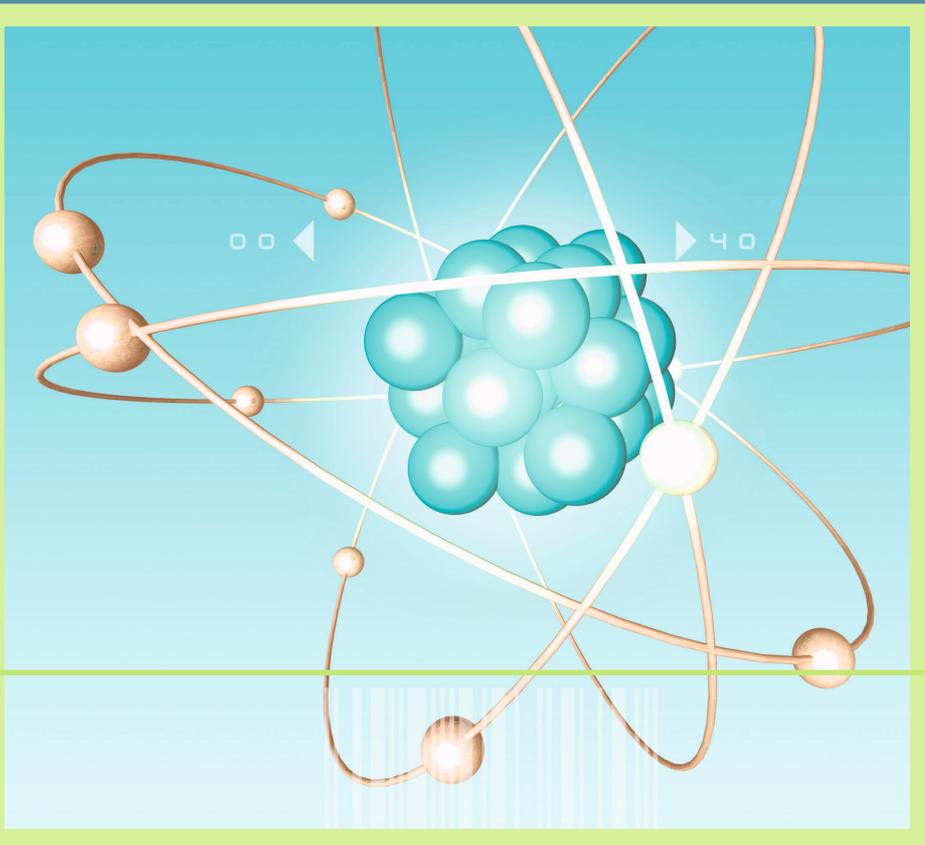


Jan-Willem Vahlbruch
Hans-Gerrit Vogt



Fit für den technischen Strahlenschutz

200 Aufgaben zum sicheren Umgang
mit Quellen ionisierender Strahlung



2., aktualisierte Auflage

HANSER



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-xE33q-mvGuA

plus.hanser-fachbuch.de



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Jan-Willem Vahlbruch
Hans-Gerrit Vogt

Fit für den technischen Strahlenschutz

**200 Aufgaben zum sicheren Umgang mit Quellen
ionisierender Strahlung**

2., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Dr. Jan-Willem Vahlbruch ist Leiter der Strahlenschutzkurse am Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS) der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.

Dr. Hans-Gerrit Vogt war Leiter der Strahlenschutzkurse im Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2023 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

Titelmotiv: © Frank Wohlgemuth, Lilienthal/Hamburg

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH und Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-47571-7

