

Informationen für die Strahlen- schutzunterweisung

Allgemeines	4
Ionisierende Strahlung	4
Arten von ionisierender Strahlung	4
Radioaktivität	4
Röntgenstrahlung	5
Mögliche Gefahren ionisierender Strahlen	7
Physikalische Effekte	7
Biochemische Effekte	7
Biologische Wirkung	8
Abhängigkeit von Dosis und Schäden	10
Röntgentechnik	10
Begriffe	10
Eigenschaften von Röntgenstrahlen	12
Schwächung und Abschirmung der Röntgenstrahlung	12
Physikalische Dosisbegriffe und Dosisbegriffe im Strahlenschutz	12
Physikalische Dosisbegriffe	12
Dosisbegriffe im Strahlenschutz	13
Gesetzliche Bestimmungen	13
Maximale Grenzwerte im Rahmen der beruflichen Tätigkeit	13
Einteilung beruflich strahlenexponierte Personen	13
Strahlenbereiche	14
Zutritt zum Kontrollbereich	14
Strahlenschutzrecht	15
Für den Strahlenschutz zuständige Personen	15
Aufsichtsbehörde	17
Genehmigung einer Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Einrichtung	17
Strahlenschutzanweisung	17
Arbeitsanweisungen	18
Vermeidung von Schäden durch Strahlenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen	19
Abschirmung	19

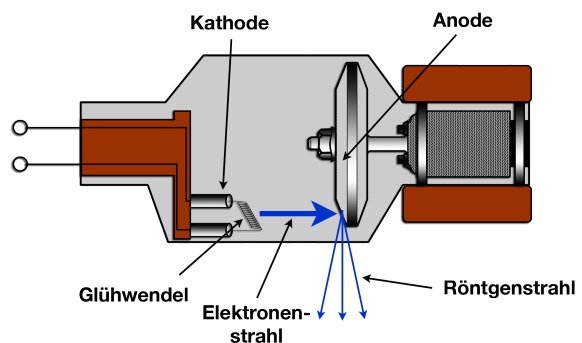
Reichweite von ionisierender Strahlung und Abstand	20
Aufenthaltsdauer	21
Geringe Aktivität	21
Strahlenschutz bei Frauen	21
Lagerung von überwachungsbedürftigen Materialien	22
Entlassung / Entsorgung von Rückständen aus der Überwachung	22
Strahlenschutzüberwachung	22
Qualitätskontrollen	24

Merkblatt zur Unterweisung im Strahlenschutz

Allgemeines

Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlung besitzt im Gegensatz zu nichtionisierender Strahlung genügend Energie, um Atome und Moleküle zu ionisieren, das heißt aus elektrisch neutralen Atomen und Molekülen positiv und negativ geladene Teilchen zu erzeugen. Bei Wechselwirkung mit Materie können dabei Elektronen aus den Atomhüllen herausgeschlagen werden, wodurch die ursprünglich elektrisch neutralen Atome elektrisch positiv werden (durch das Fehlen negativer Elektronen) und damit zu Trägern elektrischer Ladung werden. So erzeugt die Strahlung in der Materie/im Gewebe Ionen und gibt dabei Energie ab. Diese Veränderungen in der Materie (Ionisierung) können zu Schädigungen des Gewebes führen.



Arten von ionisierender Strahlung

Man unterscheidet Teilchenstrahlung (α -, β - und Neutronenstrahlung) und elektromagnetische Wellenstrahlung (Röntgen- und γ - (= gamma-) Strahlen).

Radioaktivität

Diese entsteht beim Zerfall von Atomkernen. Chemische Elemente mit instabilem Atomkern (Radionuklide) wandeln sich unter Aussendung von Teilchen (α -, β - Neutronenstrahlung) oder unter Energieabgabe (γ -Strahlung) in eine stabilere Konfiguration um. Der Umwandlungsprozess wird auch radioaktiver Zerfall oder Kernzerfall genannt.

Radioaktive Strahlen werden in der Nuklearmedizin angewandt. Dazu verbindet man radioaktiv strahlende Substanzen (s.o. Nuklide (z.B. Technetium) mit einer anderen körpereigenen oder körperfremden Substanz (z.B. Sestamibi). Diese andere Substanz sorgt dafür, daß das angekoppelte Nuklid an den gewünschten Ort im Körper gelangt. Die radioaktiv strahlende Substanz lagert sich hier verstärkt ab

und kann von außerhalb des Körpers mit speziellen Kameras (gamma-Kamera) nachgewiesen werden.

Halbwertszeit: Die Zeit nach der sich die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Aktivität umgewandelt hat. Nach einer Halbwertszeit sind noch die Hälfte, nach zwei Halbwertszeiten noch ein Viertel und nach drei Halbwertszeiten noch ein Achtel der Aktivität vorhanden.

In der Nuklearmedizin verwendet man in der Regel Nuklide mit kurzer Halbwertszeit.

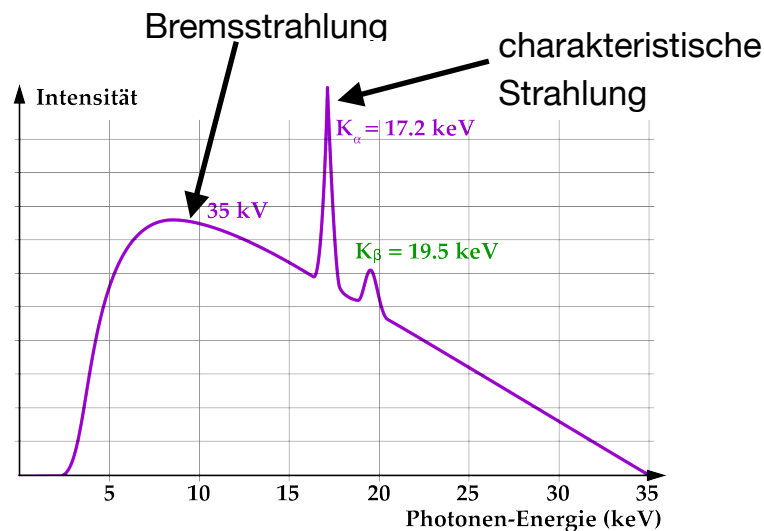
Bei den Halbwertszeiten unterscheidet man die

