

BAND I

Allgemeine Grundlagen und Methoden

BEARBEITET VON

H. Braband, Berlin
H. Büchner, München
K. Decker, München
A. Düx, Bonn
R. Egan, Indianapolis
J. Eggert, Zollikon
W. Epprecht, Zürich
U. Feine, Tübingen
K. Fochem, Wien
W. Frik, Erlangen
W. Frommhold, Berlin
A. Huzly, Stuttgart
H. Krayenbühl, Zürich
J. Lang, München
J. Lissner, Frankfurt a. M.
H. Lossen, Mainz

R. May, Innsbruck
K. Musshoff, Freiburg/Br.
R. Nissl, Innsbruck
L. Oliva, Siena
A. Ratti, Mailand
A. Rüttimann, Zürich
H. R. Schinz, Zürich
E. Sonnabend, Göttingen
P. Thurn, Aachen
E. Vogler, Graz
C. S. Welin, Malmö
J. Wellauer, Zürich
R. Wideröe, Nussbaumen
W. Wirth, Zürich
M. G. Yaşargil, Zürich
E. A. Zimmer, Bern

683 ABBILDUNGEN und 29 TABELLEN

1965



GEORG THIEME VERLAG · STUTTGART

1. Auflage 1928
2. Auflage 1928
3. Auflage 1932
4. Auflage 1939
5. Auflage 1952

1. amerikanische Auflage 1954
1. italienische Auflage 1954
1. spanische Auflage 1956
1. französische Auflage 1958

Diejenigen Bezeichnungen, die zugleich eingetragene Warenzeichen sind, wurden *nicht* besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus der Bezeichnung einer Ware mit dem für diese eingetragenen Warenzeichen nicht geschlossen werden, daß die Bezeichnung ein freier Warennamen ist. Ebensowenig ist zu entnehmen, ob Patente oder Gebrauchsmuster vorliegen.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert werden.

© Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1952, 1965 — Printed in Germany — Satz und Druck: Darmstädter Echo, Verlag und Druckerei GmbH, Darmstadt.

LEHRBUCH DER RÖNTGENDIAGNOSTIK
BAND I

6., neubearbeitete Auflage

LEHRBUCH DER RÖNTGENDIAGNOSTIK

In fünf Bänden

HERAUSGEGEBEN VON Prof. Dr. med. H. R. SCHINZ, Zürich
Prof. Dr. med. W. E. BAENSCH, Washington
Prof. Dr. med. W. FROMMHOLD, Berlin
Prof. Dr. med. R. GLAUNER, Stuttgart
Prof. Dr. med. E. UEHLINGER, Zürich
Prof. Dr. med. J. WELLAUER, Zürich

6., neubearbeitete Auflage

1965



GEORG THIEME VERLAG · STUTTGART

DEN PIONIEREN
DER MEDIZINISCHEN
RADIOLOGIE

Vorwort zur sechsten Auflage

Das Lehrbuch erscheint in neuem Gewande, wohl ausgestattet und sorgfältig betreut vom Verlag. Das Herausgeberkollegium hat sich verjüngt, viele neue jüngere Mitarbeiter sind hinzugekommen, um das gewaltig angewachsene Wissen zu verarbeiten. Es ist aber unsere Hoffnung, daß die Neugestaltung des Stoffes trotz der Verteilung der Arbeit auf viele Köpfe die innere Einheit doch durchschimmern läßt. Doch auch der Schwerpunkt hat sich verlagert. In der letzten Auflage wollten wir neben der Klinik ganz besonders die Genetik herausstellen. Inzwischen sind gute Bücher über die Vererbungslehre erschienen, so daß wir uns kürzer fassen konnten, während nach wie vor klinisches Denken und Handeln im Vordergrund steht. Das Lehrbuch strebt also keine Röntgenologie um ihrer selbst willen an. Es soll den Weg zu einer weitergehenden Integration aller Befunde im Dienste der Diagnose weisen, wobei in einem Fall das röntgenologische Ergebnis den Ausschlag geben, im anderen eine wichtige Ergänzung oder einen Nebebefund bieten mag. Trotz dieser unveränderten Grundidee ist die neue Auflage anders als die vorhergehende. Im Vordergrund stehen heute die zahlreichen Kontrastverfahren, die in technischer, anatomischer und funktioneller Hinsicht eingehend geschildert sind, wobei auch großer Wert auf die Indikationsstellung und eventuelle Gefahren gelegt wurde. Die kardiologischen und angiologischen, die neuroradiologischen, die cholangiographischen und urologischen Abschnitte wurden unter

diesen Gesichtspunkten neu konzipiert und Kapitel über das normale und das kranke Lymphsystem hinzugefügt. Diagnostisch wertvolle nuklearmedizinische Methoden wurden aufgenommen, soweit sie neue Befunde vermitteln und damit die konventionellen röntgendiagnostischen Methoden erweitern und ergänzen. Neu ist auch die Bearbeitung der Tropenkrankheiten in einer systematischen Übersicht; sie gewinnen heute im Zusammenhang mit den leichten Verkehrswegen zunehmend an Interesse.

Zeitgemäß ist auch die Darstellung der Strahlengefährdung und des Strahlenschutzes, für die in allererster Linie der Arzt verantwortlich ist. Das Bildmaterial des gesamten Werkes ist neu. Ein kurzes Fachlexikon vor der Schilderung der Röntgendiagnostik stellt die heute gebräuchlichen Symbole, Begriffe und Definitionen griffbereit zusammen und erspart dem Anfänger und dem Fortgeschrittenen das mühsame Aufsuchen in den Spezialwerken.

Der Arzt möge in allen Abschnitten des Lehrbuches den neuesten Stand der Kenntnisse erfahren und wieder für lange Jahre Rat und Antwort suchen und finden. Dies ist unsere Hoffnung.

Wir danken dem Verlag und seinem Leiter, Herrn GÜNTHER HAUFF, für die Sorgfalt und die große Mühe, die er diesem Werke angedeihen ließ.

Im Namen aller Mitherausgeber
und Mitarbeiter

HANS R. SCHINZ

Zürich, im Sommer 1965.

