01889	56	$0{,}0_45061$
3,8	0,4927	8,3	0,08816	12,8	0,01832	60	$0{,}0_43841$
3,9	0,4766	8,4	0,08480	12,9	0,01777	64	$0{,}0_42967$
4,0	0,4608	8,5	0,08159	13,0	0,01725	68	$0{,}0_42328$
4,1	0,4453	8,6	0,07851	13,2	0,01624	70	$0{,}0_42073$
4,2	0,4301	8,7	0,07555	13,4	0,01531	72	$0{,}0_41852$
4,3	0,4153	8,8	0,07272	13,6	0,01445	76	$0{,}0_41492$
4,4	0,4008	8,9	0,07000	13,8	0,01364	80	$0{,}0_41215$

8.29 Mittlere Druckkoeffizienten des elektrischen Widerstandes γ_p in 10^{-11} m²/N für Drücke bis zu $7 \cdot 10^8$ N/m² bei 0 °C – *Mean pressure coefficients of the electrical resistivity γ_p in 10^{-11} m²/N for pressures up to $7 \cdot 10^8$ N/m² at 0 °C* (E.Braun)

Metall	Mg	Al	Fe	Ni	Nb	Mo	Rh	Pd	Ta	W	Pt	Cu	Ag	Au	Pb
γ_p	4,48	4,36	2,39	1,89	1,20	1,33	1,67	2,17	1,48	1,37	1,97	1,92	3,52	3,00	13,24

Literatur: Gerritsen, A.N. (1956): Hdb. d. Physik. Bd. XIX, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.

8.30a Die thermoelektrische Spannungsreihe – *Thermoelectric series* (E. Braun)

Die Zahlen unter dem Metall X bedeuten die Thermospannung in mV, wenn das Bezugsmetall eine Temperatur von 0 °C, das Metall X eine solche von 100 °C hat. Bezugsmetall ist in Zeile 1 Platin, in Zeile 2 Kupfer, in Zeile 3 Wismut, in Zeile 4 stehen die „absoluten" Werte der Thermospannung.

Bi	Konst	Co	Ni	K	Pd	Na	Pt	Hg	C	Al	Mg	Pb	Sn	Cs
−7	−3,4	−1,6	−1,5	−0,9	−0,3	−0,2	0,0	0,0	+0,2	+0,4	+0,4	+0,4	$+0{,}4_5$	+0,5
−8	−4,1	−2,3	−2,2	−1,6	−1,0	−0,9	$-0{,}7_5$	$-0{,}7_5$	$-0{,}5_5$	$-0{,}3_5$	$-0{,}3_5$	$-0{,}3_5$	−0,3	$-0{,}2_5$
0	+3,6	+5,4	+5,5	+6,1	+6,7	+6,8	+7,0	+7,0	+7,2	+7,4	+7,4	$+7{,}4_5$	$+7{,}4_5$	+7,5
−8	−3,9	−2,1	−2,0	−1,4	−0,8	−0,7	$-0{,}5_5$	$-0{,}5_5$	$-0{,}3_5$	$-0{,}1_5$	$-0{,}1_5$	−0,1	−0,1	$-0{,}0_5$

Manganin	Ir	Rh	Zn	Norm Ag Leg	Ag	Au	Cu	W	Cd	Mo	Fe	Sb	Si*	Te*
+0,6	$+0{,}6_5$	$+0{,}6_5$	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7	$+0{,}7_5$	+0,8	+0,9	+1,2	+1,8	+4,7	+45	+50
$-0{,}1_5$	−0,1	−0,1	$-0{,}0_5$	$-0{,}0_5$	$-0{,}0_5$	$-0{,}0_5$	0,0	$+0{,}0_5$	$+0{,}1_5$	$+0{,}4_5$	$+1{,}0_5$	+4,0	+44	+49
+7,6	$+7{,}6_5$	$+7{,}6_5$	+7,7	+7,7	+7,7	+7,7	$+7{,}7_5$	+7,8	+7,9	+8,2	+8,8	+12	+52	+57
$+0{,}0_5$	+0,1	+0,1	$+0{,}1_5$	+0,14	$+0{,}1_5$	$+0{,}1_5$	+0,2	$+0{,}2_5$	$+0{,}3_5$	$+0{,}6_5$	$+1{,}2_5$	+4,2	+44	+49

* Diese Werte hängen von der Dotierung des Halbleiters ab.

8.30b Thermospannungen in mV nach DIN 43710 für einige gebräuchliche Thermoelemente – *Thermoelectric voltages in* mV *according to* DIN 43710 *for some common thermocouples* (E.Braun)

Bezugstemperatur 0°C.

Cu-Konst.

°C	0	−10	−20	−30	−40	−50	−60	−70	−80	−90	−100	mV/K[1])
−100	−3,40	−3,68	−3,95	−4,21	−4,46	−4,69	−4,91	−5,12	−5,32	−5,51	−5,70	0,023
0	0	−0,39	−0,77	−1,14	−1,50	−1,85	−2,18	−2,50	−2,81	−3,11	−3,40	0,034
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	mV/K[1])
0	0	0,40	0,80	1,21	1,63	2,05	2,48	2,91	3,35	3,80	4,25	0,043
100	4,25	4,71	5,18	5,65	6,13	6,62	7,12	7,63	8,15	8,67	9,20	0,050
200	9,20	9,74	10,29	10,85	11,41	11,98	12,55	13,13	13,71	14,30	14,90	0,057
300	14,90	15,50	16,10	16,70	17,31	17,92	18,53	19,14	19,76	20,38	21,00	0,061
400	21,00	21,62	22,25	22,88	23,51	24,15	24,79	25,44	26,09	26,75	27,41	0,064
500	27,41	28,08	28,75	29,43	30,11	30,80	31,49	32,19	32,89	33,60	34,31	0,069

[1]) Mittelwerte der 100°-Bereiche. Dies trifft auch für die weiteren Teile von Tab. T 8.30b zu.

Fortsetzung T 8.30b

Fe-Konst.

°C	0	−10	−20	−30	−40	−50	−60	−70	−80	−90	−100	m V/K
−100	−4,75	−5,15	−5,53	−5,90	−6,26	−6,60	−6,93	−7,25	−7,56	−7,86	−8,15	0,034
0	0	−0,51	−1,02	−1,53	−2,03	−2,51	−2,98	−3,44	−3,89	−4,33	−4,75	0,048
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m V/K
0	0	0,52	1,05	1,58	2,11	2,65	3,19	3,73	4,27	4,82	5,37	0,054
100	5,37	5,92	6,47	7,03	7,59	8,15	8,71	9,27	9,83	10,39	10,95	0,056
200	10,95	11,51	12,07	12,63	13,19	13,75	14,31	14,88	15,44	16,00	16,56	0,056
300	16,56	17,12	17,68	18,24	18,80	19,36	19,92	20,48	21,04	21,60	22,16	0,056
400	22,16	22,72	23,29	23,86	24,43	25,00	25,57	26,14	26,71	27,28	27,85	0,057
500	27,85	28,43	29,01	29,59	30,17	30,75	31,33	31,91	32,49	33,08	33,67	0,058
600	33,67	34,26	34,85	35,44	36,04	36,64	37,25	37,85	38,47	39,09	39,72	0,061
700	39,72	40,35	40,98	41,62	42,27	42,92	43,57	44,23	44,89	45,55	46,22	0,065
800	46,22	46,89	47,57	48,25	48,94	49,63	50,32	51,02	51,72	52,43	53,14	0,069

NiCr-Ni

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m V/K
0	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68	4,10	0,041
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73	8,13	0,040
200	8,13	8,54	8,94	9,34	9,75	10,16	10,57	10,98	11,39	11,80	12,21	0,041
300	12,21	12,63	13,04	13,46	13,88	14,29	14,71	15,13	15,55	15,98	16,40	0,042
400	16,40	16,82	17,24	17,67	18,09	18,51	18,94	19,36	19,79	20,22	20,65	0,042
500	20,65	21,07	21,50	21,92	22,35	22,78	23,20	23,63	24,06	24,49	24,91	0,043
600	24,91	25,34	25,76	26,19	26,61	27,03	27,45	27,87	28,29	28,72	29,14	0,042
700	29,14	29,56	29,97	30,39	30,81	31,23	31,65	32,06	32,48	32,89	33,30	0,042
800	33,30	33,71	34,12	34,53	34,93	35,34	35,75	36,15	36,55	36,96	37,36	0,041
900	37,36	37,76	38,16	38,56	38,95	39,35	39,75	40,14	40,53	40,92	41,31	0,040
1000	41,31	41,70	42,09	42,48	42,87	43,25	43,63	44,02	44,40	44,78	45,16	0,039
1100	45,16	45,54	45,92	46,29	46,67	47,04	47,41	47,78	48,15	48,52	48,89	0,037
1200	48,89	49,25	49,62	49,98	50,34	50,69	51,05	51,41	51,76	52,11	52,46	0,036

PtRh-Pt

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m V/K
0	0	0,056	0,113	0,173	0,235	0,299	0,364	0,431	0,500	0,571	0,643	0,006
100	0,643	0,717	0,792	0,869	0,946	1,025	1,106	1,187	1,269	1,352	1,436	0,008
200	1,436	1,521	1,607	1,693	1,780	1,868	1,956	2,045	2,135	2,225	2,316	0,009
300	2,316	2,408	2,499	2,592	2,685	2,778	2,872	2,966	3,061	3,156	3,251	0,009
400	3,251	3,347	3,442	3,539	3,635	3,732	3,829	3,926	4,024	4,122	4,221	0,010
500	4,221	4,319	4,419	4,518	4,618	4,718	4,818	4,919	5,020	5,122	5,224	0,010
600	5,224	5,326	5,429	5,532	5,635	5,738	5,842	5,946	6,050	6,155	6,260	0,010
700	6,260	6,365	6,471	6,577	6,683	6,790	6,897	7,005	7,112	7,220	7,329	0,011
800	7,329	7,438	7,547	7,656	7,766	7,876	7,987	8,098	8,209	8,320	8,432	0,011
900	8,432	8,545	8,657	8,770	8,883	8,997	9,111	9,225	9,340	9,455	9,570	0,011
1000	9,570	9,686	9,802	9,918	10,035	10,152	10,269	10,387	10,505	10,623	10,741	0,012
1100	10,741	10,860	10,979	11,098	11,217	11,336	11,456	11,575	11,695	11,815	11,935	0,012
1200	11,935	12,055	12,175	12,296	12,416	12,536	12,657	12,777	12,897	13,018	13,138	0,012
1300	13,138	13,258	13,378	13,498	13,618	13,738	13,858	13,978	14,098	14,217	14,337	0,012
1400	14,337	14,457	14,576	14,696	14,815	14,935	15,054	15,173	15,292	15,411	15,530	0,012
1500	15,530	15,649	15,768	15,887	16,006	16,124	16,243	16,361	16,479	16,597	16,716	0,012

8.31 Kenndaten von Supraleitern – *Properties of superconductors* (E. Braun)

8.31a Supraleitende Elemente – *Superconducting elements*

T_c Übergangstemperatur, B_c kritische Flußdichte bei 0 K, 2Δ Energielücke bei 0 K, k Boltzmann-Konstante, ξ_0 Kohärenzlänge, λ_0 Eindringtiefe.

	T_c in K	B_c in mT	$2\Delta/kT_c$	ξ_o in nm	λ_0 in nm		T_c in K	B_c in mT	$2\Delta/kT_c$	ξ_o in nm	λ_0 in nm
Al	1,19	9,9	2,9 bis 3,5	1600	50	Pb	7,19	80,3	4,1 bis 4,3	30 bis 112	32
Be	0,026					Re	1,7	19,8			
Cd	0,52	3,0				Ru	0,49	6,6			
Ga_α	1,09	5,9	4,5			Sn_β	3,75	30,6	3,3 bis 3,7	230 bis 296	25 bis 36
β	6,5					Ta	4,48	83,0	3,0 bis 3,7	92,5	35
γ	7,5					Tc	8,2	141			
Hf_α	0,165					Th_α	1,37	16,2			
Hg_α	4,15	41,2	4,6		38 bis 45	Ti_α	0,39	5,6			
β	3,9	33,9				β	4,0				
γ	3,74					Tl_α	2,39	17,1	3,2 bis 3,6		
In	3,4	29,3	3,5 bis 4,1	440	64	β	1,75				
Ir	0,14	1,9				U_α	0,68?				
La_α	4,8		2,9			V	5,3	102	3,4 bis 3,6		
β	5,9	160				W	0,012	107			
Mo	0,92	9,8				Zn	0,85	5,2	2,5		
Nb	9,3	195	2,8	44	32	Zr_α	0,55	4,7			
Os	0,65	6,5				β	0,5				
Pa	1,4					ω	0,65				

8.31b Supraleitende Verbindungen und Legierungen vom Typ II mit hohen kritischen Flußdichten – *Type* II *superconducting compounds and alloys*

T_c Übergangstemperatur, B_{c2} obere kritische Flußdichte.

	T_c in K	B_{c2} in T		T_c in K	B_{c2} in T
NbTi	10,6	11,8	$Nb_3(Al_8Ge_4)$	20,7	40,5
V_3Ga	14,5	21	SiV_3	16,9	21,0
Nb_3Sn	18,05	20			

Literatur: Buckel W.(1977): Supraleitung. Weinheim: Physik-Verlag.

8.31c Hochtemperatur-Supraleiter – *High temperature superconductors* (Hott (1992), Fink (1992))

Material	T_c in K	Material	T_c in K
$YBa_2Cu_3O_7$		$Tl_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+3}$	90 bis 122
$EuBa_2Cu_3O_7$	92	$Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+3}$	
$GdBa_2Cu_3O_7$		K_3C_{60}	19,3
$Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$ (+Pb)	90 bis 122	Rb_3C_{60}	28
		$RbCs_2C_{60}$	33
$Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$	110 bis 127	$Rb_{2,7}Tl_{2,2}C_{60}$	48

8.32 Kenndaten von Halbleitern – *Properties of semiconductors* (E. Braun)

E_g Breite der verbotenen Zone, dE_g/dT Temperaturabhängigkeit von E_g, dE_g/dp Druckabhängigkeit von E_g, m_n^* und m_p^* effektive Elektronen bzw. Löchermasse, m_0 Elektronenmasse, m_{ds}^* Zustandsdichtemasse, μ_n und μ_p Beweglichkeit der Elektronen bzw. Löcher, ε_r stat. Dielektrizitätszahl, n Brechzahl bei 546,1 nm, Θ_D Debye-Temperatur, ϱ Dichte, t_s Schmelzpunkt, a Gitterkonstante, G Gitterstruktur: Diamant (Diam.), hexagonal (hex.), Zinkblende (Zb), Wurtzit (Wurtz.), trigonal (trig.), kubisch (kub.) u.a. (alle Angaben in der Regel für 300 K, alle Werte gerundet).

Literatur: Madelung, O. (1982): In: Landolt-Börnstein, Neue Serie, Bde. 17a, 17b, 17c. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; Pamplin, B.R. (1981/82): Handbook of Physics and Chemistry, 62nd ed. Cleveland, Ohio: CRC Press; Hahn, D. (1967): In: Hütte, Taschenbuch der Werkstoffkunde (Stoffhütte), 4. Aufl. Berlin, München: Wilhelm Ernst u. Sohn; Aspnes, D.E.; Studna, A.A. (1983): Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaAs, GaSb, InP, InAs and InSb from 1.5 eV to 6.0 eV. Phys. Rev. **B27**, 985–1009; Burkhard, H.; Dinges, H.W.; Kuphal, E. (1982): Optical properties on $In_{1-x}Ga_xP_{1-y}As_y$, InP, GaAs, and GaP determined by ellipsometry. J. Appl. Phys. **53**, 655–662; Wettling, W.; Windscheif, J. (1984): Elastic Constants and Refractive Index of Boron Phosphide. Sol. State Comm. **50**, 33–34.

8.32a Elementare Halbleiter – *Elementary semiconductors*

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
C[1])	5,48	−0,5		∥ 1,4 ⊥ 0,36	0,8[4])	0,18	0,16	5,7	2,42	1860	3,52	3827	0,35668	Diam.
Si	1,11	−2,8[2])	−1,41	1,18[4])	0,59[4])	0,15	0,05	11,9	4,07	636 bis 674	2,33	1412	0,5431	Diam.
Ge	0,66	−3,7	+7,3	0,55[4])	0,3[4])	0,38	0,18	16,2	5,13	374	5,32	937,3	0,5658	Diam.
α-Sn[3])	0,09[5])	−0,5		0,02	0,3	0,29	0,30	24		238	7,29		0,6489	Diam.
Se	1,76 bis 2,2	−9		1,4[4])			10^{-4}	8,5	4,1			220	0,43662 0,49536	hex.
Te	0,34	−0,4	−20	⊥ 0,06[5]) ∥ 0,05	0,114[5]) 0,109	0,17	0,11	30 43	3,07		6,24	450	0,44570 0,59290	hex.