- **physikalische Halbwertszeit:** Das ist diejenige Zeit, nach der das strahlende Material selber außerhalb eines lebenden Körpers die Hälfte seiner Aktivität verloren hat. Sie beträgt beispielsweise für Tc-99m 6,0 Stunden, für Tl-201 73 Stunden oder für I-123 13,2 Stunden.
- **biologische Halbwertszeit:** Das ist diejenige Zeit, nach der eine strahlende Substanz innerhalb eines lebenden Körpers die Hälfte ihrer Aktivität verloren hat. Die effektive Halbwertszeit ist in der Regel kürzer als die physikalische, weil die Substanz in der Leber abgebaut oder über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden wird. Für Tc-99m beträgt sie beispielsweise 4 Stunden.
- **effektive Halbwertszeit:** Sie ist die eigentlich wichtigste Größe, denn sie beschreibt die tatsächliche Aktivitätsabnahme in dem betrachteten biologischen Organismus. Für Tc-99m beträgt sie beispielsweise 2,4 Stunden

Röntgenstrahlung

Röntgenstrahlen entstehen nicht durch den radioaktiven Zerfall instabiler Atomkerne, sondern werden vom Menschen in speziellen Röntgenanlagen künstlich hergestellt.

Dazu werden in der Röntgenröhre Elektronen mit hoher Geschwindigkeit von der Kathode auf die Anode „geschossen“. Hier geschehen 2 Dinge:



Röntgenspektrum mit Brems- und charakteristischer Strahlung

1. Die Elektronen prallen auf die Atomkerne des Anodenmaterials. Dadurch werden sie z.T. abrupt abgebremst, z.T. verändert sich aber auch ihre Flugbahn. Durch Abbremsen und Veränderung der Flugbahn entsteht die so.g **Bremsstrahlung**.
2. In einem Atom kreisen unterschiedlich viele Elektronen auf Kreisbahnen um den Atomkern. Auf jeder Kreisbahn tragen die hierin befindliche Elektronen eine unterschiedliche Energiemenge; die kernnahen Elektronen haben eine hohe, die kernfernen Elektronen eine geringere Energie.

Wenn nun Elektronen von außerhalb auf ein Atom prallen dann können sie kernnahe fliegende Elektronen in kernfernere Bahnen „verschieben“. In diesem Fall spricht man von der „Anregung eines Atoms“. Weil dies ein unnatürlicher Zustand ist fällt dieses Elektron wieder zurück auf seine ursprüngliche Kreisbahn. Dabei wird ebenfalls Röntgenstrahlung frei. Diese Art der Strahlung nennt man „**charakteristische Strahlung**“.

Röntgenstrahlung ist also eine elektromagnetische **Wellenstrahlung**, keine Kernstrahlung! Das Spektrum der Röntgenstrahlung besteht aus charakteristischer Röntgenstrahlung und Bremsstrahlung.

Die Strahlung wird von mehreren Parametern beeinflusst:

- Röhrenspannung
- Röhrenstrom
- Filterung

- Anodenmaterial
- Fokusabstand.

Mögliche Gefahren ionisierender Strahlen

Wenn ionisierende Strahlung auf lebendes Gewebe trifft hat dies mehrere Effekte, die eine Gefahr für den Körper der bestrahlten Person darstellen kann:

Physikalische Effekte

- Ionisation, d.h. elektrische Ladung von Atomen und Molekülen durch das „Herausschlagen“ von Elektronen aus den Atomen
- Erwärmung von Zellen durch die Abgabe von Energie an die Zellen

Biochemische Effekte

- Zerschneiden von Molekülen
- Veränderung der DNS, d.h. der Erbsubstanz der Zellen:

Die DNS (Desoxyribonukleinsäure) ist ein komplex zusammengesetztes Molekül, das aus vielen Einzelmolekülen besteht. Diese einzelnen Moleküle bilden aneinander gereiht eine Kette (oder anders ausgedrückt: einen Strang).

In der menschlichen DNS sind 2 solcher Ketten miteinander verbunden und spiralförmig miteinander verdreht. Dies ist der DNS-Doppelstrang. Jedes Chromosom des Menschen besteht aus 1 derartigen Doppelstrang.



In der Reihenfolge der einzelnen Moleküle eines DNS-Strangs sind die Erbanlagen des Menschen festgelegt.

Beide Stränge einer Doppelhelix sind genau spiegelbildlich aufgebaut, indem sich spezielle Einzelmoleküle des einen Strangs nur mit definierten Einzelmolekülen des anderen Strangs verbinden können.

Durch die Einwirkung ionisierender Strahlen können 1 oder beide DNS-Stränge brechen, es können eines oder mehrere Einzelmoleküle heraus geschossen werden oder es können Einzelmoleküle an 1 Stelle heraus geschossen und an einer anderen Stelle des Strangs wieder eingesetzt werden. Solche Veränderungen der DNS führen somit zu einer Veränderung der Erbsubstanz einer Zelle oder gar zu deren Tod.

Aus den oben beschriebenen Veränderungen ergeben sich u.U.

Biologische Wirkung

Strahlenschäden bei Mensch und Tier lassen sich einteilen in:

- **Somatische** Schäden, die beim bestrahlten Organismus selbst auftreten.
- **Teratogene** Schäden, die während der Schwangerschaft eine Schädigung des Embryos verursachen.
- **Genetische** Schäden, die erst bei den Nachkommen auftreten.

Bei den somatischen Schäden unterscheidet man Früh- und Spätschäden:

- **Frühschäden** entstehen infolge von Zellschädigungen oder Zelltod. Sie treten nach Stunden oder spätestens nach einigen Wochen auf (Strahlenkrankheit). Medizinisch nachweisbar sind diese Schäden erst, wenn eine Mindestdosis (Schwellendosis) an Strahlung aufgenommen wurde, die für den Menschen zwischen 200 und 300 mSv liegt.

Feststellbare Schäden zeigen sich erst dann, wenn eine große Anzahl an Zellen betroffen ist.