E-Book-ISBN: 978-3-446-47755-1

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	IX
Teil 1	
Aufgaben	1
1 Mathematische Vorübungen	3
1.1 Rechnen mit Potenzen	3
1.2 Verwendung von Präfixen und Umgang mit Größenordnungen	5
1.3 Logarithmische Skalen	7
2 Physikalische Grundlagen	11
2.1 Radioaktive Stoffe, Aktivität und Halbwertszeit	11
2.1.1 Grundbegriffe	11
2.1.2 Aktivität und Masse	11
2.1.3 Abnahme der Aktivität	12
2.2 Aufbau und Funktionsweise von Röntengeräten	12
2.3 Aufbau und Funktionsweise von Beschleunigern	15
2.4 Strahlungsarten und grundlegende Eigenschaften	15
2.5 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	18
2.6 Dosis	21
2.6.1 Dosisbegriffe	22
2.6.2 Dosisleistung	24
3 Biologische Strahlenwirkung und Strahlenexposition des Menschen	25
3.1 Die biologische Wirkungskette	25
3.2 Deterministische und stochastische Strahlenschäden	26
3.3 Natürliche Strahlenexposition	29
3.4 Zivilisatorische Strahlenexposition	29
4 Praktischer Strahlenschutz	31
4.1 Schutz durch Abstand	31
4.1.1 Alphastrahlung	31
4.1.2 Betastrahlung	32
4.1.3 Gamma- und Röntgenstrahlung	32

4.2	Schutz durch Abschirmung	33
4.2.1	Alphastrahlung	33
4.2.2	Betastrahlung	34
4.2.3	Gamma- und Röntgenstrahlung	34
4.3	Schutz durch kurze Aufenthaltszeiten	37
4.4	Praktischer Strahlenschutz beim Betrieb von Beschleunigern	38
5	Berechnung der Strahlenexposition	39
5.1	Äußere Exposition bei Photonenstrahlung	39
5.1.1	Gammastrahlung	39
5.1.2	Röntgenstrahlung	40
5.1.3	Dosisleistung beim Betrieb eines Beschleunigers	41
5.2	Äußere Exposition bei Betastrahlung	41
5.3	Äußere Exposition bei Neutronenstrahlung	43
5.4	Äußere Exposition beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	43
5.5	Innere Exposition nach Inkorporation	44
6	Strahlenschutzmesstechnik	47
6.1	Messgeräte und Messverfahren	47
6.1.1	Genereller Aufbau von Strahlungsdetektoren	47
6.1.2	Aufbau und Funktion von Dosimetern	52
6.1.3	Messgeräte und Messverfahren beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ...	54
6.2	Messunsicherheiten, charakteristische Grenzen und Alarmschwellen	55
7	Administrativer Strahlenschutz	57
7.1	Rechtliche Grundbegriffe	57
7.2	Strahlenschutzorganisation	59
7.3	Behördliche Vorabkontrolle	61
7.4	Strahlenschutzbereiche	64
7.5	Grenzwerte	66
7.6	Dokumente im Strahlenschutz	67
7.7	Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten	69
Teil 2		
	Lösungen	73
1	Mathematische Vorübungen	75
1.1	Rechnen mit Potenzen	75
1.2	Verwendung von Präfixen und Umgang mit Größenordnungen	76
1.3	Logarithmische Skalen	77

2	Physikalische Grundlagen	79
2.1	Radioaktive Stoffe, Aktivität und Halbwertszeit	79
2.1.1	Grundbegriffe	79
2.1.2	Aktivität und Masse	79
2.1.3	Abnahme der Aktivität	80
2.2	Aufbau und Funktionsweise von Röntengeräten	80
2.3	Aufbau und Funktionsweise von Beschleunigern	82
2.4	Strahlungsarten und grundlegende Eigenschaften	83
2.5	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	84
2.6	Dosis	87
2.6.1	Dosisbegriffe	87
2.6.2	Dosisleistung	88
3	Biologische Strahlenwirkung und Strahlenexposition des Menschen	90
3.1	Die biologische Wirkungskette	90
3.2	Deterministische und stochastische Strahlenschäden	91
3.3	Natürliche Strahlenexposition	93
3.4	Zivilisatorische Strahlenexposition	93
4	Praktischer Strahlenschutz	95
4.1	Schutz durch Abstand	95
4.1.1	Alphastrahlung	95
4.1.2	Betastrahlung	95
4.1.3	Gamma- und Röntgenstrahlung	95
4.2	Schutz durch Abschirmung	96
4.2.1	Alphastrahlung	96
4.2.2	Betastrahlung	96
4.2.3	Gamma- und Röntgenstrahlung	97
4.3	Schutz durch kurze Aufenthaltszeiten	99
4.4	Praktischer Strahlenschutz beim Betrieb von Beschleunigern	100
5	Berechnung der Strahlenexposition	103
5.1	Äußere Exposition bei Photonenstrahlung	103
5.1.1	Gammastrahlung	103
5.1.2	Röntgenstrahlung	106
5.1.3	Dosisleistung beim Betrieb eines Beschleunigers	107
5.2	Äußere Exposition bei Betastrahlung	107
5.3	Äußere Exposition bei Neutronenstrahlung	109
5.4	Äußere Exposition beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	110
5.5	Innere Exposition nach Inkorporation	111

