

HAUPTSCHULE  
REALSCHULE  
GYMNASIUM

Naturwissenschaftlicher Unterricht

# **RADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENSCHUTZ**

Materialien zum Erwerb der  
Fachkunde im Strahlenschutz

Stuttgart 2007

**Ph 7.0**

## Redaktionelle Bearbeitung

Redaktion: Werner Frey, LS Stuttgart

Autor: Werner Frey, LS Stuttgart  
werner.frey@ls.kv.bwl.de

Anhang: Dr. Wolfgang Philipp, Staatliches Seminar für Schulpädagogik Esslingen

Stand: März 2007

## Impressum

Herausgeber: Landesinstitut für Schulentwicklung (LS)  
Rotebühlstraße 131, 70197 Stuttgart  
Telefon: 0711 6642-0  
Internet: [www.ls-bw.de](http://www.ls-bw.de)  
E-Mail: [best@ls.kv.bwl.de](mailto:best@ls.kv.bwl.de)

Druck und Vertrieb: Landesinstitut für Schulentwicklung (LS)  
Rotebühlstraße 131, 70197 Stuttgart  
Telefax: 0711 6642-108  
Telefon: 0711 66 42-167 oder -169  
E-Mail: [best@ls.kv.bwl.de](mailto:best@ls.kv.bwl.de)

Urheberrecht: Inhalte dieses Heftes dürfen für unterrichtliche Zwecke in den Schulen und Hochschulen des Landes Baden-Württemberg vervielfältigt werden. Jede darüber hinausgehende Photomechanische oder anderweitig technisch mögliche Reproduktion ist nur mit Genehmigung des Herausgebers möglich. Soweit die vorliegende Publikation Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Die Urheberrechte der Copyrightinhaber werden ausdrücklich anerkannt. Sollten dennoch in einzelnen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an den Herausgeber. Bei weiteren Vervielfältigungen müssen die Rechte der Urheber beachtet bzw. deren Genehmigung eingeholt werden.

© Landesinstitut für Schulentwicklung, Stuttgart 2007



# **Radioaktivität und Strahlenschutz**

## INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
1. Durchführung der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung	5
2. Umgang mit LASERN	12
3. Erläuterung von Fachbegriffen	13
4. Auszüge aus der Röntgenverordnung RöV <sub>2003</sub>	17
5. Auszüge aus der Strahlenschutzverordnung StrlSchV <sub>2001</sub>	24
6. Wie werde ich Strahlenschutzbeauftragter?	33
7. Formulare	33
8. Hinweise zur Unterrichtsgestaltung	33
9. Radiographische Untersuchungen	37
10. Regierungspräsidien Baden-Württemberg / Strahlenschutz	39
11. Literatur	40
12. Netzadressen	40
13. ANHANG: Biologische Strahlenwirkungen / <i>Dr. Wolfgang Philipp</i>	41

**DURCHFÜHRUNG DER STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) VOM 26. JULI 2001  
ZULETZT GEÄNDERT AM 1. SEPTEMBER 2005**

**UND DER RÖNTGENVERORDNUNG (RÖV) VOM 30. APRIL 2003**

**MERKBLÄTTER DES LS / KMK-EMPFEHLUNGEN**

*an die ab dem 1. September 2005 und dem 30. April 2003 neu geltenden Verordnungen angepasst.*

# 1. DURCHFÜHRUNG DER STRAHLENSCHUTZ- UND DER RÖNTGENVERORDNUNG

## Grundsätze und fachliche Ergänzungen

Nach den Strahlenschutzgrundsätzen der Strahlenschutzverordnung – StrlSchV – ist jeder, der mit radioaktiven Stoffen eine Tätigkeit plant oder ausübt, verpflichtet

- jede unnötige Strahlenexposition (Einwirkung von ionisierenden Strahlen auf den menschlichen Körper) oder Kontamination von Mensch oder Umwelt (Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen) zu vermeiden,
- jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch oder Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (§ 6 Abs. 1 und 2 StrlSchV / §§ 2 b und c Abs. 2 RöV).

### ANMERKUNG:

*Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen sowie bei der Errichtung und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen sind die Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) in der jeweils geltenden Fassung sowie die Rechts- oder Verwaltungsvorschriften der Länder über Strahlenschutz in Schulen zu beachten.*

*Die Strahlenschutzverordnung vom 20. 7. 2001 unterscheidet zwischen genehmigungsfreien und genehmigungsbedürftigen Umgang, die Strahlenschutzverordnung vom 30. 9. 1989 sah zusätzlich einen anzeigebedürftigen Umgang vor (z.B. mit bauartzugelassenen radioaktiven Präparaten). Der anzeigebedürftige Umgang mit radioaktiven Präparaten stellte in den Schulen die Regel dar. In § 117 StrlSchV<sub>2001</sub> werden für den bisher anzeigebedürftigen Umgang mit radioaktiven Präparaten die Regelungen der StrlSchV<sub>1989</sub> für den Weiterbetrieb weitgehend übernommen (siehe Tabelle III).*

*Im Falle des genehmigungsfreien Umgangs nach StrlSchV<sub>2001</sub> mit radioaktiven Stoffen ist kein Strahlenschutzbeauftragter erforderlich.*

*Der Betrieb einer Schulröntgeneinrichtung ist grundsätzlich anzeigepflichtig. Wird auf die Mitwirkung der Schüler beim Betrieb einer Schulröntgeneinrichtung verzichtet, ist kein Strahlenschutzbeauftragter erforderlich.*

*Die StrlSchV gilt in erster Linie für den Umgang mit künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen sowie natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, wenn der Umgang mit diesen Stoffen aufgrund der Radioaktivität erfolgt.*

*Es ist zu beachten, dass auch Präparate, die unterhalb der Freigrenze liegen, die Strahlenexposition für Personen in ihrer unmittelbaren Umgebung erhöhen. Erst wenn die Aktivität eines Präparates so gering ist, dass seine Aktivität sich nicht mehr von der üblichen Umgebungsaktivität abhebt, muss dieser Strahlenschutzgrundsatz nicht mehr beachtet werden.*

*Beispiel 1: Ein Polonium-210-Präparat mit einer Aktivität von 1000 Bq (10% der Freigrenze) erfordert die Berücksichtigung dieses Strahlenschutzgrundsatzes.*

*Beispiel 2: Ein Cäsium-137-Präparat mit einer spezifischen Aktivität von weniger als 2 Bq/Kg erfordert keine Berücksichtigung dieses Strahlenschutzgrundsatzes.*

*Mit einem radioaktiven Mineral (z.B. uran- oder thoriumhaltiger Stein), dessen Gesamtaktivität unterhalb der Freigrenze liegt und somit im Unterricht verwendet werden darf, muss so hantiert werden, dass Personen nicht mit seinem Staub oder Abrieb kontaminiert werden können. Dauerversuche (z.B. 'Belichtung' eines Röntgenfilms) sollen an unzugänglichen Stellen durchgeführt werden, die außerdem mit dem Strahlenzeichen und dem Hinweis 'RADIOAKTIV' gekennzeichnet sind.*

*Auch Präparate unterhalb der Freigrenze dürfen nicht aus ihren Halterungen entfernt werden. Die Lagerung muss sicherstellen, dass unbefugte Personen keinen Zugriff haben. Da ein abschließbarer Vorbereitungsraum von nicht fachkundigen Personen (z.B. Hausmeister, Putzfrau, Kollege ...) betreten werden kann, bietet ein solcher Raum allein noch keinen ausreichenden Schutz. Ein abschließbares Schränkchen mit dem Strahlenzeichen muss zur Aufbewahrung benutzt werden.*

## 1.1 Verantwortlichkeiten

Für die Beachtung und Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung an Schulen sind der Schulleiter als Strahlenschutzverantwortlicher organisatorisch und der zum Strahlenschutzbeauftragten bestellte Lehrer oder andere qualifizierte Personen fachlich zuständig.

(§ 31 Abs. 1 StrlSchV / § 15 RöV)

Die Strahlenschutzgrundsätze sind auch von Lehrern einzuhalten, in deren Unterricht radioaktive Stoffe unterhalb der Freigrenze bzw. bauartzugelassene radioaktive Vorrichtungen (im folgenden als Präparate bezeichnet) eingesetzt werden. Für den Einsatz dieser Stoffe muss der Lehrer nicht Strahlenschutzbeauftragter sein.

### ANMERKUNG:

*Nach Strahlenschutzverordnung Anlage III, Tabelle 1 Spalte 2 und 3*

## 1.2 Schulleiter

Der Schulleiter als Strahlenschutzverantwortlicher, der insoweit die Aufgaben des Landes und des kommunalen Schulträgers wahrnimmt, hat z.B. durch Delegation von Aufgaben sicherzustellen, dass

- in der Schule die einschlägigen Teile der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung in der jeweils gül-

tigen Fassung vorhanden sind,

- die Strahlenschutzgrundsätze beachtet werden,
- nur solche Lehrer mit genehmigungspflichtigen, offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenze umgehen, die zuvor vom Strahlenschutzbeauftragten eingewiesen worden sind,
- wenn Lehrer Schüler beim Betrieb einer Schulröntgeneinrichtung mitwirken lassen, diese Lehrer zuvor zum Strahlenschutzbeauftragten zu bestellen sind,
- nach der Röntgenverordnung nur bauartzugelassene Schulröntgeneinrichtungen in Betrieb genommen werden (§ 4 Abs. 3 Satz 3 RöV),
- die nachfolgend aufgeführten Belange der StrlSchV (wie Buchführung bei genehmigungspflichtigen radioaktiven Stoffen, Mitteilung, Aufbewahrung, Entsorgung) wahrgenommen werden (§ 33 Abs. 1 und 2 StrlSchV),
- geeignete Räume (nur bei Vorhandensein von Neutronenquellen) oder Schutzvorrichtungen zur Aufbewahrung zur Verfügung stehen (§ 65 Abs. 1 StrlSchV in Verbindung mit Anlage I Teil B. Nr. 5 / § 15 Abs. 1 RöV),
- Bestellung oder Entpflichtung von Strahlenschutzbeauftragten dem Regierungspräsidium schriftlich mitgeteilt wird (§ 31 StrlSchV / § 13 RöV).

**ANMERKUNG:**

*Werden mehrere Lehrer als Strahlenschutzbeauftragte bestellt, so legt der Schulleiter als Strahlenschutzverantwortlicher den innerbetrieblichen Entscheidungsbereich fest (§ 31 Abs. 2 StrlSchV / § 13 Abs. 2 RöV); dabei wird z.B. festgelegt, wer in besonderer Weise (ggf. als Sammlungsleiter) für die Beschaffung, Aufbewahrung, Kennzeichnung, listenmäßige Erfassung und Entsorgung von radioaktiven Stoffen und Präparaten sowie der Röntgeneinrichtungen verantwortlich und als Ansprechpartner gegenüber dem Regierungspräsidium benannt ist. Änderungen der Zuständigkeiten sind ebenfalls mitzuteilen.*

### 1.3 Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten

Für die Gewährleistung des Strahlenschutzes ist für den Umgang mit genehmigungsbedürftigen radioaktiven Stoffen nach StrlSchV<sub>2001</sub> oder beim Umgang mit genehmigungsbedürftigen oder anzeigebedürftigen radioaktiven Präparaten nach StrlSchV<sub>1989</sub>, sowie mit Schulröntgeneinrichtungen i.d.R. die Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten ausreichend (§ 31 Abs. 2, § 13 Abs. 2 RöV).

Lehrer können schulübliche Experimente mit radioaktiven Stoffen unterhalb der Freigrenzen oder mit bauartzugelassenen radioaktiven Vorrichtungen, die nach dem 1. 8. 2001 nach § 25 Anlage V StrlSchV, zugelassen sind, auch ohne Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten oder Einweisung durch diesen durchführen.

**ANMERKUNG:**

*Nach Anlage III, Tabelle 1 Spalte 2 und 3 StrlSchV*

Die zur Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten notwendige Fachkunde umfasst insbesondere Kenntnisse über

- die naturwissenschaftlichen Grundlagen,
- die Wirkung ionisierender Strahlen, deren Schwächung, Abschirmung und Messung, Dosisleistung und Strahlenbelastung,
- den Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Präparaten,
- die Betriebsvorschriften für Röntengeräte,
- die einschlägigen Rechtsvorschriften,
- die Aufgaben und Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten.

**ANMERKUNG:**

*Nach Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung gibt es unterschiedliche Fachkundenachweise:*

- *Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz nach Fachkundegruppe S 7.1 / Modul GL*
- *Fachkunde Technik nach Röntgenverordnung für Tätigkeitsgruppe R 4 / Modul L*

*Für Lehrer wird i.d.R. eine Fortbildungsveranstaltung angeboten, in der in einem Kurs Kenntnisse aus beiden Bereichen erworben werden.*

Der Erwerb der jeweiligen Fachkunde wird von der vorgesetzten Schulbehörde (z.B. Regierungspräsidium) geprüft und bescheinigt. Die Kursteilnahme darf nicht länger als fünf Jahre zurückliegen (§ 30 Abs. 1 StrlSchV / § 18a Abs. 1 RöV).

### 1.4 Fortbildung des Strahlenschutzbeauftragten

Für den Strahlenschutzbeauftragten ist zur Aktualisierung der Fachkunde eine Weiterbildung über die Fortentwicklung des Strahlenschutzes erforderlich. Spätestens nach jeweils 5 Jahren muss ein Nachweis vorgelegt werden können (§ 30 Abs. 2 StrlSchV und § 18a Abs. 2 RöV, Übergangsregelung § 117 Abs. 11 StrlSchV / § 45 Abs. 6 RöV).

**ANMERKUNG:**

Nach § 30 Abs. 2 StrlSchV / §18a Abs. 2 RöV muss „die Fachkunde im Strahlenschutz mindestens alle fünf Jahre durch eine erfolgreiche Teilnahme an einem von der zuständigen Stelle anerkannten Kurs oder anderen von der zuständigen Stelle als geeignet anerkannten Fortbildungsmaßnahme aktualisiert werden. Der Nachweis über die durchgeführten Fortbildungen ist der zuständigen Stelle auf Anforderung vorzulegen.“

**Übergangsvorschrift zur Aktualisierung der Fachkunde nach:**

§ 117 Abs. 11 StrlSchV	
Fachkunde erworben	Aktualisierung nach StrlSchV <sub>2001</sub>
vor 1976	31. 7. 2003
1976 bis 1989	31. 7. 2004
nach 1989	31. 7. 2006

§ 45 Abs. 6 RöV	
Fachkunde erworben	Aktualisierung nach RöV <sub>2003</sub>
vor 1973	30. 6. 2004
1973 bis 1987	30. 6. 2005
nach 1987	30. 6. 2007

**1.5 Aufgaben des Strahlenschutzbeauftragten**

Der Strahlenschutzbeauftragte hat insbesondere dafür Sorge zu tragen, dass

- die Strahlenschutzgrundsätze eingehalten werden,
- eine Anzeige zu Änderungen des Bestands (Erwerb, Verlust, Beschädigung, Abgabe) an genehmigungspflichtigen radioaktiven Stoffen oder Präparaten beim zuständigen Regierungspräsidium innerhalb eines Monats erstattet wird (§ 70 Abs. 1 StrlSchV),
- die Inbetriebnahme einer Schulröntgeneinrichtung vier Wochen vorher angezeigt wird (§ 4 (3) RöV),
- nur mit radioaktiven Präparaten umgegangen wird, die eine Bauartzulassung nach § 25 Anlage V StrlSchV haben,

**ANMERKUNG:**

Die Bauartzulassung erfolgt nach § 25 StrlSchV in Verbindung mit Anlage V. Es wird empfohlen, nur solche Präparate anzuschaffen, bei denen die Dichtigkeitsprüfung nach 10 Jahren nicht erforderlich ist, d.h. die Präparate nicht mehr als das 10-fache der Freigrenzen an Aktivitäten besitzen (StrlSchV Anlage III, Tabelle 1 Spalte 2 und 3). Bauartzulassungen für Präparate, die vor dem 1. 8. 2001 erteilt wurden, sind anzeigepflichtige Präparate nach altem Recht.

- Präparate, die infolge Abnutzung, Beschädigung oder Zerstörung den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung nicht mehr entsprechen, nicht mehr verwendet werden (§ 27 Abs. 4 StrlSchV),
- mit radioaktiven Stoffen unter Beachtung der Freigrenzen umgegangen wird (§ 8 und Anlage I StrlSchV),

**ANMERKUNG:**

Nach § 8 Abs. 1 StrlSchV ist eine Genehmigung in den in Anlage I Teil A und B genannten Fällen nicht erforderlich. Danach ist insbesondere genehmigungsfrei:

- der Umgang mit Stoffen, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 nicht überschreitet,
- der Umgang mit Stoffen, deren spezifische Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 nicht überschreitet. Offene radioaktive Stoffe oberhalb der Freigrenzen, d.h. solche die nicht von bauartzugelassenen Vorrichtungen umschlossen sind, erfordern eine Genehmigung beim zuständigen Regierungspräsidium (§ 7 StrlSchV).
- radioaktive Stoffe, Präparate sowie Schulröntgeneinrichtungen vorschriftsmäßig aufbewahrt, bei Genehmigungspflicht listenmäßig erfasst (Buchführung) und Änderungen fortgeschrieben werden (§ 70 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV),
- die Unterlagen 30 Jahre ab dem Zeitpunkt des Erwerbs aufbewahrt und auf Verlangen dem zuständigen Regierungspräsidium vorgelegt werden (§ 70 Abs. 6 StrlSchV),
- Präparate, sofern sie nicht mehr gebraucht werden, an den Lieferanten zurückgegeben werden,
- wenn dies nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist, sie an eine Landessammelstelle oder an einer von dem zuständigen Regierungspräsidium bestimmten Stelle abgegeben werden (§ 27 Abs. 7 StrlSchV ),
- radioaktive Abfälle oder kontaminierte Gegenstände der Landessammelstelle zugeführt werden (§ 76 StrlSchV),
- bauartzugelassene radioaktive Vorrichtungen nach Ablauf der Zulassungsfrist einer Dichtigkeitsprüfung durch einen amtlich anerkannten Sachverständigen unterzogen werden (§ 27 Abs. 6 StrlSchV),
- Schüler im Alter zwischen 16 und 18 Jahren beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenze, Neutronenquellen oder Schulröntgeneinrichtungen nur unter ständiger Aufsicht und Anleitung eines zum Strahlenschutzbeauftragten bestellten Lehrers mitwirken, soweit dies zur Erreichung des Ausbildungszieles erforderlich ist,
- Schüler unter 16 Jahren der Umgang mit vorstehenden Stoffen untersagt ist (§ 45 Abs.2 und 3 StrlSchV),
- der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenze in Schülerexperimenten genehmigungspflichtig ist,

- für Schüler nur der Umgang mit nach § 25, Anlage V, Teil A StrlSchV, bauartzugelassenen Präparaten in Schülerexperimenten gestattet ist,
- die technische Überprüfung des Röntgengerätes alle 5 Jahre durch einen amtlich anerkannten Sachverständigen durchgeführt wird (§ 18 Abs. 1 Nr. 5 RöV),

**ANMERKUNG:**

*Derzeit (2007) sind als Sachverständige nach der RöV<sub>2003</sub> zugelassen:*

- Landesanstalt für Umweltschutz
- TÜV Südwest
- Ingenieurbüro Kolb
- DEKRA

- der Strahlenschutzverantwortliche (Schulleiter) über Erwerb bzw. Abgabe radioaktiver Stoffe stets informiert ist (§ 32 Abs. 3 StrlSchV),
- bei Mängeln, die den Strahlenschutz beeinträchtigen, der Strahlenschutzverantwortliche innerhalb einer Woche zu informieren ist (§ 32 Abs. 2 StrlSchV),
- bei Abhandenkommen radioaktiver Stoffe oberhalb der Freigrenze oder Präparaten der Schulleiter ebenfalls zu informieren ist (§ 71 Abs. 1 StrlSchV in Verbindung mit Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3),
- der Schulleiter als Strahlenschutzverantwortlicher das zuständige Regierungspräsidium innerhalb von vier Wochen unterrichtet,
- die einschlägigen Ziffern des Fragenkatalogs zur Gefährdungsbeurteilung Physik als Strahlenschutzanweisung gelten (§ 34 StrlSchV).

**1.6 Aufbewahrung und Sicherung**

Radioaktive Stoffe oder bauartzugelassene Vorrichtungen, deren Aktivität die Freigrenzen überschreiten, sind, solange sie nicht verwendet werden, in ihren Schutzbehältern zu lagern und gegen das Abhandenkommen oder den Zugriff durch unbefugte Personen zu sichern. Sie sind i.d.R. in einem abschließbaren Behälter unter Verschluss (z.B. im Sammlungsraum) aufzubewahren (§ 65 Abs. 1 StrlSchV).

Besondere Brandschutzmaßnahmen nach StrlSchV sind nicht erforderlich.

**ANMERKUNG:**

*Radioaktive Stoffe und Präparate im Schulbereich sind in die Gefährgruppe I einzuordnen; für diese Gruppe sind keine weiteren Maßnahmen zu treffen (§ 52 StrlSchV).*

**1.7 Gasentladungsröhren und Störstrahler**

Gasentladungsröhren dürfen nur mit einer Spannung von weniger als 5 KV betrieben werden.

**ANMERKUNG:**

*Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden, z.B. Gasentladungsröhren, Kathodenstrahlröhren.*

Schulröntgeneinrichtungen sind gegen unbefugtes Inbetriebsetzen zu sichern, z.B. durch die Aufbewahrung im Sammlungsraum.

**ANMERKUNG:**

*Sind an einem Röntgengerät Veränderungen vorgenommen worden, die in irgendeiner Weise die Strahlensicherheit tangieren, darf das Gerät nicht mehr benutzt werden. Diese Veränderungen sind dem Regierungspräsidium mitzuteilen.*

1. Beispiel: Netzstecker war defekt und ist ausgewechselt worden.  
Das Gerät kann weiter benutzt werden.
2. Beispiel: Abdeckscheibe hat einen Sprung und ist geklebt worden. Das Gerät darf **nicht** mehr benutzt werden.

**1.8 Kennzeichnung radioaktiver Vorrichtungen**

Die zu radioaktiven Stoffen gehörenden Schutzbehälter, Aufbewahrungsbehältnisse oder Umhüllungen müssen sichtbar und dauerhaft mit dem Strahlenzeichen und dem Wort „RADIOAKTIV“ gekennzeichnet sein (§ 68 Abs. 1 StrlSchV).



Schutzbehälter und Aufbewahrungsbehältnisse, die mit dem Strahlenzeichen gekennzeichnet sind, dürfen nur zur Aufbewahrung von radioaktiven Stoffen verwendet werden (§ 68 Abs. 3 StrlSchV).

**Tabelle 1: Auswirkungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) 1989 und 2001 beim Umgang mit radioaktiven Stoffen  
Beginn des Umgangs zwischen 1. 11. 1989 und 31. 7. 2001**

Genehmigungs- und anzeigefreier Umgang nach StrlSchV <sub>1989</sub>			Anzeigepflichtiger Umgang nach StrlSchV <sub>1989</sub>		
1	2	3	4		
	§ 4 Abs. 2 i.V. mit Anlage III Teil B Nr. 1	§ 4 Abs. 2 i.V. mit Anlage III Teil A	§ 4 Abs. 1 i.V. mit Anlage II Nr. 3.1, 3.2 oder 3.3		
	A ≤ FG <sup>1</sup> Summenregel beachten <sup>2</sup>		„Offene Präparate“ mit Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 3 (u.a. A ≤ 10-fache FG)	„Umschlossene Präparate“ mit Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 4 (u.a. A ≤ 100-fache FG)	≤ 2 Neutronenquellen mit Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 5
SSB	kein SSB erforderlich	SSB erforderlich, wenn > FG	SSB erforderlich	SSB erforderlich	SSB erforderlich
Beispiele an Schul-Präparaten	Am-241 / 3,7 KBq (74%) Co-60 / 37 KBq (74%) Na-22 / 74 KBq (14,8%) Po-210 / 3,7 KBq (74%) Pu-238 / 3 KBq (60%) Ra-226 / 3,7 KBq (74%) K-40 / 1.000 KBq (20%) Sr-90 / 3,7 KBq (7,4%) Cs-137 / 370 KBq (74%) Tl-204 / 3 KBq (0,6%) Th-232 / 37 KBq (74%) U-235 / 3.700 KBq (74%) U-238 / 45 KBq (0,9%)	Co-60 / 74 KBq Ra-226 / 60 KBq Sr-90 / 74 KBq Cs-137 / 3.700 KBq U-235 / 7.400 KBq U-238 / 7.400 KBq	Cs-137 / 3.700 KBq Th-232 / 7.400 KBq U-235 / 37.000 KBq U-238 / 37.000 KBq	(Derartige Präparate werden von deutschen Lehrmittelherstellern derzeit nicht angeboten.)	Schulneutronenquellen: Am-241 / 370.000 KBq Ra-226 / 370.000 KBq  (Neutronenquellen werden von deutschen Lehrmittelherstellern derzeit nicht angeboten.)
Weiterverwendung siehe Tabelle 3					

<sup>1</sup> Abkürzungen: A = Aktivität (bei Bezug) FG = Freigrenze SSB = Strahlenschutzbeauftragter BAZ = Bauartzulassung Präparate = bauartzugelassene radioaktive Vorrichtungen

<sup>2</sup> Die Summenregel besagt, dass die Summe der prozentualen Anteile der Freigrenzen der einzelnen Nuklide höchstens 100% betragen dürfen. Ein Ra-226-Präparat mit 3,7 KBq schöpft 37% der Freigrenze von 10 KBq (StrlSchV<sub>2001</sub>) aus. Ein zusätzliches Na-22-Präparat mit 74 KBq schöpft weitere 7,4% der Freigrenze aus; folglich stehen noch: 100% - (37%+7,4%) = 55,6% der Freigrenze zur Verfügung. Für die spezifischen Aktivitäten nach Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3, StrlSchV<sub>2001</sub>, gilt diese Summenregel entsprechend.