Abhängig von der Höhe der Dosis, der Art der Strahlung und davon, welche Organe und Gewebe betroffen sind, reichen sie von

- Kopfschmerzen
- Hautrötungen
- Veränderungen des Blutbildes
- Übelkeit
- Durchfall
- Haarausfall
- Entzündungen
- innere Blutungen
- Versagen des Nervensystems

Ganzkörperdosen über 6 Sv (= 6.000 mSv) führen in nahezu allen Fällen zum Tod

Ihr Auftreten ist in der Regel von der „Menge“ der Strahlendosis ab, mit der der Mensch belastet wurde: Je mehr Strahlendosis, desto größer der Strahlenschäden.

Man nennt solche Schäden „**deterministische Schäden**“. Sie treten erst oberhalb einer bestimmten Strahlendosis auf, bei geringeren Dosen können die Reparaturmechanismen der Zellen den Schaden ausgleichen.

- **Spätschäden** machen sich erst Jahre oder Jahrzehnte nach der Bestrahlung äußerlich bemerkbar, obwohl die Zellen schon unmittelbar nach der Bestrahlung geschädigt wurden. Man kann unterscheiden zwischen bösartigen (= malignen) (z.B. Leukämie) und nicht bösartigen Spätschäden (wie Unfruchtbarkeit oder eine Trübung der Augenlinse).

Solche Schäden entstehen durch Veränderungen des Erbmaterials (DNS) von Zellen.

Anders als bei den oben beschriebenen „deterministischen“ Schäden ist die Schwere (!) des Strahlenschadens nicht von der Dosis abhängig. Dosisabhängig ist vielmehr die Wahrscheinlichkeit (!) eines Schadens: Geringe Dosis = niedrige Wahrscheinlichkeit eines Schadens, hohe Dosis = große Wahrscheinlichkeit.

Solche Spätschäden bezeichnet man als „**stochastische Schäden**“.

Den Unterschied zwischen deterministischen und stochastischen Schäden sehen Sie zusammengefaßt in der unten folgenden Tabelle.

	Deterministische Strahlenschäden	Stochastische Strahlenschäden
Beschreibung	Schäden, die nur oberhalb eines Schwellenwertes der Dosis auftreten	Später auftretende Schäden aufgrund von Zellen, deren DNS (Erbmaterial) geschädigt wurde
Ursache des Schadens	Abtötung oder Fehlfunktionen zahlreicher Zellen	Mutationen und nachfolgende Vermehrung von einzelnen mutierten Zellen (Körperzellen oder Keimzellen)
Dosis-Abhängigkeit	Je höher die Strahlendosis, desto schwerer der Strahlenschaden	Je höher die Strahlendosis, desto höher die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Strahlenschadens
Dosis-Schwellenwert	ca. 500 Millisievert (mSv); beim ungeborenen Kind ca. 50 bis 100 mSv	Nicht vorhanden
Beispiele	Rötungen der Haut, Haarausfall, Unfruchtbarkeit, akute Strahlenkrankheit, Fehlbildungen und Fehlentwicklungen des Gehirns beim Ungeborenen	Krebs, vererbte Effekte

Abhängigkeit von Dosis und Schäden

Ganz allgemein kann man einen Zusammenhang zwischen der Dosis, mit der ein Mensch belastet wurde und dem Auftreten (deterministischer oder stochastischer) Schäden beobachten:

Dosis (mSv)	Strahlenschäden
250 - 500	Veränderung am Blutbild, Schäden bei Embryos
1.000	beginnende Strahlenkrankheit (Übelkeit, Erbrechen, Haarausfall)
2.000	Strahlenkrankheit, Hautschäden, ca. 10% Todesfälle
3.000	Blutungen, schwere Veränderung im Blutbild, ca. 20% Todesfälle
4.000	schwere Entzündungen, 50% Todesfälle
>6000	>90% Todesfälle

Röntgentechnik

Begriffe

Röhrenspannung [kV]:

Dies ist die elektrische Spannung zwischen der Kathode (Glühwendel) und der Anode. Je größer diese Spannung ist desto höher ist die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen auf die Anode zurasen und desto größer ist die Wucht, mit der sie auf der Anode aufprallen.

Die Röhrenspannung bestimmt somit die Energie der beschleunigten Elektronen und damit die Energie der Strahlung. Hierdurch führt eine Erhöhung der Röhrenspannung zu einer höheren Eindringtiefe der Strahlung ins Gewebe.

Die höchstmögliche Röhrenspannung wird auch Nennspannung genannt.

Röhrenstrom [mA]:

Dies ist der elektrische Strom, der durch die Glühwendel der Kathode fließt. Er bestimmt die Anzahl der austretenden Elektronen und damit die Strahlungsintensität.

Durch Erhöhung des Röhrenstroms steigt die Anzahl der zwischen Kathode und Anode beschleunigten Elektronen und ihr Fluß wird größer, sodaß die Dosisleistung zunimmt.

Filterung:

Die in der Röntgenröhre entstehende Strahlung wird durch die sog. Filterung verändert. Dabei unterscheidet man die „Eigenfilterung“ der Röhre und die sog. Zusatzfilterung, beide zusammen ergeben die Gesamtfilterung der Röhre.

Eigenfilterung: Sie entsteht z.B. durch

- Aufrauhung der Anode
- das Material der Röhrenwand
- die Beschaffenheit des Strahlenaustrittsfensters und
- eine evtl. Ölfüllung der Röhre.

Zusatzfilterung: Sie entsteht z.B. durch

- Filter am Strahlenaustrittsfenster, um die Qualität der Röntgenstrahlung zu beeinflussen (Aufhärtung), z.B. durch Absorption von niedrig energetischen Strahlungsanteilen, da diese nicht bildwirksam sind, aber zur Strahlenbelastung beitragen.

Anodenmaterial:

Je höher die Ordnungszahl des Anodenmaterials ist, umso härter ist die Strahlung der charakteristischen Röntgenstrahlung und die Intensität der Bremsstrahlung.

Weiche und harte Röntgenstrahlung:

- **Weiche** Röntgenstrahlung hat eine geringe Energie, eine niedrige Frequenz und eine große Wellenlänge. Sie entsteht in der Regel bei Röhrenspannungen von ≤ 100 kV.
- **Harte** Röntgenstrahlung hat eine hohe Energie, eine hohe Frequenz und eine kleine Wellenlänge. Sie entsteht bei Röhrenspannungen von >100 kV.

