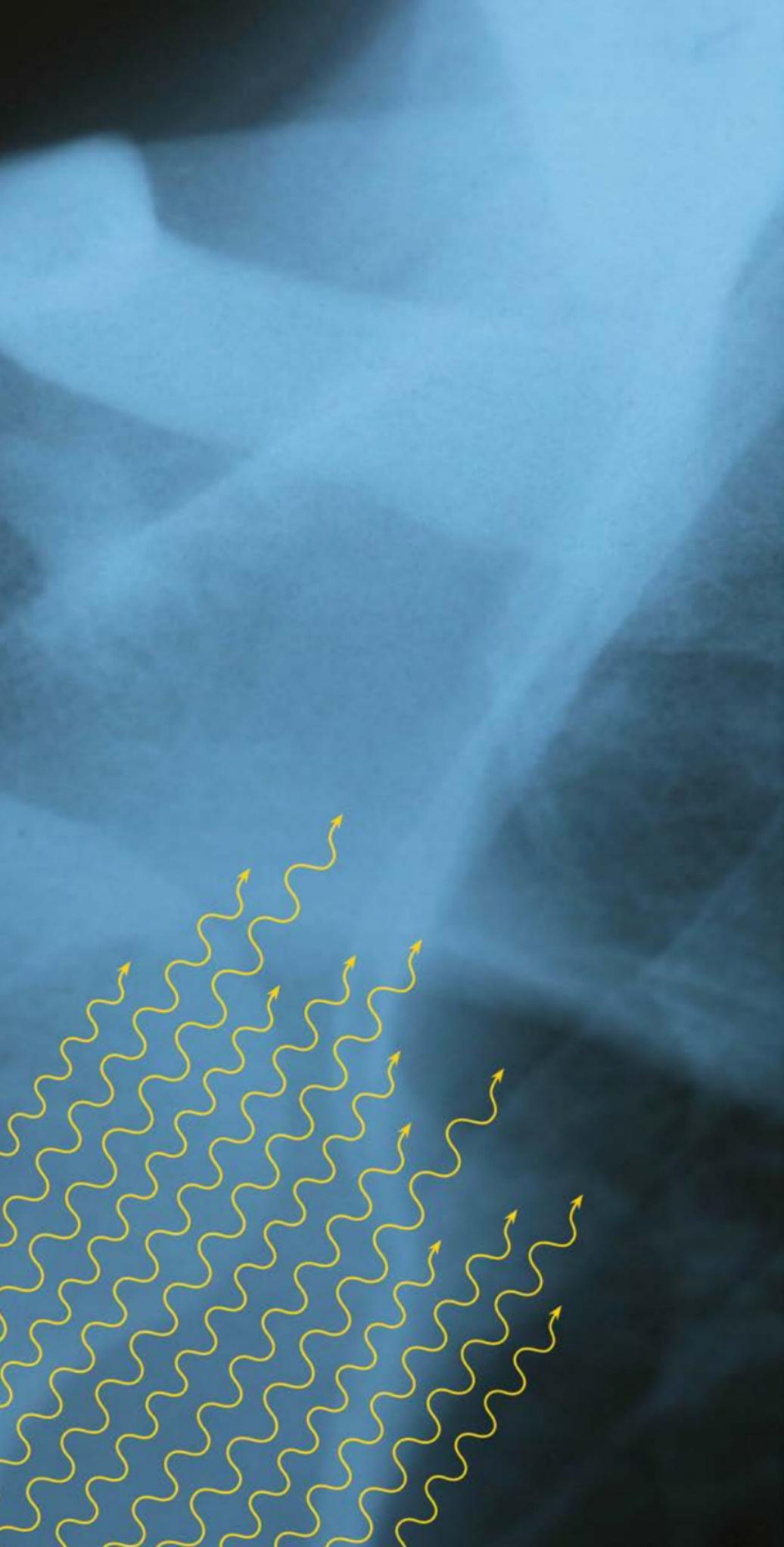




Strahlenanwendungen in der Medizin

Eine Übersicht





Inhalt



Einleitung	04
Historie	05
Anwendung künstlicher ionisierender Strahlung	07
Röntgendiagnostik	07
Nuklearmedizin	10
Strahlentherapie	12
Anwendung natürlicher ionisierender Strahlung	14
Radonbalneologie	14
Anwendung nichtionisierender Strahlung	17
Ultraschall diagnostik	17
Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)	18
Strahlenbelastung im Vergleich der einzelnen Therapieverfahren	19
Röntgendiagnostik	19
Nuklearmedizin	22
Strahlentherapie	24
Radonbalneologie	25
Mit welchen natürlichen Strahlenbelastungen leben wir?	25
Genehmigung, Kontrolle und Qualitätssicherung bei der Strahlenanwendung	26
Grundlagen für die Arbeit der Strahlenschutzbehörden	26
Aufgaben der Ärztlichen Stelle	27
Mitwirkung von Medizinphysik-Experten	28
Kontrolle durch Sachverständige	29
Zusammenarbeit der zuständigen Stellen	30
Links zu weiterführenden Themen	32
Behörden/Ansprechpartner	34

Einleitung

Schon immer träumten Heilkundler davon, das Innere des Menschen sichtbar zu machen. Dies am lebenden Menschen zu realisieren, war wegen der fehlenden technischen Möglichkeiten jedoch lange Zeit undurchführbar. Ein wichtiger Meilenstein in der Entwicklung der Medizin war beispielsweise die Erfindung des Mikroskops.

Bahn brechenden Fortschritt brachten jedoch die Entdeckungen der ionisierenden Strahlen durch Röntgen und der Radioaktivität durch Becquerel. Beide Forschungsergebnisse wurden in der Medizin sehr schnell für die Diagnosefindung und Therapie nutzbar gemacht.

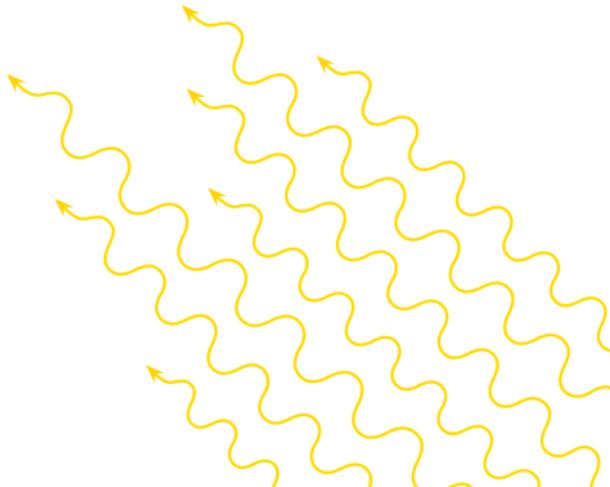
Ionisierende Strahlung kann sowohl nützlich als auch schädlich sein. Nicht mehr wegzudenken ist heute ihr zielgerichteter Einsatz als Hilfsmittel in der Medizin. Ein unsachgemäßer Umgang oder gar eine Nutzung als Waffe können dagegen große Schäden anrichten. Bei der Bewertung des Risikos durch ionisierende Strahlung muss deshalb immer der Nutzen ins Verhältnis zu möglichen Schäden gesetzt werden.



Foto: mondrian - Fotolia.com

Historisches Mikroskop

In der Medizin werden ionisierende Strahlen zum Nutzen der Patienten auf vier klassischen Gebieten angewendet:



- künstliche ionisierende Strahlung
 - Röntgendiagnostik – bildgebende medizinische Diagnostik mit Röntgenstrahlen
 - Nuklearmedizin – nuklearmedizinische bildgebende Diagnostik und Therapie
 - Strahlentherapie – Radioonkologie
- natürliche ionisierende Strahlung
 - Radonbalneologie–Therapie mit dem radioaktiven Gas Radon

Diese vier Anwendungsgebiete werden in der vorliegenden Broschüre näher beleuchtet. Für Leser, die sich tiefgreifender mit der Problematik befassen wollen, wurden im Anhang einige Internetadressen zusammengestellt. Weitere Informationen sind auch in der Broschüre „Radioaktivität und Strahlenschutz“ des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zu finden.

