

Strahlenschutz-Ausbildung

Sachverständigenkurs für konventionelle Aufnahmetechniken (MA 6 und MA 8) für Ärzte im Niedrigdosisbereich und mittleren Dosisbereich

1. Radiologisches Verfahren und Repetition

1.1. Radiologisches Verfahren (allgemeine Einführung)

Welche drei Stufen umfasst das radiologische Verfahren?

Die drei Stufen des radiologischen Verfahrens sind:

- Erzeugung der Röntgenstrahlung
- Wechselwirkung der Röntgenstrahlung mit dem Patienten
- Aufzeichnung der Röntgenstrahlung, die den Patienten durchdrungen hat

Wo werden Röntgenstrahlen erzeugt?

Die Röntgenstrahlen werden in einer Röntgenröhre erzeugt. Diese besteht u. a. aus einem Vakuumbehälter, einem Röhrenschutzgehäuse, einem Austrittsfenster für die Röntgenstrahlen und einer Blende. Mit der Blende wird die Strahlung auf diejenige anatomische Region eingegrenzt, die geröntgt werden soll. Die Grösse des Röntgenstrahlungsfeldes wird mit Hilfe eines Lichtvisiers sichtbar gemacht.

Was passiert, wenn das Röntgenstrahlenbündel auf den Patienten trifft?

Die Röntgenstrahlen treten über mehrere Mechanismen mit den Geweben des Patienten in Wechselwirkung. Je geringer die Energie der Röntgenstrahlen ist, umso stärker ist die Abschwächung. Die unterschiedliche Abschwächung der Röntgenstrahlen durch die Organe ist Voraussetzung für das Entstehen radiologischer Informationen.

Welche Funktion übernimmt der Detektor?

Der Detektor konvertiert die Röntgenstrahlen, die den Patienten durchdrungen haben, in digitale Daten, welche computergestützt mit Hilfe von Rechenalgorithmen verarbeitet werden können, um die Bildwiedergabe zu verbessern.

Welche Funktion übernimmt der Röntgenbildschirm?

Der Röntgenbildschirm konvertiert die digitalen Daten, die vom Detektor stammen, in ein optisches Bild.

1.2. Aufbau der Materie und Begriff der Energie (Repetition)

Aus welchen Teilchen setzt sich die Materie zusammen und wie sind diese angeordnet? Materie setzt sich aus Elektronen, Protonen und Neutronen zusammen. Die Elektronen bilden eine Elektronenhülle, die Protonen und Neutronen den Kern.

Welche Masse, Ladung und Grösse haben die Teilchen?

Die Massen des Protons und Neutrons sind in etwa gleich, wobei sie 1800-mal grösser als die des Elektrons sind. Die Ladung des Protons ist positiv und die des Elektrons negativ; diese Ladung wird als Elementarladung bezeichnet: "e". Die Grösse des Kerns ist im Verhältnis zur Grösse des Atoms sehr gering (zu rein informativen Zwecken: der Faktor beträgt 100'000).

Wie werden Atome charakterisiert?

Atome werden nach der Anzahl von Protonen benannt, die sich in ihrem Kern befinden. Diese Anzahl wird auch Ordnungszahl genannt. Das Symbol der Ordnungszahl ist "Z". Die Anzahl Protonen und Neutronen in einem Kern wird Massenzahl genannt. Das Symbol der Massenzahl ist "A".

Was ist Energie und welche Einheiten hat sie?

Die Einheit der Energie im Internationalen Einheitensystem (SI) ist Joule (J). In der Radiologie verwendet man das Elektronenvolt (eV), bei dem es sich um eine weitere Einheit für die Energie handelt: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. 1 eV entspricht der Energie, die ein Elektron in einem Potential von 1 V aufbaut. Der Nutzer einer Röntgenanlage hat die Möglichkeit, den Energiebereich der Elektronen auszuwählen, die in der Röntgenröhre beschleunigt werden und die Röntgenstrahlung erzeugen.

Was ist Bindungsenergie und wie gross ist sie für die Elektronen im Atom und für die Nukleonen im Kern?

Die Bindungsenergie ist abhängig von der Kraft, welche die Teilchen zusammenhält. Sie ist in der Grössenordnung von:

- 10 eV für ein Valenzelektron (Elektronen der äussersten Elektronenhülle)
- 10 MeV für ein Nukleon (Proton oder Neutron)

Es braucht sehr viel Energie (in der Grössenordnung von Megaelektronenvolt - 1'000'000 eV, 1 MeV oder 10^6 eV), um die Struktur eines Kerns zu verändern (und ihn z. B. radioaktiv zu machen). Hingegen reicht bereits eine Energie von 10 eV aus, um ein Elektron aus der äusseren Elektronenhülle herauszuschlagen. Zu rein informativen Zwecken: Der Energiebereich, der in der Radiologie genutzten Röntgenstrahlen, erstreckt sich von 20 bis 140 keV.

1.3. Abregung der Elektronenhülle

Wie geben die Elektronen in den Elektronenhüllen überschüssige Energie ab? (Übergang von einem hohen Energieniveau - "angeregter Zustand" - auf das tiefste mögliche Energieniveau - "Grundzustand")

Elektronen geben ihre überschüssige Energie ab, indem sie elektromagnetische Wellen (Licht- oder Röntgenstrahlen) aussenden. Fehlt in einer unteren Elektronenschale der Hülle ein Elektron, befindet sich das Atom in einem angeregten Zustand. Dieser wird durch Abgabe der Energie sehr schnell wieder stabil, wenn ein anderes Elektron den freien Platz besetzt.

Was ist ionisierende Strahlung?

Man spricht von ionisierender Strahlung, wenn sie in der Lage ist, auf ihrem Weg durch Materie ein Elektron aus einem Atom herauszuschlagen (Ionisation). Dies kann in einem Schritt erfolgen (dann spricht man von direkter Ionisation) oder in zwei oder mehreren Schritten (dann spricht man von indirekter Ionisation). Geladene Teilchen sind direkt ionisierend, Röntgenstrahlen sind indirekt ionisierende Strahlung. Sie regen Elektronen in der Materie an und es sind diese Elektronen, welche die übertragene Energie wieder an die Umgebung abgeben (1. Schritt: Anregung der Elektronen, 2. Schritt: Abgabe der Energie). Im Energiebereich der Röntgenstrahlen finden diese beiden Schritte quasi am selben Ort statt.

1.4. Beschreibung der elektromagnetischen Welle und Begriff des Spektrums

Was ist eine elektromagnetische Welle?

Bei einer elektromagnetischen Welle handelt es sich um eine simultane Oszillation eines elektrischen Feldes und eines magnetischen Feldes. Deren Masse und deren Ladung sind gleich Null. Die elektromagnetische Welle bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit fort und überträgt Energie.

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Wellenlänge, Frequenz und Energie einer elektromagnetischen Welle?

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle im Vakuum (c) ist konstant und beträgt $300\,000\text{ km/s}$. Energie (E), Frequenz (ν) und Wellenlänge (λ) stehen in einer (mathematisch) einfachen Beziehung zueinander: Je höher die Energie, umso kürzer ist die Wellenlänge und umso höher ist die Frequenz.

Welches sind die verschiedenen Bereiche elektromagnetischer Wellen?

Die elektromagnetischen Wellen werden in drei Bereiche eingeteilt:

- Radiowellen: Sie besitzen eine tiefe Frequenz (oder lange Wellenlänge). Hierzu zählen die verschiedenen Radiowellen und die Millimeterwellen. Es sind nicht ionisierende Strahlen. Sie werden beispielsweise in der Bildgebung mit Magnetresonanz verwendet (Energie $< 0,01\text{ eV}$).
 - Optische Wellen: Ihre Wellenlängen liegen im Bereich von Mikrometern; sie umfassen Infrarotwellen, das sichtbare Licht und die ultraviolette (UV) Strahlung; Im Bereich des Infrarots und des sichtbaren Lichts sind sie nicht ionisierende Strahlung, im UV-Bereich (Energie zwischen 3 und 120 eV) können sie ionisierend sein.
 - Ionisierende Strahlung: Ihre Energie ist grösser als 120 eV ; sie umfassen die Röntgenstrahlung und sind selbstverständlich ionisierend.
-

Wie trägt man dem Umstand Rechnung, dass die in einer Röntgenröhre erzeugten Röntgenstrahlen nicht alle dieselbe Energie haben?

Die Energieverteilung der Röntgenstrahlen, die von einer Röntgenröhre erzeugt werden, wird als Röntgenspektrum bezeichnet. Diese Energieverteilung kann ein Linienspektrum sein (eine Strahlung in der Röntgenröhre erzeugte charakteristische Röntgenstrahlung mit diskreten Energiewerten) oder ein kontinuierliches Spektrum (in der Röntgenröhre erzeugte Röntgenbremsstrahlung mit durchgehenden Energiewerten).

1.5. Quellen ionisierender Strahlung

Welches sind natürliche Quellen ionisierender Strahlung?

Bei den natürlichen Strahlungsquellen unterscheidet man zwischen der kosmischen und der terrestrischen Strahlung.

Welches sind künstliche Quellen ionisierender Strahlung?

Man unterscheidet bei den künstlichen Strahlungsquellen Röntgenröhren, Teilchenbeschleuniger, Kernreaktoren und radioaktive Quellen, die von Teilchenbeschleunigern oder Nuklearreaktoren erzeugt werden.

1.6. Strahlenmenge

Wie kann ein Strahlenfeld quantitativ beschrieben werden (Bestimmung der Strahlenmenge in einem Punkt)?

Die Strahlenmenge in einem Punkt wird mit der Fluenz (z. B. Anzahl Röntgenstrahlen pro Flächeneinheit; m^{-2}) beschrieben.

1.7. Strahlungsquelle und Abstand

Wie nimmt die Strahlenmenge ab, wenn man sich von einer punktförmigen Quelle entfernt?

Die Strahlungsintensität nimmt mit dem Quadrat des Abstands von der Quelle ab. Wenn man also den Abstand von der Quelle verdoppelt, verringert sich die Strahlung um das Vierfache.

2. Wechselwirkung von Strahlung mit Materie und Dosimetrie

2.1 Radiologisches Verfahren (Fortsetzung)

Was passiert innerhalb einer Röntgenröhre?

Eine Röntgenröhre ist ein Vakuumbehälter, in welchem die beschleunigten Elektronen auf ein Material mit grosser Ordnungszahl treffen, wie z. B. Wolfram. Durch die Wechselwirkung dieser Elektronen mit Materie entstehen Röntgenstrahlen.

2.2. Wechselwirkung zwischen Teilchen und Materie

Was passiert bei der direkten Wechselwirkung eines Elektronenstrahls (ionisierende Strahlung) mit Materie und wie verläuft die Bahn der Elektronen in der Materie?

Die Wechselwirkung der Elektronen zeichnet sich aus durch viele kleine Wechselwirkungen mit den Atomen der durchstrahlten Materie. Dies führt zu einem kontinuierlichen Abbremsen der Elektronen. Deshalb ist die Reichweite des Elektronenstrahls in Materie endlich.

Was geschieht konkret, wenn ein Elektronenstrahl Materie durchdringt?

Elektronen, welche mit Materie wechselwirken, verlieren Energie, wenn sie Elektronen aus der Elektronenhülle der durchdrungenen Atome herausschlagen. Infolge dieser Ionisation kann Fluoreszenzstrahlung erzeugt werden (sog. charakteristische Röntgenstrahlung). Je höher die Ordnungszahl (Z) des durchdrungenen Materials, umso bedeutsamer ist dieses Phänomen. Die Elektronen werden durch den positiv geladenen Atomkern abgelenkt und abgebremst. Dabei entsteht ebenfalls elektromagnetische Strahlung (sog. Bremsstrahlung). Beide Strahlenarten können in der Radiologie genutzt werden.

Wie wird die Energie abgegeben?

Die Elektronen werden in der Materie kontinuierlich abgebremst, bis sie schlussendlich gestoppt werden. In der Röntgenröhre bewirkt die Abbremsung der Elektronen neben der Erzeugung von Röntgenstrahlen eine wesentliche Erwärmung der Röntgenröhre.

2.3. Wechselwirkungen zwischen Röntgenstrahlen und Materie

Wie werden Röntgenstrahlen in der Materie abgeschwächt?

Die Röntgenstrahlen wechselwirken mit Materie (Gewebe des Patienten), indem sie das Gewebe ionisieren (d. h. dass sie die Elektronen der Atome im Gewebe in Bewegung versetzen). Der Weg dieser angeregten Elektronen ist (vor allem in dichtem Material) sehr kurz (in der Grössenordnung von Zehntelmillimetern). Um die Wechselwirkung von Röntgenstrahlen rechnerisch zu beschreiben, wird der lineare Schwächungskoeffizient μ (cm^{-1}) benutzt. Er gibt den Anteil der Strahlung an, der pro cm durchdrungenen Materials einer Wechselwirkung unterliegt. Je höher der Koeffizient, desto höher die Abschwächung. Die Abschwächung der Röntgenstrahlen kann auch durch die Materialdicke charakterisiert werden, die erforderlich ist, um eine Abschwächung des Primärstrahls um die Hälfte zu erreichen. Diese Materialdicke nennt man Halbwertsschicht (HWS).

Welches sind die wichtigsten Wechselwirkungen von Röntgenstrahlen mit Materie?
Im Energiebereich der Röntgendiagnostik treten folgende Wechselwirkungen von Röntgenstrahlen mit Materie auf:

- Fotoeffekt: Die Energie des Photons wird von einem kernnahen Hüllenelektron absorbiert, welches dadurch ionisiert wird.
- Compton-Effekt: Inelastische Streuung des Photons an einem kernfernen Hüllenelektron.
- Klassische Streuung (Thomson/Rayleigh): Elastische Streuung des Photons an der Elektronenhülle des Atoms.

Was passiert im Inneren des Patienten beim Röntgen?

Der Röntgenstrahl durchdringt den Patienten und wechselwirkt mit der Materie. Im Patienten treten Wechselwirkungen zwischen den Röntgenstrahlen (elektromagnetische Wellen) und der Materie (Gewebe des Patienten) auf. Dank diesen Wechselwirkungen entsteht die diagnostische Information.

2.4. Wirkung der Röntgenstrahlen in der Röntgendiagnostik

Wie hängt die Wahrscheinlichkeit des Fotoeffekts von der Ordnungszahl der durchstrahlten Materie und von der Strahlenenergie ab?

Beim Fotoeffekt wird die Energie des Photons von einem Elektron absorbiert, das sich in einer tief gelegenen Elektronenschale befindet. Der Fotoeffekt kommt bei Materie mit hoher Ordnungszahl (Z) und bei tiefer Strahlenenergie vor. Er ist der vorherrschende Vorgang bei der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Knochengewebe.

Wie hängt die Wahrscheinlichkeit des Compton-Effekts von der Ordnungszahl der durchstrahlten Materie und von der Strahlenenergie ab?

Beim Compton-Effekt wird das Photon an einem Hüllenelektron gestreut, welches dabei genügend kinetische Energie erhält, um die Elektronenhülle zu verlassen. Der Compton-Effekt ist im Energiebereich der Röntgendiagnostik relativ unabhängig von der Ordnungszahl (Z) des durchstrahlten Materials und der Energie des einfallenden Photons. Dieser Effekt hängt von der Anzahl vom Strahl getroffener Elektronen ab und ist umso stärker, je höher die Dichte des Materials ist. Der Compton-Effekt ist der vorherrschende Vorgang bei der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Weichteilgewebe.

Wie hängt die Wahrscheinlichkeit der klassischen Streuung (Thomson/Rayleigh) von der Ordnungszahl der durchstrahlten Materie und von der Strahlenenergie ab?