Man kann Röntgenstrahlen „aufhärten“ durch:

- hohe Röhrenspannung
- Anodenmaterial mit hoher Ordnungszahl und durch
- Filterung

Eigenschaften von Röntgenstrahlen

- Sie breiten sich geradlinig aus
- sie durchdringen Materie bzw. Gewebe abhängig von der Material- bzw. Gewebsdichte
- sie schwärzen lichtempfindliche Materialien
- sie werden durch elektromagnetische Felder nicht abgelenkt
- sie führen zur Ionisation von Gasen und
- sie sind unsichtbar.

Schwächung und Abschirmung der Röntgenstrahlung

γ -Strahlung oder Röntgenstrahlung: Für unterschiedliche Strahlungsenergien werden sog. Halbwert- und Zehntelschichtdicken angegeben. Diese Schichtdicken schwächen die Intensität der Strahlung (Dosisleistung) jeweils um die Hälfte, bzw. ein Zehntel des ursprünglichen Wertes. Die Schwächung ist umso stärker, je höher die Dichte und die Ordnungszahl des abschirmenden Materials ist.

Energie der Strahlung (kV)	Halbwertdicken zur Schwächung von Röntgenstrahlung (mm)		
	Wasser	Beton	Blei
20	8	0.1	5
50	20	2	0.02
100	40	7	0.1

Physikalische Dosisbegriffe und Dosisbegriffe im Strahlenschutz

Physikalische Dosisbegriffe

Aktivität [Bq]:

(nur für Nuklearmedizin)

Sie gibt an, wieviele Atomkerne einer Substanz pro Sekunde zerfallen und wird gemessen in Becquerel [Bq] = Zerfall/sek

Energiedosis [Gy]:

Die über die gesamte Messzeit absorbierte Energie bezogen auf die bestrahlte Masse. Die Einheit ist Gray [Gy] = J/kg

Dosisbegriffe im Strahlenschutz

Äquivalentdosis [Sv]:

Die Äquivalentdosis berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung verschiedener Strahlenarten auf den Organismus. Berechnet wird sie durch Multiplikation der vom Körper aufgenommene Energiedosis mit einem dimensionslosen Strahlenwichtungsfaktor¹ (w_R), der die relative biologische Wirksamkeit der jeweiligen Strahlungsart beschreibt. Die Einheit ist Sievert [Sv]. Äquivalentdosis = J/kg x w_R

Organdosis [Sv]:

Die Organdosis berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung verschiedener Strahlenarten (=Äquivalentdosis) **und** die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der menschlichen Organe. Dazu wird die Äquivalentdosis mit dem Gewebewichtungsfaktor¹ (w_T) des entsprechenden Organs multipliziert: Organdosis = J/kg x w_R x w_T

Effektive Dosis [Sv]:

Die effektive Dosis entspricht der Summer aller Organdosiswerte. Sie repräsentiert also das gesundheitliche Risiko, das mit einer Strahleneinwirkung verbunden ist.

Dosisgrenzwerte:

Maximale Bezugswerte für die Dosen, die aus der Exposition beruflich strahlenexponierter Personen sowie von Einzelpersonen der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung herrühren.

Gesetzliche Bestimmungen

Maximale Grenzwerte im Rahmen der beruflichen Tätigkeit

Einteilung beruflich strahlenexponierte Personen

Alle Personen, die in Bereichen arbeiten, in denen sie mit ionisierender Strahlung in Kontakt kommen können werden der Kategorie A oder B zugeordnet.

	Zulässige effektive Dosis / Jahr
Kategorie A	20 mSv
Kategorie B	6 mSv
Einzelpersonen der Bevölkerung	≤1 mSv

¹ Strahlen- und Gewebewichtungsfaktoren finden sich der Strahlenschutzverordnung

Diese Einteilung ist wichtig, weil sie darüber entscheidet, wie und in welchem Umfang die Person im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit überwacht wird.

Unter außergewöhnlichen Umständen kann die zuständige Behörde die in der oben stehenden Tabelle beschriebenen Strahlenbelastungs-Obergrenzen verändern und individuelle berufliche Strahlenexpositionen bewilligen, die die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten. Von diesen besonders bewilligten Expositionen **ausgeschlossen** sind:

- Auszubildende und Studierende im Rahmen ihrer Ausbildung
- Frauen im gebärfähigen Alter
- Personen die in den vergangenen 12 Monaten eine effektive Einzeldosis von mehr 10mSv erhalten

haben.

Die durchschnittliche effektive Strahlendosis der Bevölkerung beträgt rund 4.2 mSv/Jahr pro Einwohner. Die bei weitem überwiegenden Beiträge sind auf natürliche Strahlenquellen und medizinische Expositionen zurückzuführen.

Strahlenbereiche

Der gesamte Bereich einer Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Abteilung wird in 3 verschiedene Bereiche aufgeteilt. Diese Einteilung wird mit der Zulassung der Abteilung durch die Aufsichtsbehörde festgelegt. Sie richtet sich danach, welche Röntgendosis man beim Aufenthalt in diesem Bereich erhalten kann:

Bereich	mögliche Dosis
Überwachungsbereich	mehr als 1 mSv / Jahr
Kontrollbereich	mehr als 6 mSv / Jahr
Sperrbereich	mehr als 3 mSv / Stunde



Sperrbereiche gibt es in medizinischen Abteilung in der Regel nicht.

Der Kontrollbereich des Röntgengerätes ist durch entsprechende Beschilderung gekennzeichnet.

Zutritt zum Kontrollbereich

Der Zutritt zum Überwachungsbereich ist in der Regel für jedermann erlaubt.

Den Kontrollbereich dürfen Personen nur aus beruflichen Gründen betreten oder wenn sie als Betreuungs- oder Begleitpersonen unbedingt notwendig sind.

Der kurzzeitige Zutritt kann nur gestattet werden, wenn sichergestellt ist, daß die effektive Dosis während des Besuchs 10µSv nicht übersteigt!

Während einer Röntgenaufnahme bzw. nuklearmedizinischen Untersuchung bzw. Röntgen- oder nuklearmedizinischen Behandlungen dürfen sich nur die zu untersuchende Person, der Arzt, evtl. ärztliche Assistenten und evtl. nichtärztliches Assistenzpersonal im Kontrollbereich aufhalten.

