

HANSER



Leseprobe

zu

„Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes“

von Hans-Gerrit Vogt und Jan-Willem Vahlbruch

Print-ISBN: 978-3-446-44919-0
E-Book-ISBN: 978-3-446-45982-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44919-0>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Dieses Buch ist aus Manuskripten zu Strahlenschutzkursen entstanden, die vornehmlich zur Ausbildung von Strahlenschutzbeauftragten für den Umgang mit radioaktiven Stoffen sowie für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen, Störstrahlern und Beschleunigern dienen. Es wendet sich daher insbesondere an Techniker, Ingenieure und Naturwissenschaftler sowie andere Mitarbeiter in Betrieben und Einrichtungen, die sich berufsbedingt mit den Grundlagen des Strahlenschutzes vertraut machen wollen und müssen.

Das Buch vermittelt Grundkenntnisse sowie weiterführende Informationen zu einigen ausgesuchten Fachgebieten der nichtmedizinischen Anwendung. Die Darstellungen beschränken sich auf die wesentlichen Sachverhalte, ohne ausführliche Begründungen, mathematische Ableitungen und technische Einzelheiten zu liefern. Die ersten Kapitel behandeln die physikalischen Grundlagen, die Dosimetrie sowie die biologischen Wirkungen ionisierender Strahlung. Auch die Thematik der natürlichen Umgebungsstrahlung wird behandelt, um eine realistische Einschätzung der Richtwerte und Dosisgrenzwerte in den Rechtsvorschriften zu ermöglichen. Schwerpunkte des Buches sind die Strahlungsmessung und die Schutzmaßnahmen gegen die äußere und innere Strahlenexposition. Neben den grundsätzlichen Erläuterungen werden die für viele Aufgabenstellungen erforderlichen Berechnungsregeln dargelegt. Zahlreiche Tabellen und Diagramme vervollständigen die Inhalte, sodass das Buch auch in der Praxis Verwendung finden kann. Eine Anleitung zur Lösung praktischer Probleme wird durch die Beispiele geliefert, bei denen Formeln und Daten angewendet werden.

Trotz einer grundlegenden Überarbeitung der Inhalte wurde der Aufbau des Buches auch in der siebten Auflage weitgehend beibehalten. Wesentliche Veränderungen wurden in Abschnitt 8.5 mit der Einführung der Bayes-Statistik bei der Ermittlung von Messunsicherheiten vorgenommen. Dabei mussten auch komplexere mathematische Formalismen verwendet werden, auf deren Gebrauch jedoch im übrigen Teil des Buches bewusst verzichtet wird. Auch die Fachverzeichnisse sind überarbeitet und ergänzt worden. Sie sollen dem Leser weiterführende Informationsquellen zur Vertiefung der Fachkenntnisse erschließen. Erfahrungsgemäß

sind dabei nicht nur Fundstellen für Literatur von Interesse, sondern auch solche Quellen, die Fundstellen verwalten oder Informationen in Form von Datenbanken und Applikationssoftware selbst zur Verfügung stellen. Das Internet ist hierbei eine unverzichtbare Quelle. Dementsprechend liefern die Fachverzeichnisse auch eine Auswahl von Internetadressen zu physikalischen und dosimetrischen Grundlagendaten, Rechenprogrammen, Institutionen, Dienstleistungsunternehmen usw., die für den Strahlenschützer hilfreich sein können.

Da die Praxis des Strahlenschutzes entscheidend durch administrative Tätigkeiten bestimmt wird, sind auch die grundlegenden deutschen Rechtsvorschriften zum Strahlenschutz in das Buch einbezogen worden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zu Beginn des Jahres 2019 – im Rahmen einer Neuorganisation des Strahlenschutzrechtes – das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) in vollem Umfang in Kraft getreten ist. Es deckt zusammen mit der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) auch die Rechtsvorschriften der bis Ende 2018 geltenden Röntgenverordnung (RöV) ab. Schwerpunktmäßig befasst sich das Buch mit den sogenannten *geplanten Expositionssituationen*, während die außerdem vom StrlSchG formulierten *Notfallexpositionssituationen* und die *bestehenden Expositionssituationen* nicht in gleicher Breite abgehandelt werden. Allerdings sind bei Drucklegung dieses Buches noch nicht alle bisher geltenden amtlichen Bekanntmachungen, Empfehlungen und Richtlinien – obwohl diese weiterhin in Kraft sind – formal an die neuen Rechtsvorschriften angepasst worden. Insofern beziehen sich die im Text gewählten Verweise auf amtliche Verwaltungsvorschriften [bmu] zum großen Teil auf die bisher geltenden Rechtsvorschriften. Damit bleibt dem Leser zumindest der Hinweis auf die Existenz solcher ergänzender Regelungen erhalten, wenngleich die Zitierungen unter Umständen nicht mehr aktuell sind. Die Pflichten der im Strahlenschutz verantwortlichen Personen nach Strahlenschutzgesetz, Strahlenschutzverordnung und Atomrechtlicher Entsorgungsverordnung (AtEV) sind in Kapitel 13 zusammengestellt.

An dieser Stelle sei auch ein Hinweis auf unser Buch *Fit für den technischen Strahlenschutz* gestattet, das ebenfalls im Carl Hanser Verlag erschienen ist (ISBN 978-3-446-45210-7). Das Aufgaben- und Übungsbuch ist eine hilfreiche Ergänzung zum vorliegenden Buch, kann jedoch auch unabhängig davon eingesetzt werden.

Wir danken unseren Fachkolleginnen und -kollegen für hilfreiche Diskussionen, insbesondere aber unseren Ehefrauen für ihre Geduld und Unterstützung.

Hannover, Januar 2019

Hans-Gerrit Vogt

Jan-Willem Vahlbruch

Inhalt

Vorwort	V
1 Einleitung	1
2 Aufbau der Materie	3
3 Strahlungsarten	7
3.1 Materiestrahlung	7
3.2 Wellenstrahlung	7
3.3 Eigenschaften der Strahlung	8
4 Strahlungsquellen	11
4.1 Radioaktive Stoffe	11
4.1.1 Aktivität	11
4.1.2 Kernprozesse	11
4.1.3 Halbwertszeit	17
4.1.4 Natürliche und künstliche Radioaktivität	18
4.1.5 Aktivitäten bei Umwandlungsreihen	21
4.1.6 Kenngrößen radioaktiver Stoffe	23
4.1.7 Radioaktive Quellen	25
4.2 Strahlungsgeneratoren	27
4.2.1 Röntgenröhre	27
4.2.2 Teilchenbeschleuniger	29
4.2.2.1 Gleichspannungsfeld-Beschleuniger	30
4.2.2.2 Wechselfeldspannungsfeld-Linearbeschleuniger	31
4.2.2.3 Ringbeschleuniger mit konstantem Magnetfeld	34
4.2.2.4 Ringbeschleuniger mit veränderlichem Magnetfeld ..	36
4.2.2.5 Strahlungsfelder an Beschleunigern	38
4.2.3 Kernreaktor	40
4.2.4 Störstrahler	42

5	Ausbreitung von Strahlung in Materie	45
5.1	Strahlungsfelder und Wechselwirkungen	45
5.2	Direkt ionisierende Strahlung	49
5.2.1	Alphastrahlung	52
5.2.2	Beta- und Elektronenstrahlung	52
5.3	Indirekt ionisierende Strahlung	53
5.3.1	Photonenstrahlung	53
5.3.2	Neutronenstrahlung	55
5.4	Kernreaktionen	57
5.5	Kernspaltungskettenreaktionen	60
5.6	Teilchenkaskaden	63
5.7	Änderung von Materialeigenschaften	64
6	Strahlungswirkung	67
6.1	Allgemeine Dosisbegriffe	67
6.1.1	Energiedosis	67
6.1.2	Ionendosis	68
6.1.3	Kerma	69
6.2	Dosisbegriffe im Strahlenschutz	71
6.2.1	Schutzgrößen	71
6.2.1.1	Organ-Äquivalentdosis	72
6.2.1.2	Effektive Dosis	74
6.2.2	Messgrößen	77
6.2.2.1	Mess-Äquivalentdosis	77
6.2.2.2	Ortsdosis	79
6.2.2.3	Personendosis	86
6.2.2.4	Luftkerma	88
6.3	Dosisleistung	90
6.4	Potenzielle Alphaenergie-Exposition	91
6.5	Biologische Wirkung ionisierender Strahlung	93
6.5.1	Grundlagen	93
6.5.2	Deterministische Strahlenschäden	98
6.5.3	Stochastische somatische Strahlenschäden	100
6.5.4	Genetische Strahlenschäden	106
7	Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition	109

8	Strahlungsmessung	123
8.1	Messaufgaben	123
8.2	Strahlungsdetektoren	124
8.2.1	Ionisationskammer	124
8.2.2	Proportionalzählrohr	126
8.2.3	Auslösezählrohr	129
8.2.4	Szintillator	132
8.2.5	Photoemulsion	137
8.2.6	Lumineszenzdetektor	138
8.2.7	Halbleiterdetektor	139
8.2.8	Festkörper-Kernspurdetektor	148
8.2.9	Sonstige Detektoren	149
8.3	Strahlenschutzmessgeräte	150
8.3.1	Einsatzweise von Messgeräten	150
8.3.2	Personendosismessgeräte	152
8.3.2.1	Photonenstrahlung	152
8.3.2.2	Beta- und Photonenstrahlung	159
8.3.2.3	Neutronenstrahlung	161
8.3.2.4	Alphastrahlung	166
8.3.2.5	Anwendungshinweise	168
8.3.3	Ortsdosis- und Ortsdosisleistungsmessgeräte	168
8.3.3.1	Beta- und Photonenstrahlung	169
8.3.3.2	Neutronenstrahlung	177
8.3.3.3	Anwendungshinweise	181
8.3.4	Oberflächenkontaminations-Messgeräte	183
8.3.4.1	Mobile Geräte	184
8.3.4.2	Stationäre Geräte	189
8.3.4.3	Anwendungshinweise	190
8.3.5	Aktivitätsmessgeräte	191
8.3.5.1	Messung an Festsubstanzproben	191
8.3.5.2	Messung an Flüssigkeiten	193
8.3.5.3	Messung an Luft	196
8.3.5.4	Messung inkorporierter radioaktiver Stoffe	200
8.3.5.5	Anwendungshinweise	203
8.3.6	Messsysteme der Spektrometrie	205
8.3.6.1	Messungen mit Impulshöhenanalysatoren	205
8.3.6.2	Messungen mit Bonnerkugeln	218
8.3.6.3	Anwendungshinweise	219
8.4	Berechnung von Aktivitäten aus Impulsraten	222

8.5	Statistische Messunsicherheit bei Impulszählungen	228
8.5.1	Grundlegendes	229
8.5.2	Primäres Ergebnis und Standardunsicherheit	231
8.5.3	Vertrauensgrenzen	234
8.5.4	Erkennungs- und Nachweisgrenze	237
8.5.5	Messungen mit Impulszähler	240
8.5.6	Messung mit Ratemeter	245
8.5.7	Prüfung auf statistische Reinheit	247
9	Schutzmaßnahmen gegen Strahlungsfelder	251
9.1	Grundregeln für den Schutz gegen Strahlungsfelder	251
9.2	Begrenzung der Quellstärke	252
9.3	Beschränkung der Aufenthaltsdauer	253
9.4	Einhalten großer Abstände zur Quelle	253
9.4.1	Alphastrahlung	257
9.4.2	Beta- und Elektronenstrahlung	258
9.4.3	Gammastrahlung und monoenergetische Photonenstrahlung ..	259
9.4.4	Röntgen- und Bremsstrahlung	262
9.4.5	Neutronenstrahlung	263
9.5	Abschirmung von Strahlungsfeldern	265
9.5.1	Alphastrahlung und schnell bewegte Atomkerne	265
9.5.2	Beta- und Elektronenstrahlung	266
9.5.3	Gammastrahlung und monoenergetische Photonenstrahlung ..	267
9.5.4	Röntgen- und Bremsstrahlung	272
9.5.5	Neutronenstrahlung	273
9.6	Schutz gegen Oberflächenstreustrahlung	275
9.6.1	Photonenstrahlung	277
9.6.2	Neutronenstrahlung	278
10	Schutzmaßnahmen gegen Kontaminationen	281
10.1	Gefährdung durch Kontaminationen	281
10.2	Grundregeln für den Schutz gegen Kontaminationen	290
10.2.1	Kontamination der Luft	290
10.2.2	Kontamination des Wassers	291
10.2.3	Kontamination von Oberflächen	292
10.2.4	Kontamination von Nahrungsmitteln	293
10.3	Abschätzung der Folgedosis	294
10.3.1	Inhalation	294
10.3.2	Ingestion	296
10.3.3	Permeation	296