Bei der klassischen Streuung (Thomson/Rayleigh) bleibt die Energie des einfallenden Röntgenstrahls erhalten. Sie ist bei Materie mit hoher Ordnungszahl (Z) hoch und bei tiefer Strahlenenergie auch. Sie spielt in der Röntgendiagnostik keine entscheidende Rolle. Es wird keine Energie im Gewebe deponiert.

2.5. Schwächung von Röntgenstrahlen

Wie wird der Röntgenstrahl beim Durchdringen des Gewebes abgeschwächt?

Die Abschwächung der Röntgenstrahlen ist exponentiell. Die Halbwertsschicht (HWS) ist umgekehrt proportional zum linearen Schwächungskoeffizienten μ .

Wie hängt der Schwächungskoeffizient von der Strahlenenergie und der Ordnungszahl des durchstrahlten Materials ab?

Der Schwächungskoeffizient (μ), der alle Wechselwirkungen mitberücksichtigt, hängt ab von der Röntgenstrahlenenergie (E), der Ordnungszahl (Z) und der Dichte (ρ) des durchstrahlten Materials: $\mu(E, Z, \rho)$. Er ist gross für niedrige Photonenenergien und für Materialien mit hoher Ordnungszahl (Z).

2.6. Quantifizierung ionisierender Strahlung: Die absorbierte Dosis

Was geschieht in der Materie, wenn sie bestrahlt wird?

In der Materie versetzen die auftreffenden Röntgenstrahlen die Elektronen in Bewegung. Diese können entlang ihrer Bewegungsbahnen die Atome der Materie ionisieren und/oder die Hüllenelektronen anregen. Die Energie wird schliesslich in Wärme umgewandelt.

Welche Grösse wird benutzt, um die Energiedeposition in der Materie zu beschreiben? Die absorbierte Dosis (D) quantifiziert die Energie, welche pro Kilogramm Masse deponiert wird. Ihre Einheit ist das J/kg und heisst Gray (Gy).

2.7. Techniken zur Messung ionisierender Strahlung

Mit welchen Messmethoden wird ionisierende Strahlung gemessen?

Die wichtigsten Methoden der Strahlenmessung beruhen auf Ionisation, Szintillation, Lumineszenz und Erzeugung eines latenten Bildes in einer Photoemulsion.

Wie funktioniert ein Detektor, der auf Ionisation beruht?

In Ionisationsdetektoren werden die in einem gegebenen Volumen erzeugten Ladungen als Strom gemessen. Zu den Detektoren, deren Funktionsweise auf Ionisation in einem Gas beruht, gehören die Ionisationskammer, das Proportionalzählrohr und das Geiger-Müller-Zählrohr.

Wie funktioniert ein Detektor, der auf Szintillation beruht?

In Szintillationsdetektoren werden Lichtphotonen, die von Atomen bei der Abregung ausgesandt werden, mittels eines Photomultipliers oder einer Diode gemessen. Sie werden auch in der digitalen Bildgebung verwendet.

Wie funktioniert ein Detektor, der auf Lumineszenz beruht?

Bei der Messung mittels Lumineszenz geben Röntgenstrahlen einen Teil ihrer Energie an die Elektronen eines lumineszierenden Kristalls ab. Dessen Elektronen gehen dadurch in einen relativ stabilen angeregten Zustand über (Elektronenfälle). Wird dem Kristall Energie zugeführt, kehren dessen Elektronen in ihren Grundzustand zurück, wobei die Energiedifferenz in Form von sichtbarem Licht ausgesendet wird. Das erzeugte Licht ist proportional zur Dosis, die der Kristall aufgenommen hat. Diese Dosimeter (TLD: Thermolumineszenzdosimeter oder OSL: Optisch Stimulierte Lumineszenz) werden besonders für die Dosimetrie bei beruflich strahlenexponierten Personen eingesetzt.

3. Biologische Strahlenwirkungen

3.1. Risiken und Dosisgrößen

Warum benutzt man verschiedene Einheiten/Größen, um das Strahlungsrisiko zu quantifizieren?

Die Risiken, welche eine Exposition durch ionisierende Strahlung birgt, hängen von der Quantität der eingesetzten Strahlung ab. Wenn die Menge der Strahlung sehr gross ist, nutzt man eine rein physikalische Grösse: die absorbierte Dosis (D) in Gray (Gy). Diese Grösse wird verwendet, um deterministische Schäden, Gewebereaktionen, zu überwachen. Wenn die Dosis relativ klein ist, nutzt man entweder das Konzept der Äquivalentdosis für einzelne Organe (H) in Sievert (Sv) oder die effektive Dosis (E) in Sievert. Diese Grösse wird zur Überwachung stochastischer Effekte eingesetzt. Die effektive Dosis (E) erlaubt, das radiologische Risiko einer Teilkörperexposition in eine homogene Ganzkörperexposition umzurechnen. Es ist unerlässlich anzugeben, von welcher Dosisgrösse man spricht: Absorbierte Dosis, Äquivalentdosis oder effektive Dosis.

3.2. Mechanismen biologischer Strahlenwirkung und Einteilung der Schäden

Wie ist der zeitliche Ablauf der Strahlenwirkung auf die Zelle?

Die physikalische (Energiedeposition), physikalisch-chemische und chemische Phase sind sehr schnell ablaufende Prozesse (im Mikrosekundenbereich). Es folgt die biologische Phase: DNS-Schäden (\sim Stunden), deterministische Schäden (\sim Wochen), stochastische Schäden (\sim Jahrzehnte).

Welche Wirkungen hat Strahlung auf die Zelle?

In der physikalisch-chemischen Phase der biologischen Strahlenwirkung unterscheidet man direkte und indirekte Wirkungen auf die DNS. Die indirekt verursachten DNS-Schäden entstehen durch die Bildung freier Radikale im Zellwasser.

Welche Schäden verursacht Strahlung in der Zelle?

Man unterscheidet drei Hauptwirkungen auf die DNS: Basenschäden, Einzelstrangbruch und Doppelstrangbruch. Die Spontanfrequenz von Doppelstrangbrüchen ist klein und deren Reparatur schwierig.

3.3. Begriff der Äquivalentdosis

Wie hängt die biologische Wirkung von der absorbierten Dosis ab?

Bei Dosen von weniger als 0,5 Gy (500 mGy) hängt die biologische Wirkung nicht nur von der absorbierten Dosis (D) ab, sondern auch davon, wie die Energie auf Zellniveau verteilt wird. Bei dichter Ionisation (Protonen, α -Teilchen) sind die Reparaturprozesse weniger wirksam und der Gesamtschaden ist bei gleicher absorbierter Dosis grösser.

Welche Grösse wird benutzt, um die Strahlenwirkung auf biologisches Gewebe bei Dosen unter 0,5 Gy (500 mGy) zu beschreiben?

Um die Strahlenwirkung von Dosen unter 0,5 Gy (500 mGy) auf biologischem Niveau zu beschreiben, benutzt man im Strahlenschutz die Äquivalentdosis (H). Sie ist das Produkt aus absorbierter Dosis (D) und Strahlenwichtungsfaktor w_R : $H = D \cdot w_R$

Einheit: $1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Sv} (1000 \text{ mSv})$.

Der Wichtungsfaktor w_R für Röntgenstrahlung ist 1. So entspricht bei Röntgenstrahlung eine absorbierte Dosis von 1 mGy einer Äquivalentdosis von 1 mSv.

3.4. Strahlenempfindlichkeit von Zellen und Gewebe

Welche Zelltypen sind besonders strahlenempfindlich und wieso?

Die strahlenempfindlichsten Zellen sind die sich rasch teilenden Zellen, junge Zellen und embryonale Zellen.

Welche Gewebetypen sind besonders strahlenempfindlich?

Besonders strahlenempfindlich sind das hämatopoetische Gewebe, das Lymphgewebe, die Darmschleimhaut, die Gonaden und die Augenlinsen.

3.5. Wirkung der Strahlung auf den Organismus

Welche Strahlenschäden kommen im menschlichen Organismus vor und von welchen Faktoren hängen sie ab?

Es gibt zwei Kategorien von Strahlenschäden im menschlichen Organismus, die sich durch ihre Ursache, ihre Dosisabhängigkeit und den Zeitpunkt ihres Auftretens unterscheiden: Gewebereaktionen (im Bereich der grossen Dosen), auch deterministische Wirkungen genannt und stochastische Wirkungen (im Bereich der kleinen Dosen).

Was sind deterministische Schäden und welche spezifischen Eigenschaften haben sie? Gewebeschäden oder deterministische Strahlenschäden sind gekennzeichnet durch:

- Organversagen.
 - Es gibt eine Dosischwelle unter der keine deterministischen Strahlenschäden auftreten.
 - Der Schweregrad der Schäden ist von der Dosis abhängig.
 - Die Strahlenschäden treten kurz nach der Bestrahlung auf (einige Stunden bis einige Wochen).
-

Was sind stochastische Schäden und welche spezifischen Eigenschaften haben sie?

Stochastischen Strahlenschäden sind gekennzeichnet durch:

- Schaden auf Zellniveau.
 - Das Fehlen einer nachgewiesenen Dosischwelle: Schäden treten auch bei kleinen Dosen auf.
 - Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist von der Dosis abhängig.
 - Eine lange Latenzzeit.
-

3.6. Gewebereaktionen oder deterministische Schäden

Ab welchem Zeitpunkt nach einer Bestrahlung treten Gewebereaktionen auf?

Der Zeitpunkt, ab welchem ein Gewebeschaden (oder deterministischer Schaden) sichtbar wird, hängt von der Dosis ab und beträgt normalerweise einige Stunden bis einige Wochen. Ausnahme hiervon sind Katarakt und Lungenfibrose, die mit grösserer Verzögerung auftreten können.

Welche Dosissschwellen haben deterministische Schäden?

Die allgemeine Schwelle für Gewebereaktionen liegt bei 0,5 Gy (500 mGy), sie ist jedoch von den betroffenen Organen abhängig. Beispielsweise liegt die Schwelle für das Auftreten eines Katarakts ebenfalls bei 0,5 Gy (500 mGy), aber diejenige für eine vorübergehende Sterilität des Mannes bei 0,15 Gy (150 mGy). Die Dosissschwelle für das Auftreten eines Katarakts wurde aufgrund neuer Analysen der Daten von Hiroshima-Nagasaki gesenkt.

Welchen Schaden löst eine akute Hautbestrahlung aus?

Wenn die Haut mit einer Dosis von 2 Gy (2000 mGy) bestrahlt wird, ist bei 1 % der Population (genutztes Kriterium zur Definition der Schwelle von Gewebeschäden) ein Erythem zu beobachten. Bei einer Dosis von über 5 Gy (5000 mGy) ist systematisch eine kutane Läsion zu erwarten.

3.7. Stochastische Schäden und der Begriff der effektiven Dosis

Worauf beruht die Risikoabschätzung der Krebsinduktion aufgrund von Bestrahlung?

Die Risikoabschätzung der Krebsinduktion aufgrund von Bestrahlung beruht auf der Nachfolgestudie an Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki. Es wird angenommen, dass die Krebsinduktion eine lineare Eintrittswahrscheinlichkeit ohne Schwelle aufweist (LNT-Hypothese; Linear No-Threshold Hypothesis). Im Strahlenschutz wird ein Reduktionsfaktor von 2 im Vergleich zum Risikofaktor aus der Nachfolgestudie an Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki angewendet.

Mit welcher Grösse wird das strahleninduzierte Krebsrisiko abgeschätzt?

Die Grösse, um das durch inhomogene Bestrahlung verursachte stochastische Risiko abzuschätzen, ist die effektive Dosis (E). Die Einheit entspricht derjenigen der Äquivalentdosis: Sievert (Sv). Die effektive Dosis (E) wird geschätzt als gewichteter Mittelwert der Äquivalentdosen aus einer Liste von Organen, die von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP: International Commission on Radiological Protection) definiert wurde, geschätzt: $E = \sum w_T \cdot H_T$ wobei H_T der Äquivalentdosis des Organs oder des Gewebes T und w_T dem Wichtungsfaktor fürs Gewebe des Organs T entspricht. Der letztgenannte Faktor repräsentiert den Anteil am Gesamtrisiko (für den Eintritt des Todes infolge einer Krebserkrankung und der erblichen Risiken).

Wie gross ist das Risiko einer Krebsinduktion durch ionisierende Strahlung?

Das Risiko für die Gesamtbevölkerung durch ionisierende Strahlung an Krebs zu sterben, wird auf 5 % pro Sv geschätzt (effektive Dosis).

3.8. Stochastische Schäden und Risiken für die Nachkommenschaft

Worauf beruht die Risikoabschätzung, ob Missbildungen in der Nachkommenschaft ausgelöst werden?

Vererbte genetische Strahlenschäden wurden in menschlichen Populationen nicht nachgewiesen. Die Abschätzung des Risikos, durch ionisierende Strahlen Missbildungen in der Nachkommenschaft zu erzeugen, basiert auf der Extrapolation von Resultaten aus Tierversuchen.

Wie hoch ist der betreffende Risikofaktor?

Das allgemeine Risiko für die gesamte Bevölkerung, eine Missbildung in der Nachkommenschaft zu verursachen, wird auf 0,2 % pro Sv geschätzt (effektive Dosis).

3.9. Intrauterine Auswirkungen von Strahlung

Welche Strahlenschäden kann der Embryo oder Fötus davontragen?

Die Bestrahlung in utero kann verursachen:

- in den ersten drei Wochen entweder das Absterben des Embryos oder aber gar keinen Schaden. Diese Dosis wird deshalb als ohne Schädigung betrachtet.
 - ab der dritten Woche bis zwei Monate (Organogenese) Missbildungen. Dies ist aber ein deterministischer Schaden mit einer Dosischwelle von 100 mSv.
 - ab der dritten Woche bis zur Geburt das Risiko der Krebsinduktion. Es handelt sich um den einzigen stochastischen Effekt der Bestrahlung in utero. Der Risikofaktor ist 3- bis 4-mal höher als bei einem Erwachsenen.
 - ab der 8. bis zur 25. Woche eine Verminderung des IQ. Dies ist auch ein deterministischer Schaden mit einem geschätzten Dosiswellwert von 500 mSv.
-

4. Grundsätze und Methoden des Strahlenschutzes

4.1. Ziele des Strahlenschutzes

Was sind die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf den Menschen?

Zu den biologischen Strahlenschäden zählen:

- Bei grossen Dosen: Deterministische Schäden (Hautverbrennungen, Katarakt) mit einer allgemeinen Schwelle von 500 mGy und einer semi-letalen Dosis bei akuter Ganzkörperbestrahlung von 5 Gy (5000 mGy).
- Bei kleinen Dosen: Stochastische Schäden (erhöhtes Krebsrisiko und Risiko von Missbildungen in der Nachkommenschaft) mit einem allgemeinen Risikofaktor von 5 % pro Sv (effektive Dosis).

Welches grundlegende Ziel hat der Strahlenschutz?

Das Ziel des Strahlenschutzes ist, Menschen, deren Nachkommen und die Umwelt vor Gefährdungen ionisierender Strahlung zu schützen.

Was sind die unterschiedlichen Ziele des Strahlenschutzes in Bezug auf deterministische und stochastische Schäden?

Die Ziele des Strahlenschutzes sind:

- Jegliche deterministische Schäden zu verhindern.
- Das Risiko für stochastische Schäden auf ein vernünftigerweise erreichbares Mass zu reduzieren.

Was sind die drei Grundsätze des Strahlenschutzes?

Der Strahlenschutz basiert auf drei Grundsätzen: Rechtfertigung (mehr Nutzen als Schaden), Optimierung (möglichst viel Nutzen bei wenig Schaden) und individuelle Dosisbegrenzung (kein Individuum opfern).