Nur aus zwingenden Gründen ist Betreuungs- und Begleitpersonen der Zutritt zum Kontrollbereich gestattet. Sie sind vorab über die potentiellen Gefahren bei der Anwendung von Röntgenstrahlen und ihre Vermeidung zu unterweisen. Um ihre Strahlenexposition zu beschränken, sind geeignete Maßnahmen, wie z.B. das Anlegen von Bleischürzen und der Aufenthalt möglichst außerhalb des direkten Strahlengangs zu gewährleisten.

Strahlenschutzrecht

Der Umgang mit ionisierenden Strahlen jeglicher Art, ihre Anwendung und auch der Schutz vor ihren schädigenden Auswirkungen werden im Strahlenschutzgesetz und der Strahlenschutzverordnung geregelt. Beide werden zur jederzeitigen Einsichtnahme in der Röntgen- bzw. der nuklearmedizinischen Abteilung ständig verfügbar gehalten.

In Gesetz und Verordnung wird auch festgelegt, wie der Strahlenschutz geregelt ist, welche Personen für welche Aufgaben im Strahlenschutz zuständig sind, welche Behörde die gesamte Aufsicht über Röntgen- bzw. nuklearmedizinische Abteilung haben und unter welchen Voraussetzungen man solche Abteilungen überhaupt betreiben darf.

Für den Strahlenschutz zuständige Personen

Dies sind

- der **Strahlenschutzverantwortliche**. Er ist der oberste Vorgesetzte für alle Angelegenheiten einer Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Abteilung eines Krankenhauses bzw. eine Arztpraxis und ist auch für den Strahlenschutz verantwortlich. „Verantwortlich“ bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, daß er auch im praktischen Leben alle Dinge, die mit Strahlenschutz zu tun haben persönlich regeln muß. Der Strahlenschutzverantwortliche muß kein Arzt sein und er muß auch keine Fachkunde im Strahlenschutz haben, aber er ist verantwortlich, d.h.

er entscheidet in letzter Instanz über alles und muß auch, wenn etwas schief geht, den Kopf hinhalten.

Der Strahlenschutzverantwortliche muß bei der Behörde gemeldet werden. Er wird betriebsintern ernannt, wobei es sich in der Regel um den Geschäftsführer eines Krankenhauses oder MVZs bzw. einen (beliebigen Arzt) einer Praxis handelt. Der Strahlenschutzverantwortliche muß keine Kenntnisse im Strahlenschutz haben und muß auch kein Arzt sein.

- **Strahlenschutzbeauftragte.** Dies ist diejenige Person, die im Arbeitsalltag alle Entscheidungen im Zusammenhang mit der Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Abteilung fällt und er ist es auch, die sich um den Strahlenschutz und die Qualitätskontrollen kümmert.

Je nach Größe eines Krankenhauses bzw. einer Arztpraxis kann es mehrere Strahlenschutzbeauftragte geben.

Auch der oder die Strahlenschutzbeauftragten müssen bei der zuständigen Landesbehörde gemeldet sein, hierfür ist der Strahlenschutzverantwortliche zuständig. Anders als beim Strahlenschutzverantwortlichen muß der -beauftragte Kenntnisse im Strahlenschutz haben und darf erst, wenn alle Voraussetzungen für seine Ernennung erfüllt sind von der Behörde anerkannt werden.

- **Fachkundiger Arzt.** Fachkundige Ärzte haben u.a. 2 wichtige Aufgaben:
 - Nur sie sind es, die Untersuchungen bzw. Behandlungen durchführen dürfen, die mit ionisierenden Strahlen arbeiten.
 - Sie sind es, die die sog. rechtfertigende Indikation einer Untersuchung bzw. Behandlung mittels ionisierender Strahlen stellen dürfen bzw. die sie bestätigen müssen, wenn ein nicht-fachkundiger Arzt eine Untersuchung bzw. Behandlung mit ionisierenden Strahlen angeordnet hat.

Prinzipiell darf jeder Arzt jede denkbare Untersuchung oder Behandlung anordnen und anfordern. Wenn hierfür aber ionisierende Strahlen eingesetzt werden müssen muß (auch nach dem Gesetz) entschieden werden, ob diese Strahlenanwendung gerechtfertigt ist. Es wäre z.B. nicht gerechtfertigt, wenn bei akut aufgetretenem Fußschweiß eine CT-Untersuchung der Füße und des Gehirns durchgeführt würden. In diesem Fall würden die Erkenntnisse des CTs die Möglichkeit von Strahlenschäden keinesfalls aufwiegen. Solche Entscheidungen dürfen nur von Ärzten gefällt werden, die eine Schulung auf dem Gebiet des Strahlenschutzes absolviert haben und damit die Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

Der fachkundige Arzt muß lediglich dem Strahlenschutzverantwortlichen und -beauftragten gegenüber seine Fachkunde im Strahlenschutz nachweisen. Eine Meldung bei der Behörde ist nicht erforderlich.

Aufsichtsbehörde

Jede Abteilung, die mit ionisierender Strahlung arbeitet ist einer Aufsichtsbehörde untergeordnet. Wer die Aufsichtsbehörde ist wird von den einzelnen Bundesländern festgelegt, in Nordrhein-Westfalen sind dies beispielsweise die Regierungspräsidenten der einzelnen Bezirke.

Die Aufgabe der Behörde liegt primär darin, den Strahlenschutz für Patienten und Mitarbeiter zu überwachen und zu regeln. Allen Vorgaben der Behörde ist daher unbedingt Folge zu leisten.

Genehmigung einer Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Einrichtung

Man darf eine Röntgen- oder nuklearmedizinische Einrichtung nicht einfach in Betrieb nehmen, wenn man man dies möchte. Die Einrichtung muß vielmehr vor der Aufnahme ihres Betriebs von der Aufsichtsbehörde genehmigt werden.

Die Behörde prüft im Rahmen eines komplizierten Verfahrens, ob alle baulichen Voraussetzungen (z.B. Strahlenschutzwände usw.) vorliegen, ob die Geräte, mit denen gearbeitet wird alle gesetzlichen Vorgaben zum Strahlenschutz erfüllen und wie in nuklearmedizinischen Abteilung der Umgang mit den radioaktiven Substanzen geregelt ist.