MITARBEITERVERZEICHNIS

- BRABAND, H., Dr. med., Strahlenabteilung des Städtischen Auguste-Viktoria-Krankenhauses Berlin
- BÜCHNER, H., Priv.-Doz. Dr. med., Leiter der Zentralen Röntgenabteilung der Poliklinik der Universität München
- DECKER, K., Prof. Dr. med., Nervenlinik der Universität München
- DÜX, A., Priv.-Doz. Dr. med., Röntgenabteilung der Medizinischen Universitätsklinik Bonn
- EGAN, R., Prof. Dr. med., Department of Radiology, Methodist Hospital, Indianapolis 7/USA
- EGGERT, J., Prof. Dr. (emer.), Zollikon/Zürich/Schweiz, Höhestraße 44
- EPPRECHT, W., Prof. Dr. rer. nat., Institut für Technische Physik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz
- FEINE, U., Dozent Dr. med., Oberarzt am Medizinischen Strahleninstitut der Universität Tübingen
- FOCHEM, K., Univ.-Dozent Dr. med., Leiter der Röntgenstation der I. Universitäts-Frauenklinik Wien/Österreich
- FRIK, W., Prof. Dr. med., Leiter der Diagnostischen Röntgenabteilung der Medizinischen Klinik mit Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg
- FROMMHOLD, W., Prof. Dr. med., Chefarzt der Strahlenabteilung des Städtischen Auguste-Viktoria-Krankenhauses Berlin
- HUZLY, A., Dr. med., Chefarzt der Chirurgischen Abteilung des Sanatoriums Schillerhöhe, Gerlingen bei Stuttgart
- KRAYENBÜHL, H., Prof. Dr. med., Direktor der Neurochirurgischen Universitätsklinik, Kantonsspital Zürich/Schweiz
- LANG, J., Prof. Dr. med., Konservator am Anatomischen Institut der Universität München
- LISSNER, J., Prof. Dr. med., Oberarzt der Universitätsklinik für Strahlentherapie und Nuklearmedizin Frankfurt/Main
- LOSSEN, H., Prof. Dr. med., Mainz, Fischtorplatz 20
- MAY, R., Dr. univ. med., Facharzt für Chirurgie, Leiter der Gefäßstation des Krankenhauses Hall in Tirol, Innsbruck/Österreich
- MUSSHOFF, K., Dozent Dr. med., leitender Oberarzt der Röntgen-Radium-Abteilung der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg i. Br.
- NISSL, R., Dr. med., Facharzt für Röntgenologie, Innsbruck/Österreich, Neuhauserstr. 2
- OLIVA, L., Prof. Dr. med., Direktor des Radiologischen Instituts der Universität Siena/Italien
- RATTI, A., Prof. Dr. med., Direktor des Radiologischen Instituts der Universität Mailand/Italien
- RÜTTIMANN, A., Priv.-Doz. Dr. med., Oberarzt am Röntgendiagnostischen Zentralinstitut der Universität, Kantonsspital Zürich/Schweiz
- SCHINZ, H. R., Hon.-Prof. Dr. Dr. rer. nat. h. c. Dr. med., Zürich/Schweiz, Kurhausstraße 78
- SONNABEND, E., Prof. Dr. med. dent., Abteilungsvorsteher an der Zahnärztlichen Klinik und Poliklinik der Universität Göttingen
- THURN, P., Prof. Dr. med., Chefarzt der Röntgen-Radium-Klinik der Städtischen Krankenanstalten Aachen

- VOGLER, E., Prof. Dr. med., Vorstand des Zentralröntgeninstituts und der Radiologischen Universitätsklinik Graz/Österreich
- WELIN, C. S., Prof. Dr. med., Malmö Allmänna Sjukhus, Malmö/Schweden
- WELLAUER, J., Prof. Dr. med., Direktor des Röntgendiagnostischen Zentralinstituts der Universität, Kantonsspital Zürich/Schweiz
- WIDERÖE, R., Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. e. h., Dr. med. h. c., 5415 Nussbaumen/Baden/Schweiz, Hombergsteig 3
- WIRTH, W., Dr. med., Röntgendiagnostisches Zentralinstitut der Universität, Kantonsspital Zürich/Schweiz
- YAŞARGIL, M. G., Prof. Dr. med., Neurochirurgische Universitätsklinik Kantonsspital Zürich/Schweiz
- ZIMMER, E. A., Prof. Dr. med., Röntgeninstitut Aarbergerhof, Bern/Schweiz

Einleitung

Gesunderhalten, Vorbeugen, Helfen und Heilen ist Inhalt und Zweck des ärztlichen Berufes. Erfüllbar wird diese Aufgabe durch die Erforschung des krankhaften Geschehens: das ist die *Diagnose*; durch das Wissen über den Verlauf: das ist die *Prognose*; durch die Bekämpfung und Beseitigung der krankhaften Symptome: das ist die *Therapie*, und durch die Fernhaltung und Beseitigung von Schädigungen: das ist die *Prophylaxe*. Die ideale Forderung ist gestellt: Die Kunst des Arztes — wenn man hier von Kunst reden darf — besteht darin, alle diese Aufgaben in jeder Situation dem Einzelnen und dem Volke gegenüber nach bestem Wissen und Können zu erfüllen. Nicht nur das *Individuum*, sondern auch die *Gesamtbevölkerung* erfordern seine Aufmerksamkeit. Das gesamte Rüstzeug wird in diesen Dienst gestellt. Naturwissenschaft, Psychologie, Wissen um die sozialen Voraussetzungen müssen in gleichem Ausmaß helfen, denn das krankhafte Geschehen ist nicht nur ein physikalisch-chemisch-biologischer Lebensvorgang, sondern es enthält auch die seelische Reaktion auf die krankhafte Störung, die auch erkannt und richtig bewertet werden muß; das Seelische kann seinerseits körperliche Symptome auslösen. Die restlose Erfüllung dieser Forderung scheitert an der Lückenhaftigkeit unserer heutigen Kenntnisse, an der Einmaligkeit und Unvergleichbarkeit jedes Individuums und an der Begrenzung des menschlichen Aufnahmevermögens gegenüber dem Ausmaß unseres heutigen Wissens und Könnens. So ist es zwangsläufig zur *Spezialisierung* in der Medizin gekommen. Sie hat die Heilkunde mächtig gefördert, sie ist heute die Voraussetzung jeder hochwertigen Einzelleistung, und kein Kranker wäre bereit, auf die Hilfe des Spezialisten zu verzichten. Sie hat aber selbstverständlich auch ihre Nachteile, die jeder kennt. Diese können dadurch bekämpft werden, daß der Facharzt bestrebt ist, sich den Überblick über das Ganze zu wahren, die Kenntnisse seines Sondergebietes in