Welche Arten von Bestrahlung gibt es und wie schützt man sich dagegen?

Im Bereich des Strahlenschutzes unterscheidet man zwei Arten von Risiken:

- diejenigen, die sich ausschliesslich auf das Risiko einer externen Bestrahlung beziehen (z. B. Anlagen, die ionisierende Strahlung aussenden, wie es bei einer Röntgenröhre der Fall ist, oder geschlossene radioaktive Quellen)
- diejenigen, die ausserdem ein Risiko einer Kontamination oder Inkorporation aufweisen (Manipulation von offenen radioaktiven Quellen).

Welche Massnahmen schützen gegen eine externe Bestrahlung?

Die Schutzmassnahmen bei externer Bestrahlung sind:

- Zeit: Begrenzung der Expositionszeit
- Abstand: Einhaltung eines grossen Abstands zur Strahlungsquelle
- Abschirmung: Positionierung von Abschirmungseinrichtungen (Schutzvorrichtungen) zwischen der Strahlungsquelle und der Person

Welche Schutzmassnahmen gibt es gegen eine interne Bestrahlung?

Der beste Schutz ist die Verhinderung der Inkorporation. Dafür kann die beruflich strahlenexponierte Person die radioaktive Substanz isolieren (Nutzung von Kapellen, Abzugshauben etc.) sich mit Hilfe geeigneter Mittel gegen Inkorporation schützen (Tragen von Maske, Handschuhen etc.) und/oder sich hilfreiche Arbeitsweisen aneignen.

4.2. Grundsatz der Rechtfertigung

Was versteht man unter dem Grundsatz der Rechtfertigung?

Gemäss dem Grundsatz der Rechtfertigung ist eine Tätigkeit mit ionisierenden Strahlen nur dann legitim, wenn die mit ihr verbundenen Vorteile die strahlungsbedingten Nachteile deutlich überwiegen und keine vorteilhaftere Alternative ohne (oder mit geringerer) Strahlenexposition zur Verfügung steht.

Wie wird das Rechtfertigungsprinzip definiert?

Das Rechtfertigungsprinzip umfasst drei Stufen:

- Eine allgemeine Stufe, die berücksichtigt, dass die medizinischen Strahlenanwendungen im Prinzip als gerechtfertigt betrachtet werden.
 - Eine zweite Stufe, bei der die generelle Anwendung eines diagnostischen oder therapeutischen Verfahrens im Vorfeld gerechtfertigt werden muss.
 - Eine dritte Stufe, bei der die Rechtfertigung der Strahlenanwendung auf individueller Ebene erfolgt.
-

Welche Regeln gelten für die Rechtfertigung einer Anwendung ionisierender Strahlung zu diagnostischen Zwecken auf individueller Ebene?

Diejenige Person (Arzt oder Chiropraktor), welche die Anwendung verschreibt oder durchführt, muss alle verfügbaren diagnostischen Informationen und die medizinische Vorgeschichte des Patienten berücksichtigen, um jede unnötige Bestrahlung zu vermeiden.

Diejenige Person (Arzt oder Chiropraktor), welche die Anwendungen verschreibt, muss eine Indikation stellen, diese dokumentieren und an den durchführenden Arzt weiterleiten.

Derjenige Arzt, der befugt ist, radiologische Untersuchungen vorzunehmen und das Verfahren durchführt, haftet für die Angemessenheit der Auswahl des durchgeführten Verfahrens.

4.3. Grundsatz der Optimierung

Was versteht man unter dem Grundsatz der Optimierung?

Der Optimierungsgrundsatz fordert, dass die Dosen bei jeder Strahlenanwendung so gering wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA-Prinzip von "as low as reasonably achievable"), wobei auch die ökonomischen und sozialen Kosten mitberücksichtigt werden müssen. Dieses Prinzip leitet sich aus der Tatsache ab, dass es keine beweisbare Schwelle für stochastische Schäden gibt.

Wie überträgt man dieses Prinzip auf medizinische Anwendungen?

Bei diagnostischen Röntgenuntersuchungen in der interventionellen Radiologie und in der Nuklearmedizin muss der Bewilligungsinhaber sämtliche Strahlendosen von Patienten und Personal so weit als möglich und sinnvoll reduzieren. Die Optimierung betrifft die Auswahl der Anlage, der Einstellparameter, der Rekonstruktions- und Bildverarbeitungsalgorithmen, die Patienten- und Personaldosen sowie die Nutzung von Schutzmitteln für Patienten und Personal.

4.4. Grundsatz der Dosisbegrenzung

Was bedeutet ein Dosisgrenzwert?

Bei Dosisbegrenzungen bedeutet ein Grenzwert nicht, dass der Bereich unterhalb dieses Dosisgrenzwerts sicher ist, sondern, dass über dem Grenzwert ein inakzeptables Risiko besteht.

In welcher Einheit werden die Dosisgrenzwerte für deterministische Risiken angegeben? Um das deterministische Strahlenrisiko auszudrücken, wird die mittlere Äquivalentdosis (H_T) des betroffenen Organs benutzt. Für die Haut wird der Mittelwert über eine Fläche von 1 cm^2 gemessen.

In welcher Einheit werden die Dosisgrenzwerte für stochastische Risiken angegeben? Die effektive Dosis (E) ist die Grösse, die es erlaubt, das stochastische Risiko einer Exposition durch ionisierende Strahlung zu beschreiben.

Welches sind die relativen Risiken der verschiedenen Organe für stochastische Schäden? Der Faktor w_T für die Gonaden hat einen Wert von 0,08 (Risiko der Missbildungen in der Nachkommenschaft). Für die übrigen Organe ist er zwischen 0,01 und 0,12 (Krebsrisiko). Die Werte w_T werden von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) regelmässig im Sinne von Empfehlungen herausgegeben. Sie sind in die Strahlenschutzverordnung (StSV) übernommen worden und sind somit rechtlich bindend.

4.5. Dosisgrenzwerte hinsichtlich stochastischer Schäden

Wie wird der Grenzwert hinsichtlich stochastischer Schäden festgelegt?

Bei der Bestimmung des Dosisgrenzwerts geht man von einem maximalen Risiko für tödliche Karzinome und Missbildungen in der Nachkommenschaft von 10^{-3} pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen und von 10^{-4} pro Jahr für die allgemeine Bevölkerung aus. Es ist zu beachten, dass der auf die Bevölkerung angewandte Faktor 10^{-4} im Verhältnis zum natürlichen Risiko an Krebs zu sterben sehr niedrig ist, während der Risikofaktor für die beruflich strahlenexponierten Personen ein hohes Berufsrisiko darstellt.

Welche Dosisgrenzwerte gibt es für die verschiedenen Personenkategorien?

Die jährlichen Dosisgrenzwerte für die unterschiedlichen Personenkategorien sind:

- für beruflich strahlenexponierte Personen:
 - Normalfall: 20 mSv/Jahr
 - Ausnahmefall: 50 mSv/Jahr (mit Mittelwert von 20 mSv/Jahr über 5 aufeinanderfolgende Jahre)
 - junge Personen zwischen 16 und 18 Jahren: 6 mSv/Jahr
 - schwangere Frauen: ab Kenntnis einer Schwangerschaft bis zu ihrem Ende darf die effektive Dosis von 1 mSv für das ungeborene Kind nicht überschritten werden
 - für die allgemeine Bevölkerung:
 - 1 mSv/Jahr
 - für Patienten:
 - kein Dosisgrenzwert
-

4.6. Dosisgrenzwerte hinsichtlich deterministischer Schäden

Wie wird sichergestellt, dass keine deterministischen Schäden entstehen?

Um deterministische Schäden zu verhindern, sind für beruflich strahlenexponierte Personen folgende Dosisgrenzwerte eingeführt worden, die zusätzlich zu den Grenzwerten für stochastische Schäden gelten:

- H_{Linse} : 20 mSv/Jahr
 - H_{Haut} : 500 mSv/Jahr (Mittelwert für 1 cm²)
 - $H_{\text{Extremitäten}}$: 500 mSv/Jahr
-

4.7. Dosisbereiche und deren Dokumentation in der medizinischen Bildgebung

Welchen Nutzen hat die Definition der Dosisbereiche in der Radiologie?

Die Definition des Dosisbereichs für den Patienten ermöglicht ein optimales Management der Strahlenschutzanforderungen. Drei Bereiche sind definiert worden:

- Niedrigdosisbereich: $E < 1$ mSv
 - Mittlerer Dosisbereich: $1 \text{ mSv} \leq E \leq 5$ mSv
 - Hochdosisbereich: $E > 5$ mSv
-

Für wen gilt im Umgang mit Patienten ein Dosisrichtwert?

Der Dosisrichtwert von 5 mSv effektive Dosis pro Jahr gilt für nicht beruflich pflegende Personen (Verwandte oder Begleitpersonen) sowie für Teilnehmer an Forschungsprojekten ohne zu erwartenden direkten Nutzen.

Wie lange muss man dosisrelevante Informationen von radiologischen Untersuchungen aufbewahren?

Diese Informationen müssen im Fall von Anwendungen im mittleren Dosisbereich oder Hochdosisbereich ($E > 1$ mSv) sowie im Fall von Mammographien über einen Zeitraum von zehn Jahren aufbewahrt werden.

4.8. Operationeller Strahlenschutz

Welche Personen gelten als beruflich strahlenexponiert?

Als beruflich strahlenexponierte Person gilt, wer durch die berufliche Tätigkeit oder Ausbildung einen Dosisgrenzwert für Personen aus der Bevölkerung überschreiten könnte (1 mSv) oder wer mindestens einmal pro Woche in einem Kontroll- oder Überwachungsbereich (mit erhöhter Ortsdosisleistung) arbeitet oder ausgebildet wird.

Wie wird ein Bereich definiert, in dem mit ionisierender Strahlung gearbeitet wird?

Im Bereich der Röntgengeräte werden Überwachungsbereiche definiert, wenn eine Person eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv pro Jahr erhalten kann. Während dem Betrieb der Anlage ist der Zugang zum Überwachungsbereich nur berechtigten Personen gestattet (Patienten und wenn nötig Haltepersonen sowie beruflich strahlenexponiertes Personal). Jeder Ort in der Nuklearmedizin, in der eine Person eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv pro Jahr erhalten kann und zusätzlich zu einer möglichen externen Bestrahlung auch Umgang mit offenen radioaktiven Strahlungsquellen stattfindet, muss als Kontrollbereich eingestuft werden. Der Zugang zu diesen Bereichen ist nur berechtigten Personen gestattet.

Welche Kategorien von beruflich strahlenexponierten Personen gibt es?

Es existieren zwei Kategorien von beruflich strahlenexponierten Personen: Kategorie A und Kategorie B. Zur Kategorie A gehören Personen, die pro Kalenderjahr durch ihre berufliche Tätigkeit folgende Dosen akkumulieren können:

- einer effektiven Dosis von über 6 mSv
- einer Äquivalentdosis der Augenlinse von über 15 mSv oder
- einer Äquivalentdosis der Haut, der Hände oder Füße von über 150 mSv

In die Kategorie B fallen alle Personen, die berufsmässig Röntgenstrahlen ausgesetzt sind und nicht der Kategorie A (die wahrscheinlich Dosen erhalten, welche weit unter den obigen Werten liegen) angehören. Personal, welches Röntgenanlagen in ärztlichen Praxen nutzt, Zahnärzte und Tierärzte fallen in die Kategorie B. Standardmässig werden diejenigen Personen, welche berufsmässig Strahlung ausgesetzt sind, in die Kategorie A eingeordnet. Falls der Bewilligungsinhaber dem Bundesamt für Gesundheit nachweisen kann, dass die Expositionen die oben genannten Werte nicht übersteigen, ist der Wechsel in die Kategorie B möglich.

4.9. Individuelle Strahlenschutzüberwachung

Wieso werden beruflich strahlenexponierten Personen individuell überwacht?

Mit der individuellen Dosisüberwachung von beruflich strahlenexponierten Personen soll das Strahlenrisiko, welches die Person eingeht, regelmässig gemessen und überprüft werden. So kann bei Grenzwertüberschreitungen eingegriffen und die nötigen Massnahmen können angeordnet werden.

Was sind die dosimetrischen Grössen der individuellen Überwachung?

Bei externer Bestrahlung erfolgt die individuelle Überwachung mit einem Dosimeter, welches auf Brusthöhe getragen wird. Das Dosimeter misst folgende Werte:

- Individuelle Tiefen-Personendosis $H_p(10)$: Äquivalentdosis in weichem Gewebe in einer Tiefe von 10 mm. Sie dient der Messung der durch externe Bestrahlung von allen Organen (ausser der Haut) aufgenommenen Strahlung (Ganzkörperexposition) und der effektiven Dosis.
- Individuelle Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$: Äquivalentdosis in weichem Gewebe in einer Tiefe von 0,07 mm. Sie dient der Messung der durch externe Bestrahlung in der Haut aufgenommenen Strahlung.

Wenn die Dosen unterhalb der Grenzwerte sind, setzt man die effektive Dosis als $H_p(10)$ und die Hautdosis als $H_p(0,07)$. Wird ein Grenzwert überschritten, wird eine Untersuchung durchgeführt, um die effektive Dosis unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bestrahlungsbedingungen noch exakter zu ermitteln. Es wird angenommen, dass in einem homogenen Strahlenfeld die Äquivalentdosis der Augenlinse der Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$, welche mit Hilfe des Dosimeters gemessen wird, entspricht. Im Fall von inhomogenen Strahlungsfeldern (wie in der Radiologie) ist diese Grösse für die Dosis der Augenlinse nicht repräsentativ. Die Aufsichtsbehörde kann auf Einzelfallbasis das Tragen eines zusätzlichen Dosimeters in Höhe der Augen anordnen. Schliesslich gilt, dass im Fall des Tragens einer Schutzbrille ein Abschwächungsfaktor in Bezug auf $H_p(0,07)$ angewendet werden kann, um die Schätzung zu verbessern.

Welche Anforderungen muss ein persönliches Dosimeter erfüllen?

Persönliche Dosimeter müssen eine Empfindlichkeitsschwelle von 0,1 mSv aufweisen. Die Dosimeter werden von Dosimetriestellen ausgemessen, welche vom Bundesamt für Gesundheit anerkannt sind und für die Überprüfung der Messqualität jährlich an einer Vergleichsmessung teilnehmen müssen.

4.10. Schutzmassnahmen für die Bevölkerung

Wie wird die Bevölkerung vor ionisierender Strahlung geschützt, welche durch Anwendungen in der Medizin und in der Industrie entsteht?

Die Bevölkerung wird gegen direkte Bestrahlung aus Betrieben, welche ionisierende Strahlen einsetzen, durch Abschirmung und gegen Inkorporation radioaktiver Stoffe durch gesetzlich festgelegte Abgabelimiten für Abwasser und Abluft geschützt. Zudem müssen Gebrauchsgüter, die radioaktive Stoffe enthalten, eine BAG-Zulassung haben. Ausgangspunkt der Schutzmassnahmen bildet der Dosisgrenzwert von 1 mSv pro Jahr. Die verwendeten Berechnungsmodelle sind sehr konservativ und die Dosen der nicht beruflich strahlenexponierten Personen durch künstliche Quellen sind weit unterhalb des Grenzwerts. Zudem werden diese Expositionen mit einer Vielzahl von Umweltmessprogrammen durch das BAG überwacht.

4.11. Strahlendosen der Bevölkerung in der Schweiz

Welchen effektiven Dosen ist die Bevölkerung in der Schweiz aus natürlichen und künstlichen Strahlungsquellen durchschnittlich ausgesetzt?