Erst wenn die behördliche Genehmigung vorliegt und dem Strahlenschutzverantwortlichen zugestellt wurde darf die Abteilung ihre Arbeit aufnehmen.

Strahlenschutzanweisung

Strahlenschutzanweisungen helfen dabei, Menschen und Umwelt vor möglichen Gefahren beim Umgang mit ionisierender Strahlung zu schützen.

Daher ist es für jedes Krankenhaus, jede Arztpraxis und jeden Betrieb, der mit ionisierenden Strahlen arbeitet gesetzlich vorgeschrieben, daß der Strahlenschutzverantwortliche eine Strahlenschutzanweisung erlassen muß, in der die im Betrieb zu beachtenden Strahlenschutzmaßnahmen sehr konkret aufgeführt sind. Wenn es also Fragen gibt, wie man sich in bestimmten Situationen, bei bestimmten Untersuchungen oder Behandlungen im Sinne des Strahlenschutzes verhalten soll so werden diese in der Strahlenschutzanweisung beantwortet.

Die Strahlenschutzanweisung muß für jeden Mitarbeiter einer Abteilung, in der mit ionisierenden Strahlen gearbeitet wird einsehbar sein und zwar entweder dadurch, daß die Anweisung schriftlich in der jeweiligen Abteilung vorliegt oder indem sie in der EDV des Krankenhauses, der Praxis oder des Betriebes abgespeichert und hier einsehbar ist.

Arbeitsanweisungen

Für jede Untersuchung und jede Behandlung in Abteilungen, in denen mit ionisierender Strahlung gearbeitet wird muß der Ablauf der Behandlung bzw. der Untersuchung schriftlich in Form von Arbeitsanweisungen festgelegt werden.

Hier werden nicht nur die Voraussetzungen für die Untersuchung bzw. Behandlung und deren konkrete Durchführung Schritt für Schritt festgelegt, sondern es werden auch Strahlenschutz-, Sicherheitsaspekte, Methoden der Qualitäts- und Konstanzprüfung besprochen.

Ganz allgemein müssen in Arbeitsanweisungen aufgenommen werden:

- Röntgenaufnahmen dürfen nur von einem fachkundigen Arzt nach Vorliegen einer rechtfertigenden Indikation angeordnet werden. Assistenzpersonal darf unter ständiger Aufsicht und Verantwortung eines fachkundigen Arztes Röntgenstrahlen nur anwenden, wenn es über die erforderlichen Kenntnisse im Strahlenschutz verfügt.
- Vor der Anwendung von Röntgenstrahlen muss aufgezeichnet werden:
 - Besteht eine Schwangerschaft?
 - Sind bereits Röntgenaufnahmen des Bereichs angefertigt worden, der jetzt untersucht werden soll?
- Den Patienten sind ggfs. Strahlenschutzvorrichtungen anzulegen, z.B. Blei-Beckenschürze oder Gonadenschutz.
- Die durch die Röntgenuntersuchung bedingte Strahlenexposition ist soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist.
- Über die Anwendung von Röntgenstrahlen müssen Aufzeichnungen angefertigt werden, aus denen der Zeitpunkt, die Art der Anwendung, die untersuchte Körperregion, Angaben zur rechtfertigenden Indikation und bei einer Untersuchung zusätzlich der erhobene Befund hervorgehen. Weiterhin ist die Strahlenexposition des Patienten zu ermitteln, soweit diese erfasst worden ist, oder die zu deren Ermittlung erforderlichen Daten und Angaben.

Die Arbeitsanweisungen und Arbeitsmethoden werden im Rahmen einer Strahlenschutzunterweisung nicht noch einmal konkret besprochen; sie sind vielmehr Gegenstand von Einweisungen in den Arbeitsplatz und Praxisschulungen.

Jeder Mitarbeiter muß wissen, daß er das Anrecht darauf hat, eine erneute Schulung zu bekommen, wenn er in der täglichen Praxis unsicher ist und eine erneute Schulung daher für erforderlich hält.

Vermeidung von Schäden durch Strahlenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen

Um die oben beschriebenen möglichen Strahlenschäden zu verhindern müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Im Allgemeinen wird dies durch die Einhaltung der **vier Grundprinzipien im Strahlenschutz** erreicht:

- **Abschirmung** der Strahlung durch geeignete Materialien
- Einhaltung eines sicheren **Abstands** zur Strahlenquelle
- Beschränkung der **Aufenthaltsdauer** in einem Strahlungsfeld
- (für Nuklearmedizin) Verwendung einer möglichst **geringen Aktivität** der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung.

Abschirmung

Wie Sie oben schon zum Thema „Schwächung und Abschirmung der Röntgenstrahlung“ gelesen haben wird Röntgen- und (in der Nuklearmedizin) gamma-Strahlung durch bestimmte Materialien abgeschwächt. Dabei ist die Schwächung umso stärker, je höher die Dichte und die Ordnungszahl des abschirmenden Materials ist. In aller Regel benutzt man zur Abschirmung Blei.

Blei in Wänden, Türen, Fenstern o.ä. ist das optimale Material. In der Schutzkleidung, die alle „Strahlenarbeiter“ bei möglichem Kontakt mit ionisierender Strahlung verpflichtend tragen müssen hat Blei aber den Nachteil, daß es sehr schwer ist und seinen Träger daher belastet.

Man hat dazu bleiarme und sogar bleifreie Schutzkleidung entwickelt., die aber u.U. keinen ausreichenden Schutz vor allem gegen Röntgenstrahlung bietet.