[1]) Diamant [2]) bei 200 K [3]) nur unterhalb 13,2 °C stabil [4]) m_{ds}^* [5]) bei He-Temperatur

8.32b III-V-Verbindungen – III-V *compounds*

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
BN[1])	6							7,1	2,12	1700	3,49	>2973	0,3616	Zb
BN	6							⊥ 5,06 ∥ 6,85		598	2,18		0,6661 0,25040	hex.
BP	2,0					0,004	0,0025	11	3,2	985	2,9		0,4538	Zb
BAs	ca.1									800	5,22		0,4777	Zb
AlN	6,2							9			3,26	3000	0,311 0,498	Wurtz.
AlP	2,45					0,001 bis 0,008		9,8		588	2,40	2550	0,547	Zb
AlAs	2,15	−4		0,5[2]) bis 0,8	0,5/ 0,26[2])	0,12	0,042	10,06	3,7	417	3,7	1740	0,5660	Zb
AlSb	1,63	−3,5	−1,6	0,09	0,4	0,02	0,04	12	ca.3,4	292	4,3	1065	0,6136	Zb

Fortsetzung T 8.32b

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
GaN	3,44	−5		0,27	0,6 bis 1,0	<0,044		⊥ 9,5 ∥ 10,4 bis 12,2		600	6,1	1700	0,32 0,52	Wurtz.
GaP	2,27	−5,2	−1,7	0,35	0,5	0,018	0,012 bis 0,015	11,1	3,44	445 bis 468	4,13	1467	0,5451	Zb
GaAs	1,43	−3,9	+9,4	0,068	0,5	0,9	0,04	12,91	4,05	344	5,316	1240	0,56533	Zb
GaSb	0,70	−3,7	+12	0,04[3])	0,3/ 0,05[3])	0,26 bis 0,77	0,07 bis 0,085	15,69	4,16	266	5,614	712	0,60959	Zb
InN	2,0			0,11		0,002 bis 0,025		9,3	ca.3,1		6,81 bis 6,89	1100	0,35446 0,57034	Wurtz.
InP	1,34	−2,9	+4,6	0,073	0,45/ 0,12[3])	0,42 bis 0,54	0,015	12,61	3,66	321	4,81	1062	0,5869	Zb
InAs	0,356	−3,5	+8	0,027	0,33 0,4/ 0,024	2 bis 3,3	0,01 bis 0,045	15,15	4,27	247 bis 262	5,7	942	0,60583	Zb
InSb	0,18	−2,75	+15	0,013	0,4/ 0,016[3])	7	0,085	16,8 bis 18,0	4,12	203 bis 208	5,775	527	0,64794	Zb

[1]) metastabil unter Normal-Bedingungen [2]) m_{ds}^* [3]) bei He-Temperatur

8.32c II-VI-Verbindungen – II-VI *compounds*

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
ZnO	3,2	−9,5	0,6	0,3	0,6[2])	0,018		8,15	2,025	370 bis 416	5,675	2000	0,3252 0,5213	Wurtz.
ZnS	3,56	−5	5,7	0,34				8,9	2,375		4,09		0,541	Zb
ZnS	3,58	−3		0,28[2])	0,49/0,58[2])	0,02		9,6	2,4	350	4,09			Wurtz.
ZnSe	2,7	−7,2	6	0,13 bis 0,17	0,7	0,05	0,003	7,1 bis 9,6	2,7	400	5,26	1520	0,5668	Zb

Fortsetzung T 8.32c

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
ZnTe	2,3	−4,5	6	0,12	0,6	0,033	0,0007	9,7 bis 10,1	3,56	223	5,64	1295	0,6101	Zb
CdO	1,3	−4,2		0,1−0,3		0,012		21,9	2,49	255	8,16	1497	0,46957	NaCl
CdS	2,50	−4,1	3,3	0,2	0,8	0,037	0,002	9	2,4	300	4,82	1475	0,4136 0,6716	Wurtz.
CdSe	1,75	−3,6	4	0,13	0,6	0,05	0,001 bis 0,005	9 bis 10	2,6	181	5,81	1241	0,4299 0,7010	Wurtz.
CdTe	1,43	−3	8	0,11	0,35	0,07	0,006	10,3	2,75	158	5,86	1092	0,6481	Zb
HgS[1])	2,1					0,001 bis 0,003		18 32,5	3,26				0,4149 0,4495	trig.
HgS	−0,2 bis 0,5							18,2			7,73	1750	0,5851	Zb
HgSe	0,30			0,03	0,78	1,9		25,6			8,25	799	0,6084	Zb
HgTe	0,15	−1	10	0,017	0,5	3,5	0,01	21		147	8,1	670	0,6461	Zb

[1]) unterhalb 344 °C stabil [2]) bei He-Temperatur

8.32d Sonstige Halbleiter – *Other semiconductors*

	E_g in eV	dE_g/dT in 10^{-4} eV/K	dE_g/dp in 10^{-6} eV/bar	m_n^*/m_0	m_p^*/m_0	μ_n in m^2/Vs	μ_p in m^2/Vs	ε_r	n	Θ_D in K	ϱ in g/cm^3	t_s in °C	a in nm	G
PbS	0,37	4		0,15	0,1	0,06	0,06	17,6	4,19		7,61	1077	0,5936	NaCl
PbSe	0,26	4		0,3	0,34	0,1	0,096	21	4,54		8,15	1076	0,6124	NaCl
PbTe	0,30	4	−7	0,21	0,14	0,16	0,075	30	5,48		8,16	917	0,6454	NaCl
TiO_2	3,02	−2,5				$6 \cdot 10^{-5}$		89	2,613			1840	0,4594 0,2959	Rutil
UO_2	2,0					0,0015	0,0010	9,5				2870	1,095	CaF_2
Cu_2O	2,0	−6,5					0,01	7	2,849	188	5,75 bis 6,14	1235	0,4270	kub. kub.

8.33 Fachglossar „Technische Acronyme" der Materialkunde – (P. Thoma)

AD	Auger Deexcitation
AED	Auger Electron Diffraction
AES	Auger Electron Spectroscopy
AFM	Atomic Force Microscopy
ALE	Atomic Layer Epitaxy
ALMBE	Atomic Layer Molecular Beam Epitaxy
AP	Atom Probe (Electron Microscopy)
APD	Avalanche Photo Diode
AP-FEES	Atom Probe Field Emission Electron Spectroscopy
AP-FIM	Atom Probe Field Ion Misroscopy
ARD	Angle Resolved Distribution
ARSIMS	Angle Resolved Secondary Ion Mass Spectrometry
ASAXS	Anomalous Small Angle X ray Scattering
ASIC	Application Specified Integrated Circuit
ATM	Absorption Tunnel Microscopy
BCM	Bond Charge Model
BEEN	(BEM) Ballistic Electron Emission Microscopy
BG	Buried Gate; Band Gap
BH	Buried Heterostructure
BiCFET	(BICFET) Bipolar inversion Channel Field Effect Transistor
BiCMOS	Bipolar Complementary Metal Oxide Semiconductor
BiMOS	Bipolar Metal Oxide Semiconductor
BJT	Bipolar Junction Transistor
CARS	Coherent Anti(Stokes) Raman Spectroscopy
CBE	Chemical Beam Epitaxy
CCD	Charge Coupled Device
CDF	Charge Density Fluctuation
CEMS	Conversion Electron Mößbauer Spectroscopy
CHINT	CHarge INjection Transistor
CITS	Current Imaging Tunneling Spectroscopy
CL	Cathodo Luminescence
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPA	Coherent Potential Approximation
CPD	Contact Potential Difference
CPE	Chemical Preferential Etching
CR	Cyclotron Resonance
CTEM	Conventional Transmission Electron Microscopy
CS	Capacitance Spectroscopy
CT	Charge Transfer
CVD	Chemical Vapor Deposition
DB	Dangling Bond
DBRTS	Double Barrier Resonant Tunnel Structure
DC	Deep Center
DCD	Double Crystal Diffraction
DCP	Direct Current Plasma
(2)DEG	(2) Dimensional Electron Gas
DEX	Diffraction of Evanescing X-rays
DFET	Depletion Field Effect Transistor
DFT	Discrete Fourier Transform
DH	Double Heterostructure
DHBT	Double Heterojunction Bipolar Transistor
DHHEMT	Double Heterojunction High Electron Mobility Transistor
DLA	Diode Laser Absorption, Diffusion Limited Aggregation
DLOS	Deep Level Optical Spectroscopy
DLTS	Deep Level Transient Spectroscopy
DOR	Dynamic Optical Reflectivity
DOS	Density Of States
DOES	Doubleheterostructure Opto Electronic Switch
DMOS	Diffused Metal Oxide Semiconductor
DQW	Double Quantum Wall
DR	Deposition Rate
DSC	Differential Scanning Calorimetry
DX	Acro(nym) für Deep State
DXD	Double X-ray Diffraction
EBIC	Electron Beam Induced Current
ECR	Electron Cyclotron Resonance
ECL	Emitter Coupled Logic

ECP	Electron Channeling Pattern
EDAX	Energy Dispersive Analysis of X-rays
EELS	Electron Energy Loss Spectroscopy
EFET	Enhancement Field Effect Transistor
EFSE	Electric Field Stimulated Emission
EHP	Electron Hole Plasma
EID	Electron Impact Desorption
ELDOR	ELectron DOuble Resonance
EM	Electro Migration
EMPA	Electron Microscopic Polarization Analysis
ENDOR	Electron Nucleus DOuble Resonance
EPD	Etch Pit Density
EPMA	Electron Probe Micro Analysis
EPR	Electron Paramagnetic Resonance
ER	Electro Reflectance
ESCA	Electron Scattering (for) Chemical Analysis
ESD	Electron Stimulated Desorption, ElectroStatic Discharge
EXAFS	Extended X-ray Absorption Fine Structure
FE	Field Effect Fracto-Emission (of particles or electrons under fracture)
FEES	Field Emission Electron Spectroscopy
FEG	Field Emission Gun
FEL	Free Electron Laser, Field Effect Laser
FET	Field Effect Transistor
FFT	Fast Fourier Transform
FIM	Field Ion Microscopy
FIR	Finite Impulse Response, Far InfraRed
FIRPS	Far InfraRed Photoconduction Spectroscopy
FISTM	Field Ion Scanning Transmission Microscopy
FLCD	Ferroelectric Liquid Crystal Display
FLS	Fractional Layer Superlattice
FMDPS	Frequency MoDulation Photopyroelectric Spectr.
FMR	FerroMagnetic Resonance
FTIR	Fourier Transform InfraRed
FWHM	Full Width (at)Half Maximum (Valenzbandbreite)
FZ	Float Zone
GSMBE	Gas Source Molecular Beam Epitaxy
HBT	Horizontal Bridgman Technique Heterojunction Bipolar Transistor
HEB(I)T	Hetero Emitter BIpolar Transistor
HEED	High Energy Electron Diffraction
HEMT	High Electron Mobility Transistor
HFED	Heterojunction Field Effect Detector
HFEL	Heterostructure Field Effect Laser
HFEM	Heterojunction Field Effect Modulator
HFET	Heterostructure Field Effect Transistor
HJBT	HeteroJunction Bipolar Transistor
HPT	Heterojunction Photo Transistor
HTSC,	HTC High Temperature Superconductor
HVCMOS	High Voltage Complementary Metal Oxide Semiconductor
IBD	Ion Beam Deposition
IBE	Ion Beam Etching, Isoelectronic Bound Exciton
IBS	Ion Beam Sputtering, Ion Beam Synthesis
ICTS	Isothermal capacitance Transient Spectroscopy
IETS	Inelastic Electron Tunneling Spectroscopy
IGBT	Isolated Gate Bipolar Transistor
IMFP	Inelastic Mean Free Path
IPE	Inverse Photo Emission
IPES	Inverse PhotoElectron Spectroscopy
IRPME	InfraRed Phase Modulated Ellipsometry
IR-RA	InFrared-RamanAbsorption
IRRAS	(IRAS) InfraRed Reflection Absorption Spectroscopy
IRS	InfraRed Spectroscopy
ISS	Ion Scattering Spectroscopy, Impedance Standard Substrate

JFET	Junction FET
LAD	Laser Activated Deposition
LB	Langmuir-Blodgett (Technique; Molecular Films)
LD	Lattice Distortion, Laser Diode
LDA	Local Density Approximation
LDOS	Local Density Of States
LED	Light Emitting Diode
LEC	Liquid Encapsulated Czochralski (Kristallz.)
LEED	Low Energy Electron Diffraction
LEELS	Low Energy Electron Loss Spectroscopy
LEEM	Low Energy Electron Microscopy
LIF	Laser induced Fluorescence
LITD	Laser Induced Thermal Desorption
LMIS	Liquid Metal Ion Source
LPCVD	Low Pressure Chemical Vapor Deposition
LPE	Liquid Phase Epitaxy
LSD	Local Spin Density
LTMBE	Low Temperature Molecular Beam Epitaxy
LTPL	Low Temperature Photo Luminescence
LTSEM	Low Temp. Scanning Electron Microscopy
LVM	Local Vibration Mode
MAD	Multiple (wavelength) Anomalous Dispersion
MBE	Molecular Beam Epitaxy
MCD	Magnetic Circular Dichroism
MD	Molecular Dynamics, Modulation Doped
ME	Mößbauer Effect
MEE	Migration Enhanced Epitaxy
MESFET	MEtal Semiconductor Field Effect Transistor
MIC	Microwave Integrated Circuit
MINPN	Metal-Insulator-N(conducting)-P(conducting)-N(conducting)
MIS	Metal Insulator Semiconductor (Schichtfolge)
MISFET	Metal-Insulator-Semiconductor Field Effect Transistor
ML	Molecular Layer, MonoLayer
MLC	Multi Layer Ceramic
MLD	Magnetic Linear Dichroism
MNOS	Metal-Nitride-Oxide-Semiconductor (Schichtfolge)
MO	Molecular Orbital
MOCVD	Metal Organic Chemical Vapor Deposition
MOKE	Magneto Optical Kerr Effect
MOMBE	Metal Organic MBE
MOS	Metal-Oxide-Semiconductor (Schichtfolge)
MOS-LSI	Metal-Oxide-Semiconductor Large Scale Integration
MOVPE	Metal Organic Vapor Phase Epitaxy
MPL	Magneto Photo Luminescence
MQW	Multiple Quantum Well
MS	Mass Spectroscopy, Mößbauer Spectroscopy
NAA	Neutron Activation Analysis
NDC	Negative Differential Conductivity
NDR	Negative Differential Resistance
NERFET	NEgative Resistance FET
NEXAFS	Near Edge X-ray Absorption Fine Structure
NMOS	N(-channel) Metal-Oxide-Semiconductor
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NPCVD	Normal Pressure Chemical Vapor Deposition
NQR	Nuclear Quadrupole Resonance
NRA	Nuclear Resonance Absorption
NSR	Nuclear Spin Relaxation
NTD	Neutron Transmutation Doping
ODMR	Optical Detection of Magnetic Resonance
ODENDOR	Optically Detected Electron Nucleus DOuble Resonance
OED	Oxidation Enhanced Diffusion
OES	Optical Emission Spectroscopy
OMBD	Organic Molecular Beam Deposition
OMCVD	Organo Metallic Chemical Vapor Deposition
OMMBE	Organo Metallic Molecular Beam Epitaxy
OMVPE	Organo Metallic Vapor Phase Epitaxy

ON	Oxide Nitride (Schichtfolge)
ONO	Oxide Nitride Oxide (Schichtfolge)
ORD	Oxidation Retarded Diffusion
PAP	Planar Averaged Potential
PCS	Photo Conduction Spectrum Photo Capacitance Spectroscopy
PCSC	Point Contact Solar Cell
PD	Photo Diode
PDS	Photothermal Deflection Spectroscopy
PES	Photo Electron Spectroscopy, Photo Emission Spectroscopy
PESC	Passivated Emitter Solar Cell
PFES	Photo Field Emission Spectroscopy
PIN	P(-conducting)-Insulator-N(conducting) Schichtfolge
PITS	Photo(n) Induced Transient Spectroscopy
PL	PhotoLuminescence
PLE	Photo Luminescence Excitation
PLEE	Pulsed Laser Evaporation and Epitaxy
PLES	Photo Luminescence Excitation Spectrum
PME	Phase Modulation Ellipsometry
PMOS	P(Channel)Metal Oxide Semiconductor
PMR	Polarization Modulation Reflectivity
POMBE	Pulsed Organo Molecular Beam Epitaxy
PPC	Persistent Photo Conduction
PR	Photo Reflectance
PSD	Photo Stimulated Desorption
PT	Phase Transition; Photo Transistor
PTIS	Photo Thermal Ionization Spectroscopy
PTSD	Photo Thermal Surface Deformation
PVD	Physical Vapor Deposition
PVR	Peak (to) Valley (current) Ratio
PVS	Photo Voltage Spectroscopy
PYS	Photoemission Yield Spectroscopy
QCSE	Quantum Confined Stark Effect
QD	Quantum Dot
QE	Quantum Efficiency
QEXAFS	Quantum Extended X-ray Absorption Fine Structure
QED	Quantum Electro Dynamics
QMS	Quadruple Mass Spectrometer
QSE	Quantum Size Effect
QW	Quantum Well, Quantum Wire
QWB	Quantum Well Box
QWIP	Quantum Well Infrared Photodetector(conductor)
QWH	Quantum Well Heterostructure
QWR	Quantum WiRe
QWW	Quantum Well Wire
RAIRS	Reflection Absorption Infra Red Spectroscopy
RBS	Rutherford BackScattering
RDF	Radial Distribution Function
RED	Reflection Electron Diffraction, Radiation Enhanced Diffusion
REM	Raster Elektronen Mikroskopie, Reflection Electron Microscopy
RIMS	Resonance Ionized Mass Spectrometry
RIT	Resonant Interband Tunneling
RN	Resonant Neutralization
RHET	Resonant Hot Electron Tunneling
RHEED	Reflection High Energy Electron Diffraction
RPA	Resonant Periodic Absorption, Random Phase Approximation
RPIB	Reactive Partially Ionized Beam (method)
RRS	Resonant Raman Scattering
RS	Raman Spectroscopy
RT	Room Temperature, Rapid Thermal, Resonant Tunnelling
RTA	Rapid Thermal Annealing
RTN	Rapid Thermal Nitridation
RTS	Resonant Tunnel Structure
RXF	Refracted X-ray Fluorescence
SAES	Scanning Auger Electron Spectroscopy
SAM	Scanning Auger Microprobe
SANS	Small Angle Neutron Scattering
SAPD	Superlattice Avalanche Photo Diode

SAS	Scanning Auger Spectroscopy, Small Angle Scattering
SAXS	Small Angle X-ray Scattering
SBD	Schottky Barrier Diode
SBHET	Superconducting Base Hot Electron Transistor
SBZ	Surface Brillouin Zone
SCLC	Space Charge Limited Current
SCR	Space Charge Region
SCS	Surface Charge Spectroscopy
SdH	Shubnikov de Haas
SDM	Scanning Damping Microscopy
SDR	Surface Differential Reflectivity
SE	Spectrometric Ellipsometry
SEAM	Scanning Electron Acoustic Microscopy
SEDOR	Spin Echo DOuble Resonance
SEE	Secondary Electron Emission
SEG	Selected Epitactical (Epitaxy) Growth
SEM	Scanning Electron Microscopy
SER	Spin Echo Resonance
SERS	Surface Enhanced Raman Spectroscopy
SET	Stark Effect Transistor
SEXAFS	Surface Extended X-ray Absorption Fine Structure
SFM	Scanning Force Microscopy
SHG	Second Harmonic Generator
SI	Semi Insulating
SID	Substitutional Interstitial Diffusion
SIMOX	Silicon-Interface-Metal-Oxide (Schichtfolge) Separation by IMplantation of OXygen
SIMS	Secondary Ion Mass Spectrometry
SIN	Superconductor-Insulator-Normal(-conductor)
SIS	Superconductor-Insulator-Superconductor (Schichtfolge)
SISFET	Semiconductor-Insulator-Semiconductor Field Effect Transistor
SIT	Static Induction Transistor
SKS	Stochastic Kinetic Simulation
SL	Super Lattice
SLS	Strained Layer Superlattice
SNMS	Secondary Neutral(Particle) Mass Spectroscopy
SNOS	Silicon Nitride Oxide on Silicon (Schichtfolge)
SOI	Silicon On Insulator (Schichtfolge)
SOM	Scanning Optical Microscopy
SOS	Silicon On Sapphire
SPA	Surface Peak Area, Spot Profile Analysis (bei LEED), Surface Photo Absorption
SPE	Solid Phase Epitaxy
SPR	Spreading Resistance Probe
SPS	Surface Photovoltage Spectroscopy Short Period Superlattice
SPSL	Short Period SuperLattice
SPSTM	Spin Polarized Scanning Tunnel Microscopy
SPV	Surface Photo Voltage
SQW	Single Quantum Well
SR	Synchrotron Radiation
SRN	Surface Recombination Velocity
SRM	Standard Reference Material
SRPES	Synchrotron Radiation Photo Emission Sprectroscopy
SRV	Surface Recombination Velocity
STEM	Scanning Transmission Electron Microscopy
STM	Scanning Tunnel Microscopy
STS	Scanning Tunnel Spectroscopy
SuFET	Superconducting Field Effect Transistor
SXAP	Soft X-ray Appearance Potential Spectroscopy
SXPS	Scanning X-ray Photoelectron (Spectroscopy) Soft X-ray Photoelectron Spectroscopy SurfaceX-ray Photoelectron Spectroscopy
TD	Theoretical Density, Thermal Donor
TDDB	Time Dependent Dielectric Breakdown
TDH	Temperature Dependent Hall (effect)
TDI	Total Dielectric Isolation