Die mittlere Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz beträgt ungefähr 6 mSv pro Jahr. Sie setzt sich wie folgt zusammen:

- natürliche Quellen: drei Viertel (davon 3,2 mSv durch Radon)
 - künstliche Quellen: ein Viertel (davon 1,4 mSv durch medizinische Anwendungen)
-

5. Funktionsweise von Röntgenanlage und Detektor

5.1. Das radiologische Verfahren

Welches sind die drei Stufen des radiologischen Verfahrens?

Zur Wiederholung die drei Stufen des radiologischen Verfahrens:

- Erzeugung der Röntgenstrahlung
- Wechselwirkung der Röntgenstrahlung mit dem Patienten
- Aufzeichnung der Röntgenstrahlung, die den Patienten durchdrungen hat

5.2. Erzeugung der Röntgenstrahlen

Wie wird der Röntgenstrahl erzeugt und welcher Anteil der an der Anode ankommenden Energie wird in Röntgenstrahlung umgewandelt?

Im Inneren der Röntgenröhre werden die Elektronen, die von einem erhitzten Glühdraht abgegeben werden (Kathode der Röhre; Minuspol) zu einer Anode (Pluspol) hin beschleunigt. Dort werden sie abgebremst und geben ihre Energie hauptsächlich in Form von Wärme ab. Ein geringer Anteil der Energie (weniger als ein Prozent) wird in Röntgenstrahlen umgewandelt, die in alle Richtungen ausgestrahlt werden. Der grösste Anteil der Röntgenstrahlen wird im Schutzgehäuse der Röhre absorbiert. Am Ausgang der Röhre befinden sich ein Austrittsfenster (Öffnung im Schutzgehäuse), ein Filter zur Absorption der Röntgenstrahlen mit geringer Energie, eine Tiefenblende, um die Grösse des Strahlenbündels einzustellen, und ein Lichtvisier, welches dessen Abbild auf die Oberfläche des Patienten projiziert.

Wie kann man die Anzahl Elektronen beeinflussen, die in der Röntgenröhre von der Kathode zur Anode fließen?

Die Anzahl Elektronen, die pro Zeiteinheit von der Kathode zur Anode fliegen, entsprechen dem Röhrenstrom (die Einheit ist mA). Die Gesamtzahl der Elektronen, welche bei einer Aufnahme von der Kathode zur Anode gelangen, bilden die Ladung (Q). Die Ladung errechnet sich als Produkt aus Strom mal Belichtungszeit. In der Radiologie wird die Ladung in mAs (Milliamperesekunden) ausgedrückt.

Wie wird die Energie beeinflusst, mit der Elektronen auf die Anode aufprallen?

Die Energie der Elektronen bei ihrem Aufprall auf die Anode ist proportional zur Röhrenspannung. Die Energie der Elektronen beim Aufprall auf die Anode vom Zahlenwert her entspricht der Röhrenspannung und wird in Elektronenvolt (eV) angegeben. Legt man also zwischen Anode und Glühkathode eine Spannung von 60 kV an, werden die Elektronen mit einer Energie von 60 keV auf der Anode auftreffen.

Wie entstehen Röntgenstrahlen?

Die Röntgenstrahlen werden durch die Wechselwirkung der Elektronen mit der Materie der Anode erzeugt. Da die Ordnungszahl der Anode (im Allgemeinen wird Wolfram (W) benutzt) hoch ist, wird viel Bremsstrahlung erzeugt. Zu dieser Bremsstrahlung kommt die charakteristische Strahlung hinzu (Fluoreszenzstrahlung).

Wie sieht das Energiespektrum der in der Anode erzeugten Röntgenstrahlen aus?
Das Röntgenspektrum hat zwei Anteile:

- Einen kontinuierlichen Anteil, der von den Bremsstrahlen stammt. Beim Ausgang an der Anode hat das Spektrum der Bremsstrahlung die Form eines Dreiecks (viele Strahlen mit niedriger Energie, die maximale Energie des Spektrums entspricht der Energie, die die Elektronen beim Aufprall auf der Anode hatten). Die Eigenfilterung der Röntgenanlage und die Zusatzfilterung eliminieren die Strahlen mit geringer Energie, da diese nur wenig Chancen hätten, durch den Patienten hindurch bis zum Detektor zu gelangen und deshalb nur die Strahlenbelastung des Patienten erhöhen würden.
 - Einen Anteil aus Linien, der von der charakteristischen Strahlung stammt. Die Energien der Linien sind gleich den Differenzen der Bindungsenergien zwischen den innersten Elektronenschalen und daher für das Anodenmaterial charakteristisch.
-

5.3. Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Patient

Welches sind die wichtigsten Wechselwirkungen zwischen Röntgenstrahlen und Gewebe?
Folgende Wechselwirkungen finden zwischen Röntgenstrahlen und dem Gewebe des Patienten statt:

- Fotoeffekt (in Knochengewebe vorherrschend wegen hoher Ordnungszahl)
- Compton-Effekt (im Weichteilgewebe vorherrschend)

Die klassische Streuung (Thomson/Rayleigh) ist gering und kann vernachlässigt werden.

Wie hängt der lineare Schwächungskoeffizient vom Gewebetyp und der Strahlenenergie ab?

Die linearen Schwächungskoeffizienten sind umso höher, je niedriger die Strahlenenergie ist. Auch ist der Unterschied der linearen Schwächungskoeffizienten zwischen Knochen und Weichteilgewebe umso grösser, je tiefer die Strahlenenergie ist. Die linearen Schwächungskoeffizienten von Knochengewebe oder von Iod-haltigem Kontrastmittel sind stark von der Energie der Röntgenstrahlen abhängig (hohes $Z \rightarrow$ überwiegender Fotoeffekt). Dieser Zusammenhang ist bei Weichteilgewebe viel weniger ausgeprägt (tiefes $Z \rightarrow$ wenig Fotoeffekte).

Wie gross ist die Halbwertsschicht in Weichteilgewebe?

Die Halbwertsschicht (HWS) misst in Weichteilgewebe bei einer in der Röntgendiagnostik üblichen Spannung (70 kV) rund 3 cm.

Woher kommt die Streustrahlung und von welchen Faktoren hängt sie ab?

Der Compton-Effekt im Patienten führt zu Streustrahlung. Der Umfang der Streustrahlung hängt grundsätzlich von der Einblendung und der Patientendicke ab. Leider kann man aus den gestreuten Photonen keinerlei radiologisch relevante Informationen gewinnen. Sie verschlechtern im Gegenteil die Bildqualität.

Wie funktioniert das Streustrahlenraster und wie wird es charakterisiert?

Das Streustrahlenraster ist so gebaut, dass es ein Maximum an Primärstrahlen durchlässt und ein Maximum an Streustrahlung absorbiert. Es wird durch den Bucky-Faktor charakterisiert.

Um welchen Faktor erhöht das Streustrahlenraster die Dosis?

Der Bucky-Faktor (B) entspricht dem Faktor, um den die Patientendosis erhöht werden muss, wenn man ein Streustrahlenraster nutzt. Dieser Faktor schwankt zwischen 2 und 3.

5.4. Aufzeichnung der Strahlung

Welches sind die Hauptbestandteile eines Bildempfängers?

Die Aufzeichnung des Strahlenbildes (bildgebendes Verfahren) erfolgt in drei unterschiedlichen Komponenten: dem Detektor, dem Speicher und der Bilddarstellung. Die fotografische Emulsion (analoges Verfahren) vereinigt alle drei Elemente in einem.

Wie wird die Empfindlichkeit eines Detektors in der Radiologie definiert?

Die Empfindlichkeit eines Detektors ist umgekehrt proportional zur Dosis, welche der Detektor empfangen muss, um ein Bild zu erzeugen. In der Bildgebung benötigt man zur Erzeugung eines Bildes eine Detektordosis von einigen Mikrogray ($1 \mu\text{Gy} = 0,001 \text{ mGy}$).

Wie ist ein digitales Bild aufgebaut?

Das digitale Bild besteht aus einer Matrix (512×512 bis 2048×2048) von Zahlen, wobei jede Zahl für ein Pixel steht (die Grösse eines Pixels liegt für Bildgebung oder Durchleuchtung zwischen 150 und $200 \mu\text{m}$). Die Anzahl Graustufen, welche jedes Pixel darstellen kann, hängt von der zugeordneten Anzahl Bits ab. Diese Pixeltiefe bewegt sich zwischen 8 und 14 (was 256 bis $16'384$ Graustufen entspricht).

5.5. Bildempfänger bei der Röntgenaufnahme

Wie funktioniert ein digitales Verfahren mit einem passiven Detektor/CR-System (Computer Radiography System)?

Das digitale Verfahren mit passivem Detektor (CR) beruht auf einer Ladungsspeicherfolie. Die Röntgenstrahlung füllt die Elektronenfallen in den Kristallen der Ladungsspeicherfolie. Beim anschliessenden Auslesen werden, durch einen Laserstrahl angeregt, die Fallen entleert, wobei sie messbares Licht freisetzen. Der Expositionsspielraum (bzw. der Bereich der nutzbaren Empfindlichkeit) des CR-Systems ist sehr gross im Vergleich zur Bildgebung mit Röntgenfilmen.

Wie funktioniert das digitale Verfahren mit einem aktiven Detektor/DR-System (Digital Radiography System)?

Aktive Detektoren (DR- und Flachdetektoren) erlauben es, Bilder in Echtzeit anzuzeigen. Hier steckt hinter jedem angezeigten Pixel ein kleiner Detektor. Für ein Bild mit 512×512 Pixel ist also ein Bildempfänger mit 512×512 kleinen Detektoren nötig. Wie bei der CR ist der Empfindlichkeitsbereich der DR viel grösser (um einen Faktor 1000) als bei Film-Folien-Kombinationen.

5.6. Röntgenaufnahmen mit Belichtungsautomatik

Wie funktioniert die Belichtungsautomatik?

Beim Einsatz der Belichtungsautomatik muss am Schaltpult nur die Röhrenspannung eingegeben werden. Die Anlage entscheidet über die benötigte Stromstärke und Belichtungszeit. Die Ionisationskammer, die direkt vor dem Detektor angebracht ist,

unterbricht die Strahlung, sobald der Dosis-Sollwert entsprechend der Empfindlichkeit des Detektors erreicht ist.

Welches sind die kritischen Punkte der Belichtungsautomatik?

Für den Detektor kritische Punkte sind die Wahl der Messkammer(n) sowie die Lagerung des Patienten in Bezug zur Messkammer. Im mittleren Dosisbereich oder Hochdosisbereich ist es obligatorisch, über eine Belichtungsautomatik zu verfügen.

Wo soll der Patient zwischen Röhre und Detektor gelagert werden?

Der Patient soll stets so nahe wie möglich beim Detektor gelagert werden, denn dies erhöht die räumliche Auflösung des Bildes (Vermeiden von Vergrößerungseffekten und somit die Begrenzung der geometrischen Unschärfe). Zudem wird die Hautdosis des Patienten verringert.

Wie hängt die Oberflächeneintrittsdosis (OED) vom Fokus-Detektor-Abstand (FDA) ab?

Die Oberflächeneintrittsdosis des Patienten nimmt mit steigendem Fokus-Detektor-Abstand ab. Diese Abnahme ist jedoch geringer, als das Abstandsquadratgesetz erwarten liesse, da die Exposition erhöht werden muss, um die gleiche Detektordosis zu erhalten (Zweck der Belichtungsautomatik).

Welche Vorteile bringt die Einblendung?

Das Einblenden des Nutzstrahls verbessert die Bildqualität (den Kontrast), weil die Streustrahlung im Patienten dadurch verringert wird. Die Einblendung verringert zudem auch die Patientendosis und die Streustrahlung im Umfeld des Patienten. Diese Massnahme bringt nur Vorteile und sollte somit unbedingt umgesetzt werden.

5.7. Röntgenaufnahmen mit freier Belichtung

Was ist bei manuellen Einstellungen zu beachten und wie passt man die Einstellparameter besonderen Patienten an?

Die Einstellparameter bei manueller Funktionsweise basieren auf einer Expositionstabelle, in der insbesondere für jede anatomische Region die Spannung und die Ladung angegeben sind, die für einen durchschnittlichen Patienten anzuwenden sind. Um die Parameter auf einen spezifischen Patienten (Statur, Körpermasse) anzupassen, ist Erfahrung nötig.

Wo wird der Patient zwischen Röntgenröhre und Detektor positioniert?

Wie bei der Aufnahme mit Belichtungsautomatik wird der Patient so nahe wie möglich zum Detektor positioniert.

Wie verändert sich die Patientendosis abhängig vom Fokus-Detektor-Abstand?

Bei freier Belichtung wird die beim Detektor eintreffende Dosis nicht von einer Belichtungsautomatik geregelt. Daher nimmt die Patientendosis mit zunehmendem Abstand umgekehrt quadratisch ab, solange die Spannung nicht verändert wird.

Weshalb ist das Einblenden des Röntgenstrahls wichtig?

Auch im manuellen Modus entspricht es guter Röntgenpraxis, dass die exponierte Fläche immer möglichst dem diagnostisch relevanten Ausschnitt entspricht.

5.10. Bilddarstellung

Welche Anforderungen gelten für die Darstellung des Röntgenbildes?

Die Auswertung der Aufnahmen muss mit einem Bildschirm erfolgen, der dem internationalen DICOM-Standard (Digital Imaging and Communication in Medicine) genügt.

6. Kompromiss zwischen Dosis und Bildqualität

6.1. Einstellparameter und Patientendosis

Wie verändern sich Quantität (Strom) und Qualität (Energie) der Elektronen und damit der Röntgenstrahlen mit den Einstellparametern Spannung (kV) und Ladung (mAs)? Die Anzahl der Elektronen (Quantität) wird von der Ladung (mAs) bestimmt. Ihre Energie (Qualität) beim Auftreffen auf die Anode ist abhängig von der Spannung (kV). Die Anzahl der Röntgenstrahlen (Quantität) wird durch die Ladung und die Spannung in der Röntgenröhre (mAs und kV) festgelegt, während das Energiespektrum (Qualität) durch die Spannung (kV) und den Filter am Ausgang der Röhre bestimmt wird.

Wie verändert sich bei manueller Belichtung die Menge der Röntgenstrahlen beim Patienteneintritt als Funktion der Einstellparameter sowie des Abstandes zum Fokus? Die absorbierte Hautdosis eines Patienten ist:

- proportional zum Quadrat der Röhrenspannung. Wenn man die Spannung von 60 auf 80 kV erhöht, erhöht man damit nicht nur die durchschnittliche Energie des Röntgenspektrums, sondern erhält auch eine um $80^2/60^2$, also 1,8-mal höhere Anzahl Röntgenstrahlen.
 - proportional zur Ladung. Wenn man das mAs-Produkt verdoppelt, verdoppelt sich nur die Anzahl Röntgenstrahlen, die durchschnittliche Energie des Röntgenspektrums bleibt aber unverändert.
 - umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes zum Fokus. Wenn man also diesen Abstand verdoppelt (bei gleichbleibenden kV und mAs - was nur bei manueller Einstellung möglich ist), verringert man die Hautdosis um den Faktor 4.
-

Wie ändert sich bei gleichbleibender Dosis am Detektor (Einsatz der Belichtungsautomatik) die Strahlenmenge beim Eintritt in den Patienten, wenn die Dicke des Patienten und die Röhrenspannung ändern?

Bei gleichbleibender Detektordosis (Belichtungsautomatik), hängt die absorbierte Hautdosis des Patienten von seiner Körperdicke und der Spannung ab. Das Verhältnis von Hautdosis zur Detektordosis bewegt sich für übliche Untersuchungen zwischen 10 und 1000. Da dieses Verhältnis bei hohen Spannungen (durchdringendere Strahlung) kleiner ist als bei niedrigen Spannungen, soll man für korpulente Patienten höhere Spannungen verwenden, um eine zu hohe Hautdosis zu vermeiden.