10.4 Abschätzung der zugeführten Aktivität	297
10.4.1 Messung von Aktivitätskonzentration und spezifischer Aktivität	297
10.4.2 Ganzkörper- und Teilkörpermessung	298
10.4.3 Ausscheidungsmessung	299
10.5 Strahlenexposition bei kontaminierter Umgebung	301
10.5.1 Submersion und Immersion	301
10.5.2 Bodenkontamination	303
10.6 Strahlenexposition nach Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung	303
10.6.1 Kurzzeitige Ausbreitung in der Atmosphäre	304
10.6.1.1 Aktivitätsverteilung in der Luft	304
10.6.1.2 Wirkungen von Aktivitätskonzentrationen	308
10.6.2 Langzeitige Ausbreitung in der Atmosphäre	311
10.6.3 Ausbreitung über die Nahrungskette	311
10.6.4 Ausbreitung durch Verschleppen bei Ortsveränderungen	312
11 Rechtsvorschriften im Strahlenschutz	313
11.1 Grundlagen	313
11.2 Strahlenschutzrecht in der Europäischen Gemeinschaft	317
11.3 Rechtsvorschriften in Deutschland	319
11.3.1 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)	320
11.3.2 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	325
11.3.3 Atomrechtliche Entsorgungsverordnung (AtEV)	326
11.4 Strahlenschutz nach StrlSchG und StrlSchV	327
11.4.1 Strahlenschutz bei geplanten Expositionssituationen	327
11.4.1.1 Organisation des Strahlenschutzes	327
11.4.1.2 Grenzwerte beruflicher Exposition	330
11.4.1.3 Strahlenschutzbereiche	331
11.4.1.4 Personenüberwachung	337
11.4.1.5 Schutz der Bevölkerung	338
11.4.1.6 Organisatorische Schutzmaßnahmen	340
11.4.2 Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen	341
11.4.3 Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen	342
11.5 Mess- und Eichwesen im Strahlenschutz	344
11.6 Beförderung radioaktiver Stoffe	347
12 Strahlenschutz in speziellen Tätigkeitsbereichen	353
12.1 Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen	354
12.1.1 Allgemeine Gesichtspunkte	354

12.1.2	Mess- und Regeltechnik	361
12.1.3	Zerstörungsfreie Prüfung	363
12.1.4	Bestrahlungsanlagen	369
12.2	Strahlungsgeneratoren	372
12.2.1	Röntgeneinrichtungen	372
12.2.1.1	Allgemeine Gesichtspunkte	372
12.2.1.2	Mess- und Regeltechnik	374
12.2.1.3	Zerstörungsfreie Prüfung	379
12.2.1.4	Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung ..	384
12.2.2	Teilchenbeschleuniger	385
12.2.3	Störstrahler	393
12.3	Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	396
12.3.1	Allgemeine Gesichtspunkte	396
12.3.2	Arbeitsplanung und Handlungsweisen	402
12.3.3	Verhaltens- und Arbeitsregeln	405
12.3.4	Überwachungsmessungen	409
12.3.5	Abfallbehandlung	418
12.4	Tätigkeiten in natürlichen Strahlungsfeldern	421
12.4.1	Exposition durch kosmische Strahlung	422
12.4.2	Strahlenexposition durch uran- und thoriumhaltige Stoffe	425
12.4.3	Exposition durch Radon	430
12.4.4	Exposition durch Baustoffe und Altlasten	433
12.5	Kerntechnische Anlagen	434
12.6	Beförderung radioaktiver Stoffe	440
12.7	Maßnahmen bei außergewöhnlichen Ereignissen	443
13	Aufgaben und Pflichten nach StrlSchG, StrlSchV und AtEV im nicht medizinischen Bereich	447
14	Anwendungsbeispiele	469
15	Anhang: Tabellen und Diagramme	523
16	Fachverzeichnisse	657
16.1	Bezugsquellen für Literatur, Formblätter und Dienstleistungen	657
16.2	Online-Nukleardaten/Programm-Service	665
16.3	Computerprogramme	667
16.4	Literaturverzeichnis	671
16.4.1	Allgemeine Literatur	671

16.4.2	Wissenschaftliche Berichte und Empfehlungen	685
16.4.3	Veröffentlichungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)	702
16.4.4	Regeln der Technik	702
16.4.5	Bekanntmachungen und Verwaltungsvorschriften	708
16.4.6	Rechtsvorschriften	712
Stichwortverzeichnis		715

dosis anzurechnen sind, die durch die Aktivitätszufuhr im untersuchten Zeitraum zustande kommen (siehe Bild 6.2).

6.2.1.1 Organ-Äquivalentdosis

Basisgröße für die Schutzgrößen im Strahlenschutz ist die Organ-Energiedosis $D_{T,R}$. Darunter ist die über die Masse eines bestrahlten Gewebes, Organs oder Körperteils T gemittelte Energiedosis zu verstehen, die durch externe und interne Strahlenexposition der Strahlungsqualität R (Strahlungsart und -energie) zustande kommt. Die Einheit der Organ-Energiedosis $D_{T,R}$ ist Gray (Gy).

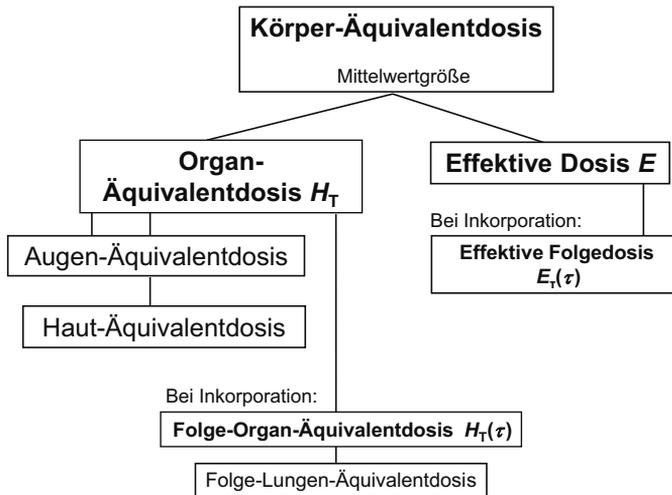


Bild 6.2 Körperbezogene Dosisbegriffe (Schutzgrößen)

Für die Berücksichtigung der biologischen Wirkung verschiedener Strahlungsqualitäten wird bei der Definition der Schutzgrößen der sogenannte Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R verwendet. Dieser bezieht sich auf das primäre Strahlungsfeld an einem Ort, d. h. das Strahlungsfeld ohne bestrahlte Substanz, und wird in Abhängigkeit von Strahlungsart und -energie angegeben. Im Gegensatz zum Ansatz $H = Q \cdot D$, der zur *Punktgröße* Mess-Äquivalentdosis führt (Abschnitt 6.2.2.1), liefert das Produkt aus der Organ-Energiedosis und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor eine *Mittelwertgröße*, die als Organ-Äquivalentdosis $H_{T,R}$ (ICRP: *organ equivalent dose*) bezeichnet wird.

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R} \quad (6.1)$$

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor hat die Dimension 1 und entspricht zahlenmäßig weitgehend dem früher gebräuchlichen Bewertungsfaktor q . Die Einheit der Organ-Äquivalentdosis ist Sievert (Sv). Dabei gilt analog zur Energiedosiseinheit Gy

Bei der Berechnung des Konversionsfaktors wird der Einfachheit halber zumeist von der Näherungslösung mit Annahme von Sekundärelektronen-Gleichgewicht ausgegangen (Kurve ap, pa, rot, siehe Abschnitt 6.1.3 und Abschnitt 6.2.2.2). Diese Bedingung ist jedoch bei Bestrahlung von vorn bei Photonenenergien oberhalb von 3 MeV nicht erfüllt, da der Dosisaufbau in 10 mm Tiefe des Phantoms noch nicht abgeschlossen ist.

Genauere Berechnungen des Konversionsfaktors entsprechend Kurve ap(oSEG) in Bild 6.9 zeigen, dass die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ die effektive Dosis bei Photonen von mehr als 3 MeV und Bestrahlung von vorn deutlich unterschätzt.

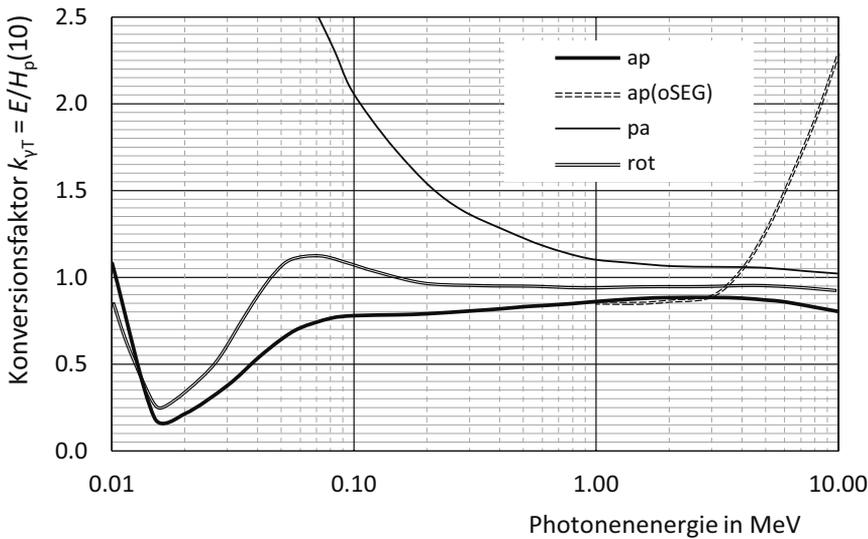


Bild 6.9 Konversionsfaktor $k_{\gamma T}$: Verhältnis aus der effektiven Dosis E zur Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in Abhängigkeit von der Photonenenergie [vei11, zan99]

ap paralleles Strahlenbündel von vorn

ap(oSEG) paralleles Strahlenbündel von vorn, ohne Annahme von Sekundärelektronen-Gleichgewicht

pa paralleles Strahlenbündel von hinten

rot paralleles rotierendes Strahlenbündel

Erhebliche Unterschätzungen der effektiven Dosis sind auch möglich, falls die Bestrahlung – bei vorn getragendem Dosimeter – von hinten (pa) erfolgt. Dies gilt stets auch dann, wenn das Personendosimeter nicht an einer für das Strahlungsfeld repräsentativen Stelle der Körperoberfläche getragen wird, z. B. der Bestrahlungsrichtung entgegengesetzt. Aus dem Messwert $H_p(10)$ in einem senkrecht auftreffenden, parallelen Strahlenbündel ergibt sich mit den Kurven aus Bild 6.9 je nach der Bestrahlungssituation eine genauere Abschätzung der effektiven Dosis E gemäß Formel (6.10):

$$E = k_{\gamma T} \cdot H_p(10) \quad (6.10)$$

schicht, aus der die Exhalation in die Außenluft erfolgt (siehe Bild 7.3). Die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe gilt dementsprechend als Kenngröße zur Identifizierung von Gebieten, in denen vermehrt radonbelastete Häuser anzutreffen sind. Bei Aktivitätskonzentrationen unter 10 kBq/m^3 in der Bodenluft sind erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern kaum zu erwarten. Dies betrifft etwa 20 % der Fläche Deutschlands, insbesondere das norddeutsche Tiefland.

