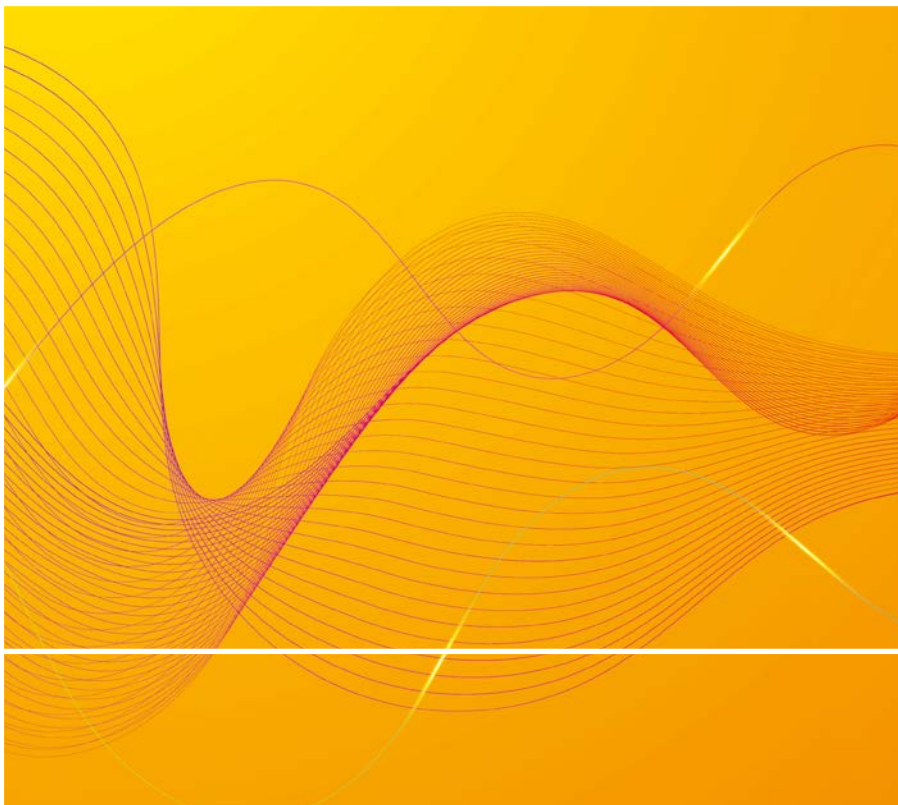


Jan-Willem Vahlbruch
Hans-Gerrit Vogt



Fit für den technischen Strahlenschutz

200 Aufgaben zum sicheren Umgang
mit Quellen ionisierender Strahlung



3., aktualisierte Auflage

HANSER

Disclaimer zur Barrierefreiheit

Der Carl Hanser Verlag unternimmt große Anstrengungen, um seine Produkte barrierefrei zu machen. Aufgrund der komplexen Strukturen der vorliegenden Inhalte, war es dem Verlag mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht möglich, den Inhalt in barrierefreier Form zur Verfügung zu stellen.

Sollten Sie Bedarf an den Inhalten in barrierefreier Form haben, wenden Sie sich bitte an den Verlag.



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf plus.hanser-fachbuch.de gibt es kostenloses Zusatzmaterial zu diesem Buch. Den Zugangscode finden Sie am Ende des Werkes.



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**

3., aktualisierte Auflage

HANSER

Über 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.

Print-ISBN: 978-3-446-48612-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-48727-7

Die allgemein verwendeten Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen 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. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen 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 benutzt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

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 Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

© 2026 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

Vilshofener Straße 10 | 81679 München | info@hanser.de

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Melanie Zinsler

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

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: gettyimages.de/Cuong_Viet

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

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 Röntgengeräten	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 ...	53
6.2	Messunsicherheiten, charakteristische Grenzen und Alarmschwellen	54
7	Administrativer Strahlenschutz	56
7.1	Rechtliche Grundbegriffe	56
7.2	Strahlenschutzorganisation	58
7.3	Behördliche Vorabkontrolle	60
7.4	Strahlenschutzbereiche	63
7.5	Grenzwerte	65
7.6	Dokumente im Strahlenschutz	66
7.7	Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten	68
Teil 2		
	Lösungen	71
1	Mathematische Vorübungen	73
1.1	Rechnen mit Potenzen	73
1.2	Verwendung von Präfixen und Umgang mit Größenordnungen	74
1.3	Logarithmische Skalen	75