6.2. Kompromiss zwischen Patientendosis und Kontrast

Wie ist der Bildkontrast definiert?

Der Bildkontrast ist definiert als der Graustufen-Unterschied zwischen der abgebildeten anatomischen Struktur und ihrer Umgebung.

Wovon hängt der Bildkontrast ab?

Der Bildkontrast hängt von den unterschiedlichen Schwächungskoeffizienten der Gewebe ab. Je grösser der Unterschied der Röntgenstrahlendurchlässigkeit zweier anatomischer Strukturen ist, desto grösser ist ihr dargestellter Bildkontrast. Der Bildkontrast ist also abhängig von der Differenz der linearen Schwächungskoeffizienten der untersuchten Struktur und ihrer Umgebung. D.h. mit zunehmender Energie der Röntgenstrahlen (kV) und abnehmender Dicke der anatomischen Struktur sinkt der Bildkontrast.

Welche Wirkung hat der Streustrahlenbeitrag auf den Kontrast?

Die durch den Compton-Effekt entstandene Streustrahlung verschlechtert den Strahlenkontrast und damit die Bildqualität. Das Streustrahlenraster wirkt dem entgegen und verbessert den Kontrast der Aufnahme durch die signifikante Reduktion der Streustrahlung am Eingang des Detektors.

Welchen Einfluss hat eine Verbesserung des Bildkontrastes auf die Patientendosis?

Um den Bildkontrast zu verbessern, müssen die Unterschiede zwischen den Schwächungskoeffizienten der unterschiedlichen Gewebetypen vergrößert werden. Dies wird durch eine Verringerung der Strahlenenergie (kV) erreicht. Dadurch werden die Röntgenstrahlen im Gewebe stärker absorbiert. Ohne Einsatz von Kontrastmitteln führt eine Erhöhung des Bildkontrastes somit zwangsläufig zu einer Erhöhung der Patientendosis.

6.3. Kompromiss zwischen Patientendosis und räumlicher Auflösung

Was versteht man unter der räumlichen Auflösung bei radiologischen bildgebenden Verfahren und wie beurteilt man sie?

Die räumliche Auflösung eines bildgebenden Systems ist dessen Fähigkeit zur Abgrenzung zweier Strukturen, die nahe beieinander liegen, d.h. die Fähigkeit zur Abgrenzung der Ränder beider Strukturen. Je höher die räumliche Auflösung, umso schärfer ist das Bild. Idealerweise sollte das Abbild eines Punktes ein Punkt sein. Tatsächlich wird er aber oft zu einem kleinen Fleck. Die räumliche Auflösung eines bildgebenden Verfahrens wird anhand der Grösse des Abbildes eines Punktes gemessen.

Welche Parameter beeinflussen die räumliche Auflösung eines radiologischen bildgebenden Systems?

Folgende Parameter beeinflussen die räumliche Auflösung:

- Die Fokusgrösse der Röntgenröhre verursacht auf dem Bild einen Halbschatten um jedes Objekt. Röntgenanlagen haben zwei Fokusgrößen (die eine beträgt etwa 0,6 mm - kleiner Fokus, die andere ungefähr 1,2 mm - grosser Fokus). Bei geometrischen Vergrößerungen (um ein Objekt vergrößert darzustellen, wird der Detektor weiter vom Patienten entfernt) kann der Halbschatten reduziert werden, indem der kleine Fokus gewählt wird.
 - Die Belichtungszeit beeinflusst die räumliche Auflösung ebenfalls (Risiko, dass sich der Patient bewegt). Deshalb gilt, je kürzer die Belichtungszeit, desto besser die räumliche Auflösung.
-

Was ist die Grössenordnung der Auflösung radiologischer bildgebender Verfahren?

Die Pixelgrösse bestimmt ebenfalls die räumliche Auflösung. Bei Systemen für Bildgebung und für Durchleuchtung beträgt die Pixelgrösse zwischen 0,15 und 0,2 mm. Man kann also anatomische Strukturen darstellen, die weniger als ein Millimeter breit sind.

Wie wirkt sich die Erhöhung der räumlichen Auflösung auf die Dosis aus, die auf den Patienten einwirkt?

Die Wahl der Fokusgrösse hat keinen Einfluss auf die Patientendosis. Bei konstantem mAs-Produkt hat die Belichtungszeit ebenfalls keinen Einfluss auf die Patientendosis. Im Gegensatz dazu hat die Variation der Pixelgrösse einen bedeutenden Einfluss auf die Patientendosis. Bei der Bildgebung ist diese Variation nicht möglich, aber in der

Durchleuchtung ermöglicht die Umgruppierung der Pixel (Binning) eine Verringerung der Patientendosis auf Kosten der räumlichen Auflösung.

6.4. Kompromiss zwischen Patientendosis und Bildrauschen

Was versteht man unter Bildrauschen und wie kann man es messen?

Das Rauschen eines Bildes hängt mit zufälligen Fluktuationen der im Detektor pro Pixel empfangenen Signalstärke zusammen. Die Intensität dieser Signalfuktuationen hängt von der Anzahl Photonen ab, die in einem Pixel auftreffen. Je höher deren Anzahl, desto geringer ist das Rauschen. Das Bildrauschen nimmt mit der Quadratwurzel der Anzahl Photonen pro Pixel ab. Wenn man also das Rauschen um den Faktor 2 reduzieren möchte, muss man die Anzahl der Röntgenphotonen am Detektor vervierfachen. Das Rauschen ist auch abhängig von der Empfindlichkeit eines Detektors. Je empfindlicher ein Detektor ist, desto weniger Photonen sind für ein brauchbares Bild pro Pixel notwendig; deshalb gilt, je empfindlicher ein Detektor ist, desto grösser wird das Bildrauschen. Man kann das Rauschen messen, indem man die Standardabweichung der Graustufen innerhalb einer homogenen abzubildenden Bildregion bestimmt.

Gibt es bei Röntgenbildern einen Zusammenhang zwischen räumlicher Auflösung und Rauschen?

Das Rauschen hängt von der Anzahl Photonen ab, die auf einem Pixel auftreffen. Für eine bestimmte Röntgeneinstellung (unveränderte kV, mAs und Abstand) gilt deshalb, je kleiner die Pixel sind (um die räumliche Auflösung zu erhöhen), desto grösser wird das Rauschen.

7. Patientendosis beim Röntgen

7.1. Risiken beim Röntgen und die Dosisindikatoren

Mit welcher Grösse wird das stochastische Risiko angegeben, welches ein Patient bei einer Röntgenuntersuchung eingeht?

Um das stochastische Risiko anzugeben, welches Patienten bei einer Röntgenuntersuchung eingeht, wird die effektive Dosis (E) verwendet. Es gibt keinen Konsens darüber, ob bei niedrigen Dosen ein direkter Zusammenhang zwischen der effektiven Dosis und einer Krebsinduktion besteht. Die effektive Dosis wird verwendet, um stochastische Schäden abzuschätzen (also die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Schaden eintritt). Daher sollte man die effektive Dosis nicht zur Risikoabschätzung eines individuellen Patienten gebrauchen. Bei Kindern ist das Risiko im Allgemeinen drei- bis viermal höher als beim Erwachsenen. Bei alten Personen ist das Risiko um den Faktor 3 kleiner als bei 30- bis 40-Jährigen.

Welches sind die deterministischen Risiken für einen Patienten beim Röntgen und mit welcher Grösse werden sie gemessen?

Das einzige deterministische Risiko für den Patienten bei einer Röntgenuntersuchung sind Hautschäden. Sie treten nur bei sehr intensivem Durchleuchten auf. Die repräsentative Messgrösse für solche Schäden ist die absorbierte Dosis der Haut. Die internationalen Empfehlungen fordern, dass im Dosisbereich ab einem Gray ernsthafte Überlegungen zur Dosisreduktion angezeigt sind.

Mit welcher Strategie wird die effektive Dosis einer Röntgenuntersuchung bestimmt? Für jede Untersuchungsart (Aufnahme bzw. Durchleuchtung) wird ein Dosisindikator festgelegt, um die effektive Dosis abzuschätzen. Die effektive Dosis erhält man einfach, wenn man diesen Dosisindikator mit einem allgemeinen Umrechnungsfaktor multipliziert, der unabhängig vom Patienten aber abhängig von der genutzten Untersuchungsmethode (Bildgebung, Durchleuchtung, CT, etc.) und der exponierten anatomischen Region ist. Die effektive Dosis, die auf diese Art und Weise ermittelt wird, ist repräsentativ für die Dosis, die ein dem Standard entsprechender Erwachsener (etwa 75 kg) bei der radiologischen Untersuchung erhalten würde. Man ermittelt nie die effektive Dosis des untersuchten Patienten.

Welches sind die Dosisindikatoren für Röntgenaufnahmen und für die Durchleuchtung?

Bei der Bildgebung nimmt man als Dosisindikator die von der Haut absorbierte Dosis beim Eintritt des Röntgenstrahls in den Patienten (OED - Oberflächeneintrittsdosis in mGy). Daraus kann man die effektive Dosis abschätzen. Bei der Durchleuchtung verwendet man das Dosisflächenprodukt (DFP z. B. in mGy.cm² ausgewiesen) als Dosisindikator um die effektive Dosis abzuschätzen. Der Dosisindikator, der die Abschätzung der von der Haut absorbierten Dosis ermöglicht, ist die kumulative Dosis (KD in mGy). Diese beiden Dosisindikatoren werden von der Durchleuchtungsanlage angezeigt.

7.2. Vom Dosisindikator zur effektiven Dosis bei Röntgenaufnahmen

Von welchen Parametern hängt bei einer Röntgenaufnahme die von der Haut des Patienten absorbierte Oberflächeneintrittsdosis ab?

Die von der Haut des Patienten an der Eintrittsstelle des Röntgenstrahls absorbierte Dosis (OED) hängt von den Einstellparametern ab, insbesondere von der Spannung (kV), der Ladung (mAs) und von der Aufnahmegeometrie (Abstand vom Fokus zur Patientenoberfläche und vom Patienten zum Detektor). Die absorbierte Dosis ist auch von der Empfindlichkeit des Detektors abhängig.

Was ist der Umrechnungsfaktor e_{OED} und wie gross ist er bei üblichen Röntgenuntersuchungen?

Der Umrechnungsfaktor (e_{OED}) hängt von der zu untersuchenden Körperregion ab. Die Multiplikation der absorbierten Oberflächendosis (OED in mGy) und diesem Umrechnungsfaktor ergibt die effektive Dosis (E in mSv). Der Körperstamm ist eine besonders strahlenempfindliche Körperregion. Sein Umrechnungsfaktor e_{OED} liegt in der Grössenordnung von 0,2 mSv/mGy.

7.3. Grössenordnung der effektiven Dosis bei Röntgenaufnahmen

In welcher Grössenordnung liegt die effektive Dosis einer Röntgenaufnahme?

Die effektive Dosis des Patienten hängt von der Körperregion ab, die geröntgt wird. Für eine Aufnahme des Körperstamms beträgt sie zwischen 0,5 und 2 mSv. Die Thoraxaufnahme stellt mit einer relativ geringen effektiven Dosis in der Grössenordnung von 0,02 mSv eine Ausnahme dar. Bei Untersuchungen der Extremitäten und des Schädels ist die effektive Dosis ebenfalls sehr gering. Zum Vergleich: Sie liegt bei einer intraoralen zahnärztlichen Aufnahme in der Grössenordnung von 0,005 mSv.

7.6. Grössenordnung der effektiven Dosen in der Computertomographie und Nuklearmedizin

In welchen Grössenordnungen liegen die effektiven Dosen von in der Computertomographie und Nuklearmedizin durchgeführten Untersuchungen?

Bei diagnostischen Untersuchungen in der Nuklearmedizin liegen die effektiven Dosen zwischen 0,2 mSv (Lungenventilation) und 7 bis 10 mSv (PET-Untersuchung mit CT). CT-Untersuchungen führen zu den folgenden effektiven Dosen (pro Phase): 2 bis 3 mSv für Hirnuntersuchungen, 4 bis 5 mSv für Thoraxuntersuchungen und 8 bis 10 mSv für Untersuchungen im Bereich von Abdomen und Becken.

7.7. Dosen der Schweizer Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik

Welche mittlere Dosis erhält die Bevölkerung in der Schweiz durch die Röntgendiagnostik?

Die mittlere Dosis der Bevölkerung in der Schweiz wurde für das Jahr 2018 mit 1,4 mSv pro Einwohner angegeben. Dieser Wert liegt innerhalb der europäischen Norm.

Welche Untersuchungsmethoden sind wie häufig und welchen Anteil tragen sie zur mittleren Dosis pro Bewohner bei?

Das Zahnröntgen macht zwar einen grossen Anteil aller Untersuchungen aus (etwa 50 %), leistet aber nur einen geringen Beitrag (< 1 %) zur jährlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung. Bei Computertomographien ist es umgekehrt. Hier verursacht eine geringe Anzahl Untersuchungen (10 %) einen hohen Beitrag zur jährlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung (fast 70 %). Der Beitrag der Röntgenuntersuchungen ist punkto Anzahl der Untersuchungen vergleichbar mit dem Zahnröntgen (40 %), trägt aber rund 10 % bei.

8. Diagnostische Referenzwerte (DRW)

8.1. Diagnostische Referenzwerte und Optimierung

Welche Funktion haben die diagnostischen Referenzwerte (DRW)?

Angesichts der grossen Unterschiede der Patientendosis für ein und dieselbe Untersuchung hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) die Festlegung von Richtwerten vorgeschlagen. Diese werden als diagnostische Referenzwerte (DRW) bezeichnet. Dabei handelt es sich nicht um einen Grenzwert, sondern um eine Referenzgrösse. Das systematische Überschreiten des DRW bei durchschnittlichen Patienten muss zu einer umfassenden Analyse führen, mit dem Ziel, die Patientendosis zu reduzieren.

Worauf basieren die DRW-Werte und wo findet man sie?

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) organisiert regelmässig nationale Umfragen zu den Patientendosen für unterschiedliche radiologische Untersuchungen. Auf Grundlage der erhobenen Daten veröffentlicht das BAG Listen mit den DRW für die wichtigsten radiologischen Untersuchungen.

8.2. Festlegen diagnostischer Referenzwerte und Anwendung des Konzepts

Wie wird ein DRW festgelegt?

Ganz allgemein basiert der DRW auf einem einfach zu messenden Dosisindikator, welcher einen direkten Bezug zur Patientendosis hat. Dieser Dosisindikator wird während einer spezifischen Röntgenuntersuchung von mehreren durchschnittlichen Patienten (75 kg) gemessen und daraus wird der DRW berechnet. Er entspricht der 75. Perzentile der Verteilung. Ziel ist es, in der Praxis grosse Dosisunterschiede bei gleichen Voraussetzungen (Untersuchungsprotokoll, Patienteneigenschaften etc.) zu vermeiden. Daher sind DRW repräsentativ für die tägliche Praxis.

Wie wird das Prinzip des DRW umgesetzt?

Jeder Röntgendienst muss periodisch die Dosisindikatoren wichtiger Röntgenuntersuchungen (durchschnittlicher Patient, vergleichbare Indikation, Anzahl Fälle) analysieren und mit dem DRW vergleichen. Werden die DRW regelmässig überschritten, müssen Abklärungen eingeleitet und Massnahmen zur Verringerung der Patientenexposition ergriffen werden.

8.3. Diagnostischer Referenzwert bei Röntgenaufnahmen

Auf welchen Dosisindikator bezieht sich der DRW bei einer Röntgenaufnahme?