Welche Strahlenschutzkleidung benutzt werden kann hängt zum größten Teil von der Energie der Röntgenstrahlung und damit von Röhrenspannung und -strom ab. Der Strahlenschutzverantwortliche ist dafür verantwortlich, daß jedem Mitarbeiter die für seine Situation angemessene Schutzkleidung zur Verfügung steht. Dies bezieht sich nicht nur auf das Material der Kleidung, sondern auch darauf, welche Kleidungsstücke bei welcher Untersuchung bzw. Behandlung erforderlich sind (z.B. Bleischürze, Bleiweste, Bleihaube, Bleihandschuhe, Schilddrüsenschutz, Bleiglasbrille u.ä.). Diese Materialien sind in der Arbeits- und Strahlenschutzver-

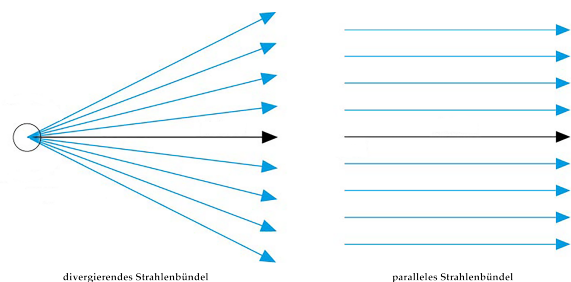
ordnung aufgeführt, ihr Gebrauch ist für alle betreffenden Mitarbeiter zwingend vorgeschrieben.

Reichweite von ionisierender Strahlung und Abstand

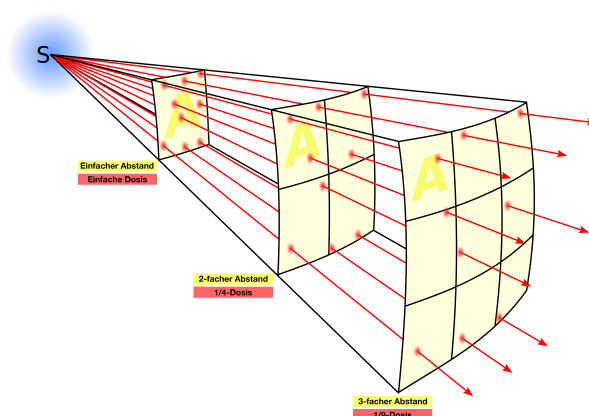
Ionisierende Strahlung breitet sich unterschiedlich weit aus, wie Sie den nachstehenden Tabelle entnehmen können.

Strahlungsart	α -Strahlung	β -Strahlung	γ -Strahlung	Röntgenstrahlung
Reichweite in Luft	wenige cm	einige m	unendlich	unendlich
Reichweite in Gewebe	Bruchteile eines Millimeters	wenige mm	unendlich	unendlich

Wichtig für das Verständnis der Reichweite einer Strahlung ist die Unterscheidung zwischen einem parallelen und einem divergierenden Strahlenbündel.



- **Paralleles Strahlenbündel:** Die Richtung der Strahlenbündel verläuft parallel. Dies hat zur Auswirkung, daß Dichte und Intensität der Strahlung in gewissem Rahmen unabhängig vom Abstand von der Strahlenquelle sind. Dies trifft beispielsweise auf Laserlicht zu.
- **Divergierendes Strahlenbündel:** Strahlenbündel läuft geradlinig in alle Raumrichtungen auseinander. Dadurch verringert sich die räumliche Energiedichte und die Dichte der Teilchenzahl mit zunehmendem Abstand vom Strahler. Intensität, Teilchenzahl und Energiedichte nehmen mit dem Abstand ab. Der mathematische Zusammenhang ist dabei so, daß die Dosis im Quadrat mit dem Abstand von der Strahlenquelle abnimmt (**Abstandsquadratgesetz**). Wird der Abstand z.B. verdoppelt, so verringert sich die Dosisleistung pro Fläche auf ein Viertel.



Das Abstandsquadratgesetz gilt streng genommen nur für punktförmige Strahlenquellen.

Aufenthaltsdauer

Die Aufenthaltsdauer im Strahlenbereich sollte so kurz wie möglich sein.

Geringe Aktivität

(betrifft nur Nuklearmedizin)

Wenn möglich, sollte man auf Elemente bzw. Materialien mit einer geringen Aktivität zurückgreifen.

Prinzipiell wäre es auch sinnvoll, dasjenige Nuklid für Untersuchungen bzw. Behandlungen zu benutzen, das die geringste effektive Halbwertszeit hat. Dies ist in der Praxis jedoch kaum möglich, weil der Einsatz eines Nuklids für die jeweilige Anwendung spezifisch ist. Es hätte beispielsweise wenig Sinn Tc-99m mit seiner kurzen effektiven Halbwertszeit (2.4 Stunden) zur Untersuchung der Schilddrüse einzusetzen, weil sich nur das radioaktive Jod in der Schilddrüse anreichert.

Strahlenschutz bei Frauen

Aus Strahlenschutzgründen ist bei Frauen zu beachten, daß sie schwanger werden können und daß das noch ungeborene Kind durch die ionisierende Strahlung geschädigt werden kann. Im Hinblick auf die Risiken einer Strahlenexposition für das ungeborene Kind müssen Frauen dem Strahlenschutzverantwortlichen eine Schwangerschaft so früh wie möglich mitteilen. Das betrifft alle Personen, denen der Zutritt zum Kontrollbereich gestattet ist (also nicht nur die Mitarbeiterinnen der Abteilung, sondern auch Patientinnen, Begleit- und Betreuungspersonen.

Zu beachten ist hier allerdings, daß laut Mutterschutzgesetz keine Verpflichtung besteht, dem Arbeitgeber und dem Strahlenschutzverantwortlichen die Schwangerschaft mitzuteilen. Der Arbeitgeber hat aber nur dann, wenn er von der Schwangerschaft weiß die Möglichkeit, alle notwendigen Maßnahmen zum Schutz des ungeborenen Kindes zu treffen.

Nur für Mitarbeiterinnen und Patientinnen in nuklearmedizinischen Abteilungen ist zudem zu beachten, daß eine Mutter immer Gefahr läuft, das radioaktive Material in ihren Körper aufzunehmen und z.B. beim Stillen auch an den Säugling weiterzugeben.

Lagerung von überwachungsbedürftigen Materialien

(betrifft nur Nuklearmedizin)

Es darf keine erheblich erhöhte Exposition für das in der Abteilung arbeitende Personal auftreten.

Hierzu kann die Behörde:

- Maximalzeiten für die Lagerung bestimmen
- niedrigere Dosisgrenzwerte festlegen
- spezielle Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen anordnen.

Diesen behördlichen Anordnungen ist unter allen Umständen Folge zu leisten!

Entlassung / Entsorgung von Rückständen aus der Überwachung

(betrifft nur Nuklearmedizin)

Für die Entsorgung von Strahlenquellen muß bei der Behörde ein Antrag gestellt werden.