das *Gesamtwissen* einzuordnen und bei allen seinen Überlegungen den Menschen als Ganzes nicht zu vergessen. Diese Feststellung gilt in besonderem Maße für die medizinische Radiologie. Sie setzt nicht nur die Kenntnis der verschiedenen Gebiete der Medizin voraus, sondern sie ist unentbehrlicher Bestandteil aller medizinischen Einzelgebiete. Die Einführung der Röntgenstrahlen in die Medizin ist der größte methodische Fortschritt, den die Heilkunde seit der Kontrolle der Krankheiten durch die Sektion des menschlichen Körpers und seit der Einführung des Mikroskopes erlebt hat — wobei man nicht vergessen darf, daß sie zugleich einen der größten therapeutischen Fortschritte bedeutet.

Was ist die medizinische Radiologie? Sie ist die Lehre von der Anwendung des Lichtes, der Röntgenstrahlen und der radioaktiven Stoffe in der Medizin. Sie umfaßt die Röntgendiagnostik und die Radiotherapie. Dieses Lehrbuch handelt von der *Strahlendiagnostik*. Es stellt die Durchforschung des Baues und der Funktionen des menschlichen Körpers mit Hilfe der Röntgenstrahlen im normalen und im pathologischen Zustande dar. Die Röntgendiagnostik ist gleichzeitig normale und pathologische Morphologie und Physiologie am lebenden Menschen. Die Bedeutung der Röntgenuntersuchung für die Erkennung der Erkrankungen wird von Jahr zu Jahr größer. Jeder Arzt muß die Indikationen zur Röntgenuntersuchung kennen, muß darüber orientiert sein, wie Röntgenbilder hergestellt, wie sie gedeutet werden und wie sich der Röntgenbefund in den Gesamtrahmen der Symptome einordnen läßt. Er muß darüber hinaus die Leistungsfähigkeit und die Grenzen dieser Methode kennen. Keine Beurteilung der Lungen ist heute ohne Röntgenuntersuchung vollständig, keine Frühdiagnose der Lungentuberkulose oder des Darmkrebses kann ohne sie gestellt werden, keine Frakturbehandlung ist heute ohne Röntgenkontrolle denkbar. Der Zweck der Rönt-

genuntersuchung ist also die Aufdeckung eines krankhaften Geschehens, das den übrigen Untersuchungsmethoden schwer zugänglich oder nicht sichtbar ist. Die Aufgabe der Röntgendiagnostik ist die Ausschließung vermuteter pathologischer Vorgänge oder die Feststellung solcher Prozesse, die durch andere Symptome wahrscheinlich gemacht werden. Sie dient der Sichtbarmachung der räumlichen, zeitlichen, anatomischen und funktionellen Beziehungen der krankhaften Prozesse im Körper. Sie hat als eigene medizinische Disziplin im Rahmen der Gesamtmedizin ihre eigene Sprache. Die Röntgenaufnahme stellt den menschlichen Körper in der Form eines Schattenbildes dar, das uns im täglichen Leben nicht geläufig ist und das darum nach besonderen Gesetzen analysiert werden muß. Es genügt im übrigen selten zur Stellung einer Diagnose, sondern dient zur Feststellung und Sichtbarmachung weiterer Symptome. Jeder Arzt muß sich diese Methoden und Kenntnisse erarbeiten. Dieses Lehrbuch der Röntgendiagnostik ist von Spezialisten verfaßt, es ist aber in erster Linie nicht für Spezialisten geschrieben: Seine Hauptaufgabe

siehtes darin, jeden Arzt und jeden Studenten der Medizin über dieses Fachgebiet so gründlich wie möglich zu orientieren. Wir hoffen, daß die Leser dieses Buches die Notwendigkeit der Röntgendiagnostik als Sonderfach der Forschung, der akademischen Lehre und der ärztlichen Praxis erkennen. Die Spezialisten der medizinischen Radiologie ihrerseits sollen durch die Lektüre dazu geführt werden, ihre Spezialkenntnisse in stärkerem Maße als Teile eines größeren Ganzen zu empfinden, durch das sie erst ihre eigentliche Bedeutung erhalten.

Neben der Förderung der klinischen Forschung und der klinischen Fragestellung will das Werk die Lektüre wissenschaftlicher Arbeiten erleichtern, denn wie kein anderer Beruf verlangt die Ausübung der Heilkunde einer immerwährenden Fortbildung des Arztes durch eigene Erfahrung und durch Kenntnisnahme der Erfahrungen anderer, die in Büchern und Zeitschriften mitgeteilt werden. So dient das Lehrbuch den Studenten und der Fachausbildung, es ist aber auch Anregung zu weiterer wissenschaftlicher Lektüre und Grundlage zur Forschung.