**Tabelle 2: Beginn des Umgangs nach dem 1. 8. 2001**

Genehmigungsfreier Umgang nach StrlSchV <sub>2001</sub>		Anzeigebedürftiger Umgang nach StrlSchV <sub>1989</sub>	Genehmigungspflichtiger Umgang nach StrlSchV <sub>2001</sub>
1	2	3	4
	§ 8 Abs. 1 i.V. mit Anlage I Teil B	§ 4 Abs. 1 i.V.m. Anlage II Nr. 3 StrlSchV <sub>1989</sub> (§ 117 Abs. 7 StrlSchV <sub>2001</sub> )	§ 7 Abs. 1 i.V. mit § 8 Abs. 2
	A ≤ FG Anlage III Tab. 1 Spalte 2 (Aktivität) A <sub>spez.</sub> ≤ FG Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 (spez. Aktivität)  Bauartzulassung nach Anlage V Teil A (u.a. i.d.R. A ≤ 10-fache FG) (Summenregel beachten <sup>3</sup> )	„offene Präparate“ mit gültiger Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 3 (u.a. A ≤ 10-fache FG)  „umschlossene Präparate“ mit gültiger Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 4 (u.a. A ≤ 100-fache FG)  Mehr als 2 Neutronenquellen mit gültiger Bauartzulassung nach Anlage VI Nr. 5	Wenn § 8 Abs. 1 nicht greift: (siehe die unten angeführten Beispiele)  Ist für einen radioaktiven Stoff eine Genehmigung erforderlich, so müssen sämtliche anderen radioaktiven Stoffe ebenfalls aufgeführt werden. Dies gilt selbst für Präparate unterhalb der FG, wie z.B. ein Ra-226-Präparat mit 3,7 KBq.
SSB	kein SSB erforderlich  keine jährliche Bestandsmitteilung erforderlich  10 Jahre Dichtheitsprüfung bei A ≥ 10 FG erforderlich oder wie im Zulassungsschein festgeschrieben	SSB erforderlich  Keine jährliche Bestandsmitteilung erforderlich  A > 10-fache FG StrlSchV <sub>2001</sub> Dichtheitsprüfung nach § 27 Abs. 6 i.V.m. § 117 Abs. 9 erforderlich	SSB erforderlich  Bestandsmitteilung gemäß Genehmigungsbescheid erforderlich
Beispiele an Schulpräparaten	Am-241 / 3,7 KBq (37%) Co-60 / 37 KBq (37%) Na-22 / 74 KBq (7,4%) Po-210 / 3,7 KBq (37%) Pu-238 / 3 KBq (30%) Ra-226 / 3,7 KBq (37%) K-40 / 1.000 KBq (100%) Sr-90 / 3,7 KBq (37%) Cs-137 / 7,4 KBq (74%) Tl-204 / 3 KBq (30%)	Am-241 / 330 KBq Ra-226 / 370 KBq Sr-90 / 110 KBq Cs-137 / 370 KBq	Neutronenquellen:  Am-241 / 370.000 KBq Ra-226 / 370.000 KBq  (Neutronenquellen werden von deutschen Lehrmittelherstellern derzeit nicht angeboten.)  Präparate: <sup>4</sup>  Am-241 / 330 KBq Ra-226 / 370 KBq Sr-90 / 110 KBq Cs-137 / 370 KBq  Cs/Ba-137 m / 370 KBq Cs-137 (Isotopengenerator)

<sup>3</sup> Zur Summenregel siehe Fußnote zur vorherigen Tabelle 1

<sup>4</sup> Nach den Übergangsvorschriften des § 117 (7) StrlSchV<sub>2001</sub> dürfen Präparate, die aufgrund der Bauartzulassung nach StrlSchV<sub>1989</sub> genehmigungsfrei zu betreibenden sind, wie z.B. der Cs/Ba-137 m Isotopengenerator (Cäsium-"Kuh"), weiterhin beschafft und betrieben werden.

**Tabelle 3: Weiterverwendung von radioaktiven Stoffen an Schulen, deren Umgang nach § 4 Abs. 1 und 2 StrlSchV<sub>1989</sub> genehmigungsfrei war**

Genehmigungs- und anzeigefreier Umgang nach StrlSchV <sub>1989</sub>		Anzeigebedürftiger Umgang nach StrlSchV <sub>1989</sub>	
1	2	3	4
§ 4 Abs. 2 mit Anlage III Teil B Nr. 1		§ 4 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage III Teil A Nr. 10	
<div style="text-align: center;"> </div>		<div style="text-align: center;"> </div>	
§ 8 Abs. 1 StrlSchV <sub>2001</sub> weiterhin genehmigungsfreier Umgang	§ 117 Abs. 2 StrlSchV <sub>2001</sub>	Anzeige nach § 4 Abs. 1 i.V. mit Anlage II Nr. 3 StrlSchV <sub>1989</sub> nach § 117 Abs. 7 Satz 2 StrlSchV <sub>2001</sub> (falls ≤ FG StrlSchV <sub>2001</sub> genehmigungsfrei nach § 8)	genehmigungsfreier Weiterbetrieb nach § 117 Abs. 7 StrlSchV <sub>2001</sub>
kein SSB erforderlich keine jährliche Bestandsmitteilung erforderlich	SSB erforderlich Bestandsmitteilung wie im Genehmigungsbescheid gefordert (keine Dichtheitsprüfung nach § 27 Abs. 6 i.V.m. § 117 Abs. 9 erforderlich)	SSB erforderlich jährliche Bestandsmitteilung erforderlich mehr als 10-fache FG StrlSchV <sub>2001</sub> Dichtheitsprüfung nach § 27 Abs. 6 in Verbindung mit § 117 Abs. 9 erforderlich	
Beispiele s. Tabelle 1 Spalte 2 unten	Beispiele s. Tabelle 1 Spalte 3 unten	Beispiele siehe Tabelle 1 Spalte 4 unten (links)	Beispiele siehe Tabelle 1 Spalte 4 unten (rechts)

**Freigrenzen in KBq für typische Nuklide von Schulquellen:**

NUKLID	H-3	Na-22	Co-60	Kr-85	Sr-90	Cs-137	Po-210	Ra-226	Pu-238	U-235	U-238	Am-241	Th-232
FG StrlSchV <sub>1989</sub>	5.000	500	50	5.000	50	500	5	5	5	5.000	5.000	5	50
FG StrlSchV <sub>2001</sub>	1.000.000	1.000	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1

Hinweis: Für die Handhabung und Lagerung thorierter Gasglühstrümpfe gilt § 95 i.V. mit Anlage XI Teil B Nr. 2 StrlSchV<sub>2001</sub>. Die Aktivität thorierter Gasglühstrümpfe kann die Freigrenze übersteigen und bedarf dann der Genehmigung (Summenregel beachten!).

## 2. UMGANG MIT LASERN

### 2.1 In Schulen dürfen nur Laser der Klassen 1, 1M, 2 und 2M nach DIN EN 60 825 eingesetzt werden.

#### ANMERKUNG:

Der Umgang mit Lasern in der Schule ist grundsätzlich in § 15 der UVV Laserstrahlung (GUV-V B2; bisher 2.20) geregelt, die Neufassung dieser Unfallverhütungsvorschrift, die die neue DIN EN 60 825 berücksichtigt, war jedoch zur Zeit der Drucklegung noch nicht von den zuständigen Stellen genehmigt. Bis zur Genehmigung der Neufassung der GUV-V B2 (bisher 2.20) gilt die BG-Information „Sicherheit von Lasereinrichtungen“ BGI 832.

#### LASERKLASSEN

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich.  |
| 1M | Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird.   |
| 2  | Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) ungefährlich für das Auge. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereichs von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1. |
| 2M | Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird.                       |

### 2.2 Laser der Klassen 1M, 2 und 2M dürfen nur unter Verschluss aufbewahrt werden.

- 2.3 Vor Aufbau und Durchführung von Experimenten mit Lasern der Klasse 1M, 2 und 2M sind die beteiligten und die beobachtenden Schüler über die Gefährdung der Augen durch das Laserlicht zu unterrichten. Diese Laser dürfen nur unter Aufsicht des Lehrers betrieben werden.
- 2.4 Der Versuchsbereich, in dem mit Lasern der Klassen 1M, 2 und 2M experimentiert wird, ist während des Betriebs mit einem Laserwarnschild zu kennzeichnen. Der Laserbereich von Versuchsaufbauten ist durch Abgrenzung gegen unbeabsichtigtes Betreten zu sichern.
- 2.5 Aufbau und Durchführung von Experimenten mit Lasern der Klasse 1M, 2 und 2M sind so zu gestalten, dass der Blick in den direkten Laserstrahl bzw. in den reflektierten Strahl vermieden wird, z.B. durch Abschirmung. Beim Einsatz der Laser der Klassen 1M und 2M darf der Strahlenquerschnitt nicht verkleinert werden, d.h. sie dürfen nicht mit optisch sammelnden Komponenten (z.B. Lupen) verwendet werden.

#### ANMERKUNG:

Warnung vor Laserstrahlen W 10  
UVV Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz  
(GUV-V A8; bisher GUV 0.7)

Gaslaser der Klasse 2 sind im Dauerstrichbetrieb i.d.R. auf 1 mW begrenzt.  
Diodenlaser sind für Unterrichtszwecke i.d.R. im Bereich von 630 bis 635 nm auf 1 mW, im Bereich von 640 bis 670 nm auf 2 mW begrenzt.



W 10

Warnung vor Laserstrahlen

### 3. ERLÄUTERUNG VON FACHBEGRIFFEN

**Aktivität** Maß bei einem radioaktiven Stoff für die Anzahl von Zerfällen pro Zeitraum. Gemessen wird die Aktivität in Becquerel (Bq). Ein Bq bedeutet ein Zerfall pro Sekunde. Wird die Aktivität auf eine bestimmte Substanzmenge (beispielsweise 1 Kg) bezogen, so spricht man von spezifischer Aktivität. Die spezifische Aktivität wird in Bq/Kg gemessen.

Vor 1986 benutzte man für die Aktivität die Einheit Curie.  $1 \text{ Ci} \approx 37 \text{ Milliarden Bq} \hat{=} 1 \text{ g Ra-226}$

**Arbeiten Tätigkeiten** siehe StrlSchV<sub>2001</sub>: § 3 (1) 2. a) – e)  
1. a) – c)

**Dekontamination** Reinigung von Oberflächen, die mit radioaktiven Stoffen verunreinigt sind.

**Dosis** Maß für die von einer bestimmten Masse absorbierten Strahlungsenergie. Gemessen wird diese Energiedosis in Joule pro Kilogramm, dem **Gray**.

$$D_E = \frac{\Delta E}{\Delta m} \qquad Gy = \frac{J}{Kg}$$

Die Äquivalentdosis bewertet die Energiedosis nach Art der Strahlung ( $w_1 = 1$  bis 20) und nach Art des bestrahlten Gewebes ( $w_2 = 0,01$  bis 0,2). Gemessen wird diese Äquivalentdosis ebenfalls in Joule pro Kilogramm; allerdings wird auf die bereits berücksichtigte unterschiedliche Wirksamkeit der Strahlung durch die Verwendung der Einheit Sievert hingewiesen.

$$D_A = \frac{\Delta E}{\Delta m} \cdot w_1 \cdot w_2 \qquad Sv = \frac{J}{Kg}$$

**Dosisleistung** Maß für die von einer bestimmten Masse absorbierten Strahlungsenergie in einem definierten Zeitraum. Die durchschnittliche natürliche Dosisleistung beträgt in Deutschland für einen Menschen beispielsweise 2 bis 3 mSv/a .

**Entsorgung** Sichere Beseitigung oder Endlagerung von radioaktiven oder kontaminierten Stoffen

**Freigabe** Verwaltungsakt, der die Entlassung radioaktiver Stoffe aus dem Genehmigungsbereich regelt.

**Freigrenze** Grenze, unterhalb der jeder anzeige- oder genehmigungsfrei unter Berücksichtigung des Strahlenschutzgrundsatzes mit radioaktiven Stoffen umgehen darf. Es ist zu beachten, dass sich die Freigrenze jeweils auf ein bestimmtes Radionuklid bezieht. Natürlich vorkommende Nuklide liegen in der Regel immer mit ihren Herkunftsprodukten (Mutternuklide) und Zerfallsprodukten (Tochternuklide) vor. Nur wenn das Radionuklid frisch hergestellt worden ist und eine der nachfolgend angeführten drei Möglichkeiten zutrifft, kann die Freigrenze wie in den weiter unten angeführten Beispielen auf einfache Weise errechnet werden.

Möglichkeit 1:

Das Nuklid hat ein stabiles Zerfallsprodukt.

Beispiel: **Cs-137** → **Ba-137**

Möglichkeit 2:

Das Nuklid hat gegenüber seinem Alter eine sehr lange Halbwertszeit und befindet sich deshalb noch nicht im radioaktiven Gleichgewicht mit seinen Zerfallsprodukten.

Beispiel: **U-235** → **Th-231**

Möglichkeit 3:

Das Nuklid hat als Zerfallsprodukt ein flüchtiges Nuklid, das nicht am Zerfallsort verbleibt.

Beispiel: **Ra-226** → **Rn-222**

Wenn keine dieser Möglichkeiten zutrifft, sich also ein Radionuklid X in seiner Zerfallsreihe im radioaktiven Gleichgewicht mit n in dieser Reihe auftretenden Radionukliden befindet, muss die Aktivität des Nuklids X mit n multipliziert werden. Die Aktivität eines derartigen Nuklids (z.B. Am-241) steigt bei der Lagerung an. Bei den in der Schule verwendeten Radionukliden muss in der Regel nicht

mit einem derartigen Gleichgewichtszustand gerechnet werden.

Die Freigrenzen in Becquerel sind für die gängigen Radionuklide in der Strahlenschutzverordnung unter Anlage III aufgeführt. Eine schulrelevante Auswahl ist hier wiedergegeben:

ORDNUNGS-ZAHL	ELEMENT	RADIONUKLID	FREIGRENZE in Bq
1	Wasserstoff	H-3	$10^9$
11	Natrium	Na-22	$10^6$
19	Kalium	K-40	$10^6$
27	Kobalt	Co-60	$10^5$
36	Krypton	Kr-85	$10^4$
38	Strontium	Sr-90	$10^4$
55	Cäsium	Cs-137	$10^4$
84	Polonium	Po-210	$10^4$
88	Radium	Ra-226	$10^4$
90	Thorium	Th-232	$10^4$
92	Uran	U-235	$10^4$
		U-238	$10^4$
94	Plutonium	Pu-238	$10^4$
95	Americium	Am-241	$10^4$

#### Freigrenzenberechnung (relativ)

$$AG(x) = \sum_{i=1}^n \frac{AV(x_i)}{AF(x_i)} \cdot 100\%$$

x Radionuklid x

AG(x) relative Gesamtaktivität aller Nuklide

AV(x) vorhandene Aktivität von Nuklid x

AF(x) Freigrenzenaktivität von Nuklid x

n Anzahl der vorhandenen Nuklide

Solange der Wert  $AG(x) < 100\%$  ist, haben Sie die Freigrenze noch nicht erreicht und benötigen somit **keinen** Strahlenschutzbeauftragten.

1. BEISPIEL: Sie haben einen Strahlerstift mit 4 KBq Ra-226 und ein U-238-Präparat mit 200 Bq.

$$AG(Ra,U) = \left( \frac{4 \text{ KBq}}{10 \text{ KBq}} + \frac{200 \text{ Bq}}{10 \text{ KBq}} \right) \cdot 100\% = 42\%$$

unter der Freigrenze

2. BEISPIEL: Sie haben einen Strahlerstift mit 4 KBq Po-210 und ein Pu-238-Präparat mit 8 KBq.

$$AG(Po,Pu) = \left( \frac{4 \text{ KBq}}{10 \text{ KBq}} + \frac{8 \text{ KBq}}{10 \text{ KBq}} \right) \cdot 100\% = 120\%$$

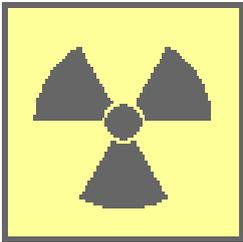
**über der Freigrenze**

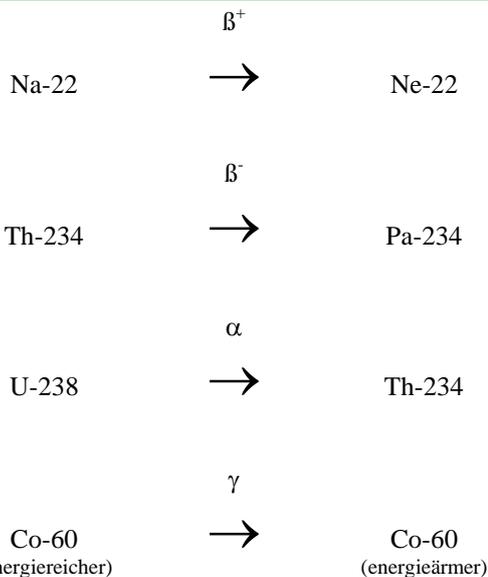
3. BEISPIEL: Sie haben einen Strahlerstift mit 6 KBq Cs-137, ein Co-60-Präparat mit 5 KBq und ein K-40-Präparat mit 40 KBq .

$$AG(Cs, Co, K) = \left( \frac{6 \text{ KBq}}{10 \text{ KBq}} + \frac{5 \text{ KBq}}{100 \text{ KBq}} + \frac{40 \text{ KBq}}{1000 \text{ KBq}} \right) \cdot 100\% = 69\%$$

**unter der Freigrenze**

Gasentladungsröhre	Gefäß, das mit einem Gas unter geringem Druck (<10 HPa) gefüllt ist, kann beim Anlegen von Spannungen > 5 KV Röntgenstrahlung abgeben.
Genehmigungs- und anzeigefreier Umgang	Umgang mit radioaktiven Stoffen aus Anlage I der StrlSchV <sub>2001</sub> , der weder vom Regierungspräsidium genehmigt noch diesem angezeigt werden muss. Der Schulleiter wird über den Umgang informiert und die Strahlenschutzgrundsätze sind einzuhalten. Eine eventuelle Entsorgung muss den Bestimmungen der StrlSchV <sub>2001</sub> entsprechen. Ein Strahlenschutzbeauftragter ist nicht zu bestellen.
Genehmigungspflichtiger Umgang	Umgangsgenehmigung muss vor dem Umgang beim Regierungspräsidium beantragt werden.
Regierungspräsidium	Dem Umwelt- bzw. dem Sozialministerium nachgeordnete Behörde, die unter anderem für die Kontrolle und die Genehmigung von radioaktiven Stoffen und Röntgengeräten zuständig ist.
Grenzwert	Höchstwert von Aktivität oder spezifischer Aktivität (Emissionsgrenzwert), der je nach Stoff und Art der Aufnahme vom Gesetzgeber noch erlaubt wird. Höchstwert von Dosis oder Äquivalentdosis (Immissionsgrenzwert), der vom Gesetzgeber noch erlaubt wird.
Halbwertszeit	Zeitraum, in dem die Hälfte von einer hinreichend großen Stoffmenge eines bestimmten Radionuklids zerfällt.
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische oder Teilchenstrahlung, deren Energie bis in die Größenordnung der Bindungsenergien von Molekülen reicht (> 3 eV) und damit direkt oder indirekt ionisieren kann. Beispiel: UV-, Röntgen-, Alpha-, Beta-, Gamma-, Neutronenstrahlung
Kontamination	Verunreinigung von Oberflächen mit radioaktiven Stoffen
Radioaktive Abfälle	Radioaktive oder kontaminierte Stoffe, die nicht mehr gebraucht werden.
Radioaktive Stoffe	Stoffe, deren Aktivität höher liegt als die durchschnittliche natürliche Aktivität der Gebrauchsstoffe. Die amtliche Definition findet man im § 2 (1) Nr. 2 des Atomgesetzes.
Radioaktives Gleichgewicht	Zerfallszustand, bei dem die Einzelaktivitäten sämtlicher in einer Zerfallsreihe vorkommender Radionuklide relativ zueinander konstant bleiben. In einem solchen Gleichgewichtszustand addieren sich sämtliche Einzelaktivitäten der Radionuklide zur Gesamtaktivität.
Radionuklid	Radioaktiver (instabiler) Stoff, der nach Zusammensetzung, Zerfallsart und Halbwertszeit einheitlich ist.
Röntgeneinrichtung	Einrichtung, die zur Erzeugung von Röntgenstrahlen benutzt werden kann. Die amtliche Definition findet man in § 2 Nr. 17 der RöV <sub>2003</sub> .
Röntgenstrahlung	Elektromagnetische Strahlung aus der Atomhülle mit Energien von mehr als einem KeV
Röntgenverordnung RöV	Verordnung der Bundesregierung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen, zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. 2002 I, Nr. 36, S. 1869).
Störstrahler	Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlung erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Strahlenexposition	Einwirkung von ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper
Strahlenschutz	Maßnahmen, mit denen die Strahlenexposition oder die Kontamination auf ein Minimum reduziert werden soll.
Strahlenschutzbeauftragte	Die vom Strahlenschutzverantwortlichen (Schulleiter) bestellten und dem Regierungspräsidium gemeldeten Lehrer. Strahlenschutzbeauftragte dürfen in der Schule mit radioaktiven Stoffen über der Freigrenze umgehen oder Schüler mit Schulröntgeneinrichtungen arbeiten lassen.
Strahlenschutzgrundsätze	Wer mit radioaktiven Stoffen umgeht, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder Umwelt zu vermeiden und jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles - auch unterhalb der verordneten Grenzwerte - so gering wie möglich zu halten.
Strahlenschutzverantwortlicher	ist in Schulen der Schulleiter.
Strahlenschutzverordnung StrlSchV	Verordnung der Bundesregierung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen in der Neufassung vom 26. Juli 2001, zuletzt geändert am 1. 9. 2005 .
Strahlenzeichen	Zeichen, das auf das Vorhandensein eines radioaktiven Stoffes oder mehrerer radioaktiver Stoffe hinweist.  (Anlage IX der StrlSchV <sub>2001</sub> )  Kennzeichen schwarz Untergrund gelb
	
Tochternuklide	Die bei einem radioaktiven Zerfallsprozess entstehenden neuen Nuklide.
Zerfallsprodukt	Nuklid, das durch einen radioaktiven Zerfallsprozess entstanden ist. Man nennt ein derartiges Nuklid auch Tochternuklid.
Zerfallsprozess (radioaktiver)	Prozess, bei dem sich entweder unter Aussendung eines Positrons mit extrem hoher Geschwindigkeit ( $\beta^+$ -Teilchen), eines Elektrons mit extrem hoher Geschwindigkeit ( $\beta^-$ -Teilchen), eines Heliumkerns mit sehr hoher Geschwindigkeit ( $\alpha$ -Teilchen), eines Neutrons, eines Protons oder durch k-Einfang aus einem Radionuklid ein anderes Nuklid bildet. In einem Begleitprozess kann zusätzlich ein sehr energiereiches Photon (Gammaquant, $\gamma$ ) emittiert werden. Das Zerfallsprodukt befindet sich dabei zunächst in einem angeregten Zustand und geht unter Gammaemission in den Grundzustand über.  Beispiele:



## **4. AUSZÜGE AUS DER RÖNTGENVERORDNUNG RÖV<sub>2003</sub>**

### **§ 1 Anwendungsbereich**

(1) Diese Verordnung gilt für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens fünf Kiloelektronenvolt durch beschleunigte Elektronen erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von drei Megaelektronenvolt begrenzt ist.

### **§ 2 Begriffsbestimmungen**

Im Sinne dieser Verordnung sind:

17. Schulröntgeneinrichtung: Röntgeneinrichtung zum Betrieb im Zusammenhang mit dem Unterricht in Schulen, die den Vorschriften der Anlage 2 Nr. 4 entspricht.

18. Störstrahler: Geräte oder Vorrichtungen, in denen ausschließlich Elektronen beschleunigt werden und die Röntgenstrahlung erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden. Als Störstrahler gelten auch Elektronenmikroskope, bei denen die erzeugte Röntgenstrahlung durch Detektoren ausgewertet wird.

### **§ 2a Rechtfertigung**

(1) Neue Arten von Tätigkeiten, mit denen Strahlenexpositionen von Mensch und Umwelt verbunden sein können, müssen unter Abwägung ihres wirtschaftlichen, sozialen oder sonstigen Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt sein.

### **§ 2b Dosisbegrenzung**

Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet, dafür zu sorgen, dass die Dosisgrenzwerte dieser Verordnung nicht überschritten werden.

### **§ 2c Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung**

(1) Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

(2) Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet, jede Strahlenexposition von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes der Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

### **§ 4 Anzeigebedürftiger Betrieb von Röntgeneinrichtungen**

(1) Einer Genehmigung nach § 3 Abs. 1 bedarf nicht, wer eine Röntgeneinrichtung betreibt,

1. deren Röntgenstrahler nach § 8 Abs. 1 in Verbindung mit Anlage 1 oder Anlage 2 Nr. 1 bauartzugelassen ist,

wenn er die Inbetriebnahme der zuständigen Behörde spätestens zwei Wochen vorher anzeigt.

(2) Der Anzeige nach Absatz 1 Nr. 1, 2 oder 3 sind beizufügen:

1. ein Abdruck der Bescheinigung einschließlich des Prüfberichtes eines Sachverständigen nach § 4a, in der
  - a) die Röntgeneinrichtung und der vorgesehene Betrieb beschrieben sind,
  - c) festgestellt ist, dass für den vorgesehenen Betrieb die Anforderungen nach § 3 Abs. 2 Nr. 5 erfüllt sind, bei einer Röntgeneinrichtung nach Absatz 1 Nr. 1 ein Abdruck des Zulassungsscheins.

(3) Einer Genehmigung nach § 3 Abs. 1 bedarf auch nicht, wer ein Hoch- oder Vollschutzgerät oder eine Schulröntgeneinrichtung betreibt, wenn er die Inbetriebnahme der zuständigen Behörde spätestens zwei Wochen vorher anzeigt und der Anzeige einen Abdruck des Zulassungsscheins beifügt. Im Falle der Anzeige des Betriebes eines Hochschutzgerätes oder

einer Schulröntgeneinrichtung sind darüber hinaus Nachweise nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 bis 4 beizufügen. Röntgeneinrichtungen, die nicht als Schulröntgeneinrichtungen bauartzugelassen sind, dürfen im Zusammenhang mit dem Unterricht in allgemeinbildenden Schulen nicht betrieben werden.

### **§ 5 Betrieb von Störstrahlern**

(2) Einer Genehmigung nach Absatz 1 bedarf nicht, wer einen Störstrahler betreibt, bei dem die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen 30 Kilovolt nicht überschreitet, wenn

1. die Ortsdosisleistung bei normalen Betriebsbedingungen im Abstand von 0,1 Metern von der berührbaren Oberfläche 1 Mikrosievert durch Stunde nicht überschreitet und
2. auf dem Störstrahler ausreichend darauf hingewiesen ist, dass
  - a) Röntgenstrahlung erzeugt wird und
  - b) die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen den vom Hersteller oder Einführer bezeichneten Höchstwert nicht überschreiten darf.

(3) Einer Genehmigung nach Absatz 1 bedarf auch nicht, wer einen Störstrahler betreibt, bei dem die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen 30 Kilovolt überschreitet, wenn der Störstrahler bauartzugelassen ist.