6	Strahlenschutzmesstechnik	114
6.1	Messgeräte und Messverfahren	114
6.1.1	Genereller Aufbau von Strahlungsdetektoren	114
6.1.2	Aufbau und Funktion von Dosimetern	116
6.1.3	Messgeräte und Messverfahren beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ...	118
6.2	Messunsicherheiten, charakteristische Grenzen und Alarmschwellen	120
7	Administrativer Strahlenschutz	122
7.1	Rechtliche Grundbegriffe	122
7.2	Strahlenschutzorganisation	124
7.3	Behördliche Vorabkontrolle	126
7.4	Strahlenschutzbereiche	128
7.5	Grenzwerte	131
7.6	Dokumente im Strahlenschutz	132
7.7	Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten	134
8	Formelsammlung	137
	Stichwortverzeichnis	142

Vorwort

Die Idee zu diesem Aufgaben- und Übungsbuch ist im Laufe der Durchführung zahlreicher technischer Strahlenschutzkurse entstanden, in denen geeignete Übungsaufgaben jeweils individuell zusammengestellt und auf die Bedürfnisse der einzelnen Kursteilnehmer angepasst werden mussten. Mit diesem Übungsbuch liegt nun erstmal eine deutschsprachige Sammlung von über 200 Übungsaufgaben vor, mit der vorhandenes oder neu erworbenes Wissen im technischen Strahlenschutz angewendet, vertieft oder überprüft werden kann. Es eignet sich damit zum Einsatz in Strahlenschutzkursen, kann aber zum Beispiel auch im Rahmen von Unterweisungen oder anderen Weiterbildungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Als Aufgabensammlung erläutert das Buch konsequenterweise nur wenig. Zusätzliche Erklärungen, Formeln, Rechenwege und weitere Informationen finden sich in der 7. Auflage des Buches *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes* (ISBN 978-3-446-44919-0), auf das an den entsprechenden Stellen mit dem Kürzel „GdpS“ verwiesen wird. Allerdings werden alle für die Lösung der Aufgaben notwendigen Daten wie Tabellen oder Grafiken, die im Grundlagenbuch enthalten sind, unter plus.hanser-fachbuch.de zur Verfügung gestellt. Ganz vorne im Buch finden Sie den dafür benötigten Zugangscode. Damit kann dieses Buch auch ohne das Grundlagenbuch genutzt werden. Das Buch besteht aus einem Aufgaben- und Lösungsteil mit identischer Struktur. Im Lösungsteil wird bei Rechenaufgaben neben dem Endergebnis häufig auch der Lösungsansatz und Rechenweg angegeben. Bei rechtlichen oder administrativen Fragen werden stichwortartig die wichtigsten Inhalte der Antwort angegeben.

Ausdrückliches Ziel dieses Übungsbuches ist es, Aufgaben aus dem Bereich des technischen Strahlenschutzes anzubieten, die nicht nur das Wissen vertiefen, sondern auch Spaß machen und vielleicht an der einen oder anderen Stelle zum Schmunzeln anregen. Wir haben uns bemüht, viele unterschiedliche Methoden in den Übungsaufgaben zu verwenden. Naturgemäß variiert auch der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben, sodass sich neben einfachen Aufgaben auch solche finden, für die ein vertieftes mathematisches Verständnis notwendig ist. Deshalb enthält Kapitel 1 mathematische Vorübungen, mit denen mathematische Fertigkeiten überprüft und anhand einfacher Aufgaben aufgefrischt werden können.