Historie

Am 8. November 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen neuartige Strahlen, die er zuerst „X“-Strahlen nannte und die heute im deutschsprachigen Raum nur noch als „Röntgenstrahlen“ bekannt sind.



Wilhelm Conrad Röntgen



Erste Röntgenaufnahme der Hand

Fotos: Deutsches Museum München

Die ersten von ihm gefertigten Röntgenbilder lösten eine unglaubliche Welle der Verwunderung und Begeisterung in der Gesellschaft aus. Seine Entdeckung war eine der wenigen in der Physik, die damals viele Menschen faszinierte. Vor allem in der Medizin war man unglaublich euphorisch. Endlich konnte man ohne Operation in das Innere des lebenden Körpers schauen.

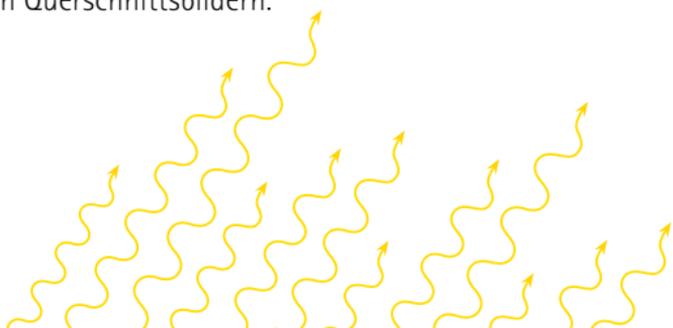


Foto: Firma ACCURAY, Niederlassung Europa, Paris

Bearbeitung eines CT-Bildes mittels Computer

Die weitere Entwicklung zur Verfeinerung der Röntgenbilder verlief sehr schnell. Nach der Durchleuchtung am Bildschirm wurde die Film-Folien-Technik eingeführt. Mit den sogenannten Verstärkerfolien konnte die Wirkung der Röntgenstrahlen durch fluoreszierende Substanzen noch verstärkt werden. Die Fernsehtechnik und Bildverstärkergeräte erlaubten die Durchleuchtung bei Tageslicht. Durch den Einsatz von Kontrastmitteln erreichte man schließlich die Sichtbarkeit der Blutgefäße und Hohlräume des menschlichen Körpers.

Die sich schnell entwickelnde Computertechnik machte schließlich aufwändige Berechnungen für bildgebende Verfahren direkt am Arbeitsplatz möglich. So wurde der Weg frei für die Darstellung von überlagerungsfreien Querschnittsbildern.



Anwendung künstlicher ionisierender Strahlung

Röntgendiagnostik

Die **Röntgendiagnostik** ist die am weitesten verbreitete Anwendung von ionisierenden Strahlen in der Medizin.

Für eine Röntgenuntersuchung (radiologische Untersuchung) werden in einem Gerät (Röntgenröhre) Röntgenstrahlen erzeugt, die einen Röntgenfilm schwärzen können. Diese Röntgenstrahlen durchdringen den menschlichen Körper und werden aufgrund der Gewebeeigenschaften unterschiedlich abgeschwächt. Je dichter das Gewebe, desto mehr Strahlen werden absorbiert. Dadurch erscheint hartes Gewebe wie z. B. Knochen auf dem Röntgenbild hell, weiches Gewebe wie z. B. die Lunge, Fett oder Muskeln dunkel.



Fotos: great barrier thief, ca-design – photocase.de

Knochenaufnahmen

Der traditionelle Röntgenfilm wurde in den vergangenen Jahrzehnten sukzessive durch elektronische Speichermedien (digitale Radiographie) ersetzt, wodurch die gleiche Bildqualität mit geringerer Strahlenbelastung erreicht wird.

Bei der **Röntgendurchleuchtung** wird die aus dem Körper austretende Strahlung mittels eines fluoreszierenden Schirmes oder Bildverstärkers auf einem Monitor als bewegtes Bild dargestellt.

Röntgenuntersuchungen setzen den Körper einer gewissen Strahlenbelastung aus. Deshalb müssen sie dem Patienten einen hinreichenden Nutzen bringen. Die Abwägung muss von einem approbierten Arzt mit besonderen Kenntnissen zum medizinischen Röntgen – im Strahlenschutz als „Fachkunde“ bezeichnet – durch die Indikationsstellung getroffen werden. Die einzelnen Verfahren innerhalb der Röntgendiagnostik verursachen unterschiedliche Strahlenbelastungen. Diese werden im Folgenden noch näher erläutert.



Foto: Nobilior – thinkstockphotos.de

Befundung einer Röntgenaufnahme

Der Nutzen gezielt durchgeführter Röntgenuntersuchungen ist unbestritten. Sie sind z.B. zur Kontrolle von Knochenbrüchen unbedingt erforderlich.

Mit modernen Röntgengeräten (**Angiographieverfahren**) können Blutgefäßveränderungen u.a. in den Herzkranzgefäßen diagnostiziert und entsprechende Therapien eingeleitet werden, beispielsweise zur Senkung des Herzinfarkttrisikos.

Zu den spezielleren Hochtechnologieverfahren, die heute eingesetzt werden, ist die **Computertomographie** zu zählen. Dies ist ein Verfahren, bei dem eine Röntgenröhre um den Patienten kreist und dabei mehrere Röntgenaufnahmen anfertigt, die im Computer gespeichert werden. Durch komplizierte mathematische Verfahren werden diese einzelnen Röntgenbilder zu Querschnittsbildern zusammengesetzt.



Foto: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Röntgenpass

Referenzwerte, die zentral vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht werden, sind vom medizinischen Personal einzuhalten. Sie sollen helfen, die Dosisbelastung zu optimieren. Vorgegebene Qualitätssicherungsmaßnahmen sind für alle Ärzte verpflichtend, z. B. muss die ordnungsgemäße Funktion der Röntgenanlage durch Konstanzprüfungen nachgewiesen werden. Überdies sollte jeder Bürger einen Röntgenpass führen. Darin werden alle Röntgenaufnahmen eingetragen, um unnötige Zweifelaufnahmen zu vermeiden. In Deutschland schreibt die Röntgenverordnung vor, dass der behandelnde Arzt bei Röntgenuntersuchungen Röntgenpässe bereitzuhalten und der untersuchten Person anzubieten hat. Der Patient hat das Recht, bei einer Röntgenuntersuchung einen Röntgenpass zu verlangen.



Nuklearmedizin

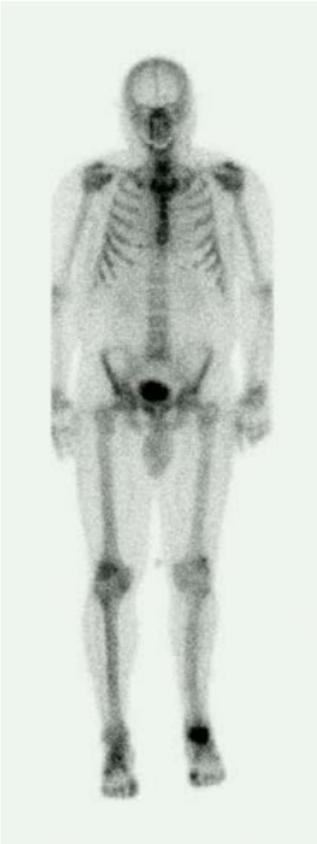


Foto: Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin Universität Leipzig (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. O. Sabri)

Ganzkörperszintigramm

Die Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel war u. a. die Voraussetzung für die Entwicklung nuklearmedizinischer Untersuchungs- und Therapieverfahren in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik geht es darum, Stoffwechselfvorgänge sichtbar zu machen. Dazu werden dem Patienten durch Injektion (Spritzen) Radiopharmaka verabreicht. Die vom Körper ausgesendeten Gammastrahlen werden dann mittels nuklearmedizinischer Untersuchungsgeräte, sogenannten Gammakameras, gemessen. Es entsteht wie beim Röntgen ein Bild, das man Szintigramm nennt. Die Zeit, in der sich die Radioaktivität im menschlichen Körper abbaut, reicht von Minuten bis Stunden. Kurzlebige radioaktive Stoffe werden

mittels Zyklotron in unmittelbarer Nähe des Einsatzortes erzeugt, damit ohne lange Transportwege die radioaktiven Substanzen zur Untersuchung am Patienten zur Verfügung stehen.