(4) Einer Genehmigung nach Absatz 1 bedarf auch nicht, wer eine Kathodenstrahlröhre für die Darstellung von Bildern betreibt, bei der die Spannung zur Beschleunigung von Elektronen 40 Kilovolt nicht überschreitet, wenn die Ortsdosisleistung bei normalen Betriebsbedingungen im Abstand von 0,1 Metern von der berührbaren Oberfläche 1 Mikrosievert durch Stunde nicht überschreitet.

### **§ 8 Verfahren der Bauartzulassung**

(1) Die Bauart von Röntgenstrahlern, Schulröntgeneinrichtungen, Hochschutzgeräten, Vollschutzgeräten und Störstrahlern (bauartzugelassene Vorrichtungen) kann auf Antrag des Herstellers oder Einführers zugelassen werden, wenn die Voraussetzungen nach Anlage 1 oder 2 erfüllt sind. Dem Zulassungsantrag sind alle zur Prüfung erforderlichen Unterlagen beizufügen.

### **§ 12 Pflichten des Inhabers einer bauartzugelassenen Vorrichtung**

(1) Der Inhaber einer bauartzugelassenen Vorrichtung hat einen Abdruck des Zulassungsscheins nach § 10 bei der Vorrichtung bereitzuhalten. Im Falle der Weitergabe der bauartzugelassenen Vorrichtung gilt § 9 Satz 1 Nr. 4 und Nr. 5 entsprechend.

(2) An der bauartzugelassenen Vorrichtung dürfen keine Änderungen vorgenommen werden, die für den Strahlenschutz wesentliche Merkmale betreffen.

(3) Wer eine bauartzugelassene Vorrichtung betreibt, hat den Betrieb unverzüglich einzustellen, wenn

1. die Rücknahme, der Widerruf einer Bauartzulassung oder die Erklärung, dass eine bauartzugelassene Vorrichtung nicht weiter betrieben werden darf, bekannt gemacht wurde oder
2. die bauartzugelassene Vorrichtung nicht mehr den im Zulassungsschein bezeichneten Merkmalen entspricht.

### **§ 13 Strahlenschutzverantwortliche und Strahlenschutzbeauftragte**

(1) Strahlenschutzverantwortlicher ist, wer einer Genehmigung nach den §§ 3 oder 5 bedarf oder wer eine Anzeige nach § 4 zu erstatten hat. Handelt es sich bei dem Strahlenschutzverantwortlichen um eine juristische Person oder um eine rechtsfähige Personengesellschaft, werden die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen von der durch Gesetz, Satzung oder Vertrag zur Vertretung berechtigten Person wahrgenommen. Besteht das vertretungsberechtigte Organ aus mehreren Mitgliedern oder sind bei nicht rechtsfähigen Personenvereinigungen mehrere vertretungsberechtigte Personen vorhanden, so ist der zuständigen Behörde mitzuteilen, welche dieser Personen die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen wahrnimmt. Die Gesamtverantwortung aller Organmitglieder oder Mitglieder der Personenvereinigung bleibt hiervon unberührt.

(2) Soweit dies für den sicheren Betrieb notwendig ist, hat der Strahlenschutzverantwortliche für die Leitung oder Beaufsichtigung dieses Betriebs die erforderliche Anzahl von Strahlenschutzbeauftragten schriftlich zu bestellen. Bei der Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten sind dessen Aufgaben, innerbetrieblicher Entscheidungsbereich und die zur Wahrnehmung seiner Aufgaben erforderlichen Befugnisse schriftlich festzulegen. Der Strahlenschutzverantwortliche bleibt auch dann für die Einhaltung der Schutzvorschriften verantwortlich, wenn er Strahlenschutzbeauftragte bestellt hat.

(3) Es dürfen nur Personen zu Strahlenschutzbeauftragten bestellt werden, bei denen keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich Bedenken gegen ihre Zuverlässigkeit ergeben, und die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

(4) Es ist dafür zu sorgen, dass Schüler und Auszubildende beim Betrieb einer Schulröntgeneinrichtung oder eines Störstrahlers nach § 5 Abs. 1 nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht des zuständigen Strahlenschutzbeauftragten mitwirken.

(5) Die Bestellung des Strahlenschutzbeauftragten mit Angabe der Aufgaben und Befugnisse, ihrer Änderungen sowie das Ausscheiden des Strahlenschutzbeauftragten aus seiner Funktion sind der zuständigen Behörde unverzüglich schriftlich mitzuteilen. Der Mitteilung der Bestellung ist die Bescheinigung über die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz nach § 18a Abs. 1 beizufügen. Dem Strahlenschutzbeauftragten und dem Betriebsrat oder dem Personalrat ist eine Abschrift der Mitteilung zu übermitteln.

#### **§ 14 Stellung des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten**

(1) Dem Strahlenschutzbeauftragten obliegen die ihm durch diese Verordnung auferlegten Pflichten nur im Rahmen seiner Befugnisse. Ergibt sich, dass der Strahlenschutzbeauftragte infolge unzureichender Befugnisse, unzureichender Fachkunde oder fehlender Zuverlässigkeit oder aus anderen Gründen seine Pflichten nur unzureichend erfüllen kann, kann die zuständige Behörde gegenüber dem Strahlenschutzverantwortlichen die Feststellung treffen, dass diese Person nicht als Strahlenschutzbeauftragter im Sinne dieser Verordnung anzusehen ist.

(2) Der Strahlenschutzbeauftragte hat dem Strahlenschutzverantwortlichen unverzüglich alle Mängel mitzuteilen, die den Strahlenschutz beeinträchtigen. Kann sich der Strahlenschutzbeauftragte über eine von ihm vorgeschlagene Maßnahme zur Behebung von aufgetretenen Mängeln mit dem Strahlenschutzverantwortlichen nicht einigen, so hat dieser dem Strahlenschutzbeauftragten die Ablehnung des Vorschlages schriftlich mitzuteilen und zu begründen und dem Betriebsrat oder dem Personalrat und der zuständigen Behörde je eine Abschrift zu übersenden.

(3) Der Strahlenschutzverantwortliche hat den Strahlenschutzbeauftragten über alle Verwaltungsakte und Maßnahmen, die Aufgaben oder Befugnisse des Strahlenschutzbeauftragten betreffen, unverzüglich zu unterrichten.

(4) Der Strahlenschutzverantwortliche und der Strahlenschutzbeauftragte haben bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben mit dem Betriebsrat oder dem Personalrat, den Fachkräften für Arbeitssicherheit und dem Arzt nach § 41 Abs. 1 Satz 1 zusammenzuarbeiten und sie über wichtige Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu unterrichten. Der Strahlenschutzbeauftragte hat den Betriebsrat oder Personalrat auf dessen Verlangen in Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu beraten.

(5) Der Strahlenschutzbeauftragte darf bei Erfüllung seiner Pflichten nicht behindert und wegen deren Erfüllung nicht benachteiligt werden.

#### **§ 15 Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten**

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat unter Beachtung des Standes der Technik zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor den schädlichen Wirkungen von Röntgenstrahlung durch geeignete Schutzmaßnahmen, insbesondere durch Bereitstellung geeigneter Räume, Schutzvorrichtungen, Geräte und Schutzausrüstungen für Personen, durch geeignete Regelung des Betriebsablaufs und durch Bereitstellung ausreichenden und geeigneten Personals, erforderlichenfalls durch Außerbetriebsetzung, dafür zu sorgen, dass

1. jede unnötige Strahlenexposition von Menschen vermieden wird,
2. jede Strahlenexposition von Menschen unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in 31a Abs. 1 bis 4 Satz 1 und 2, § 31b Satz 1, § 31 c Satz 1 und § 32 festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich gehalten wird.

(2) Der Strahlenschutzbeauftragte hat dafür zu sorgen, dass

1. die in Absatz 1 Nr. 4 genannten Vorschriften und

2. die Bestimmungen des Bescheides über die Genehmigung oder Bauartzulassung und die von der zuständigen Behörde erlassenen Anordnungen und Auflagen, deren Durchführung und Erfüllung ihm nach § 13 Abs. 2 übertragen worden ist,

eingehalten werden. Soweit ihm Aufgaben übertragen worden sind, hat der Strahlenschutzbeauftragte die Strahlenschutzgrundsätze des Absatzes 1 Nr. 1 und 2 zu beachten.

### **§ 18 Sonstige Pflichten beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen oder Störstrahler nach § 5 Abs. 1**

(1) Es ist dafür zu sorgen, dass

1. die beim Betrieb einer Röntgeneinrichtung beschäftigten Personen anhand einer deutschsprachigen Gebrauchsanweisung durch eine entsprechend qualifizierte Person in die sachgerechte Handhabung eingewiesen werden und über die Einweisung unverzüglich Aufzeichnungen angefertigt werden,
2. eine Ausfertigung des Genehmigungsbescheides oder, sofern eine Bauartzulassung erteilt ist, ein Abdruck des Zulassungsscheins und der Betriebsanleitung nach § 9 Satz 1 Nr. 5 aufbewahrt wird,
3. die Gebrauchsanweisung nach Nummer 1 und die Bescheinigung nach § 4 Abs. 2 Nr. 1, der letzte Prüfbericht nach Nummer 5 und gegebenenfalls die Bescheinigungen über Sachverständigenprüfungen nach wesentlichen Änderungen des Betriebes der Röntgeneinrichtung bereitgehalten werden,
4. der Text dieser Verordnung zur Einsicht ständig verfügbar gehalten wird,
5. eine Röntgeneinrichtung in Zeitabständen von längstens fünf Jahren durch einen Sachverständigen nach § 4a nach dem Stand der Technik insbesondere auf sicherheitstechnische Funktion, Sicherheit und Strahlenschutz überprüft und eine Durchschrift des dabei anzufertigenden Prüfberichts den zuständigen Stellen unverzüglich übersandt wird und
6. bei einer Röntgeneinrichtung zur Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen ein aktuelles Bestandsverzeichnis geführt und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorgelegt wird; das Bestandsverzeichnis nach § 8 der Verordnung über das Errichten, Betreiben und Anwenden von Medizinprodukten kann herangezogen werden.

Es ist dafür zu sorgen, dass die Einweisung nach Satz 1 Nr. 1 bei der ersten Inbetriebnahme durch eine entsprechend qualifizierte Person des Herstellers oder Lieferanten vorgenommen wird. Die Aufzeichnungen nach Satz 1 Nr. 1 sind für die Dauer des Betriebes aufzubewahren. Satz 1 Nr. 1 bis 4, Satz 2 und 3 gelten beim Betrieb eines Störstrahlers nach § 5 Abs. 1 entsprechend.

(2) Für jede Röntgeneinrichtung zur Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen sind schriftliche Arbeitsanweisungen für die an dieser Einrichtung häufig vorgenommenen Untersuchungen oder Behandlungen zu erstellen. Die Arbeitsanweisungen sind für die dort tätigen Personen zur jederzeitigen Einsicht bereitzuhalten und auf Anforderung den zuständigen Stellen zu übersenden.

(3) Bei Röntgeneinrichtungen nach § 3 Abs. 4 müssen an den jeweils anderen Einrichtungen zusätzlich Abdrucke oder Ablichtungen der Aufzeichnungen über die Abnahmeprüfungen nach § 16 Abs. 2, die Konstanzprüfungen nach § 16 Abs. 3 und die Sachverständigenprüfungen nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 5 aller zum System gehörenden Röntgeneinrichtungen zur Einsicht vorliegen. Sofern die Behörde nach § 43 der Erfüllung von Aufzeichnungspflichten in elektronischer Form zugestimmt hat, kann die Pflicht nach Satz 1 auch durch das Bereithalten der Aufzeichnungen zur Einsicht in elektronischer Form erfüllt werden.

(4) Der Betrieb einer Röntgeneinrichtung, die Medizinprodukt oder Zubehör im Sinne des Medizinproduktegesetzes ist, ist unverzüglich einzustellen, wenn

1. der begründete Verdacht besteht, dass die Einrichtung die Sicherheit und die Gesundheit der Patienten, der Anwender oder Dritter bei sachgemäßer Anwendung, Instandhaltung und ihrer Zweckbestimmung entsprechender Verwendung über ein nach den Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaften vertretbares Maß hinausgehend gefährden oder
2. die zuständige Behörde festgestellt hat, dass ein ausreichender Schutz vor Strahlenschäden nicht gewährleistet ist.

### § 18a Erforderliche Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz

(1) Die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz wird in der Regel durch eine für den jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung, praktische Erfahrung und die erfolgreiche Teilnahme an von der zuständigen Stelle anerkannten Kursen erworben. Die Ausbildung ist durch Zeugnisse, die praktische Erfahrung durch Nachweise und die erfolgreiche Kursteilnahme durch eine Bescheinigung zu belegen. Der Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz wird von der zuständigen Stelle geprüft und bescheinigt. Die Kursteilnahme darf nicht länger als fünf Jahre zurückliegen. Die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz wird mit Bestehen der Abschlussprüfung einer staatlichen oder staatlich anerkannten Berufsausbildung erworben, wenn die zuständige Behörde zuvor festgestellt hat, dass in dieser Ausbildung die für den jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung und praktische Erfahrung im Strahlenschutz sowie den nach Satz 1 in Verbindung mit Absatz 4 anerkannten Kursen entsprechendes theoretisches Wissen vermittelt wird. Für "Medizinisch-technische Radiologieassistentinnen" und "Medizinisch-technische Radiologieassistenten" gilt der Nachweis nach Satz 1 mit der Erlaubnis nach § 1 Nr. 2 des Gesetzes über technische Assistenten in der Medizin vom August 1993 (BGBl. 1 S. 1402), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 4. Dezember 2001 (BGBl. 1 S. 3320, 3323) geändert worden ist, für die nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 dieses Gesetzes vorbehaltenen Tätigkeiten als erbracht.

(2) Die Fachkunde im Strahlenschutz muss mindestens alle fünf Jahre durch eine erfolgreiche Teilnahme an einem von der zuständigen Stelle anerkannten Kurs oder anderen von der zuständigen Stelle als geeignet anerkannten Fortbildungsmaßnahmen aktualisiert werden. Abweichend hiervon kann die Fachkunde im Strahlenschutz im Einzelfall auf andere geeignete Weise aktualisiert und die Aktualisierung der zuständigen Behörde nachgewiesen werden. Der Nachweis über die Aktualisierung der Fachkunde nach Satz 1 ist der zuständigen Stelle auf Anforderung vorzulegen. Die zuständige Stelle kann, wenn der Nachweis über Fortbildungsmaßnahmen nicht oder nicht vollständig vorgelegt wird, die Fachkunde entziehen oder die Fortgeltung mit Auflagen versehen. Bestehen begründete Zweifel an der erforderlichen Fachkunde, kann die zuständige Behörde eine Überprüfung der Fachkunde veranlassen.

### § 45 Übergangsvorschriften

(1) Wer am 1. Juli 2002 eine Röntgeneinrichtung oder einen Störstrahler befugt betreibt, darf die Röntgeneinrichtung oder den Störstrahler mit der Maßgabe weiter betreiben, dass die Grenzwerte des § 31 a Abs. 1 bis 4 und § 32 nicht überschritten werden. Für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen gilt die Genehmigung nach § 16 der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 als Genehmigung nach § 3 und die Anzeige nach § 17 der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 als Anzeige nach § 4 fort. § 33 bleibt unberührt. Strahlenschutzbereiche sind gemäß den Anforderungen nach § 19 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 oder 2 bis zum 1. Juli 2004 einzurichten und der zuständigen Behörde dieses auf Verlangen nachzuweisen.

(2) Wer am 1. Juli 2002 eine Röntgeneinrichtung im Sinne des § 4 Abs. 4 befugt betreibt, darf diesen Betrieb fortsetzen, wenn er den Antrag auf Genehmigung bis zum 1. Juli 2004 gestellt hat.

(3) Für eine vor dem 1. Juli 2002 nach § 6 angezeigte Tätigkeit gilt Absatz 1 Satz 1 entsprechend. Der zur Anzeige nach § 6 Abs. 1 Nr. 3 Verpflichtete darf seine Tätigkeit fortsetzen, wenn er spätestens bis zum 1. Oktober 2002 die Anzeige sowie spätestens bis zum 1. Juli 2002 die Nachweise entsprechend § 3 Abs. 2 Nr. 3 und 4 der zuständigen Behörde vorlegt.

(4) Genehmigungsverfahren, die nach § 24 Abs. 2 dieser Verordnung in der vor dem 1. Juli 2002 geltenden Fassung begonnen worden sind, sind von der vor dem 1. Juli 2002 zuständigen Behörde unter Anwendung der bis dahin geltenden Vorschriften abzuschließen.

(5) Ein Verfahren der Bauartzulassung, das vor dem 1. Juli 2002 beantragt und bei dem die Bauartprüfung veranlaßt worden ist, ist von der vor dem 1. Juli 2002 zuständigen Behörde abzuschließen.

(6) Bei vor dem 1. Juli 2002 bestellten Strahlenschutzbeauftragten gilt die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz im Sinne des § 18a Abs. 1 als erworben und bescheinigt. Eine vor dem 1. Juli 2002 erfolgte Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten gilt fort, sofern die Aktualisierung der Fachkunde entsprechend § 18a Abs. 2 bei Bestellung vor 1973 bis zum 1. Juli 2004, zwischen 1973 bis 1987 bis zum 1. Juli 2005, nach 1987 bis zum 1. Juli 2007 nachgewiesen wird. Eine vor dem 1. Juli 2002 erworbene Fachkunde gilt fort, sofern die Aktualisierung der Fachkunde bei Erwerb der Fachkunde vor 1973 bis zum 1. Juli 2004, bei Erwerb zwischen 1973 bis 1987 bis zum 1. Juli 2005, bei Erwerb nach 1987 bis zum 1. Juli 2007 nachgewiesen wird. Die Sätze 1 bis 3 gelten entsprechend für die Ärzte nach § 41 Abs. 1 Satz 1, für Strahlenschutzverantwortliche, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen und die keine Strahlenschutzbeauftragten bestellt haben, und für Personen, die die Fachkunde vor dem 1. Juli 2002 erworben haben, aber nicht als Strahlenschutzbeauftragte bestellt sind.

**Anlage 1** zu § 8 Absatz 1 Satz 1

Vorschriften über die Bauart von Röntgenstrahlern, die zur Anwendung von Röntgenstrahlung am Tier bestimmt sind (Röntgenstrahler in Röntgeneinrichtungen für tiermedizinische Zwecke, soweit sie nicht nach den Vorschriften des Medizinproduktegesetzes erstmalig in Verkehr gebracht sind)

Bei Röntgenstrahlern für tiermedizinische Zwecke darf die über einen je nach Anwendung geeigneten Zeitraum gemittelte Ortsdosisleistung bei geschlossenem Strahlenaustrittsfenster und den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen in 1 m Abstand vom Brennfleck nicht höher sein als 1 mSv/h.

**Anlage 2** zu § 8 Absatz 1 Satz 1

Vorschriften über die Bauart von Röntgenstrahlern und Röntgeneinrichtungen, die zur Anwendung in den in § 30 bezeichneten Fällen bestimmt sind (Röntgeneinrichtungen für nichtmedizinische Zwecke) und von Störstrahlern (§ 5 Abs. 3)

**1. Röntgenstrahler**

Bei Röntgenstrahlern in Röntgeneinrichtungen, bei denen der Untersuchungsgegenstand vom Schutzgehäuse nicht mit umschlossen wird, muss sichergestellt sein, dass die in Nummer 1.1 und 1.2 angegebenen Werte eingehalten werden.

1.1 Bei Röntgenstrahlern für Röntgenbeugung, Mikroradiographie sowie Röntgenspektralanalyse darf die Ortsdosisleistung bei geschlossenen Strahlenaustrittsfenstern und den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen in 0,5 m Abstand vom Brennfleck 25 mSv/h nicht überschreiten.

1.2 Bei den übrigen Röntgenstrahlern darf die über einen je nach Anwendung geeigneten Zeitraum gemittelte Ortsdosisleistung bei geschlossenen Strahlenaustrittsfenstern und den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen in 1 m Abstand vom Brennfleck folgende Werte nicht überschreiten:

1.2.1 bei Nennspannungen bis 200 Kilovolt 2,5 mSv/h,

1.2.2 bei Nennspannungen über 200 Kilovolt 10 mSv/h,

1.2.3 bei Nennspannungen über 200 Kilovolt nach Herunterregeln auf eine Röntgenspannung von 200 Kilovolt 2,5 mSv/h.

**2. Hochschutzgeräte**

Bei Hochschutzgeräten muss sichergestellt sein, dass

2.1 das Schutzgehäuse außer der Röntgenröhre oder dem Röntgenstrahler auch den zu behandelnden oder zu untersuchenden Gegenstand vollständig umschließt,

2.2 die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Schutzgehäuses - ausgenommen Innenräume nach Nummer 2.3.1 - bei den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen 25  $\mu$ Sv/h nicht überschreitet,

2.3 die Röntgenröhre oder der Röntgenstrahler nur bei vollständig geschlossenem Schutzgehäuse betrieben werden kann. Dies gilt nicht für 2.3.1 Schutzgehäuse, in die ausschließlich hineingefasst werden kann, wenn die Ortsdosisleistung im Innenraum bei den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen 0,25 mSv/h nicht überschreitet, oder

2.3.2 Untersuchungsverfahren, die einen kontinuierlichen Betrieb des Röntgenstrahlers erfordern, wenn die Ortsdosisleistung im Innern des geöffneten Schutzgehäuses 25  $\mu$ Sv/h nicht überschreitet.

**3. Vollschutzgeräte**

Bei Vollschutzgeräten muss

3.1 sichergestellt sein, dass

3.1.1 das Schutzgehäuse außer der Röntgenröhre oder dem Röntgenstrahler auch den zu behandelnden oder zu untersuchenden Gegenstand vollständig umschließt,

3.1.2 die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Schutzgehäuses  $7,5 \mu\text{Sv/h}$  bei den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet,

3.2 durch zwei voneinander unabhängige Vorrichtungen sichergestellt sein, dass

3.2.1 die Röntgenröhre oder der Röntgenstrahler nur bei vollständig geschlossenem Schutzgehäuse betrieben werden kann oder

3.2.2 bei Untersuchungsverfahren, die einen kontinuierlichen Betrieb des Röntgenstrahlers erfordern, das Schutzgehäuse während des Betriebes des Röntgenstrahlers nur bei geschlossenem Strahlenaustrittsfenster geöffnet werden kann und hierbei im Inneren des Schutzgehäuses die Ortsdosisleistung  $7,5 \mu\text{Sv/h}$  nicht überschreitet.

#### **4. Schulröntgeneinrichtungen**

Bei Schulröntgeneinrichtungen muss sichergestellt sein, dass

4.1 die Vorschriften der Nummer 3 erfüllt sind und

4.2 die vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen nicht überschritten werden können.

#### **5. Störstrahler**

Bei einem Störstrahler, der bauartzugelassen werden soll, muss sichergestellt sein, dass

5.1 die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche des Störstrahlers  $1 \mu\text{Sv/h}$  bei den vom Hersteller oder Einführer angegebenen maximalen Betriebsbedingungen nicht überschreitet,

5.2 der Störstrahler auf Grund technischer Maßnahmen nur dann betrieben werden kann, wenn die dem Strahlenschutz dienenden Vorrichtungen vorhanden und wirksam sind.

## 5. AUSZÜGE AUS DER STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG STRLSCHV<sub>2001</sub>

### § 1 Zweckbestimmung

Zweck dieser Verordnung ist es, zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung Grundsätze und Anforderungen für Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zu regeln, die bei der Nutzung und Einwirkung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung zivilisatorischen und natürlichen Ursprungs Anwendung finden.

### § 2 Anwendungsbereich

(1) Diese Verordnung trifft Regelungen für

1. folgende Tätigkeiten: a) den Umgang mit aa) künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen, bb) natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, wenn dieser Umgang aufgrund ihrer Radioaktivität, ihrer Nutzung als Kernbrennstoff oder zur Erzeugung von Kernbrennstoff erfolgt, b) den Erwerb der in Buchstabe a genannten radioaktiven Stoffe, deren Abgabe an andere, deren Beförderung sowie deren grenzüberschreitende Verbringung, d) die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit einer Teilchen- oder Photonengrenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronenvolt und e) den Zusatz von radioaktiven Stoffen bei der Herstellung von Konsumgütern und von Arzneimitteln im Sinne des Arzneimittelgesetzes sowie die Aktivierung der vorgenannten Produkte,
2. Arbeiten, durch die Personen natürlichen Strahlungsquellen so ausgesetzt werden können, dass die Strahlenexpositionen aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden dürfen,
3. die Errichtung und den Betrieb von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern nach der Röntgenverordnung,
4. die Strahlenexposition durch Radon in Wohnungen einschließlich der dazugehörigen Gebäudeteile und
5. die Strahlenexposition durch im menschlichen Körper natürlicherweise enthaltene Radionuklide, durch kosmische Strahlung in Bodennähe und durch Radionuklide, die in der nicht durch Eingriffe beeinträchtigten Erdrinde vorhanden sind.

### § 3 Begriffsbestimmungen

(1) Für die Systematik und Anwendung dieser Verordnung wird zwischen Tätigkeiten und Arbeiten unterschieden.