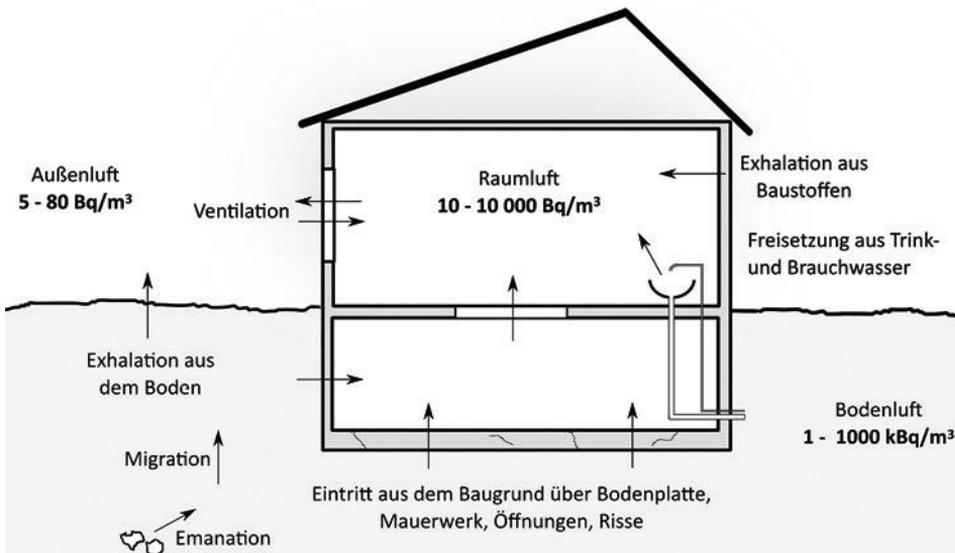


Bild 7.3 Exposition durch Radon

Aktivitätskonzentrationen über 80 kBq/m^3 in der Bodenluft, die etwa bei 9 % der Fläche Deutschlands anzutreffen sind, führen dagegen in älteren Häusern häufig zu Radonkonzentrationen von mehr als 400 Bq/m^3 . Die in etwa 50 000 Wohnungen in Deutschland durchgeführten Untersuchungen der Radonkonzentration in der Raumluft von Häusern liefern stark schwankende Messergebnisse. Die Messwerte liegen im Bereich zwischen einigen und über $10\,000 \text{ Bq/m}^3$, wobei ein Mittelwert von etwa 50 Bq/m^3 angegeben wird. In Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen kurzzeitig bis zu 600 kBq/m^3 und im Jahresmittel 15 kBq/m^3 erreicht. Verschiedentlich sind auch die verwendeten Baustoffe (z. B. bei Verwendung von Bergwerksabfällen) als Ursache erhöhter Radonkonzentration in Gebäuden ermittelt worden. Der Beitrag durch die Exhalation aus Baustoffen ist jedoch zumeist deutlich geringer als 100 Bq/m^3 und beträgt im Durchschnitt etwa 30 Bq/m^3 [bfs93c, bfs95, bfs97b, bfs05a].

Die World Health Organization (WHO) empfiehlt die Einhaltung eines Referenzwerts von 100 Bq/m^3 in Wohnungen, um Gesundheitsschäden zu minimieren. Gemäß Euratom-Grundnormrichtlinie sollte, abgesehen von Sonderfällen, der Refe-



Bild 8.24 Fingerringdosimeter für Photonen- und Betastrahlung: Einweg-Plastikringkörper; Detektorelement, TLD: ${}^7\text{LiF}$: Mg, Cu, P; Dicke: 5 mg/cm^2 ; Abdeckung: $3,3 \text{ mg/cm}^2$ (Bildquelle: MPA NRW)

Bild 8.25 zeigt ein elektronisches Personendosimeter, das auf Si-Dioden-Technologie basiert und für die Messung von Photonen- und Betastrahlung geeignet ist. Es liefert die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ und die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$.



Bild 8.25 Personendosimeter für Photonen- und Betastrahlung (EPD TruDose, Thermo Fisher Scientific)

Der Messbereich des EPD TruDose reicht bei $H_p(10)$ von $1 \mu\text{Sv}$ bis 10 Sv und bei $H_p(0,07)$ von $500 \mu\text{Sv}$ bis 10 Sv . Für Dosisleistungsmessungen gelten die entsprechenden Messbereiche von 50 nSv/h bis 10 Sv/h bzw. $1 \mu\text{Sv/h}$ bis 10 Sv/h . Der nutzbare Energiebereich erstreckt sich bei Photonenstrahlung von 16 keV bis 10 MeV und bei Betastrahlung von 200 keV bis $1,5 \text{ MeV}$. Das Gerät ist zur Baumusterprüfung für Photonenstrahlung ($H_p(10)$) angemeldet. Es werden diverse Speicherfunktionen angeboten: Maximalwert-, Kurz- und Langzeitaufzeichnung von Daten und eine Alarmschwellenfunktion für Dosis und Dosisleistung. Es können optische und akustische Alarmsignale eingestellt werden. Kommunikation erfolgt über USB-Verbindung, IR-Technologie und Bluetooth.

Diffusion in die Messkammer. Durch direkte spektrometrische Messung mit Si-Halbleiterdetektoren können die Aktivitätskonzentrationen der kurzlebigen Radontöchter und damit die gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration bzw. die potenzielle Alphaenergie-Konzentration ermittelt werden.



Bild 8.30 Radonexosimeter, Typ Altrac B97 (Bildquelle: LPS-Personendosismessstelle/ALTRAC Radon-Prüflabor)

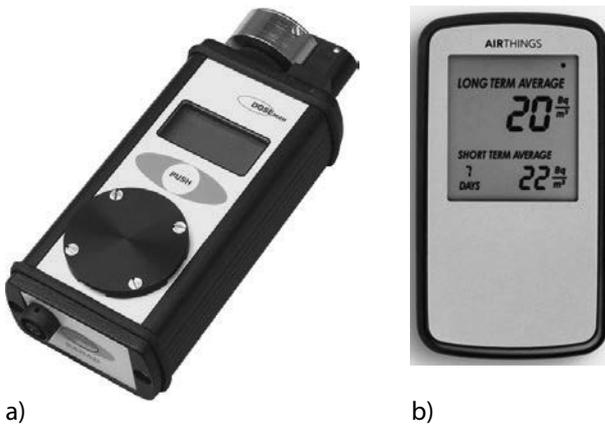


Bild 8.31

Geräte zur Messung von Radonzerfallsprodukten in Luft:

a) Radonmessgerät mit Membranpumpe (DOSEmanPRO, Sarad); b) Radonmessgerät mit Diffusionskammer (Corentium Home, Airthings)

Das DOSEmanPRO-Gerät nutzt eine Membranpumpe, die die zu untersuchende Luft durch ein 3 mm Kunststofffilter saugt. Eine Aktivitätskonzentration von 370 Bq/m^3 erzeugt die Impulsrate von 56 lpm. Bedingt durch die Halbwertszeiten der entscheidenden Radonfolgeprodukte beträgt die Mindestantwortzeit etwa 2 h, damit 90 % des Endwerts erreicht werden. Als Anzeigegröße kann zwischen PAEC, PAEE und EEC gewählt werden (siehe Abschnitt 6.4). Über die Eingabe des Konversionskoeffizienten kommt die entsprechende effektive Dosis zur Anzeige (siehe Abschnitt 10.3.1).

10

Schutzmaßnahmen gegen Kontaminationen

■ 10.1 Gefährdung durch Kontaminationen

Die Erzeugung von offenen radioaktiven Stoffen sowie der Umgang mit diesen Substanzen erfordern wegen der Möglichkeit ihrer Verschleppung durch Abrieb, Leckverluste, Zerstäubung, Verdampfung oder Vergasung besondere Vorsicht. Die Ansammlung von radioaktiven Stoffen in Gasen, Flüssigkeiten, Feststoffen und biologischem Gewebe oder an Oberflächen wird Kontamination genannt. Diese führt zu einer äußeren Bestrahlung, wenn sich die Quellen außerhalb des Körpers befinden und zu einer inneren Bestrahlung, wenn die radioaktiven Stoffe in den Körper aufgenommen werden (siehe Bild 10.1).

Zum Schutz gegen die äußere Bestrahlung, die von kleinen kontaminierten Gegenständen oder Flächen ausgeht, können grundsätzlich dieselben Regeln angewendet werden wie bei umschlossenen kleinen Strahlungsquellen. Bei ausgedehnten kontaminierten Flächen ist allerdings die geringere Abnahme der Dosisleistung in der Nähe der Fläche zu beachten (siehe Abschnitt 9.4). Wenn die Kontamination gleichmäßig in der Umgebung verteilt ist, z.B. in der Luft oder an den Wänden, sind keine wesentlichen örtlichen Unterschiede in der Strahlenexposition zu erwarten.

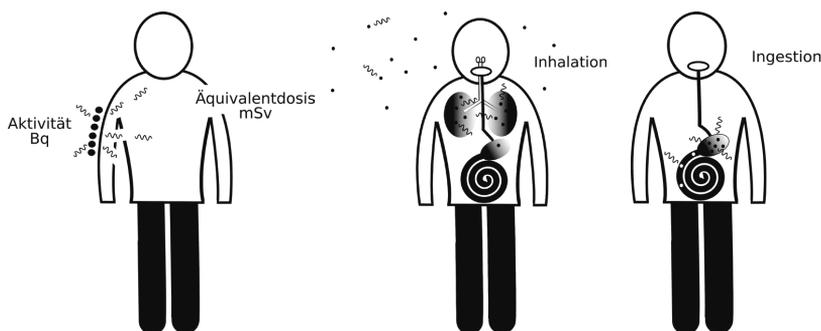


Bild 10.1 Strahlenexposition durch äußere und innere Kontamination

Den Formeln (10.12) und (10.14) entsprechende Beziehungen gelten mit den Größen $\dot{A}_S(t)$, $\dot{e}_h(t)$, $\dot{e}_g(t)$ und f_S auch für die Ausscheidung über Stuhl. Anhang 15.106 zeigt beispielhaft die Exkretionsfunktion $\dot{e}_g(t)$ für Stuhl nach Ingestion von Radionukliden. Bezüglich weiterer Zahlenangaben sei auf die Fachliteratur verwiesen [icrp98c].

■ 10.5 Strahlenexposition bei kontaminierter Umgebung

10.5.1 Submersion und Immersion

Als Submersion wird die äußere Strahlenexposition von Personen bezeichnet, die sich an der Trennfläche eines aktivitätshaltigen Halbraums (Erdboden, Wasseroberfläche) aufhalten. Erfolgt die Strahlenexposition aus allen Richtungen, z. B. beim Tauchen, Fliegen oder Schwimmen, wird von Immersion gesprochen (siehe Bild 10.6).

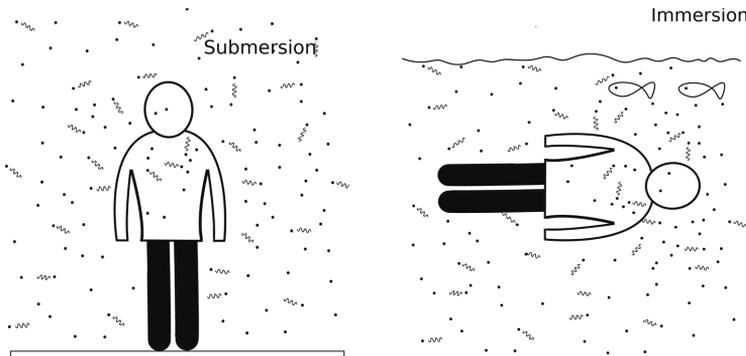


Bild 10.6 Strahlenexposition durch Submersion und Immersion

Bei bekannter homogener Aktivitätskonzentration a_V in einem als unendlich ausgedehnt anzusehenden Halbraum lässt sich die Submersionsdosisleistung durch Formel (10.15) ausdrücken:

$$\dot{H}_S = a_V \cdot g_S^\infty \quad (10.15)$$

Darin bezeichnet g_S^∞ den Dosisleistungskoeffizienten für Submersion für Luft aus dem unendlichen Halbraum. Praktisch liegt ein unendlich ausgedehnter Halbraum vor, wenn der bei halbkugelförmig angenäherter Geometrie resultierende effektive Radius des Raums, je nach der zu betrachtenden Strahlungsart, größer ist als die Reichweite (β) bzw. fünf Halbwertsschichtdicken (γ) dieser Strahlung (in Luft bzw.

Mit den Durchstrahlungsarbeiten in der Materialprüfung dürfen nur Personen beauftragt werden, die das notwendige Wissen und die notwendigen Fertigkeiten im Strahlenschutz besitzen. In der Regel ist sowohl ein amtliches als auch ein jederzeit ablesbares Dosimeter zu tragen. Bei ortsveränderlichem Betrieb wird darüber hinaus ein akustisches Dosisleistungswarngerät verlangt. Beim Wechsel des Strahlers oder des Strahlerhalters, die besonderer Schutzvorkehrungen und Genehmigungen bedürfen, sollte zusätzlich auch ein Dosimeter an der Hand getragen werden. Üblicherweise unterliegen die Beschäftigten (als beruflich exponierte Personen der Kategorie A) auch der arbeitsmedizinischen Vorsorge. Als Aufsichtspersonal wird beim ortsveränderlichen Umgang neben dem Strahlenschutzbeauftragten für den gesamten Umgang stets auch ein Strahlenschutzbeauftragter für den Umgang vor Ort mit der entsprechenden Fachkunde verlangt.

Bei ortsveränderlichem Umgang außerhalb des Firmengeländes sind Art und Umfang jeweils vor Aufnahme der Tätigkeit der zuständigen Behörde rechtzeitig mitzuteilen und im Rahmen einer Buchführung alle personellen und gerätetechnischen Daten festzuhalten [din54115-3]. Es ist zu beachten, dass Geräte für die Gammadiagnostik jährlich mindestens einmal gewartet und zwischen den Wartungen von einem behördlich bestimmten Sachverständigen überprüft werden müssen. Die Frist für die Überprüfung kann bis auf drei Jahre verlängert werden [StrlSchV18].