Mathematische, physikalische und chemische Symbole, Definitionen und Konstanten

VON H. R. SCHINZ, W. EPPRECHT UND R. WIDERÖE

Griechisches Alphabet

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

Mathematische Symbole

()	Klammer	Σ	Summe
=	gleich, flächengleich	$ x $	Absolutwert von x
$\neq$	nicht gleich	∞	unendlich
$\equiv$	identisch	$\ $	Determinante
$\approx$	nicht identisch	$\rightarrow$	gegen, konvergiert nach
$\sim$	proportional, ähnl.	lim	Limes, Grenzwert
$\approx$	nahezu gleich	Δ	kleiner Teil einer Größe
$<$	kleiner als	d	totales Differential
$>$	größer als	δ	partielles Differential
$\leq$	kleiner oder gleich, höchstens gleich	$\int$	Integral
$\geq$	größer oder gleich, mindestens gleich	$\parallel$	parallel
$\ll$	sehr klein gegenüber	$\neq$	gleich und parallel
$\gg$	sehr groß gegenüber	$\uparrow\uparrow$	parallel und gleichsinnig
+	plus	$\uparrow\downarrow$	parallel und entgegengesetzt
-	minus	$\perp$	rechtwinklig
$\times$ oder $\cdot$	mal	$\triangle$	Dreieck
:	oder — selten $\div$ durch, geteilt durch	$\cong$	kongruent
...	bis	$\sphericalangle$	Winkel
$\hat{=}$	entspricht	AB	Strecke AB
$\hat{\approx}$	entspricht annähernd	$\widehat{AB}$	Bogen AB
$\sqrt{\quad}$	Quadratwurzel	$\overrightarrow{AB}$	Vektor AB
a^n	a hoch n	ln x	natürlicher Logarithmus
$a^{n/m}$	$\sqrt[m]{a^n}$	log x	Logarithmus zur Basis e
a^{-n}	$1/a^n$		Logarithmus zur Basis 10
exp(n)	Exponentialfunktion mit dem Exponenten n = e^n	π	3,141593
!	Fakultät	e	2,718281
	$4! = 1 \times 2 \times 3 \times 4$		

Abrunden und aufrunden:

$$3,14159 \approx 3,1416 \quad 3,141 \approx 3,14$$

Wenn hinter der letzten anzugebenden Zahl eine 5 folgt, soll so verfahren werden, daß die letzte anzugebende Zahl eine gerade Zahl wird. $0,625 \approx 0,62$; $0,635 \approx 0,64$.

Dekadisches Maß-System

Symbol	Bezeichnung	In Worten	Längenmaße		
T	Tera-	Billion (D, E) <i>trillion</i> (USA)			10^{12} m
G	Giga-	Milliarde (D) <i>milliard</i> (F, E) <i>billion</i> (USA)			10^9 m
M	Mega-	Million			10^6 m
ma	Myria-	Zehntausend	mam	Myriameter	10^4 m
k	Kilo-	Tausend	km	Kilometer	10^3 m
h	Hekto-	Hundert	hm	Hektometer	10^2 m
D	Deka-	Zehn	dam	Dekameter	10 m
—	—	Eins	m	Meter	1 m
d	Dezi-	Zehntel	dm	Dezimeter	10^{-1} m
c	Zenti-	Hundertstel	cm	Zentimeter	10^{-2} m
m	Milli-	Tausendstel	mm	Millimeter	10^{-3} m
—	—	Zehntausendstel	—	—	10^{-4} m
μ	Mikro-	Millionstel	μ	Mikron	10^{-6} m
n	Nano-	Milliardstel <i>milliardieme</i> (F) <i>billionth</i> (USA)	nm	Nanometer	10^{-9} m
—	—	Zehnmilliardstel	$\text{\AA}$	$\text{\AA}$ ngström	10^{-10} m
p	Piko-	Billionstel <i>trillionieme</i> (F) <i>trillionth</i> (USA)	pm	—	10^{-12} m
—	—	Tausendbillionstel	X	X-Einheit	10^{-13} m

In USA wird für 10^9 stets «Billion» gebraucht, nicht «Milliarde», und für 10^{12} «Trillion», nicht «Billion». In allen Ländern französischer Sprache ist die «Billion» ebenfalls gleich einer «Milliarde», wird aber selten gebraucht; eine amerikanische und französische Billion ist also gleich einer Milliarde, d. h. 10^{-3} deutsche Billionen.

(E = Englisch, D = Deutsch, F = Französisch.)

Metrische Längenmaße

Einheit	X (mÅ)	pm (μμ)	Å	nm (mμ)	μ (μm)	mm	cm	dm	m	km
X (mÅ)	1	10 ⁻¹	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	—
pm (μμ)	10	1	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵
Å	10 ³	10 ²	1	10 ⁻¹	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹³
nm (mμ)	10 ⁴	10 ³	10	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²
μ (μm)	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁴	10 ³	1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹
mm	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ⁷	10 ⁶	10 ³	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶
cm	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁴	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻⁵
dm	10 ¹²	10 ¹¹	10 ⁹	10 ⁸	10 ⁵	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻⁴
m	10 ¹³	10 ¹²	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻³
km	—	10 ¹⁵	10 ¹³	10 ¹²	10 ⁹	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	1

X = X-Einheit, speziell für röntgenologische Untersuchungen gebraucht (genau ist $X = 0,998 \cdot 10^{-13}$ m = 0,998 pm); pm = Pikometer; Å = Ångström; nm = Nanometer (früher, heute nicht empfohlen, Millimikron mμ); μ = Mikron (μm); mm = Millimeter; cm = Zentimeter; dm = Dezimeter; m = Meter; km = Kilometer.



Definitionen, Einheiten, Umrechnungsfaktoren, Konstanten

1. Masse, Kraft, Arbeit, Leistung, Wirkung, Temperatur, Wärme, Druck

Spezifisches Gewicht: (Wichte) = Gewicht/Volumen.

Dichte: = Masse/Volumen.

Masse:

Kilogramm (kg) ist die Masse des in Sèvres bei Paris aufbewahrten Ur-Gewichtes.

Kraft:

Dyn (dyn) ist die Einheit der Kraft im CGS-System (cm, g, s); es ist die Kraft, welche der Masse 1 g die Beschleunigung von 1 cm/s² erteilt. 1 dyn = 10⁻⁵ N

$$\text{Newton (N)} \quad 1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn} = 10^5 \frac{\text{g cm}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \approx 0,102 \text{ kp} \quad \text{im SI-System}^{1)}$$

Die technische Krafteinheit wird mit Kilopond (kp) statt Kilogramm (kg) und Pond (p) statt Gramm (g) bezeichnet.

Kilopond (kp) 1 kp ist definitionsgemäß gleich 9,80665 N.

Lorentzkraft ist die durch ein Magnetfeld ausgeübte Kraft auf eine bewegte elektrische Ladung.

Erdbeschleunigung, hervorgerufen durch die Gravitationskraft der Erde, ist in Meereshöhe und der geographischen Breite φ Grad: $g = 978,049 (1 + 0,005288 \sin^2 \varphi + \dots)$ cm/s².

