

Der Strahlenschutz – alles im Griff?

Strahlenschutz-Gesetzgebung

Mit der Inkraftsetzung des Strahlenschutzgesetzes (1991) und der Strahlenschutzverordnung (1994) im Jahre 1994 wurde der Umgang mit ionisierenden Strahlen insbesondere in der Medizin klarer geregelt und auf einen neuzeitlichen Stand gebracht. Zahlreiche Neuerungen bzw. Änderungen wurden eingeführt, so z.B. in den Gebieten Ausbildung, Qualitätssicherung, Geräteausstattung [3, 4]. In den vergangenen Jahren wurden auch die entsprechenden Verordnungen angepasst (Röntgenverordnung 1998, Verordnung über den Umgang mit offenen radioaktiven Strahlenquellen 1997, Medizinische Strahlenquellen-Verordnung 2001, Verordnung über die ablieferungspflichtigen radioaktiven Abfälle 1996, Dosimetrieverordnung 2000, Ausbildungsverordnung 1998 usw.). Ausstehend ist noch die Anpassung der Beschleunigerverordnung aus dem Jahre 1980, die mit der Technik der heutigen Beschleuniger und Methoden nicht mehr kompatibel ist. Die Vorschriften sind eine Seite, die Umsetzung und die Anpassung in der Praxis die andere. Dieser Prozess ist nie abgeschlossen. Wichtig ist auch, dass die Vorschriften im Rahmen der Möglichkeiten flexibel gehandhabt und bei Bedarf an neue Methoden und Techniken angepasst werden. Diesbezüglich konnten wir den zuständigen Behörden (BAG) in der Vergangenheit im allgemeinen ein gutes Zeugnis ausstellen. Unsere Aufgabe sehen wir unter anderem darin, gewisse Vorschriften in der Praxis bezüglich Machbarkeit und Zweckmäßigkeit zu überprüfen, z.B. mit Messungen, und daraus gegebenenfalls Konsequenzen zu ziehen und darüber zu informieren. Wenn Vorschriften nicht eingehalten werden (können), dann sollen sie geändert werden. Dafür braucht es Anregungen aus der Praxis.

Neutronen in der Radio-Onkologie

Wenn Photonen mit einer Energie von mehr als 8 MeV auf Materie auftreffen, so können Wechselwirkungen mit den Atomkernen auftreten. Dabei werden Neutronen freigesetzt und die Materie wird radioaktiv – es handelt sich um den sogenannten Kernphotoeffekt. Bei Bestrahlungen von Patienten an hochenergetischen Linearbeschleunigern kann die leichte und kurzfristige Radioaktivität des Gewebes gemessen werden. Die Effekte sind aber vor allem an Metallen gut feststellbar. Dabei kann die Aktivität an Teilen des Beschleunigerkopfes auch nach Bestrahlungsende teilweise beträchtlich sein. So muss bei Revisionsarbeiten am geöffneten Strahlerkopf z.B. das Target zum Schutz der Techniker besonders abgeschirmt werden. Auch die Kollimatoren und Abschirmblöcke werden aktiviert.

So dienen die schweren Türen zwischen Bestrahlungsraum (mit Linearbeschleuniger) und Bedienungsraum denn auch vorwiegend dem Schutz vor Neutronenstrahlen. Sie sind mit Paraffin gefüllt, um die Neutronen abzuschirmen. Dabei entstehen wieder Photonenstrahlen, die mit einer Stahlabschirmung geschwächt werden. Die Türen sind somit vor allem wirksam bei hochenergetischen Photonenstrahlen, währenddem sie bei niedrigeren Energien bei geeigneter Schleusengeometrie keine grosse Wirkung bringen und im allgemeinen weggelassen werden können. Dies wur-

de bereits 1988 bei der Inbetriebnahme der neuen Generation von Lineargeschleunigern durch Messungen bestätigt [1]. Die Bestrahlungsräume mit Linearbeschleuniger, deren Photonenenergie weniger als 8 MeV beträgt, haben in der Radio-Onkologie Basel keine Türen. Bei der Erzeugung von Photonenstrahlen mit Energien von über 8 MeV müssen an den „grossen“ Linearbeschleunigern die Türen geschlossen werden, was mit technischen Einrichtungen überwacht wird. Diese Regelung erfüllt die Strahlenschutzgesetzgebung problemlos, spart Kosten sowie Zeit und schliesst den Patienten nicht unnötigerweise im Bestrahlungsraum ein.

Vor der Inbetriebnahme eines Linearbeschleunigers müssen Annahmen getroffen werden, um den baulichen Strahlenschutz für den Bestrahlungsraum zu gewährleisten. Es wäre sehr schwierig, nachträglich die Wanddicken zu vergrössern oder zusätzliche Türen oder Schleusen einzubauen. Da natürlich die Gefahr besteht, dass dabei aus Sicherheitsgründen der Strahlenschutz zu umfangreich bemessen wird und dabei unnötige Kosten und ein grosser Aufwand verursacht werden, wurden im Jahre 1992 die Berechnungen (aufgrund von Annahmen) mit nachträglichen Messungen verglichen [2]. Dabei zeigte sich, dass dies nicht der Fall war und die Vorschriften eingehalten werden.