TDMS	Thermal Desorption Mass Spectrometry
TDS	Thermal Desorption Spectroscopy Thermal Diffused Scattering (Rö-Technik-Laue)
TE	Thermionic Emission
TEAS	Thermal Energy Atom Scattering
TED	Transmission Electron Diffraction
TEF	Trap Enhanced Field
TEM	Transmission Electron Microscopy
TEOS	Thermally Enhanced Oxygen Sputtering
TFE	Thermionic Field Emission
TFET	(T-FET) T(shaped gate-source-drain)FET
TFL	Trap Filled Limit
TFT	Thin Film Transistor
TMA	ThermoMagnetic Analysis
TOF	Time Of Flight
TOFMS	Time of Flight Mass Spectroscopy
TOPFET	Temperature(and)Overload Protected FET
TPA	Two Photon Absorption
TPR	Temperature Programmed Reaction
TPSIMS	Temperature Programmed Secondary Ion Mass Spectroscopy
TQW	Triangular Quantum Well
TRR	Time Resolved Reflectance
TS	Tunneling Spectroscopy
TSC	Thermally Stimulated Conduction
TSC	(TSCap) Thermally Stimulated Capacitance
TSL	Tilted Super Lattice, Thermally Stimulated Luminescence
TTL	Transistor-Transistor Logic
TTS	Transient Tunneling Spectroscopy
TXRF	Total (reflection) X Ray Fluorescence
ULSI	Ultra Large Scale Integration
UPS	Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy
VBM	Valence Band Maximum
VDWE	Van Der Waals Epitaxy
VGF	Vertical Gradient Freeze (Kristallzuchtmethode)
VHSIC	Very High Speed Integrated Circuit
VPE	Vapor Phase Epitaxy
VUV	Vacuum UltraViolet
WF	Work Function
XAES	X ray Auger Electron Spectroscopy
XAFS	X ray Absorption Fine Structure (Spectroscopy)
XANES	X-ray Absorption Near Edge Structure
XAS	X-ray Absorption Spectroscopy
XPD	X-ray Photoelectron Diffraction
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy
XRD	X-Ray Diffraction
XRF	X-Ray Fluorescence
XS	Acro für Cross Section(al)
XSW	X-ray Standing Wave
XT	X-ray Topography
XUV	Extreme (-vacuum) UltraViolet
ZMR	Zone Melt Recrystallization

Tabellen und Diagramme zu Kapitel 9

Allgemeines über Messungen und ihre Auswertung

Redakteur: S. German

9.01 Namen und Formelzeichen physikalischer Größen – *Names and symbols of physical quantities* (S. German) 597
9.01a Raum und Zeit – *Space and time* 597
9.01b Mechanik – *Mechanics* 597
9.01c Elektrizität und Magnetismus – *Electricity and magnetism* 598
9.01d Thermodynamik – *Thermodynamics* 600
9.01e Optik – *Optics* 600
9.01f Atom- und Kernphysik – *Atomic and nuclear physics* 601
9.01g Festkörperphysik – *Solid state physics* 603
9.02 Fundamentalkonstanten der Physik – *Fundamental physical constants* (W. Wöger) 605
9.03 Äquivalentwerte auf der Basis von Tab. T 9.02 – *Energy conversion factors* (W. Wöger) 609
9.04 Periodensystem der Elemente – *Periodic table of the elements* (W. Hemminger) 610
9.05 Relative Atommassen A_r bezogen auf $A_r(^{12}C) = 12$ (Elemente in alphabetischer Reihenfolge der Symbole) – *Relative atomic masses A_r based on $A_r(^{12}C) = 12$ (elements in alphabetical order of the symbols)* (W. Hemminger) 611
9.06 Umrechnung von Winkeleinheiten – *Conversion factors for units of angle* (S. German) 612
9.07 Umrechnung von Druckeinheiten – *Conversion factors for units of pressure* (S. German) 612
9.08 Umrechnung von Energieeinheiten – *Conversion factors for units of energy* (S. German) 613
9.09 Fehlerfunktion $\Phi(z)$ und Ableitung $\varphi(z)$ – *Errorfunction $\Phi(z)$ and derivative $\varphi(z)$* (K. Weise) 613
9.10 Chi-Quadrat-Verteilung – *Chi-square distribution* (K. Weise) 615
9.11 Student-Verteilung (t-Verteilung) – *Student distribution* (K. Weise) . . . 616
9.12 F-Verteilung – *F-distribution* (K. Weise) 617
9.13 Cochran-Test – *Cochran test* (K. Weise) 619

9.01 Namen und Formelzeichen physikalischer Größen – *Names and symbols of physical quantities* (S. German)

9.01a Raum und Zeit – *Space and time*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Ebener Winkel	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	rad	$m \cdot m^{-1}$	
Raumwinkel	$\Omega, (\omega)$	sr	$m^2 \cdot m^{-2}$	
Länge	l	m	m	Basiseinheit
Dehnung	ε	1	$m \cdot m^{-1}$	$\varepsilon = \Delta l / l$
Fläche	A, S	m^2	m^2	
Volumen	V	m^3	m^3	
Repetenz, Wellenzahl	σ	m^{-1}	m^{-1}	$\sigma = 1/\lambda$ (λ Wellenlänge)
Dämpfungskoeffizient	α	m^{-1}	m^{-1}	$F(x) = \exp(-\alpha x) \cos \beta x$
Phasenkoeffizient	β	m^{-1}	m^{-1}	
Ausbreitungskoeffizient	γ	m^{-1}	m^{-1}	$\gamma = \alpha + i\beta$
Zeit, Dauer	t	s	s	Basiseinheit
Frequenz	ν, f	Hz	s^{-1}	
Umdrehungsfrequenz, Drehzahl	n, f_r	s^{-1}	s^{-1}	
Abklingkoeffizient	δ	s^{-1}	s^{-1}	$F(t) = \exp(-\delta t) \sin \omega t$
Geschwindigkeit	u, v, w, c	m/s	$m \cdot s^{-1}$	
Winkelgeschwindigkeit	ω	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$	$\omega = d\varphi/dt$
Beschleunigung	a	m/s^2	$m \cdot s^{-2}$	$a = dv/dt$
Winkelbeschleunigung	α	rad/s^2	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$	$\alpha = d\omega/dt$
Volumenstrom	q_v	m^3/s	$m^3 \cdot s^{-1}$	$q_v = dV/dt$

9.01b Mechanik – *Mechanics*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Masse	m	kg	kg	Basiseinheit
Dichte	ϱ	m^3/kg	$m^3 \cdot kg^{-1}$	
Massenstrom	q_m	kg/s	$kg \cdot s^{-1}$	$q_m = dm/dt$
Trägheitsmoment	J	$kg \cdot m^2$	$m^2 \cdot kg$	
Kraft	$\boldsymbol{F}$	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Kraftmoment, Drehmoment	$\boldsymbol{M}$	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	

Fortsetzung T 9.01 b

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Torsionsmoment	$\boldsymbol{M}_T, \boldsymbol{T}$	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Bewegungsgröße, Impuls	$\boldsymbol{p}$	$kg \cdot m/s$	$m \cdot kg \cdot s^{-1}$	
Drall, Drehimpuls	$\boldsymbol{L}$	$kg \cdot m^2/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$	
Druck	p	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Normalspannung	σ	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Elastizitätsmodul	E	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	$\sigma = E \cdot \varepsilon$
Schubmodul	G	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	G = Schubspannung/ Schiebung
Kompressionsmodul	K	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	K = Druck/rel. Volumenänderung
Kompressibilität	κ	m^2/N	$m \cdot kg^{-1} \cdot s^2$	
Poisson-Zahl	μ	1		Dehnungsverhältnis
Schiebung, Scherung	γ, ν	rad	$m \cdot m^{-1}$	
Flächenmoment 2. Grades	I	m^4	m^4	
Dynamische Viskosität	η	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$	
Kinematische Viskosität	ν	m^2/s	$m^2 \cdot s^{-1}$	
Oberflächenspannung	σ, γ	N/m	$kg \cdot s^{-2}$	
Arbeit, Energie	W, E	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Leistung	P	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	
Wirkungsgrad	η	1		Leistungsverhältnis

9.01c Elektrizität und Magnetismus – *Electricity and magnetism*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Elektrische Stromstärke	I	A	A	Basiseinheit
Elektrische Ladung	Q	C	$s \cdot A$	
Raumladungsdichte	ϱ, η	C/m^3	$m^{-3} \cdot s \cdot A$	
Flächenladungsdichte	σ	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$	
Elektrische Feldstärke	$\boldsymbol{E}$	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Elektrisches Potential	φ	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Elektrische Spannung	U	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Elektrische Flußdichte	$\boldsymbol{D}$	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$	
Elektrischer Fluß	ψ	C	$s \cdot A$	
Elektrische Kapazität	C	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	$C = Q/U$
Elektrische Feldkonstante	ε_0	F/m	$m^{-3} \cdot kg \cdot s^4 \cdot A^2$	$\varepsilon_0 = 1/(\mu_0 \cdot c_0^2)$

Fortsetzung T 9.01 c

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Permittivität	ε	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	$\varepsilon = D/E$
Permittivitätszahl	ε_r	1		$\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$
Elektrische Suszeptibilität	χ_e	1		$\chi_e = \varepsilon_r - 1$
Elektrische Polarisation	$\boldsymbol{P}$	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$	$P = D - \varepsilon_0 E$
Elektrisches Dipolmoment	$\boldsymbol{p}$	$C \cdot m$	$m \cdot s \cdot A$	
Elektrische Stromdichte	J	A/m^2	$m^{-2} \cdot A$	
Elektrischer Strombelag	A, a	A/m	$m^{-1} \cdot A$	
Magnetische Feldstärke	$\boldsymbol{H}$	A/m	$m^{-1} \cdot A$	$\oint \boldsymbol{H} d\boldsymbol{l} = n \cdot I$
Magnetische Spannung	V	A	A	
Magnetischer Fluß	Φ	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$1 Wb = 1 V \cdot s$ $\Phi = \iint B \, dA$
Magnetische Flußdichte	$\boldsymbol{B}$	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
Magnetische Leerflußdichte	$\boldsymbol{B}_0$	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$B_0 = \mu_0 H$
Magnetisches Vektorpotential	A	Wb/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
Induktivität	L	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	
Gegenseitige Induktivität	M, L_{mn}	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	
Elektromagnetisches Moment	$\boldsymbol{m}$	$A \cdot m^2$	$m^2 \cdot A$	m = Drehmoment/ magn. Flußdichte $= \iiint M \, dV$
Magnetisierung	H_i, M	A/m	$m^{-1} \cdot A$	$M = B/\mu_0 - H$
Magnetische Polarisation	J, B_i	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$J = B - \mu_0 H$ $= \mu_0 \cdot M$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^7 H/m$
Permeabilität	μ	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$\mu = B/H$
Permeabilitätszahl	μ_r	1		$\mu_r = \mu/\mu_0$
Magnetische Suszeptibilität	χ_m	1		$\chi_m = \mu_r - 1$
Elektromagnetische Energiestromdichte, Poynting-Vektor	$\boldsymbol{S}$	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$	
Elektrischer Widerstand	R	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	
Elektrischer Leitwert	G	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	$G = 1/R$
Spezifischer elektrischer Widerstand	ϱ	$\Omega \cdot m$	$m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	
Elektrische Leitfähigkeit	γ, σ	S/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	$\gamma = 1/\varrho$
Magnetischer Widerstand	R_m	H^{-1}	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot A^2$	
Magnetischer Leitwert	Λ, P	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$\Lambda = 1/R_m$

9.01d Thermodynamik – *Thermodynamics*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Thermodynamische Temperatur	T, Θ	K	K	Basiseinheit
Celsius-Temperatur	t, θ	°C		$\{t\} = \{T\} - \{T_0\}$ $T_0 = 273{,}15\,°\mathrm{K}$ (genau)
Längenausdehnungskoeffizient	α_l	K^{-1}	K^{-1}	
Volumenausdehnungskoeffizient	α_v, γ	K^{-1}	K^{-1}	
Spannungskoeffizient	α_p	K^{-1}	K^{-1}	$V = \mathrm{const}$
Druckkoeffizient	β	Pa/K	$\mathrm{m}^{-1} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	
Kompressibiliät	κ	Pa^{-1}	$\mathrm{m} \cdot \mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{s}^{2}$	
Wärme	Q	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	
Wärmestrom	Φ	W	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Wärmeleitfähigkeit	λ	$\mathrm{W/(m \cdot K)}$	$\mathrm{m} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	
Wärmeübergangskoeffizient	α, h	$\mathrm{W/(m^2 \cdot K)}$	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	
Thermischer Widerstand	R_{th}	$\mathrm{W}^{-1} \cdot \mathrm{K}$	$\mathrm{m}^{-2}\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{s}^{3} \cdot \mathrm{K}$	
Temperaturleitfähigkeit	a	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}^{-1}$	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}^{-1}$	
Wärmekapazität	C_{th}	J/K	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	
Spezifische Wärmekapazität	c, c_p, c_v	$\mathrm{J/(kg \cdot K)}$	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	$c = C/m$ bei c_p: $p = \mathrm{const}$ bei c_v: $V = \mathrm{const}$
Entropie	S	J/K	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{K}^{-1}$	
Innere Energie	U	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	
Enthalpie	H	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	
Freie Energie	A	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	
Freie Enthalpie	G	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	

9.01e Optik – *Optics*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Strahlungsenergie	Q_{e}, W	J	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	
Strahlungsleistung	Φ_{e}, P	W	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Strahlstärke	I_{e}	W/sr	$\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Strahldichte	L_{e}	$\mathrm{W/(sr \cdot m^2)}$	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Spezifische Ausstrahlung	M_{e}	$\mathrm{W/m^2}$	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Bestrahlungsstärke	E_{e}	$\mathrm{W/m^2}$	$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3}$	
Emissionsgrad	ε	1		

Fortsetzung T 9.01 e

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Lichtstärke	I_v	cd	cd	Basiseinheit
Lichtstrom	Φ_v	lm	$cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	
Lichtmenge	Q_v	$lm \cdot s$	$s \cdot cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	
Leuchtdichte	L_v	cd/m^2	$m^{-2} \cdot cd$	
Spezifische Lichtausstrahlung	M_v	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	
Beleuchtungsstärke	E_v	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	
Belichtung	H_v	$lx \cdot s$	$m^{-2} \cdot s \cdot cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	$H = E \cdot t$
Photometrisches Strahlungsäquivalent	K	lm/W	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot cd \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	
Spektraler Hallempfindlichkeitsgrad	V	1		

9.01f Atom- und Kernphysik – *Atomic and nuclear physics*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Teilchenzahl, Neutronenzahl	N	1	1	
Teilchenzahldichte, Neutronenzahldichte	n	m^{-3}	m^{-3}	$n = N/V$
Protonenzahl, Kernladungszahl, Ordnungszahl	Z	1	1	
Nukleonenzahl, Massenzahl	A	1	1	$A = Z + N$
Atommasse (des Nuklids X)	$m_a, m(X)$	kg	kg	
Relative Atommasse (des Nuklids X)	$A_r(X)$	1	1	$A_r(X) = 12m(X)/m(^{12}C)$
Magnetisches Moment eines Teilchens	μ	$A \cdot m^2$	$A \cdot m^2$	
Gyromagnetischer Koeffizient	γ	$A \cdot m/(J \cdot s)$	$m \cdot kg \cdot s^2 \cdot A$	$\gamma = \mu/(I\hbar)$
Quadrupelmoment	Q	m^2	m^2	
Kernradius	R	m	m	$R = r_0 A^{1/3}$ mit $r_0 \approx 1,2 \cdot 10^{-15}$m
Mittlere Lebensdauer	τ	s	s	
Niveaubreite, Halbwertsbreite	Γ	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$\Gamma = \hbar/\tau$
Zerfallskonstante	λ	s^{-1}	s^{-1}	$\lambda = 1/\tau$

Fortsetzung T 9.01 f

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Halbwertzeit	$T_{1/2}$	s	s	$T_{1/2} = \tau \ln 2$
Reaktionsenergie, Zerfallsenergie	Q	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Aktivität einer radioaktiven Substanz	A	Bq	s^{-1}	
Spezifische Aktivität einer radioaktiven Substanz	a	$Bq \cdot kg^{-1}$	$kg^{-1} \cdot s^{-1}$	
Fluenz, Teilchenfluenz	Φ	m^{-2}	m^{-2}	$\left(\Phi = \frac{dN}{dA}\right)_{ICRU}$
Spektrale Fluenz	Φ_E	$1/(m^2 \cdot J)$	$m^{-4} \cdot kg \cdot s^2$	$\Phi_E = d\Phi/dE$
Teilchenflußdichte	φ	m^{-2}/s	$m^{-2} \cdot s^{-1}$	$\varphi = \dot{\Phi}$
Spektrale Teilchenflußdichte	φ_E	$1/(m^2 \cdot s \cdot J)$	$m^4 \cdot kg^{-1} \cdot s$	$\varphi_E = d\varphi/dE$
Raumwinkelbezogene Flußdichte	φ_Ω	$1/(m^2 \cdot s \cdot sr)$	$m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	$\varphi_\Omega = \frac{d\varphi(\theta, \alpha)}{d\Omega}$ mit $d\Omega = \sin\theta \, d\theta d\alpha$
Energiefluenz	Ψ	J/m^2	$kg \cdot s^{-2}$	
Spektrale Energiefluenz	Ψ_E	$1/m^2$	m^{-2}	$\Psi_E = d\Psi/dE$
Energieflußdichte	ψ	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$	$\psi = \dot{\Psi}$
Raumwinkelbezogene Energieflußdichte	ψ_Ω	$W/(m^2 \cdot sr^1)$	$kg \cdot s^{-3} \cdot m^2 \cdot m^{-2}$	$\psi_\Omega = d\psi/d\Omega$
Spektrale Energieflußdichte	ψ_E	$1/(m^2 \cdot s)$	$m^{-2} \cdot s^{-1}$	$\psi_E = d\psi/dE$
Wirkungsquerschnitt	σ	m^2	m^2	
Wirkungsquerschnittsdichte (Makroskopischer Wirkungsquerschnitt)	Σ	m^{-1}	m^{-1}	$\Sigma = n \cdot \sigma$
Reaktionsratendichte	$\dot{n}_R$	$1/(m^3 \cdot s)$	$m^{-3} \cdot s^{-1}$	
Schwächungskoeffizient	μ	$1/m$	m^{-1}	
Massenschwächungskoeffizient	μ_m	m^2/kg	$m^2 \cdot kg^{-1}$	$\mu_m = \mu/\varrho$
Lineares Bremsvermögen	S	J/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	$S = dE/ds$
Massen-Bremsvermögen	S_m	$J \cdot m^2/kg$	$m^4 \cdot s^{-2}$	$S_m = S/\varrho$
Reichweite	R	m	m	
Massenreichweite	R_ϱ	kg/m^2	$kg \cdot m^{-2}$	$R_\varrho = R \cdot \varrho$
Mittlerer Energieaufwand zur Bildung eines Ionenpaares	W_i	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Energiedosis	D	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$	
Energiedosisrate, Energiedosisleistung	$\dot{D}$	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$	$\dot{D} = dD/dt$

Fortsetzung T 9.01 f

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Kerma	K	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$	
Kermarate, Kermaleistung	$\dot{K}$	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$	$\dot{K} = dK/dt$
Ionendosis	J	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$	
Ionendosisrate, Ionendosisleistung	$\dot{J}$	A/kg	$kg^{-1} \cdot A$	
Äquivalentdosis	H	Sv	$m^2 \cdot s^{-2}$	$H = D \cdot g$
Bewertungsfaktor	q	1	1	$q = Q \cdot N$ N Produkt der modifizierenden Faktoren
Qualitätsfaktor	Q	1	1	
Äquivalentdosisrate, Äquivalentdosisleistung	$\dot{H}$	$Sv \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-3}$	