Bei Röntgenaufnahmen bezieht sich der DRW auf die Oberflächeneintrittsdosis am Patienten (OED). Für ein Dutzend Standardaufnahmen, die sich in Körperregion und Strahlenrichtungen unterscheiden, sind DRW festgelegt worden.

Wie wird die OED aufgrund der Einstellparameter ermittelt?

Die OED kann entweder berechnet oder gemessen werden. Es wird empfohlen, die OED aufgrund der Einstellparameter, einer gerätespezifischen Konstante und des Fokus-Oberflächen-Abstands zu berechnen. Die Ungenauigkeit der Berechnung liegt bei rund 30 %. Auf der Website des BAG steht eine Excel-Tabelle für die Berechnung der OED zur Verfügung.

8.4. Massnahmen beim Überschreiten eines diagnostischen Referenzwerts

Was könnte der Grund einer DRW-Überschreitung bei einer Röntgenaufnahme sein?

Gründe für eine erhöhte Dosis können sein:

- Eine zu geringe Empfindlichkeit des Detektors. Man muss den von der Röntgenanlage angezeigten Wert des Dosisindex überwachen.
- Die gewählte Spannung ist zu gering.
- Der Abstand des Patienten zur Röntgenröhre.

8.7. Patienteninformation

Über welche Risiken muss der Patient bei Untersuchungen im Niedrigdosisbereich, im mittleren Dosisbereich oder im Hochdosisbereich informiert werden?

Radiologische Untersuchungen im Niedrigdosisbereich stellen sehr geringe Strahlenrisiken dar, welche in der Regel vernachlässigt werden können

(Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Krebserkrankung in der Grössenordnung von 10^{-6} bis 10^{-5}). Auch wenn dieses Risikoniveau sehr gering ist, müssen die Grundprinzipien des Strahlenschutzes angewendet werden (insbesondere in Bezug auf die Rechtfertigung und Optimierung). Bei Untersuchungen im mittleren Dosisbereich liegt der Risikofaktor im Bereich von 10^{-4} . Obwohl eine radiologische Untersuchung nur ein geringes Risiko darstellt verglichen mit dem natürlichen Risiko an Krebs zu erkranken, muss der verordnende Arzt überzeugt sein, dass die Untersuchung im Rahmen der Behandlung des Patienten nützlich ist und ihn diesbezüglich informieren. Bei Untersuchungen im Hochdosisbereich und insbesondere bei durchleuchtungsgestützten interventionellen Untersuchungen ist die Einhaltung der Dosisindikatoren unerlässlich, um das Risiko eines deterministischen Schadens abschätzen, und den Patienten diesbezüglich informieren zu können.

9. Hauptkriterien der Bildqualität

9.1. Herausforderungen bei der Bildqualität in der Radiologie

Was sind die beiden wichtigen Fragestellungen für die Röntgenbildqualität?

Das Ziel der Röntgenbildgebung ist nicht die allerbeste Bildqualität, sondern die Gewinnung der für Diagnose und Behandlung des Patienten wichtigen Informationen. Um die Überlegungen punkto Bildqualität zu vereinfachen, geht man in der Röntgendiagnostik von zwei Arten von Strukturen aus, die dargestellt werden sollen:

- relativ grosse Strukturen (> 5–10 mm) mit geringem Kontrast,
- kleine Strukturen (im Bereich eines Millimeters) mit grossem Kontrast.

Normalerweise ist es sehr schwierig, kleine Strukturen mit niedrigem Kontrast darzustellen, da die dazu nötige Patientendosis viel zu hoch wäre.

9.2. Wie kann man die Kontrastauflösung (CNR) ändern?

Was beeinflusst die Erkennbarkeit von Strukturen mit schwachem Kontrast?

Die Kontrastauflösung ist die Fähigkeit, zwei Strukturen, deren Kontrast nah beieinander liegt, darzustellen. Die Darstellung von Strukturen mit geringem Kontrast hängt gleichzeitig vom Kontrastwert der Strukturen und vom Rauschwert des Bildes ab.

Genauer gesagt hängt sie vom Verhältnis des Kontrasts zum Rauschen (contrast to noise ratio, CNR) der Struktur und deren Umgebung ab. Je höher der CNR-Wert ist, umso besser gelingt die Darstellung der Strukturen. Man kann den CNR-Wert variieren, indem man entweder die Empfindlichkeit des Detektors reduziert (Erhöhung der Dosis im Bereich des Detektors, die mit einer Verringerung des Bildrauschens assoziiert ist), oder indem man den radiologischen Kontrast der Struktur und deren Umgebung erhöht (Verringerung des kV-Werts oder Nutzung von Kontrastmitteln). Bestimmte Bildbearbeitungsmethoden ermöglichen die Verbesserung der Kontrastauflösung (z. B. Rauschglättung).

9.3. Wie kann man die räumliche Auflösung ändern?

Wie lässt sich die räumliche Auflösung verändern?

Kleine Strukturen mit hohem Kontrast erzeugen ein ausreichend starkes Signal. Das Problem dabei ist (dank der hohen CNR) nicht die Darstellung selbst, sondern vielmehr eine exakte Wiedergabe der Umrisse. Um die Struktur mit klaren Umrissen darzustellen, muss die räumliche Auflösung hoch sein. Die räumliche Auflösung hängt von der Fokusgrösse, Belichtungszeit und Pixelgrösse ab. Bestimmte Bildbearbeitungsmethoden ermöglichen die Verbesserung der erfassten räumlichen Auflösung (z. B. Randverstärkung).

9.4. Wie kann man bei Röntgenaufnahmen das Bildrauschen ändern?

Wie kann man die Empfindlichkeit bei Röntgenaufnahmen beeinflussen?

Digitale Röntgengeräte zeigen nach einer Aufnahme einen Parameter (Dosisindex) an. Dieser Index ist abhängig von der Dosis, die der Detektor aufnimmt. Der Anwender kann anhand dieses Wertes also abschätzen, mit welcher Empfindlichkeit die Aufnahme gemacht worden ist. Um die Patientendosis zu kontrollieren, sollte man diesen Index regelmässig ablesen. Je kleiner die Empfindlichkeit ist, desto höher ist die Dosis und umso schwächer ist das Bildrauschen.

10. Optimierung der Patientendosis

10.1. Allgemeine Voraussetzungen einer Röntgenuntersuchung

Welche allgemeinen Voraussetzungen müssen für die Durchführung einer Röntgenuntersuchung erfüllt sein?

Voraussetzungen zur Durchführung einer Röntgenuntersuchung:

- Mit dem eidgenössischen Arztdiplom oder einem anerkannten ausländischen Ausbildungsdiplom darf der Träger bildgebende Untersuchungen des Thorax und der Extremitäten (einschliesslich der Schultern) durchführen.
 - Ein Arzt, der Untersuchungen im mittleren Dosisbereich oder Hochdosisbereich durchführt, muss über eine angemessene und anerkannte Ausbildung im Strahlenschutz, sowie über einen dazu befähigenden Weiterbildungstitel oder ein entsprechendes Fähigkeitszeugnis verfügen.
 - Die Rechtfertigung einer radiologischen Untersuchung fällt ausschliesslich in das Aufgabengebiet eines Arztes, Zahnarztes oder Chiropraktors.
 - Die Indikation muss unter Berücksichtigung des Rechtfertigungsprinzips gestellt werden. Des Weiteren gilt, dass der verschreibende Arzt die Indikation stellen, dokumentieren und dem durchführenden Arzt weiterleiten muss.
 - Es ist möglich, dass die Rechtfertigung eines Einzelfalls den in der Strahlenschutzverordnung StSV vorgesehenen Rahmen sprengt. In solchen Ausnahmefällen muss der Eingriff vom ausführenden Arzt gerechtfertigt und besonders sorgfältig dokumentiert werden.
 - Für jeden Untersuchungstyp muss ein Standarduntersuchungsprotokoll erstellt werden, welches ausser den technischen Modalitäten die zu erwartenden Dosisindikatorwerte enthalten muss. Die zu ergreifenden Massnahmen im Fall einer durch die Strahlung drohenden Gewebereaktion beim Patienten (deterministische Effekte) sind ebenfalls zu dokumentieren.
 - Der Patient muss über die radiologischen Risiken im Zusammenhang mit der Untersuchung informiert werden und eine Erklärung des Untersuchungsablaufs erhalten, um seine bestmögliche Mitarbeit während der Untersuchung zu erreichen.
-

10.2. Technische Voraussetzungen für eine Röntgenuntersuchung

Welches sind die technischen Voraussetzungen bei einer Röntgenuntersuchung?

Die technischen Voraussetzungen für die Ausführung von Röntgenuntersuchungen sind:

- Die Röntgenanlagen dürfen nur in entsprechenden Räumen (Überwachungsbereiche) eingesetzt werden und unterliegen einem Qualitätssicherungsprogramm. Sie sind bewilligungspflichtig.
 - Bei Röntgenaufnahmen sollten Bildempfänger mit genügend hoher Empfindlichkeit verwendet werden, um die Dosis zu minimieren (Grundsatz der Optimierung).
 - Es müssen Schutzmittel (Schürze, Abdeckmaterial aus Blei) für Personal und Patienten vor Ort zur Verfügung stehen.
 - Eine Expositionstabelle, welche die Einstellparameter der geläufigen Untersuchungen angibt, muss vor Ort verfügbar sein.
-

10.3. Allgemeine Regeln für die Patientenlagerung

Wie soll ein Patient für eine Röntgenaufnahme gelagert werden?

Die Grundregeln für die Lagerung des Patienten bei einer Röntgenuntersuchung sind:

- Der Patient sollte sich so nahe wie möglich beim Detektor befinden und der Fokus-Detektor-Abstand unter Berücksichtigung der technischen Rahmenbedingungen sollte so gross wie möglich gewählt werden.
 - Der Nutzstrahl sollte unter Berücksichtigung der klinischen Fragestellung so eng wie möglich eingebündelt werden.
 - Schräger und seitlicher Strahlengang sollten - wenn nicht zwingend notwendig - vermieden werden, da dabei deutlich mehr Gewebe durchstrahlt wird. Ebenso sollte beim Durchleuchten die Vergrößerung zurückhaltend eingesetzt werden.
-

10.4. Technische Durchführung einer Röntgenaufnahme

Welche Regeln sind zu beachten, um bei Röntgenaufnahmen die Patientendosis zu optimieren?

Die Regeln, um die Patientendosis bei einer Röntgenaufnahme zu optimieren, sind:

- Man wählt die höchstmögliche Spannung, die mit den diagnostischen Anforderungen (Bildkontrast) zu vereinbaren ist.
 - Bei Anwendung der Belichtungsautomatik wird der Dosisindex an die für die Diagnose erforderliche Bildqualität angepasst (ohne den Erhalt eines "schönen Bildes" anzustreben).
 - Die Röntgenbilder sollten eines nach dem anderen ausgewertet werden, um den Untersuchungsablauf gezielt zu gestalten. Aufnahmen werden nur wiederholt, falls sie die für die Diagnosestellung notwendige Information nicht enthalten.
 - Beruflich strahlenexponierte Personen dürfen den Patienten nur halten, wenn keine andere Person verfügbar ist. Die Begleitperson (normalerweise ein Verwandter) trägt kein Dosimeter, muss aber Schutzkleider tragen.
-

10.7. Dosisüberwachung

Wie wird die Patientendosis während einer Röntgenuntersuchung überwacht?

Am Ende einer radiologischen Untersuchung im mittleren Dosisbereich und Hochdosisbereich muss es möglich sein, die Patientendosis im Nachhinein abzuschätzen. Die Angaben müssen mindestens 10 Jahre aufbewahrt werden. Zusätzlich müssen in der Patientenakte folgende Parameter verzeichnet werden:

- Die Expositionsparameter der Röntgenaufnahme (Strahlenrichtung, kV, mAs, Fokus-Oberflächen-Distanz (FOD)) müssen aufgezeichnet werden.
 - Im Falle einer Durchleuchtung die bestrahlte Region und die Dosisindikatoren: DFP, kumulative Dosis, Dauer der Durchleuchtung und Anzahl erfasster Bilder. Diese Informationen müssen mit der Bezeichnung des durchgeführten Verfahrens notiert werden.
-

10.8. Massnahmen bei besonderen Patienten - Röntgen von Kindern

Welche speziellen Massnahmen müssen in der pädiatrischen Radiologie ergriffen werden?
Folgende speziellen Massnahmen müssen in der pädiatrischen Radiologie ergriffen werden:

- Bei Röntgenuntersuchungen von Kindern müssen die klassischen Optimierungsregeln besonders konsequent umgesetzt werden. Es sollten besonders empfindliche Detektoren eingesetzt werden.
 - Bei Kindern und bei schlanken Patienten ist der Verzicht auf das Streustrahlenraster in Betracht zu ziehen.
 - In Zusammenarbeit mit dem Gerätelieferanten muss abgeklärt werden, ob die Anlage tatsächlich für pädiatrische Aufnahmen optimiert ist.
-

10.9. Massnahmen bei besonderen Patienten - schwangere Frauen

Welche speziellen Massnahmen ohne Kontrastmittel-Anwendung müssen bei Frauen im fortpflanzungsfähigen Alter vor einer Untersuchung ergriffen werden?

- Bei einer Röntgenuntersuchung im mittleren Dosisbereich oder Hochdosisbereich muss der durchführende Arzt feststellen, ob sie schwanger ist.
 - Falls die Frau schwanger ist und die Untersuchung nicht aufgeschoben oder durch eine Untersuchung ohne ionisierende Strahlung ersetzt werden kann, wird die Untersuchung unter strenger Anwendung der Optimierungsregeln durchgeführt.
 - Sollte sich der Uterus im Primärstrahlungsfeld befinden, wird eine Schätzung der Dosis für den Fötus durchgeführt und in der Patientenakte vermerkt.
 - Einzig Röntgenaufnahmen ohne Kontrastmittel-Anwendung des Thorax, der Extremitäten und des Schädels sind für den Fötus ohne erhöhtes Risiko durchführbar.
 - Diagnostische Röntgenaufnahmen führen in der Regel zu Dosen unter 100 mSv, dem Dosis-schwellwert für deterministische Gewebereaktion des Fötus oder ungeborenen Kindes, bei welchem man einen Schwangerschaftsabbruch in Erwägung ziehen könnte.
-

10.10. Klinische Audits und Qualitätssicherung

Welche Ziele verfolgen klinische Audits?

Zweck der klinischen Audits ist es, durch einen Peer Review (zwischen Ärzten oder Radiologiefachpersonen) sicherzustellen, dass medizinische Expositionen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gerechtfertigt und optimiert sind und sich die Qualität und das Ergebnis der Patientenversorgung kontinuierlich verbessern.

Welche Elemente werden kontrolliert?

Die klinischen Audits umfassen die systematische Verifizierung der Verfahren in Bezug auf den Patienten und das Personal bei der Anwendung ionisierender Strahlung im Bereich der Diagnose und Therapie sowie deren Vergleich mit dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

Wie häufig werden klinische Audits durchgeführt und wen betreffen sie?

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) kann beim Bewilligungsinhaber für die folgenden medizinischen Strahlenanwendungen alle fünf Jahre ein klinisches Audit veranlassen:

- Computertomographie
- Nuklearmedizin

- Radioonkologie
 - durchleuchtungsgestützte interventionelle diagnostische oder therapeutische Verfahren
-

Welche Massnahmen sind erforderlich, um die Anforderungen hinsichtlich der Qualitätssicherung in der Radiodiagnostik zu erfüllen?