Das Strahlenrisiko

Der Strahlenschutz stützt sich auf die beiden Gebiete Strahlenphysik und Strahlenbiologie. In früheren Jahren haben sich Mitarbeiter der Radiologischen Physik selbst experimentell mit der Strahlenbiologie beschäftigt. Heute erteilen wir Unterricht in diesem Gebiet, da es – nach dem Entscheid, am Strahlenbiologischen Institut der Universität Zürich keine Strahlenbiologie mit ionisierenden Strahlen mehr zu betreiben – nur noch wenige Strahlenbiologen gibt und vor allem keine neuen Spezialisten mehr ausgebildet werden. In der Schweiz steht es sehr schlecht mit der Strahlenbiologie. Es fehlt z.B. an Experten bei der Beurteilung von Strahlenrisiken. Neue strahlenbiologische Erkenntnisse finden in der Schweiz nur mit grosser Verzögerung und ohne eigene kompetente Beurteilung Eingang in die Gesetzgebung, in den Unterricht, in die Beurteilung von Strahlenrisiken usw.

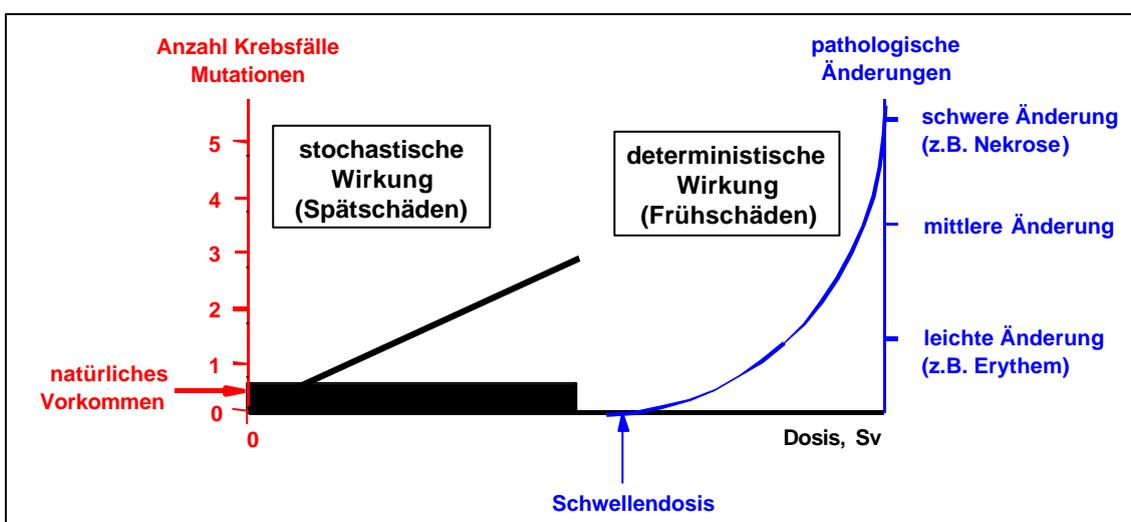


Abbildung 1: Stochastisches (5 % pro Sv) und deterministisches Strahlenrisiko in Abhängigkeit von der Dosis.

Die Beurteilung von stochastischen und deterministischen Strahlenrisiken beruht heute auf den Publikationen der ICRP (Internationale Strahlenschutz-Kommission) und ist damit standardisiert. Von Fachleuten wird zunehmend die Vermutung geäußert, dass für kleine Dosen (einige Milli-Sievert) eine Schwellendosis existieren könnte. Dies wird bei dem niedrigen und im „Background“ liegenden Risiko allerdings kaum nachzuweisen sein. Andererseits gibt es auch mehrere Wissenschaftler (wie z.B. J.W. Cameron), die darüber nachdenken, ob eine Bevölkerung mit niedrigen natürlichen Strahlenexpositionen zusätzlich bestrahlt werden sollen, um das Krebsrisiko zu erniedrigen. Die Anwendung einer linearen Dosis-Risiko-Beziehung bleibt in der nächsten Zukunft aber weiterhin sinnvoll und vertretbar. Es zeugt aber weiterhin nicht von Sachkenntnis, wenn mit dem Strahlenrisiko von 5 % pro Sv als Folge der mittleren Strahlenexposition von 1 mSv durch die Röntgendiagnostik etwa 350 Krebstote in der Schweiz berechnet werden und solche Zahlen publiziert werden. Dabei wird einiges vernachlässigt und vereinfacht.