1. Tätigkeiten sind: a) der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von ionisierenden Strahlen, c) sonstige Handlungen, die die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können, aa) weil sie mit künstlich erzeugten radioaktiven Stoffen erfolgen oder bb) weil sie mit natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen erfolgen, und diese Handlungen aufgrund der Radioaktivität dieser Stoffe oder zur Nutzung dieser Stoffe als Kernbrennstoff oder zur Erzeugung von Kernbrennstoff durchgeführt werden,
2. Arbeiten sind: Handlungen, die, ohne Tätigkeit zu sein, bei natürlich vorkommender Radioaktivität die Strahlenexposition oder Kontamination erhöhen können a) im Zusammenhang mit der Aufsuchung, Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung und sonstigen Verwendung von Materialien, b) soweit sie mit Materialien erfolgen, die bei betrieblichen Abläufen anfallen, soweit diese Handlungen nicht bereits unter Buchstabe a fallen, c) im Zusammenhang mit der Verwertung oder Beseitigung von Materialien, die durch Handlungen nach Buchstabe a oder b anfallen, d) durch dabei einwirkende natürliche terrestrische Strahlungsquellen, insbesondere von Radon-222 und Radonzerfallsprodukten, soweit diese Handlungen nicht bereits unter Buchstaben a bis c fallen und nicht zu einem unter Buchstabe a genannten Zweck erfolgen. Im Sinne dieser Verordnung sind im Übrigen radioaktive Abfälle, das sind radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes, die nach § 9a des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen, ausgenommen Ableitungen im Sinne des § 47;
3. Aktivität, spezifische: Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zur Masse des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist. Bei festen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse für die Bestimmung der spezifischen Aktivität die Masse des Körpers oder Gegenstandes, mit dem die Radioaktivität bei vorgesehener Anwendung untrennbar verbunden ist. Bei gasförmigen radioaktiven Stoffen ist die Bezugsmasse die Masse des Gases oder Gasgemisches;
4. Aktivitätskonzentration: Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zum Volumen des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist;
5. Anlagen: Anlagen im Sinne dieser Verordnung sind Anlagen im Sinne der §§ 7 und 9a Abs. 3 Satz 1 Halbsatz 2 des Atomgesetzes sowie Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen im Sinne des § 11 Abs. 1 Nr. 2 des Atomgesetzes, die geeignet sind, Photonen oder Teilchenstrahlung gewollt oder ungewollt zu erzeugen (insbesondere Elektronenbeschleuniger, Ionenbeschleuniger, Plasmaanlagen);
8. Dekontamination: Beseitigung oder Verminderung einer Kontamination;
9. Dosis: a) Äquivalentdosis: Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge; b) effektive Dosis: Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; c) Körperdosis: Sammelbegriff für Organdosis und effektive Dosis. Die Kör-

- perdosis für einen Bezugszeitraum (z.B. Kalenderjahr, Monat) ist die Summe aus der durch äußere Strahlenexposition während dieses Bezugszeitraums erhaltenen Dosis und der Folgedosis, die durch eine während dieses Bezugszeitraums stattfindende Aktivitätszufuhr bedingt ist; d) Organdosis: Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition; e) Ortsdosis: Äquivalentdosis, gemessen mit den in Anlage VI Teil A angegebenen Meßgrößen an einem bestimmten Ort; f) Ortsdosisleistung: In einem bestimmten Zeitintervall erzeugte Ortsdosis, dividiert durch die Länge des Zeitintervalls; g) Personendosis: Äquivalentdosis, gemessen mit den in Anlage VI Teil A angegebenen Meßgrößen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche;
10. Einrichtungen: Gebäude, Gebäudeteile oder einzelne Räume, in denen nach den §§ 5, 6 oder 9 des Atomgesetzes oder nach § 7 dieser Verordnung mit radioaktiven Stoffen umgegangen oder nach § 11 Abs. 2 eine Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung betrieben wird;
11. Einwirkungsstelle, ungünstigste: Stelle in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei der aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist;
12. Einzelpersonen der Bevölkerung: Mitglieder der allgemeinen Bevölkerung, die weder beruflich strahlenexponierte Personen sind noch medizinisch oder als helfende Person exponiert sind;
13. Expositionspfad: Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer Strahlenexposition des Menschen;
16. Freigrenzen: Werte der Aktivität und spezifischen Aktivität radioaktiver Stoffe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3, bei deren Überschreitung Tätigkeiten mit diesen radioaktiven Stoffen der Überwachung nach dieser Verordnung unterliegen;
19. Kontamination: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen a) Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Meßgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter; b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann;
29. Stoffe, offene und umschlossene radioaktive: a) Stoffe, offene radioaktive: Alle radioaktiven Stoffe mit Ausnahme der umschlossenen radioaktiven Stoffe; b) Stoffe, umschlossene radioaktive: Radioaktive Stoffe, die ständig von einer allseitig dichten, festen, inaktiven Hülle umschlossen oder in festen inaktiven Stoffen ständig so eingebettet sind, dass bei üblicher betriebsmäßiger Beanspruchung ein Austritt radioaktiver Stoffe mit Sicherheit verhindert wird; eine Abmessung muss mindestens 0,2 cm betragen;
30. Strahlenexposition: Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers, innere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers;
31. Strahlenexposition, berufliche: Die Strahlenexposition einer Person, die a) zum Ausübenden einer Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 oder einer Arbeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 2 in einem Beschäftigungs- oder Ausbildungsverhältnis steht oder diese Tätigkeit oder Arbeit selbst ausübt, b) eine Aufgabe nach § 19 oder § 20 des Atomgesetzes oder nach § 66 dieser Verordnung wahrnimmt, oder c) im Rahmen des § 15 oder § 95 dieser Verordnung in fremden Anlagen, Einrichtungen oder Betriebsstätten beschäftigt ist, dort eine Aufgabe nach § 15 selbst wahrnimmt oder nach § 95 eine Arbeit selbst ausübt. Eine nicht mit der Berufsausübung zusammenhängende Strahlenexposition bleibt dabei unberücksichtigt;
32. Strahlenexposition, medizinische: a) Exposition einer Person im Rahmen ihrer Untersuchung oder Behandlung in der Heilkunde oder Zahnheilkunde (Patient), b) Exposition einer Person, an der mit ihrer Einwilligung oder mit Einwilligung ihres gesetzlichen Vertreters radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung in der medizinischen Forschung angewendet werden (Proband);

#### § 4 Rechtfertigung

- (1) Neue Arten von Tätigkeiten, die unter § 2 Abs. 1 Nr. 1 fallen würden, mit denen Strahlenexpositionen oder Kontaminationen von Mensch und Umwelt verbunden sein können, müssen unter Abwägung ihres wirtschaftlichen, sozialen oder sonstigen Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt sein. Die Rechtfertigung bestehender Arten von Tätigkeiten kann im Rahmen der §§ 17 und 19 des Atomgesetzes überprüft werden, sobald wesentliche neue Erkenntnisse über den Nutzen oder die Auswirkungen der Tätigkeit vorliegen.
- (3) Welche Arten von Tätigkeiten nach den Absätzen 1 und 2 nicht gerechtfertigt sind, wird durch gesonderte Rechtsverordnung nach § 12 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 des Atomgesetzes bestimmt.

## § 5 Dosisbegrenzung

Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a bis d plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet dafür zu sorgen, dass die Dosisgrenzwerte der §§ 46, 47, 55, 56 und 58 nicht überschritten werden. Die Grenzwerte der effektiven Dosis im Kalenderjahr betragen nach § 46 Abs. 1 für den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung 1 Millisievert und nach § 55 Abs. 1 Satz 1 für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen bei deren Berufsausübung 20 Millisievert.

## § 6 Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung

(1) Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 plant oder ausübt, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

(2) Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 plant oder ausübt, ist verpflichtet, jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten

## § 8 Genehmigungsfreier Umgang; genehmigungsfreier Besitz von Kernbrennstoffen

(1) Eine Genehmigung nach § 7 Abs. 1 ist in den in Anlage I Teil A und B genannten Fällen nicht erforderlich. Bei der Prüfung der Voraussetzungen nach Anlage I Teil B Nr. 1 oder 2 bleiben die Aktivitäten radioaktiver Stoffe der in Anlage I Teil A oder Teil B Nr. 3 bis 7 genannten Art außer Betracht.

(2) Bei einem nach § 7 Abs. 1 genehmigten Umgang ist zusätzlich ein genehmigungsfreier Umgang nach Absatz 1 für die radioaktiven Stoffe, die in der Genehmigung aufgeführt sind, auch unterhalb der Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3 nicht zulässig. Satz 1 gilt nicht, wenn in einem einzelnen Betrieb oder selbständigen Zweigbetrieb, bei Nichtgewerbetreibenden am Ort der Tätigkeit des Genehmigungsinhabers, mit radioaktiven Stoffen in mehreren, räumlich voneinander getrennten Gebäuden, Gebäudeteilen, Anlagen oder Einrichtungen umgegangen wird und ausreichend sichergestellt ist, dass die radioaktiven Stoffe aus den einzelnen Gebäuden, Gebäudeteilen, Anlagen oder Einrichtungen nicht zusammenwirken können.

(3) Auf denjenigen, der

1. mit Kernbrennstoffen

a) nach Absatz 1 in Verbindung mit Anlage I Teil B Nr. 1 oder 2 ohne Genehmigung oder

b) aufgrund einer Genehmigung nach § 7 Abs. 1

umgehen darf oder

2. Kernbrennstoffe

a) aufgrund von § 17 ohne Genehmigung oder

b) aufgrund einer Genehmigung nach § 16 Abs. 1

befördern darf,

sind die Vorschriften des § 5 Abs. 2 bis 4 des Atomgesetzes nicht anzuwenden. Die Herausgabe von Kernbrennstoffen aus der staatlichen Verwahrung nach § 5 Abs. 1 des Atomgesetzes oder aus der genehmigten Aufbewahrung nach § 6 des Atomgesetzes oder § 7 dieser Verordnung ist auch zulässig, wenn der Empfänger nach Satz 1 zum Besitz der Kernbrennstoffe berechtigt ist oder wenn diese Kernbrennstoffe zum Zweck der Ausfuhr befördert werden sollen.

## § 25 Verfahren der Bauartzulassung

(1) Die Bauart von Geräten und anderen Vorrichtungen, in die sonstige radioaktive Stoffe nach § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes eingefügt sind, sowie von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen (bauartzugelassene Vorrichtungen) kann auf Antrag des Herstellers oder Verbringers der Vorrichtung zugelassen werden, wenn die Voraussetzungen nach Anlage V erfüllt sind. Die Zulassungsbehörde kann im Einzelfall Abweichungen von den Voraussetzungen der Anlage V Teil A Nr. 1 Buchstabe a, Nr. 3 oder 4 zulassen.

(2) Die Zulassungsbehörde hat vor ihrer Entscheidung auf Kosten des Antragstellers eine Bauartprüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt unter Beteiligung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zu Fragen der Dichtheit, der Werkstoffauswahl und der Konstruktion der Umhüllung des radioaktiven Stoffes sowie der Qualitätssicherung zu veranlassen. Der Antragsteller hat der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung auf Verlangen die zur Prüfung erforderlichen Baumuster zu überlassen.

(3) Die Bauartzulassung ist zu versagen, wenn 1. Gründe vorliegen, die gegen einen genehmigungsfreien Umgang sprechen, 2. Tatsachen vorliegen, aus denen sich gegen die Zuverlässigkeit des Herstellers oder des für die Leitung der Herstellung Verantwortlichen oder gegen die für die Herstellung erforderliche technische Erfahrung dieses Verantwortlichen oder gegen die Zuverlässigkeit desjenigen, der eine Vorrichtung in den Geltungsbereich dieser Verordnung verbringt, Bedenken ergeben, 3. überwiegende öffentliche Interessen der Bauartzulassung entgegenstehen oder 4. § 4 Abs. 3 der Bauartzulassung entgegensteht.

- (4) Die Bauartzulassung ist auf höchstens zehn Jahre zu befristen. Die Frist kann auf Antrag verlängert werden.
- (5) Eine bauartzugelassene Vorrichtung, die vor Ablauf der Zulassungsfrist in Verkehr gebracht worden ist, darf nach Maßgabe des § 8 Abs. 1 oder des § 12 Abs. 3 genehmigungs- und anzeigefrei weiter betrieben werden, es sei denn, die Zulassungsbehörde hat nach § 26 Abs. 2 bekannt gemacht, dass ein ausreichender Schutz gegen Strahlenschäden nicht gewährleistet ist und diese Vorrichtung nicht weiter betrieben werden darf.
- (6) Absatz 1 Satz 1 gilt nicht für Vorrichtungen, die Medizinprodukte oder Zubehör im Sinne des Medizinproduktegesetzes sind.
- (7) Für die Erteilung der Bauartzulassung ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig.

## **§ 26 Zulassungsschein und Bekanntmachung der Bauart**

- (1) Wird die Bauart nach § 25 Abs. 1 zugelassen, so hat die Zulassungsbehörde einen Zulassungsschein zu erteilen. In diesen sind aufzunehmen 1. die für den Strahlenschutz wesentlichen Merkmale der Vorrichtung, 2. der zugelassene Gebrauch der Vorrichtung, 3. inhaltliche Beschränkungen, Auflagen für den Inhaber der Vorrichtung und Befristungen, 4. das Bauartzeichen und die Angaben, mit denen die Vorrichtung zu versehen ist, 5. ein Hinweis auf die Pflichten des Inhabers der Vorrichtung nach § 27 Abs. 2 bis 6 und 6. bei einer Vorrichtung, die radioaktive Stoffe enthält, Anforderungen an die Rückführung der Vorrichtung an den Zulassungsinhaber oder an die Entsorgung der Vorrichtung.
- (2) Den wesentlichen Inhalt der Bauartzulassung, ihre Änderung, ihre Rücknahme, ihr Widerruf, die Verlängerung der Zulassungsfrist und die Erklärung, dass eine bauartzugelassene Vorrichtung nicht weiter betrieben werden darf, hat die Zulassungsbehörde im Bundesanzeiger bekannt zu machen.

## **§ 27 Pflichten des Inhabers einer Bauartzulassung und des Inhabers einer bauartzugelassenen Vorrichtung**

- (1) Der Zulassungsinhaber hat 1. vor einer Abgabe der gefertigten bauartzugelassenen Vorrichtungen eine Qualitätskontrolle durchzuführen, um sicherzustellen, dass diese den für den Strahlenschutz wesentlichen Merkmalen der Bauartzulassung entsprechen und mit dem Bauartzeichen und weiteren von der Zulassungsbehörde zu bestimmenden Angaben versehen werden, 2. die Qualitätskontrolle durch einen von der Zulassungsbehörde zu bestimmenden Sachverständigen überwachen zu lassen, 3. dem Erwerber einer bauartzugelassenen Vorrichtung mit dieser einen Abdruck des Zulassungsscheins auszuhändigen, auf dem das Ergebnis und, soweit Dichtheitsprüfungen nach Absatz 6 erforderlich sind, das Datum der Qualitätskontrolle nach Nummer 1 bestätigt ist, 4. dem Erwerber einer bauartzugelassenen Vorrichtung mit dieser eine Betriebsanleitung auszuhändigen, in der insbesondere auf die dem Strahlenschutz dienenden Maßnahmen hingewiesen ist und 5. sicherzustellen, dass eine bauartzugelassene Vorrichtung, die radioaktive Stoffe enthält, nach Beendigung der Nutzung wieder zurückgenommen werden kann.
- (2) Der Inhaber einer bauartzugelassenen Vorrichtung hat einen Abdruck des Zulassungsscheins nach Absatz 1 Nr. 3 und die Prüfbefunde nach Absatz 6 Satz 1 bei der Vorrichtung bereitzuhalten. Im Falle der Weitergabe der bauartzugelassenen Vorrichtung gilt Absatz 1 Nr. 3 und 4 entsprechend.
- (3) An der bauartzugelassenen Vorrichtung dürfen keine Änderungen vorgenommen werden, die für den Strahlenschutz wesentliche Merkmale betreffen.
- (4) Eine bauartzugelassene Vorrichtung, die infolge Abnutzung, Beschädigung oder Zerstörung den Vorschriften dieser Verordnung oder den in dem Zulassungsschein bezeichneten, für den Strahlenschutz wesentlichen Merkmalen nicht mehr entspricht, darf nicht mehr verwendet werden. Der Inhaber der Vorrichtung hat unverzüglich die notwendigen Schutzmaßnahmen zu treffen, um Strahlenschäden zu vermeiden.
- (5) Ist die Rücknahme, der Widerruf einer Bauartzulassung oder die Erklärung, dass eine bauartzugelassene Vorrichtung nicht weiter betrieben werden darf, bekannt gemacht, so hat der Inhaber davon betroffene Vorrichtungen unverzüglich stillzulegen und die notwendigen Schutzmaßnahmen zu treffen, um Strahlenschäden zu vermeiden.
- (6) Der Inhaber einer bauartzugelassenen Vorrichtung, die radioaktive Stoffe enthält, hat diese alle zehn Jahre durch einen nach § 66 Abs. 1 Satz 1 bestimmten Sachverständigen auf Dichtheit prüfen zu lassen. Stichtag ist der im Abdruck des Zulassungsscheins vermerkte Tag der Qualitätskontrolle. Die Zulassungsbehörde kann im Zulassungsschein von den Sätzen 1 und 2 abweichende Regelungen zur Dichtheitsprüfung treffen.
- (7) Der Inhaber einer bauartzugelassenen Vorrichtung, die radioaktive Stoffe enthält, hat diese nach Beendigung der Nutzung unverzüglich an den Zulassungsinhaber zurückzugeben. Ist dies nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich, so ist sie an eine Landessammelstelle oder an eine von der zuständigen Behörde bestimmte Stelle abzugeben.

## **§ 30 Erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz**

- (1) Die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz nach den §§ 9, 12, 13, 14, 15, 24, 31, 64 oder 82 wird in der Regel durch eine für den jeweiligen Anwendungsbereich geeignete Ausbildung, praktische Erfahrung und die erfolgreiche Teilnahme an von der zuständigen Stelle anerkannten Kursen erworben. Die Ausbildung ist durch Zeugnisse, die praktische Erfahrung durch Nachweise und die erfolgreiche Kursteilnahme durch eine Bescheinigung zu belegen. Der Erwerb der

Fachkunde wird von der zuständigen Stelle geprüft und bescheinigt. Die Kursteilnahme darf nicht länger als fünf Jahre zurückliegen. Für Medizinisch-technische Radiologieassistentinnen und Medizinisch-technische Radiologieassistenten gilt der Nachweis nach Satz 1 mit der Erlaubnis nach § 1 Nr. 2 des Gesetzes über technische Assistenten in der Medizin für die vorbehaltenen Tätigkeiten nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 dieses Gesetzes als erbracht.

(2) Die Fachkunde im Strahlenschutz muss mindestens alle fünf Jahre durch eine erfolgreiche Teilnahme an einem von der zuständigen Stelle anerkannten Kurs oder anderen von der zuständigen Stelle als geeignet anerkannten Fortbildungsmaßnahmen aktualisiert werden. Der Nachweis über die durchgeführten Fortbildungen ist der zuständigen Stelle auf Anforderung vorzulegen. Die zuständige Stelle kann, wenn der Nachweis über Fortbildungsmaßnahmen nicht oder nicht vollständig vorgelegt wird, die Fachkunde entziehen oder die Fortgeltung mit Auflagen versehen. Bestehen begründete Zweifel an der erforderlichen Fachkunde, kann die zuständige Behörde eine Überprüfung der Fachkunde veranlassen.

(3) Kurse nach Absatz 1 Satz 1 und Absatz 2 können von der für die Kursstätte zuständigen Stelle nur anerkannt werden, wenn die Kursinhalte das für den jeweiligen Anwendungsbereich erforderliche Wissen im Strahlenschutz vermitteln und die Qualifikation des Lehrpersonals und die Ausstattung der Kursstätte eine ordnungsgemäße Wissensvermittlung gewährleisten.

### **§ 31 Strahlenschutzverantwortliche und Strahlenschutzbeauftragte**

(1) Strahlenschutzverantwortlicher ist, wer einer Genehmigung nach den §§ 6, 7 oder 9 des Atomgesetzes oder nach den §§ 7, 11 oder 15 dieser Verordnung oder wer der Planfeststellung nach § 9b des Atomgesetzes bedarf oder wer eine Tätigkeit nach § 5 des Atomgesetzes ausübt oder wer eine Anzeige nach § 12 Abs. 1 Satz 1 dieser Verordnung zu erstatten hat oder wer aufgrund des § 7 Abs. 3 dieser Verordnung keiner Genehmigung nach § 7 Abs. 1 bedarf. Handelt es sich bei dem Strahlenschutzverantwortlichen um eine juristische Person oder um eine teilrechtsfähige Personengesellschaft, werden die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen von der durch Gesetz, Satzung oder Vertrag zur Vertretung berechtigten Person wahrgenommen. Besteht das vertretungsberechtigte Organ aus mehreren Mitgliedern oder sind bei nicht rechtsfähigen Personenvereinigungen mehrere vertretungsberechtigte Personen vorhanden, so ist der zuständigen Behörde mitzuteilen, welche dieser Personen die Aufgaben des Strahlenschutzverantwortlichen wahrnimmt. Die Gesamtverantwortung aller Organmitglieder oder Mitglieder der Personenvereinigung bleibt hiervon unberührt.

(2) Soweit dies für die Gewährleistung des Strahlenschutzes bei der Tätigkeit notwendig ist, sind für die Leitung oder Beaufsichtigung dieser Tätigkeiten die erforderliche Anzahl von Strahlenschutzbeauftragten schriftlich zu bestellen. Bei der Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten sind dessen Aufgaben, dessen innerbetrieblicher Entscheidungsbereich, und die zur Wahrnehmung seiner Aufgaben erforderlichen Befugnisse schriftlich festzulegen. Der Strahlenschutzverantwortliche bleibt auch dann für die Einhaltung der Anforderungen der Teile 2 und 5 dieser Verordnung verantwortlich, wenn er Strahlenschutzbeauftragte bestellt hat.

(3) Es dürfen nur Personen zu Strahlenschutzbeauftragten bestellt werden, bei denen keine Tatsachen vorliegen, aus denen sich gegen ihre Zuverlässigkeit Bedenken ergeben, und die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

(4) Die Bestellung des Strahlenschutzbeauftragten mit Angabe der Aufgaben und Befugnisse, Änderungen der Aufgaben und Befugnisse sowie das Ausscheiden des Strahlenschutzbeauftragten aus seiner Funktion sind der zuständigen Behörde unverzüglich mitzuteilen. Der Mitteilung der Bestellung ist die Bescheinigung über die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz nach § 30 Abs. 1 beizufügen. Dem Strahlenschutzbeauftragten und dem Betriebs- oder Personalrat ist eine Abschrift der Mitteilung zu übermitteln.

(5) Sind für das Aufsuchen, das Gewinnen oder das Aufbereiten radioaktiver Bodenschätze Strahlenschutzbeauftragte zu bestellen, so müssen sie als verantwortliche Personen zur Leitung oder Beaufsichtigung des Betriebes oder eines Betriebsteiles nach § 58 Abs. 1 Nr. 2 des Bundesberggesetzes bestellt sein, wenn auf diese Tätigkeiten die Vorschriften des Bundesberggesetzes Anwendung finden.

### **§ 32 Stellung des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten**

(1) Dem Strahlenschutzbeauftragten obliegen die ihm durch diese Verordnung auferlegten Pflichten nur im Rahmen seiner Befugnisse. Ergibt sich, dass der Strahlenschutzbeauftragte infolge unzureichender Befugnisse, unzureichender Fachkunde im Strahlenschutz oder fehlender Zuverlässigkeit oder aus anderen Gründen seine Pflichten nur unzureichend erfüllen kann, kann die zuständige Behörde gegenüber dem Strahlenschutzverantwortlichen die Feststellung treffen, dass dieser Strahlenschutzbeauftragte nicht als Strahlenschutzbeauftragter im Sinne dieser Verordnung anzusehen ist.

(2) Dem Strahlenschutzverantwortlichen sind unverzüglich alle Mängel mitzuteilen, die den Strahlenschutz beeinträchtigen. Kann sich der Strahlenschutzbeauftragte über eine von ihm vorgeschlagene Behebung von aufgetretenen Mängeln mit dem Strahlenschutzverantwortlichen nicht einigen, so hat dieser dem Strahlenschutzbeauftragten die Ablehnung des Vorschlages schriftlich mitzuteilen und zu begründen und dem Betriebsrat oder dem Personalrat und der zuständigen Behörde je eine Abschrift zu übersenden.

(3) Die Strahlenschutzbeauftragten sind über alle Verwaltungsakte und Maßnahmen, die ihre Aufgaben oder Befugnisse betreffen, unverzüglich zu unterrichten.

(4) Der Strahlenschutzverantwortliche und der Strahlenschutzbeauftragte haben bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben mit dem Betriebsrat oder dem Personalrat und den Fachkräften für Arbeitssicherheit zusammenzuarbeiten und sie über wichti-

ge Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu unterrichten. Der Strahlenschutzbeauftragte hat den Betriebsrat oder Personalrat auf dessen Verlangen in Angelegenheiten des Strahlenschutzes zu beraten.

(5) Der Strahlenschutzbeauftragte darf bei der Erfüllung seiner Pflichten nicht behindert und wegen deren Erfüllung nicht benachteiligt werden.

### **§ 33 Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten**

(1) Der Strahlenschutzverantwortliche hat unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung durch geeignete Schutzmaßnahmen, insbesondere durch Bereitstellung geeigneter Räume, Ausrüstungen und Geräte, durch geeignete Regelung des Betriebsablaufs und durch Bereitstellung ausreichenden und geeigneten Personals dafür zu sorgen, dass 1. die folgenden Vorschriften eingehalten werden: a) Teil 2 Kapitel 2: Genehmigungen, Zulassungen, Freigabe, Abschnitt 9: Freigabe § 29 Abs. 1 Satz 1, b) Teil 2 Kapitel 3: Anforderung bei der Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung aa) Abschnitt 2: Betriebliche Organisation des Strahlenschutzes § 31 Abs. 2 Satz 1 und 2, Abs. 3 und 4, § 32 Abs. 2 und 3, § 34 Satz 1, bb) Abschnitt 3: Schutz von Personen in Strahlenschutzbereichen; physikalische Strahlenschutzkontrolle § 40 Abs. 2 Satz 2, cc) Abschnitt 4: Schutz von Bevölkerung und Umwelt bei Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten § 47 Abs. 1 Satz 1 in Verbindung mit § 5, dd) Abschnitt 5: Schutz vor sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen § 49 Abs. 1 Satz 1 und Abs. 2, § 50 Abs. 1 Satz 1, Abs. 2 und 3, §§ 52, 53 Abs. 1, 4 und 5, ee) Abschnitt 6: Begrenzung der Strahlenexposition bei der Berufsausübung § 58 Abs. 5, ff.) Abschnitt 7: Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen § 61 Abs. 3 Satz 2, c) Teil 2 Kapitel 4: Besondere Anforderungen bei der medizinischen Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung, Abschnitt 1: Heilkunde und Zahnheilkunde § 81 Abs. 7, § 83 Abs. 4 Satz 1, 2. die in den folgenden Teilen, Kapiteln und Abschnitten vorgesehenen Schutzvorschriften eingehalten werden: a) Teil 2 Kapitel 2: Genehmigungen, Zulassungen, Freigabe, Abschnitt 9: Freigabe § 29 Abs. 2 Satz 4, b) Teil 2 Kapitel 3: Anforderungen bei der Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung aa) Abschnitt 2: Betriebliche Organisation des Strahlenschutzes

### **§ 34 Strahlenschutzanweisung**

Es ist eine Strahlenschutzanweisung zu erlassen, in der die in dem Betrieb zu beachtenden Strahlenschutzmaßnahmen aufzuführen sind. Zu diesen Maßnahmen gehören in der Regel 1. die Aufstellung eines Planes für die Organisation des Strahlenschutzes, erforderlichenfalls mit der Bestimmung, dass ein oder mehrere Strahlenschutzbeauftragte bei der genehmigten Tätigkeit ständig anwesend oder sofort erreichbar sein müssen, 2. die Regelung des für den Strahlenschutz wesentlichen Betriebsablaufs, 3. die für die Ermittlung der Körperdosis vorgesehenen Messungen und Maßnahmen entsprechend den Expositionsbedingungen, 4. die Führung eines Betriebsbuchs, in das die für den Strahlenschutz wesentlichen Betriebsvorgänge einzutragen sind, 5. die regelmäßige Funktionsprüfung und Wartung von Bestrahlungsvorrichtungen, Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen, Ausrüstung und Geräten, die für den Strahlenschutz wesentlich sind, sowie die Führung von Aufzeichnungen über die Funktionsprüfungen und über die Wartungen, 6. die Aufstellung eines Planes für regelmäßige Alarmübungen sowie für den Einsatz bei Unfällen und Störfällen, erforderlichenfalls mit Regelungen für den Brandschutz und die Vorbereitung der Schadensbekämpfung nach § 53, und 7. die Regelung des Schutzes gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter, gegen das Abhandenkommen von radioaktiven Stoffen oder gegen das unerlaubte Inbetriebsetzen einer Bestrahlungsvorrichtung oder einer Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlen. Die Strahlenschutzanweisung kann Bestandteil sonstiger erforderlicher Betriebsanweisungen nach arbeitsschutz-, immissionsschutz- oder gefahrstoffrechtlichen Vorschriften sein.