2	Physikalische Grundlagen	77
2.1	Radioaktive Stoffe, Aktivität und Halbwertszeit	77
2.1.1	Grundbegriffe	77
2.1.2	Aktivität und Masse	77
2.1.3	Abnahme der Aktivität	78
2.2	Aufbau und Funktionsweise von Röntgengeräten	78
2.3	Aufbau und Funktionsweise von Beschleunigern	80
2.4	Strahlungsarten und grundlegende Eigenschaften	81
2.5	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	82
2.6	Dosis	85
2.6.1	Dosisbegriffe	85
2.6.2	Dosisleistung	86
3	Biologische Strahlenwirkung und Strahlenexposition des Menschen	88
3.1	Die biologische Wirkungskette	88
3.2	Deterministische und stochastische Strahlenschäden	89
3.3	Natürliche Strahlenexposition	91
3.4	Zivilisatorische Strahlenexposition	91
4	Praktischer Strahlenschutz	93
4.1	Schutz durch Abstand	93
4.1.1	Alphastrahlung	93
4.1.2	Betastrahlung	93
4.1.3	Gamma- und Röntgenstrahlung	93
4.2	Schutz durch Abschirmung	94
4.2.1	Alphastrahlung	94
4.2.2	Betastrahlung	94
4.2.3	Gamma- und Röntgenstrahlung	95
4.3	Schutz durch kurze Aufenthaltszeiten	97
4.4	Praktischer Strahlenschutz beim Betrieb von Beschleunigern	98
5	Berechnung der Strahlenexposition	101
5.1	Äußere Exposition bei Photonenstrahlung	101
5.1.1	Gammastrahlung	101
5.1.2	Röntgenstrahlung	104
5.1.3	Dosisleistung beim Betrieb eines Beschleunigers	105
5.2	Äußere Exposition bei Betastrahlung	105
5.3	Äußere Exposition bei Neutronenstrahlung	107
5.4	Äußere Exposition beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	108
5.5	Innere Exposition nach Inkorporation	109

6	Strahlenschutzmesstechnik	113
6.1	Messgeräte und Messverfahren	113
6.1.1	Genereller Aufbau von Strahlungsdetektoren	113
6.1.2	Aufbau und Funktion von Dosimetern	115
6.1.3	Messgeräte und Messverfahren beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen	117
6.2	Messunsicherheiten, charakteristische Grenzen und Alarmschwellen	119
7	Administrativer Strahlenschutz	121
7.1	Rechtliche Grundbegriffe	121
7.2	Strahlenschutzorganisation	123
7.3	Behördliche Vorabkontrolle	125
7.4	Strahlenschutzbereiche	127
7.5	Grenzwerte	130
7.6	Dokumente im Strahlenschutz	131
7.7	Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten	132
8	Formelsammlung	135
	Stichwortverzeichnis	140

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 Kursteilnehmenden angepasst werden mussten. Mit diesem Übungsbuch liegt nun erstmals 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 8. Auflage des Buches *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes* (ISBN 978-3-446-48098-8), 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, April 2026

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	56

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:

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

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

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

1

Aufgabe 1.4: Umrechnen in Dezimalzahlen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$1 \cdot 10^{-2} = 0,01$

$1 \cdot 10^{-4} = \underline{\hspace{2cm}}$

$3,2 \cdot 10^{-2} = \underline{\hspace{2cm}}$

$6,12 \cdot 10^{-5} = \underline{\hspace{2cm}}$

$0,56 \cdot 10^{-3} = \underline{\hspace{2cm}}$

$8 \cdot 10^{-6} = \underline{\hspace{2cm}}$

Aufgabe 1.5: Umrechnen in Zehnerpotenzen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$0,0832 = 8,32 \cdot 10^{-2}$

$432 = \underline{\hspace{2cm}}$

$0,000\,024 = \underline{\hspace{2cm}}$

$0,000\,000\,68 = \underline{\hspace{2cm}}$

$0,000\,25 = \underline{\hspace{2cm}}$

$69\,000\,000 = \underline{\hspace{2cm}}$

Aufgabe 1.6: Umrechnen von Brüchen mit Zehnerpotenzen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$\frac{1}{10^0} = 10^0 = 1$

$\frac{1}{10^4} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\frac{1}{10^1} = 10^{-1} = 0,1$

$\frac{1}{10^5} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\frac{1}{10^2} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\frac{1}{10^6} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\frac{1}{10^3} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\frac{1}{10^7} = 10^{-\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Aufgabe 1.7: Gemischte Zehnerpotenzen

Lösen Sie folgende Aufgaben:

$10^1 \cdot 10^5 = 10^6$

$10^5 \cdot 10^{-2} = 10^{\pm\text{---}}$

$\frac{10^5}{10^2} = 10^{\pm\text{---}}$

$\frac{10^{-5}}{10^{-2}} = 10^{\pm\text{---}}$

$10^{-1} \cdot 10^{-2} = 10^{\pm\text{---}}$

$\frac{10^3}{10^{-2}} = 10^{\pm\text{---}}$

$\frac{10^{-2}}{10^{-4}} = 10^{\pm\text{---}}$