Foto: Tom Warner – Fotolia.com

Injektion von Radiopharmaka

Wichtige Beispiele für den Einsatz der Nuklearmedizin sind die Untersuchung der Schilddrüse sowie die Klärung onkologischer und kardiologischer Fragestellungen. Weiterhin bilden Untersuchungen des Nervensystems und von Vorgängen im Gehirn ein breites Anwendungsgebiet.

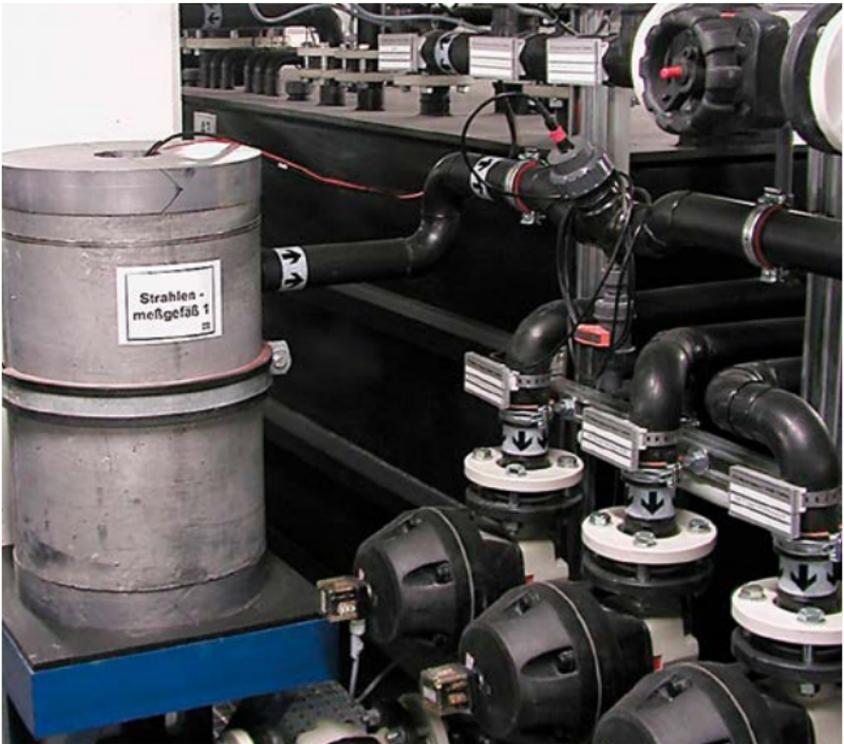


Foto: Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin Universität Leipzig (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. O. Sabri)

Strahlenschutzmessung an einer Abklinganlage

Neben der Diagnostik gibt es auch eine Reihe von nuklearmedizinischen Therapien. Hier gelangt das Radiopharmazeutikum z. B. mittels Injektion oder über Trägersubstanzen direkt in die bestimmte Körperregion und zerstört die krankhaften Zellen. In erster Linie werden Erkrankungen der Schilddrüse behandelt.

Die bei der Behandlung von Patienten anfallenden Abwässer von nuklearmedizinischen Therapiestationen werden in modernen Abklinganlagen gesammelt, da sie noch eine Restaktivität besitzen. Erst nach dem Abklingen der Radioaktivität und dem Unterschreiten von bestimmten gesetzlich festgeschriebenen Grenzwerten werden die Abwässer in die örtliche Kanalisation eingeleitet.

Strahlentherapie

Die Strahlentherapie ist eine der tragenden Säulen in der Krebsbehandlung (Onkologie). Sie hat das Ziel, den Krebs im Körper des Patienten mit ionisierenden Strahlen abzutöten. Die Strahlentherapie stellt einen lokalen Eingriff dar, wobei sich die Therapiemaßnahme hinsichtlich der Wirkung und Nebenwirkung auf die behandelte Körperregion beschränkt.



Foto: Sachverständigen- und Beratungsorganisation für Strahlenschutz (SBS) Chemnitz

Medizinischer Linearbeschleuniger

Ein wichtiges Prinzip in der Strahlentherapie besteht darin, dass das gesunde Gewebe des menschlichen Körpers geschont wird und die Krebszellen möglichst dauerhaft abgetötet werden. Um die Schonung des gesunden Gewebes sicherzustellen, wird die Gesamtdosis auf mehrere Tage bis Wochen verteilt.

Die **moderne Strahlentherapie** ist eine Behandlungsmethode, die mit strahlenphysikalischen Methoden genau geplant wird. Ein Medizinphysik-Experte (MPE) berechnet exakt die Dosis, die in der Körperregion aufgenommen werden soll. Heute werden sogenannte medizinische Linearbeschleuniger (LINACs) eingesetzt, die mit großer Präzision hochenergetische Röntgenstrahlen produzieren.



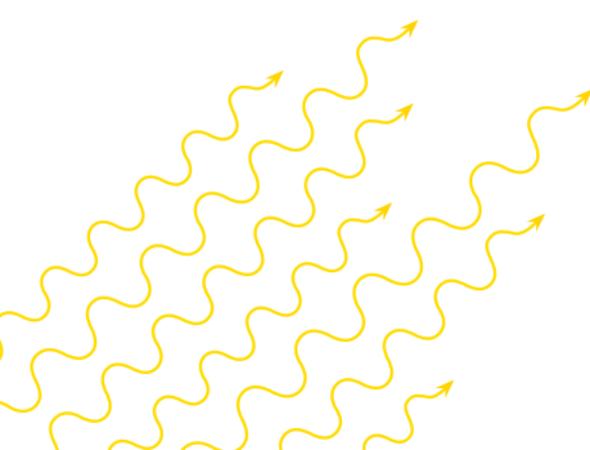
Foto: OncoRay, André Wirsig

Medizinischer Linearbeschleuniger für die Radiochirurgie

Unter **Radiochirurgie** versteht man eine neue technologisch anspruchsvolle Form der Strahlentherapie, bei der bereits kleinste Tumore im Körper behandelt werden.

Bei **bildgesteuerten Bestrahlungen** werden Organbewegungen berücksichtigt. Strahlentherapeuten sprechen hier von der Einbeziehung der vierten Dimension.

Für die **Bestrahlungsplanung** werden zunehmend bildgebende Verfahren benutzt, bei denen Röntgen- und Gammastrahlen zur Bildentstehung beitragen. Diese Geräte bezeichnet man als Positronen-Emissionstomographie-Röntgencomputertomographen (PET CT).



Anwendung natürlicher ionisierender Strahlung

Radonbalneologie

In mehreren deutschen Kurorten werden therapeutische Anwendungen mit dem radioaktiven Gas Radon angeboten. In Sachsen sind Radonkuren in Bad Schlema, Bad Brambach und Bad Elster möglich.



Foto: Kurgesellschaft Bad Schlema

Radontrinkkur



Radonbad

Die Radontherapie ist eine sogenannte „low-dose“ Behandlung. Aufgrund ihrer niedrigen Strahlendosis ist sie also keine klassische Strahlentherapie wie vorher beschrieben.

Hier wird das Gas Radon, genauer Radon-222, zur Kurbehandlung eingesetzt. Radon-222 ist ein natürliches radioaktives geruch- und farbloses Gas. Quelle dieses Edelgases ist das in der Erdkruste überall enthaltene Radium, ein Metall, das wiederum durch den Zerfall von Uran entsteht.

Radon kann über drei Wege zum therapeutischen Nutzen in den menschlichen Körper gebracht werden: über die Haut, über die Lunge und über die Schleimhaut des Magen-Darm-Traktes. Es gibt Wannenbäder mit radonhaltigem Wasser (Haut), Behandlungen im Radonheilstollen (hauptsächlich Lunge) und Radontrinkkuren (Schleimhaut des Magen-Darm-Traktes).