### **§ 65 Lagerung und Sicherung radioaktiver Stoffe**

- (1) Radioaktive Stoffe, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3 überschreitet, sind, 1. solange sie nicht bearbeitet, verarbeitet oder sonst verwendet werden, in geschützten Räumen oder Schutzbehältern zu lagern und 2. gegen Abhandenkommen und den Zugriff durch unbefugte Personen zu sichern.
- (2) Kernbrennstoffe müssen so gelagert werden, dass während der Lagerung kein kritischer Zustand entstehen kann.
- (3) Radioaktive Stoffe, die Sicherheitsmaßnahmen aufgrund internationaler Verpflichtungen unterliegen, sind so zu lagern, dass die Durchführung der Sicherheitsmaßnahmen nicht beeinträchtigt wird.

### **§ 66 Wartung, Überprüfung und Dichtheitsprüfung**

- (1) Die zuständige Behörde bestimmt Sachverständige für Aufgaben nach Absatz 2 Satz 1, für Aufgaben nach Absatz 4 und für Aufgaben nach Absatz 5. Die zuständige Behörde kann Anforderungen an einen Sachverständigen nach Satz 1 hinsichtlich seiner Ausbildung, Berufserfahrung, Eignung, Einweisung in die Sachverständigentätigkeit, seines Umfangs an Prüftätigkeit und seiner sonstigen Voraussetzungen und Pflichten, insbesondere seiner meßtechnischen Ausstattung festlegen.
- (2) Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Bestrahlungsvorrichtungen sowie Geräte für die Gammadiagnostik sind jährlich mindestens einmal zu warten und zwischen den Wartungen durch einen nach Absatz 1 bestimmten Sach-

verständigen auf sicherheitstechnische Funktion, Sicherheit und Strahlenschutz zu überprüfen. Satz 1 gilt nicht für die in § 12 Abs. 1 und 3 genannten Anlagen.

(3) Die zuständige Behörde kann bei 1. Bestrahlungsvorrichtungen, die bei der Ausübung der Heilkunde oder Zahnheilkunde am Menschen verwendet werden und deren Aktivität 1014 Becquerel nicht überschreitet, 2. Bestrahlungsvorrichtungen, die zur Blut- oder zur Produktbestrahlung verwendet werden und deren Aktivität 1014 Becquerel nicht überschreitet, und 3. Geräten für die Gammadiagnostik die Frist für die Überprüfung nach Absatz 2 Satz 1 bis auf drei Jahre verlängern.

(4) Die zuständige Behörde kann bestimmen, dass die Dichtheit der Umhüllung bei umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 überschreitet, zu prüfen und die Prüfung in bestimmten Zeitabständen zu wiederholen ist. Sie kann festlegen, dass die Prüfung nach Satz 1 durch einen nach Absatz 1 bestimmten Sachverständigen durchzuführen ist.

(5) Wenn die Umhüllung umschlossener radioaktiver Stoffe oder die Vorrichtung, in die sie eingefügt sind, mechanisch beschädigt oder korrodiert ist, ist vor der Weiterverwendung zu veranlassen, dass die Umhüllung des umschlossenen radioaktiven Stoffes durch einen nach Absatz 1 bestimmten Sachverständigen auf Dichtheit geprüft wird.

(6) Die Prüfbefunde nach Absatz 2 sind der zuständigen Behörde vorzulegen. Die Prüfbefunde nach Absatz 4 oder 5 sind der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen. Festgestellte Undichtheiten sind der zuständigen Behörde unverzüglich mitzuteilen.

## § 70 Buchführung und Mitteilung

(1) Wer mit radioaktiven Stoffen umgeht, hat 1. der zuständigen Behörde Gewinnung, Erzeugung, Erwerb, Abgabe und den sonstigen Verbleib von radioaktiven Stoffen innerhalb eines Monats unter Angabe von Art und Aktivität mitzuteilen, 2. über Gewinnung, Erzeugung, Erwerb, Abgabe und den sonstigen Verbleib von radioaktiven Stoffen unter Angabe von Art und Aktivität Buch zu führen und 3. der zuständigen Behörde den Bestand an radioaktiven Stoffen mit Halbwertszeiten von mehr als 100 Tagen am Ende jedes Kalenderjahres innerhalb eines Monats mitzuteilen. Satz 1 gilt nicht für Tätigkeiten, die nach § 8 Abs. 1 keiner Genehmigung bedürfen.

(2) Die Masse der Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 Satz 1 getroffen wurde, ist unter Angabe der jeweiligen Freigabeart gemäß § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 oder 2 oder Satz 3 und im Fall des § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 2 unter Angabe des tatsächlichen Verbleibs der zuständigen Behörde jährlich mitzuteilen.

(3) Über die Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 Satz 1 getroffen wurde, ist Buch zu führen. Dabei sind die getroffenen Festlegungen nach den Anlagen III und IV anzugeben, insbesondere die spezifische Aktivität, die Masse, die Radionuklide, das Freimeßverfahren, die Mittelungsmasse, die Mittelungsfläche und der Zeitpunkt der Feststellung.

(4) Der Mitteilung nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 1 über den Erwerb umschlossener radioaktiver Stoffe ist die Bescheinigung nach § 69 Abs. 2 beizufügen.

(5) Die zuständige Behörde kann im Einzelfall von der Buchführungs- und Mitteilungspflicht ganz oder teilweise befreien, wenn dadurch eine Gefährdung von Mensch und Umwelt nicht eintreten kann und es sich nicht um Mitteilungs- oder Buchführungspflichten nach den Absätzen 2 und 3 handelt.

(6) Die Unterlagen nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 2 und Absatz 3 Satz 1 sind 30 Jahre ab dem Zeitpunkt der Gewinnung, der Erzeugung, des Erwerbs, der Abgabe, des sonstigen Verbleibs oder der Feststellung aufzubewahren und auf Verlangen der zuständigen Behörde bei dieser zu hinterlegen. Im Falle einer Beendigung der Tätigkeit vor Ablauf der Aufbewahrungsfrist nach Satz 1 sind die Unterlagen unverzüglich einer von der zuständigen Behörde bestimmten Stelle zu übergeben.

## § 71 Abhandenkommen, Fund, Erlangung der tatsächlichen Gewalt

(1) Der bisherige Inhaber der tatsächlichen Gewalt über radioaktive Stoffe, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 und 3 überschreitet, hat der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde oder der für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung zuständigen Behörde das Abhandenkommen dieser Stoffe unverzüglich mitzuteilen.

(2) Wer 1. radioaktive Stoffe findet oder 2. ohne seinen Willen die tatsächliche Gewalt über radioaktive Stoffe erlangt oder 3. die tatsächliche Gewalt über radioaktive Stoffe erlangt hat, ohne zu wissen, dass diese Stoffe radioaktiv sind, hat dies der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde oder der für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung zuständigen Behörde unverzüglich mitzuteilen, sobald er von der Radioaktivität dieser Stoffe Kenntnis erlangt. Satz 1 gilt nicht, wenn die Aktivität der radioaktiven Stoffe die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 oder 3 nicht überschreitet.

(3) Absatz 2 gilt auch für den, der als Inhaber einer Wasserversorgungsanlage oder einer Abwasseranlage die tatsächliche Gewalt über Wasser erlangt, das radioaktive Stoffe enthält, wenn die Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe im Kubikmeter Wasser von 1. Wasserversorgungsanlagen das Dreifache oder 2. Abwasseranlagen das 60fache der Werte der Anlage VII Teil D Nr. 2 übersteigt.

(4) Einer Genehmigung nach den §§ 4, 6 oder 9 des Atomgesetzes oder nach § 7 Abs. 1 oder § 16 Abs. 1 dieser Verordnung bedarf nicht, wer in den Fällen des Absatzes 2 oder 3 nach unverzüglicher Mitteilung die radioaktiven Stoffe bis zur Entscheidung der zuständigen Behörde oder auf deren Anordnung lagert oder aus zwingenden Gründen zum Schutz von Leben und Gesundheit befördert oder handhabt.

### § 73 Erfassung

(1) Wer eine Tätigkeit nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a, c oder d ausübt, hat die radioaktiven Abfälle nach Anlage X Teil A und B zu erfassen und bei Änderungen die Erfassung zu aktualisieren. Besitzt ein anderer als der nach § 9a Abs. 1 des Atomgesetzes Verpflichtete die Abfälle, so hat der Besitzer bei Änderungen der erfassten Angaben diese Änderungen nach Anlage X Teil A und B zu erfassen und die erfassten Angaben dem Abfallverursacher bereitzustellen.

(2) Die erfassten Angaben sind in einem von dem nach § 9a Abs. 1 des Atomgesetzes Verpflichteten einzurichtenden elektronischen Buchführungssystem so aufzuzeichnen, dass auf Anfrage der zuständigen Behörde die erfassten Angaben unverzüglich bereitgestellt werden können. Das Buchführungssystem bedarf der Zustimmung der zuständigen Behörde.

(3) Die Angaben im Buchführungssystem nach Absatz 2 sind zu aktualisieren und nach Ablieferung der jeweiligen radioaktiven Abfälle an die Landessammelstelle oder an eine Anlage des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle für mindestens ein Jahr bereitzuhalten.

### § 79 Umgehungsverbot

Niemand darf sich den Pflichten aus den §§ 72 bis 78 dadurch entziehen, dass er radioaktive Abfälle aus genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ohne Genehmigung unter Inanspruchnahme der Regelung des § 8 Abs. 1 durch Verdünnung oder Aufteilung in Freigrenzenmengen beseitigt, beseitigen lässt oder deren Beseitigung ermöglicht. § 29 Abs. 2 Satz 4 bleibt unberührt.

### § 95 Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen

(1) Wer in seiner Betriebsstätte eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in Anlage XI genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, hat je nach Zugehörigkeit des Arbeitsfeldes zu Teil A oder B der Anlage XI innerhalb von sechs Monaten nach Beginn der Arbeiten eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Radon-222-Exposition oder der Körperdosis durchzuführen. Die Abschätzung ist unverzüglich zu wiederholen, wenn der Arbeitsplatz so verändert wird, dass eine höhere Strahlenexposition auftreten kann. Satz 1 gilt auch für denjenigen, der in einer fremden Betriebsstätte in eigener Verantwortung Arbeiten nach Satz 1 ausübt oder unter seiner Aufsicht stehende Personen Arbeiten ausüben lässt. In diesem Fall hat der nach Satz 1 Verpflichtete ihm vorliegende Abschätzungen für den Arbeitsplatz bereitzustellen.

(2) Der nach Absatz 1 Verpflichtete hat der zuständigen Behörde innerhalb von drei Monaten nach Durchführung der Abschätzung nach Absatz 1 Anzeige gemäß Satz 2 zu erstatten, wenn die Abschätzung nach Absatz 1 ergibt, dass die effektive Dosis 6 Millisievert im Kalenderjahr überschreiten kann. Aus der Anzeige müssen die konkrete Art der Arbeit, das betreffende Arbeitsfeld oder die betreffenden Arbeitsfelder, die Anzahl der betroffenen Personen, die eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert im Kalenderjahr erhalten können, die nach Absatz 10 Satz 1 vorgesehene Ermittlung und die nach § 94 vorgesehenen Maßnahmen hervorgehen. Bei Radonexpositionen kann davon ausgegangen werden, dass die effektive Dosis von 6 Millisievert im Kalenderjahr durch diese Expositionen nicht überschritten ist, wenn das Produkt aus Aktivitätskonzentration von Radon-222 am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 2.000.000 Becquerel pro Kubikmeter mal Stunden nicht überschreitet. Bei deutlichen Abweichungen des Gleichgewichtsfaktors zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten von dem zugrunde gelegten Wert von 0,4 kann die Behörde abweichende Werte für das Produkt aus Radon-222-Aktivitätskonzentration und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr festlegen.

**Anlage I (zu §§ 8, 12, 17, 21) Genehmigungsfreie Tätigkeiten**

**Teil A:** Genehmigungsfrei nach § 8 Abs. 1 ist die Anwendung von Stoffen am Menschen, wenn die spezifische Aktivität der Stoffe 500 Mikrobecquerel je Gramm nicht überschreitet.

**Teil B:** Genehmigungsfrei nach § 8 Abs. 1, § 17 Abs. 1 oder § 21 ist

1. der Umgang mit Stoffen, deren Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 nicht überschreitet,
2. der Umgang mit Stoffen, deren spezifische Aktivität die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 nicht überschreitet,
4. die Verwendung von Vorrichtungen, deren Bauart nach § 25 in Verbindung mit Anlage V Teil A zugelassen ist, ausgenommen Ein-, Ausbau oder Wartung dieser Vorrichtungen,
5. die Lagerung von Vorrichtungen, deren Bauart nach § 25 in Verbindung mit Anlage V Teil A zugelassen ist, sofern die Gesamtaktivität der radioaktiven Stoffe das Tausendfache der Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 2 nicht überschreitet,
6. die Gewinnung, Verwendung und Lagerung von aus der Luft gewonnenen Edelgasen, wenn das Isotopenverhältnis im Gas demjenigen in der Luft entspricht oder
7. die Verwendung und Lagerung von Konsumgütern und von Arzneimitteln im Sinne des Arzneimittelgesetzes, deren Herstellung nach § 106 oder deren Verbringung nach § 108 genehmigt ist. § 95 in Verbindung mit Anlage XI Teil B bleibt unberührt.

**Teil C:** Genehmigungs- und anzeigefrei nach § 12 Abs. 3 ist der Betrieb von Anlagen, deren

1. Bauart nach § 25 in Verbindung mit Anlage V Teil B zugelassen ist oder
2. Potentialdifferenz nicht mehr als 30 Kilovolt beträgt und bei denen unter normalen Betriebsbedingungen die Ortsdosisleistung in 0,1 Meter Abstand von der berührbaren Oberfläche 1 Mikrosievert durch Stunde nicht überschreitet.

## 6. WIE WERDE ICH STRAHLENSCHUTZBEAUFTRAGTER ?

1. Sie melden sich zu einem geeigneten Strahlenschutzkurs (FKG S 7.1 / R4) an, lernen in 16 Stunden die erforderlichen Grundlagen und bestehen am Ende die vorgeschriebene Prüfung. Sie erhalten dann vom Kursleiter eine Bescheinigung, mit der Ihnen die erfolgreiche Teilnahme an einem geeigneten Strahlenschutzkurs bestätigt wird.
2. Mit dieser Teilnahmebescheinigung beantragen Sie über den Dienstweg bei der vorgesetzten Dienstbehörde - das ist in der Regel das Regierungspräsidium - die Bescheinigung der Fachkunde im Strahlenschutz.  
(Siehe Vordruck unten!)
3. Wenn Ihnen die Fachkunde im Strahlenschutz bescheinigt worden ist, so können Sie von Ihrem Chef - in der Regel ist das der Schulleiter - zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt werden.  
(Siehe Vordruck auf der nächsten Seite!)
4. Eine Kopie des Formulars mit dem Sie zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt worden sind und eine Kopie des Formulars mit dem Ihnen die Fachkunde bescheinigt worden ist, schicken Sie an das zuständige Regierungspräsidium (Vor 2005: Gewerbeaufsichtsamt!).  
(Siehe Vordruck auf der übernächsten Seite!)

## 7. VORDRUCKE

### BEHÖRDE:

NAME	STRASSE	ORT	TELEFON

### MUSTER

BETRIFFT: Bescheinigung der Fachkunde gemäß § 30 und § 31 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sowie § 13 und 18a Röntgenverordnung (RöV)

ANLAGE: eine Mehrfertigung

Sehr geehrte \_\_\_\_\_

Hiermit bescheinigt Ihnen das Regierungspräsidium, dass Sie die zur Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten erforderliche Fachkunde gemäß § 30 und § 31 StrlSchV sowie § 13 und 18a RöV besitzen.

Mit freundlichen Grüßen

\_\_\_\_\_  
(DATUM)

DIENST-  
SIEGEL

\_\_\_\_\_  
(NAME / AMTSBEZEICHNUNG)

**SCHULE:**

NAME	STRASSE	ORT	TELEFON

**Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten****LEHRER:**

FAMILIENNAME	VORNAME	AMTS- bzw. DIENSTBEZEICHNUNG

Sehr geehrte \_\_\_\_\_



Sie werden hiermit gemäß § 30, 31 Strahlenschutzverordnung  
sowie § 13 und § 18a Röntgenverordnung  
zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt.  
Ihr Entscheidungsbereich wird nach § 31 Abs. 2 StrlSchV und § 13 Abs. 2 RöV wie folgt festgelegt:



Ihr Entscheidungsbereich wird wie folgt geändert:



Ihre Funktion als Strahlenschutzbeauftragter ist hiermit erloschen.  
Das Regierungspräsidium ist hiervon unterrichtet.

ANLAGE:



Anzeige gegenüber dem Regierungspräsidium

\_\_\_\_\_  
(DATUM)DIENST-  
SIEGEL\_\_\_\_\_  
(UNTERSCHRIFT DES SCHULLEITERS)

**SCHULE:**

NAME	STRASSE	ORT	TELEFON

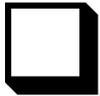
**A N Z E I G E**

**An das  
Regierungspräsidium**

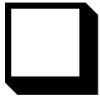
**gemäß § 30, 31 StrlSchV sowie  
§ 13 und § 18a RöV**

**LEHRER:**

FAMILIENNAME	VORNAME	AMTS- bzw. DIENSTBEZEICHNUNG



Der oben genannte Lehrer ist am \_\_\_\_\_ gemäß § 30 und § 31 StrlSchV sowie § 13 und 18a RöV zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt worden.  
Der Entscheidungsbereich wurde nach § 31 Abs. 2 StrlSchV und § 13 Abs. 2 RöV wie folgt festgelegt:



Der Entscheidungsbereich des oben genannten Lehrers hat sich am \_\_\_\_\_ wie folgt geändert:



Der oben genannte Lehrer ist am \_\_\_\_\_ aus der Funktion des Strahlenschutzbeauftragten ausgeschieden.

**ANLAGE:**



Bescheinigung der Fachkunde

\_\_\_\_\_  
(DATUM)

DIENST-  
SIEGEL

\_\_\_\_\_  
(UNTERSCHRIFT DES SCHULLEITERS)

## 8. HINWEISE ZUR UNTERRICHTSGESTALTUNG

Bei der Behandlung kernphysikalischer Themen im Unterricht sollte der Lehrer stets im Hinterkopf haben, dass der Schüler aufgrund seines Vorwissens in der Regel vor Radioaktivität Angst hat, und mit radioaktiven Stoffen nicht etwas Natürliches verbindet. Wenn nicht gerade Teufelswerk, so ist Radioaktivität zumindest ein gefährliches Produkt menschlichen Forschens und Handelns. Der Gedanke, dass auch Radionuklide aus Gottes Schöpfung stammen und schon seit Anbeginn unserer Erde in der Natur vorkommen, ist den Kindern meist fremd. Einführende Versuche mit radioaktiven Schulpräparaten und aufwendiger technischer Versuchsumgebung bergen die Gefahr, dass sich der Schüler in seinem Vorurteil bestätigt sieht. Die gerade im kernphysikalischen Anfangsunterricht vorhandenen Möglichkeiten, dem Schüler ein Radionuklid im Gestein als ein Stück Natur - wie beispielsweise das Chlorophyll in den Blättern - zu zeigen, sollten genutzt werden.

Die Bevorzugung von natürlichen radioaktiven Stoffen, wie beispielsweise das in einem schlecht gelüfteten Zimmer oft anzutreffende Edelgasisotop Rn-222 mit seinen Zerfallsprodukten oder das in manchen Backzusätzen reichlich vorhandene Kaliumisotop K-40 (siehe auch das nächste Kapitel „Radiographische Untersuchungen“) dient diesem Zweck.

Da die Angst vor radioaktiven Stoffen auch bei Eltern erwartet werden muss, verhindert die Verwendung derartiger Radionuklide auch überflüssige Auseinandersetzungen über vermeintliche Strahlen- und damit Krebsrisiken für ihre Kinder. Ein Stoff, den die Mutter vor Weihnachten als Gewürz für die Lebkuchen verwendet, kann nicht so gefährlich sein, dass man ihn nicht für einige Minuten vor ihrem Kind mit einem Zählrohr untersuchen darf. Durch die erlernten Kenntnisse über die Verbreitung von Radon in Wohnräumen, lässt sich die gesamte Jahresstrahlendosis mit einfachen Maßnahmen, wie beispielsweise häufigeres Lüften, sogar deutlich verringern. Wenn für Eltern und Schüler der Umgang mit radioaktiven Stoffen durchschaubar ist und eine Gefährdung ausgeschlossen werden kann, so lässt sich auch im Bereich der Kernphysik neben dem Demonstrationsexperiment das didaktisch und methodisch wertvollere Schülerexperiment einsetzen.

Ein weiterer Grund für die Verwendung von natürlichen Radionukliden im Unterricht liegt im Budget; radioaktive Präparate zu kaufen und zu entsorgen ist kostspielig. Wie im nachfolgenden Artikel beschrieben wird, können einfache Präparate auch selbst, durch Aufkonzentrieren von natürlichen Isotopen oder deren Zerfallsprodukten, hergestellt werden.

Da kein Unterricht ohne geschickte Motivation zum gewünschten Lernerfolg führt, wird der gute Lehrer stets Unterrichtsmaterialien bevorzugen, die aus dem Erfahrungsbereich der Schüler stammen. Ein aktueller Zeitungsartikel über einen Castortransport fördert das Interesse der Schüler wahrscheinlich mehr als die Gebrauchsanweisung einer Schulneutronenquelle. Der dunkle Fleck auf dem Tempotaschentuch, der einen Geigerzähler zum Ticken bringt und nur durch Abwischen eines Fernsehbildschirms entstanden ist, weckt mehr Interesse, als wenn ein gekauftes Schulpräparat für das Ticken verantwortlich ist.

Zum Schluss sei noch der unwesentlichste Punkt erwähnt. Der experimentierende Lehrer kann, bis auf die Strahlenschutzgrundsätze, sämtliche Vorschriften der Strahlenschutzverordnung vergessen. Eventuelle Ängste beim Umgang mit radioaktiven Präparaten - ob auch tatsächlich alle aktuellen Vorschriften eingehalten worden sind - erübrigen sich. Wie der erste Teil dieses Heftes zeigt, sind die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung für Schulen nicht unerheblich und führen bei manchen Lehrern zu immensen Ängsten, die sie überhaupt am Experimentieren hindern.

## 9. RADIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Natur unmittelbar kennenzulernen ist im Zeitalter der multifunktionalen Medien wichtiger denn je. Allerdings sind zum Nachweis von radioaktiven Stoffen in der Natur relativ aufwendige Sensoren (z.B. Geiger-Müller-Zählrohr) und teure Zusatzgeräte erforderlich, die einmal den Sensor mit der nötigen Spannung (z.B. 500 V) versorgen, das vom Sensor gelieferte Signal verstärken und auf geeignete Weise (Knacks in einem Lautsprecher, Zeigerausschlag oder Digitalanzeige) mitteilen. Will man mit einfacheren und billigeren Mitteln die Strahlung von radioaktiven Stoffen registrieren, so benötigt man diese Stoffe mit hohen Aktivitätskonzentrationen. So lässt sich beispielsweise ein winziges elektrisch geladenes Styroporkügelchen, das infolge der elektrostatischen Anziehungskraft an der Spitze eines langen Haares hängt, mit Hilfe eines  $\alpha$ -Strahlerstiftes (z.B. Am-241-Präparat mit einer Aktivität von 74 KBq) entladen. Das Kügelchen fällt nach wenigen Sekunden Bestrahlungsdauer herunter und der Schüler kann - ohne dass ihm der Blick durch viel Technik verbaut wurde - die Ursache dieser Entladung erraten. Leider hat auch dieser didaktisch äußerst wertvolle Versuch einen Haken. Der Umgang mit 74 KBq Am-241 ist nur einem Lehrer gestattet, der zuvor zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt worden ist. Diese Bestellung ist von einer vom Regierungspräsidium bescheinigten Fachkunde abhängig. Das Regierungspräsidium seinerseits darf laut Strahlenschutzverordnung die Fachkunde im Strahlenschutz nur bescheinigen, wenn der Lehrer einen sogenannten Fachkundenachweis vorlegen kann. Ein solcher Nachweis kann in einem Strahlenschutzkurs für Lehrer (Fachkundegruppe S 7.1 / R4) bei staatlichen oder auch privaten Einrichtungen erworben werden. Außerdem muss das zuständige Regierungspräsidium schriftlich über die Identität des Strahlenschutzbeauftragten informiert werden und jährlich muss diesem Amt die Bestandsmeldung des vorhandenen radioaktiven Inventars - in unserem Beispiel also des Am-241-Präparates - formlos angezeigt werden. Diese Vorschriften gelten für sämtliche, in Schulen überhaupt zulässigen radioaktiven Präparate (Schulneutronenquelle, Cs-137 / Ba-137 m - Isotopengenerator, Co-60, Na-22, Sr-90, und Mischpräparate) mit einer Aktivität oberhalb der sogenannten Freigrenze. Eines der wenigen Präparate, das unter dieser Freigrenze liegt und damit nicht anzeigepflichtig ist, wird von mehreren Lehrmittelherstellern als Ra-226-Strahlerstift mit einer Aktivität von weniger als 5 KBq angeboten. Um vor den jährlichen Anzeigen beim Regierungspräsidium verschont zu bleiben, muss zusätzlich beachtet werden, dass die Summe der Aktivitäten aller vorhandenen Präparate in der Sammlung die Freigrenze nicht überschreiten darf. Die Freigrenzen von über 2000 Nukliden sind in der Anlage 3 zur Strahlenschutzverordnung Tabelle 1 aufgeführt.