9.01g Festkörperphysik – *Solid state physics*

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Translations-Vektoren für das Kristallgitter	$\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3$	m	m	$\boldsymbol{R} = n_1\boldsymbol{a}_1 + n_2\boldsymbol{a}_2 + n_3\boldsymbol{a}_3$ (n ganze Zahlen, $\boldsymbol{R}$ Gittervektor)
Translations-Vektoren im reziproken Gitter	$\boldsymbol{b}_1, \boldsymbol{b}_2, \boldsymbol{b}_3$	m^{-1}	m^{-1}	$\boldsymbol{a}_i \cdot \boldsymbol{b}_k = 2\pi\delta_{ik}$ δ_{ik} Kroneckersches Delta Symbol (in der Kristallographie ist $\boldsymbol{a}_i \cdot \boldsymbol{b}_k = \delta_{ik}$)
Miller-Indizes	h_1, h_2, h_3, h, k, l	–	–	
Netzebenenabstand	d	m	m	
Bragg-Winkel	θ	rad	$m \cdot m^{-1}$	
Driftgeschwindigkeit	v_{dr}	m/s	$m \cdot s^{-1}$	
Zustandsdichte	N_E	$1/(J \cdot m^3)$	$m^{-5} \cdot kg^{-1} \cdot s^2$	
Tensor des spezifischen elektrischen Widerstandes	ϱ_{ik}	$\Omega \cdot m$	$m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	
Tensor der elektrischen Leitfähigkeit	σ_{ik}	S/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	$\sigma = 1/\varrho$
Relaxationszeit	τ	s	s	
Hall-Koeffizient	A_H, R_H	m^3/C	$m^3 \cdot s^{-1} \cdot A^{-1}$	$A_H = \pm 1/(n \cdot e)$

Fortsetzung T 9.01 g

Größe	Formelzeichen	SI Einheit	Zurückführung auf die Basiseinheiten	Bemerkungen
Thermoelektrische Kraft zwischen den Substanzen a und b	E_{ab}	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Austrittsarbeit[1])	φ	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$\Phi = e \cdot \varphi$ verwendete Einheit auch eV
Elektronenzahldichte[2])	n, n_n, n_-	m^{-3}	m^{-3}	
Lochzahldichte[2])	p, n_p, n_+	m^{-3}	m^{-3}	
Donatordichte	n_d	m^{-3}	m^{-3}	
Akzeptordichte	n_a	m^{-3}	m^{-3}	
Intrinsische Trägerdichte	n_i	m^{-3}	m^{-3}	$n_i^2 = n \cdot p$
Breite der verbotenen Zone	E_g	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	verwendete Einheit auch eV
Ionisationsenergie des Donators	E_d	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	verwendete Einheit auch eV
Ionisationsenergie des Akzeptors	E_a	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	verwendete Einheit auch eV
Fermi-Energie	E_F, ε_F	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	verwendete Einheit auch eV
Ausbreitungsvektor (von Teilchen)	$\boldsymbol{k}$	m^{-1}	m^{-1}	$k = 2\pi/\lambda$
Effektive Masse[2])	m_n^*, m_p^*	kg	kg	$m^* = \dfrac{\hbar^2}{\partial^2 E/\partial k^2}$
Beweglichkeit[2])	μ, μ_n, μ_p	$m^2/(V \cdot s)$	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$	$\mu = v/E$
Diffusionskoeffizient[2])	D_n, D_p	m^2/s	$m^2 \cdot s^{-1}$	
Diffusionslänge[2])	L_n, L_p	m	m	$L = \sqrt{D \cdot \tau}$
Lebensdauer des Trägers[2])	τ_n, τ_p	s	s	
Kritische Übergangstemperatur des Supraleiters	T_c	K	K	
Kritische (thermodynamische) magnetische Feldstärke des Supraleiters	H_c	A/m	$A \cdot m^{-1}$	
Energielücke des Supraleiters	Δ	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Flußquant[3])	Φ_0	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$\Phi_0 = h/2e$

[1]) Das Symbol W wird für die Größe $W = \Phi + \mu$ benutzt, wobei μ das elektrochemische Potential ist, welches bei $T = 0$ gleich der Fermi-Energie E_F ist.

[2]) Im allgemeinen können die Indizes n bzw. p oder − bzw. + benutzt werden, um Elektronen bzw. Löcher zu kennzeichnen.

[3]) $2e/h = 1/\Phi_0$ wird auch charakteristische Konstante für makroskopische Kohärenz in Supraleitern genannt.

9.02 Fundamentalkonstanten der Physik – *Fundamental physical constants* (W. Wöger)

Die hier aufgeführten Werte und Unsicherheiten sind dem konsistenten Satz der Fundamentalkonstanten der Physik entnommen, der im Jahre 1986 von der Task Group on Fundamental Constants des Committee on Data for Science and Technology (CODATA) des International Council of Scientific Unions (ICSU) zur einheitlichen Verwendung in Wissenschaft und Technik erstellt und empfohlen wurde. Gegenüber früher publizierten Werten bestehen teilweise signifikante Änderungen. Ab dem Jahr 1996 ist mit der Publikation eines neuen Satzes von Fundamentalkonstanten der Physik zu rechnen.

Die Ziffern in Klammern hinter einem Zahlenwert bezeichnen die Unsicherheit in den letzten Stellen des Wertes (Beispiel: Die Angabe 6,672 59(85) ist gleichbedeutend mit 6,672 59 ± 0,000 85). Die Unsicherheit ist die einfache Standardabweichung des Wertes. Wird eine nicht in der Tabelle aufgeführte Kombination von Fundamentalkonstanten benötigt, so ist bei der Berechnung der entsprechenden Unsicherheit zu beachten, daß die Tabellenwerte korreliert sind. Die zugehörige Kovarianz-Matrix sowie weitere Konstantenwerte finden sich in der Original-Literatur.

CODATA-Bulletin No. 63, November 1986.

Name	Symbol und Formel	Zahlenwert ohne Zehnerpotenz	Zehnerpotenz und Einheit	relative Unsicherheit
Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum	c_0, c	2,997 924 58	$10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	0
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1/\varepsilon_0 c_0^2$	4π	$10^{-7}\ \mathrm{N \cdot A^{-2}}$	0
		$= 1{,}256\,637\,0614\ldots$	$10^{-6}\ \mathrm{N \cdot A^{-2}}$	
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 = 1/\mu_0 c_0^2$	8,854 187 817...	$10^{-12}\ \mathrm{F \cdot m^{-1}}$	0
Gravitationskonstante	G	6,672 59(85)	$10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$	$128 \cdot 10^{-6}$
Plancksches Wirkungsquantum, Planck-Konstante	h	6,626 0755(40)	$10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$	$6{,}0 \cdot 10^{-7}$
		4,135 6692(12)	$10^{-15}\ \mathrm{eV \cdot s}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
	$\hbar = h/2\pi$	1,054 572 66(63)	$10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$	$6{,}0 \cdot 10^{-7}$
		6,582 1220(20)	$10^{-16}\ \mathrm{eV \cdot s}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Elementarladung	e	1,602 177 33(49)	$10^{-19}\ \mathrm{C}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
	e/h	2,417 988 36(72)	$10^{14}\ \mathrm{A \cdot J^{-1}}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
(magnetisches) Flußquant	$\Phi_0 = h/2e$	2,067 834 61(61)	$10^{-15}\ \mathrm{Wb}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Josephson-Konstante	$2e/h$	4,835 9767(14)	$10^{14}\ \mathrm{Hz \cdot V^{-1}}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
von Klitzing-Konstante	h/e^2	2,581 280 56(12)	$10^4\ \Omega$	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
	e^2/h	3,874 046 14(17)	$10^{-5}\ \mathrm{S}$	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
Bohr-Magneton	$\mu_B = e\hbar/2m_e$	9,274 0154(31)	$10^{-24}\ \mathrm{J \cdot T^{-1}}$	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$
		5,788 382 63(52)	$10^{-5}\ \mathrm{eV \cdot T^{-1}}$	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$

Fortsetzung T 9.02

Name	Symbol und Formel	Zahlenwert ohne Zehnerpotenz	Zehnerpotenz und Einheit	relative Unsicherheit
Kernmagneton	$\mu_N = e\hbar/2m_p$	5,050 7866(17)	10^{-27} J · T^{-1}	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$
		3,152 451 66(28)	10^{-8} eV · T^{-1}	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
Sommerfeld-Feinstrukturkonstante	$\alpha = \mu_0 c_0 e^2/2h$	7,297 353 08(33)	10^{-3}	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
	α^{-1}	1,370 359 895(61)	10^{2}	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
	α^2	5,325 136 20(48)	10^{-5}	$9{,}0 \cdot 10^{-8}$
Rydberg-Konstante	$R_\infty = m_e c_0 \alpha^2/2h$	1,097 373 1534(13)	10^{7} m^{-1}	$1{,}2 \cdot 10^{-9}$
	$R_\infty h c_0$	2,179 8741(13)	10^{-18} J	$6{,}0 \cdot 10^{-7}$
		1,360 569 81(40)	10^{1} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Bohr-Radius	$a_0 = \alpha/4\pi R_\infty$	0,529 177 249(24)	10^{-10} m	$4{,}5 \cdot 10^{-8}$
Quantum der Zirkulation, Zirkulationsquant	$h/2m_e$	3,636 948 07(33)	10^{-4} m^2 · s^{-1}	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
Ruhemasse des Elektrons	m_e	9,109 3897(54)	10^{-31} kg	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
		5,485 799 03(13)	10^{-4} u	$2{,}3 \cdot 10^{-8}$
Energieäquivalent in eV		0,510 999 06(15)	10^{6} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Spezifische Elektronenladung	$-e/m_e$	−1,758 819 62(53)	10^{11} C · kg^{-1}	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Compton-Wellenlänge des Elektrons	$\lambda_C = h/m_e c_0$	2,426 310 58(22)	10^{-12} m	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
(Klassischer) Elektronenradius	$r_e = \alpha^2 a_0$	2,817 940 92(38)	10^{-15} m	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$
Magnetisches Moment des Elektrons	μ_e	9,284 7701(31)	10^{-24} J · T^{-1}	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$
	μ_e/μ_B	1,001 159 652 193(10)		10^{-11}
	μ_e/μ_N	1,838 282 000(37)	10^{3}	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$
g-Faktor des Elektrons	$g_e = 2\mu_e/\mu_B$	2,002 319 304 386(20)		10^{-11}
Ruhemasse des Myons	m_μ	1,883 5327(11)	10^{-28} kg	$6{,}1 \cdot 10^{-7}$
		0,113 428 913(17)	u	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
Energieäquivalent in eV		1,056 583 89(34)	10^{8} eV	$3{,}2 \cdot 10^{-7}$
Verhältnis Ruhemasse des Myons zu Ruhemasse des Elektrons	m_μ/m_e	2,067 682 62(30)	10^{2}	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
Magnetisches Moment des Myons	μ_μ	4,490 4514(15)	10^{-26} J · T^{-1}	$3{,}3 \cdot 10^{-7}$
	μ_μ/μ_B	4,841 970 97(71)	10^{-3}	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
	μ_μ/μ_N	8,890 5981(13)		$1{,}5 \cdot 10^{-7}$

Fortsetzung T 9.02

Name	Symbol und Formel	Zahlenwert ohne Zehnerpotenz	Zehnerpotenz und Einheit	relative Unsicherheit
Ruhemasse des Protons	m_p	1,672 6231(10)	10^{-27} kg	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
		1,007 276 470(12)	u	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$
Energieäquivalent in eV		9,382 7231(28)	10^{8} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Verhältnis Ruhemasse des Protons zu Ruhemasse des Elektrons	m_p/m_e	1,836 152 701(37)	10^{3}	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$
Verhältnis Ruhemasse des Protons zu Ruhemasse des Myons	m_p/m_μ	8,880 2444(13)		$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
Spezifische Protonenladung	e/m_p	9,578 8309(29)	10^{7} C · kg^{-1}	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Compton-Wellenlänge des Protons	$\lambda_{C,p} = h/m_p c_0$	1,321 410 02(12)	10^{-15} m	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
Magnetisches Moment des Protons	μ_p	1,410 607 61(47)	10^{-26} J · T^{-1}	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$
	μ_p/μ_B	1,521 032 202(15)	10^{-3}	$1{,}0 \cdot 10^{-8}$
	μ_p/μ_N	2,792 847 386(63)		$2{,}3 \cdot 10^{-8}$
Gyromagnetisches Verhältnis des Protons	γ_p	2,675 221 28(81)	10^{8} s^{-1} · T^{-1}	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Ruhemasse des Neutrons	m_n	1,674 9286(10)	10^{-27} kg	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
		1,008 664 904(14)	u	$1{,}4 \cdot 10^{-8}$
Energieäquivalent in eV		9,395 6563(28)	10^{8} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Verhältnis Ruhemasse des Neutrons zu Ruhemasse des Elektrons	m_n/m_e	1,838 683 662(40)	10^{3}	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$
Verhältnis Ruhemasse des Neutrons zu Ruhemasse des Protons	m_n/m_p	1,001 378 404(9)		$0{,}9 \cdot 10^{-8}$
Compton-Wellenlänge des Neutrons	$\lambda_{C,n} = h/m_n c_0$	1,319 591 10(12)	10^{-15} m	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
Magnetisches Moment des Neutrons	μ_n	0,966 237 07(40)	10^{-26} J · T^{-1}	$4{,}1 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_B	1,041 875 63(25)	10^{-3}	$2{,}4 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_N	1,913 042 75(45)		$2{,}4 \cdot 10^{-7}$
Ruhemasse des Deuterons	m_d	3,343 5860(20)	10^{-27} kg	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
		2,013 553 214(24)	u	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$
Energieäquivalent in eV		1,875 613 39(57)	10^{9} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Verhältnis Ruhemasse des Deuterons zu Ruhemasse des Elektrons	m_d/m_e	3,670 483 014(75)	10^{3}	$2{,}0 \cdot 10^{-8}$
Verhältnis Ruhemasse des Deuterons zu Ruhemasse des Protons	m_d/m_p	1,999 007 496(6)		$0{,}3 \cdot 10^{-8}$
Magnetisches Moment des Deuterons	μ_d	0,433 073 75(15)	10^{-26} J · T^{-1}	$3{,}4 \cdot 10^{-7}$
	μ_d/μ_B	0,466 975 4479(91)	10^{-3}	$1{,}9 \cdot 10^{-8}$
	μ_d/μ_N	0,857 438 230(24)		$2{,}8 \cdot 10^{-8}$

Fortsetzung T 9.02

Name	Symbol und Formel	Zahlenwert ohne Zehnerpotenz	Zehnerpotenz und Einheit	relative Unsicherheit
Avogadro-Konstante	N_A	6,022 1367(36)	$10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
Atommassenkonstante	$m_u = m(^{12}C)/12$	1,660 5402(10)	10^{-27} kg	$5{,}9 \cdot 10^{-7}$
		1	u	
Energieäquivalent in eV		9,314 9432(28)	10^{8} eV	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Faraday-Konstante	$F = N_A \cdot e$	9,648 5309(29)	$10^{4}\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
Molare Planck-Konstante	$N_A \cdot h$	3,990 313 23(36)	$10^{-10}\ \mathrm{J \cdot s \cdot mol^{-1}}$	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
	$N_A \cdot hc_0$	0,119 626 58(11)	$\mathrm{J \cdot m \cdot mol^{-1}}$	$8{,}9 \cdot 10^{-8}$
Universelle (molare) Gaskonstante	R	8,314 510(70)	$\mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$
Boltzmann-Konstante	$k = R/N_A$	1,380 658(12)	$10^{-23}\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$	$8{,}5 \cdot 10^{-6}$
		8,617 385(73)	$10^{-5}\ \mathrm{eV \cdot K^{-1}}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$
Stoffmengenbezogenes (molares) Volumen des idealen Gases (Normvolumen)	RT/p			
$T = 273{,}15$ K, $p = 101{,}325$ kPa	V_m, V_0	2,241 410(19)	$10^{-2}\ \mathrm{m^3 \cdot mol^{-1}}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$
$T = 273{,}15$ K, $p = 100$ kPa	V'_m	2,271 108(19)	$10^{-2}\ \mathrm{m^3 \cdot mol^{-1}}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$
Loschmidt-Konstante	$n_0 = N_A/V_m$	2,686 763(23)	$10^{25}\ \mathrm{m^{-3}}$	$8{,}5 \cdot 10^{-6}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma = (\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c_0^2$	5,670 51(19)	$10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$	$3{,}4 \cdot 10^{-5}$
Erste Planck-Strahlungskonstante	$c_1 = 2\pi h c_0^2$	3,741 7749(22)	$10^{-16}\ \mathrm{W \cdot m^2}$	$6{,}0 \cdot 10^{-7}$
Zweite Planck-Strahlungskonstante	$c_2 = hc_0/k$	1,438 769(12)	$10^{-2}\ \mathrm{m \cdot K}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$
Konstante des Wien-Verschiebungsgesetzes	$b = \lambda_{max} T$			
	$= c_2/4{,}965\,114\,23\ldots$	2,897 756(24)	$10^{-3}\ \mathrm{m \cdot K}$	$8{,}4 \cdot 10^{-6}$

9.03 Äquivalentwerte auf der Basis von Tab. T 9.02 – *Energy conversion factors* (W. Wöger)

Die hier aufgeführten Umrechnungsfaktoren vermitteln zwischen den Einheiten von Größen, die durch die bekannten Energierelationen verbunden sind. Die Umrechnungsfaktoren sind durch die Zahlenwerte von Fundamentalkonstanten (durch geschweifte Klammern gekennzeichnet) gegeben. Die unter den geschweiften Klammern numerisch angegebenen Umrechnungsfaktoren basieren auf Tab. T 9.02. Die Ziffern in runden Klammern hinter einem Zahlenwert bedeuten die Unsicherheit (einfache Standardabweichung) in den letzten Stellen des Wertes (s. Erläuterungen zu Tab. T 9.02). In die Tabelle aufgenommen sind die Definitionen 1 eV = $\{e\}$ J und 1 u = $\{m_u\}$ kg.

Ein Tabelleneintrag ist mit der Einheit im Kopf seiner Spalte zu multiplizieren. Dieser Wert entspricht derjenigen Einheit, die links in der Zeile des Tabelleneintrags aufgeführt ist.

Beispiel: 1 eV entspricht ($\widehat{=}$) $\{e/k\}$ K = 11 604,45 K.