Radon wirkt entzündungshemmend, regt das Immunsystem an, steigert die Zellreparaturmechanismen und aktiviert körpereigene schmerzlindernde Stoffe. Radonkuren werden dementsprechend unter ärztlicher Aufsicht zur Reizbehandlung von Leiden wie Morbus Bechterew, chronischen Schmerzzuständen, rheumatischen Erkran-



Foto: Kurgesellschaft Bad Schlema

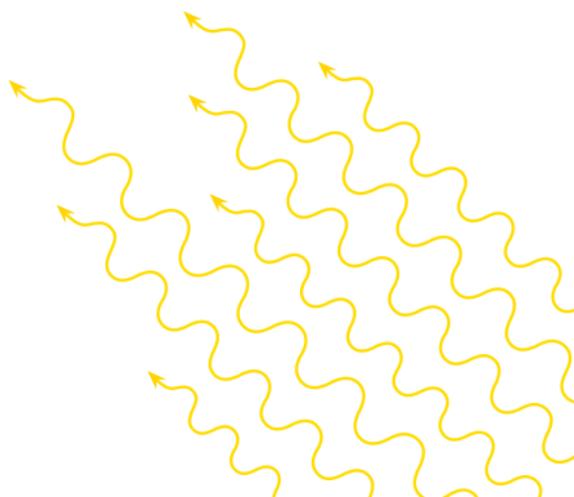
Gesundheitsbad „ACTINON“ in Bad Schlema

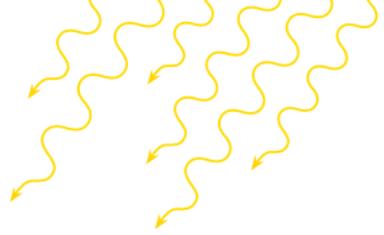
kungen, Arthrosen, chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen, Hauterkrankungen, Allergien und neurologischen Erkrankungen angewendet.

Es konnte nachgewiesen werden, dass nach Radonkuren der Schmerzmittelverbrauch, der mit schädlichen Nebenwirkungen verbunden sein kann, zurückgegangen ist. Dieser Effekt zeigte sich lang anhaltend über mehrere Monate, obwohl das Radon selbst bereits wenige Stunden nach der Anwendung nicht mehr im Körper nachweisbar ist.

Die besondere biologische Wirkung des Radons beruht auf den außerordentlich energiereichen Alphastrahlen, die beim Zerfall entstehen. Es reichen deshalb schon sehr geringe Strahlendosen aus, um einen Effekt zu erzielen.

Da neben den positiven Heileffekten das Radon jedoch in höheren Dosen Lungenkrebs verursachen kann, ist auch bei der Anwendung von Radon in der Balneologie zwischen Nutzen und möglichen Risiken abzuwägen.





Anwendung nichtionisierender Strahlung¹

Ultraschalldiagnostik

Die Ultraschalldiagnostik (Sonographie) ist heute das am weitesten verbreitete bildgebende Diagnose-Verfahren in der Medizin, das ohne ionisierende Strahlung auskommt. Es wird zum Beispiel regelmäßig in der Schwangerschaftsvorsorge eingesetzt, wodurch frühzeitig Missbildungen und Entwicklungsstörungen erkannt werden können. Unverzichtbar ist die Ultraschalldiagnostik auch in der Kardiologie, etwa zur Diagnostik von Herzklappenerkrankungen.

Das Prinzip der Ultraschalldiagnostik ist schon lange aus der Tierwelt bekannt. So orten Fledermäuse mit Ultraschall ihre Beute und erkennen auch im stockdunklen Raum jedes Hindernis. Die Tiere senden Laute im Ultraschallbereich aus. Die Reflexionen werden akustisch



Foto: cipriyanu - Fotolia.com

Ultraschalluntersuchung

¹ Die Ultraschalldiagnostik und die Magnet-Resonanz-Tomographie werden im Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung vom 29. Juli 2009 (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil 1 Nr. 49, ausgegeben zu Bonn am 3. August 2009) analog der Röntgenverordnung und Strahlenschutzverordnung geregelt.



aufgenommen und zu einem „Hörbild“ zusammengesetzt. In gleicher Weise erstellt die medizinische Ultraschalldiagnostik aus Ultraschallechos zwei- oder dreidimensionale Bilder der Gewebe und Organe. Da krankhafte Befunde häufig besondere akustische Eigenschaften haben, lassen sie sich von gesundem Gewebe gut unterscheiden. Seit Ultraschall vor 50 Jahren in der Medizin eingeführt wurde, hat die Gerätetechnik erhebliche Fortschritte gemacht. Heutige Ultraschallgeräte verfügen über ein Auflösungsvermögen, das in vielen Anwendungen an das der Röntgen- und Magnetresonanzverfahren heranreicht. Die Geräte erlauben nicht nur die Darstellung des Gewebes in verschiedenen Graustufen, sondern gleichzeitig auch die Abbildung der im untersuchten Gewebe verlaufenden Blutgefäße.

Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT)

Die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) ist ein Verfahren, das mit Magnetfeldern und Radiowellen arbeitet. Mit Hilfe der MRT können innere Organe und Gewebe ohne Röntgenstrahlen dargestellt werden.

Das Verfahren nutzt aus, dass bestimmte Atomkerne aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaften mit elektromagnetischen Feldern in Beziehung treten. Durch komplexe mathematische Verfahren wird ein Schnittbild durch den Körper errechnet. Im Gegensatz zur Computer-Tomographie, bei der ebenfalls Schnittbilder erzeugt werden, können bei der MRT neben horizontalen Schnittebenen auch noch andere Schnittebenen dargestellt werden, ohne die Lage des Patienten zu verändern. Schädliche Nebenwirkungen durch die MRT konnten bisher nicht nachgewiesen werden.

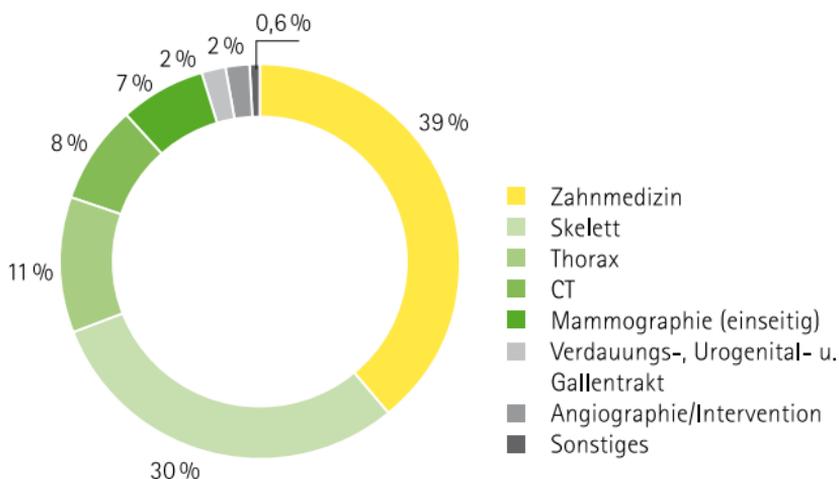
Die Diagnostik mittels MRT ist zurzeit eine sehr kostenintensive Methode und kommt deshalb nur dann zum Einsatz, wenn andere diagnostische Techniken wie Ultraschall, Röntgen oder Computer-Tomographie keine bzw. nur unzureichende Aussagen erlauben.

Strahlenbelastung im Vergleich der einzelnen Therapieverfahren

Röntgendiagnostik

Die Zahl der Röntgenuntersuchungen in Deutschland ist mit 125 Millionen Untersuchungen pro Jahr im internationalen Vergleich sehr hoch. Die daraus resultierende durchschnittliche Strahlenbelastung liegt etwa bei 2,0 Millisievert (mSv)* pro Kopf und ist damit etwa so hoch wie die natürliche Strahlenbelastung der Bevölkerung in Deutschland. Im Einzelfall kann die Belastung wesentlich niedriger oder höher sein.

Prozentualer Anteil verschiedener Röntgenuntersuchungsarten in Deutschland (2011)²



² Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

* Die Wirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper wird durch die Effektive Dosis beschrieben. Die Maßeinheit ist Sievert (Sv). Die gebräuchlichsten Untereinheiten sind das Millisievert ($1/1000 \text{ Sv} = 1 \text{ mSv}$) und das Mikrosievert ($1/1000 \text{ mSv} = 1 \mu\text{Sv}$).