**Beispiele<sup>\*)</sup>:** Sie besitzen 2 KBq des Nuklides Ra-226 und 5 KBq des Nuklides Cs-137.  
(Freigrenzen: Ra-226  $\rightarrow$  10 KBq / Cs-137  $\rightarrow$  10 KBq)

NUKLID	AKTIVITÄT	ANTEIL VON DER FREIGRENZE
<i>Ra-226</i>	<i>2 KBq</i>	<i>20 %</i>
<i>Cs-137</i>	<i>5 KBq</i>	<i>50 %</i>
Summe:		<b><i>70 %</i></b>

Sie liegen **unterhalb** der Freigrenze und deshalb besteht keine Anzeigepflicht.

Sie besitzen 3 KBq des Nuklides Am-241 und 80 KBq des Nuklides Co-60.  
(Freigrenzen: Am-241  $\rightarrow$  10 KBq / Co-60  $\rightarrow$  100 KBq)

NUKLID	AKTIVITÄT	ANTEIL VON DER FREIGRENZE
<i>Am-241</i>	<i>3 KBq</i>	<i>30 %</i>
<i>Co-60</i>	<i>80 KBq</i>	<i>80 %</i>
Summe:		<b><i>110 %</i></b>

Sie liegen **über** der Freigrenze und müssen deshalb die Präparate dem Regierungspräsidium anzeigen.

<sup>\*)</sup> siehe auch Seite 13

Wer sich mit diesem Bürokratenreglement überhaupt nicht befassen möchte, kaum Etatmittel zur Verfügung hat und trotzdem interessante Versuche mit radioaktiven Stoffen durchführen möchte, muss einfach selbst nach radioaktiven Stoffen in der Natur suchen, diese Stoffe nach Möglichkeit aufkonzentrieren und sich zum Nachweis etwas mehr Zeit nehmen, als es bei der Verwendung von industriell gefertigten Präparaten nötig wäre. Selbstverständlich können diese Versuche ohne Einschränkung auch im Schülerversuch durchgeführt werden, einige eignen sich infolge der langen Beobachtungszeit sogar bestens als praktische Hausaufgabe.

### Suche nach geeigneten radioaktiven Stoffen

Schaut man sich in dem von der Bundesregierung jährlich herausgegebenen Bericht „**Umweltpolitik: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 20nn**“ (zu beziehen von: *Bundesamt für Strahlenschutz, Willy-Brand-Straße 5, 38226 Salzgitter, Fax: 05341 885 150*) ein wenig um, so findet man gleich auf der Seite 4 ein Diagramm, das die einzelnen Anteile der mittleren effektiven Dosis aufzeigt, der die Bevölkerung von Deutschland im Jahr ausgesetzt ist. Neben den von der Medizin verabreichten Dosen folgt unmittelbar als stärkste Komponente die Inhalation von Radon und dessen Folgeprodukten mit einem Anteil von 1,4 mSv. Da das in allen Isotopen radioaktive Radon in den Zerfallsreihen von U-235, U-238 und Th-232 auftritt und diese Nuklide praktisch überall vorkommen, dürfen wir sie und die Folgeprodukte auch in Baumaterialien erwarten. Während alle Nuklide in diesen Zerfallsreihen als Feststoffe vorliegen, ist das Radon ein Gas und kann deshalb die meisten Baumaterialien per Diffusion verlassen. Insbesondere bei schlechter Raumbelüftung reichert sich Radon und seine Zerfallsprodukte in der Luft an und konzentrieren sich an elektrisch negativ geladenen Punkten. So findet man beispielsweise auf der Oberfläche einer älteren Fernsehbirne oder eines älteren Computermonitors nach einigen Stunden Betrieb Radonzerfallsprodukte, die mit einem acetongetränkten Tempotaschentuch abgewischt - das bedeutet aufkonzentriert - werden können.

Falls in der Schule nur neue Geräte zur Verfügung stehen, so kann ein dünner, nicht isolierter 2 bis 3 m langer Draht, der an den negativen Pol einer Hochspannungsquelle (z.B. ein Funkeninduktor der einige 1000 V liefern kann) angeschlossen wurde, nach einer guten Viertelstunde mit dem oben beschriebenen Taschentuch entsprechend abgewischt werden. Der Raum in dem dieser Versuch durchgeführt wird, sollte zuvor möglichst für mehrere Stunden nicht gelüftet worden sein. Der so auf dem Taschentuch entstandene dunkle Fleck stellt ein selbsthergestelltes und trotzdem brauchbares radioaktives Präparat dar. Der didaktische Wert derartiger Präparate soll noch einmal betont werden.

Weitere radioaktive Quellen können leicht gefunden werden, wenn man Stoffe mit einem hohen Kaliumgehalt sucht. Zu nennen wären hier beispielsweise Mineraldünger (Blaukorn / NPK-Mehrnährstoffdünger), Lebkuchengewürz (Pottasche /  $K_2CO_3$ ) oder das in jeder Chemikaliensammlung vorhandene Kaliumchlorid. Kalium beinhaltet einen relativ hohen Prozentsatz ( $\approx 0,01\%$ ) des radioaktiven Isotops K-40 ( $\beta$ -aktiv) und eignet sich vorzüglich für Langzeitmessungen.

Wenn die Leuchtschicht (z.B. Zinksulfid) von Uhrzeigern oder anderen Meßinstrumenten - insbesondere, wenn diese Zeiger schon etwas betagt sind - auch nach langem Aufenthalt in der Dunkelheit immer noch leuchtet, ist in dieser Schicht wahrscheinlich ein radioaktiver Stoff (H-3 oder Ra-226) eingebaut und kann für unsere Untersuchungen verwendet werden. Da es sich in diesem Fall um offene radioaktive Stoffe von unter Umständen hohen Aktivitäten handeln könnte, sollten die Schüler auf die Gefahr einer möglichen Inkorporation dieser Stoffe hingewiesen werden.

Die meisten Glühstrümpfe, wie sie beispielsweise für Gasleuchten verwendet werden, enthalten Thorium. Es handelt sich hauptsächlich um Th-232, ein  $\alpha$ -aktives, extrem langlebiges und deshalb schwach radioaktives Isotop.

In manchen Wohnungen findet man Keramik (Blumenvasen, Fliesen) mit typisch gelblicher oder rötlicher Glasur. Das geübte Auge erkennt an dieser Farbe, ob sie von einer Uranverbindungen stammt, eine sichere Aussage, ob es sich um eine radioaktive Verbindung handelt, lässt sich durch die später beschriebene Radiographie machen.

### Nachweis dieser radioaktiven Stoffen

Es gibt im Elektronikhandel (z.B. Firma Conrad) preisgünstige Geräte für unter 100 € die geeignet sind, eine Änderung der  $\gamma$ - oder  $\beta$ -Dosis zu registrieren. Wenn man den Aufdruck (Bq, Gy und Sv) übersieht und sich darüber im klaren ist, dass sich mit diesen Billiggeräten lediglich ein Bruchteil ( $\gamma$ -Quanten  $< 1\%$  /  $\beta$ -Teilchen  $< 20\%$ ) der Teilchen registrieren lässt, die das eingebaute Zählrohr durchqueren, kann das Gerät zu Vergleichsmessungen in definiertem Abstand von einer Strahlenquelle benutzt werden. Eine Absolutmessung der Dosisleistung in Gray bzw. Sievert oder gar der Aktivität in Becquerel sind mit Geräten dieser Preisklasse nicht oder nur in der Werbung möglich. Eichbare Geräte sind erst zu einem Preis von mehreren Tausend Euro an aufwärts zu haben und damit für die Schule nicht erschwinglich.

Fast kostenlos lässt sich die Strahlung aus radioaktiven Stoffen mit Hilfe der Radiographie nachweisen. Der Haus- oder Zahnarzt stiftet bei entsprechender Motivation vielleicht einen Teil eines unbelichteten Röntgenfilms (z.B. Kodak DEF, Agfa D7). Wird beispielsweise ein Päckchen Pottasche für etwa einen Monat auf einen solchen Film gelegt und lässt man den Film anschließend bei dessen Spender entwickeln, so hebt sich der Umriß des Päckchens dunkel von seiner Umgebung ab. Hat man zwischen das Päckchen und den Film einen absorbierenden Gegenstand (z.B. seine Initialen aus Eisen- oder besser Bleiblech ausgeschnitten) gelegt, so erhält man von ihm mit dieser Technik ein Bild auf dem Film. Steht kein Röntgenfilm zur Verfügung, so klappt die Aufzeichnung der Strahlung auch mit einem Polaroidfilm, wenn man die Bestrahlungszeit etwa verzehnfacht. Zur Aufnahme der unten abgebildeten Radiographie wurde ein Röntgenfilm mit einer hauch-

dünnen Folie - wie sie schon von der Oma zum Verschließen von Marmeladegläsern verwendet worden ist - abgedeckt. Auf die Folie wurde dann ein etwa 2 mm starkes Blech gelegt, aus dem zuvor der Schriftzug „LEU“ gestanzt worden war und der ausgestanzte Bereich mit 2 - 3 mm Pottasche aufgefüllt. Während einer Bestrahlungszeit von 30 Tagen entstand dann - an den vom Blech ungeschützten Stellen - langsam durch den millionenfachen  $\beta$ -Beschluß aus dem K-40 das folgende Bild:



Wird als Strahlungsquelle ein thoriumhaltiger Glühstrumpf verwendet, reicht auch bei der Verwendung eines Polaroidfilmes die Bestrahlungszeit von etwa einem Monat. Selbstverständlich darf weder der Röntgen- noch der Polaroidfilm vor dem Entwickeln belichtet werden. Der Versuchsaufbau und sein Abbau muss in einer dunklen Ecke der Wohnung - am besten im Keller oder bei Nacht - durchgeführt werden. Während der langen Aufzeichnungsphase sollte die ganze Anordnung in einem lichtdicht verschlossenen Schuhkarton an einem kühlen unzugänglichen Ort der Wohnung untergebracht sein.

Die geringe Strahlungsdichte der verwendeten natürlichen radioaktiven Quellen erfordert eine extrem lange Bestrahlungszeit. Aus diesem Grund bieten sich derartige Experimente als (freiwillige?) Hausaufgabe an. Das Ra-226 - Präparat in einem Strahlerstift vermag aus einem Abstand von wenigen Millimetern auf einem Polaroidfilm bereits nach 20 Minuten einen dunklen Fleck mit einem Durchmesser von knapp 10 mm zu erzeugen. Wird dieser Versuch in der Schule und der vorher beschriebene als Hausaufgabe durchgeführt, so erhalten die Schüler ein Gefühl für den Begriff Strahlungsdichte, der eine Teilchenzahl beschreibt, die in einem definierten Zeitraum eine bestimmte Fläche durchsetzt. Verdoppelt man den Zeitraum so wird der Film von doppelt so vielen Teilchen durchsetzt, verzehnfacht man diesen so wird er von der zehnfachen Teilchenzahl durchsetzt. Die Radiographie gestattet in idealer Weise lange Bestrahlungszeiten und ist deshalb besonders für Untersuchungen mit kleinen Strahlungsdichten geeignet.

Die Radioaktivität wurde übrigens im Jahre 1896 durch Henri Becquerel radiographisch entdeckt.

## 10. REGIERUNGSPRÄSIDIEN BADEN-WÜRTTEMBERG / STRAHLENSCHUTZ

ANSCHRIFT	TEL / FAX	NETZ / E - POST
Regierungspräsidium-Stuttgart Ref. 54.4 Ruppmannstr. 21 70565 Stuttgart	0711 904 15457 0711 904 11190	<a href="http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1147396/index.html">http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1147396/index.html</a> achim.maxion@rps.bwl.de
Regierungspräsidium-Freiburg Ref. 54.4 Bissierstr. 7 79114 Freiburg	0761 208 2160 0761 208 394200	<a href="http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1154323/index.html">http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1154323/index.html</a> ulrich.willimsky@rpf.bwl.de
Regierungspräsidium-Karlsruhe Ref. 54.4 Hebelstr. 1-3 76133 Karlsruhe	0721 926 7664 0721 926 6211	<a href="http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1155946/index.html">http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1155946/index.html</a> juergen.mayer@rpk.bwl.de
Regierungspräsidium-Tübingen Ref. 54.1 Konrad-Adenauer-Str. 20 72072 Tübingen	07071 757 3867 07071 757 3190	<a href="http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1153486/index.html">http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1153486/index.html</a> walter.reinhard@rpt.bwl.de

## 11. LITERATUR

TITEL	AUTOR	VERLAG
<i>Experimente zur Radioaktivität / 1992</i>	<i>Martin Volkmer</i>	<i>ehem.: Hamburgische Elektrizitätswerke Angerburger Str., 22047 Hamburg</i>
<i>Basiswissen zum Thema Kernenergie / 1996</i>	<i>Martin Volkmer</i>	<i>ehem.: Hamburgische Elektrizitätswerke Angerburger Str., 22047 Hamburg</i>
<i>Radioaktivität und Strahlungsmessung / 2003</i>	<i>Henning v. Philipsborn</i>	<i>StMLU Rosenkavaliersplatz 2, 81925 München</i>
<i>Karlsruher Nuklidkarte / 2006</i>	<i>Seelmann - Eggebert</i>	<i>Firma Haberbeck, Industriestrasse 17 32791 Lage marktdienste@haberbeck.de</i>
<i>StrlSch-Informationen-System (SISy-Software) / 1995</i>	<i>H. Graffunder</i>	<i>Ingenieurbüro Graffunder Friedrichstr. 28, 76297 Stutensee</i>
<i>Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung / 2000</i>	<i>Bundesregierung</i>	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 120 629, 53048 Bonn</i>
<i>Man nehme einen Geigerzähler / 1985</i>	<i>Ruppert Maushart</i>	<i>GIT-Verlag Darmstadt</i>
<i>Grundlagen der Strahlungsphysik u. d. StrlSch / 2004</i>	<i>Anno Krieger</i>	<i>Teubner-Verlag Stuttgart</i>
<i>Strahlenschutzverordnung / 2001</i>	<i>Bundesregierung</i>	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 120 629, 53048 Bonn</i>
<i>Röntgenschutzverordnung / 2003</i>	<i>Bundesregierung</i>	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 120 629, 53048 Bonn</i>

## 12. NETZADRESSEN

ADRESSE:	BESCHREIBUNG
<i>http://www.</i>	
<i>bfs.de</i>	<i>Bundesamt für Strahlenschutz</i>
<i>cern.ch</i>	<i>CERN in Genf</i>
<i>desy.de</i>	<i>Deutsches-Elektronen-Synchrotron in Hamburg</i>
<i>fs-ev.de</i>	<i>Fachverband für Strahlenschutz</i>
<i>fzk.de</i>	<i>Forschungszentrum Karlsruhe</i>
<i>gsf.de</i>	<i>Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit</i>
<i>helmholtz.de</i>	<i>Deutsche Helmholtz-Forschungsgesellschaft</i>
<i>kernenergie.de</i>	<i>Kernphysik und Kerntechnik aus erster Hand</i>
<i>kfa-juelich.de</i>	<i>Kernforschungszentrum Jülich</i>
<i>ls-bw.de/allg/beratung/strahlenschutz</i>	<i>Hinweise des LS zum Strahlenschutz an Schulen</i>
<i>m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin</i>	<i>Lexikon (Strahlenphysik)</i>
<i>ptb.de/de/org/6</i>	<i>Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Ionisation)</i>
<i>rp.baden-wuerttemberg.de</i>	<i>Regierungspräsidien Baden-Württemberg</i>
<i>strahlenschutzkurse.de</i>	<i>Hinweise zu Inhalten von StrlSchK</i>
<i>ssk.de</i>	<i>Strahlenschutzkommission</i>
<i>um.baden-wuerttemberg.de</i>	<i>Umweltministerium von Baden-Württemberg</i>
<i>umweltministerium.bayern.de/bereiche/strahl/strahl.htm</i>	<i>Aktuelle Meßwerte der Gammadosisleistung in Bayern</i>

**13. ANHANG****Biologische Strahlenwirkungen**

(Fassung 1 / 2007)

von

Dr. Wolfgang Philipp

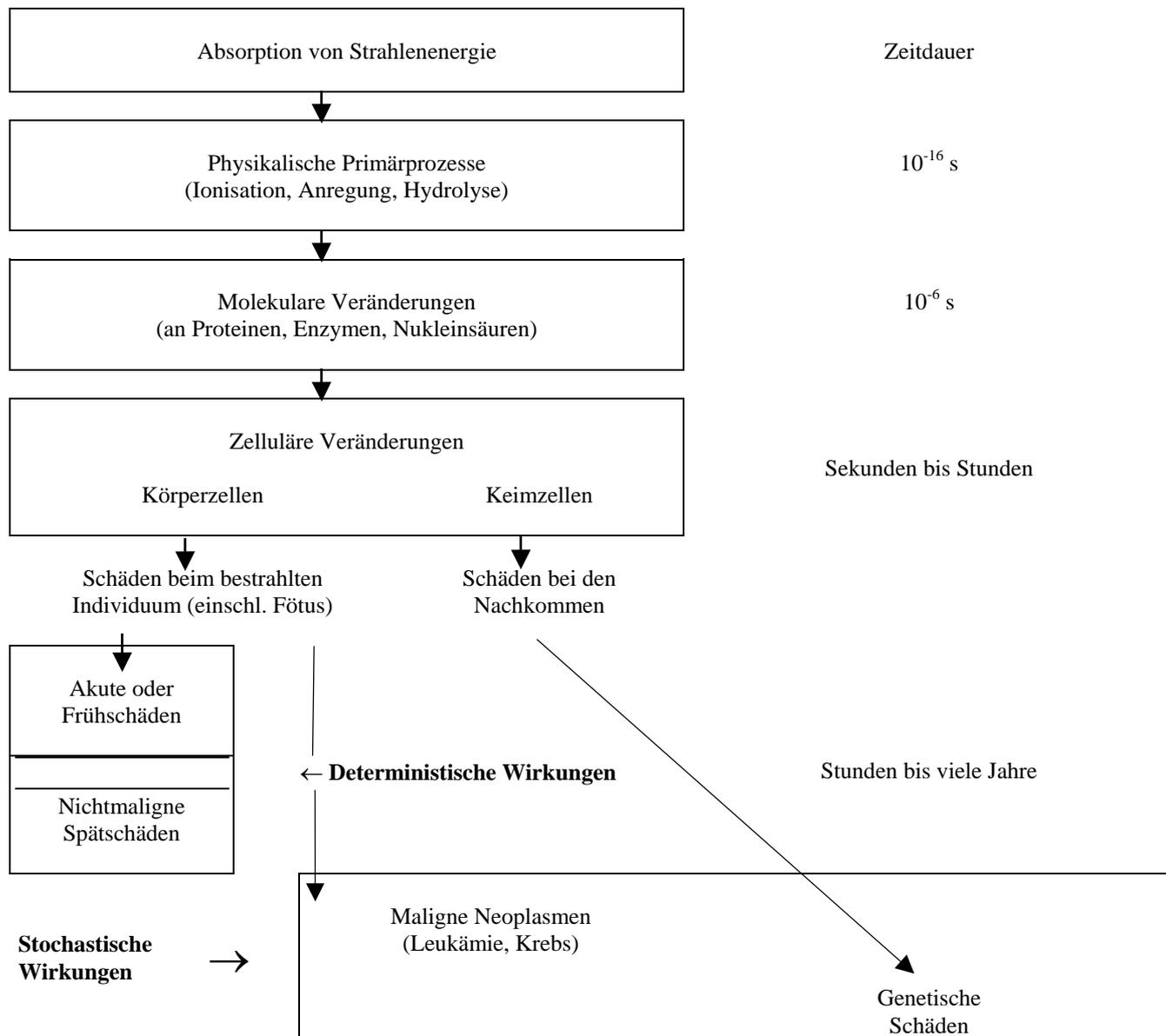
**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis .....	41
STRAHLENEXPOSITION UND STRAHLENSCHUTZ.....	42
1. Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie.....	42
2. Wirkung ionisierender Strahlung auf Zellen .....	43
3. Wirkung ionisierender Strahlung auf die DNA.....	43
4. Strahlenwirkungen .....	46
5. Zusammenhang zwischen Strahlendosis und Risiko.....	47
6. Die natürliche Strahlenexposition .....	48
7. Die zivilisatorische Strahlenexposition .....	51
8. Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung .....	55
9. Strahlenschutz .....	56
10. Strahlenexposition durch Schulpräparate .....	56
11. Dosiskoeffizienten.....	58
Literaturliste .....	60

# STRAHLENEXPOSITION UND STRAHLENSCHUTZ

## 1. Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie

Die nachfolgende Übersicht zeigt die zeitliche Reihenfolge der im menschlichen Körper ablaufenden Prozesse nach der Absorption ionisierender Strahlung (z.B. Lit. 1, Seite 79).



Die Wirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper ist abhängig von

- der Art und Energie der Strahlung
- der Dosis der Strahlung
- der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Strahlung
- Milieufaktoren.

## 2. Wirkung ionisierender Strahlung auf Zellen

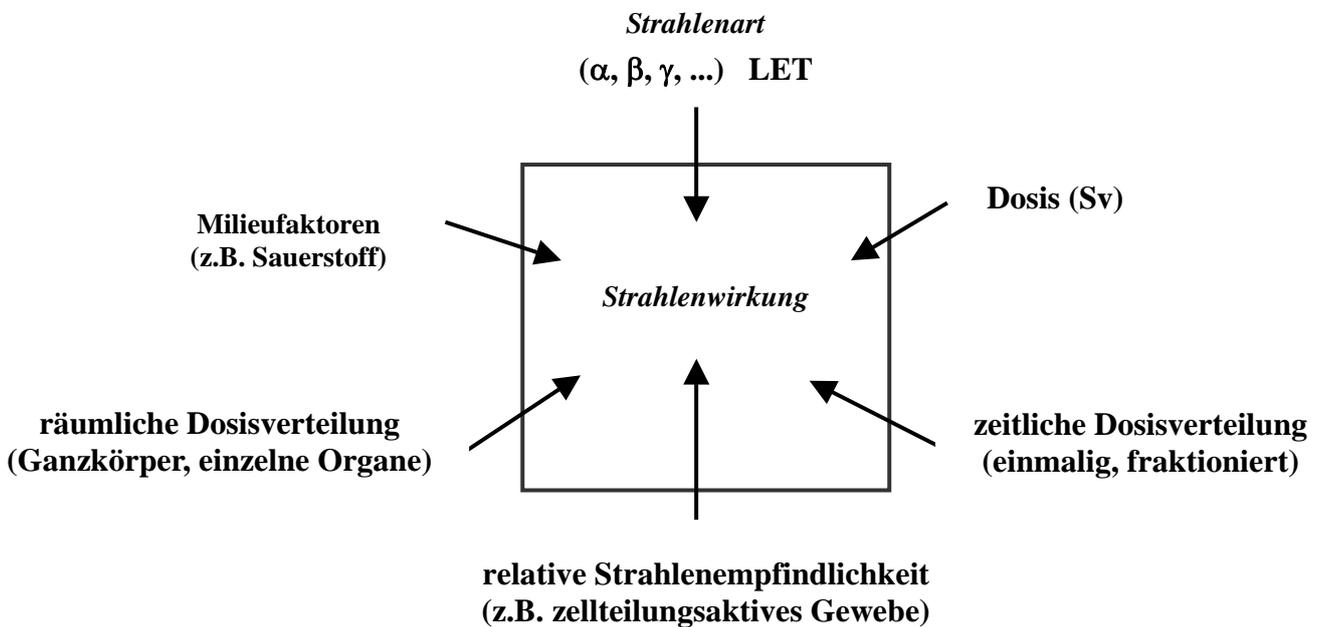
Wird Strahlungsenergie in einer Zelle absorbiert, so finden dort Ionisations- und Anregungsprozesse statt (Lit. 1, Seite 68 f.).  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen geben Energie an Atome und Moleküle über die Coulombwechselwirkung ab, während  $\gamma$ -Strahlung über Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung wechselwirkt. Neutronenstrahlung löst u.a. aus Atomkernen Protonen heraus, die über die Coulombwechselwirkung anregen und ionisieren können. Hierdurch können Molekülbrüche und chemische Reaktionen entstehen. Je nach der Zahl dieser Prozesse in einer einzelnen Zelle kann diese den Schaden reparieren, absterben oder geschädigt bleiben und sich weiter teilen.

Da eine Zelle zur Reparatur von Strahlenschäden *Zeit* benötigt, wird verständlich, dass die Dosis, über einen längeren Zeitraum verteilt (kleinere Dosisleistung) geringere Schädigungen hinterlässt als bei kürzerer Expositionsdauer, da die Zellen mehr Zeit haben, um ihre Reparaturmechanismen wirken zu lassen. Während der Zellteilungsphase sind Zellen besonders empfindlich gegenüber Strahleneinwirkung.

Da dicht ionisierende Strahlung (z.B.  $\alpha$ ) pro Zelle viele Ionisationen und Anregungen hervorruft, hat sie eine größere biologische Wirkung als locker ionisierende Strahlung (z.B.  $\beta$ ). Diese unterschiedliche Ionisationsdichte (**linearer Energietransfer (LET)**: mittlerer Energieverlust pro Weglänge  $\Delta W/\Delta x$ ) wird durch den Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$  (früher Qualitätsfaktor Q) berücksichtigt.

Die Energieabgabe von ionisierender Strahlung führt nicht etwa durch Temperaturerhöhung zur Schädigung von Körperzellen bzw. Lebewesen, wie nachfolgende Rechnung zeigt. Eine Person soll durch eine Ganzkörper-Gammabestrahlung eine letale Äquivalentdosis von 10 Sv erhalten. Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor von Gammastrahlung  $w_R = 1$  ist, beträgt die absorbierte Energiedosis 10 J/kg. Bei einer Masse von beispielsweise 70 kg nimmt der Körper dadurch eine Energie von 700 J auf. Hieraus ergibt sich eine Erhöhung der Körpertemperatur von ungefähr (bezogen auf den Wasserhaushalt der Person)  $\Delta\vartheta = W/(c \cdot m) = 0,0024$  K.

### Einflussfaktoren auf die Wirkung ionisierender Strahlung



### 3. Wirkung ionisierender Strahlung auf die DNA

Eine wichtige Rolle unter den vielfältigen Prozessen, die durch die Energieabgabe von Strahlung im Körper hervorgerufen werden können, spielt die **Schädigung des Moleküls der Erbmasse** (DNA: Desoxyribonukleinsäure).