Strahlenschutzüberwachung

Alle Mitarbeiter einer Abteilung, in der mit ionisierenden Strahlen gearbeitet wird sind gesetzlich verpflichtet, Messungen darüber durchführen zu lassen, mit welcher Dosis dieser Strahlung sie belastet werden. Hierzu dient die Dosimetrie.

Dosiswerte werden mit verschiedenen Geräten (Dosimeter) gemessen: z.B. Film-, Ring- oder Stabdosimeter. es gibt auch elektronisch arbeitende Geräte, die man selber und in unterschiedlichen Zeitintervallen ablesen kann.

Getragen werden die Dosimeter an bestimmten Körperstellen: Film- oder Stabdosimeter am vorderen Teil der Brust (z.B.- an der Brusttasche für Kugelschreiben), Ringdosimeter natürlich am Finger.

Welcher Mitarbeiter welche Art von Dosimeter tragen muß wird in der Strahlenschutzanweisung und vom Strahlenschutzverantwortlichen festgelegt.

In der Regel werden die üblichen Filmdosimeter über einen Zeitraum von 4 Wochen getragen. Nach Ablauf dieser Zeit wird die Filmplakette des Gerätes entnommen und gegen einen unbenutzten Film ersetzt.

Die Auslesung der Filmdosimeter erfolgt über staatlich anerkannte Meßstellen, in Nordrhein-Westfalen z.B. über das Materialprüfungsamt in Dortmund. Die Meßstel-

le übermittelt die Meßergebnisse an den Strahlenschutzbeauftragten, der sie kontrollieren muß. Hierbei muß er nicht nur darauf achten, daß die monatliche Dosis nicht zu hoch ist, sondern es geht vor allem um die Summe aller Werte in einem Kalenderjahr (**Jahresgrenzwert**).

Dieser Jahresgrenzwert für die Gesamtkörperbestrahlung darf für beruflich strahlenexponierte Personen 20 mSv nicht überschreiten, für einzelne Organe, z.B. die Finger oder für Personen in Ausbildung unter 18 Jahre existieren andere Werte.

Wird der Jahresgrenzwert überschritten hat dies Konsequenzen, die der Strahlenschutzverantwortliche zusammen mit der zuständigen Behörde festlegt. So kann die weitere Arbeit des Mitarbeiters im Strahlenbereich verboten werden. Dieses Verbot kann in sehr seltenen Fällen dauerhaft sein, in den meisten Fällen kann z.B. für ein einziges Jahr eine Erhöhung der Dosis erlaubt werden, solange während 5 Jahre 100 mSv nicht überschritten werden.

Neben dem Jahresgrenzwert ist auch die **Berufslebensdosis** wichtig. Sie wird vom Bundesamt für Strahlenschutz überwacht. Um dies zu ermöglichen werden die monatlichen Daten der Meßstellen neben dem Strahlenschutzverantwortlichen auch dem Bundesamt mitgeteilt. Das Amt ordnet die Meßergebnisse anhand bestimmter Nummern einer konkreten Person zu, sodaß hierdurch eine Erfassung der Berufslebensdosis möglich ist.

Die Nummer, anhand derer die Zuordnung erfolgt nennt sich SSR-Nummer (Strahlenschutz-Registriernummer). Jede beruflich strahlenexponierte Person muß eine solche Nummer besitzen, verantwortlich hierfür ist der Strahlenschutzverantwortliche. Hat ein Mitarbeiter keine SSR-Nummer so ist der Strahlenschutzverantwortliche gesetzlich verpflichtet, die Nummer beim Bundesamt für Strahlenschutz zu beantragen und dem Mitarbeiter mitzuteilen.

Die auf diese Weise ermittelte Berufslebensdosis darf 400 mSV nicht überschreiten.

Jeder beruflich strahlenexponierte Mitarbeiter hat das Recht, zu jedem beliebigen Zeitpunkt zu erfahren, wie hoch seine Strahlenbelastung während der Tätigkeit bei einem bestimmten Arbeitgeber war und er darf ebenfalls Auskunft über seine bisherige Berufslebensdosis erhalten.

Die Mitteilung von Daten der dosimetrisch überwachten Personen an die amtliche Meßstelle, ggfs. an die zuständige Behörde und das Strahlenschutzregister beim Bundesamt für Strahlenschutz sind personenbezogene Daten. Sie dienen ausschließlich der kontinuierlichen Dosisüberwachung und dürfen nur zu diesem Zweck verwendet werden.

Qualitätskontrollen

Eine Röntgen- oder nuklearmedizinische Anlage wird vom Hersteller in optimalem Zustand geliefert und aufgebaut. Nach Fertigstellung und vor Aufnahme des Untersuchungs- und Behandlungsbetriebes muß das Gerät einer Abnahmeprüfung unterzogen werden. Bei dieser Prüfung werden zahlreicher Parameter gemessen, die u.a. das Ausmaß der Strahlenbelastung, die Bildqualität und damit die Qualität beschreiben. Diese bei der Abnahmeprüfung ermittelten Qualitätskriterien werden in einem Abnahmeprotokoll niedergelegt, man nennt diese Werte „Bezugswerte“.

Um zu verhindern, daß es im Laufe der Zeit zu schleichenden Veränderungen des Gerätes kommt müssen die verschiedenen Parameter in regelmäßigen Abständen nachgemessen und mit den Bezugswerten verglichen werden. Mit einer solchen **Konstanzprüfung** wird überprüft, ob die für die Anwendung erforderliche Qualität auch weiterhin erreicht wird. Es geht bei einer solchen Konstanzprüfung also um die Frage, ob die Bezugswerte, die in der letzten Abnahmeprüfung erhoben wurden, eingehalten werden. Das Ergebnis ist zu dokumentieren.

Zu den Aufzeichnungen gehören auch die Aufnahmen eines sog. „Prüfkörpers“.

Ist die erforderliche Bildqualität nicht mehr gegeben, ist unverzüglich die Ursache zu ermitteln und zu beseitigen.

Die Prüfintervalle für digitale und analoge Röntgengeräte sowie für Befundungsmonitore sind von der zuständigen Landesbehörde vorgegeben.