Ionisierende Strahlen können unter Umständen auch bei niedrigen Dosen bösartige Erkrankungen, wie beispielsweise Krebs hervorrufen. Deshalb sollte auf nicht notwendige Röntgenaufnahmen aus Vorsorgegründen verzichtet werden.

Strahlenbelastung beim Röntgen

(Mittlere Werte für die effektive Dosis häufiger Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten, 70 ± 5 kg Körperge-

Untersuchungsart	Effektive Dosis (mSv)
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedermaßen)	< 0,01 – 0,1
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,04
Schädelaufnahme	0,03 – 0,06
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 – 0,2
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 – 0,4
Beckenübersicht	0,3 – 0,7
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,3 – 0,7
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,6 – 1,1
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen und gleichzeitiger Durchleuchtung	
Bein-Becken-Phlebographie	0,3 – 0,7
Galle	1 – 8
Harntrakt	2 – 5
Magen	4 – 8
Dünndarm	5 – 12
Arteriographie und Interventionen	5 – 9
Untersuchungen mit Computertomographie	
Wirbelsäule / Skelett	4,8 – 8,7
Brustkorb (Thorax)	4,2 – 6,7
Bauchraum (Abdomen)	8,8 – 16,4

³ Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit



Foto: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Herzuntersuchung mittels Röntgenstrahlen

Eine nicht durchgeführte Röntgenuntersuchung kann aber zu Fehldiagnosen führen und schwerwiegende gesundheitliche Folgen nach sich ziehen. Die wirksamen Dosen liegen zwischen 20 Mikrosievert (μSv) und einigen Millisievert und sind abhängig vom Organ und der Untersuchungstechnik. Verfahren mit geringer Strahlenbelastung sind beispielsweise Aufnahmen der Lunge, des Kopfes oder von Armen und Beinen.

Zur Verminderung der Strahlenexposition des Menschen sind in den letzten 25 Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden. So wurden zum Beispiel empfindliche Film-Foliensysteme, bessere Generator-Bildverstärkertechnik und digitale Röntgenanlagen eingesetzt, die der Verringerung der Strahlendosis dienen.

Der Patient sollte dem Arzt vor der Röntgenuntersuchung auf jeden Fall mitteilen, ob in jüngster Zeit eine ähnliche Untersuchung durchgeführt worden ist – am besten durch Vorlage des Röntgenpasses. Zur Vermeidung einer Strahlenbelastung des heranwachsenden, besonders empfindlichen Embryos ist der Arzt unbedingt über eine bestehende Schwangerschaft oder den Verdacht auf eine Schwangerschaft zu informieren. Ärzte, die Röntgenuntersuchungen anordnen, sind verpflichtet, nach einer bestehenden Schwangerschaft zu fragen. Das Untersuchungspersonal muss dann auf einen entsprechenden zusätzlichen Schutz achten.

Nuklearmedizin

Durch den Einsatz immer weiter verbesserter Radiopharmaka konnte die Strahlenbelastung durch nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesenkt werden. Bei der Bewertung der Daten zur Strahlenbelastung muss man vor allem beachten, dass jeder Patient einen individuellen Nutzen aus der nuklearmedizinischen Untersuchung zieht. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine Strahlenbelastung von 0,7 mSv auf, die bei Kindern sehr häufig eingesetzte Nierenuntersuchung liegt bei 0,5 mSv.

Weitere Maßnahmen zur Dosisreduktion sind durch die Einführung der diagnostischen Referenzwerte und die Entwicklung neuer Radiopharmaka möglich.



Foto: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Untersuchung der Schilddrüse

Strahlenbelastung in der Nuklearmedizin⁴

Untersuchungsart	Mittlere effektive Dosis
Schilddrüsenszintigraphie	0,9 mSv
Herzszintigraphien	8,0 mSv
Entzündungsuntersuchungen	7,7 mSv

⁴ Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

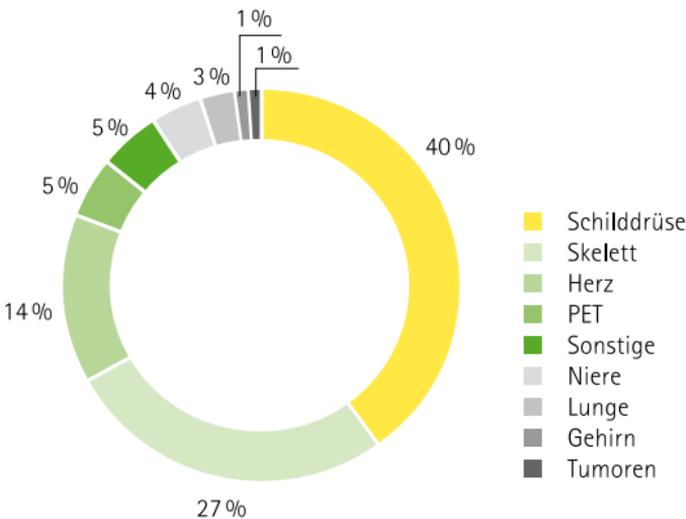


Foto: Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin Universität Leipzig (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. O. Sabri)

Nuklearmedizinisches Untersuchungsgerät (Gammakamera)

Eine weitere sehr häufig eingesetzte Methode ist der Einsatz von radioaktiven Stoffen im Rahmen der nuklearmedizinischen Therapie bei Schilddrüsenerkrankungen. In Deutschland werden damit jährlich 60.000 Schilddrüsentherapien durchgeführt.

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen in Deutschland (2011)⁵



⁵ Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Strahlentherapie

In Deutschland werden derzeit ca. 200.000 Patienten vorwiegend mittels medizinischen Linearbeschleunigern behandelt. Um eine optimale Schonung des gesunden Gewebes zu erreichen, werden zunehmend moderne Verfahren eingesetzt, die den Strahl optimal an das zu bestrahlende Gewebe anpassen. Eine dreidimensionale Bestrahlungsplanung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist dafür die zwingende Voraussetzung.

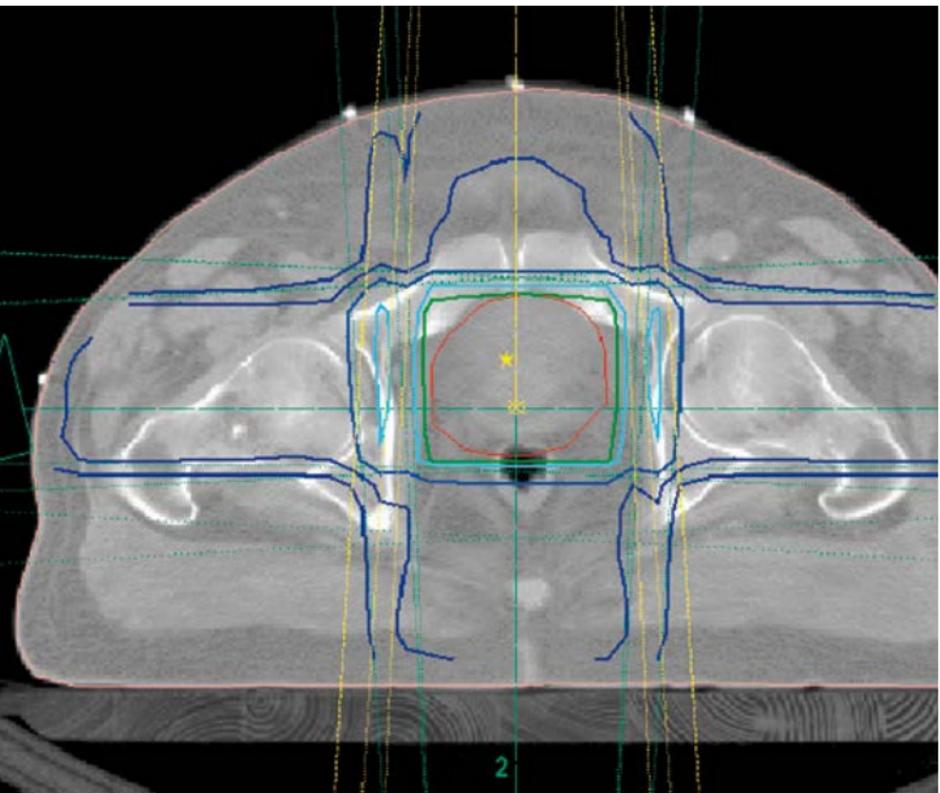


Foto: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Bestrahlungsplanung mit Computer

Wesentlicher Bestandteil einer Strahlentherapie sind auch die Nachsorgemaßnahmen, wie z.B. die vom Arzt angeordneten diesbezüglichen Untersuchungen. Für den therapeutischen Erfolg müssen in der Strahlentherapie punktuell hohe Strahlendosen eingesetzt werden. Eine Angabe der effektiven Dosis ist daher bei den oben beschriebenen Therapien nicht geeignet.