¹⁾ Das Comité International des Poids et Mesures hat 1956 im Rahmen einer ihm von der neunten Generalkonferenz für Maß und Gewicht erteilten Vollmacht den Namen «MKSA-Einheitssystem nach Giorgi» durch «internationales Einheitssystem» (SI) ersetzt. Das CGS-System ist auf den drei Grundeinheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde aufgebaut.

Arbeit, Energie:

Erg (erg) ist die Einheit der Arbeit im CGS-System. Ein erg ist die Arbeit, welche von der Kraft ein dyn längs des Weges von 1 cm ausgeführt wird.

Joule (J) 1 Joule = 1 Nm = 10⁷ erg = 1 Js im SI-System.

Kilopondmeter (kpm). Die technische Einheit der Arbeit ist das Kilopondmeter (kpm). Es ist die Arbeit, welche von der Kraft 1 kp längs des Weges von 1 m ausgeführt wird. 1 kpm ≈ 9,81 J.

Kilowattstunde (1 kWh) = 3,6 MJ = 860 kcal.

Leistung:

Watt (W) ist die Einheit der Leistung und ist gegeben, wenn die Arbeit 1 Joule in einer Sekunde ausgeführt wird.

Kilowatt (kW) 1 kW = 1000 W = 1,36 PS ≈ 102 kpm/s

Pferdestärke (PS) ist die *technische* Einheit der Leistung. Sie ist gegeben, wenn die Arbeit 75 kpm in einer Sekunde ausgeführt wird.

1 PS = 75 kpm/s = 0,9863 HP = 0,7353 kW
1 HP (Horse power) = 0,746 kW = 1,014 PS

Wirkung:

Energie × Zeit (erg s)

h = Plancksches Wirkungsquantum

Temperatur:

°C (*Celsius*) gemessen vom Gefrierpunkt des Wassers an.

°K (*Kelvin*) vom absoluten Nullpunkt (= -273,16°C) an. $T (^{\circ}\text{K}) = t (^{\circ}\text{C} + 273)$.

°F (*Fahrenheit*), °F = $\frac{9^{\circ}\text{C}}{5} + 32^{\circ}\text{C} = \frac{5(^{\circ}\text{F} - 32)}{9}$.

Wärme.

Kalorie (cal) ist die Einheit der Wärmemenge, wird benötigt, um 1 g Wasser um 1°C zu erwärmen.

Kilokalorie (kcal), 1 kcal = $1,163 \cdot 10^{-3}$ kWh = 4,1868 kJ.

mechanisches Wärmeäquivalent
= $0,41863 \cdot 10^8$ erg/cal.

elektrisches Wärmeäquivalent
= 0,2389 cal/Ws.

Druck:

Atmosphäre (atm). Die *physikalische* Einheit des Druckes entspricht dem Druck einer 760 mm hohen Quecksilbersäule (QS); sie wird mit atm bezeichnet.

1 atm = 10,333 m WS (Wassersäule)
= 1,01325 bar
= $1013,25 \cdot 10^3$ dyn/cm²
= 101325 N/m²
= 1,0332 at
= 760 Torr

Atmosphäre (at). Die *technische* Einheit des Druckes ist die Atmosphäre (at) und ist der Druck, welcher 1 kp auf die Fläche von 1 cm² erzeugt.

1 at = 735,5 mm QS = 10 m WS (Wassersäule)
= 0,980665 bar.

Allgemein wird immer diese Atmosphäre angegeben.

1 at = 0,9678 atm.

Bar (b, bar), 1 b = 0,9869 atm = 1,0197 at
= 10^6 dyn/cm²
= 750 Torr.

Torricelli: (Torr) = 1 mm Hg-Säule bei 0°C
= 1,3332 mbar.

Überdruck, 1 atü = 1 at Überdruck.

2. Elektrische und magnetische Maße

Volt (V) = Einheit der elektrischen Spannung (U).
1 V erzeugt in einem Leiter von 1 Ohm (Ω) Widerstand den Strom von 1 Ampere (A) W/A

Elektronvolt (eV) = Einheit derjenigen Energie (E), welche ein Träger der Elementarladung (zum Beispiel Ladung eines Elektrons) beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V erhält:

1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J = 23,04 kcal/mol,
1 MeV (Megaelektronvolt)
= 10^6 eV = $1,602 \cdot 10^{-13}$ J,
1 MeV/Atom = $9,649 \cdot 10^{17}$ erg/g-mol.

Ein Teilchen, das sich mit der kinetischen Energie 1 eV bewegt, hat die «kinetische Temperatur» 11610°K ($T = E/k$; T = Temperatur, k = Boltzmannsche Konstante).

Ampere (A) = Einheit der elektrischen Stromstärke (I). 1 A = Stromstärke, die aus einer Silbernitratlösung in 1 Sekunde (s) 1,118 mg Silber abscheidet. V/ Ω

Watt (W) = Einheit der elektrischen Leistung
= 1 V · 1 A = 1 J/s = 10^7 erg/s. VA

Ohm (Ω) = Einheit des elektrischen Widerstandes. 1 Ω = Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt, 106,3 cm Länge und 14,452 g Masse bei 0°C. V/A

Coulomb (C) = Einheit der Elektrizitätsmenge. 1 C = techn. Einheit der Elektrizitätsmenge, die bei einer Stromstärke von 1 A in 1 s durch den Querschnitt des Leiters fließt. As

Farad (F) = Einheit für die Kapazität eines elektrischen Leiters, 1 F = Kapazität eines Leiters, der bei einer Spannung von 1 V 1 C (Coulomb) aufnimmt. C/V

Joule (J) = Einheit der Arbeit (Energie).

1 J = Arbeit, die geleistet wird, wenn während 1 s 1 A in einem Widerstand von 1 Ω fließt (Wattsekunde). CV = VAs
1 J = 10^7 erg = 1 Ws.

Weber (Wb) = Einheit des magnetischen Flusses (Induktionsfluß Φ) = magnetischer Fluß, der in einer ihn umschließenden Windung eine elektrische Spannung von 1 V erzeugt, wenn er in einer Sekunde gleichförmig auf Null abnimmt. Vs
1 Wb = 10^4 Gm² (Gaussmeterquadrat).