J	kg	m^{-1}	Hz	K	eV	u
1 J $\widehat{=}$ 1	$1/\{c_0^2\}$ $1{,}112\,650\,06\cdot10^{-17}$	$1/\{hc_0\}$ $5{,}034\,1125(30)\cdot10^{24}$	$1/\{h\}$ $1{,}509\,188\,97(90)\cdot10^{33}$	$1/\{k\}$ $7{,}242\,924(61)\cdot10^{22}$	$1/\{e\}$ $6{,}241\,5064(19)\cdot10^{18}$	$1/\{m_u c_0^2\}$ $6{,}700\,5308(40)\cdot10^{9}$
1 kg $\widehat{=}$ $\{c_0^2\}$ $8{,}987\,551\,787\cdot10^{16}$	1	$\{c_0/h\}$ $4{,}524\,4347(27)\cdot10^{41}$	$\{c_0^2/h\}$ $1{,}356\,391\,40(81)\cdot10^{50}$	$\{c_0^2/k\}$ $6{,}509\,616(55)\cdot10^{39}$	$\{c_0^2/e\}$ $5{,}609\,5862(17)\cdot10^{35}$	$1/\{m_u\}$ $6{,}022\,1367(36)\cdot10^{26}$
1 m^{-1} $\widehat{=}$ $\{hc_0\}$ $1{,}986\,4475(12)\cdot10^{-25}$	$\{h/c_0\}$ $2{,}210\,2209(13)\cdot10^{-42}$	1	$\{c_0\}$ $2{,}997\,924\,58\cdot10^{8}$	$\{hc_0/k\}$ $1{,}438\,769(12)\cdot10^{-2}$	$\{hc_0/e\}$ $1{,}239\,842\,44(37)\cdot10^{-6}$	$\{h/m_u c_0\}$ $1{,}331\,025\,22(12)\cdot10^{-15}$
1 Hz $\widehat{=}$ $\{h\}$ $6{,}626\,0755(40)\cdot10^{-34}$	$\{h/c_0^2\}$ $7{,}372\,5032(44)\cdot10^{-51}$	$1/\{c_0\}$ $3{,}335\,640\,952\cdot10^{-9}$	1	$\{h/k\}$ $4{,}799\,216(41)\cdot10^{-11}$	$\{h/e\}$ $4{,}135\,6692(12)\cdot10^{-15}$	$\{h/m_u c_0^2\}$ $4{,}439\,822\,24(40)\cdot10^{-24}$
1 K $\widehat{=}$ $\{k\}$ $1{,}380\,658(12)\cdot10^{-23}$	$\{k/c_0^2\}$ $1{,}536\,189(13)\cdot10^{-40}$	$\{k/hc_0\}$ 69,503 87(59)	$\{k/h\}$ $2{,}083\,674(18)\cdot10^{10}$	1	$\{k/e\}$ $8{,}617\,385(73)\cdot10^{-5}$	$\{k/m_u c_0^2\}$ $9{,}251\,140(78)\cdot10^{-14}$
1 eV $\widehat{=}$ $\{e\}$ $1{,}602\,177\,33(49)\cdot10^{-19}$	$\{e/c_0^2\}$ $1{,}782\,662\,70(54)\cdot10^{-36}$	$\{e/hc_0\}$ $8{,}065\,5410(24)\cdot10^{5}$	$\{e/h\}$ $2{,}417\,988\,36(72)\cdot10^{14}$	$\{e/k\}$ 11 604,45(10)	1	$\{e/m_u c_0^2\}$ $1{,}073\,543\,85(33)\cdot10^{-9}$
1 u $\widehat{=}$ $\{m_u c_0^2\}$ $1{,}492\,419\,09(88)\cdot10^{-10}$	$\{m_u\}$ $1{,}660\,5402(10)\cdot10^{-27}$	$\{m_u c_0/h\}$ $7{,}513\,005\,63(67)\cdot10^{14}$	$\{m_u c_0^2/h\}$ $2{,}252\,342\,42(20)\cdot10^{23}$	$\{m_u c_0^2/k\}$ $1{,}080\,9478(91)\cdot10^{13}$	$\{m_u c_0^2/e\}$ $9{,}314\,9432(28)\cdot10^{8}$	1

9.04 Periodensystem der Elemente – *Periodic table of the elements* (W. Hemminger)

Erläuterung:

Protonenzahl →	29 Cu ← Symbol
	63,546 ← relative Atommasse
Elektronenkofiguration (Grundzustand) →	$3d^{10}4s$

Übergangselemente

Periode und Elektronenkonfiguration	Gruppen 1a	2a	3b	4b	5b	6b	7b	8			1b	2b	3a	4a	5a	6a	7a	0
1	1 H 1,00794 1s																	2 He 4,002602 $1s^2$
2 He-Schale+	3 Li 6,941 2s	4 Be 9,012182 $2s^2$											5 B 10,811 $2s^2 2p$	6 C 12,011 $2s^2 2p^2$	7 N 14,00674 $2s^2 2p^3$	8 O 15,9994 $2s^2 2p^4$	9 F 18,9984032 $2s^2 2p^5$	10 Ne 20,1797 $2s^2 2p^6$
3 Ne-Schale+	11 Na 22,989768 3s	12 Mg 24,3050 $3s^2$											13 Al 26,981539 $3s^2 3p$	14 Si 28,0855 $3s^2 3p^2$	15 P 30,973762 $3s^2 3p^3$	16 S 32,066 $3s^2 3p^4$	17 Cl 35,4527 $3s^2 3p^5$	18 Ar 39,948 $3s^2 3p^6$
4 Ar-Schale+	19 K 39,0983 4s	20 Ca 40,078 $4s^2$	21 Sc 44,955910 $3d4s^2$	22 Ti 47,88 $3d^2 4s^2$	23 V 50,9415 $3d^3 4s^2$	24 Cr 51,9961 $3d^5 4s$	25 Mn 54,93805 $3d^5 4s^2$	26 Fe 55,847 $3d^6 4s^2$	27 Co 58,93320 $3d^7 4s^2$	28 Ni 58,6934 $3d^8 4s^2$	29 Cu 63,546 $3d^{10} 4s$	30 Zn 65,39 $3d^{10} 4s^2$	31 Ga 69,723 $4s^2 4p$	32 Ge 72,61 $4s^2 4p^2$	33 As 74,92159 $4s^2 4p^3$	34 Se 78,96 $3d^{10}+$ $4s^2 4p^4$	35 Br 79,904 $4s^2 4p^5$	36 Kr 83,80 $4s^2 4p^6$
5 Kr-Schale+	37 Rb 85,4678 5s	38 Sr 87,62 $5s^2$	39 Y 88,90585 $4d5s^2$	40 Zr 91,224 $4d^2 5s^2$	41 Nb 92,90638 $4d^4 5s$	42 Mo 95,94 $4d^5 5s$	43 Tc+ 98,9063 $4d^5 5s^2$	44 Ru 101,07 $4d^7 5s$	45 Rh 102,90550 $4d^8 5s$	46 Pd 106,42 $4d^{10}$	47 Ag 107,8682 $4d^{10} 5s$	48 Cd 112,411 $4d^{10} 5s^2$	49 In 114,818 $5s^2 5p$	50 Sn 118,710 $5s^2 5p^2$	51 Sb 121,757 $5s^2 5p^3$	52 Te 127,60 $4d^{10}+$ $5s^2 5p^4$	53 I 126,90447 $5s^2 5p^5$	54 Xe 131,29 $5s^2 5p^6$
6 Xe-Schale+	55 Cs 132,90543 6s	56 Ba 137,327 $6s^2$	57 La 138,9055 $5d6s^2$	72 Hf 178,49 $5d^2 6s^2$	73 Ta 180,9479 $5d^3 6s^2$	74 W 183,84 $5d^4 6s^2$	75 Re 186,207 $4f^{14}+$ $5d^5 6s^2$	76 Os 190,23 $5d^6 6s^2$	77 Ir 192,22 $5d^7 6s^2$	78 Pt 195,08 $5d^9 6s$	79 Au 196,96654 6s	80 Hg 200,59 $6s^2$	81 Tl 204,3833 $6s^2 6p$	82 Pb 207,2 $6s^2 6p^2$	83 Bi 208,98037 $4f^{14} 5d^{10}+$ $6s^2 6p^3$	84 Po+ (209) $6s^2 6p^4$	85 At+ (210) $6s^2 6p^5$	86 Rn+ (222) $6s^2 6p^6$

Lanthanoide Xe-Schale+	58 Ce 140,115 $4f^2 6s^2$	59 Pr 140,90765 $4f^3 6s^2$	60 Nd 144,22 $4f^4 6s^2$	61 Pm+ (145) $4f^5 6s^2$	62 Sm 150,36 $4f^6 6s^2$	63 Eu 151,965 $4f^7 6s^2$	64 Gd 157,25 $4f^7 5d6s^2$	65 Tb 158,92534 $4f^9 6s^2$	66 Dy 162,50 $4f^{10} 6s^2$	67 Ho 164,93032 $4f^{11} 6s^2$	68 Er 167,26 $4f^{12} 6s^2$	69 Tm 168,93421 $4f^{13} 6s^2$	70 Yb 173,04 $4f^{14} 6s^2$	71 Lu 174,967 $4f^{14} 5d6s^2$

7 Rn-Schale+	87 Fr+ (223) 7s	88 Ra+ 226,0254 $7s^2$	89 Ac+ 227,0278 $6d7s^2$	104 Unq+ (261) $5f^{14} 6d^2 7s^2$	105 Unp+ (262) $5f^{14} 6d^3 7s^2$	106 Unh+ (263) $5f^{14} 6d^4 7s^2$	107 Uns+ (262) $5f^{14} 6d^5 7s^2$	108 Uno+ (265) $5f^{14} 6d^6 7s^2$	109 Une+ (266) $5f^{14} 6d^7 7s^2$					

Actinoide Rn-Schale+	90 Th+ 232,0381 $6d^2 7s^2$	91 Pa+ 231,03588 $5f^2 6d7s^2$	92 U+ 238,0289 $5f^3 6d7s^2$	93 Np+ 237,0482 $5f^4 6d7s^2$	94 Pu+ (244) $5f^6 7s^2$	95 Am+ (243) $5f^7 7s^2$	96 Cm+ (247) $5f^7 6d7s^2$	97 Bk+ (247) $5f^9 7s^2$	98 Cf+ (251) $5f^{10} 7s^2$	99 Es+ (252) $5f^{11} 7s^2$	100 Fm+ (257) $5f^{12} 7s^2$	101 Md+ (258) $5f^{13} 7s^2$	102 No+ (259) $5f^{14} 7s^2$	103 Lr+ (262) $5f^{14} 6d7s^2$

Die mit + gekennzeichneten Elementen haben nur instabile Isotope; die Elemente Nr. 61 und Nr. 95 bis 109 wurden künstlich erhalten und konnten in der Natur nicht nachgewiesen werden; siehe auch Anmerkungen zur Tab. T 9.05.

9.05 Relative Atommassen A_r bezogen auf $A_r(^{12}C) = 12$ (Elemente in alphabetischer Reihenfolge der Symbole) – *Relative atomic masses A_r based on $A_r(^{12}C) = 12$ (elements in alphabetical order of the symbols)* (W. Hemminger)

Symbol	Element	Protonenzahl	Relative Atommasse[1])	Symbol	Element	Protonenzahl	Relative Atommasse[1])
Ac	Actinium	89	[227,0278]	Na	Natrium	11	22,989768(6)
Ag	Silber	47	107,8682(2)	Nb	Niob	41	92,90638(2)
Al	Aluminium	13	26,981539(5)	Nd	Neodym	60	144,24(3)
Am	Americium	95	(243)	Ne	Neon	10	20,1797(6)
Ar	Argon	18	39,948(1)	Ni	Nickel	28	58,6934(2)
As	Arsen	33	74,92159(2)	No	Nobelium	102	(259)
At	Astatin	85	(210)	Np	Neptunium	93	[237,0482]
Au	Gold	79	196,96654(3)	O	Sauerstoff	8	15,9994(3)
B	Bor	5	10,811(5)	Os	Osmium	76	190,23(3)
Ba	Barium	56	137,327(7)	P	Phosphor	15	30,973762(4)
Be	Berylium	4	9,012182(3)	Pa	Protactinium	91	[231,03588(2)]
Bi	Bismut	83	208,98037(3)	Pb	Blei	82	207,2(1)
Bk	Berkelium	97	(247)	Pd	Palladium	46	106,42(1)
Br	Brom	35	79,904(1)	Pm	Promethium	61	(145)
C	Kohlenstoff	6	12,011(1)	Po	Polonium	84	(209)
Ca	Calcium	20	40,078(4)	Pr	Praseodym	59	140,90765(3)
Cd	Cadmium	48	112,411(8)	Pt	Platin	78	195,08(3)
Ce	Cer	58	140,115(4)	Pu	Plutonium	94	(244)
Cf	Californium	98	(251)	Ra	Radium	88	[226,0254]
Cl	Chlor	17	35,4527(9)	Rb	Rubidium	37	85,4678(3)
Cm	Curium	96	(247)	Re	Rhenium	75	186,207(1)
Co	Cobalt	27	58,93320(1)	Rh	Rhodium	45	102,90550(3)
Cr	Chrom	24	51,9961(6)	Rn	Radon	86	(222)
Cs	Caesium	55	132,90543(5)	Ru	Ruthenium	44	101,07(2)
Cu	Kupfer	29	63,546(3)	S	Schwefel	16	32,066(6)
Dy	Dysprosium	66	162,50(3)	Sb	Antimon	51	121,757(3)
Er	Erbium	68	167,26(3)	Sc	Scandium	21	44,955910(9)
Es	Einsteinium	99	(252)	Se	Selen	34	78,96(3)
Eu	Europium	63	151,965(9)	Si	Silicium	14	28,0855(3)
F	Fluor	9	18,9984032(9)	Sm	Samarium	62	150,36(3)
Fe	Eisen	26	55,847(3)	Sn	Zinn	50	118,710(7)
Fm	Fermium	100	(257)	Sr	Strontium	38	87,62(1)
Fr	Francium	87	(223)	Ta	Tantal	73	180,9479(1)
Ga	Gallium	31	69,723(1)	Tb	Terbium	65	158,92534(3)
Gd	Gadolinium	64	157,25(3)	Tc	Technetium	43	[98,9063]
Ge	Germanium	32	72,61(2)	Te	Tellur	52	127,60(3)
H	Wasserstoff	1	1,00794(7)	Th	Thorium	90	[232,0381(1)]
He	Helium	2	4,002602(2)	Ti	Titan	22	47,88(3)
Hf	Hafnium	72	178,49(2)	Tl	Thallium	81	204,3833(2)
Hg	Quecksilber	80	200,59(2)	Tm	Thulium	69	168,93421(3)
Ho	Holmium	67	164,93032(3)	U	Uran	92	238,0289(1)
I	Iod	53	126,90447(3)	Une	Unnilennium	109	(266)
In	Indium	49	114,818(3)	Unh	Unnilhexium	106	(263)
Ir	Iridium	77	192,22(3)	Uno	Unniloctium	108	(265)
K	Kalium	19	39,0983(1)	Unp	Unnilpentium	105	(262)
Kr	Krypton	36	83,80(1)	Unq	Unnilquadrium	104	(261)
La	Lanthan	57	138,9055(2)	Uns	Unnilseptium	107	(262)
Li	Lithium	3	6,941(2)	V	Vanadium	23	50,9415(1)
Lr	Lawrencium	103	(262)	W	Wolfram	74	183,84(1)
Lu	Lutenium	71	174,967(1)	Xe	Xenon	54	131,29(2)
Md	Mendelevium	101	(258)	Y	Yttrium	39	88,90585(2)
Mg	Magnesium	12	24,3050(6)	Yb	Ytterbium	70	173,04(3)
Mn	Mangan	25	54,93805(1)	Zn	Zink	30	65,39(2)
Mo	Molybdän	42	95,94(1)	Zr	Zirconium	40	91,224(2)
N	Stickstoff	7	14,00674(7)				

[1]) Angegeben sind die empfohlenen Werte der „Atomgewichtskommission" der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) von 1991 (Pure & Appl. Chem. **64**(1992) 1519–1534 (© 1992 IUPAC)). Die Unsicherheit beträgt ± der in Klammern angegebenen Zahl, bezogen auf die letzte Stelle von A_r. Werte in eckiger Klammer geben die relative Atommasse A_r des bekanntesten Isotops an, Werte in runder Klammer die Nukleonenzahl (früher Massenzahl).

9.06 Umrechnung von Winkeleinheiten – *Conversion factors for units of angle* (S. German)

Einheitenname		Beziehung	rad	°	gon	L
Vollwinkel[1])	=	$4^{L} = 2\pi$ rad	6,283 185	$3{,}\underline{6} \cdot 10^{2}$	$\underline{4} \cdot 10^{2}$	$\underline{4}$
rechter Winkel, Rechter	1^{L}=	$(\pi/2)$ rad	1,570 796	$\underline{90}$	$\underline{1} \cdot 10^{2}$	$\underline{1}$
Radiant	1 rad =		$\underline{1}$	57,295 78	63,661 98	0,636 620
Grad	1° =	(1/360) Vollwinkel =$(\pi/180)$ rad	$1{,}745\,329 \cdot 10^{-2}$	$\underline{1}$	$1{,}\dot{1}$	$1{,}\dot{1} \cdot 10^{-2}$
Minute	1′=	(1/60)°	$2{,}908\,882 \cdot 10^{-4}$	$1{,}\dot{6} \cdot 10^{-2}$	$1{,}\dot{8}\dot{5}\dot{1} \cdot 10^{-2}$	
Sekunde	1″=	(1/60)′	$4{,}848\,137 \cdot 10^{-6}$	$2{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3{,}08642 \cdot 10^{-4}$	
Gon[2])	1 gon=	(1/400) Vollwinkel =$(\pi/200)$ rad	$1{,}570\,796 \cdot 10^{-2}$	$\underline{9} \cdot 10^{-1}$	$\underline{1}$	$\underline{1} \cdot 10^{-2}$
Centigon	1 cgon=	(1/100) gon	$1{,}570\,796 \cdot 10^{-4}$	$\underline{9} \cdot 10^{-3}$	$\underline{1} \cdot 10^{-2}$	
Milligon	1 mgon=	(1/1000) gon	$1{,}570\,796 \cdot 10^{-5}$	$\underline{9} \cdot 10^{-4}$	$\underline{1} \cdot 10^{-3}$	

$\pi = 3{,}141\,592\,653\,6\ldots$

[1]) International kein Einheitenzeichen vereinbart. [2]) Der Name Neugrad soll nicht mehr verwendet werden.

9.07 Umrechnung von Druckeinheiten – *Conversion factors for units of pressure* (S. German)

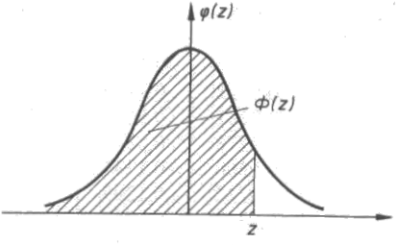
Einheitenname			Pascal (Pa) (1Pa = 1 N/m²)
Newton durch Quadratmeter	1 N/m²	=	$\underline{1}$
dyn durch Quadratzentimeter	1 dyn/cm²	=	$0{,}\underline{1}$
Torr (1/76$\underline{0}$ atm)	1 Torr	=	$1{,}333\,22 \cdot 10^{2}$
konventionelle Millimeter-Quecksilbersäule	1 mm Hg	=	$1{,}333\,2\underline{2} \cdot 10^{2}$
konventionelle Meter-Wassersäule (0,$\underline{1}$ at)	1 mWS	=	$9{,}806\,6\underline{5} \cdot 10^{3}$
Kilopond durch Quadratzentimeter	1 kp/cm²	=	$9{,}806\,6\underline{5} \cdot 10^{4}$
technische Atmosphäre (1 kp/cm²)	1 at	=	$9{,}806\,6\underline{5} \cdot 10^{4}$
Bar (10^{6} dyn/cm²)	1 bar	=	$1{,}\underline{0} \cdot 10^{5}$
physikalische Atmosphäre	1 atm	=	$1{,}013\,25 \cdot 10^{5}$
micron	1 μ	=	0,133 3
conventional inch of mercury	1 inch Hg	=	$3{,}386\,39 \cdot 10^{3}$
pound-force per square inch (psi)	1 lbf/inch²	=	$6{,}894\,76 \cdot 10^{3}$

Anmerkung: Die physikalische Atmosphäre entspricht dem Druck, den eine 760 mm lange Quecksilberäule der Dichte 13,5951 g/cm³ (bei 0°C) unter der Normfallbeschleunigung 9,80665 m/s² ausübt.
Die konventionelle Meter-Wassersäule entspricht dem Druck, den eine 1000 mm lange Wassersäule der Dichte 1 g/cm³ (bei 4°C) unter der Normfallbeschleunigung 9,806 65 m/s² ausübt.