Die erforderlichen Massnahmen hinsichtlich der Qualitätssicherung im Bereich der Radiodiagnostik sind die folgenden:

- Die Komponenten der radiologischen Kette (Anlage, Detektor und Bildwiedergabesystem) sind einem Qualitätssicherungsprogramm unterworfen, das vom BAG definiert wird (siehe Wegleitungen).
 - Jeder Röntgendienst muss in regelmässigen Abständen bei einer bestimmten Anzahl repräsentativer Untersuchungen (Durchschnittspatient) die Dosisindikatoren ermitteln und diese mit dem entsprechenden diagnostischen Referenzwert (DRW) vergleichen (Lektion 8). Im Fall einer regelmässigen Überschreitung müssen Massnahmen mit dem Ziel der Dosisreduzierung eingeplant werden.
 - In der Durchleuchtung gehört eine enge Zusammenarbeit mit einem Medizinerphysiker zu den gesetzlichen Anforderungen.
-

11. Schutz des Personals in der medizinischen Radiologie

11.1. Allgemeines zur Exposition in der medizinischen Radiologie

Wie gross ist das Strahlenrisiko für das Personal in der medizinischen Radiologie und wie kann es minimiert werden?

Das Strahlenrisiko in der Radiologie ist ausschliesslich durch externe Bestrahlung bestimmt. Die grundsätzlichen Schutzmassnahmen sind daher: Kurze Expositionszeiten, grosser Abstand zur Quelle und Einsatz von Abschirmungen, um die effektive Dosis und damit das Risiko der Krebsinduktion auf ein Minimum zu beschränken.

Wie werden Röntgenräume klassifiziert? Zu welcher Kategorie gehören sie und als was gelten Personen, die darin arbeiten?

Die Kontroll- und Röntgenräume gehören zum Überwachungsbereich. Wer sich im Rahmen seiner Arbeit oder Ausbildung mindestens einmal wöchentlich darin aufhält, gilt als beruflich strahlenexponierte Person.

Mit welcher Dosisgrösse wird die Strahlenbelastung ausserhalb der Röntgenräume angegeben?

Die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ wird als Grösse verwendet, um die Strahlenbelastung ausserhalb der Röntgenräume anzugeben und die Strahlenbelastung von Unbeteiligten zu minimieren. Der Grenzwert bezieht sich in der Regel auf eine Woche. Dies ist eine standardisierte Grösse des praktischen Strahlenschutzes, welche der effektiven Dosis entspricht.

11.2. Begrenzung der Exposition ausserhalb des Röntgenraumes

Welche Richtwerte gelten für die Ortsdosisleistung in Bereichen, die an einen Röntgenraum angrenzen (bauliche Strahlenschutzmassnahmen)?

Räume, in denen Röntgenanlagen betrieben werden, müssen unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsparameter so abgeschirmt sein, dass an keiner Stelle ausserhalb dieser Räume folgende Werte überschritten werden:

- 0,02 mSv pro Woche für Bereiche, in denen sich Menschen der allgemeinen Bevölkerung dauernd aufhalten können (z. B. Arbeitsplatz).
 - 0,1 mSv pro Woche in Bereichen, in denen sich Personen der allgemeinen Bevölkerung aufhalten können, aber dies nicht dauernd tun (z. B. Wartezimmer).
 - 0,1 mSv pro Woche in Bereichen, die nur beruflich strahlenexponierten Personen zugänglich sind (z. B. Kontrollraum).
-

11.3. Berechnung der Abschirmdicken für Röntgenräume

Welche Parameter werden bei der Berechnung der Abschirmung der Wände von Röntgenräumen berücksichtigt?

In die Abschirmungsberechnungen für Röntgenräume gehen einerseits die Betriebsparameter ein: Mittlere Röhrenspannung, Betriebsfrequenz, Abstand zwischen Strahlungsquelle und abzuschirmender Wand, auf die Wand einfallende Strahlung (Nutz- oder Störstrahlung). Andererseits sind die Parameter des zu schützenden Bereichs zu berücksichtigen (Wer hat Zugang zum Raum? Ist der Aufenthalt dauernd oder vorübergehend?). Minimale Röhrenspannung und Betriebsfrequenz sind in der Röntgenverordnung festgelegt, um die benachbarten Räume oder Bereiche zu schützen.

11.7. Personendosimetrie bei externer Bestrahlung (Repetition)

Wie wird die Personendosimetrie durchgeführt, wenn das Risiko einer externen Bestrahlung besteht?

Das persönliche Dosimeter misst die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ resp. die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$, welche für die effektive Dosis resp. die Hautdosis repräsentativ sind. Das persönliche Dosimeter, welches monatlich ausgelesen wird, ist in der medizinischen Radiologie unter der Schutzschürze zu tragen. Solange die ausgelesene Dosis unterhalb 0,1 mSv liegt, nimmt man an, die Dosis sei null gewesen, weil die Dosimeter unterhalb dieses Wertes zu ungenau sind.

12. Gesetzgebung im Strahlenschutz

12.1. Aufbau der Gesetzgebung im Strahlenschutz

Wie ist die Gesetzgebung des Strahlenschutzes aufgebaut?

Die Schweizer Gesetzgebung im Strahlenschutz umfasst 4 Stufen:

- Strahlenschutzgesetz (StSG) (Bundesversammlung)
- Strahlenschutzverordnung (StSV) (Bundesrat)
- Technische Verordnungen (Eidgenössische Departemente)
- Wegleitungen (Bundesamt für Gesundheit)

Welche Verordnungen betreffen den Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik? Von den spezifischen Verordnungen ist für die Röntgendiagnostik vor allem die Röntgenverordnung interessant, da sie die Vorschriften für den Betrieb von Röntgenanlagen enthält. Weitere Verordnungen, welche die Röntgendiagnostik betreffen, sind:

- Dosimetrieverordnung
- Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung
- Medizinprodukteverordnung

12.2. Allgemeine Inhalte des Strahlenschutzgesetzes (StSG)

Was sind die wichtigsten Inhalte des Strahlenschutzgesetzes?

Das Strahlenschutzgesetz legt die Grundzüge der Gesetzgebung fest, insbesondere:

- Grundsätze des Strahlenschutzes (Rechtfertigung, Optimierung, Dosisgrenzwerte)
- Keine Dosisgrenzwerte für Patienten, aber Anwendung der Grundsätze der Rechtfertigung und Optimierung
- Bewilligungspflicht für Anwendungen von ionisierender Strahlung
- Benennung der Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden (das BAG ist für medizinische Anwendungen sowohl Bewilligungs- als auch Aufsichtsbehörde)

12.3. Allgemeine Inhalte der Strahlenschutzverordnung (StSV)

Was sind die wichtigsten Inhalte der Strahlenschutzverordnung?

Die Strahlenschutzverordnung legt für alle Anwendungsbereiche die Anforderungen an die Umsetzung des Strahlenschutzes fest. Man findet hier:

- Bestimmungen zur Bewilligungspflicht für die Anwendung ionisierender Strahlen und zu den Verantwortlichkeiten des Bewilligungsinhabers
- Anforderungen an die Ausbildung der Strahlenschutz-Sachverständigen und der Anwender, besonders für medizinische Anwendungen
- Dosisgrenzwerte für die allgemeine Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen sowie Anforderungen an die Dosimetrie
- Einführung der Grundbegriffe im Strahlenschutz (Kontroll- und Überwachungsbereiche, Abschirmung, Handhabung von Strahlungsquellen, radioaktives Material und radioaktive Abfälle)
- Anforderungen an die klinischen Audits und Bestimmungen zu deren Durchführung für bestimmte radiologische Anwendungen
- Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung (Überwachung der Umweltradioaktivität inkl. Radon, Behandlung von radioaktiven Abfällen sowie

Schutzmassnahmen bei Strahlenereignissen, Störfällen und Notfall-Expositionssituationen)

- Verpflichtung, einen Medizinphysiker für folgende Anwendungen beizuziehen: Bei standardisierten Anwendungen in der Nuklearmedizin, in der Computertomographie, bei interventionellen radiologischen Anwendungen sowie in der Durchleuchtung.
-

12.4. Allgemeine Inhalte der Röntgenverordnung (RöV)

Was sind die wichtigsten Inhalte der Röntgenverordnung?

Die Röntgenverordnung legt die detaillierten Bedingungen für die Umsetzung des praktischen Strahlenschutzes in der Röntgendiagnostik fest. Dies betrifft insbesondere:

- Methoden zum Schutz des Patienten, des Personals und Dritter
 - Baulicher Strahlenschutz inkl. Vorgaben zur Abschirmung von Röntgenräumen
 - Anforderungen an Betreiber von Röntgenanlagen
 - Anforderungen an die Qualitätssicherung, Konstanzprüfung und Wartung
-

12.5 BAG-Wegleitungen im Strahlenschutz

Welche Wegleitungen des BAG gelten im Bereich der Radiodiagnostik?

Die Wegleitungen des BAG, die im Bereich der Radiodiagnostik gelten, präzisieren die praktische Umsetzung der gesetzlichen Grundlagen des Strahlenschutzes. Zu den wichtigsten Wegleitungen gehören die folgenden:

- Aufgaben und Pflichten des/der Strahlenschutz-Sachverständigen (SV) im Bereich der Anwendung ionisierender Strahlung
 - Diagnostische Referenzwerte (DRW) für interventionelle radiologische Anwendungen
 - Diagnostische Referenzwerte (DRW) in der Projektionsradiologie
 - Dosimetrie im Spital
 - Schutz der beruflich strahlenexponierten schwangeren Frau
-

12.6. Ausbildungen und Kompetenzen im Strahlenschutz

Wer übernimmt im Allgemeinen die Funktion des Strahlenschutz-Sachverständigen in einer Arztpraxis?

In einer Arztpraxis ist im Allgemeinen der Arzt gleichzeitig Bewilligungsinhaber, Strahlenschutz-Sachverständiger und diejenige Person, welche die radiologischen Untersuchungen durchführt.

Welche Anforderungen werden an die Ausbildung für Ärzte gestellt, welche ionisierende Strahlung am Menschen anwenden?

- Für diagnostische Anwendungen im Niedrigdosisbereich (Thorax und Extremitäten) benötigen die Ärzte ein eidgenössisches Arztdiplom.
- Für Röntgenuntersuchungen im mittleren Dosisbereich und Hochdosisbereich sowie für durchleuchtungsgestützte Untersuchungen benötigen die Ärzte ein eidgenössisches Arztdiplom und einen entsprechenden Weiterbildungstitel oder einen entsprechenden Fähigkeitsausweis zur klinischen Anwendung.
- Eine anerkannte Strahlenschutz-Sachverständigenausbildung ist auch erforderlich, um die Funktion als Sachverständiger in einer Praxis übernehmen zu

können. Eine anerkannte Sachverständigenausbildung ist normalerweise im Weiterbildungsprogramm oder im entsprechenden Fähigkeitsausweis enthalten.

- Eine Fortbildung im Bereich des Strahlenschutzes ist obligatorisch. Diese muss gemäss Strahlenschutzverordnung mindestens alle 5 Jahre absolviert werden.
- Die Übernahme der Funktion als Strahlenschutz-Sachverständiger für CT- und Mammographie-Anwendungen erfordert einen Weiterbildungstitel in Radiologie.
- Nur Fachärzte für Radiologie dürfen computertomografische und mammografische Untersuchungen durchführen.

Welche Ausbildungsanforderungen gelten für die Ausübung der Funktion des Strahlenschutz-Sachverständigen?

Zur Ausübung der Funktion des Strahlenschutz-Sachverständigen muss der Arzt eine Ausbildung im Bereich des Strahlenschutzes und der radiologischen Technik absolvieren. Diese Ausbildung beinhaltet auch das Ablegen einer vom BAG anerkannten Prüfung.

Welche aktuellen Modalitäten gelten in Bezug auf die Ausbildung?

Auf Grundlage einer Zusammenarbeit zwischen BAG und SIWF (Schweizerisches Institut für ärztliche Weiter- und Fortbildung) wurde eine Ausbildung im Bereich des Strahlenschutzes sowie eine klinische Weiterbildung durch einen Mentor an den berufsspezifischen Praktikumsorten eingeführt, um die Kompetenzen im Bereich der Radiologie erwerben zu können.

12.7. Dosimetrie bei beruflich strahlenexponierten Personen

Welche Verordnungen behandeln die Anforderungen an die Dosimetrie beruflich strahlenexponierter Personen in der Röntgendiagnostik?

Das Strahlenschutzgesetz (StSG) legt die individuellen Anforderungen an die Dosimetrie von beruflich strahlenexponierten Personen und die Grenzwerte für die individuelle Strahlendosis fest. Die Strahlenschutzverordnung (StSV) legt die Bedingungen für das Tragen des Dosimeters fest, insbesondere jene im Zusammenhang mit Schutzschürzen sind in der Dosimetrieverordnung präzisiert. Alle Personen, die sich regelmässig (einmal pro Woche oder häufiger) in einem Überwachungsbereich aufhalten, gelten als beruflich strahlenexponiert und müssen deshalb ein individuelles Dosimeter tragen. Alle Röntgenräume sind Überwachungsbereiche, mit Ausnahme von Intensivstationen und Zahnarztpraxen, in denen sich der Überwachungsbereich nur auf einen Bereich von 2 m in der Umgebung des Patienten erstreckt. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Nutzstrahlung stets gegen den Boden gerichtet ist und nicht auf benachbarte Betten oder auf das Personal zielt. Ansonsten müssen mobile Schutzwände zwischen die Betten gestellt werden. Zudem gilt die Regelung nur für mobile Röntgenanlagen für Aufnahmen, nicht aber für C-Bögen für Durchleuchtung.

12.8. Schwangere Frauen als beruflich strahlenexponierte Personen oder Patientinnen

Welche gesetzlichen Anforderungen sind bei Schwangeren zu beachten, die als beruflich strahlenexponierte Personen gelten?

Ab Bekanntwerden der Schwangerschaft bis zu ihrem Ende muss die Strahlenexposition der schwangeren Frau monatlich bestimmt werden. Es gelten spezielle Dosisgrenzwerte. Schwangere Frauen müssen auf ihr Verlangen hin von Tätigkeiten, welche nur von einer beruflich strahlenexponierten Person der Kategorie A (betreffend externer Bestrahlung) ausgeführt werden dürfen, freigestellt werden.

Welche gesetzlichen Bestimmungen müssen bei der Exposition von schwangeren und stillenden Frauen sowie Patientinnen eingehalten werden?

Der Schutz der schwangeren Patientin wird in der Strahlenschutzverordnung speziell erwähnt. Zusammen mit der Empfehlung der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz gilt folgendes:

- Vorsichtsmassnahmen bei Frauen im fortpflanzungsfähigem Alter
- Der Arzt muss sich vor einer Röntgenuntersuchung versichern, dass die Frau nicht schwanger ist.

Röntgenuntersuchung bei Schwangeren:

- Röntgenuntersuchungen von Thorax, Extremitäten und Schädel können ohne Einschränkung durchgeführt werden.
- Falls eine Röntgenuntersuchung im Abdominalbereich unumgänglich ist, muss man die Schutzmassnahmen mit besonderer Sorgfalt anwenden.

Massnahmen nach einer pränatalen Strahlenexposition:

- Abschätzen der Dosis, die der Fötus erhalten hat
 - Oberhalb von 100 mSv kann ein Schwangerschaftsabbruch in Betracht gezogen werden (ein in der Röntgendiagnostik sehr seltener Fall).
-

13. Bewilligungspflicht und Aufgaben des Strahlenschutz-Sachverständigen

13.1. Bewilligungspflicht

Welche Voraussetzungen müssen für Tätigkeiten erfüllt sein, bei denen Menschen ionisierender Strahlung ausgesetzt werden?

Alle Anwendungen ionisierender Strahlung, insbesondere am Menschen, brauchen eine Bewilligung vom Bundesamt für Gesundheit (BAG).

Welche allgemeinen Voraussetzungen müssen für eine Bewilligung erfüllt sein?