Henry (H) = Einheit der Induktivität.

1 H = Induktivität, in der eine Änderung des Stromes um 1 A je s eine elektromotorische Kraft von 1 V induziert. Vs/A

Gauss (G) = Einheit der magnetischen Flußdichte, 1 G = 10^{-4} Vsm⁻² = 10^{-4} Tesla (T). Einheit der magnetischen Feldstärke ist A/cm.

Frequenz (f) = Periodenzahl pro s (Hertz).

Feld (*Feldgröße*), ein Raum, in dem ungerichtete (Skalarfeld) oder gerichtete (Vektorfeld) physikalische Größen vorhanden sind. Beispiele: Dosisfeld in Körpern (Skalarfeld) oder Feld der Strahlendichte (Strahlungsfeld, ein Vektorfeld).

3. Naturkonstanten

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (Grenzgeschwindigkeit):

c = $2,998 \cdot 10^8$ m/s.

Plancksche Konstante (Wirkungsk.):

h = $6,624 \cdot 10^{-34}$ Ws² = $6,624 \cdot 10^{-27}$ erg s.

Boltzmannsche Konstante (Entropiek.):

k = $1,380 \cdot 10^{-23}$ J/°C.

Loschmidtsche Zahl (Moleküle/Mol):

N_L = $6,023 \cdot 10^{23}$ Moleküle/Mol.*)

Avogadrosche Zahl (Moleküle/cm³ Gas bei 1 atm, 0°C):
 N_A = $2,686 \cdot 10^{19}$ Gasmoleküle (resp. Atome bei Edelgasen) pro cm³.*)

Faradaysche Konstante (Elektrolysek. oder spez. Ionenladung):

F = 96520 As/Mol. (physik. System, Basis 0 = 16).

Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes

ϵ_0 = 8,85434 pF/m (Pikofarad pro Meter).

Magnetische Permeabilität des leeren Raumes

μ_0 = $1,25664 \mu$ H/m.

*) Z. T. werden diese beiden Konstanten auch umgekehrt bezeichnet (Angelsachsen).

Aufbau der Materie

1. Elementarteilchen

Elektron:

Kleinstes Elementarteilchen mit negativer Ladung
 Ladung: $e = -4,8 \cdot 10^{-10}$ e.st.CGS-Einheiten
 $= -1,602 \cdot 10^{-19}$ As (Elementarquant)
 Masse: $m_0 = 9,107 \cdot 10^{-28}$ g (Ruhemasse)
 Spezifische Elektronenladung
 $e/m_0 = 1,759 \cdot 10^{11}$ C/kg
 Klassischer Elektronenradius $r_e = 2,82 \times 10^{-15}$ m.
 Ruheenergie = 0,5108 MeV.

Spin:

Eigendrehimpuls des Elektrons $= \frac{h}{4\pi} = \frac{1}{2} \hbar$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ = Quantenmechanische Einheit des Drehimpulses, sprich $\hbar$ quergestrichen.

Drehimpuls (Impulsmoment) = mvr (Impuls $mv \times$ Radius r der Drehbewegung)

Bohrsches Magneton: $\mu_B = \frac{e h}{4\pi m_e c} = 0,9271 \cdot 10^{-20}$ Gauss cm^3 , elementares (kleinstes) magnetisches Moment der Elektronen-Bahnbewegung um den Kern. Der Elektronenspin erzeugt etwa ein Bohrsches Magneton.

Kernmagneton:

$\mu_K = \frac{\mu_B}{1836} = 5,047 \cdot 10^{-24}$ Gauss cm^3 .

Positron:

Kleinstes Elementarteilchen mit positiver Ladung.
 Ladung: $e = +4,8 \cdot 10^{-10}$ e.st.CGS-Einheiten (ese)
 $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ As
 Masse: $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-28}$ g (Ruhemasse)
 Ruheenergie = 0,5108 MeV.

Proton:

Positiv geladener Kernbaustein
 Ladung: $e = +4,8 \cdot 10^{-10}$ e.st.CGS-Einheiten
 $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ As (Elementarquant)
 Masse: $m_0 = 1,6723 \cdot 10^{-24}$ g (Ruhemasse)
 Ruheenergie = 938 MeV

Neutron:

Ungeladener Kernbaustein
 Masse: $m_0 = 1,6746 \cdot 10^{-24}$ g (Ruhemasse)
 Ruheenergie = 939,3 MeV.

Nukleon:

Kernbestandteil, Proton und Neutron.

Meson:

Instabiles Elementarteilchen, neben anderen:
 μ -Meson, etwa 214 Elektronenmassen, positive oder negative Ladung,
 π -Meson, neutral, positive oder negative Ladung. Neutral 264,4 Elektronenmassen, geladen 273,3 Elektronenmassen.

Neutrino:

Teilchen ohne Ruhemasse und Ladung.

Energiequant $h\nu$ (Photon) = Kleinste Energiemenge einer Strahlung mit der Frequenz ν Schwingungen pro Sekunde. Hieraus: Wellenlänge der Strahlung in $\text{\AA} = 12400/E$, wobei E die Quantenenergie der Strahlung in Elektronvolt (eV) ist.

Energieäquivalent $m_0 c^2$ der Masse $1 \text{ g} = 8,991 \cdot 10^{13} \text{ J}$.

2. Elemente, Atome, Moleküle, Kristalle

Chemisches Element:

Besteht aus Atomen derselben Kernladung, diese gegeben durch die Ordnungszahl.

Atom:

Kleinstes durch chemische Prozesse nicht teilbares Teilchen. Besteht aus Kern und Elektronenhülle.

Moleküle:

Chemisch in sich abgeschlossene Atomgruppen mit definiertem, relativ kleinem Bestand an einerlei oder mehrerlei Atomen (*homogene* oder *heterogene* Moleküle) in bestimmter Anordnung zueinander (Isomerie = verschiedene Gruppierung der Atome beim gleichen Atombestand). Nicht alle Stoffe, sondern nur die *Molekülverbindungen* bestehen aus Molekülen. Gleich gebaut wie Moleküle, jedoch in sich nicht abgesättigt sind *Radikale*.