12.1.4 Bestrahlungsanlagen

Zur Inaktivierung von Mikroorganismen auf Medizinprodukten sowie Produkten der Lebensmittel- und Arzneimittelindustrie oder bei Anwendungen in der strahlenbiologischen Forschung wird sowohl Beta- als auch Gammastrahlung eingesetzt. Vorteilhaft ist dabei in vielen Fällen, dass die Produkte in ihrer Verpackung sterilisiert werden können, bei Verwendung von hochenergetischer Gammastrahlung auch in großen Verpackungseinheiten. Wegen der geringeren Eindringtiefe kann Betastrahlung nur bei Produkten in Primärverpackung eingesetzt werden. Der Einsatzbereich erstreckt sich von chirurgischem Nahtmaterial über pharmazeutische Verpackungsmittel bis zur Behandlung von Joghurtbechern. Insbesondere temperatur- oder feuchtigkeitsempfindliche Produkte sind für Strahlensterilisation geeignet. Die Sterilisierung von Lebens- und Arzneimitteln mit ionisierender Strahlung ist in Deutschland nur in Ausnahmefällen zugelassen [AMRadV07, LMBestrV00]. Bei Einsatz radioaktiver Stoffe sind ausschließlich Co-60 und Cs-137 als Strahlenquellen zugelassen. Die Bestrahlung von Lebensmitteln ist auf getrocknete aromatische Kräuter und Gewürze beschränkt, wobei die absorbierte Energiedosis 10 kGy nicht überschreiten darf. Für eine hinreichende Sterilisation von Arzneimitteln wird eine Mindestenergiedosis von 25 kGy angegeben. Andererseits wird die maximale absorbierte Energiedosis gemäß AMRadV07 auf 32 kGy be-

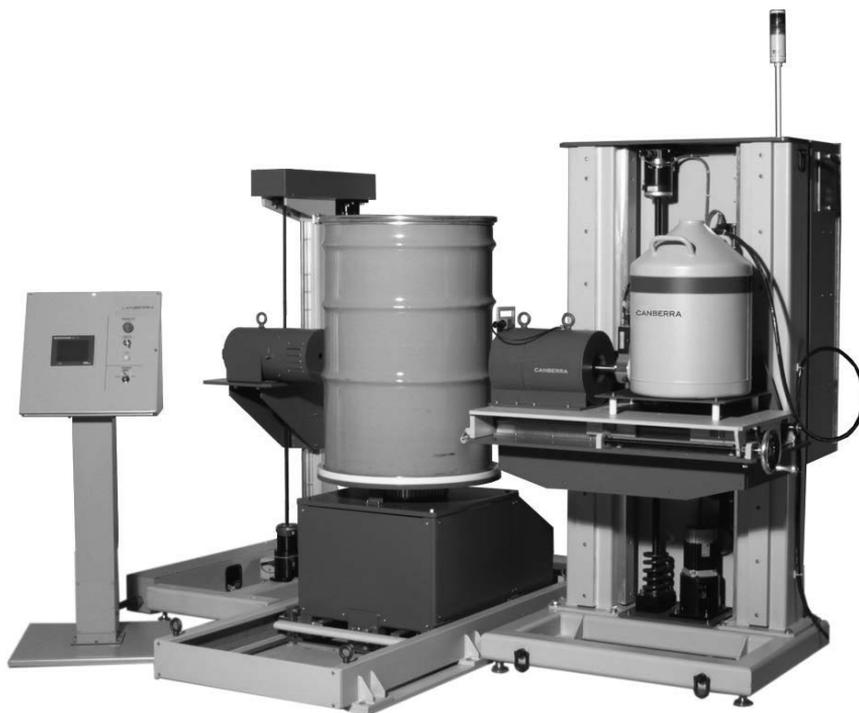


Bild 12.39 Tomografischer Gamma-Scanner (WM2900 TGS, mit freundlicher Genehmigung von Mirion Technologies (Canberra) GmbH)

Der Gamma-Scanner arbeitet mit einem HPGe-Detektor. Das System ist mit Drehteller für das Fass und mit Hubeinrichtung für Quelle und Detektor ausgestattet. Typische Nachweisgrenzen für ein 200-l-Fass (Dichte $< 0,3 \text{ g/cm}^3$) werden bei 60 min Messzeit mit 8 kBq für Cs-137 und 0,4 g Pu-239 angegeben.

Mit sogenannten tomografischen Gamma-Scannern (TGS) können Radionuklide nicht nur aktivitätsmäßig erfasst werden, sondern es wird näherungsweise auch ein dreidimensionales Bild der Aktivitätsverteilung des Messguts im Abfallfass erhalten (siehe Bild 12.39). Dazu muss allerdings außer der vom Messgut emittierten Strahlung auch bei „Durchstrahlungsmessungen“ das Schwächungsvermögen des Messguts mit einer Gammastrahlungsquelle (Eu-152) untersucht werden.

Der Scanvorgang erfolgt horizontal bei stufenweiser Höhenänderung und Rotation des Abfallfasses. Typischerweise wird das Fass in 16 senkrechte Elemente unterteilt. In jedem Segment werden Emissionsmessungen sowie Durchstrahlungsmessungen mit einem schmalen Gammastrahlenbündel durchgeführt. Durch die Unterteilung des Fassquerschnitts in 10×10 horizontale Elemente wird die Quelle in 1 600 Voxel³ zer-

³⁾ Volumenelemente (analog zu Pixel)

scheidend von der jeweils gegebenen Phase des Sonnenzyklus abhängen. In Tabelle 12.3 sind die Strahlenexpositionen einiger Raumfahrtmissionen wiedergegeben. Sofern für eine bemannte Raumfahrt zum Mars die Bedingungen der Curiosity-Mission zugrunde gelegt werden (bei einer minimalen Flugzeit von 180 Tagen), ist allein für Hin- und Rückflug mit mindestens 660 mSv zu rechnen. Für den Aufenthalt auf der Marsoberfläche ist ein weiterer bedeutsamer Dosisanteil zu berücksichtigen, der von den Abschirmungsmöglichkeiten und der Aufenthaltsdauer abhängt. Ein Gesamtwert der effektiven Dosis von 1 Sv für die Mannschaft einer Marsmission scheint daher durchaus realistisch.

Tabelle 12.3 Strahlenexposition bei Raumfahrtmissionen [ber17b, unscar08, zei13]

Mission	Höhe km	Dauer	Mittlere Dosisrate* μSv/h	Gesamtdosis* mSv
Apollo 17 (1972, letzte Mondlandung)		302 h	30	9,2
STS-61-A (D-1) (1985)	383	168 h	20	3,3
Sojus TM-14 (1992)	385	3 494 h	27	5,1
STS-55 (D-2) (1993)	296	240 h	8	1,9
STS-65 (1994)	300	354 h	11	3,8
ISS	400	1 a	27	237
Curiosity Rover (2011, Marsmission)		253 d	77	466
Bemannte Mars-Mission (Hin- und Rückflug)		360 d	77	660

STS: Space Transportation System

* Mess-Äquivalentdosis

Fachliteratur

[ber17b], [boe14], [plo13], [sch00], [sch02], [ssk03b], [unscar08], [zei13]

12.4.2 Strahlenexposition durch uran- und thoriumhaltige Stoffe

In Zusammenhang mit Stoffen, die natürlich vorkommende Radionuklide enthalten, ist einerseits sicherzustellen, dass weder Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung noch Personen bei ihrer Tätigkeit mit solchen Stoffen unzulässig exponiert werden. So ist nach StrlSchG dafür zu sorgen, dass bei Anfall von Rückständen aus industriellen und bergbaulichen Prozessen ein Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht überschritten wird. Andererseits müssen Tätigkeiten im Zusammenhang mit Rückständen oder sonstigen uran- bzw. thoriumhaltigen Stoffen bei der zuständigen Behörde angezeigt werden, sofern die betroffenen Personen als beruflich exponiert eingestuft werden müssen.

Stichwortverzeichnis

A

- Abdeckfolien 389
- Abfall, radioaktiver 415
 - Ablieferung an Sammelstelle 339, 418 f.
 - Behältnisse 419
 - erwarteter Anfall 418
 - Kernbrennstoffe 419
 - Sammeln 419
- Abgabe
 - an die Umwelt 303, 413
 - an Personen 464
- Abgrenzen 459
 - Kontrollbereich 336, 359, 374
 - Kontrollbereichsgrenze 357, 383
 - Sperrbereich 336
- Abklingbehälter 415
- Abklingzeit 60, 135 f.
- Ablagerung radioaktiver Stoffe 92, 204, 283, 303, 309, 312, 429
- Ablagerungsorgan 284
- Ableitung 290
- Abluftanlage 397
- Abluftfilter 407, 435
- Abluftleistung 388
- Abluftsystem 406
- Abluftüberwachung 399, 440
- Abschirmkammer 191 f.
- Abschirmmaterial
 - chemische Verbindung 267
- Abschirmung 163, 252, 262, 291, 336, 354, 364, 366, 368, 379 f., 407
 - Alphastrahlung 265
 - Betastrahlung 266
 - Bremsstrahlung 272
 - Elektronen 266
 - Gammastrahlung 267
 - Heliumkerne 265
 - monoenergetische Photonen 267
 - Neutronen 273
 - Protonen 265
 - Röntgenstrahlung 272
 - Schichten 271 f.
 - Tritonen 265
- Abschirmwand 252, 265, 269, 271 ff., 275
- absolutes Risiko 534
- Absorption 45, 55, 57, 61, 136, 152, 162, 190, 222, 260, 262, 265, 387, 418
 - Neutron(en) 55
 - Photon(en) 53
- Absorptionsklassen 286 f., 294, 298
- Abstandsgesetz 48, 253 f., 257, 259, 262, 264, 278
 - Alphastrahlung 257
 - Betastrahlung 258
 - Bremsstrahlung 262
 - Gammastrahlung 259
 - Photonen 259
 - Röntgenstrahlung 262
- Abwasseranlage 397
- Abwasserüberwachung 435, 440
- Actinon 294
- ADC 207
- ADR 348, 352
- Adsorption 197
- Aerosol 196 f., 406
 - Aerosolverteilung 284
 - Messung 196
- Aktivierung 123, 191, 386, 409, 435
 - durch thermische Neutronen 387
- Aktivierungsprodukte 386
- Aktivierungsquerschnitt 149
- Aktivierungssonde 149, 218
- Aktivität 11, 17, 21, 24, 58, 204, 291
 - Ausscheidung 282, 288, 300 f.
 - flächenbezogene 25, 350
 - inhalierte 308
 - spezifische 24, 226, 297, 299, 323, 409, 418, 428, 430

- volumenbezogene 25
- zugeführte 296, 298 ff.
- Aktivitätseinheiten 538
- Aktivitätsfreisetzung 303
- Aktivitätskonzentration 25, 91, 114, 191, 193, 196, 201, 203, 226, 261, 290, 297, 305, 338, 387, 413
 - Messung 198
- Aktivitätsmessgerät
 - Flüssigkeiten 193
 - inkorporierte radioaktive Stoffe 200
- Aktivitätsmessplatz 192 f., 227, 411
- Aktivitätsmessung 203
- Aktivitätszufuhr 72, 294, 296 f., 299 f.
 - über Ingestion 298
 - über Inhalation 91, 294, 297, 300, 398, 422
- Aktivkohle 199, 419
- Akzeptor 140
- Alarmschwelle 171, 410
- Albedodosimeter 163
- Albedoneutronen 164
- Alphaemission 16, 18
- Alphaenergie-Exposition, potenzielle 91 ff., 295, 298
- Alphaenergie-Konzentration, potenzielle 91, 167, 198
- Alphastrahler 200, 214, 350
- Alphastrahlung 51, 214, 266
 - Abschirmung 265
 - Abstandsgesetz 257
- Alphateilchen 7, 12, 15, 34, 49, 55, 73, 91 f., 134, 142, 257
- Alphazerfall 12
- Alvarez-Beschleuniger 32
- Alveolarbereich 284
- AMAD 284, 294, 298, 300, 533
- Analoganzeige 182
- anisotrop, nicht-isotrop 260, 263
- Anlage
 - fremde 324, 341, 450
 - kerntechnische 434
 - zur Erzeugung ionisierender Strahlung 30, 323
- Anlagerung 57, 265, 275
- Anode 27
- Anregung 47, 49, 51, 63, 67, 94 f., 140
 - Anregungsenergie 13 f., 16
 - Anregungszustand 4
- Anreicherung 202, 429 f.
- Anreicherungsgrad 62
- Ansprechfunktionen 218
- Ansprechvermögen 80, 84, 128, 134, 151, 165, 179, 181, 196, 200, 212, 218, 297, 347, 380, 396, 418
 - absolutes 143, 223
 - intrinsisches 223
 - relatives 143
- Ansprechzeiten 196
- Anstiegszeit 215
- Antikathode 27 f.
- Antikoinzidenz 193, 200
- Antineutrino 15
- Antwortfunktion 217
- Anzahldichte 48
- Anzeige
 - akustische 160
 - analoge 179, 310, 359
 - Balkendiagramm- 190
 - digitale 207
 - eines Kontaminationsmessgerätes 410
 - eines Messgerätes 177
- Äquivalentdosis
 - Photonen- 272
 - Umgebungs- 256, 262 f.
- Arbeitsanweisungen 440
- Arbeitsbehälter 354, 366
- Arbeitskleidung 438
- Arbeitsplanung 402
- Arbeitsregeln 292, 402, 405
- Arbeitsspannung 130
- Arbeitszellen 398, 406
- Arzneimittelgesetz 320
- Arzt, ermächtigt 293
- Atemrate 297, 308
- Atemschutzgerät 402, 436
- Atemschutzmaske 437
- Atemtrakt 283
- Atom 3, 47 ff.
- Atomart 4, 18, 48
- Atombombe 18
- Atomgesetz 319, 327, 347
- Atomhülle 3, 8, 12, 17, 27, 49, 51, 259
- Atomkern 3, 7, 12, 15 f., 47, 52
- Atommasse 5, 56, 58
 - mittlere relative 5, 48
 - relative 5, 24, 48
- Atommassenkonstante 5, 48
- Atomrechtliche Entsorgungsverordnung (AtEV) 326
- Aufbewahrung 464
 - ärztliche Bescheinigungen 463
 - Aufzeichnungen 460
 - Personendosimeter 405
- Aufenthaltsdauer 105, 290, 308 f., 354, 368
- Auflösungsvermögen
 - Energie- 134, 141, 146 f., 200, 213 f., 219
 - Impulshöhen- 213, 215 f.
 - zeitliches 150