Die Voraussetzungen für eine Bewilligung sind:

- Verfügbarkeit eines ausgebildeten Strahlenschutz-Sachverständigen im medizinischen Strahlenschutz
 - Garantie eines sicheren Betriebs
 - Eine Ausrüstung, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht
 - Das Einhalten von Strahlenschutzvorschriften
 - Abschluss einer ausreichenden Haftpflichtversicherung durch den Betrieb
-

13.2. Bewilligungsverfahren

Welche Schritte durchläuft ein Bewilligungsverfahren?

Das Bewilligungsverfahren verläuft wie folgt:

- Einreichen des Bewilligungsgesuches an die Bewilligungsbehörde (BAG); eine Strahlenschutz-Bauzeichnung mit Berechnungstabelle der Abschirmungen muss beigelegt werden.
 - Ausstellen der Bewilligung; sie wird aufgrund des Bewilligungsgesuchs ausgestellt und erlaubt die Einrichtung und den Betrieb der medizinischen Röntgenanlage. Sie ist auf 10 Jahre befristet.
 - Stichprobenartige Inspektionen durch die Aufsichtsbehörde; sie erfolgen während der Geltungsdauer der Bewilligung, um zu prüfen, ob die Anforderungen des Strahlenschutzes erfüllt sind.
 - Regelmässige Inspektionen gemäss dedizierten Schwerpunkten durch die Aufsichtsbehörde; diese Inspektionen finden vorwiegend in grossen radiologischen Zentren (Spitäler, Kliniken) statt.
 - Anpassung und Erneuerung der Bewilligung; eine Anpassung wird nötig, falls sich eine Bewilligungsvoraussetzung geändert hat. Die Erneuerung erfolgt am Ende der Gültigkeitsdauer der Bewilligung.
 - Entzug und Erlöschen; der Entzug erfolgt durch die Behörde, wenn eine Voraussetzung oder eine Auflage der Bewilligung nicht mehr erfüllt ist; die Bewilligung erlischt, wenn der Inhaber formell darauf verzichtet, wenn die Gültigkeit abläuft oder wenn der Betrieb aufgelöst wird.
-

13.3. Inhalt der Bewilligung

Welche Informationen enthält eine Bewilligung?

Die Bewilligung enthält folgende Informationen (die gleichzeitig auch Bedingungen sind, an welche die Bewilligung geknüpft ist):

- Beschreibung der Tätigkeit

- Beschreibung der Einrichtung und der Räume (bezugnehmend auf die Bauzeichnungen)
 - Name des Bewilligungsinhabers, des Strahlenschutz-Sachverständigen sowie der Person, welche über die entsprechenden medizinischen Kompetenzen verfügt
 - Spezialbestimmungen und Auflagen (mit Frist, bis wann sie erfüllt sein müssen)
-

13.4. Aufgaben des Strahlenschutz-Sachverständigen

Welche Verantwortung trägt der Bewilligungsinhaber grundsätzlich?

Der Inhaber der Bewilligung, welcher in seiner Organisation die Gesamtverantwortung für die Anwendung ionisierender Strahlung trägt, hat einen oder mehrere Sachverständige einzusetzen.

Welche sind die wichtigsten Aufgaben des Strahlenschutz-Sachverständigen?

Die wichtigsten Aufgaben des Strahlenschutz-Sachverständigen sind:

- Aus- und Fortbildung sowie Beratung der Mitarbeiter im Bereich des Strahlenschutzes
 - Überwachung und Unterhalt von Ausrüstung und Räumen
 - Festlegung der geeigneten Arbeitsmethoden
 - Zuweisung der Mitarbeiter zu den Kategorien A oder B sowie Sicherstellen der Personendosimetrie
 - Administrative Aufgaben
 - Koordination mit den Behörden
-

13.5. Ausbildung des Personals

Welchen Anforderungen muss die Strahlenschutzausbildung genügen?

Jede Person, die Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung bedient, muss über eine Grundausbildung im Strahlenschutz verfügen. Im medizinischen Bereich (Anwendung ionisierender Strahlung am Menschen) muss eine von der Aufsichtsbehörde anerkannte Strahlenschutzausbildung absolviert werden. Diese Ausbildung wird während der Berufsbildung (ärztliche Weiterbildung oder Fähigkeitsausweis, dipl. Radiologiefachmann/-frau, medizinische/r Praxisassistent/in EFZ) oder an einer Strahlenschutz-Ausbildungsstätte vermittelt.

Des Weiteren ist eine kontinuierliche Fortbildung erforderlich. Die Periodizität beträgt in der Regel 5 Jahre.

Welche Rolle kommt dem Strahlenschutz-Sachverständigen bei der Instruktion/Ausbildung beruflich strahlenexponierter Personen zu?

Der Strahlenschutz-Sachverständige muss gewährleisten, dass die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz nur von entsprechend im Strahlenschutz ausgebildetes Personal durchgeführt werden. Zudem kümmert er sich bei neu eintretenden Mitarbeitern um deren Instruktion betreffend die Grundsätze des Strahlenschutzes sowie die betriebsinternen Strahlenschutz-Weisungen. Er sorgt dafür, dass die Betriebsangehörigen im Strahlenschutz fortgebildet werden und ist zuständig für die Erstellung, für die Umsetzung und die Dokumentation eines Aus- und Fortbildungskonzepts für die Betriebsangehörigen.

13.6. Räume und Ausrüstung

Welche Aufgaben hat der Strahlenschutz-Sachverständige beim baulichen Strahlenschutz?

Der Strahlenschutz-Sachverständige reicht die Strahlenschutz-Bauzeichnungen, mit Berechnungstabelle der Abschirmungen, zusammen mit dem Bewilligungsgesuch ein. Er trägt damit die Verantwortung für die Richtigkeit ihres Inhalts. Er sorgt dafür, dass die Bauausführung gemäss dieser Bauzeichnung erfolgt und dass sich die in der Bewilligung vorgesehene Raumbelagung nicht ändert. Falls notwendig, beantragt er eine entsprechende Bewilligungsanpassung.

Welche Aufgaben hat der Strahlenschutz-Sachverständige punkto Röntgenausrüstung und Schutzmittel?

Röntgenausrüstung und Schutzmittel unterliegen einem Qualitätssicherungsprogramm. Während der Strahlenschutz-Sachverständige die Wartung der Röntgenanlage dem Lieferanten anvertrauen muss, können die Konstanzprüfungen durch den Betreiber selbst oder von einer Spezialfirma durchgeführt werden. Der Strahlenschutz-Sachverständige muss zudem die Schutzmittel für Patienten, Personal und Dritte bereitstellen: Schutzkleider (Bleiäquivalent mindestens 0,25 mm), Abdeckmaterial, usw.

13.7. Arbeitsmethoden

Welche Aufgaben hat der Strahlenschutz-Sachverständige bezüglich Arbeitsmethoden und Verhalten des Personals beim Umgang mit ionisierender Strahlung?

Der Strahlenschutz-Sachverständige erlässt betriebsinterne Weisungen mit den Verhaltensregeln für das Personal (Zugang zum Überwachungsbereich, Tragen der persönlichen Schutzmittel und des Dosimeters). Er ist verantwortlich für deren Umsetzung im Betrieb.

Welche Aufgaben hat der Strahlenschutz-Sachverständige bei der Optimierung des Patientenschutzes?

Der Strahlenschutz-Sachverständige erlässt eine betriebsinterne Weisung mit den Regeln zur Optimierung des Patientenschutzes. Er ist verantwortlich, dass diese Weisung umgesetzt und die Optimierungsregeln eingehalten werden.

13.8. Dosimetrie

Welche Aufgabe hat der Strahlenschutz-Sachverständige bei der Dosimetrie?

Der Strahlenschutz-Sachverständige analysiert die Resultate der Dosimetrie und ordnet entsprechende Massnahmen an. Wird eine Meldeschwelle überschritten oder besteht der Verdacht, dass ein Dosisgrenzwert überschritten wurde, ist der Strahlenschutz-Sachverständige/Bewilligungsinhaber verpflichtet, dies der Aufsichtsbehörde zu melden.

13.9. Administrative Aufgaben

Welche administrativen Aufgaben muss der Strahlenschutz-Sachverständige wahrnehmen?

Der Strahlenschutz-Sachverständige ist für folgende administrativen Aufgaben zuständig:

- Führen des Anlagenbuches

- Erstellen und Nachführen der betriebsinternen Weisungen
 - Verwalten der Personendosimetrie
 - A jour halten der Bewilligung
 - Beschaffen und warten der Schutzmittel
-

13.10. Beziehungen zum BAG

Welche Ereignisse müssen dem BAG gemeldet werden?

Der Strahlenschutz-Sachverständige muss der Aufsichtsbehörde alle Änderungen der bewilligungsrelevanten Angaben, Meldeschwelle- und Dosisgrenzwertüberschreitungen (Verdacht oder Feststellung), Störfälle sowie medizinische Strahlenereignisse melden. Störfälle, die zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwerts für beruflich strahlenexponierte Personen führen, müssen auch der Suva gemeldet werden.

14. Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik

14.1. Qualitätssicherung

Welches Ziel hat das Qualitätssicherungsprogramm in der Röntgendiagnostik?

Mit periodischen Kontrollen und Wartungen der Geräte verfolgt das Qualitätssicherungsprogramm in der Röntgendiagnostik das Ziel, über den gesamten Lebenszyklus der Anlage zu garantieren, einerseits Bilder in der Qualität zu produzieren, welche eine Diagnosestellung ermöglichen, und andererseits Patienten wie auch Personal einer minimalen Strahlenmenge auszusetzen.

Welche Standbeine hat das Qualitätssicherungsprogramm?

Das Qualitätssicherungsprogramm umfasst nebst den Qualitätskontrollen im engeren Sinn auch administrative Abläufe, welche die korrekte Ausführung der Prüfungen, ihre Auswertung und das Einleiten allfälliger Korrekturmaßnahmen gewährleisten.

Woraus besteht ein Qualitätssicherungsprogramm?

Ein Qualitätssicherungsprogramm muss einen Verantwortlichen bezeichnen, die Aufgaben klar verteilen, Anweisungen für die Kontrollen der Anlage geben und festlegen, wie die Resultate der Kontrollen auszuwerten sind.

14.2. Gesetzliche Grundlagen

Welches sind die gesetzlichen Grundlagen bezüglich Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik?

In der Strahlenschutzverordnung sind der Grundsatz zur Durchführung einer Abnahme- und Zustandsprüfung sowie die Pflicht festgelegt, dass beim Betrieb einer Röntgenanlage ein Qualitätssicherungsprogramm eingesetzt werden muss. Das Konzept zur Qualitätssicherung von Röntgenanlagen für Aufnahmen und Durchleuchtung wird in der Röntgenverordnung festgelegt. Der Umfang der Prüfungen von Röntgenanlagen wird in Wegleitungen des BAG festgelegt.

14.3. Organisation der Prüfungen

Was versteht man unter der Abnahmeprüfung?

Die Abnahmeprüfung einer Röntgenanlage erfolgt vor ihrem ersten klinischen Einsatz. Sie wird durch vom BAG anerkanntes Fachpersonal durchgeführt (der Techniker ist Inhaber einer entsprechenden Bewilligung). Die Abnahmeprüfung stellt sicher, dass die Anlage den gesetzlichen Anforderungen entspricht. Sie endet mit der Festlegung der Referenzwerte für die Konstanzprüfung.

Was versteht man unter Konstanzprüfung?

Solange eine Röntgenanlage betrieben wird, muss regelmässig eine Konstanzprüfung durchgeführt werden. Sie wird vom Betreiber ausgeführt oder an einen spezialisierten Dienstleister delegiert. Sie muss sicherstellen, dass die Anlage konstant und unter akzeptablen Bedingungen funktioniert. Die ermittelten Messresultate müssen mit den Referenzwerten aus der Abnahme- oder Zustandsprüfung verglichen werden und innerhalb der definierten Toleranzen liegen.

Was versteht man unter Wartung?

Solange eine Anlage betrieben wird, muss die Röntgenausrüstung regelmässig gewartet werden. Die Wartung wird von einem Techniker durchgeführt, der Inhaber einer entsprechenden Bewilligung ist. Hierbei handelt es sich um den Anbieter, der die Verantwortung für die Festlegung der zeitlichen Abstände zwischen den Revisionen trägt.

Was versteht man unter Zustandsprüfung?

Die Zustandsprüfung wird im Rahmen einer Wartung durch einen Techniker durchgeführt, der Inhaber einer entsprechenden Bewilligung ist. Der Inhalt entspricht dem der Abnahmeprüfung. Gegebenenfalls werden die für die Konstanzprüfung benutzten Referenzwerte angepasst.

Was versteht man unter der Strahlenschutz-Nachkontrolle?

Die Strahlenschutzinspektionen während der Betriebsdauer werden stichprobenartig vom BAG durchgeführt.

14.4. Anlagen für Röntgenaufnahmen - Anforderungen

Wie oft muss bei einer Anlage für Röntgenaufnahmen eine Zustands- und Konstanzprüfung durchgeführt werden und was ist ihr Inhalt?

Bei einer Anlage für Röntgenaufnahmen ist alle 6 Jahre eine Zustandsprüfung vorgeschrieben. Der Inhalt betrifft die Gesamtheit der Parameter, welche die Bildqualität und die Dosisqualität beeinflussen, insbesondere die Einstellparameter (Fokus-Detektor-Abstand, kV, mA und Aufnahmezeit) und die Feldgeometrie. Die Frequenz der Konstanzprüfung beträgt jeweils ein Jahr.

Wie wird die Konstanz der Expositionsparameter geprüft?

Die Konstanz der Expositionsparameter kann man kontrollieren, indem mit dem Röntgengerät immer dasselbe Testobjekt aufgenommen wird, um sicherzustellen, dass die Einstellparameter mit der Zeit nicht zu anderen Ergebnissen führen.

Wie werden die Feldgeometrie und der Bildauffangbereich geprüft?

Die Kontrolle der Feldgeometrie und des Bildauffangbereichs umfasst:

- Übereinstimmung von Lichtfeld und Strahlungsfeld
 - Übereinstimmung von Lichtfeld-Mittenmarkierung und Strahlungsfeldzentrum
 - Übereinstimmung von Strahlungsfeld und Bildauffangbereich
-

Wie oft wird eine Zustandsprüfung des Bildempfangssystems durchgeführt und was umfasst sie?

Bei digitalen Röntgengeräten ist alle 6 Jahre eine Zustandsprüfung des Detektors vorgeschrieben. Deren Konstanzprüfung muss jährlich erfolgen. Sie muss sicherstellen, dass sich der Expositionsindex nicht mit der Zeit verändert.

14.6. Bildwiedergabegeräte und Drucker - Anforderungen

Wie oft muss die Zustandsprüfung und die Konstanzprüfung an einem Röntgenbildschirm durchgeführt werden und was beinhaltet sie?

Bei Röntgenbildschirmen beträgt die Periodizität für die Zustandsprüfung ein Jahr. Sie wird von einem Techniker durchgeführt, der Inhaber einer entsprechenden Bewilligung ist. Die Prüfung umfasst die folgenden Elemente:

- Wiedergabe der Graustufen

- Bildqualität (Kontrast und Auflösung)
- Bildgeometrie (Verzerrung und Artefakte)
- Homogenität der Bildhelligkeit

Bei Röntgenbildschirmen ist jede Woche eine Konstanzprüfung vorgeschrieben. Dazu werden auf einem SMPTE-Testbild die Graustufen und die Bildgeometrie optisch geprüft. Zur Diagnosestellung eingesetzte Monitore müssen dem DICOM-Standard und einer spezifischen DIN-Norm entsprechen.