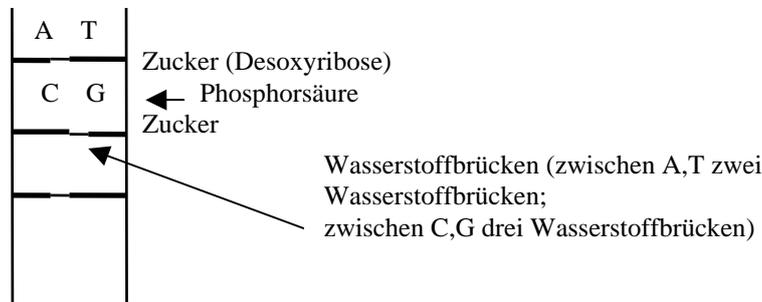
#### Aufbau der DNA

Die DNA besteht aus zwei umeinander gewundenen Molekülsträngen (Doppelhelix) und befindet sich im Kern jeder Zelle. Man kann sie mit einer Leiter vergleichen, deren Holme von Zuckerresten (Pentose) und Phosphorsäureresten gebildet werden und deren Sprossen aus vier organischen Basen **A, G, C, T** ( **A**denin, **G**uanin, **C**ytosin und **T**hymine) bestehen, die sich paarweise gegenüber stehen. Hierdurch wird die Erbinformation codiert. Zwischen den Basenpaaren A,T bzw. C,G befinden sich Wasserstoffbrücken (zwei zwischen A,T und drei zwischen C,G), die die beiden Einzelstränge verbinden.

Die menschliche DNA hat ca.  $2,9 \cdot 10^9$  Basenpaare und eine Länge in der Größenordnung von 1 m. In einer Zelle sind die beiden Stränge verdrillt, verknäuelt und dicht gepackt. Bei Viren beträgt die Länge der DNA wenige  $\mu\text{m}$ .

Das Molekulargewicht eines Strangs der DNA wird bei einem Strangbruch verändert. Nach einer Auftrennung der DNA-Stränge liefert eine Messung in einer Ultrazentrifuge das Molekulargewicht.

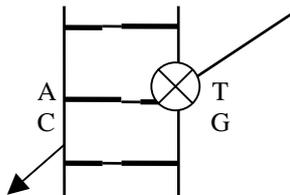
Schematische Darstellung eines Doppelstrangs der DNA



#### Mögliche Wirkungen ionisierender Strahlung auf die DNA

Durch Strahlung sind folgende **Schädigungen** der DNA möglich (Lit. 2, Seite 53 f, Lit. 10, sehr ausführlich in Lit. 15):

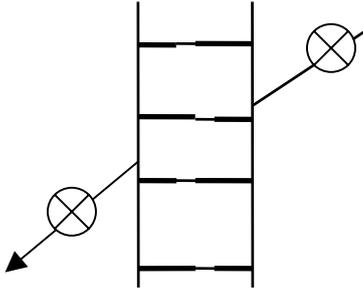
a) **direkte** Strahlenwirkung ( nach ca.  $10^{-12}$  s)



Die Energie wird direkt in einem DNA-Strang abgegeben, sodass ein Basenschaden entsteht (Bruch eines DNA-Strangs).

Strangbrüche können in einer Ultrazentrifuge durch Messung des Molekulargewichts der einsträngigen DNA nachgewiesen werden (Lit. 15, Seite 125 f.).

b) **indirekte** Strahlenwirkung ( nach ca.  $10^{-5}$  s)



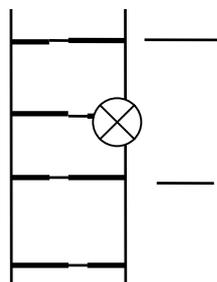
Die Strahlenenergie wird nicht direkt in einem DNA-Strang sondern in dessen Nähe abgegeben. Es findet eine Radiolyse des Wassers statt. Die dabei entstehenden Radikale sind sehr reaktionsfreudig (sie haben ein "freies" Elektron; Reichweite ca. 6 nm) und können einen DNA-Strang angreifen (Lit. 17). Als besonders gefährlich gilt  $\text{OH}^\bullet$ , weil es sehr reaktiv ist (es hat deshalb nur eine kurze Lebensdauer von ca.  $10^{-6}$  s) und weil kein abbauendes Enzym bekannt ist.

Sowohl die direkte als auch die indirekte Strahlenwirkung wird durch die Anwesenheit von Sauerstoff verstärkt, da DNA-Bruchstücke durch Sauerstoff oxidiert werden und die indirekten Effekte durch stärkere Bildung von  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$  usw. intensiviert werden.

**Reparaturmechanismen der DNA**

Es ist bekannt, dass jede biologische Zelle Schäden der DNA reparieren kann (Lit. 1, Seite 79f; Lit. 2, Seite 61f). Während eines durchschnittlich langen Lebens nimmt ein Mensch durch natürliche Strahlung eine Dosis von ca. 0,2 Sv auf. Dies führt zu ca.  $10^5$  Veränderungen von Basen.

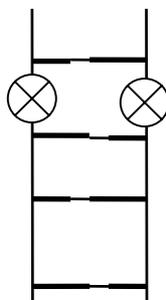
- Reparatur bei dem Bruch **eines** DNA-Strangs (Einzelstrangbruch)



dieses Stück des DNA-Strangs wird herausgeschnitten (durch ein Enzym (Nuklease) und anschließend „abgebaut“).

Um die Schadensstelle herum wird ein Stück des betroffenen DNA-Strangs durch ein Enzym (Nuklease) herausgeschnitten und dann „abgebaut“. Anschließend wird mit Hilfe des anderen unversehrten DNA-Strangs der Bereich des geschädigten Strangs reproduziert (Replikation).

- Reparatur bei einem **Doppelbruch** der DNA (Doppelstrangbruch)



Die beiden unterbrochenen Stränge werden entweder direkt verbunden, oder es wird jeweils ein Stück neu eingesetzt. Dabei kann die Reparatur Fehler aufweisen, die dazu führen können, dass die Zelle sich nicht mehr teilen kann oder dass ihre Funktionsweise verändert wird. Man nimmt an, dass durch eine falsche Reparatur (**DNA-Mutation**) auch Krebs ausgelöst werden kann.

## 4. Strahlenwirkungen

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP 60) hat eine Aufteilung der Strahlenwirkungen in **deterministische und stochastische Wirkungen** vorgeschlagen.

**Deterministische Wirkungen:** Das Ausmaß der Schädigung eines Einzelmenschen nimmt mit der Energiedosis zu, z.B. bei einer akuten Strahlenkrankheit. Es gibt einen Schwellenwert.

**Stochastische Wirkungen:** Die Dosis beeinflusst die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Krankheit aber nicht deren Schwere (z.B. bei genetischen Schäden, Leukämie, Krebs). Es existiert kein Schwellenwert.

Man kann Strahlenschäden einteilen in (Lit. 2, Seite 36f; Lit. 10):

- Früh- und Spätschäden,
- somatische und genetische Schäden.

*Somatische Schäden* treten bei dem bestrahlten Menschen selbst auf (in Körperzellen), während *genetische Schäden* (in Keimzellen) sich erst in den nachfolgenden Generationen auswirken.

### Frühschadenssymptome

Nach einer **akuten Ganzkörperbestrahlung** treten folgende **Frühschadenssymptome** auf (besonders in zellteilungsaktivem Gewebe). Ab einer:

- Schwellendosis von **0,25 Sv**: Veränderungen im Blutbild als erste klinisch erfassbare Bestrahlungseffekte
- subletalen Dosis von **1,0 Sv**: vorübergehende Strahlenkrankheit
- mittellletalen Dosis von **4,0 Sv**: schwerste Strahlenkrankheit (ohne Therapiemaßnahmen ist bei Dosen über **5,0 Sv** mit etwa 50% Todesfällen zu rechnen)
- letalen Dosis von **7,0 Sv**: der Ausfall des Zentralnervensystems

Je nach Höhe der Dosis treten Schädigungen auf von:

- dem blutbildenden System (Knochenmarkstammzellen sterben ab, die für die Bildung von Blutzellen wichtig sind, damit Abnahme der weißen Blutkörperchen → Infektionsgefahr steigt.)
- Verdauungstrakt (Schleimhäute)
- Zentralnervensystem

### Spätschäden

Zu den **Spätschäden** zählen:

- Aplastische Anämie (Abnahme der roten Blutkörperchen)
- Leukämie (tumorartiges Wachstum der weißen Blutkörperchen)
- Tumore der Haut und von inneren Organen
- Grauer Star
- Sterilität
- Schädigung des Erbguts.

Während **Frühschäden** erst ab einer **bestimmten Schwellendosis** auftreten, neigt man bei **Spätschäden** zu der Annahme, dass **keine Schwellendosis** vorhanden ist, d.h. dass auch kleine Dosen Spätschäden hervorrufen können.

(Feldmann (Lit. 12) geht auch bei Spätschäden von einer Schwellendosis aus!)

## 5. Zusammenhang zwischen Strahlendosis und Risiko

Bei der **Quantifizierung des Gesundheitsrisikos** durch ionisierende Strahlung spielen folgende Problemfelder eine wichtige Rolle (Lit. 11):

- das Auftreten von Krebs und Leukämie durch natürliche Einflüsse (spontane Inzidenz)
- die Extrapolation der beobachteten Wirkung hoher Dosen auf die Wirkung kleiner Dosen
- die Zeitextrapolation des Risikos über den Beobachtungszeitraum hinaus
- die Extrapolation von Strahlenrisikofaktoren für eine Bevölkerungsgruppe (japanische Strahlenopfer) auf eine andere Gruppe.

### Natürliche Krebsinzidenz

Die durch Strahlenexposition auftretende Wahrscheinlichkeit, an Krebs oder Leukämie zu erkranken, ist u.a. deshalb schwierig zu quantifizieren, weil

- bisher nicht zwischen „natürlich“ auftretendem und strahleninduziertem Krebs unterschieden werden kann,
- die statistischen Schwankungen der natürlich bedingten Krebsrate teilweise sogar schon höher sind als die Krebsrate bei relativer starker Strahlenexposition.

Die Wahrscheinlichkeit des möglichen Auftretens von Leukämie wird anhand der nachfolgenden Zahlen deutlich:

Die spontane Leukämierate beträgt  $\frac{60 \text{ Leukämiefälle}}{1.000.000 \text{ Menschen} \cdot 1 \text{ Jahr}}$

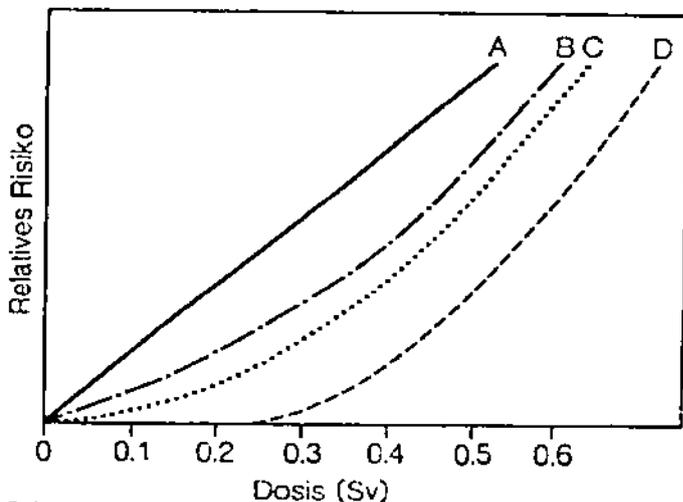
Bei Exposition mit einer (relativ hohen) Dosis von 0,5 Sv innerhalb von 24 Stunden beträgt die Leukämierate  $\frac{120 \text{ Leukämiefälle}}{1.000.000 \text{ Menschen} \cdot 1 \text{ Jahr}}$ , also eine Verdoppelung der spontan auftretenden Rate.

Bei den Atombomben-Überlebenden sind bei einer mittleren Energiedosis von etwa 0,24 Gy nur etwa 10% der beobachtbaren Krebs- und Leukämierate auf die Bestrahlung zurückzuführen.

### Extrapolation von Dosiswirkungen

Man diskutiert heute im Bereich **kleiner Dosen** verschiedene mögliche Zusammenhänge zwischen der von menschlichen Körper aufgenommenen Dosis und deren Auswirkungen (Lit. 1, Seite 84 f.; Lit. 2, Seite 50; Lit. 9,10).

- A Lineare Dosis-Risiko-Beziehung: von der Wirkung hoher Dosen wird linear auf die Wirkung kleiner Dosen extrapoliert (Von diesem Ansatz geht auch die ICRP aus).
- B Linear-quadratische Extrapolation.
- C Quadratische Dosis-Risiko-Beziehung: kleine Dosen sind relativ weniger wirksam als große Dosen.
- D Dosis-Risiko-Beziehung mit einem Schwellenwert (Frühschadenkurve).



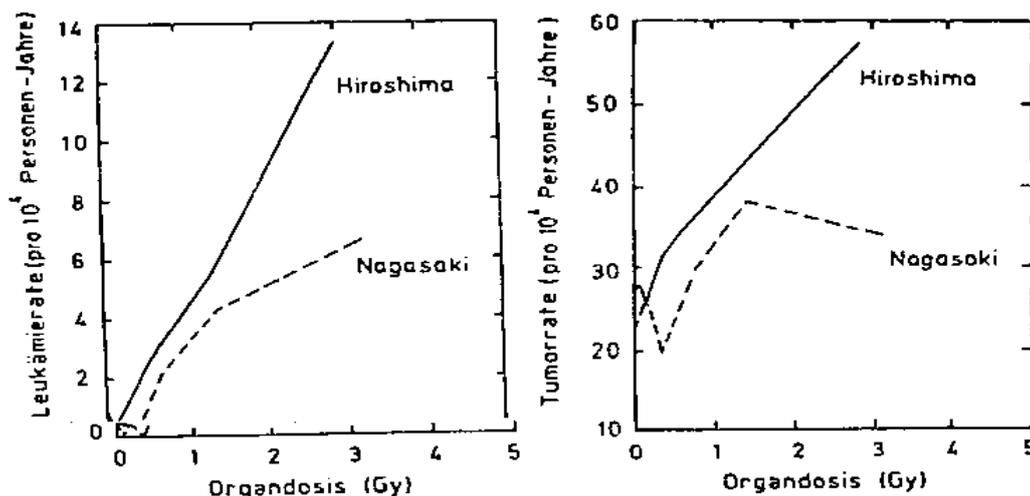
### Atombombenabwurf in Hiroshima und Nagasaki

Die neusten Auswertungen der Strahlenexposition beim Atombombenabwurf in Hiroshima und Nagasaki und deren langfristige gesundheitlichen Auswirkungen ergeben als Lebenszeit-Risiko (Lit. 11):

**7 ± 4 strahleninduzierte letale Krebs- und Leukamiefälle pro 100 Personen x Sv.**

Dabei wird das Risiko von somatischen Spätschäden heute höher eingeschätzt als früher, weil neuere Abschätzungen über die von der Hiroshima-Bombe ausgegangene Strahlung verwendet werden (Verhältnis von Gamma- und Neutronenstrahlung).

Nachfolgend aus Lit. 11 zwei Schaubilder zur Leukämie- bzw. Tumorrates in Hiroshima und Nagasaki:



Die Unterschiede zwischen den Kurven der beiden Städte sind statistisch nicht signifikant.

Auf Grund der Erkenntnisse bei der Kindergeneration der Opfer von Hiroshima und Nagasaki (F1-Generation) geht man davon aus, dass das Risiko für genetische Schäden bisher zu hoch bewertet wurde. Es sind bei der F1-Generation keine genetischen Schäden beobachtet worden.

### Zeitextrapolation

Um zu beschreiben, wie sich strahleninduzierte Spätschäden entwickeln, benutzt man zwei verschiedene Modelle.

• **Absolutes Risikomodell:**

Man nimmt an, dass eine Erkrankung allein als Folge der Bestrahlung und unabhängig vom Spontanrisiko eintritt. Strahlungsinduzierte und spontane Erkrankungsrate sind zu addieren. Die Gültigkeit dieses Modells hat sich für die Leukämie und Knochenkrebskrankungen der Atombombenopfer gezeigt: nach einer Latenzzeit stieg die Zahl der Erkrankungen über die Spontanrate an und hat sich anschließend wieder bei der Spontanrate eingependelt.

• **Relatives Risikomodell:**

Man nimmt an, dass die Erkrankungswahrscheinlichkeit infolge von Bestrahlung in jedem Alter um den gleichen Faktor gegenüber der Spontanrate erhöht ist. Für Krebsarten mit langen Latenzzeiten benutzt man heute relative Risikomodelle. Lungenkrebsfälle von Nagasaki werden dadurch zutreffend beschrieben.

Weil relative Risikomodelle im Alter zu höheren Erkrankungsrate führen, werden dadurch Risiken höher eingeschätzt als bei absoluten Risikomodellen.

## 6. Die natürliche Strahlenexposition

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen beträgt in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel **2,4 mSv/a** (effektive Dosisleistung) und setzt sich aus den folgenden vier Anteilen zusammen:

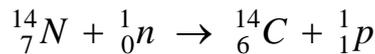
- kosmische Strahlung                    0,3 mSv/a
- terrestrische Strahlung                0,5 mSv/a
- innere Strahlung des Körpers        0,3 mSv/a
- Inhalation von Radon                   1,3 mSv/a

### 6.1 Die kosmische Strahlung

Die kosmische Primärstrahlung (Höhenstrahlung) besteht zum größten Teil aus energiereichen Protonen (von wenigen MeV bis zu  $10^{17}$  MeV), zu ca. 10% aus Heliumkernen und zu geringen Teilen aus schwereren Kernen, Photonen, Elektronen und Neutrinos. Dabei stammt der Hauptanteil aus unserer Galaxis und nur ein kleiner Teil von der Sonne. Die energiereichen Teilchen der kosmischen Primärstrahlung zertrümmern beim Eintritt in die Erdatmosphäre Kerne (z.B. N-14, O-16) und erzeugen dabei Neutronen, Protonen, Elektronen, Positronen, Photonen, Mesonen und Neutrinos, die die Komponenten der kosmischen Sekundärstrahlung bilden.

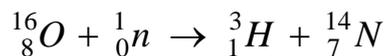
Die Neutronen der Sekundärstrahlung können durch Wechselwirkung mit Molekülen der Atmosphäre Radionuklide erzeugen, z.B. N-15, C-14, H-3 (Lit. 4, Seite 23).

Beispielsweise wird Kohlenstoff-14 wie folgt gebildet:



C-14 ist ein  $\beta$ -Strahler mit einer Halbwertszeit von 5736 a.

Tritium (H-3) kann aus Stickstoff oder Sauerstoff gebildet werden:

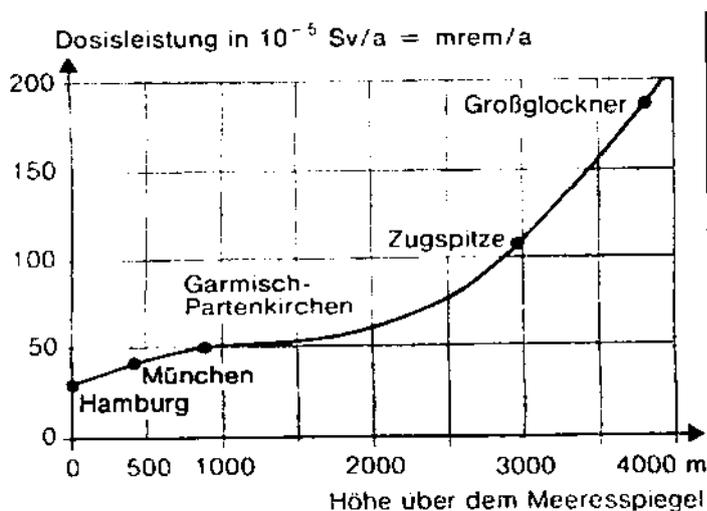


Tritium ist ein  $\beta$ -Strahler mit einer Halbwertszeit von 12,346 a.

Da das Erdmagnetfeld niederenergetische geladene Teilchen der Primärstrahlung in Abhängigkeit von der geographischen Breite verschieden stark in den Weltraum zurücklenkt, ist die kosmische Strahlung an den Magnetpolen der Erde höher als am magnetischen Äquator. Am Magnetpol ist die Geschwindigkeit der geladenen Teilchen annähernd parallel zu den magnetischen Feldlinien (also Lorentzkraft null).

Das folgende Schaubild zeigt für mittlere geographische Breiten, wie die Äquivalentdosisleistung von der Höhe über dem Meeresspiegel abhängt (Lit. 3, Seite 70).

Pro 1000 Höhenmeter beträgt die Zunahme der Dosisleistung ca. 0,15 mSv/a.

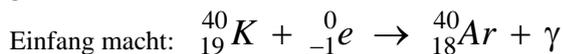


### 6.2 Die terrestrische Strahlung

Die terrestrische Strahlung stammt von Radionukliden, die

- einer der *drei Zerfallsreihen* angehören (Uran-Radium-, Uran-Actinium- und Thorium-Reihe), deren Ausgangselemente eine große Halbwertszeit verglichen mit dem Erdalter haben,
- *primordial* sind ("von Anfang an" vorhanden), eine sehr lange Halbwertszeit haben und keiner Zerfallsreihe an-

gehören, wie z.B. Kalium-40 mit einer Halbwertszeit von  $1,28 \cdot 10^9$  a, das sowohl ein  $\beta$ -Strahler ist als auch K-



- durch die kosmische Strahlung *ständig neu gebildet* werden, wie z.B. C-14, H-3, ... .

Die terrestrische Strahlung kommt zu

- 34,5% vom Kalium-40,
- 39,7% von Thorium-Reihe,
- 25,9% von Uran-Radium-Reihe.

Die terrestrische Strahlung ist auch für die „Erdwärme“ verantwortlich.

Die terrestrische Strahlenexposition ist stark abhängig vom Wohnort (Gesteinsarten des Untergrunds) wie nachfolgende Tabellen zeigen.

Gesteinsart, Bodenart	Herkunft	Spezifische Aktivität in Bq/kg		
		K-40	Th-232	Ra-226
Granit	Italien	925	63	37
Basalt	Hessen	444	22	30
Basalt	Pfalz	222	48	44
Basalt	Prag	444	33	56
Kalkstein	Pfalz	< 37	11	< 7
Bauxit	Weipa	999	444	< 19
Quarzporphyr	Ostdeutschland	1517	96	59
Rohphosphat	Marokko	703	22	1776
Bimsstein	Neuwied	1036	70	74
Rheinsand	Speyer	407	11	19

Messungen zeigen die große Schwankungsbreite der terrestrischen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland (Lit. 4, 6): Effektive Dosisleistung durch Strahlung *von außen*

im Freien		in Wohnungen	
Mittel 0,43 mSv/a	Maximum 2,91 mSv/a	Mittel 0,57 mSv/a	Maximum 2,43 mSv/a

Die erhöhte Dosisleistung in Wohnungen stammt von der Strahlung der Baumaterialien. In Wohnungen ergibt sich durch die Inhalation von Radon im Mittel eine zusätzliche Äquivalentdosisleistung von ca. 1,3 mSv/a.

In einzelnen Gebieten **der Welt** ergeben sich auf Grund der jeweiligen *Untergrundmaterialien* erheblich höhere mittlere Dosisleistungen:

Gegend	Bevölkerung in Millionen	Mittlere Dosisleistung in mSv/a	Höchste Dosisleistung in mSv/a
Gebiete mit normaler Strahlung	2500	1,2	-----
Granitbezirk Frankreich	7	3	4
Monazitbezirk Kerala/Indien	0,1	13	40
Monazitbezirk Atlantikküste Brasilien	0,05	5	120

Bisher konnte in Gebieten mit einer erhöhten natürlichen Strahlenexposition kein Anstieg der Wahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen oder der Mortalität oder sonstiger genetischer Schäden festgestellt werden (Lit. 2, Seite 24 f., Seite 70 f.).

### 6.3 Die innere Strahlenexposition

Durch die Nahrung und die Atemluft nimmt der Mensch Radionuklide natürlichen Ursprungs auf (vor allem **K-40, C-14, Ra-226 und Rn-222**), die eine innere Strahlenexposition verursachen. Während bei der kosmischen und der terrestrischen Strahlung im Wesentlichen eine Ganzkörperbestrahlung vorliegt (Wirkung der Gammastrahlung), können bei der Bestrahlung von innen einzelne Organe bzw. Geweberegionen verschieden stark belastet werden.

**Kalium-40 und Kohlenstoff-14** sind im Körper relativ gleichmäßig verteilt und bewirken deshalb eine Ganzkörperbestrahlung. Die mittlere effektive Äquivalentdosisleistung beträgt ca. 0,015 mSv/a bei C-14 und 0,2 mSv/a bei K-40.

Der menschliche Körper enthält im Mittel ca. 2 g Kalium pro kg Körpermasse, sodass sich z.B. bei einer Masse von 75 kg eine K-40 Aktivität von ca. 4,5 kBq ergibt. Die C-14 Aktivität beträgt ca. 3,7 kBq.

Das Radionuklid **Ra-226** lagert sich samt seinen Folgeprodukten Pb-210 und Po-210 vor allem in den Knochen und im Knochenmark ab. Dies führt zu einer Teilkörperdosisleistung von 0,4 mSv/a (bei einem Strahlungs-Wichtungsfaktor von 0,12 für das rote Knochenmark ergibt sich eine effektive Dosisleistung von  $\approx 0,05$  mSv/a).

Die Radionuklide **Rn-222** und **Rn-220** lagern sich in der Luft an Aerosole an und werden beim Atmen inkorporiert. Durch den  $\alpha$ -Zerfall werden vor allem die Bronchien belastet. Die Teilkörperdosisleistung beträgt im Mittel 10 mSv/a (bei einem Strahlungs-Wichtungsfaktor von 0,12 ergibt dies eine effektive Dosis von 1,2 mSv/a) und kann bei häufigem Aufenthalt in schlecht belüfteten Räumen bis auf 25 mSv/a steigen.

Die innere Strahlenexposition wird verursacht zu

- 60,7% von Rn-222 (Radon)
- 12,1% von Rn-220 (Thoron)
- 1,4% von Thorium-Reihe ohne Rn-220
- 13,0% von K-40
- 1,4% von Radionukliden aus kosmischem Anteil (z.B. C-14)
- 11,4% von Uran-Radium-Reihe ohne Rn-222

## 7. Die zivilisatorische Strahlenexposition

Neben der natürlichen Strahlenexposition ist der Mensch zwei zusätzlichen Strahlenexpositionen ausgesetzt (Lit. 2, Seite 25 f.; Lit. 5):

### 7.1 Der zivilisatorisch bedingten Exposition aus natürlichen Strahlenquellen; hierzu gehören vor allem:

- Emissionen aus Kohlekraftwerken,
- Langstreckenflüge in großen Höhen,
- Herstellung und Nutzung von Phosphatdüngern (uranhaltig),
- Aufenthalt in Wohnräumen (Radon und Folgeprodukte).