Makromoleküle:

In sich abgesättigte Atomverbände von mindestens nach einer Richtung beliebiger, daher nicht mehr genau definierter, einheitlicher Größe aus einerlei oder mehrerlei Atomen (*homogene* oder *heterogene* Makromoleküle). Bei beliebiger Größe nach einer Richtung: *eindimensionale* (ketten- oder fadenförmige), nach zwei Richtungen *zweidimensionale* (netz- oder schichtförmige), nach drei Richtungen *dreidimensionale* (räumliche) Makromoleküle. Aus Makromolekülen bestehende Verbindungen = *makromolekulare Stoffe*.

Kristalle:

Feste Phasen mit regelmäßiger, allgemein *raumgitterartiger* Anordnung der Atome (jedes *Raumgitter* mit seiner dreifach periodischen Bauweise beschreibbar als lückenlose Aneinanderreihung von *Elementarzellen*). *Molekül-Kristalle* demgemäß ein regelmäßig gebauter Molekülhaufen; *makromolekulare Kristalle* dagegen entweder ein regelmäßig gebautes Bündel kettenförmiger, ein ebensolches Paket netz(schicht)förmiger Makromoleküle oder ein einziges räumliches Makromolekül.

Zustandsformen chemischer Verbindungen:

Molekülverbindungen allgemein im festen, flüssigen und dampfförmigen Zustand; Verbindungen mit dreidimensionalen Makromolekülen dagegen einzig im festen Zustand möglich, sog. *Fest-*

Körperverbindungen (unter diesen die Kristallverbindungen jener Gruppe, deren Makromoleküle notwendig von regelmäßiger Bauweise, daher nur im kristallisierten und nicht im amorph-festen Zustand möglich); Verbindungen mit ein- und zweidimensionalen Makromolekülen außer im festen Zustand auch in kolloidal dispersen Zuständen, hierbei die Makromoleküle in der Rolle der dispersen Teilchen.

Molekulkristall:

Kristall aus gleichen Molekülen aufgebaut.

Kristalline Substanz:

Entweder einzelner Kristall (Einkristall) oder aus vielen Kristallen gleicher oder verschiedener Art zusammengesetzter Stoff.

Atommasse:

Relative Masse des Atoms, früher bezogen auf O = Sauerstoff = 16,000, heute auf relative Atommasse des Isotopes $^{12}\text{C} = 12,000$.

Grammatom:

Masse in g entsprechend der Atommasse.

Molekularmasse:

Relative Masse des Moleküls bezogen auf $^{12}\text{C} = 12,000$.

Molmasse:

Masse in g entsprechend der Molekularmasse.

Mol:

Menge eines chemisch reinen Stoffes, welche der Molmasse entspricht. 1 Mol eines idealen Gases besitzt bei 0°C und 1 atm Druck das Volumen 22,415 l.

Radioaktivität

Radioaktivität:

Prozeß, bei dem instabile Atomkerne spontan Energie in Form von Strahlung abgeben und dabei in andere Kerne oder in tiefer gelegene Energiezustände übergehen.

Aktivität (absolute):

Anzahl der in einem radioaktiven Präparat pro Zeiteinheit sich umwandelnden Atomkerne, gemessen in Zerfällen pro Minute (resp. Sekunde) oder in Curie (Ci).

Aktivität, induzierte:

künstlich erzeugte Radioaktivität, beispielsweise erzeugt durch Bestrahlung eines Präparates mit Neutronen, schnellen Protonen oder Megavolt-röntgenstrahlen.

Aktivität, spezifische:

Verhältnis der radioaktiven Atome zur Gesamtzahl der im Präparat vorhandenen Atome; auch Verhältnis der Aktivität zur Masse des Präparates, z. B. Curie pro Gramm.

Radioaktivität, natürliche:

ist bei gewissen, in der Natur vorkommenden Stoffen, wie z. B. ^{40}K , ^{226}Ra , vorhanden.

Isotope Kerne:

sind Kerne mit gleicher Ordnungszahl und verschiedener Massenzahl.

Isomere Kerne:

sind Kerne mit gleicher Ordnungszahl und gleicher Massenzahl, aber mit verschiedenen Energiezuständen und verschiedener Lebensdauer.

Mittlere Lebensdauer (τ):

Zeit, in welcher die Zahl der radioaktiven Atome sich auf $1/e = 36,8\%$ der ursprünglichen Anzahl vermindert. Zwischen der mittleren Lebensdauer und der Halbwertszeit besteht die Beziehung:

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 1,44 \cdot t_{1/2} = \frac{1}{\lambda} \quad (\lambda = \text{Zerfallskonstante}).$$

Nuklid:

durch die Atomnummer, die Massenzahl und den isomeren Kernzustand bestimmte Atomkernart.

Radioisotop:

radioaktives Isotop.

Muttersubstanz:

radioaktives Isotop, welches sich umwandelt und dabei in eine andere Substanz übergeht.

Tochtersubstanz:

entsteht aus der Muttersubstanz durch deren Umwandlung und kann selbst wieder radioaktiv sein.

Zerfallreihen, natürliche:

Folge von Atomkernen, die sukzessive durch radioaktiven Zerfall einer in der Natur vorkommenden Muttersubstanz entstehen. Beispiele sind: Thoriumreihe, Neptuniumreihe, Uran-Radiumreihe und Uran-Actiniumreihe. Das Endprodukt der Reihen ist stabil.

Radioaktives Gleichgewicht:

In der Zeiteinheit zerfallen gleich viele Mutter- und Tochteratome, so daß das Verhältnis der beiden Atomarten gleich bleibt. Ihre Zahlen verhalten sich dann wie ihre Halbwertszeiten.

Zerfallsgesetz:

Die Zahl N der Atomkerne eines radioaktiven Nuklids vermindert sich mit der Zeit t nach dem Gesetz:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{wo } \lambda \text{ die Zerfallskonstante ist.}$$

Halbwertszeit ($t_{1/2}$): Zeitspanne, nach der gerade die Hälfte der anfänglich vorhandenen radioaktiven Atome zerfallen ist. Die Halbwertszeit kann aus der Zerfallskonstante berechnet werden:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Wird auch *physikalische Halbwertszeit* $t_{\text{ph}1/2}$ genannt.