Radonbalneologie

Die Strahlenexposition bei Radonkuren hängt von der Art der Anwendung, von der Radonkonzentration im Heilmittel und weiteren physikalischen Eigenschaften der eingeatmeten Luft ab. Radon entfaltet jedoch seine schmerzlindernde Wirkung schon bei relativ geringen Strahlendosen, so dass die Nebenwirkungen auf die Atemwege gegenüber der Heilwirkung als gering einzuschätzen sind. Die Strahlendosen durch Radonkuren liegen im Bereich der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition.

Offizielle Angaben über die Dosisbelastung wie bei den anderen medizinischen Anwendungsgebieten (z. B. Veröffentlichung als Bundestagsdrucksache) liegen für die Radonbalneologie nicht vor. Nach Literaturangaben beträgt die Strahlenbelastung 0,2 bis 0,5 mSv bei der Badekur und 2 mSv bei der Inhalationskur.

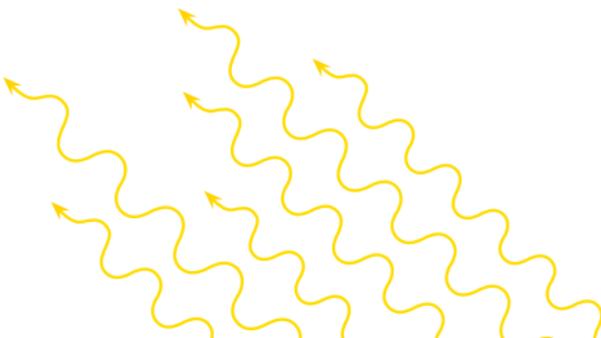
Mit welchen natürlichen Strahlenbelastungen leben wir?

Täglich sind wir einer natürlichen Strahlenbelastung ausgesetzt. Diese setzt sich u. a. wie folgt zusammen⁶:

■ Kosmische Strahlung	0,3 mSv im Jahr
■ Bodenstrahlung	0,4 mSv im Jahr
■ Natürliche Radoninhalation	1,1 mSv im Jahr
■ Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung	0,3 mSv im Jahr

Die gesamte natürliche Strahlenbelastung in Deutschland beträgt 2,1 mSv im Jahr.

⁶ Quelle: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012, Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit





Genehmigung, Kontrolle und Qualitätssicherung bei der Strahlenanwendung

Grundlagen für die Arbeit der Strahlenschutzbehörden

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Strahlenanwendungen im medizinischen Bereich unterliegen strengen Vorschriften. Diese sind in zwei Verordnungen geregelt: in der Röntgenverordnung und in der Strahlenschutzverordnung.



Foto: Physikalisch-Technische Werkstätten Dr. Pychlau GmbH, Freiburg

Überprüfung einer Röntgenanlage

Die **Röntgenverordnung (RöV)** gilt für Röntgeneinrichtungen. Die Verordnung enthält insbesondere Bestimmungen zum Betrieb von Röntgeneinrichtungen sowie über sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit Röntgeneinrichtungen. In ihr sind u.a. Festlegungen über die Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung und zur

Behandlung von Menschen und darüber hinaus zur Qualitätssicherung durch ärztliche und zahnärztliche Stellen zu finden.

Die **Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)** regelt den Schutz von Mensch und Umwelt vor radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aus natürlichen und künstlichen Strahlenquellen. Die Verordnung kommt zur Anwendung, soweit die Röntgenverordnung nicht einschlägig ist. Besonders erwähnt seien Bestimmungen zur Heilkunde und Zahnheilkunde, zur medizinischen Forschung und zur Qualitätssicherung der medizinischen Anwendung.

Die zuständigen Strahlenschutzbehörden prüfen vor Erteilung der Genehmigung die Erfüllung aller gesetzlichen Vorgaben. Als Voraussetzung für eine Genehmigung werden u. a. gefordert:

- die Zuverlässigkeit der verantwortlichen Person
- die für den Strahlenschutz notwendige Anzahl von Strahlenschutzbeauftragten und
- die notwendigen Kenntnisse der beschäftigten Personen

Erstmalig ist auf der Grundlage der neuen Röntgenverordnung und Strahlenschutzverordnung von den zuständigen Behörden zu prüfen, ob das für eine sichere Ausführung des Umgangs oder Betriebes notwendige Personal auch zur Verfügung steht. Diese Vorschrift ist notwendig, damit angesichts des immer enger werdenden finanziellen Spielraumes bei Krankenhausträgern, Forschungseinrichtungen und niedergelassenen Ärzten personelle oder organisatorische Optimierungen nicht zu Lasten des Strahlenschutzes gehen.

Aufgaben der Ärztlichen Stelle

Die Ärztliche Stelle hat eine Mittlerfunktion zwischen dem Strahlenschutzverantwortlichen und den zuständigen Behörden.

Sie berät den behandelnden Arzt bei der Optimierung der Strahlenanwendung und gibt gegebenenfalls Empfehlungen zur Verringerung der Strahlenexposition. Darüber hinaus prüft die Ärztliche Stelle, ob und inwieweit die Vorschläge umgesetzt wurden, um eine Qualitätssicherung auf hohem Niveau zu gewährleisten. Sie ist verpflichtet, den zuständigen Behörden die Ergebnisse der Überprüfungen, das Abweichen von Qualitätsstandards und die Nichtbeachtung unterbreiteter Vorschläge zur Qualitätsverbesserung sowie der Reduzierung der Strahlenbelastung für die Patienten mitzuteilen. Die Ärztliche Stelle kann selbst keine behördlichen Maßnahmen treffen. Sie unterrichtet daher die zuständigen Behörden unverzüglich in den Fällen, in denen sie aufsichtsrechtliche Maßnahmen für notwendig erachtet.

Die Überprüfungen erfolgen in Zeitabständen von 1 bis 3 Jahren (Regelabstand 2 Jahre) und werden auf dem Gebiet der Strahlentherapie vor Ort durchgeführt.

Mitwirkung von Medizinphysik-Experten

Sowohl in der Strahlenschutzverordnung als auch in der Röntgenverordnung wird uneingeschränkt auf die notwendige intensive Mitwirkung von Medizinphysik-Experten bei allen therapeutischen Anwendungen radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen ver-



Foto: Sachverständigen- und Beratungsgesellschaft für Strahlenschutz (SBS) Chemnitz

Medizinischer Linearbeschleuniger mit Röntgenanlage

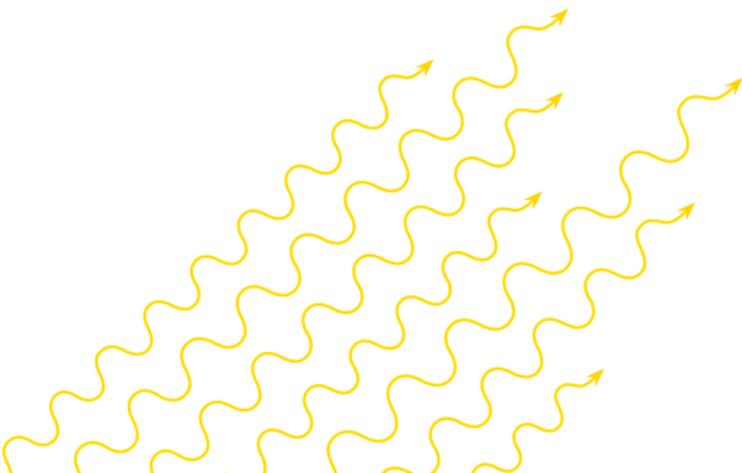
wiesen. Diese müssen eine 24-monatige klinische Ausbildung durchlaufen. Beispielsweise wird dafür an der Technischen Universität Dresden im Zentrum für Innovationskompetenz OncoRay der medizinischen Fakultät ein postgradualer Masterstudiengang angeboten, der die Anerkennung als Medizinphysik-Experte einschließt.