- **Strahlenbelastung durch Baumaterialien**

Stoff	Zusätzliche Strahlenexposition in mSv/a bezogen auf den Aufenthalt im Freien
Holz	-0,2 bis 0 (Abschirmung der Umgebungsstrahlung)
Kalksandstein, Sandstein	0 bis 0,1
Ziegel, Beton	0,1 bis 0,2
Naturstein, technisch erzeugter Gips	0,2 bis 0,4
Schlackenstein, Granit	0,4 bis 2,0

- **Strahlenexposition durch Fliegen**

Effektive Dosis durch Höhenstrahlung auf ausgewählten Flugrouten

Abflug	Ankunft	Dosisbereich* [ $\mu\text{Sv}$ ]
Frankfurt	Gran Canaria	10 - 18
Frankfurt	Johannesburg	18 - 30
Frankfurt	New York	32 - 75
Frankfurt	Rio de Janeiro	17 - 28
Frankfurt	Rom	3 - 6
Frankfurt	San Francisco	45 - 110
Frankfurt	Singapur	28 - 50

\* Die Schwankungsbreite geht hauptsächlich auf die Einflüsse von Sonnenzyklus und Flughöhe zurück.

7.2 Der **zivilisatorisch bedingten Expositionen** aus **künstlichen Strahlenquellen**; hierzu gehören vor allem Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin.

- **Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen** (Schätzungen)

Diagnostische Referenzwerte (DRW) (Lit. 29)

Die europäische Patientenschutzrichtlinie definiert DRW als *"Dosiswerte bei strahlendiagnostischen medizinischen Anwendungen oder - im Falle von Radiopharmaka - Aktivitätswerte für typische Untersuchungen an einer Gruppe von Patienten mit Standardmaßen oder an Standardphantomen für allgemein definierte Arten von Ausrüstung. Bei Anwendung guter und üblicher Praxis hinsichtlich der diagnostischen und der technischen Leistung wird erwartet, dass diese Werte bei Standardverfahren nicht überschritten werden."*

In der RöV sind DRW definiert als *"Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren"*. In § 16 Abs. 1 RöV heißt es: *"Als eine Grundlage für die Qualitätssicherung bei der Durchführung von Röntgenuntersuchungen in der Heilkunde oder Zahnheilkunde erstellt und veröffentlicht das Bundesamt für Strahlenschutz diagnostische Referenzwerte. Die veröffentlichten diagnostischen Referenzwerte sind bei der Untersuchung von Menschen zu Grunde zu legen."* Dem entsprechend dienen die veröffentlichten DRW den Ärzten in der diagnostischen Radiologie als obere Richtwerte, und sie sind gehalten, die Untersuchung so zu optimieren, dass die DRW im Mittel nicht überschritten werden.

In der StrlSchV sind DRW definiert als *"empfohlene Aktivitätswerte bei medizinischer Anwendung radioaktiver Arzneimittel, für typische Untersuchungen an Standardphantomen oder Patientengruppen mit Standardmaßen für einzelne Gerätekategorien."* In § 81 Abs. 2 StrlSchV heißt es: *"Bei der Untersuchung von Menschen sind diagnostische Referenzwerte zugrunde zu legen. Eine Überschreitung der diagnostischen Referenzwerte ist schriftlich zu begründen. Das Bundesamt für Strahlenschutz erstellt und veröffentlicht die diagnostischen Referenzwerte."* Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern "Optimalwerte". Sie geben die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden.

Die in der Tabelle angegebenen Dosen können in Einzelfällen um eine Größenordnung nach unten und oben schwanken.

Art der Untersuchung (Diagnose)	Dosis (mSv)				
	Haut	Knochenmark	Keimdrüsen weiblich männlich		Untersuchtes Organ
IV-Pyelogramm	ca. 70	2,5	9,5	3	ca. 10
Magen-Darm	160	7	4	1,5	ca. 10
Gallenblase	45	1	5	0,4	ca. 3
Lendenwirbelsäule	35	0,8	3 - 4	2 - 3	ca. 2
Becken	20	1	4	2	ca. 5
Thorax	0,5 - 2	0,1 - 0,4	0,03	< 0,01	ca. 1,2
Kontrasteinlauf	120	8 - 9	7 - 8	6 - 7	6 - 8
Mammographie	50	0,3 - 0,4	< 0,01	---	ca. 40

- Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt,
- Fallout von Kernwaffenversuchen,
- Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb,
- neuerdings der Fallout aus Störfällen von kerntechnischen Anlagen z.B. Tschernobyl.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die *mittlere effektive Dosis durch die zivilisatorische Strahlenexposition* der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1986 (Unfall Tschernobyl) und im Jahr 2004 (Lit. 6):

	1986	2004
kerntechnische Anlagen	< 0,01 mSv	
Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin (überwiegend durch Röntgendiagnostik); der Schwankungsbereich des Werts beträgt 50%	1,5 mSv	1,8 mSv
Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt	< 0,02 mSv	
Berufliche Strahlenexposition (Beitrag zur mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung)	< 0,01 mSv	
Fliegendes Personal Deutschland (Jahresmittelwert)		1,94 mSv
Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	0	
Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01 mSv	< 0,01 mSv
<b>Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition</b>	<b>ca. 1,55 mSv</b>	
Strahlenexposition durch den Unfall in Tschernobyl (im Jahr 1986, Mittelwert Deutschland )	ca. 0,11 mSv	< 0,015 mSv

Die im persönlichen Einzelfall erhaltene Dosis kann erheblich vom statistischen Mittelwert nach unten bzw. nach oben abweichen, im Fall einer diagnostisch medizinischen Untersuchung bis zum Faktor 20 (nicht zu reden von therapeutischer Strahlenanwendung).

- ***Strahlenexposition durch Rauchen***

Tabakpflanzen reichern aus dem Boden, vor allem aber über Blatthaare aus der Luft im Wesentlichen die Radionuklide Pb-210 und Po-210 in ihren Blättern an.

Dabei werden - je nach Anbaugebiet und Art des Tabaks - pro Zigarette Werte angegeben für die Aktivität von

Po-210 von 1,5 mBq bis 15 mBq,

Pb-210 von 2 bis 25 mBq,

Po-210 ( $T_{1/2} = 138$  d) und Pb-210 ( $T_{1/2} = 22,3$  a) sind Zerfallsprodukte aus der Uran-Radium-Reihe.

Aus der Anreicherung des Tabaks mit diesen Radionukliden resultiert für einen Raucher eine mittlere effektive Dosis von ca.  $1,2 \mu\text{Sv}$  pro Zigarette. Dieser Wert hängt natürlich von der Menge der radioaktiven Stoffe in der Zigarette und den Rauchgewohnheiten des Rauchers ab und ist daher nur als ein ungefährender Richtwert anzusehen.

Die Lungendosis wird unter denselben Bedingungen mit ca.  $14,5 \mu\text{Sv}$  pro Zigarette angegeben. Für einen Raucher, der jeden Tag 20 Zigaretten raucht, ergeben sich damit jährliche Strahlenexpositionen von:

Effektive Dosis:  $20 \times 365 \times 1,2 \mu\text{Sv} = \mathbf{8,8 \text{ mSv}}$

Organdosis Lunge:  $20 \times 365 \times 14,5 \mu\text{Sv} = \mathbf{106,0 \text{ mSv}}$

Quellen:

[http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/radio\\_zigaretten.html](http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/strahlenmedizin/radio_zigaretten.html)

<http://www.ngfg.com/texte/nv018.htm>

## 8. Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung

Die Strahlenschutzverordnung vom 26. Juli 2001 ist die maßgebende Vorschrift für den Strahlenschutz. Die Dosisgrenzwerte werden in § 46, 47 (Bevölkerung), § 54, 55, 56, 57ff (beruflich strahlenexponierte Personen) festgelegt.

Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexposition aus Tätigkeiten nach StrlSchV § 2 Abs.1 Nr. 1 (Tätigkeit mit künstlich erzeugten oder natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen, Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen,...) im Kalenderjahr **1 mSv**.

Nach § 47, 55 StrlSchV ergeben sich folgende Grenzwerte der effektiven Dosen einer Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe (Luft oder Wasser) aus Anlagen innerhalb eines Jahres:

Körperbereich	Beruflich strahlenexponierte Personen über 18 Jahre	Beruflich strahlenexponierte Personen unter 18 Jahre	Bevölkerung, Jahresdosis pro Person
1. Effektive Dosis	20 mSv	1 mSv	0,3 mSv
2. Organdosis für: Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark (rot)	100 mSv		1 mSv
3. Organdosis für: Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, (andere Organe oder Gewebe gemäß Anl. VI)	150 mSv		0,9 mSv
4. Organdosis für Knochenoberfläche	300 mSv		1,8 mSv
5. Augenlinse	150 mSv	15 mSv	
6. Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel jeweils	500 mSv	50 mSv	

### „Dosisgrenzwerte“ im Wandel der Zeit (zulässige Jahresdosis in heutiger Einheit mSv)

1902 (Röntgen)	25000 mSv	„ungefährlich“
1920	1000 mSv	„Schwellendosis“
1931	500 mSv	„erlaubte Dosis“
1936	250 mSv	
1948	150 mSv	
1956 (Rem)	50 mSv	„beruflich Strahlenexponierte“
2001/2002	20 mSv	„beruflich Strahlenexponierte“

## 9. Strahlenschutz

Um die Dosis beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Strahlern möglichst gering zu halten, gilt ganz allgemein die Regel mit den 5 "A":

- **Abschirmung** der Strahlung durch geeignete Materialien,
- Einhaltung eines sicheren **Abstandes** zur Strahlenquelle,
- Beschränkung der **Aufenthaltsdauer** in einem Strahlungsfeld (kurze Arbeitszeit),
- Verwendung einer möglichst geringen **Aktivität** der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung
- **Abstinenz**, d.h. weder essen, trinken noch rauchen während des Umgangs mit Strahlenquellen.

## 10. Strahlenexposition durch Schulpräparate

In der Anlage V der StrlSchV 2001 werden die "**Voraussetzungen für die Bauartzulassung**" dargelegt. Im Gegensatz zur StrlSchV von 1989 fehlt in der StrlSchV 2001 ein Hinweis auf Präparate für Unterrichtszwecke.

Entsprechend werden in der RöV 2003 Anlage 2, Abs. 4 die Voraussetzungen für den Betrieb von Röntengeräten dargelegt.

Man kann sich 300 Stunden in einem Abstand 0,1 m von einem Schulpräparat mit Abschirmung aufhalten, dessen Dosisleistung dem Grenzwert 1  $\mu\text{Sv/h}$  der Anlage V der StrlSchV entspricht, bis eine effektive Dosis 0,3 mSv erreicht wäre (gemäß des Grenzwerts 0,3 mSv/a nach § 47 der StrlSchV).

Die nachfolgende Tabelle gibt die **Strahlenexposition von Weichteilgewebe** durch die stärksten derzeit in den Schulen vorhandenen Präparate (nach StrlSchV 1989) ohne Abschirmung an. Dabei wird nur der Gamma-Anteil der Strahlung der jeweiligen Präparate berücksichtigt.

Radionuklid	Aktivität		Freigrenze StrlSchV 2001 in kBq	Dosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$	
	in kBq	( $\mu\text{Ci}$ )		Abstand 0,1 m	Abstand 0,5 m
Co-60	3700	(100)	100	130	5,2
Na-22	1850	(50)	1000	60	2,4
Cs-137	18500	(500)	10	150	6,0
Ra-226	370	(10)	10	12,5	0,5

### Strahlenexposition beim Experimentieren im Unterricht

Beispielhaft wird im Folgenden die Strahlenexposition durch ein **Ra-226 Präparat der Aktivität 60 kBq** (1,6  $\mu\text{Ci}$ ) diskutiert.

#### a) Alphastrahlung

Da die Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen von Ra-226 in Luft kleiner als 4 cm ist, tritt hierdurch bei normaler Tätigkeit keine Strahlenexposition auf.

#### b) Betastrahlung

Unter den Folgeprodukten von Ra-226 befinden sich auch  $\beta$ -Strahler. Sowohl die Messung als auch die Abschätzung ihres Beitrags zur Ortsdosisleistung ist nicht einfach, da die emittierten Elektronen keine einheitliche Energie haben, eine Vorabsorption eintritt und Bremsstrahlung entsteht. Für eine näherungsweise Abschätzung der Obergrenze der Ortsdosisleistung rechnet man mit der häufigsten Energie der  $\beta$ -Strahlung von  $\bar{W} = \frac{1}{3} W_{\text{max}}$ . Für eine vorsichtige

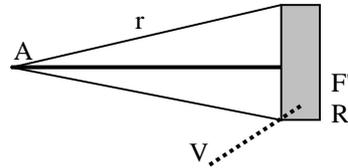
Abschätzung geht man von der größten unter den Folgeprodukten vorkommenden Maximalenergie in Höhe von 3,2 MeV aus.

Man erhält damit als mittlere Energie  $\bar{W} = \frac{1}{3} \cdot 3,2 \text{ MeV} = 1,1 \text{ MeV} = 1,76 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

Elektronen mit dieser Energie dringen in weiches Gewebe ca.  $R = 4 \text{ mm}$  tief ein.

Für die folgende Rechnung werden folgende, vereinfachende Annahmen gemacht:

- die Absorption der  $\beta$ -Strahlung in Luft wird vernachlässigt,
- der  $\beta$ -Strahler wird als näherungsweise punktförmig angesehen.
- das bestrahlte Volumen biete der Strahlung die Fläche  $F'$ , die als Ausschnitt einer Kugel mit Radius  $r$  angesehen werden kann.
- Die Reichweite sei  $R$ , d.h. die Strahlung werde in einer Schicht der Dicke  $R$  vollständig absorbiert, sodass  $V = F' \cdot R$  ist.



Dann wird die Fläche  $F'$  mit der Teilaktivität  $A' = A \cdot F' / (4\pi r^2)$  bestrahlt. Auf die Fläche  $F'$  entfällt damit die Energiestromstärke

$$\dot{W} = A' \cdot \bar{W} = A \cdot (F' / (4\pi r^2)) \cdot \bar{W} .$$

Mit  $m = V \cdot \rho$  folgt für die **Dosisleistung**  $\dot{D} = \frac{\dot{W}}{m} = \frac{A' \cdot \bar{W}}{V \cdot \rho}$ , also

$$\dot{D} = \frac{\dot{W}}{m} = \frac{\dot{W}}{V \cdot \rho} = \frac{A}{4\pi r^2 \cdot R \cdot \rho} \cdot \bar{W} .$$

Dies ist die Obergrenze für die  $\beta$ -Energiedosisleistung im Abstand  $r$  vom Präparat mit der  $\beta$ -Aktivität  $A$ .

Da  $w_R = 1$  für  $\beta$ -Strahlung, ergibt sich für die  $\beta$ -Äquivalentdosisleistung

$$\dot{H} = \frac{A}{4\pi r^2 \cdot R \cdot \rho} \cdot \bar{W} .$$

Mit  $A = 60 \text{ kBq}$  erhält man für den Abstand  $r = 0,30 \text{ m}$  bei einer Eindringtiefe  $R = 4 \text{ mm}$ :

$$\dot{H} = \frac{60 \text{ kBq}}{4\pi (0,3 \text{ m})^2 \cdot 0,004 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot 1,76 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 8,5 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} .$$

Dieser übervorsichtig abgeschätzte Wert erweist sich erwartungsgemäß als zu hoch. Eine Messung mit einem Dosimeter ergibt stattdessen ca.  $2 \mu\text{Sv/h}$  für die  $\beta$ -Strahlung.

### c) Gammastrahlung

Für den Gammastrahlungsanteil kann sofort die  $\gamma$ -Äquivalentdosisleistung angegeben werden:

$$\dot{H} = A \cdot \Gamma / r^2$$

$$\dot{H} = 60 \text{ kBq} \cdot 2,2 \cdot 10^{-13} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{Bq} \cdot \text{h}) \cdot 1 / (0,3 \text{ m})^2$$

$$\dot{H} = 0,15 \mu\text{Sv/h}$$

### Gesamtbelastung des Experimentators durch das Ra-226 Präparat

Angenommen man führt mit diesem Präparat 5 Versuche durch und pro Versuch beträgt die Experimentierzeit einschließlich Vorbereitung

a) 30 min bei einem Abstand von mindestens 0,50 m,

b) 5 min bei einem Abstand von 0,30 m (Einsetzen, Justieren des Präparats).

Dann erhält man als **Obergrenze der  $\gamma$ -Äquivalentdosis**:

$$H = 5 \cdot 30 \text{ min} \cdot 0,05 \mu\text{Sv/h} + 5 \cdot 5 \text{ min} \cdot 0,15 \mu\text{Sv/h} = 0,19 \mu\text{Sv}.$$

Eine merkliche Belastung durch die  $\beta$ -Strahlung tritt nur beim Einsetzen des Präparats und beim Justieren auf. **Obergrenze der  $\beta$ -Äquivalentdosis:**

$$H_{\beta} = 5 \cdot 5 \text{ min} \cdot 8,5 \text{ } \mu\text{Sv/h} = 3,5 \text{ } \mu\text{Sv}.$$

Damit ergibt sich bei den 5 Versuchen mit einem Ra-226 Präparat von 60 kBq eine Obergrenze für die Äquivalentdosis von ca. 3,7  $\mu$ Sv.

Während der Kernphysikunterrichtseinheit in Klasse 10 von ca. 5 Wochen (10 Unterrichtsstunden laut Lehrplan) beträgt die natürliche Strahlenexposition  $5/52 \text{ a} \cdot 2,4 \text{ mSv/a} = 0,23 \text{ mSv} = 230 \text{ } \mu\text{Sv}$ .

Weitere Einzelheiten zur "Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe bei Schulexperimenten" findet man in Lit. 8 und 16.

## 11. Dosiskoeffizienten

### (Strahlenexposition durch Inkorporation und Inhalation von Radionukliden)

Viele Menschen hat nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl und dem nachfolgenden radioaktiven Niederschlag die Frage beschäftigt: wie stark ist meine "Strahlenexposition", wenn ich kontaminierte Nahrungsmittel zu mir nehme?

Hierüber geben die **Dosiskoeffizienten (früher Dosismultiplikatoren)** Auskunft (Lit. 18). Die Dosiskoeffizienten sind für jedes Radionuklid tabelliert. Sie ermöglichen die Umrechnung von der inkorporierten (inhalierten) Aktivität (gemessen in Bq) auf die 50-Jahre-Folgedosis (in Sv) sowohl für einzelne Organe als auch für den Gesamtkörper. Die Dosismultiplikatoren werden berechnet auf Grund von Modellvorstellungen über biokinetische Stoffwechselforgänge im Körper. Neben den Stoffwechselforgängen ist für die biologische Auswirkung von Radionukliden die **effektive Halbwertszeit  $T_{\text{eff}}$**  eines Radionuklids maßgeblich. Hierunter versteht man folgende Größe:

$$1/T_{\text{eff}} = 1/T_{\text{phys}} + 1/T_{\text{biol}}$$

$T_{\text{phys}}$  ist die physikalische und  $T_{\text{biol}}$  die biologische Halbwertszeit (charakterisiert die Verweildauer im Körper). Bei C-137 ist  $T_{\text{phys}} = 30 \text{ a}$ ,  $T_{\text{biol}} = 110 \text{ d}$  und damit  $T_{\text{eff}} \approx 110 \text{ d}$ .

### Beispiele für Dosiskoeffizienten

#### Caesium-137

Bei der Inkorporation von Cs-137 ist der Dosiskoeffizient für Erwachsene für den Gesamtkörper  $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ . Er ist vom Körperorgan weitgehend unabhängig, weil sich Cs-137 wie Kalium im Körper gleichmäßig verteilt. Nimmt man z.B. durch Nahrung Cs-137 mit einer Aktivität von 100 Bq auf, so beträgt die 50-Jahre-Folgedosis  $100 \text{ Bq} \cdot 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 1,4 \text{ } \mu\text{Sv}$ .

#### Jod-131

Bei der Inkorporation von I-131 tritt eine Akkumulation in der Schilddrüse auf. Für diese ist der Organdosiskoeffizient für Erwachsene mit  $4,3 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$  deutlich höher als für die restlichen Organe mit  $10^{-10}$  bis  $4 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$ .

1 l Milch mit einer spezifischen Aktivität von 500 Bq/l I-131 ergibt für die Schilddrüse eine 50-Jahre-Folgedosis von  $500 \text{ Bq} \cdot 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq} \approx 0,22 \text{ mSv}$ .

Der Grenzwert der Schilddrüsenorgandosisleistung beträgt für die Bevölkerung 0,9 mSv/a und für beruflich Exponierte 300 mSv/a.

**„Tschernobyl-Menu“ (Sievert-Tabelle für Caesium-137)**

bezogen auf Cs-137 basierend auf den Dosiskoeffizienten  
(Daten aus Presseveröffentlichungen).

- Vorspeise:

*200 g Bodenseefelchen mit 565 Bq/kg*

$$\text{Aktivität } A = 0,20 \text{ kg} \cdot 565 \text{ Bq/kg} = 113 \text{ Bq}$$

- Hauptgang:

*250 g Rehkeule mit 4205 Bq/kg und*

*100 g Pfifferlinge mit 12 500 Bq/kg*

$$\text{Aktivität } A = 0,25 \cdot 4205 \text{ Bq} + 0,1 \cdot 12\,500 \text{ Bq/kg} = 2301 \text{ Bq}$$

- Nachtisch:

*100 g Brombeeren mit 202 Bq/kg und 0,25 l Milch mit 20 Bq/l*

$$\text{Aktivität } A = 0,1 \cdot 202 \text{ Bq} + 0,25 \cdot 20 \text{ Bq} = 25 \text{ Bq}$$

Gesamtaktivität (Cs-137) des Menus:

$$A = (113 + 2301 + 25) \text{ Bq} = 2439 \text{ Bq}$$

Damit 50-Jahre-effektive-Folgedosis durch Inkorporation von CS-137:

$$H = 2439 \text{ Bq} \cdot 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 34 \mu\text{Sv}$$

*Menu in anderer Umgebung gegessen:*

- Isst man das Menu auf der Zugspitze (4 h Aufenthalt), so zusätzliche Dosis 0,41  $\mu\text{Sv}$  (gegenüber 500 m NN).
- Isst man das Menu im Flugzeug Frankfurt – New York (8 h), so zusätzliche Dosis 10  $\mu\text{Sv}$  bis 40  $\mu\text{Sv}$  je nach Flughöhe und Flugroute.

**LITERATURLISTE ZUM ANHANG**

1. Atom- und Kernphysik, 4 Kernenergie, DIFF 1986, Wöhrdstraße 8, 72072 Tübingen
2. Strahlenschutz, Radioaktivität und Gesundheit, 7. Auflage 2003  
Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen,  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München (kostenlos erhältlich)
3. Volkmer, M.: Kernenergie Basiswissen  
Herausgeber: Informationskreis Kernenergie, Heussallee 10, 53113 Bonn
4. Volkmer, M.: Die natürliche Strahlenbelastung  
Herausgeber: Hamburgische Electricitäts-Werke AG, Schulberatung  
Überseering 12, 22297 Hamburg
5. Henk, H.: Die zivilisatorische Strahlenbelastung. Herausgeber: siehe 4.
6. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 1986  
Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über Umweltradioaktivität und  
Strahlenbelastung in den Jahren 1987 und 1988  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2004
7. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat RS II 2,  
Postfach 120 629, 53048 Bonn (kostenlos erhältlich)
8. Strahlung, Dosen, Wirkung, Risiken (deutsche Übersetzung des UNEP-Reports)  
Bezug siehe 6.
9. Sahn, J.: Zur radioaktiven Strahlenbelastung bei Schulexperimenten. PhuD 1 (1987) S. 14 - 22
10. Jacobi, W.: Strahlenexposition und Strahlenrisiko der Bevölkerung I,II  
Phys. Bl. 38 (1982) S. 122 - 126, 140 - 145
11. Feldmann, A.: Strahlenexposition und Strahlenwirkungen. PhiuZ 17 (1986) S. 80 - 87, 107 - 120
12. Paretzke, H.G.: Risiko für somatische Spätschäden durch ionisierende Strahlung  
Phys. Bl. 45 (1989) S.16-24
13. Feldmann, A.: Schadensinduktion und Schadensabwehr bei schwachen Dosen ionisierender Strahlung  
MNU 42/3 (1989) S. 131-143.
14. Bonka, H.: Schwankungsbreite der Ortsdosisleistung durch natürliche Strahlung  
Phys. Bl. 46 (1990), S. 126-128
15. Jacobi, W.: Radon - Strahlenwirkung und Strahlenschutz. Phys. Bl. 45 (1989), S. 430 - 434
16. Kiefer, J.: Biologische Strahlenwirkung, 2. Auflage 1989 Birkhäuser Verlag, Basel-Boston-Berlin
17. Treitz, K.: Strahlenbelastung bei kernphysikalischen Experimenten im Unterricht der Mittelstufe  
MNU 42/7 (1989) S. 401 - 405
18. Dertinger, H. u. Bors, W.: Sauerstoff-Radikale: Biologische Eigenschaften und Rolle bei der Wirkung kleiner Strahlendosen. KFK Nachrichten, Jahrgang 19, 4/87, S. 223 ff.
19. Noßke, D., Gerich, B., Langner, S.: Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion von Radionuklidverbindungen (Erwachsene). Institut für Strahlenhygiene Neuherberg, ISH-Heft 63
20. Burkart, W.: Die Beurteilung von Strahlenrisiken; Spektrum 12/1994, S. 112 ff.
21. Reiners, C.: Schilddrüsenkrebs bei Kindern in der Umgebung von Tschernobyl. Spektrum 12/1994, S. 117 ff.
22. Schalch, D., Scharmann, A.: Strahlenexposition in Reise Flughöhen. Spektrum 12/1994, S. 120 ff.
23. Krieger, Petzold: Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Band I, Teubner Stuttgart, 3. Auflage 1992
24. Maushart, R.: Man nehme einen Geigerzähler, Teil 1 Grundlagen, Teil 2 Messungen im Radionuklidlabor, GIT Verlag Darmstadt, 1985
25. Allkofer, O.C.: Teilchendetektoren, Thiemig München, 1971
26. Mayer-Kuckuk, T., Kernphysik, Teubner Stuttgart, 1984
27. Jäkel, C. E., Kernphysikalische Experimente mit dem PC, Praxis Schriftenreihe Physik Band 53  
Aulis - Deubner Köln, 1997
28. Strahlung und Strahlenschutz, 2004 3. Auflage, Broschüre Bundesamt für Strahlenschutz, Postfach 100149  
38201 Salzgitter ([http://www.bfs.de/bfs/druck/broschueren/str\\_u\\_strschutz.html](http://www.bfs.de/bfs/druck/broschueren/str_u_strschutz.html))
29. Radioaktivität und Strahlenschutz, LS Ph 7.0, Auflage Januar 2007
30. Bundesamt für Strahlenschutz: Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, Salzgitter 2003 (<http://www.bfs.de/ion/medizin/referenzwerte.html>)
31. Strahlenschutzverordnung 18. 6. 2002, LEU Ph 4.0
32. Röntgenverordnung 30. 4. 2003, LEU Ph 4.1