- Auflösungszeit 128, 130, 183, 204
Aufpunkt 46, 67, 79, 84, 254, 258, 261, 267,
269, 271, 302
Aufzeichnung
– Körperdosismessungen 339
Augenlinsen-Äquivalentdosis 330
Auger-Elektronen 17
Ausbreitung 264, 303, 311
– des Strahlungsfeldes 45
– langzeitige 311
– unkontrollierte 26
Ausbreitungsfaktor 306f.
– normierter 309
Auslösebereich 130
Auslösezählrohr 129
Ausmessung von Strahlungsfeldern 150
Ausscheidungsmessung 299
Ausscheidungsrate 299
Ausschleusen (kontaminierter Gegenstände)
407
- B**
- Balkendiagramm 182
Barn 47
Basisschutzgerät 376
Bauartprüfung 151, 345
Bauartzulassung 373, 380, 394, 447, 459,
464
Baumusterprüfung 151, 345
Baustoffe 112
Bayes-Statistik 232
Becherzählrohr 131
Becquerel 11, 532
Beförderung 350, 364
– Kennzeichnung des Fahrzeugs 351
– Versandstücktypen 348
Beförderungsgenehmigung 351
Begleitpapiere 351
Behörde 168, 331, 340, 381, 394, 415
– zuständige 330
Bergbau 92, 430
Berufsgenossenschaften 320
Berufslebensdosis 315, 330
Beschleuniger 18, 29, 163, 172, 256, 328,
385, 387
– Alvarez- 32
– Betatron 36
– Dynamitron 31
– Elektronen- 33
– Gleichspannungsfeld- 385, 387
– Isochronzyklotron 35
– Kaskaden- 31
– Linear- 390
– linearer 31
– Mikrotron 35
– Rhodotron 33
– Stehwellen- 32
– Synchrotron 37
– Synchrozyklotron 35
– van-de-Graaff- 30
– Wanderwellen- 32
– Wideröe-Driftröhren- 31
– Zyklotron 34
Beschleunigungsspannung 27, 29, 31, 35, 42,
277, 394
Beschränkung der Aufenthaltsdauer 251
Bestrahlungsanlage 360, 369
Bestrahlungsvorrichtung 372
Betadosimeter 159
Betaemission 12, 16
Betaenergie 15, 226, 258, 266
Betafenster 159
Betastrahler 194, 200, 273, 416
Betastrahlung 213
– Abstandsgesetz 258
Betasubmersionsdosis 308
Beta-Tauchzählrohr 194
Betateilchen 7, 12, 15f., 51f., 145, 258, 262
Betatron 36, 182, 278
Betazerfall 12f.
Betrieb
– einer Röntgeneinrichtung 373
Betriebsspannung 130
Betriebszustand 359f., 368
Bevölkerung 102, 107, 116, 119, 303, 311,
315, 338
Bewegungsenergie 8f., 29f., 50
Bezettelung 349
Bezugsmaterial 69
Bildschirm 394
Bindungsenergie 5, 274
Binomialverteilung 250
Bioburden 370
Bleibausteine 355
Bleiglasscheiben 355
Bleigleichwert 272, 603f.
Blockierung
– Schutzeinrichtungen 360
Blutbestrahlung 371
Blutprobenahme 296
Bodenkontamination 303
Bodenstrahlung 119, 192
Bonnerkugel-Spektrometer 218
Bor 40, 61, 142, 275
Brandbekämpfung 460
Breitstrahlgeometrie 269
Bremsphoton 386

Bremsstrahlung
 – Abschirmung 271
 – interne 16
 Bremsvermögen 63
 Brennelement 40, 435
 Brennstoffzyklus 163
 Bronchialbereich 283f.
 Bronchiolarbereich 283
 Bruttozählrate 222, 232
 Bruttozufuhr 282, 294
 Buchführung 369, 381, 449

C

Chi-Quadrat-Test 248
 Chromosom 94, 106
 Chromosomenaberration 106f.
 Comptoneffekt 48, 53f.
 Comptonkante 211
 Comptonuntergrund 141
 Coulomb 68
 Curie 11, 532

D

Dämpfungszeitkonstante 247
 Datenprior 234
 Datenspeicher 208
 Dauerbestrahlung 100
 Daueremissionen 311
 Defektelektronen 139f.
 Deflektor 34
 Dekontamination 290, 403, 415, 438
 – von Objekten 403
 – von Personen 403
 Detektor 137
 Detektorfenster 136, 220
 Detriment 75, 104, 295, 314
 Deuteron 30, 40, 49, 265, 387
 Deuteronenbeschleuniger 264
 Dewar 220
 Dichte
 – Material- 59, 61, 64, 80, 137, 149, 283
 – optische 137
 Dichtheitsprüfung 354, 366, 463
 Dickenmessung 372
 Diffusion 140, 162, 220
 Diffusionskategorien 306
 DIN 320
 DIN-Norm 380, 398
 Direktstrahler 381
 DIS (Direct Ion Storage) 146
 Diskriminatoreinstellung 130
 Diskriminatorschwelle 137

DNS 94f., 102
 Donator 140, 143
 Dosimeter 80, 86, 164, 175, 345, 369, 378,
 381, 384, 461
 – Personendosimeter 152
 Dosis
 – effektive 75
 Dosisaufbau 81
 Dosisflächenprodukt 533
 Dosisgrenzwerte 88, 313, 330, 447
 – beruflich exponierte Person 330f.
 – Bevölkerung 118, 316
 Dosiskoeffizienten 289, 294, 398
 – Inhalation, Ingestion 627f., 630, 632, 634
 Dosislängenprodukt 89, 533
 Dosisleistung 90
 – Messung 167
 Dosisleistungsfaktor 259, 405
 Dosisleistungsfunktion
 – Flächenquelle 561
 – Punktquelle 560
 Dosisleistungskoeffizient 301, 308
 – für Betasubmersion 308
 – für Bodenstrahlung 303, 646, 648, 650
 – für Gammasubmersion 309
 – für Immersion 302, 646, 648, 650
 – für Submersion 301, 646, 648, 650
 Dosisleistungskonstante 256, 262, 368, 380,
 383
 – Bremsstrahlung 565
 – Gammastrahlung 259
 – Röntgenstrahlung 564
 Dosisleistungswarner 158
 Dosisleistungswarngerät 369, 381
 Dosismessfilm 137, 153, 162
 Dosisrate 90
 Dosis-Risiko-/Wirkungsbeziehung 97
 Dosischwelle 96, 102, 423
 Dosiswarner 158
 Dosiszuwachsfaktor 269, 273
 Dotierung 138, 385, 426
 Down-Syndrom 107
 dpm 532
 Driftröhre 31
 Druckluftversorgung 436
 DSP 208
 Dunkelströme 141
 Durchfluss-Proportionalzählrohre 198
 Durchflusszählrohr 131
 Durchlassstrahlung 46
 Durchmischung 305
 Durchstrahlungsprüfung 367f., 379f.
 Dynamitron 31
 Dynode 132

E

- Edelgas 294
- EEPROM-Zelle 146
- effektive Dosis 74, 313, 329 f., 339
- effektive Folgedosis 72, 76, 289, 294
- Effizienz 143
- Eichfehlergrenzen 151
- Eichordnung 345
- Eichpflicht 346
 - Oberflächenkontamination 347
- Eichung 151, 346
 - Eichfehlergrenzen 346
 - Gültigkeitsdauer der 346
 - Verkehrsfehlergrenzen 346
- Eigenabsorption 191, 222, 260
- Eigenleitfähigkeit 140
- Einfang-Gammastrahlung 57
- Einkanalanalysator 206
- Einsatzspannung 130
- Einschaltzeit 333
- Einsteinsche Formel 5, 9
- Eintauchzählrohr 194
- Eintrittsfenster 125, 142, 185
- Einwirkungsdauer 98, 308
- Eisensulfatdosimeter 150
- elektrische Ladung 8
- elektromagnetische Wellenstrahlung 8
- Elektrometer 125 f.
- Elektronen 3, 15, 51, 390
 - rückläufige 389
- Elektronenbeschleuniger 42, 323, 386, 396
- Elektroneneinfang 12 f., 16
- Elektronenlawine 129
- Elektronen-Linearbeschleuniger 385
- Elektronenmikroskop 394
- Elektronenschale 4
- Elektronenstrahlhärtung 395
- Elektronenstrahlung 52, 169, 258
- Elektronvolt 9, 532
- Elementarladung 3
- Elementarteilchen 3, 110
- Element, chemisches 3
- Elementsymbol 4
- Emanation 114
- Emission, bodennahe 306
- Emissionshöhe 305, 307, 309
- Emissionswahrscheinlichkeiten 16
- Emissionswinkel 40, 254, 262
- Endlagerung 339, 418
- Energie 12, 15
 - kinetische 8
 - Teilchen- 64, 133, 141 f., 147, 205, 210, 266
 - übertragene 67, 92, 133 f.
- Energie-Auflösungsvermögen 135, 141, 144 f., 211, 219
- Energiedosis 65, 67, 72, 99, 121, 123, 126, 149, 180
- Energiedosisleistung 90
- Energieeinheit 9, 538
- Energielage 208
- Energie-Nenngebrauchsbereich 159, 171, 181, 344
- Energiespektrum 15, 28, 134, 136, 148 f., 162, 177, 198, 210, 215, 272, 274
 - Alphastrahlung 214
 - Bremsstrahlung 39
 - diskretes 214
 - Gammastrahlung 15, 213
 - Härtung 28 f.
 - kontinuierliches 28
 - Messung 205
 - Neutronen 20, 83, 136, 162, 179, 215 f.
 - Röntgenstrahlung 28 f.
- Energieübertragungsvermögen 51, 77 f., 136
- Energieverlust 51, 55, 57, 63, 68, 210, 418
- Energiezustand 12, 17, 49
 - Grundzustand 57
 - metastabiler 5
- Entfaltung 213
- Entfaltungungsverfahren 218
- Entnahmefaktor 196, 227
- Entriegelungskonzept 392
- Entscheidungsbereich 328, 447
- Erbanlagen 94
- Erbgang 107
- Erbgutschädigung 106
- Erbschäden 76, 107 f., 314
- Erholungszeit 130
- Erkennungsgrenze 237
 - Reaktor-Plutonium 181
- Ersteichung 345
- Erwartungswert 229
- Escape-Peak 211
- EURATOM 313
 - Grundnormen 313
- Exhalation 115
- Exkretion 288
- Exkretionsfunktion 288, 300
- Exoelektronenemission 149
- Exponentialfunktion 58, 288
- Exposition, *siehe* Strahlenexposition
- Expositionspfade 303, 339
- Exposure 68

F

Fachkunde 328, 369, 381, 384, 447, 453, 465
 Fading 137, 139, 154
 Fallout 119, 309, 311
 Fallout-Faktor 309
 Fehler
 – systematischer 151, 299
 Feinstrukturanalyse 373
 Feinstrukturuntersuchungen 374
 Ferngreifer 356
 Festsubstanzprobe 194
 Feuchtemessungen 354, 361, 363
 Filmdosimeter 152, 159
 Filmplaketten 159, 168
 Filmschwärzung 137, 152
 Filter
 – Abluftfilter 407
 Filtergerät 291
 Filterwechsel 408
 Fingerringdosimeter 159, 168
 – Betastrahlung 159
 Floating Gate 146
 Fluenz 45, 69, 84, 137, 147f., 162, 169, 178
 Fluoreszenzstrahlung 17, 28, 42, 49, 203, 373, 376
 Fluorimeter 203
 Flussdichte 45, 47, 58, 98, 169, 181, 193, 253, 265, 274, 386
 – spektrale 45
 Flüssigszintillationsmessung 194f.
 Flüssigszintillator 194, 200, 202, 213, 217
 Folgedosis 294, 331
 Folgekern 12, 16, 18, 21, 275
 Folge-Organ-Äquivalentdosis 71, 74, 289, 294, 296
 Folgeprodukte 24, 114, 148, 166, 198, 419
 Folgeprodukte, radioaktive 52, 92
 Fortluft 196, 290, 413
 Freigrenzen 323, 336, 339, 397, 463
 Freimessung
 – Parameter 415
 Freisetzungsrates 306
 Freisetzungswahrscheinlichkeit 397
 Frequenz 7, 35, 208
 Frickdosimeter 150
 Füllstandsmessung 362f.