Selbstverständlich kann eine solche Sammlung von Übungsaufgaben nicht vollständig sein oder alle Themen im technischen Strahlenschutz abdecken. Die Aufgaben wenden sich an Personen, die für die Anwendung von radioaktiven Stoffen, den Umgang mit Röntgengeräten und den Betrieb von Beschleunigern verantwortlich sind. Dementsprechend finden sich Aufgaben aus den Bereichen der physikalischen Grundlagen (Kapitel 2), der biologischen Wirkungen sowie der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition sowie deren Berechnung (Kapitel 3 und 5), des praktischen Strahlenschutzes (Kapitel 4), der Strahlenschutzmesstechnik (Kapitel 6) und des administrativen Strahlenschutzes (Kapitel 7). Manchmal befinden sich ähnliche Fragen zu einem Themengebiet im Buch. Dies ist durchaus beabsichtigt, um den Fleißigen unter Ihnen die Möglichkeit zu geben, ihr Wissen an mehr als einem Beispiel anzuwenden. Die Formelsammlung in Kapitel 8 beinhaltet Formeln, die Sie zur Lösung der Aufgaben benötigen.

Im Folgenden möchten wir Ihnen noch paar Hinweise zum Arbeiten mit diesem Buch geben.



Dieser Kastentyp ist zu Beginn von Kapiteln oder Abschnitten platziert. Er führt kurz in das Thema und den Kontext der folgenden Übungsaufgaben ein.



In diesem Kastentyp werden Tipps oder wichtige Hinweise gegeben, die beim Lösen der Aufgaben unterstützen sollen.



In diesem Kastentyp finden sich Worthilfen, die bei der Lösung von Strahlenschutzrätseln (Suchrätsel, Kreuzworträtsel, Lückentexte) helfen sollen.

Sollten sich unbemerkte Fehler eingeschlichen haben, sind wir über entsprechende Rückmeldungen dankbar (gerne per E-Mail an vahlbruch@irs.uni-hannover.de).

Danken möchten wir insbesondere Michael Steppert und Laura Leifermann für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Übungsbuches.

Viel Spaß beim Knobeln, Rechnen und Grübeln wünschen

Jan-Willem Vahlbruch

Hans-Gerrit Vogt

Hannover, November 2022

Teil 1

Aufgaben

1	Mathematische Vorübungen	3
2	Physikalische Grundlagen	11
3	Biologische Strahlenwirkung und Strahlenexposition des Menschen	25
4	Praktischer Strahlenschutz	31
5	Berechnung der Strahlenexposition	39
6	Strahlenschutzmesstechnik	47
7	Administrativer Strahlenschutz	57

1.1 Rechnen mit Potenzen



Häufig begegnen uns im Strahlenschutz sowohl sehr kleine als auch sehr große Zahlen, sodass die Darstellung einer Zahl mithilfe von Potenzen sehr sinnvoll ist. Es gelten folgende Regeln:

$$a^n = a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a \quad (n \text{ Faktoren}) \quad (1.1)$$

$$a^0 = 1$$

$$a^n \cdot a^m = a^{n+m} \quad \text{und} \quad \frac{a^n}{a^m} = a^{n-m} \quad (1.2)$$

Aufgabe 1.1: Rechnen mit positiven Zehnerpotenzen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$10^1 = 10 \qquad 10^4 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^7 = \underline{\hspace{2cm}}$

$10^2 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^5 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^8 = \underline{\hspace{2cm}}$

$10^3 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^6 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^9 = \underline{\hspace{2cm}}$

Aufgabe 1.2: Umrechnen in Dezimalzahlen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$1 \cdot 10^2 = 100 \qquad 1 \cdot 10^5 = \underline{\hspace{2cm}}$

$5,4 \cdot 10^2 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 0,5 \cdot 10^5 = \underline{\hspace{2cm}}$

$7 \cdot 10^4 = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10 \cdot 10^6 = \underline{\hspace{2cm}}$

Aufgabe 1.3: Rechnen mit negativen Zehnerpotenzen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$10^{-1} = 0,1 \qquad 10^{-4} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^{-7} = \underline{\hspace{2cm}}$

$10^{-2} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^{-5} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^{-8} = \underline{\hspace{2cm}}$

$10^{-3} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^{-6} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad 10^{-9} = \underline{\hspace{2cm}}$