Halbwertszeit, biologische ($t_{b1/2}$):

Zeit, in welcher der Körper die Hälfte des inkorporierten Nuklids ausscheidet.

Halbwertszeit, effektiv ($t_{e1/2}$):

Zeit, in der die Hälfte eines im Körper inkorporierten radioaktiven Stoffes wirksam ist. $t_{e1/2}$ kann aus $t_{ph1/2}$ und $t_{b1/2}$ nach der Formel:

$$t_{e1/2} = \frac{t_{ph1/2} \cdot t_{b1/2}}{t_{ph1/2} + t_{b1/2}} \text{ berechnet werden.}$$

Halbwertschicht (HWS) bei Röntgenstrahlen:

Materialdicke, bei welcher die Intensität der Strahlung durch Absorption und Streuung auf die Hälfte verringert wird. Die HWS kann aus dem Absorptionskoeffizienten μ berechnet werden:

$$\text{HWS} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}.$$

Kontamination, radioaktiv:

radioaktive Verschmutzung (Verseuchung).

Curie (Ci):

Einheit der Aktivität, entspricht $3,7 \cdot 10^{10}$ zerfallenden Atomkernen pro Sekunde. 1 Millicurie (mCi) = 10^{-3} Ci, 1 Mikrocurie (μ Ci) = 10^{-6} Ci, 1 Picocurie = 10^{-12} Ci.

Ionisierende Strahlung:

ist jede Strahlung, die aus direkt oder indirekt ionisierenden Teilchen (auch Quanten) oder aus einer Mischung von beiden besteht.

Direkt ionisierende Teilchen:

sind geladene Teilchen (Elektronen, Protonen Alpha-Teilchen usw.), die genügend kinetische Energie besitzen, um durch Stoß zu ionisieren.

Indirekt ionisierende Teilchen:

sind ungeladene Teilchen (Neutronen, Photonen usw.), die direkt ionisierende Teilchen freisetzen oder eine Kerntransformation auslösen können.

 α -Strahlen (Kernstr.):

bewegte α -Teilchen (Heliumkerne $\frac{4}{2}\text{He}^{++}$).

 β -Strahlen (Kernstr.):

bewegte Elektronen. Natürliche β -Strahler senden nur e^- (negative Elektronen) aus; künstliche, z. T. auch e^+ (Positronen).

 γ -Strahlen (Kernstr.):

elektromagnetische Strahlung, die bei radioaktiven Umwandlungen entsteht.

 δ -Strahlen:

Im Körper durch Röntgenquanten oder ionisierende Teilchen freigesetzte Elektronen mit einer kinetischen Mindestenergie von z. B. 100 eV.

Primärelektron: Erstes Elektron, welches in einem Körper erzeugt (beispielsweise durch Röntgenquanten) oder hineingeschossen wird (Elektronentherapie).

Sekundärelektron:

wird durch andere Elektronen von den Atom-elektronen freigesetzt.

*Streuung und Absorption (Röntgenstrahlen)**Klassische (Thomson) Streuung:*

erfolgt ohne Energieverlust durch Mitschwingen der Atomelektronen mit der elektromagnetischen Strahlung.

Kohärente Streuung:

entsteht durch Zusammenwirken der klassischen Streuung mehrerer Elektronen in Kristallen (Interferenzerscheinungen, von Laue, Bragg).

Photoelektrischer Streueffekt:

Emission eines Photoelektrons durch ein Quant und Reemission von Strahlung (z. B. K- oder L-Schalen-Röntgenstrahlung) durch Elektronen-wiedereinfang.

Compton Effekt:

ein Quant überträgt einen Teil seines Impulses an ein freies Elektron und wird dabei mit verminderter Energie seitlich gestreut. Comptonwellenlänge des Elektrons = Vergrößerung der gestreuten Wellenlänge bei Streuung um $90^\circ = 2,43 \cdot 10^{-10}$ cm = 24,3 XE.

Paarerzeugung:

Photonen mit mehr als 1,022 MeV kinetischer Energie können beim Zusammenstoß mit einem Atomkern unter Bildung eines positiven und eines negativen Elektrons verschwinden.

Paarvernichtung (Annihilation):

Langsame Elektronen und Positronen vernichten sich gegenseitig und verschwinden unter Aussendung von zwei (seltener drei) entgegengesetzt gerichteten und isotrop verteilten Röntgenquanten mit der gemeinsamen Quantenenergie von 1,022 MeV (Annihilationstrahlung).

Kernphotoeffekt (Röntgenstrahlen):

Auslösung eines Teilchens, meist ein Neutron (seltener Protonen, α -Teilchen usw.) aus einem Atomkern durch Röntgenquanten. Der Energieschwellenwert beträgt bei ^{12}C : 18,6 MeV für (γ , n) und 16,0 MeV für (γ , p) Prozesse; für Pb 7,9 MeV (γ , n). Der neu entstandene Atomkern ist meist radioaktiv. *Photofission* = Spaltung eines Atomkerns durch Röntgenquanten.

Schwächungsgesetz (Röntgenstrahlen):

in Körpern nimmt bei unverändert angenommener Quantenenergie die Strahlenintensität exponentiell mit der Körpertiefe x ab. $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$. Der Absorptionskoeffizient μ ist die Summe aus dem Photoabsorptionskoeffizienten τ , dem Koeffizienten der Comptonstreuung σ und dem Paarbildungskoeffizienten κ .

Strahlendichte („Energy fluence“):

durch Strahlung transportierte Energiemenge pro Flächeneinheit; kann in erg/cm² oder Planck (s. d.) gemessen werden.

Strahlenintensität („Energy flux density“):

in der Zeiteinheit erzeugte Strahlendichte; kann in erg/cm²s oder P/s gemessen werden.

Strahlenfluß (Strahlenleistung, „Energy flux“):

Durch eine beliebige Fläche pro Zeiteinheit einfallende Strahlenenergie in erg/s oder Pcm²/s gemessen.