G

Gammaemissionen 12
 Gammaenergie 13
 Gammaquanten 12, 16, 19

Gammadiagnostik 369, 463
 Gammastrahler 403, 416
 Gammastrahlungsquelle 41
 Gammasubmersion 309, 311
 Gammaverteilung 235
 Ganzkörperexposition 75, 98f., 357
 Ganzkörperkontaminationsmonitor 438
 Ganzkörperzähler 200, 412
 Gasdurchflusszähler 128
 Gasentladung 129
 Gasfüllung 126, 128, 186, 190
 Gasverstärkung 126f.
 Gauß-Verteilung 304, 311
 Gefahrgutbeauftragter 351
 Geiger-Müller-Zählrohr 129, 169f.
 Geldbuße 448
 Ge(Li)-Detektor 144
 Genehmigung 327, 447, 464
 – Beförderung 327, 347, 350, 352
 Genmutation 106
 Germaniumdetektor 201, 416
 Gesetze (im Strahlenschutz), Rechtsvorschriften 313
 Gewebeäquivalenz 68
 Gewebe-Wichtungsfaktor 75, 104, 289
 Gleichgewicht 21, 92, 108
 – dauerndes 21, 23
 – laufendes 22
 – radioaktives 22f.
 – säkulares 21, 24
 – thermisches 57
 – transientes 22
 Gleichgewichtsfaktor 92f., 295, 298, 431f.
 Gleichspannungsfeld-Beschleuniger 30
 Glockenkurve 134
 Glovebox 400
 Gray 67, 69, 532
 Greifwerkzeug 355
 Grenzenergie 10, 28, 264, 324
 Grenzwerte 71, 98, 313, 350, 360, 413, 437, 447, 460, 467
 – abgeleitete 314
 – Körper-Äquivalentdosis 73
 – Körperdosis 339
 – Oberflächenkontamination , 337, 402
 – primäre 313
 – sekundäre 313
 Grobstrukturanalyse 372
 Großflächen-Proportionalzählrohr 185, 197f.
 Großflächenzählrohre 194
 Grundregeln (des Strahlenschutzes) 251, 290, 407, 442
 Grundzustand 4, 12, 19, 49
 Gummistulpenhandschuhe 291, 407

H

Halbleiter 139, 142, 146, 214
 Halbleiterdetektor 139, 167, 192f., 197f.,
 202, 394
 – Bohrloch- 144
 – koaxialer 143, 145
 – Lebensdauer 147
 – planarer 143f., 214
 – Sperrschicht- 141
 – Sperrschichtdicken 142
 Halbwertsbreite 134, 142f., 210, 212, 219
 Halbwertsschichtdicke 267f.
 – Photonen 575
 Halbwertszeit 11, 17, 21, 93, 204, 229, 284f.,
 288, 297, 299
 – biologische 288
 – effektive 289
 – physikalische 288
 Hand-Fuß-Monitor 189
 Handhabungsart 397
 Handschuhkasten 402, 407
 Härtung 373, 385
 Häufigkeitsverteilung 39, 229, 247f.
 Haut-Äquivalentdosis 73, 86
 Hautdosis 159, 302f., 308, 404
 – lokale 73, 86, 404
 Hautdosisleistung 259
 Hautkontamination 259, 296
 Hautkrebs 96
 Hautrötung 74, 96, 99, 403
 Heiße Zelle 400
 Hilfe, fremde 445
 Hiroshima, Nagasaki
 – Atombombe 100
 Hochschutzgerät 374
 Hohlraum-Ionenendosis 68
 Hüllenelektron 15

I

ICP-Massenspektrometrie 202f.
 ICRP 73, 75, 102, 166, 295, 313f., 316
 ICRU
 – ICRU-Kugel 80
 – ICRU-Weichteilgewebe 68, 77
 Immersion 301, 303
 Impulsformdiskriminierung 136, 195, 212,
 215f.
 Impulshöhe 127, 141, 195, 204, 207, 212
 Impulshöhenanalysator 203, 206
 Impulshöhenschwelle 130
 Impulshöhenspektrum 134, 141, 175, 208,
 216

Impulshöhen-Vielkanalanalysator 207
 Impulskammer 124
 Impulsrate 128, 130, 135, 142, 145, 151,
 180, 183, 190, 192, 204, 222, 361
 – korrigierte 204
 Impulsratenmessgerät 183
 Impulsvorwahl 244
 Impulszähler 410
 Ingestion 109, 119, 282, 289, 296, 298ff.,
 303
 – Dosisberechnung 296
 Ingestionsdosiskoeffizient 296
 Ingestionsweg 405
 Inhalation 91, 105, 109, 114, 119, 282f., 286,
 289, 294, 298, 300, 303
 – Dosisberechnung 294
 Inhalationsdosiskoeffizient 294
 Inhalationszeit 297
 Inkorporation 76, 112, 116, 183, 200, 257,
 289f., 297, 331, 337, 397, 402, 404f., 442
 – Exkretion 640
 – Kenndaten 616, 618, 620, 622, 624, 626
 – Konzentration 645
 – Messung 200, 411
 – Retention 636
 Inkorporationspfad 289
 Integrationskammer 125
 Ion 29, 124, 147
 Ionenaustausch 292
 Ionenbeschleuniger 323
 Ionendosis 68
 Ionenpaar 68
 Ionenspur 50
 Ionisation 123
 Ionisationskammer 124f., 139, 146, 172f.
 Ionisierung 49
 – direkte 49
 – indirekte 53
 Ionisierungsdichte 50f., 77f., 258, 265
 Ionisierungsprozess 53
 Ips 179, 181, 190, 532
 Isobare 4
 Isochronzyklotron 35
 Isoliergerät 291
 Isomer 5
 Isoplethen 310f.
 Isotop 4f., 60
 Isotopenzusammensetzung 5
 isotrop 48, 253, 259, 263

J

Joule 9, 67, 532
 Justierarbeiten 378

K

- Kalibrierfaktor 151, 162, 169, 223, 227
- Kalibriermessung 191
- Kalibrierung 84, 124, 151, 163, 179, 181, 190, 228, 250, 354, 411, 418
 - Parameter 418
- Kalorimeter 149
- Kanal 146, 219
- Kaskade 64
- Kaskadenbeschleuniger 31, 389
- Kategorie 331, 385, 398, 462
 - beruflich exponierte Person (A, B) 329, 331
 - beruflich exponierte Personen 369, 462
 - Versandstück 348
- Kathode 27
- Kathodenstrahlröhre 42
- Keimzelle 93f., 96, 106
- Kennzeichnung
 - Fahrzeug 350
 - Strahlenschutzbereich 335
 - Versandstück 349
 - Vorratsbehälter 406
- Kerbschlagzähigkeit 66
- Kerma 69
- Kermaleistung 90
- Kernladungszahl 3f., 52, 54, 262, 266
- Kernphotoeffekt 55
- Kernprozess 11 ff., 17, 254, 289
 - radioaktiver 12, 20, 247
 - spontaner 11
- Kernreaktion 57, 263, 387
 - Alphastrahlung 52
 - Deuteron(en) 52
 - endotherm 58
 - exotherm 58
 - Neutron(en) 56
 - Proton(en) 51
 - Wirkungsquerschnitt 47
- Kernreaktionen
 - Ionen 558
 - Neutronen 557
 - Photonen 556
- Kernreaktor 18f., 41, 435
- Kernspaltung 18, 40, 60f., 177, 435
 - spontane 17, 20
- Kernspaltungskettenreaktion 61
- Kernspurdetektoren 148, 162
- Kernspurfilm 137, 162
- kerntechnische Anlage 119
- Kernumwandlung 16, 20
- Kernzerfall 248
- Kernzersplitterung 55
- Kettenreaktion 40f., 61
- Kleidersonde 190
- Klystron 33, 43
- Koinzidenz 193, 212, 216
- Kompartiment 283f., 286
- Konformitätsbescheinigung 345
- Konformitätsbewertung 345
- Konformitätserklärung 345
- Konservierung 354
- Konstanzprüfung 384
- Kontamination 26, 186, 204, 219, 226, 257, 281, 290, 303, 309, 312, 328, 331, 334, 350, 362, 386, 397, 402, 404, 409, 438
 - Abwasser- 291
 - Grenzwerte 402
 - Luft- 290
 - Oberflächen 25, 152, 292, 347, 337, 396, 403
 - Raumluft- 197
 - Raumluftüberwachung 198
 - Schutzmaßnahmen 281
- Kontaminationen 460
- Kontaminationskontrolle 150, 293, 438
- Kontaminationsmessgerät 184, 189f.
- Kontaminationsmonitor 189
- Kontaminationszone 407
- Kontaminierung 435
- Kontrollbereich 331, 357, 360, 409, 438, 460
 - Abgrenzung 360, 368
 - Kennzeichnung 336
 - Zutrittsbeschränkungen 334, 460
- Kontrollbereichsgrenze 367, 374, 382f.
- Kontrollmessung 151f.
- Kontrollvorrichtung 152, 346
- Konversion 16
- Konversionselektronen 16
- Konversionsfaktor 218, 255, 263
 - Neutronen 567
 - Photonen 562
 - Radon 295
- Konverter 148
- Konzentrations-Zeit-Integral 308
- Körperaktivität 297, 338
 - Messung 200, 412
- Körper-Äquivalentdosis 71, 289, 313, 331, 412
- Körperdaten des Menschen 635
- Körperdosis 71, 150, 289, 313, 328, 460
- Körperflüssigkeit 200, 296, 299
- Körperoberfläche 123, 152, 162, 257, 282, 293, 338, 405, 461
- Körperzellen 96, 100
- Korpuskularstrahlung 7
- Krebserkrankung 100

Krebsrisiko 101, 315
Kreisbeschleuniger 35
Kritikalität 61
– Spaltstoff 61
Kryostat 209, 220
Kühlfinger 220
Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor 652
Kurzzeitbestrahlung 100

L

Laboratorium
– Radionuklid- 197, 397, 413, 415
Ladegerät 158
Ladung, elektrische 30
Ladungsimpulse 124, 126
Ladungsträger 124, 126, 139, 146
Lagerung 62, 426
– radioaktiver Stoffe 357
Landessammelstelle 339, 418f., 467
Latenzzeit 96, 99f.
LC-Anzeige 169
Lebensdauer 12, 128, 131, 172
– mittlere 5, 17
Lebensmittel-Bestrahlungs-Verordnung
320
Lebenszeitrisko 106, 315
Lebenszeit, Verlust an 314
Leckstrahlung 379
Leiter 140
LET 51
Leukämie 74, 76, 96, 100, 314, 316
Lichtgeschwindigkeit 8f., 31
Life Span Study 101
Likelihood 234
Linac 182
Linearbeschleuniger 278, 391
Linienspektrum 28, 134, 213
Long Counter 177
Löschzusätze 129, 131
Lösungsrate 533
Low Level-Messung 193
Luftkerma 70, 88
Luftkermaleistung 345
Luftschauer 110
Lüftung 387, 400
Lüftungssysteme 387
Luftwechselzahl 291, 387
Lumineszenzdetektor 138f., 155
Lunge 76, 99, 121, 298
Lungenkrebsrisiko 105
Lungenzähler 201, 412