Die genannten Verordnungen sehen einen umfangreichen Einsatz von Medizinphysik-Experten als Genehmigungsvoraussetzung bei der Strahlenanwendung am Menschen vor. So wird seine ständige Anwesenheit im strahlentherapeutischen Behandlungsprozess gefordert. Für nuklearmedizinische und radiologische Untersuchungen sowie nuklearmedizinische Standardbehandlungen muss gewährleistet sein, dass ein Medizinphysik-Experte verfügbar ist.

Kontrolle durch Sachverständige

Zur periodischen Überprüfung der Anlagen im Bereich der Strahlentherapie und im Geltungsbereich der Röntgenverordnung werden behördlich bestimmte Sachverständige tätig. Sie prüfen die Anlagen auf Sicherheit und Strahlenschutz sowie auf Undurchlässigkeit der Umhüllung der eingesetzten radioaktiven Quellen.

Die Sachverständigen werden von den zuständigen Behörden bestimmt und müssen besondere gesetzliche Anforderungen hinsichtlich der Ausbildung, der Berufserfahrung, der Teilnahme an der Einweisung in die Sachverständigentätigkeit, der nachzuweisenden Kurse und des Umfangs der bisherigen Prüftätigkeit erfüllen.



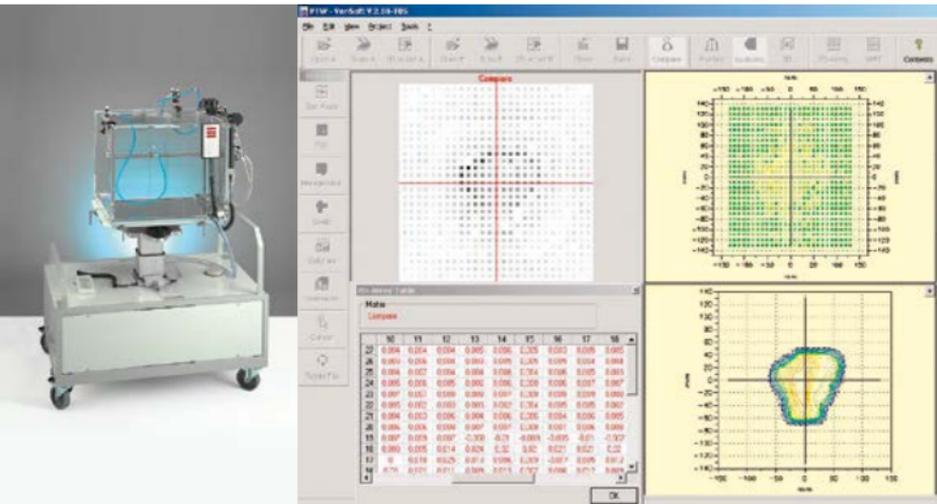


Foto: Physikalisch-Technische Werkstätten Dr. Pichlau GmbH, Freiburg

Überprüfung der Strahlenqualität mittels Wasserphantom und Auswertung am Computer in der Strahlentherapie

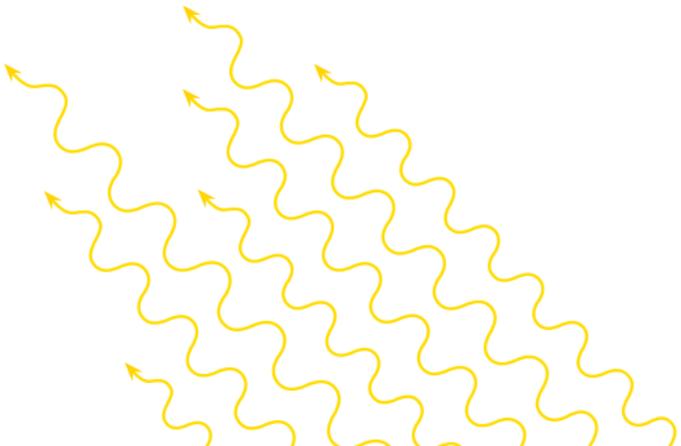
Zusammenarbeit der zuständigen Stellen

Während im technischen Bereich der Strahlenschutz des Personals und der Umwelt im Vordergrund steht, müssen bei medizinischen Anwendungen die drei Strahlenschutzgrundsätze

- Rechtfertigung einer Strahlenanwendung
- Dosisbegrenzung und
- Optimierung

auch bei den Patienten beachtet werden.

Zur Durchsetzung dieser drei Prinzipien werden die Aufsichtsbehörden durch die Ärztliche Stelle, die Medizinphysik-Experten und den Sachverständigen unterstützt. Sie werden zur Überprüfung der gesamten Qualitätssicherung bei den Ärzten tätig.



In unterschiedlichen zeitlichen Intervallen überprüfen diese Institutionen und Experten teils den technischen Strahlenschutz, teils aber auch das unmittelbare Handeln des Arztes. Dabei sind sie vorwiegend gutachterlich für die Aufsichtsbehörde tätig. Erforderliche Anordnungen werden von den Strahlenschutzbehörden getroffen.

Zusammenarbeit der Aufsichtsbehörden mit anderen Stellen

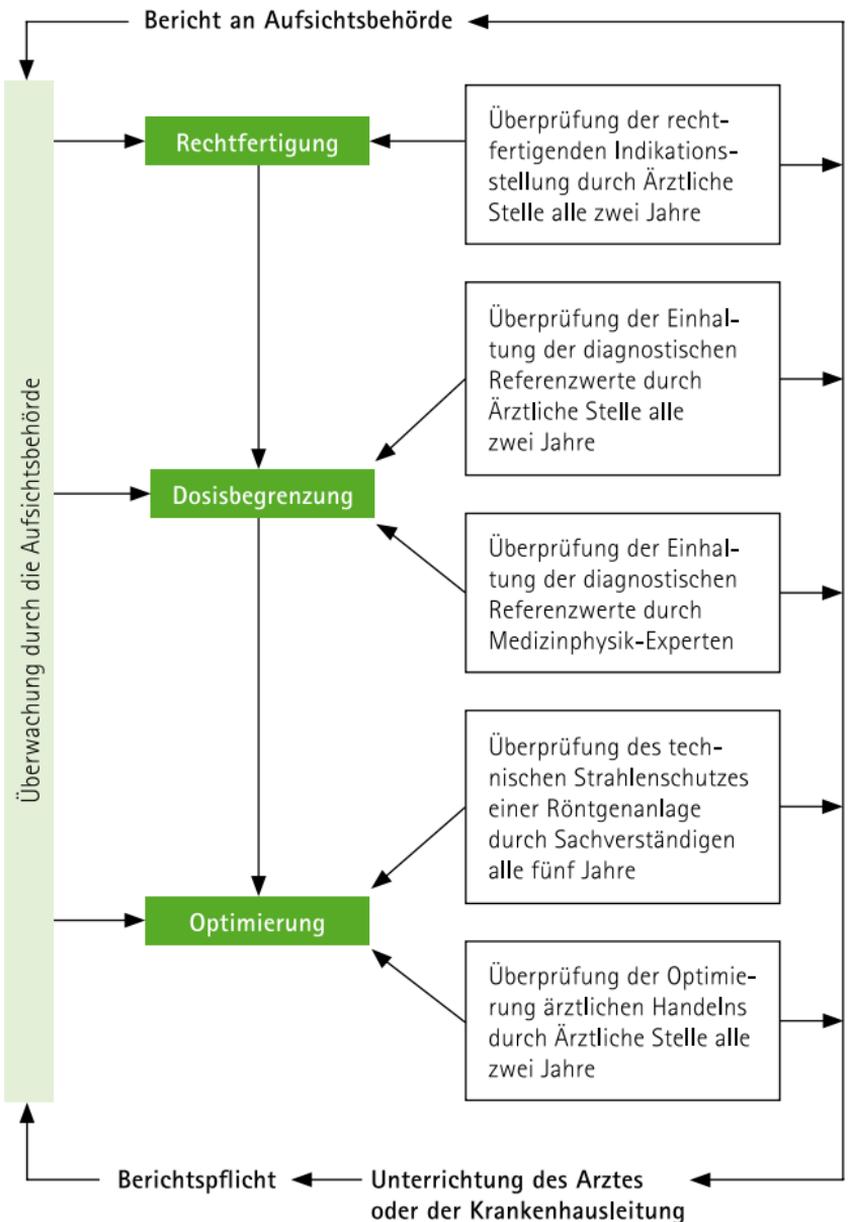


Abbildung: Strahlenschutzseminar in Thüringen e.V. (www.ssstev.de)