9.08 Umrechnung von Energieeinheiten – *Conversion factors for units of energy* (S. German)

nichtkohärente Einheit			J	kWh
Erg	1 erg	=	$\underline{1} \cdot 10^{-7}$	$2{,}\dot{7} \cdot 10^{-14}$
foot poundal	1 ft · pdl	=	$4{,}214\,01 \cdot 10^{-2}$	$1{,}170\,56 \cdot 10^{-6}$
foot pound force	1 ft · lbf	=	1,355 82	$3{,}766\,16 \cdot 10^{-7}$
Thermochemische Kalorie	1 cal_{th}	=	$4{,}18\underline{4}$	$1{,}16\dot{2} \cdot 10^{-6}$
15°-Kalorie	1 cal_{15}	=	4,185 5	$1{,}162\,6 \cdot 10^{-6}$
Internationale Tafelkalorie	1 cal_{IT}	=	$4{,}186\,\underline{8}$	$1{,}16\underline{3} \cdot 10^{-6}$
Kilopondmeter	1 kp · m	=	9,806 65	$2{,}724\,07 \cdot 10^{-6}$
Technische Literatmosphäre	1 l · at	=	$9{,}806\,65 \cdot 10$	$2{,}724\,07 \cdot 10^{-5}$
Physikalische Literatmosphäre	1 l · atm	=	$1{,}013\,2\underline{5} \cdot 10^{2}$	$2{,}814\,58 \cdot 10^{-5}$
British thermal unit	1 Btu	=	$1{,}055\,06 \cdot 10^{3}$	$2{,}930\,71 \cdot 10^{-4}$
Pferdestärkenstunde	1 PS · h	=	$2{,}647\,80 \cdot 10^{6}$	$7{,}354\,987\,\underline{5} \cdot 10^{-1}$
horsepower hour	1 hp · h	=	$2{,}684\,52 \cdot 10^{6}$	$7{,}457\,00 \cdot 10^{-1}$
Kilowattstunde	1 kWh	=	$3{,}\underline{6} \cdot 10^{6}$	$\underline{1}$
therm	1 therm	=	$1{,}055\,06 \cdot 10^{8}$	$2{,}930\,71 \cdot 10$
Tonne Steinkohleneinheiten	1 tSKE	=	$2{,}930\,76 \cdot 10^{10}$	$8{,}141 \cdot 10^{3}$

9.09 Fehlerfunktion $\Phi(z)$ und Ableitung $\varphi(z)$ (s. 9.3.1.4) – *Errorfunction $\Phi(z)$ and derivative $\varphi(z)$* (K. Weise)



Fehlerfunktion

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^{z} \varphi(t)\,\mathrm{d}t; \quad \Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$$

und ihre Ableitung $\varphi(z) = (1/\sqrt{2\pi})\exp(-z^2/2)$ (nach Jahnke, E.; Emde, F.; Lösch, F.: Tafeln höherer Funktionen. 7. Aufl. Stuttgart: Teubner 1966).

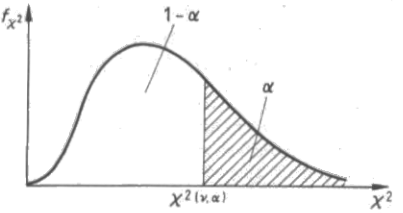
z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$	z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$	z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$
0,00	0,5000	0,3989	0,30	0,6179	0,3814	0,60	0,7258	0,3332
0,02	0,5080	0,3989	0,32	0,6255	0,3790	0,62	0,7324	0,3292
0,04	0,5160	0,3986	0,34	0,6331	0,3765	0,64	0,7389	0,3251
0,06	0,5239	0,3982	0,36	0,6406	0,3739	0,66	0,7454	0,3209
0,08	0,5319	0,3977	0,38	0,6480	0,3712	0,68	0,7518	0,3166
0,10	0,5398	0,3970	0,40	0,6554	0,3683	0,70	0,7580	0,3122
0,12	0,5478	0,3961	0,42	0,6628	0,3653	0,72	0,7642	0,3078
0,14	0,5557	0,3950	0,44	0,6700	0,3621	0,74	0,7704	0,3034
0,16	0,5636	0,3939	0,46	0,6772	0,3589	0,76	0,7764	0,2989
0,18	0,5714	0,3925	0,48	0,6844	0,3555	0,78	0,7823	0,2943
0,20	0,5793	0,3910	0,50	0,6915	0,3521	0,80	0,7881	0,2897
0,22	0,5871	0,3894	0,52	0,6985	0,3485	0,82	0,7939	0,2850
0,24	0,5948	0,3876	0,54	0,7054	0,3448	0,84	0,7996	0,2803
0,26	0,6026	0,3857	0,56	0,7123	0,3410	0,86	0,8051	0,2756
0,28	0,6103	0,3836	0,58	0,7190	0,3372	0,88	0,8106	0,2709

Fortsetzung T 9.09

z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$	z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$	z	$\Phi(z)$	$\varphi(z)$
0,90	0,8159	0,2661	1,62	0,9474	0,1074	2,34	0,9904	0,0258
0,92	0,8212	0,2613	1,64	0,9495	0,1040	2,36	0,9909	0,0246
0,94	0,8264	0,2565	1,66	0,9515	0,1006	2,38	0,9913	0,0235
0,96	0,8315	0,2516	1,68	0,9535	0,0973	2,40	0,9918	0,0224
0,98	0,8365	0,2468	1,70	0,9554	0,0940	2,42	0,9922	0,0213
1,00	0,8413	0,2420	1,72	0,9573	0,0909	2,44	0,9927	0,0203
1,02	0,8461	0,2371	1,74	0,9591	0,0878	2,46	0,9930	0,0194
1,04	0,8508	0,2323	1,76	0,9610	0,0848	2,48	0,9934	0,0184
1,06	0,8554	0,2275	1,78	0,9625	0,0818	2,50	0,9938	0,0175
1,08	0,8599	0,2226	1,80	0,9641	0,0790	2,52	0,9941	0,0167
1,10	0,8643	0,2178	1,82	0,9656	0,0761	2,54	0,9945	0,0158
1,12	0,8686	0,2131	1,84	0,9671	0,0734	2,56	0,9948	0,0151
1,14	0,8729	0,2083	1,86	0,9686	0,0707	2,58	0,9951	0,0143
1,16	0,8770	0,2036	1,88	0,9700	0,0681	2,60	0,9953	0,0136
1,18	0,8810	0,1989	1,90	0,9713	0,0656	2,62	0,9956	0,0129
1,20	0,8849	0,1942	1,92	0,9726	0,0632	2,64	0,9959	0,0122
1,22	0,8888	0,1895	1,94	0,9738	0,0608	2,66	0,9961	0,0116
1,24	0,8925	0,1849	1,96	0,9750	0,0584	2,68	0,9963	0,0110
1,26	0,8961	0,1804	1,98	0,9762	0,0562	2,70	0,9965	0,0104
1,28	0,8997	0,1758	2,00	0,9772	0,0540	2,72	0,9967	0,0099
1,30	0,9032	0,1714	2,02	0,9783	0,0519	2,74	0,9969	0,0094
1,32	0,9066	0,1669	2,04	0,9793	0,0498	2,76	0,9971	0,0088
1,34	0,9099	0,1626	2,06	0,9803	0,0478	2,78	0,9973	0,0084
1,36	0,9131	0,1582	2,08	0,9812	0,0459	2,80	0,9974	0,0079
1,38	0,9162	0,1540	2,10	0,9821	0,0440	2,90	0,9981	0,0060
1,40	0,9192	0,1497	2,12	0,9830	0,0422	3,00	0,9986	0,0044
1,42	0,9222	0,1456	2,14	0,9838	0,0404	3,10	0,9990	0,0033
1,44	0,9251	0,1415	2,16	0,9846	0,0387	3,20	0,9993	0,0024
1,46	0,9278	0,1374	2,18	0,9854	0,0371	3,30	0,9995	0,0017
1,48	0,9306	0,1334	2,20	0,9861	0,0355	3,40	0,9997	0,0012
1,50	0,9332	0,1295	2,22	0,9868	0,0339	3,50	0,9998	0,0009
1,52	0,9357	0,1257	2,24	0,9874	0,0325	3,60	0,9998	0,0006
1,54	0,9382	0,1219	2,26	0,9881	0,0310	3,80	0,9999	0,0004
1,56	0,9406	0,1182	2,28	0,9887	0,0296	4,00	1,0000	0,0001
1,58	0,9430	0,1145	2,30	0,9893	0,0283			
1,60	0,9452	0,1109	2,32	0,9898	0,0270			

9.10 Chi-Quadrat-Verteilung

(s. 9.3.2.3, 9.3.3.5, 9.3.4.1, 9.3.5.5)
– *Chi-square distribution* (K. Weise)

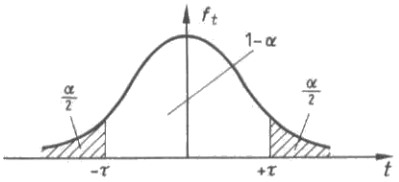


Angegeben sind die Werte $\chi^2(\nu, \alpha)$, die von χ^2 mit der Wahrscheinlichkeit α (in Prozenten) Überschritten werden.
f_{χ^2} Wahrscheinlichkeitsdichte von χ^2 (s. 9.3.3.5), ν Anzahl der Freiheitsgrade (Zahlen in Klammern geben Potenzen von 10 an, mit denen der angegebene Wert zu multiplizieren ist).

ν \ α	99,0	97,5	95	90	70	50	30	10	5	2,5	1	0,1
1	1,57(−4)	9,82(−4)	3,93(−3)	0,016	0,148	0,455	1,07	2,71	3,84	5,02	6,63	10,8
2	0,020	0,051	0,103	0,211	0,713	1,39	2,41	4,61	5,99	7,38	9,21	13,8
3	0,115	0,216	0,352	0,584	1,42	2,37	3,67	6,25	7,81	9,35	11,3	16,3
4	0,297	0,484	0,711	1,06	2,19	3,36	4,88	7,78	9,49	11,1	13,3	18,5
5	0,554	0,831	1,15	1,61	3,00	4,35	6,06	9,24	11,1	12,8	15,1	20,5
6	0,872	1,24	1,64	2,20	3,83	5,35	7,23	10,6	12,6	14,4	16,8	22,5
7	1,24	1,69	2,17	2,83	4,67	6,35	8,38	12,0	14,1	16,0	18,5	24,3
8	1,65	2,18	2,73	3,49	5,53	7,34	9,52	13,4	15,5	17,5	20,1	26,1
9	2,09	2,70	3,33	4,17	6,39	8,34	10,7	14,7	16,9	19,0	21,7	27,9
10	2,56	3,25	3,94	4,87	7,27	9,34	11,8	16,0	18,3	20,5	23,2	29,6
12	3,57	4,40	5,23	6,30	9,03	11,3	14,0	18,5	21,0	23,3	26,2	32,0
14	4,66	5,63	6,57	7,79	10,8	13,3	16,2	21,1	23,7	26,1	29,1	36,1
16	5,81	6,91	7,96	9,31	12,6	15,3	18,4	23,5	26,3	28,8	32,0	39,3
18	7,01	8,23	9,39	10,9	14,4	17,3	20,6	26,0	28,9	31,5	34,8	42,3
20	8,26	9,59	10,9	12,4	16,3	19,3	22,8	28,4	31,4	34,2	37,6	45,3
22	9,54	11,0	12,3	14,0	18,1	21,3	24,9	30,8	33,9	36,8	40,3	48,3
24	10,0	12,4	13,8	15,7	19,9	23,3	27,1	33,2	36,4	39,4	43,0	51,2
26	12,2	13,8	15,4	17,3	21,8	25,3	29,2	35,6	38,9	41,9	45,6	54,1
28	13,6	15,3	16,9	18,9	23,6	27,3	31,4	37,9	41,3	44,5	48,3	56,9
30	15,0	16,8	18,5	20,6	25,5	29,3	33,5	40,3	43,8	47,0	50,9	59,7
35	18,5	20,6	22,5	24,8				46,1	49,8	53,2	57,3	
40	22,2	24,4	26,5	29,1	34,9	39,3	44,2	51,8	55,8	59,3	63,7	73,4
45	25,9	28,4	30,6	33,4				57,5	61,7	65,4	70,0	
50	29,7	32,4	31,8	37,7	44,3	49,3	54,7	63,7	67,5	71,4	76,2	86,7
60	37,5	40,5	43,2	46,5	53,8	59,3	65,2	74,4	79,1	83,3	88,4	99,6
70	45,4	48,8	51,7	55,3	63,3	69,3	75,7	85,5	90,5	95,0	100,4	112,3
80	53,5	57,2	60,4	64,3	72,9	79,3	86,1	96,6	101,9	106,6	112,3	124,8
90	61,8	65,6	69,1	73,3	82,5	89,3	96,5	107,6	113,1	118,1	124,1	137,2
100	70,1	74,2	77,9	82,4	92,1	99,3	106,9	118,5	124,3	129,6	135,8	149,4

9.11 Student-Verteilung

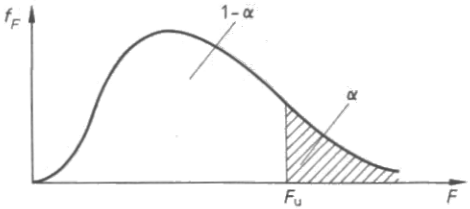
(t-Verteilung, s. 9.3.2.3 u. 9.3.5.1)
– *Student distribution* (K. Weise)



Angegeben sind die Werte τ, die von t mit der Wahrscheinlichkeit α (in Prozenten) überschritten werden.
f_t Wahrscheinlichkeitsdichte von t,
ν Anzahl der Freiheitsgrade.

ν \ α	50	25	10	5	2	1	0,2	0,1
1	1,00	2,41	6,31	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,816	1,60	2,92	4,30	6,96	9,92	22,33	31,6
3	0,765	1,42	2,35	3,18	4,54	5,84	10,22	12,9
4	0,741	1,34	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
5	0,727	1,30	2,02	2,57	3,37	4,03	5,89	6,87
6	0,718	1,27	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
7	0,711	1,25	1,89	2,36	3,00	3,50	4,79	5,41
8	0,706	1,24	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04
9	0,703	1,23	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78
10	0,700	1,22	1,81	2,23	2,76	3,17	4,14	4,59
12	0,695	1,21	1,78	2,18	2,68	3,05	3,93	4,32
14	0,692	1,20	1,76	2,14	2,62	2,98	3,79	4,14
16	0,690	1,19	1,75	2,12	2,58	2,92	3,69	4,01
18	0,688	1,19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,61	3,92
20	0,687	1,18	1,72	2,09	2,53	2,85	3,55	3,85
22	0,686	1,18	1,72	2,07	2,51	2,82	3,50	3,79
24	0,685	1,18	1,71	2,06	2,49	2,80	3,47	3,75
26	0,684	1,18	1,71	2,06	2,48	2,78	3,43	3,71
28	0,683	1,17	1,70	2,05	2,47	2,76	3,41	3,67
30	0,683	1,17	1,70	2,04	2,46	2,75	3,39	3,65
∞	0,674	1,15	1,64	1,96	2,33	2,58	3,09	3,29

9.12 *F*-Verteilung (s. 9.3.5.4) – *F-distribution* (K. Weise)



Angegeben sind die Werte F_u, die von $F = s_1^2/s_2^2$ mit der Wahrscheinlichkeit α (in Prozenten) überschritten werden.
f_F Wahrscheinlichkeitsdichte von F, s_1, s_2 Standardabweichungen zweier Stichproben, ν_1, ν_2 Anzahl der Freiheitsgrade im Zähler bzw. Nenner.

α	ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	∞
5		161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	246	248	250	252	253	253
1	1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6157	6209	6261	6302	6334	6366
0,1		$405 \cdot 10^3$	$500 \cdot 10^3$	$540 \cdot 10^3$	$562 \cdot 10^3$	$576 \cdot 10^3$	$586 \cdot 10^3$	$593 \cdot 10^3$	$598 \cdot 10^3$		$606 \cdot 10^3$						$637 \cdot 10^3$
5		18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5
1	2	98,5	99,0	99,2	99,2	99,3	99,3	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5	99,5
0,1		998	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999,5
5		10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,70	8,66	8,62	8,58	8,55	8,53
1	3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	26,9	26,7	26,6	26,4	26,2	26,1
0,1		168	148	141	137	135	133	132	131	130	129	127	126	125	125	124	123,5
5		7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,86	5,80	5,75	5,70	5,66	5,63
1	4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,2	14,0	13,8	13,7	13,6	13,5
0,1		74,1	61,2	56,2	53,4	51,7	50,5	49,7	49,0	48,5	48,0	46,8	46,1	45,4	44,9	44,5	44,0
5		6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62	4,56	4,50	4,44	4,41	4,36
1	5	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,1	9,72	9,55	9,38	9,24	9,13	9,02
0,1		47,0	36,0	33,2	31,1	29,8	28,8	28,2	27,6	27,2	26,9	25,9	25,4	24,9	24,4	24,1	23,8
5		5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94	3,87	3,81	3,75	3,71	3,67
1	6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,56	7,40	7,23	7,09	6,99	6,88
0,1		35,5	27,0	23,7	21,9	20,8	20,0	19,5	19,0	18,7	18,4	17,6	17,1	16,7	16,3	16,0	15,8
5		5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51	3,44	3,38	3,32	3,27	3,23
1	7	12,2	9,55	8,45	7,85	7,46	7,10	6,99	6,84	6,72	6,62	6,31	6,16	5,99	5,86	5,75	5,65
0,1		29,2	21,7	18,8	17,2	16,2	15,5	15,0	14,6	14,3	14,1	13,3	12,9	12,5	12,2	11,9	11,7
5		5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22	3,15	3,08	3,02	2,97	2,93
1	8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,52	5,36	5,20	5,07	4,96	4,86
0,1		25,4	18,5	15,8	14,4	13,5	12,9	12,4	12,0	11,8	11,5	10,8	10,5	10,1	9,80	9,57	9,34
5		5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01	2,94	2,86	2,80	2,76	2,71
1	9	10,8	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	4,96	4,81	4,65	4,52	4,42	4,31
0,1		22,9	16,4	13,9	12,6	11,7	11,1	10,7	10,4	10,1	9,89	9,24	8,90	8,55	8,26	8,04	7,81