M

Magen-Darmtrakt 99
Manipulator 400
Masse
– flächenbezogene 265
– kritische 61
– relativistische 9, 35
– sichere 63
Massenabnahme 58
Massenanziehungskraft 5
Massenbelegung 185, 188, 265
Massendefekt 5
Massenschwächungskoeffizient 49
Massenwirkungsquerschnitt 49
Massenzahl 3
Materialbestrahlung 372, 385, 389
Materialeigenschaften 64f., 385, 403,
418
Materialprüfung 354, 402, 442
– gelegentlicher Umgang 367
– ortsfeste 360, 380
– ortsveränderliche 346, 360
– zerstörungsfreie 354
Materiestrahlung 7
Maximalenergie 15, 272
MCA 193, 206
Medianwert 533
Mehrfachstreuung 275
Mehrteilchenprozess 55, 57
Meldeplattform, für Messgeräte 346
Membranfilter 198
Meson(en) 64
Messabweichung 151, 169, 171
Mess-Äquivalentdosis 72
Messaufgaben 123
Messergebnis, primäres 232
Messgröße
– Fluenz 181
– Impulsrate 181
Messtechnik
– Messgeräte 150
Mess- und Eichgesetz 344
Mess- und Eichverordnung 320, 344
Messung
– Dosis 152
– Energiespektren 205
Messunsicherheit 137, 139, 151, 190,
199, 228
Metall-Oxid-Halbleiter 146
Methandurchflusszähler 128f.
Migration 114
Mikrotron 35, 278
Mittel, arithmetisches 233, 248

Mittelwert 30, 112, 182 f., 257, 264, 533
 – der Strahlungsenergie 255
 Modellprior 234
 Moderation 56, 62
 Moderationsgrad 62
 Moderator 61 f., 180 f.
 Monazitsand 113
 MOSFET 145 f.
 Multiplikationsfaktor 61
 Mutation 94, 106
 – dominante 106 f.
 – geschlechtsgebundene 107
 – rezessive 107
 Mutternuklid 22
 Myon 110

N

Nachweisgrenze 166, 194, 196, 200, 203, 237, 413
 Nahrungskette 303, 311 f.
 Nahrungsmittelverbrauch 635
 Nasenbereich 283 f.
 Nettoeffekt 237
 Nettozählrate 222
 Neutrino 15
 Neutronen 3, 73, 162, 273
 – Abschirmung 274
 – Abstandsgesetz 262
 – intermediäre 57
 – langsame 57, 126, 177
 – monoenergetische 20, 218
 – schnelle 57, 60, 162
 – Streuung 162
 – thermische 60, 218
 Neutronenausbeute 20, 568
 Neutroneneinfang 436
 Neutronenquelle 26, 263, 274
 Neutronenspektrum 278, 386
 Neutronenstrahlung 38, 79, 162, 177 f., 278, 436
 nicht isotrop 254 f.
 NIM 209
 nomineller Risikoeffizient 535
 NORM 421, 534
 Normalstrahlung 272, 277
 Normalverteilung 210, 229, 236, 238, 248
 Normalverteilungsfunktion 244
 Notausschalter 388
 Notfall 343
 Nukleon 3, 55, 57, 64, 110
 Nukleonenzahl 4, 57

Nuklid 4, 16 ff., 23 f., 57, 60
 – Radio- 92, 163, 183, 198, 200, 256, 271
 – radioaktiv 21
 Nuklidkarte 19
 Nulleffekt 137, 183, 204, 232, 410
 Nulleffektzählrate 204, 232, 410
 Nutzstrahlenbündel 39, 49, 262, 275, 277, 363, 367 f., 378, 383 f., 387
 Nutzstrahlung 46, 363, 368, 388

O

Oberflächenansprechvermögen 226, 410
 Oberflächenemissionsrate 224
 Oberflächenkontamination 25, 227, 292, 402, 409, 460
 Oberflächen-Personendosis 86, 155, 160
 Oberflächensperrschicht 141
 Oberflächensperrschichtdetektor 142 f., 219
 Oberflächenstreustrahlung 275
 operative Größen 77
 optische Dichte 137
 Ordnungswidrigkeiten 448
 Ordnungszahl 3, 13, 27, 49, 61, 64, 134, 145, 185 f., 262, 273, 277
 Organ-Äquivalentdosis 72 f., 97, 103, 313, 330
 Organdosis 72, 461
 Ortsdosimeter 84, 357
 Ortsdosis 79
 Ortsdosisleistung 90
 – Berechnung 256 f., 262, 264, 278
 – Messung 182
 Ortsdosisleistungsmessgerät 168, 170, 174, 362
 Ozonproduktion 389

P

Paarbildung 53, 211
 Paarbildungseffekt 48, 54
 Parameter
 – kritischer 61, 63
 – sicherer 62
 Peak 135, 210, 217
 Peakbreite 134
 Peaksuche 208, 218
 Periodensystem 3
 Permeation 282, 296, 303
 Personal, fliegendes 422
 Personen
 – beruflich exponierte 100, 316, 327, 449, 461
 – sonstige zu überwachende Personen 328

Personendosimeter 86, 160, 168, 338, 345, 436, 461
– Betastrahlung 138, 160, 186, 188, 195, 210, 302f., 405
– Messabweichungen 152
– Neutronen 162
– Photonen 152
Personendosis 86, 150, 152, 157, 160f., 337, 345, 460
Personen-Kontaminationsmonitor 189, 397
Personenschleuse 397, 437f.
Personenüberwachung 166
p-Halbleiter 140
Phantom 79, 81, 163, 289
Phosphat-Düngemittel 428
Phosphatglas 155
Phoswichdetektoren 201
Photoeffekt 48, 53f., 64
Photoemulsion 137
Photokathode 134, 136
Photolumineszenz 138
Photomultiplier 216
Photon 8f.
Photonen-Äquivalentdosis 88
Photopeak 212
Photosekundärelektronenvervielfacher 136
PIN-Diode 140
Planardetektoren 145
Plancksches Wirkungsquantum 9
Plastiksack-Schleusmethode 407f.
Plateau 130
PL-Detektoren 138
p-Leiter 143
Plutonium 312, 436
Poissonverteilung 229, 247
Positron 12, 53
Positronenstrahler 19
Posterior 234
Pressluftatemgerät 436f.
Primärstrahlung 45, 70, 255, 277
Probenahme 205, 227, 415f.
Probenanreicherung 196
Probenaufbereitung 203, 205, 213
Produktionsrate 58
Proportionalzählrohr 126, 171, 178, 180f., 185, 187, 189, 215
Proton(en) 3, 29
Prüfstrahler 346, 354
Prüfung, zerstörungsfreie
– Durchstrahlungsprüfungen 380
Pulsdauer 30, 182f., 204
Punktquelle 48f., 253, 256, 262, 271

Q

Qualitätsfaktor 77f., 180
Qualitätssicherung 322, 344, 384
Quellenabmessungen 253
Quellengeometrie 261
Quellstärke 23, 29f., 48, 251, 259f., 263
Quenching 136

R

Rad 67
Radikale 94
radioaktive Folgeprodukte 259
radioaktive Stoffe 354, 397
– Abgabe 290, 464
– Beförderung 327, 347, 350, 352, 440ff., 450
– natürliche 18, 117, 207, 421, 432
– offene 24f., 397, 402, 409, 436
– sonstige 327, 347
– umschlossene 25, 354
– Verschleppung 189
radioaktive Umwandlung 12, 22
Radioaktivität 18f., 174
Radionuklid
– primordiales 112, 116
Radionuklidabzug 290, 398, 402
Radionuklide 24
– Kenndaten 544, 546, 548, 550, 552, 554
Radionuklidlaboratorium 397
– Laborausstattung 398
Radium 11, 434
Radon 91ff., 116, 119, 148, 166, 198, 294, 298
– Folgeprodukte 295
– in Heilstollen 431
– in Wasserwerken 431
– Messung 166, 198
– Radonexposition 91, 106, 116, 166, 200, 295, 298
– Radonheilmäner 431
Radonexposimeter 166
Radonzerfallsprodukte 148, 166, 198
Ratemeter 183, 245
Raumfahrt
– bemannte 424
Raumluft
– Überwachung 412
Raumluftmonitor 412f.
Raumluftüberwachung 196
– Messung 196, 413
Raumwinkel 254f., 263

- Rauschen
 – Signal- 142, 207
 Rayleigh-Streuung 55
 RBW 77
 Reaktion 264
 Reaktionsenergie 58
 Reaktionsrate 47f., 58, 388
 Reaktionsratendichte 47
 Reaktor 41
 Rechtsvorschriften (im Strahlenschutz) 1, 313, 389, 441
 Referenzmesseinrichtung 151, 346
 Referenzperson 309
 Referenzstrahler 224
 Reflektor 62
 Reichweite 52, 125, 142, 159, 198, 214, 258, 265, 273, 301, 303
 – Alphastrahlung 266
 – Betastrahlung 266
 – Elektronen 574
 – in Luft 573
 – Protonen 572
 Reinheit
 – statistische 247
 Rekombination 125, 172
 relatives Risiko 534
 Relativitätstheorie 53
 Relaxationslänge 268
 Rem 77
 Resonanzen 58
 Resonanzsonden 149
 Resorption 298
 Resorptionsfaktor 285, 296, 300
 Retention 288
 Retentionsfunktion 288
 Rhodotron 33, 385, 389
 Richtungsabhängigkeit 80, 171, 181
 Richtungs-Äquivalentdosis 80, 173
 Richtungs-Äquivalentdosisleistung 259
 Richtungsfaktor 255, 264
 Richtungsverteilung 39, 163, 177, 263
 Riesenresonanz 58
 Ringbeschleuniger 34, 36
 Ringschale 192, 194
 Risiko 74f., 96, 100, 103, 314, 342
 – absolutes 101
 – relatives 101
 – zusätzliches relatives 101
 Risikokoeffizient 75, 97, 102, 316, 534
 – relativer 105
 Röhrenspannung 29, 262, 272, 376
 Röhrenstrom 29, 383
 Röntgen 68, 99, 532
 Röntgenblitzgerät 372, 382
 Röntgen-Bremsstrahlung 27
 Röntgendiagnostik 89, 119
 Röntgeneinrichtung 324, 341, 373, 378, 380, 384
 – Betrieb 374
 – Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung 384
 Röntgenfluoreszenzanalyse 373
 Röntgenfluoreszenzstrahlung 27, 49
 Röntgenraum 380, 384
 Röntgenröhre 10, 27f., 30, 256, 374
 Röntgenstrahler 324
 Röntgenstrahlung
 – Abschirmung 272
 – charakteristische 17
 Rückstoßkern 55
 Rückstoßproton 51, 216
 Rückstreufaktor 275
 – Neutronen 615
 – Photonen 614
 – Röntgenstrahlung 614
 Rückstreuung 136, 191, 222, 276f., 368
 – Neutronen 278
 – Photonen 276
 Ruheenergie 9, 57
 Ruhemasse 7ff., 53
 Rundstrahler 381
 Runzelröhre 32
- S**
- Sachverständigenprüfung 369, 372, 384, 463
 Sättigungsaktivität 59
 SCA 206
 Scanner 200, 395
 Schadenserwartung 76, 314
 Schadenskoeffizient 295, 314
 Schadstoffkonzentration 306
 Schadstoffwirkung 308
 Schadstoffwolke 307ff.
 Schätzwert 80, 83, 86, 150, 222, 233, 248
 Schätzwert, bester 244
 Schauhöhlen 431
 Schema der Energieübergänge 13
 Schichtdicke
 – kritische 61
 Schleuse 439
 – Personen- 397, 438
 Schleusensystem 400
 Schmalstrahlgeometrie 269
 schriftliche Weisung 442
 Schuhschwelle 438
 Schutzanzug 437
 Schutzausrüstung 397