Links zu weiterführenden Themen

Arbeitsschutzverwaltung des Freistaates Sachsen
www.arbeitsschutz-sachsen.de

Bundesärztekammer
www.bundesaerztekammer.de

Bundesamt für Strahlenschutz
www.bfs.de

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
www.bmub.de

Deutsches Ärzteblatt
www.aerzteblatt.de

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
in der Helmholtz-Gemeinschaft
www.desy.de/pr-info/Roentgen-light

Deutsche Gesellschaft für
Medizinische Physik (DGMP) e.V.
www.dgmp.de

Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e. V. (DEGRO)
www.degro.org

Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V.
www.din.de

Deutsche Krebshilfe e.V.
www.krebshilfe.de

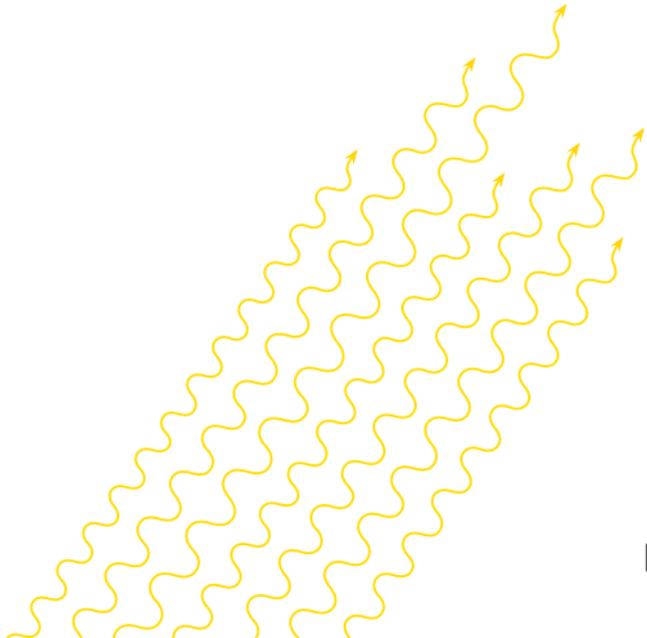
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
www.dkfz-Heidelberg.de

Deutsche Röntgengesellschaft e.V.
www.drg.de

GSF – Forschungszentrum für Umwelt
und Gesundheit
www.gsf.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
www.smul.sachsen.de/lfulg

Strahlenschutzkommission (SSK)
www.ssk.de



Behörden/Ansprechpartner

Für die Strahlenschutzverordnung zuständig:

Sächsisches Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft

Abteilung 5, Naturschutz, Klima, Immissions- und Strahlenschutz
Wilhelm-Buck-Straße 2, 01097 Dresden

Telefon: +49 351 564-0

Telefax: +49 351 564-2069

E-Mail: poststelle@smul.sachsen.de

Internet: www.smul.sachsen.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie

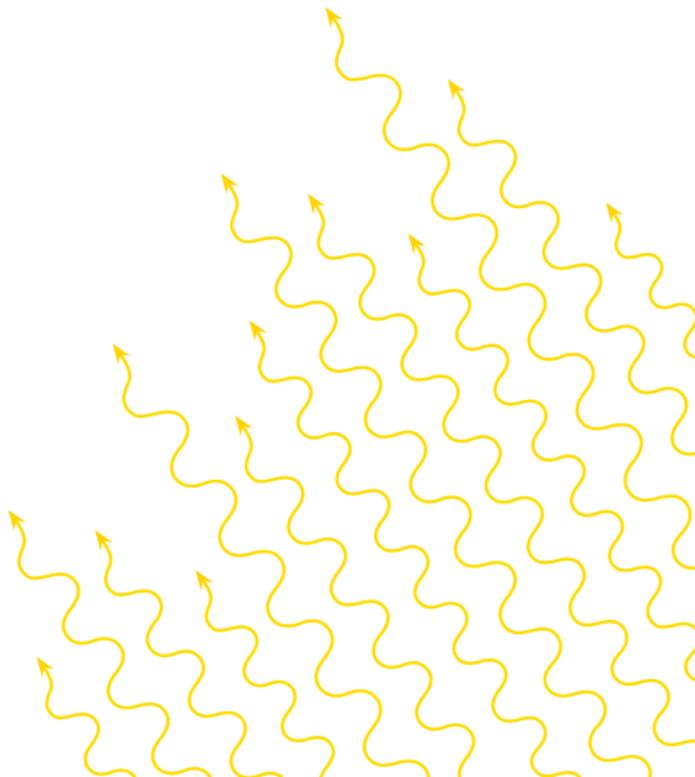
Abteilung 5, Klima, Luft, Lärm, Strahlen
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2614-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

Internet: www.umwelt.sachsen.de/lfulg



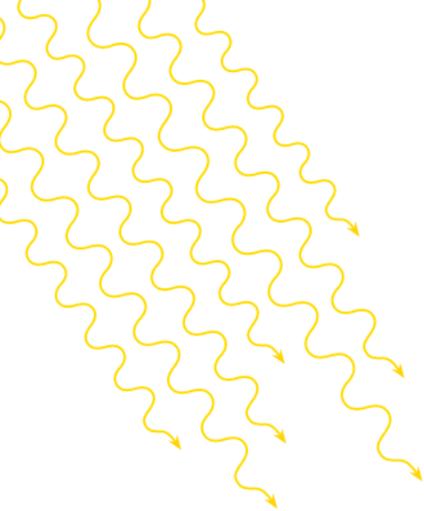
Für die Röntgenverordnung zuständig:

Die Röntgenverordnung wird durch die
Landesdirektion Sachsen
(Referate 53 „Medizinproduktesicherheit,
Strahlenschutz, Ergonomie“) vollzogen.

Davon abweichende Zuständigkeiten für bestimmte
Fachaufgaben (z. B. Fachkunde-Bescheinigungen) sind
in der Sächsischen Arbeitsschutzzuständigkeitsverordnung
und dort in der Anlage unter Buchstabe D Nr. 3 aufgeführt.

Ärztliche Stelle in Sachsen

Sächsische Landesärztekammer
Schützenhöhe 16, 01099 Dresden
Telefon: +49 351 8267-0
Telefax: +49 351 8267-312
E-Mail: quaroe@slaek.de
Internet: www.slaek.de

**Herausgeber:**

Sächsisches Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
Postfach 10 05 10, 01076 Dresden
Bürgertelefon:
Telefon: +49 351 564-6814
Telefax: +49 351 564-2059
E-Mail: info@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de

Redaktion:

SMUL, Abteilung 5, Naturschutz, Klima,
Immissions- und Strahlenschutz

Gestaltung und Satz:

Heimrich Et Hannot GmbH

Druck:

Union Druckerei Dresden GmbH

Redaktionsschluss:

30. Juni 2015

Auflagenhöhe:

3.000 Exemplare,
3. Auflage (aktualisiert), August 2015

Papier:

Gedruckt auf 100% Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand
der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 210-3671
Telefax: +49 351 210-3681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.