Fortsetzung T 9.12

α	ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	∞
5		4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85	2,77	2,70	2,64	2,59	2,54
1	10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,56	4,41	4,25	4,12	4,01	3,91
0,1		21,0	14,9	12,6	11,3	10,5	9,92	9,52	9,20	8,96	8,75	8,13	7,80	7,47	7,19	6,98	6,76
5		4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,62	2,54	2,47	2,40	2,35	2,30
1	12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,01	3,86	3,70	3,57	3,47	3,36
0,1		18,6	13,0	10,8	9,63	8,89	8,38	8,00	7,71	7,48	7,29	6,71	6,40	6,09	5,83	5,63	5,42
5		4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,46	2,39	2,31	2,24	2,19	2,13
1	14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,66	3,51	3,35	3,22	3,11	3,00
0,1		17,1	11,8	9,73	8,62	7,92	7,43	7,08	6,80	6,58	6,40	5,85	5,56	5,25	5,00	4,80	4,60
5		4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,35	2,28	2,19	2,11	2,07	2,01
1	16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,41	3,26	3,10	2,97	2,86	2,75
0,1		16,1	11,0	9,00	7,94	7,27	6,81	6,46	6,19	5,98	5,81	5,27	4,99	4,70	4,45	4,26	4,06
5		4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,27	2,19	2,11	2,04	1,98	1,92
1	18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,23	3,08	2,92	2,78	2,68	2,57
0,1		15,4	10,4	8,49	7,46	6,81	6,35	6,02	5,76	5,56	5,39	4,87	4,59	4,30	4,06	3,87	3,67
5		4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20	2,12	2,04	1,97	1,91	1,84
1	20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,09	2,94	2,78	2,64	2,54	2,42
0,1		14,8	9,95	8,10	7,10	6,46	6,02	5,69	5,44	5,24	5,08	4,56	4,29	4,01	3,77	3,58	3,38
5		4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,09	2,01	1,92	1,84	1,78	1,71
1	25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	2,85	2,70	2,54	2,40	2,29	2,17
0,1		13,9	9,22	7,45	6,49	5,88	5,46	5,15	4,91		4,56						2,89
5		4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,01	1,93	1,84	1,76	1,70	1,62
1	30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,70	2,55	2,39	2,25	2,13	2,01
0,1		13,3	8,77	7,05	6,12	5,53	5,12	4,82	4,58	4,39	4,24	3,75	3,49	3,22	2,98	2,79	2,59
5		4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	1,92	1,84	1,74	1,66	1,59	1,51
1	40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,52	2,37	2,20	2,06	1,94	1,81
0,1		12,6	8,25	6,60	5,70	5,13	4,73	4,43	4,21	4,02	3,87	3,40	3,15	2,87	2,64	2,44	2,23
5		4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,87	1,78	1,69	1,60	1,52	1,44
1	50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,19	3,02	2,89	2,79	2,70	2,42	2,27	2,10	1,95	1,82	1,68
0,1		12,2	7,95	6,34	5,46	4,90	4,51	4,22	4,00	3,82	3,67	3,20	2,95	2,68	2,44	2,24	2,03
5		4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,84	1,75	1,65	1,56	1,48	1,39
1	60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,35	2,20	2,03	1,88	1,75	1,60
0,1		12,0	7,76	6,17	5,31	4,76	4,37	4,09	3,87	3,69	3,54	3,08	2,83	2,56	2,31	2,11	1,90

Fortsetzung T 9.12

α	ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	50	100	∞
5		3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,79	1,70	1,60	1,51	1,43	1,32
1	80	6,96	4,88	4,04	3,56	3,26	3,04	2,87	2,74	2,64	2,55	2,27	2,12	1,94	1,79	1,66	1,49
0,1		11,7	7,54	5,97	5,13	4,58	4,21	3,92	3,70	3,53	3,39	2,93	2,68	2,40	2,16	1,95	1,74
5		3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,97	1,93	1,77	1,68	1,57	1,48	1,39	1,28
1	100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,21	2,99	2,82	2,69	2,59	2,50	2,22	2,07	1,89	1,73	1,60	1,43
0,1		11,5	7,41	5,85	5,01	4,48	4,11	3,83	3,61	3,44	3,30	2,84	2,59	2,32	2,07	1,87	1,66
5		3,89	3,04	2,65	2,42	2,26	2,14	2,06	1,98	1,93	1,88	1,72	1,62	1,52	1,41	1,32	1,19
1	200	6,76	4,71	3,88	3,41	3,11	2,89	2,73	2,60	2,50	2,41	2,13	1,97	1,79	1,63	1,48	1,28
0,1		11,2	7,15	5,64	4,81	4,29	3,92	3,65	3,43	3,26	3,12	2,67	2,42	2,15	1,90	1,68	1,46
5		3,86	3,01	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,69	1,59	1,48	1,38	1,28	1,12
1	500	6,69	4,65	3,82	3,36	3,05	2,84	2,68	2,55	2,44	2,36	2,07	1,92	1,74	1,56	1,41	1,20
0,1		11,0	7,01	5,51	4,69	4,18	3,82	3,54	3,33	3,16	3,02	2,58	2,33	2,05	1,80	1,57	1,34
5		3,85	3,00	2,61	2,38	2,22	2,11	2,02	1,95	1,89	1,84	1,68	1,58	1,47	1,36	1,26	1,08
1	1000	6,66	4,63	3,80	3,34	3,04	2,82	2,66	2,53	2,43	2,34	2,06	1,90	1,72	1,54	1,38	1,11
5		3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,88	1,83	1,67	1,54	1,46	1,35	1,24	1,00
1	∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,04	1,87	1,69	1,52	1,36	1,00
0,1		10,8	6,91	5,42	4,62	4,10	3,74	3,47	3,27	3,10	2,96	2,51	2,27	1,99	1,73	1,49	1,00

9.13 Cochran-Test (9.3.5.4) – *Cochran test* (K. Weise)

Angegeben sind die Werte G_u, die von $G = \max(s_j^2) \Big/ \sum_{i=1}^{r} s_i^2$ mit der Wahrscheinlichkeit α (in Prozenten) überschritten werden. s_i Standardabweichungen von r Stichproben mit je n Einzelmeßwerten.

α	ν \ $n-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
5	2	0,998	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,833	0,816	0,801	0,788	0,734	0,660	0,581	0,500
1		0,9999	0,995	0,979	0,959	0,937	0,917	0,899	0,882	0,867	0,854	0,795	0,707	0,606	0,500
5	3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633	0,617	0,602	0,547	0,475	0,403	0,333
1		0,993	0,942	0,883	0,834	0,793	0,761	0,734	0,718	0,691	0,674	0,606	0,515	0,423	0,333
5	4	0,906	0,768	0,684	0,629	0,590	0,560	0,536	0,518	0,502	0,488	0,437	0,372	0,309	0,250
1		0,968	0,864	0,781	0,721	0,676	0,641	0,613	0,590	0,570	0,554	0,488	0,406	0,325	0,250
5	5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,506	0,478	0,456	0,439	0,424	0,412	0,364	0,307	0,251	0,200
1		0,928	0,788	0,696	0,633	0,588	0,553	0,526	0,504	0,485	0,470	0,409	0,335	0,264	0,200

Fortsetzung T 9.13

α	ν \ $n-1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
5	6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382	0,368	0,357	0,314	0,261	0,212	0,167
1		0,883	0,722	0,626	0,564	0,520	0,487	0,461	0,440	0,423	0,408	0,353	0,286	0,223	0,167
5	7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338	0,326	0,315	0,276	0,228	0,183	0,143
1		0,838	0,664	0,568	0,508	0,466	0,435	0,410	0,391	0,375	0,362	0,310	0,249	0,193	0,143
5	8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,318	0,304	0,293	0,283	0,246	0,202	0,162	0,125
1		0,794	0,615	0,521	0,463	0,423	0,393	0,370	0,352	0,337	0,325	0,278	0,221	0,170	0,125
5	9	0,638	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277	0,266	0,257	0,223	0,182	0,145	0,111
1		0,754	0,573	0,481	0,425	0,387	0,359	0,338	0,321	0,307	0,295	0,251	0,199	0,152	0,111
5	10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254	0,244	0,235	0,203	0,166	0,131	0,100
1		0,718	0,536	0,447	0,393	0,357	0,331	0,311	0,294	0,281	0,270	0,230	0,181	0,138	0,100
5	12	0,541	0,392	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219	0,210	0,202	0,174	0,140	0,110	0,083
1		0,653	0,475	0,392	0,343	0,310	0,286	0,268	0,254	0,242	0,232	0,196	0,154	0,116	0,083
5	15	0,471	0,335	0,276	0,242	0,220	0,203	0,191	0,182	0,174	0,167	0,143	0,114	0,089	0,067
1		0,575	0,407	0,332	0,288	0,259	0,239	0,223	0,210	0,200	0,192	0,161	0,125	0,093	0,067
5	20	0,389	0,270	0,220	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142	0,136	0,130	0,111	0,088	0,068	0,050
1		0,480	0,330	0,265	0,229	0,205	0,188	0,175	0,165	0,157	0,150	0,125	0,096	0,071	0,050
5	24	0,343	0,235	0,191	0,166	0,149	0,137	0,129	0,122	0,116	0,111	0,094	0,074	0,057	0,042
1		0,425	0,287	0,230	0,197	0,176	0,161	0,150	0,141	0,134	0,128	0,106	0,081	0,060	0,042
5	30	0,293	0,198	0,159	0,138	0,124	0,114	0,106	0,100	0,096	0,092	0,077	0,060	0,046	0,033
1		0,363	0,241	0,191	0,164	0,145	0,133	0,123	0,116	0,110	0,105	0,087	0,066	0,048	0,033
5	40	0,237	0,158	0,126	0,108	0,097	0,089	0,083	0,078	0,074	0,071	0,060	0,046	0,035	0,025
1		0,294	0,192	0,151	0,128	0,114	0,103	0,096	0,090	0,085	0,082	0,067	0,050	0,036	0,025
5	60	0,174	0,113	0,090	0,076	0,068	0,062	0,058	0,055	0,052	0,050	0,041	0,032	0,023	0,017
1		0,215	0,137	0,107	0,090	0,080	0,072	0,067	0,062	0,059	0,057	0,046	0,034	0,024	0,017
5	120	0,100	0,063	0,050	0,042	0,037	0,034	0,031	0,029	0,028	0,027	0,022	0,016	0,012	0,008
1		0,122	0,076	0,058	0,049	0,043	0,039	0,036	0,033	0,032	0,030	0,024	0,018	0,012	0,008
5	∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sachverzeichnis

Abschirmungen, magnetische 402
Absorptionsgesetz 74
Absorptionsgrad, N_2- und N_2-O_2-Gemische 415
Absorptionszellen-Magnetometer 401
Abtasttheorem 143
Abtast- und Halteglied 144
ABUS 174
Abweichung → Meßabweichung 25
Addierer 66
Advanced Low-Power Schottky (ALS) 256
– Schottky (AS) 256
Akkreditierung 276
Akkreditierungssysteme 277
Alarmverarbeitung 204
Aliasingfehler 144
Alphastrahlen 510
Alphastrahler 489
Alphateilchen, Massen-Bremsvermögen 492
–, Reichweiten 496
Ampere 8
Analog-Digital-Umsetzer (ADU) 146
–, integrierende Verfahren 149
–, Parallelverfahren 147
–, Sigma-Delta-Umsetzer 149
–, Tabellen mit Herstellerangaben 151
–, Wägeverfahren 147
Ångström 14
Anpassung 44
Anregungsenergien 459
Ansprechschwelle 21
Ansprechvermögen 21
Ansprechwert 22
Antialiasingfilter 143
Anzeigebereich 21
Apparategläser 346
Approximation 44, 46
Äquivalentwerte 609
Ar 14
ASCII-Code 207
Assembler 223
assoziatives Gesetz 74
Atommasse 611
Atomstrahlquellen 540
Atomzeitskala, internationale 8
Auflösung 24
Augerelektronen 510
Ausdehnungskoeffizient, Festkörper 529
Ausgabebereich 21
Ausgleichung 46
Austrittsarbeit → Elektronenaustrittsarbeit 556, 557
Auswertung 25, 29, 35, 38, 44, 55
Automatisierungssystem 168
Avalanche-Photodiode 250
Avogadrokonstante 9

Bar 14
Barn 14
Basisdimension 4
Basiseinheit 5, 6
Basisgröße 4, 6
BCD-Code 207
Bel 15
Betastrahlen 510
Betastrahler 474
Betriebssysteme 221
Bindungsenergien 467
BIPM 270
BITBUS 176
Bolometer 412
Bravais-Gitter 540
Brechzahl 405ff.
–, Luft 405
Bremsstrahlungskorrektionen 485
Busschnittstelle 211

CAN-BUS 177
Candela 9
CGS-System 16
Chi-Quadrat-Test 43, 44, 51, 52
Chi-Quadrat-Verteilung 43, 49, 615
Cochran-Test 52, 619
Codierung 207
Complementary MOS (CMOS, COSMOS) 256
Curie 14

Dampfdruck, Gase 534
Dämpfungsmessung 387
Darlingtontransistor 247

Darstellung, graphische 23
Datensicherung 207
Dauermagnetwerkstoffe 400
de Broglie-Wellenlängen, Elektron 544
Debye-Temperatur, Metalle 579
De Morgans Gesetz 74
Deutscher Akkreditierungsrat (DAR) 278
– Kalibrierdienst (DKD) 269
Deutsches Institut für Normung (DIN) 274
dezimale Teile 10
– Vielfache 10
Diagonalelement 30, 40, 43, 47
Diagonalmatrix 30, 40, 43, 46
Dichte, Festkörper 529
– feuchter Luft 355
–, Flüssigkeiten 532
–, Gase 534
–, spektrale 23
Dielektrikum 239
Dielektrizitätszahl 389
–, Flüssigkeiten 532
Diffusionspumpen-Treibmittel, Dampfdrücke 296
Digital-Analog-Umsetzer (DAU) 155
digitale Signalverarbeitung 203
Digitaltechnik 72
Dimension 4
–, abgeleitete 4
Dimensionsprodukt 5
Dimensionssystem 4
Diode 241
Diodenlaser 252
Dioptrie 13
Direct Memory Access 204
direkte Rechnerregelung 203
Disjunktion 73
Dispersionsindex 53
Dissoziationsenergien 460
distributives Gesetz 74
Dividierer 70
Dosisleistungskonstanten 487
Dosisschwächungsgrade, Photonen und Neutronen 483
–, Röntgenstrahlung 480
Drehung des Quarzes 461
Druckeinheiten 612
Dualzahlen 73
Durchschlagsspannung 391, 392

ECL (emitter coupled logic) 255
Eichfehlergrenze 21
Eigenschaften, Gase 534
Einfangquerschnitt, Neutronen 500
Einflußgröße 20, 25, 28, 35, 37, 38, 47
Eingangsgröße 25, 35, 39
Einheit 3, 5
–, abgeleitete 5
–, astronomische 13
Einheitensystem 5
Einheitsmatrix 30
Elastizität, Stoffwerte der 299
Elastomere, Härtebereiche 306
elektrischer Widerstand, atomare Widerstandserhöhung 580
–, Druckkoeffizient 582
–, Metalle 579
–, Temperaturkoeffizient 579
Elektronen, Bremsstrahlungsausbeuten 494
–, magnetische Ablenkung 491
–, Massen-Bremsvermögen 492, 493
–, Massen-Reichweiten 494, 495
–, Massen-Stoßbremsvermögen 493
–, Reichweiten 496
Elektronenausbeuten, ioneninduziert 556
Elektronenaustrittsarbeit 556, 557
Elektronenstrahler 489
Elektronvolt 13
Elemente 611
Emissionsgrad von Keramiken 420
– – Metallen 418ff.
Emissionswahrscheinlichkeit 467, 489, 510
Empfindlichkeit 21
EMV 233
Energie 467, 489, 510
Energieabsorptionskoeffizienten, Massen- 477
Energieeinheiten 613
Entfaltung 44, 46
Entwicklung 44, 46
erdmagnetische Elemente 395
– –, mittlere jährliche Änderung 396
Erdungsverhältnisse, undefinierte 251
Ergebnis 41
Ergebnisgröße 25, 35
Erwartungswert 27ff., 31, 32, 34ff., 42, 49, 50, 52
Ethernet 218
Europäische Normenreihe EN 45 000 283
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) 275
– – – Normung (CEN) 275
European Collaboration in Measurement Standards (EUROMET) 271
– Cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL) 272
– – in Legal Metrology (WELMEC) 272

Fachglossar „Technische Acronyme" der Materialkunde 589
Fallbeschleunigung, örtliche 293
Fan-In 255
Fan-Out 255
Fast Fourier Transformation 203
Fehlanpassung 387
Fehler 25
–, Linearität 154
–, Offset 154
–, Quantisierung 152
–, Verstärkung 154
Fehlererkennung 207
Fehlerfortpflanzungsgesetz 37, 40
Fehlerfunktion 28, 613
Fehlergrenze 21, 38
Fehlerkorrektur 208
Feldbus 167
–, Tabellen mit verschiedenen Feldbussen 188
Feldeffekttransistor 247
Feldkonstante, magnetische 8
Fermi-Energie, Metalle 579
Festkörper, Ausdehnungskoeffizient 529
–, Dichte 529
–, Schmelzenthalpie 529
–, Schmelztemperatur 529
–, Siedetemperatur 529
–, Verdampfungsenthalpie 529
–, Wärmekapazität 529
Feuchtekorrekturfaktor 355
Filter, aktive 72
–, digital 191
–, Zusatz- 470
Finite-State-Machines (FSM) 98
–, FSM-Syntax 104
Fixpunkte, thermometrische 339
Flip-Flop 77
Fluoreszenzausbeuten 467
Flüssigkeiten, Dichte 532
–, Dielektrizitätszahl 532
–, kritische Größen 532
–, Oberflächenspannung 532
–, Schmelzenthalpie 532
–, Schmelztemperatur 532
–, Siedetemperatur 532
–, Verdampfungswärme 532
–, Volumenausdehnungskoeffizient 532
–, Wärmekapazität 532
Fortpflanzung von Unsicherheiten 55
Freifeld-Übertragungsmaß von Schallmeßgeräten, relatives 333
Freiheitsgrad 33, 34, 43, 50, 52, 53
Frontend 211
F-Test 50ff.
Fundamentalkonstanten 18
– der Physik 605
Funkelrauschen 227
Funkenstrecke, Kugel- 391
–, Stab- 392
F-Verteilung 49, 51, 617

Gal 14
Gammafunktion 43
Gammastrahlen 510
Gammastrahler 489
Gase, Dampfdruck 534
–, Dichte 534
–, Eigenschaften 534
–, kritische Temperatur 534
–, Schmelzenthalpie 534
–, Schmelztemperatur 534
–, Siedetemperatur 534
–, Sublimationstemperatur 534
–, Tripelpunktstemperatur 534
–, Verdampfungsenthalpie 534
–, Wärmekapzität 534
–, Wärmeleitfähigkeit 534
Gefrierpunktserniedrigung 366
Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) 269
Gerätebus 209
Gerätekonstante 22
Geräuscheinwirkungen im Wohnbereich, Richtwerte für 334
Gesamtemissionsgrad von Metallen 420
– – Nichtmetallen 422
Gesamtempfindlichkeit 21
Gesetz, assoziatives 74
–, distributives 74
Gewebe 486
gewebeäquivalente Materialien 486
Glättung 44, 46
Gleichtaktunterdrückung 67
Gleichungensysteme 16
Gleichverteilung 28
globales Konzept für Zertifizierung und Prüfwesen 276
Grad 12
Grenze 34, 38, 41, 51ff.
Grenzwertsatz, zentraler 34, 50
Größe, abgeleitete 4
–, differentielle 23
–, logarithmische 15
–, physikalische 3, 24, 26, 35
Größenart 4
Größenquotient 13