- Schutzrüstung, persönliche 402
 - beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen 292, 462
- Schutzgehäuse 46, 354, 359f., 363, 373, 379
- Schutzgitter 185
- Schutzgröße 71, 313
- Schutzhaube 374
- Schutzkleidung 292, 384, 462
- Schwächungsfaktor 267
 - Bremsstrahlung 272, 605
 - Gammastrahlung 583
 - monoenergetische Photonen 576
 - Neutronen 273, 609
 - Röntgenstrahlung 272, 597
- Schwächungskoeffizient 47, 267, 273
- Schwankungen
 - statistische 134, 210, 219
- Schwärzung von Filmemulsionen 123
- Schwellendosis 97, 102
- Schwellenenergie 39, 58, 149, 263f.
- Schwellenwert 105, 158
 - Dosis 98, 102
- Schwellenwertsonden 149
- Schwingungszahl 7, 9
- SEG 70
- Sekundärelektronen-Gleichgewicht 70
- Sekundärstrahlung 46f., 54, 79, 276
- Sekundärteilchen 47, 69, 128, 177, 210
- Selbstabsorption 189, 214, 260
- SEP 424
- Sicherheitsfaktor 63
- Si-Detektor 141
 - ionenimplantierte Kontakte 142f., 197, 214, 220
 - Oberflächensperrschichtdetektor 142
- Sievert 72, 75, 77, 80, 86, 532
- Signalparameter 208
- Signalverluste 134, 136, 141
- Si(Li)-Detektor 145
- Si-PIN 140, 165
- Skyshine 252
- Sollbahn 52
- Sonde, thermische 149
- Spallation 55, 57
- Spallationsprodukte 110
- Spaltprodukte 19, 41, 60, 435f.
- Spaltpektrum 20
- Spaltstoffsyste~~m~~e 61
 - Kritikalitätsdaten 559
- Spaltung 57, 60, 436
- Spaltung, Kernspaltung 19
- Spätschäden 100
- Spektrensubtraktion 208
- Spektrometrie 141f., 144, 205, 213
- Sperrbereich 331
 - Zutrittsbeschränkungen 334
- Sperrschicht 140, 142, 144
- Stabilitätsklasse 306f., 310
- Standardabweichung 230, 411
- Standard-Ionendosis 69
- Standardunsicherheit 233
 - Kalibrierfaktor 241
- Stangengreifer 401
- Steradian 254, 532
- Sterbefallhäufigkeiten 315
- Sterilisierung 360, 369, 385
- Stoffe
 - natürliche 109
 - radioaktive 11, 25
- Stoffwechselmodell 300
- Störfall 343
- Störleitfähigkeit 140, 143
- Störstrahler 42, 324, 341, 389, 393
- Störstrahlung 46, 388
- Stoß 47, 51
 - elastischer 51, 55
 - inelastischer 57
- Stoßgesetze 55
- Stoßprozess 53
- Strahlenexposition
 - äußere 426
 - berufliche 315, 460
 - besonders zugelassene 330, 462
 - des fliegenden Personals 423
 - innere 114, 116, 431
 - interne 71, 109
 - natürliche 109, 421
 - unvermeidliche 251, 290, 440
 - Vermeidung unnötiger 252, 449
 - zivilisatorische 109, 119
 - zumutbare 118
- Strahlenfänger 277
- Strahlenpass 341, 353, 461
- Strahlenquelle, *siehe* Strahlungsquelle
- Strahlenrisiko 75, 97, 101, 331
- Strahlenrisiko-Koeffizient 103
- Strahlenschäden 1, 143, 147, 378
- Strahlenschäden, Strahlenwirkung 95, 313
 - deterministische 96f., 99, 101
 - genetische 96
 - nichtstochastische 96
 - somatische 96, 100, 313
 - stochastische 100
- Strahlenschutz
 - Grundsätze 321
- Strahlenschutzanweisung 340, 353, 405, 445, 456

- Strahlenschutzbeauftragter 369, 381, 384, 441
 - Aufgaben, Pflichten 328
 - Bestellung 328, 384
- Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen 320
- Strahlenschutz bei geplanten Expositionssituationen 320
- Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen 320
- Strahlenschutzbevollmächtigter 328
- Strahlenschutzgesetz 327, 347
 - Genehmigung 323
 - Gliederung 320f.
- Strahlenschutzgrundsätze 447
- Strahlenschutzkontrolle 344
- Strahlenschutzpersonal 439f.
- Strahlenschutzplanung 407, 436
- Strahlenschutzregister 338, 458
- Strahlenschutzregisternummer 341
- Strahlenschutzverantwortlicher 327, 343, 441, 448, 453
- Strahlenschutzverordnung 319, 327, 397, 418, 448, 459f., 462, 464, 466f.
 - Gliederung 325
- Strahlensterilisation 369
- Strahlensyndrom 98
- Strahlentherapie 98
- Strahlenwirkung, Strahlenschäden 45, 67, 74, 94, 96, 101, 103, 205
 - deterministische 98
 - stochastische 96
- Strahlenzeichen 336
- Strahler 402
 - Röntgeneinrichtung 379
 - Wechsel 369
- Strahlerführung 364
- Strahlerkopf 39, 278, 386
- Strahlrohre 385
- Strahlrohrverschluss 389, 392
- Strahlung
 - charakteristische 28
 - dicht ionisierende 51, 148
 - direkt ionisierende 47, 51, 125, 137
 - durchdringende 80, 85f.
 - elektromagnetische 7, 16, 32
 - Fluoreszenzstrahlungspotonen 28
 - gepulste 36, 161, 172, 182f., 204f., 218
 - geringe Eindringtiefe 80, 84, 86
 - gestreute 277
 - indirekt ionisierende 47
 - ionisierende 49, 53, 109, 138, 141, 145, 149, 191, 313, 319, 353
 - kosmische 109, 111, 421
 - locker ionisierende 51, 148
 - Röntgenfluoreszenz- 376
 - terrestrische 109, 112
 - ungestreute 264, 273
 - Vernichtungsstrahlung 53
- Strahlungsdetektor 123
 - chemischen Detektoren 149
- Strahlungsempfindlichkeit 98
- Strahlungsfeld 81
 - an Beschleunigern 38
 - aufgeweitetes 84
- Strahlungsgenerator 254
- Strahlungshormesis 96
- Strahlungslänge 64
- Strahlungsmessgerät
 - Inkorporation 412
 - Kontamination 445
 - mit Warnschwelle 158
 - Personendosis 445, 461
- Strahlungsmessung
 - Energiespektren 205
 - Inkorporationen 202
 - Personendosis 152
- Strahlungsquelle 46, 183, 214, 222, 252, 354, 364, 368, 383f., 441
 - radioaktive Stoffe 354, 357, 360f., 367
- Strahlungsteilchen 30
 - materielle 7
 - sekundäre 29
- Strahlungsverluste 36
- Strahlungswarngeräte 158
- Strahlungs-Wichtungsfaktor 72
- Streckgrenze 66
- Streustrahlung 46, 252, 261, 264, 269, 273, 380
 - Abschirmung 275
 - Energie der 277
- Streustrahlungsfeld 54, 264
- Streuung 45, 55, 215, 222, 265, 275
 - elastische 52
 - inelastische 57
 - kohärente 55
- Stromkammer 124
- Stromstärke 28, 42, 252, 262
- Stuhlprobe 201, 299
- Submersion 301, 303
- Submersionsdosis 308f., 311
- Subtraktionsverfahren 217
- Summenpeak 212
- Synchrotron 37
- Synchrozyklotron 35
- Szintillationscocktail 136, 195

Szintillationszähler 134, 169, 173, 177, 191,
194, 197f., 212
Szintillator 174, 187, 207, 212

T

Target 29, 34, 36, 385ff., 389
Target-Atom 58
Tastverhältnis 30, 36, 183
Tätigkeiten
- genehmigungsbedürftige 464
- genehmigungsfreie 394
- Genehmigungsregelungen 327, 347
- in fremden Anlagen 324, 341, 353, 450
Teilchenausbeute 13f., 16, 254, 260, 264, 273
Teilchenenergie 10
Teilchenfluenz 177
Teilchenflussdichte 64, 210, 424
Teilchengeschwindigkeit 9, 31f., 50
Teilchenkaskaden 63
Teilchenpulse 30
Teilkörperdosimeter 156
Teilkörperexposition 99
Teilkörpermessung 298
Teilkörperzähler 201f., 297, 412
- Schilddrüse 202
Temperaturprofil 306
Tertiärstrahlung 46, 388
TGF 423
Thermolumineszenz 138f., 159, 177
Thermolumineszenz-Detektoren 163
Thoriumglühstrümpfe 426
Thoron 294
Tiefengeothermie 429
Tiefen-Personendosis 158f.
TL-Detektor 138, 163
Tochternuklid 21f.
Todesfallrisiko 76, 102ff., 314
Todesfallrisiko-Koeffizient 104
Totzeit 127, 129, 191, 204, 208
Toxizität 350
Transferfaktoren 312
Transferkompartiment 288
Transport 62, 327, 413, 429, 440f.
Transportbehälter 354, 364, 367, 407
Transportkennzahl 349
Transport (von radioaktiven Stoffen),
Beförderung 282, 284, 312
Transport (von radioaktiven Stoffen) im
Körpergewebe 289
Transurane 3, 60
Tritium 40, 188, 198, 296, 300, 411
Trübungen von Glas 123
Tschernobyl 101, 113, 117, 119

Turbulenzneigung (Atmosphäre) 304, 306, 311
Türkontakte 380
Typ A - Versandstück 442
Typ B(U)-Versandstück 365

U

Übergang
- isomerer 12
Überlaufgefäß 194
Überwachung 150, 159, 168, 172, 196, 205,
228, 293, 388, 410, 415, 421, 439f., 460
- Abluft 293
- Abwasser 397, 415, 440
- ärztliche 338
Überwachungsbereich 331, 357, 360
Umgebungs-Äquivalentdosis 80, 173, 260,
269, 169
Umgebungs-Äquivalentdosisleistung 90
Umgebungsmaterial 69
Umgebungsstrahlung 113, 154, 183, 191,
198, 200, 208, 210, 411
Umlaufzeit 34, 36
Umwandlung 21
Umwandlungsreihe 21
Umweltkontamination 339
Unfall 316
- Maßnahmen 445
Untergrundstrahlung 193, 201, 205, 216, 410,
415
Unterweisung 340
Uranbergbau 100
Urinprobe 202, 299

V

Vakuum 8ff., 27, 42, 214, 220
- Vakuumkammer 30, 34
van-de-Graaff-Beschleuniger 31
VDE 320
Verarmungszone 141
Verbrauchsrate 298, 312
Verdopplungsdosis 107
Verhaltensregeln 442
Vernichtungsstrahlung 53
Verpackung 442, 467
- beschädigte 442
Versandstück 349, 441
- freigestelltes 348
- Industrie- 348
- Transportkennzahl 349
- Typ A, Typ B 348
Versandstück-Kategorie 349
Verschleppung 281, 293, 402

Verstärkungsfaktoren 126
 Vertrauensbereich 232
 Vertrauensgrenzen 235
 Vertrauensniveau 181, 237
 Verweilkonstanten 312
 Vial 195
 Vielfachstreuung 278 f., 379
 Vielkanalanalysator 192, 204, 215, 218 f.
 Vollenergiepeak 134, 142 f., 211
 Vollschutzanzug 291
 Vollschutzgerät 373
 Volumen
 – kritisches 61
 – sicheres 63
 Volumenquelle 261
 Vorkommen
 – bedeutsames 343

W

Wahrscheinlichkeitsdichten 236
 Wahrscheinlichkeitsnetzpapier 248
 Wärmetönung 402
 Warngerät 150
 Wartung 450
 Wartung, geschäftsmäßige 384
 Washout 309
 Washout-Faktor 310 f.
 Wechselspannungsfeld-Linearbeschleuniger
 31
 Wechselwirkungsprozesse 45, 94
 – Alphateilchen 52
 – Elektron(en) 50
 – Photon(en) 54
 Weichteilgewebe 69, 287
 Weisungen, schriftliche 351
 Wellenlänge 7, 9
 Wellenstrahlung 16
 Werkstoffprüfung 25, 324
 Wert, wahrer 150, 222, 228 f., 231
 Wichtungsfaktor 75, 108
 – Gewebe- 75, 104
 – Strahlungs- 72
 Wideröe-Beschleuniger 31
 Wiederholungszeit 30, 182, 204

Windgeschwindigkeit 305 f., 309
 Windtrajektorie 306
 Wirkungsgröße 308
 Wirkungsquerschnitt 58
 – effektiver 60
 Wischprobe 136, 189, 227, 411, 436, 439
 Wischprüfung 411
 Wismut 434
 WL 532
 WLM 532
 WLM (Working Level Month) 92
 WL (Working Level) 92
 Wunddosiskoeffizient 296

Z

Zähldraht 126, 128 f., 185
 Zahlenwertgleichung 24, 74, 93
 Zählgas 128 f., 186, 198, 215
 Zählrate 131, 222
 Zählrohr 128, 158, 174, 177, 186
 Zählrohrcharakteristik 128, 130
 Zählrohrfenster 128
 Zählrohrspannung 126, 130, 186
 Zehntelwertsschichtdicke 268
 – Neutronen 613
 – Röntgenstrahlung 602
 Zeiteinheiten 538
 Zeitkonstante 171, 183, 190, 410
 Zellteilung 95, 100
 Zelltod 94
 Zerfallsart 17
 Zerfallskonstante 17, 58, 91, 204, 291, 387,
 389
 Zerfallsreihe 19
 zerstörungsfreie Materialprüfung 385, 390
 Zugangsverriegelungen 388
 Zusätzliches absolutes Risiko 534
 Zusätzliches relatives Risiko 534
 Zustand
 – angeregter 13
 – metastabiler 12
 Zwischenlagerung 397, 418, 440, 442
 Zyklotron 34
 Zylinderdurchmesser 61