Größensystem 4
Größenverhältnis 13, 15
–, logarithmiertes 15
Größenwert 3
Grundgesamtheit 26, 31, 33, 42, 43, 50ff.
–, normalverteilte 50, 51
Grundzustände 456
Grüneisen-Funktion 581
gyromagnetische Koeffizenten γ_e der Elektronen 401

Halbleiter, Kenndaten 585
Halbwertdicke 470, 474
Halbwertszeit 498, 500, 507
Härte 308ff.
–, Barcol- 314
–, Buchholz- 318
–, Kugeldruck- 308
–, Shore- 310ff.
–, Universal- 316
Härteprüfung Brinell, Härtebereich 304
––, Prüfkräfte 304
– Rockwell 305
––, Diamantkegel 305
––, Prüfgesamtkraft 305
––, Prüfvorkraft 305
––, Stahlkugel 305
– Vickers 305
Härteskala 304
Häufigkeitsverteilung 31
Heckmann-Diagramm 579
Hektar 14
^{3}Helium, Dampfdruck 342
^{4}Helium, Dampfdruck 343
Hellempfindlichkeit, Auge 425ff.
Höhenmessung, barometrische 298
Hohlleiter 383ff.
Hohlraumresonatoren 385
Hörschwelle als Funktion des Lebensalters 331
Hörschwellenmessung 330
Hörschwellenpegel, mittlerer 331
Hypothese 48, 50, 51

IEC-Bus 214
Induktivität 239
industrielles Meßwesen 269
Instabilität 22
Instrumentierung 210
Integrator 68
Integrierte Schaltkreise (IC) 253
Integrierte Schaltungen, anwendungsspezifische (ASIC) 85ff.
Internationale Meßtechnische Konföderation (IMEKO) 270
– Organisation für elektrotechnische Normung (IEC) 274
––– gesetzliches Meßwesen (OIML) 271
––– Normung (ISO) 274
Internationales Einheitensystem (SI) 4, 6
Interrupt Handling 204
Intrinsic-Schicht 244
Ionenleiter, feste 569
Ionenleitfähigkeit, wäßrige Lösungen 568
Ionisationskammer 413
Ionisierungsenergien 456
Irrtumswahrscheinlichkeit 28, 48ff.
ISO/IEC-Guide 25-1990 283
ISO-Schichtenmodell 167
Isotopenhäufigkeit, relative 504

Kalibrieren 20
Kalibrierfaktor 21
Kalibrierkonstante 22
Kalibrierung von Spektrometern 489
Kältemischungen 346
Kapazitätsdiode 244
Kapillardepression (Quecksilber) 297
Kelvin 9
Kermafaktor 502
Kerma-Umrechnungsfaktoren 485
Kernarten der Elektronen 401
Kerne und deren Daten 401
kernmagnetische Momente 557
Kernresonanz-Magnetometer 401
Kernspin-Quantenzahl 504
Kilogramm 7
Knoop-Härte 304
Knoten 14
kohärent 10
Kompressibilität von Quecksilber 348
Konfidenzniveau → Vertrauensniveau 28
Konformitätsbewertungsverfahren 277
Konjunktion 73
Konversionselektronen 510
Korrektion 26, 32, 39, 40
Korrektionsgröße 35, 39
Korrelation 45
Korrelationskoeffizient 27, 36
Korrelationsmatrix 27, 36, 41, 43
Korrelationsmeßmethode 230
Kovarianz 27, 36, 39, 44
Kovarianzmatrix 27, 36ff., 41, 43, 55
–, relative 41
Kristallstrukturen 541
Kristallsysteme 540

kritische Größen, Flüssigkeiten 532
– Temperatur, Gase 534
K-Röntgenstrahlung 467
Kugelfunkenstrecke 391
Kunststoffe, Auswahl von Härteprüfverfahren 307
–, Härtebereiche 306
Kurvenanpassung 45
Kurvenapproximation 55

LAN 218
Länge, Wellenlängennormale 289
Längenausdehnungskoeffizient 357
Laplace-Transformation 188
Laser, Eigenschaften 448
LED 251
Leerlaufverstärkung 63
Leitfähigkeit
–, Aktivierungsenergie 569
–, Salzschmelzen 568
–, spezifische 568ff.
–, wäßrige Lösungen 568, 570
Leitungen
–, Anpassung 235
–, Übersprechen 236
Lichtgeschwindigkeit 6
Lichtquellen 410
Liter 12
logische Schaltung 254
lokale Vernetzung 218
Luft, Dichte 355
–, trocken, verschiedene Eigenschaften 356
Luftauftriebskorrektion 8
Luftfeuchte, Salzlösungen 357
Luftkermaleistung 487
Lumineszenz-Diode 251

magnetische Ablenkung, Elektronen und Protonen 491
– Abschirmungen 402
Massen-Bremsvermögen für Elektronen 493
–––, Protonen und α-Teilchen 492
Masseneinheit, atomare 13
–, vereinheitlichte atomare 9
Massen-Energieabsorptionskoeffizienten 477
Massen-Schwächungskoeffizienten 477
Massenüberschuß 504
Materialkonstanten, thermoelastodielektrische 578
Materialkunde, Fachglossar „Technische Acronyme“ 589
Matrix 29, 37, 55
–, inverse 30
Matrix, nichtnegativ definite 30
–, quadratische 30
–, reguläre 30
–, singuläre 30
–, symmetrische 30, 41
–, transponierte 30
Matrixelement 29
Median 32, 53
Meßabweichung 25
–, statistische, zufällige 25, 45, 50
–, systematische 25, 28, 32, 35, 41, 44, 48, 50, 51
Meßbereich 21
Meßdatenerfassung 156
Meßeinrichtung 20
Meßergebnis 24, 25, 32, 33, 35, 39, 42, 48, 54
–, vollständiges 32
Meßgerät 20
Meßgeräte, Symbole 377, 378
Meßgröße 24ff., 31, 35, 37, 38, 44, 46, 50, 52
Meßinstrument, reales 210
–, virtuelles 210
Meßprinzip 20
Meßreihe 31, 34, 51, 53
Meß- und Prüfwesen im staatlich geregelten Bereich 267
Meßunsicherheit 20, 25, 32, 35, 42, 45, 51, 54
Meßverfahren 20
Meßwerke 377, 378
Meßwert 24ff., 29, 31, 33, 35, 39, 48, 49, 51ff.
Meßwerterfassung 206
Meßwesen 267
Metalle, spezifischer elektrischer Widerstand 579
Meter 6
Meterkonvention 269
Methode der kleinsten Quadrate 42ff.
Mikrocontroller 115
–, Befehlsatz und Adressierungsarten 126
–, Harvard-Struktur 117
–, Registermodell 124
–, v. Neumann-Struktur 117
Mikrocontroller-Familien 115ff.
Mikrocontroller-Sprachen 123ff.
Mikro-Vickers-Härte 304
Millimeterpapier 54
Minute 12
Mittelwert 31, 33, 39, 42, 46, 48ff., 54
Modell 35, 36, 39, 41, 44, 45, 55
Mohs-Härte 304
Mol 9
Molekularstrahlquellen 540
Moment 27

Moment, zentrales 27
MOSFET 247
Multiplizierer 69
Multivibrator 78

Nachweiswahrscheinlichkeit 21
Näherung 32, 40, 46
NAND-Schaltung 255
Naturkonstanten 18
Negation 73
Neper 15
neue Konzeption für technische Harmonisierung und Normung 276
Neutronen, Fluenz-Äquivalentdosis-Umrechnungsfaktor 502, 503
–, thermische 498
Neutronenerzeugung, gefilterte Reaktorneutronen 497
–, Kernreaktionen 498
–, Radionuklidquellen 497
Neutronenfilter 497
Neutronenstrahlung, Dosisschwächungsgrade 483
Neutronenstreuung 544
Neutronenwirkungsquerschnitt 500
Normalbeobachter, farbmeßtechnischer CIE 1931 430
–, – – 1964, 437
Normalfrequenzsender 290
Normalmeßeinrichtung 22
Normalschwere 292
Normalverteilung 28, 31, 33, 34, 43, 50, 51, 53
Normenreihe ISO 9000ff 281
Normlichtarten A und D_{65} 444
Normspektralwertfunktionen 430, 437
Normung 267
Normungsorganisationen 274
Notifizierung 276
Nuklid 22
Nuklide, stabile 504
Nulladungspotential 571
Nullmatrix 30

Oberflächenspannung, Flüssigkeiten 532
Offsetspannung 64
open-loop 206
Operationsverstärker 63, 253
–, Gleichtaktunterdrückung 254
–, Leerlaufverstärkung 254
optische Konstante von Metallen 416
Optokoppler 251
Organization of National Metrological Institution of the States of Central and Eastern Europe (COOMET) 273
OSI 220
Oszillatorenstärken, Wasserstoff 458

Parameter 25, 27ff., 31, 53
Paritätsprüfung 208
Parsec 13
PDV-System 202
Periodensystem 610
Permittivitätszahl 389
–, Ionenkristalle 577
–, Isolierstoffe 573
Photodiode 250, 413
Photoelement 249, 413
Photoleiter 412
Photonenenergie, mittlere 470
Photonenstrahlung, Dosisschwächungsgrade 483
Phototransistor 250
Photovervielfacher 413
Photowiderstand 249
physikalische Größen, Formelzeichen 597
piezoelektrischer Effekt 240
PIN-Diode 244
Platinwiderstandsthermometer, Referenzfunktion 340
Poisson-Verteilung 29, 31, 38, 53
Polling 204
Primärelemente 379
Primärnormal 21
PROFIBUS 181
programmierbare Logikschaltungen (PLD) 86
– –, Makrozellen-PLD 96
– –, PAL 87, 91ff.
– –, PLA 87, 91ff.
– –, PLD-Entwicklungssysteme 99
– –, PROM 87, 91ff.
– –, Register-PLD 94
Programmiermethoden 223
Programmiersprachen 221
Programmierung, strukturierte 223
Proportionalzähler 413
Protonen, magnetische Ablenkung 491
–, Massen-Bremsvermögen 492
–, Massen-Reichweiten 495
–, Reichweiten 496
Protonenstrahlung, Energie und Wellenlänge 491
Prototyp 22
Prozeßdatenverarbeitung 202
Prozeßperipherie 208
Prüfen 20
Prüfgröße 48, 52, 53
Prüfung, statistische 48

Prüfwesen 267
pyrolektrischer Empfänger 412

Quadrierer 69
Qualitätsmanagement 267, 281
– in Prüf- und Kalibrierlaboratorien 282
Quantisierungsrauschen 153
Quarz 240
Quarzgüte 240
Quecksilber, Dichte 347
–, Kompressibilität 348
Quellcodierung 207

Rad 14
Radionuklide 507
Radionuklidquellen, Neutronen 497, 503
Radionuklidstrahlen 510
Rauschabschwächungsfaktor 227
Rauschabstand 227
Rauschanpassung 228
Rauschen 226
–, $1/f$- 227
–, thermisches 226
–, weißes 226
Rauschleistung, verfügbare 228
Rauschtemperatur 228
Rauschzahl, spektrale 227
Realzeitaufgaben 206
Rechteckverteilung 28, 39
Redoxpotential 570
Redox-Reaktion 572
Referenzluft 355
Referenzmaterial 22
Reflexionsgrad, spektraler 416
Reflexions-Kennwerte 388
Regelung 206
Regler, digital 195
Reichweiten, Elektronen, Protonen und α-Teilchen 496
–, – und Protonen 495
– von Elektronen 494
Resonanzintegral 498
Resonanzlinien des Wasserstoffs 455
Röhrenspannung 474
Röntgen 14
Röntgen-Fluoreszenzstrahlung 469
Röntgenstrahlen 510
Röntgenstrahlung 470
–, Dosisschwächungsgrade 480
–, monochromatische 469
Rückverfolgbarkeit 21

Schalleistungspegel von Maschinen 334
Schallenergie 329
–, Dämpfungskonstante 329
Schallgeschwindigkeit 325
– in Festkörpern 325
– – Flüssigkeiten 326
– – Gasen und Dämpfen 326
Schallschwächung in destilliertem Wasser 328
– – Festkörpern 327
– – Flüssigkeiten 327
– – Gasen und Dämpfen 328
Schätzung 31, 50, 52, 53
Schätzwert 25, 27, 32, 35ff., 45
Schmelzenthalpie, Gase 534
Schmelztemperatur, Festkörper 529
–, Flüssigkeiten 532
–, Gase 534
Schmitt-Trigger 81
Schnittstelle, BCD- 214
–, Centronics 214
–, RS-232- 216
Schnittstellen 211
Schottky-Diode 242
Schrotrauschen 227
Schwächungskoeffizient 326
–, Massen- 477
Schwankung 26, 38
Schweregrundnetz 294
Seemeile 14
Sekundärelemente 380
Sekundärionenausbeuten 555
Sekundärnormal 21
Sekunde 8
serieller Bus 218
Siedepunktserhöhung 366
Siedetemperatur, Festkörper 529
–, Flüssigkeiten 532
–, Gase 534
SI-Einheiten, abgeleitete 10
Signalprozessoren, Digitale (DSP) 133ff.
–, DSP-Boards, eigenständige 139
–, DSP-Einsteckkarten für IBM-PC 139
–, DSP-Familie TMS320 135
–, Entwicklungssysteme für DSP 140
Signalverarbeitung 188
Skalenkonstante 22
Skalenteilungswert 22
Slew-Rate 254
Smith-Diagramm 386
Software 221
Solarelemente 249
Spaltenmatrix 30, 35, 40, 44
Spannungsfolger 65
Spannungsquelle, spannungsgesteuert 70

Spannungsquelle, stromgesteuert 70
Spannungsreihe, thermoelektrische 582
spektrale Standardrauschzahl 228
– Strahldichte 411
– Zusatzrauschzahl 228
spektraler Transmissionsgrad 414
spektrales Zusatzrauschmaß 228
Spinresonanzdaten 557
Sputterausbeuten 555
Stabilität 22
Standardabweichung 27, 32ff., 36, 41, 48ff., 54
–, empirische 31
Standardperipherie 208
Standardrauschzahl, spektrale 228
Standard-Software 224
Stapelverarbeitung 207
Steuerung 206
Stichprobe 26, 31, 34, 50ff.
Störeinflüsse auf Leitungen
———, induktive 230
———, kapazitive 231
———, ohmsche 231
–, äußere 230
Störschalldruckpegel, zulässiger 330
Strahlungsempfänger 412
Strahlungsqualität 470
–, Fluoreszensstrahlung 469
Strahlungsquellen, Radiometrie 408
Streulängen, Neutronen 544
Streuung 25, 26, 31, 51
Stromquelle, spannungsgesteuert 71
Stromquellen, elektrochemische 379
Stromschleife 215
Student-Verteilung 34, 49, 51, 616
Stunde 12
Sublimationstemperatur, Gase 534
Subtrahierer 66
Supraleiter, Kenndaten 584
Suszeptibilität, magnetische 397
Symbole und Schaltzeichen 257
Systembus 212

Tag 12
Tautologie 74
Temperaturskala, internationale 9
–, thermodynamische 9
thermoelastodielektrische Materialkonstanten, Definition 578
thermoelektrische Spannungsreihe 582
Thermoelemente, Thermospannungen 582
Thermometergläser 346
Thermosäule 412
Thermospannungen, Thermoelemente 582
Thorium-Reihe 524
Thyristor 245
Tonne 12
Topologie 212
Transistoren 246
Transistor-Transistor-Logik (TTL) 254
Transmissionsgrad, spektraler 414
Trennverstärker 67
TRIAC 245
Tripelpunktstemperatur, Gase 534
t-Test 50
TTY-Interface 215
Tunneldiode 243

Überführungszahlen, feste Ionenleiter 569
Umkehrspanne 22
Umrechnungsfaktoren, Fluenz-Äquivalentdosis- 488
– für Neutronen 502, 503
–– Photonen 488
–, Luftkerma-Äquivalentdosis- 488
Umwandlungsart 507
Univibrator 77
Unsicherheit 20, 35, 42, 45, 51, 54
–, Fortpflanzung der 37, 55
Uran-Actinium-Reihe 523
Uran-Radium-Reihe 523

Vakuummeter-Anzeigen, Korrekturfaktoren 296
Vakuumphotozelle 413
Varianz 27, 31, 35, 36, 40, 43, 44, 46, 51
–, globale 45
Varistor 239
Verdampfungsenthalpie, Festkörper 529
–, Gase 534
Vergleichsbedingung 22
Vergleichsstandardabweichung 22
Verlustfaktor, dielektrischer 573
Verstärker, invertierend 65
–, nicht invertierend 64
Verteilung 27, 34, 37, 42, 50, 53
Verteilungsfunktion 26, 28
Vertrauensbereich 28, 32, 34, 42, 50
Vertrauensellipsoid 43
Vertrauensgrenze 32, 34
Vertrauensintervall 28, 42, 54
Vertrauensniveau 28, 29, 32, 42, 48ff.
virtueller Nullpunkt 66
Viskosität, dynamische 320ff.
Volumenausdehnungskoeffizient, Flüssigkeiten 532
–, thermometrische Flüssigkeiten und Thermometergläser 345

Vorsätze 10
Vorsatzzeichen 10
VXIbus 215

Wahrscheinlichkeit 26, 28, 29, 32, 48, 51, 53
Wahrscheinlichkeitsdichte 26, 28, 33, 43, 52
Wahrscheinlichkeitsfunktion 26
Wahrscheinlichkeitstheorie 26, 34
Wahrscheinlichkeitsverteilung 44
Wärmekapazität 363
–, Festkörper 529
–, Flüssigkeiten 532
–, Gase 534
Wärmeleitfähigkeit 367ff.
–, Gase 534
Wasser, Dampfdruck 354
–, Eigenschaften im Sättigungszustand 352
–, Kompressibilität von 351
–, luftfrei, Dichte 349
–, Siedetemperatur 354
–, verschiedene Eigenschaften 351
–, Wärmekapazität 355
Wasserdampf, Dampfdruck des 353
–, Dichte des 353
–, Eigenschaften im Sättigungszustand 352
–, verschiedene Eigenschaften 351
weichmagnetische Werkstoffe 398
Wellenlängen unter Normalbedingungen 449
Weltzeit, koordinierte 8
Widerstand 238
–, elektrischer 579
Widerstandswerkstoffe 380
Wiedereinstellgenauigkeit 22
Wiederholbedingung 22
Wiederholgrenze 22
Wiederholstandardabweichung 22
Winkeleinheiten 612
Winkelminute 12
Winkelsekunde 12
Wirkungsquerschnitt, Aktivierungs- 498
–, Neutronen 500
–, Neutronenstreuung 544
–, Spaltneutronenspektrum 500

Zählen 20
Zahlenwert 3
Zählgröße 24, 29, 32, 38, 45, 53
Zählschaltung 78
Zehntelwertdicken 483
Zeitmarkensender 290
Zener-Diode 242
Zerfallsreihen 522
Zerhackerschaltungen 379
Zerstäubungsausbeuten 555
Zertifizierung 276
z-Transformation 188
Zufallsgröße 26, 33
Zufallsvariable 24, 28, 35, 45
–, unabhängige 27, 42
–, unkorrelierte 27
Zusatzfilter 470
Zusatzrauschmaß, spektrales 228
Zusatzrauschzahl, spektrale 228
zyklische Abfrage 204
– Codes 208

ISBN 3-519-23000-3

9 783519 230007

B.G.Teubner Stuttgart