Eine Risikoschätzung für einen Fötus bzw. Embryo muss in der Praxis oft individuell durchgeführt werden als Folge einer Strahlenexposition an einer (unbekannt) schwangeren Patientin. Eine solche Beurteilung ist unter Umständen folgenschwer, da die Beurteilung nicht ein Kollektiv betrifft, sondern Konsequenzen für ein Individuum haben kann. Pro Jahr führt die Radiologische Physik etwa zehn solcher Gutachten durch. Dabei ist die Ursache für die Strahlenexposition meistens eine Untersuchung mit Röntgenstrahlen (oft CT), selten eine nuklearmedizinische Untersuchung oder eine Strahlentherapie. Die strahlenbiologische Beurteilung lautet: In der Blastogenese manifestiert sich der Strahlenschaden in der Regel im Keimtod, der kaum zu erkennen ist. In der Organogenese kann es zu schweren Missbildungen oder zum Fruchttod kommen bei Dosen im Bereich von etwa 100 mSv und mehr. Bei dieser Beurteilung muss berücksichtigt werden, dass die spontane Mutationsrate etwa 3 – 6 % beträgt. Als besonders strahlenempfindliche Phase für die geistige Entwicklung hat sich die Zeit zwischen der 8. und 15. Schwangerschaftswoche erwiesen (geistige Retardierung 40 % bei 1 Sv bzw. eine Abnahme des IQ um 30 Punkte pro Sv). Nach neuen Erkenntnissen wird dafür jedoch eine Schwellendosis von etwa 100 mSv postuliert. Das Risiko für eine Tumorinduktion ist in dieser Phase drei- bis viermal höher als postnatal, nämlich 15 bis 20 % pro Sv. In der Fetalperiode werden schwere sichtbare Schädigungen nach Dosen von etwa 100 mSv mit fortschreitender Entwicklungsphase unwahrscheinlicher.

Offene Probleme und auch neue Erkenntnisse gibt es im Gebiet der Radio-Onkologie. So weist z.B. der neue UNSCEAR-Report darauf hin, dass bei Patienten mit bestrahlten Krankheiten eine Überhöhung der Strahlenempfindlichkeit um einen Faktor 5 bis 10 beobachtet wurde, bezogen auf das generelle Strahlenrisiko von 5 % pro Sv.

Strahlenexposition in den Operationssälen und deren Umgebung

Die Röntgentätigkeit in den Operationssälen ergibt für das Operationspersonal und die sich in angrenzenden Räumen aufhaltenden Personen eine Strahlenexposition. Die Einhaltung der Strahlenschutzgesetzgebung erfordert insbesondere eine genügende Abschirmung durch die Wände, Böden und Decken. Dabei werden für die verwendeten Geräte (Röntengeräte mit Bildverstärkern) Annahmen über die emit-

tierte Strahlenmenge getroffen, die unter Umständen eine Zusatzverbleiung der den Raum umgebenden Baustrukturen bedingen. Die dabei getroffenen Annahmen sind tendenzmässig konservativ, was zu einer eher "üppigen" Verbleiung führen kann. Eine Überprüfung der dabei getroffenen Annahmen mittels Raumüberwachungsmessungen mit TLD während eines Monats hat für die Operationssäle folgende Resultate ergeben. Die Dosiswerte an 15 Orten inner- und ausserhalb der Operationssäle betragen im Mittel $6,4 \mu\text{Sv}$ pro Monat mit einem maximalen Wert von $16,1 \mu\text{Sv}$ pro Monat in einem der Operationssäle. Umgerechnet auf ein Jahr ergibt sich im Mittel $0,08 \text{ mSv}$ respektive $0,19 \text{ mSv}$ als Maximalwert. Daraus liesse sich ableiten, dass eigentlich (was den Strahlenschutz betrifft) gar keine Wände notwendig wären. In der Praxis wurden die Wände der Operationssäle gemäss den Standardvorschriften und -berechnungen verbleit!

Zum Strahlenschutz am transportablen Röntgengerät

Im allgemeinen werden röntgendiagnostische Untersuchungen in speziellen, dafür eingerichteten Räumen und unter Bedingungen durchgeführt, welche die Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften gewährleisten. In einem Spital kommt es jedoch immer wieder vor, dass ein Patient nicht in den dafür vorgesehen Röntgenraum gelangen kann. Für diesen Fall sind transportable Röntgengeräte vorgesehen, welche an das Patientenbett gefahren werden können. Die diesbezüglich weitaus häufigsten Röntgenuntersuchungen sind Thoraxaufnahmen. Handelt es sich um eine laterale Röntgenaufnahme, wobei der Patient auf dem Rücken liegt, so trifft der Zentralstrahl horizontal auf den Patienten. Abgesehen von den möglichen Problemen mit dem baulichen Strahlenschutz stellt sich in einem Mehrbettzimmer die Frage nach einer allfälligen Strahlenexposition der benachbarten Patienten.

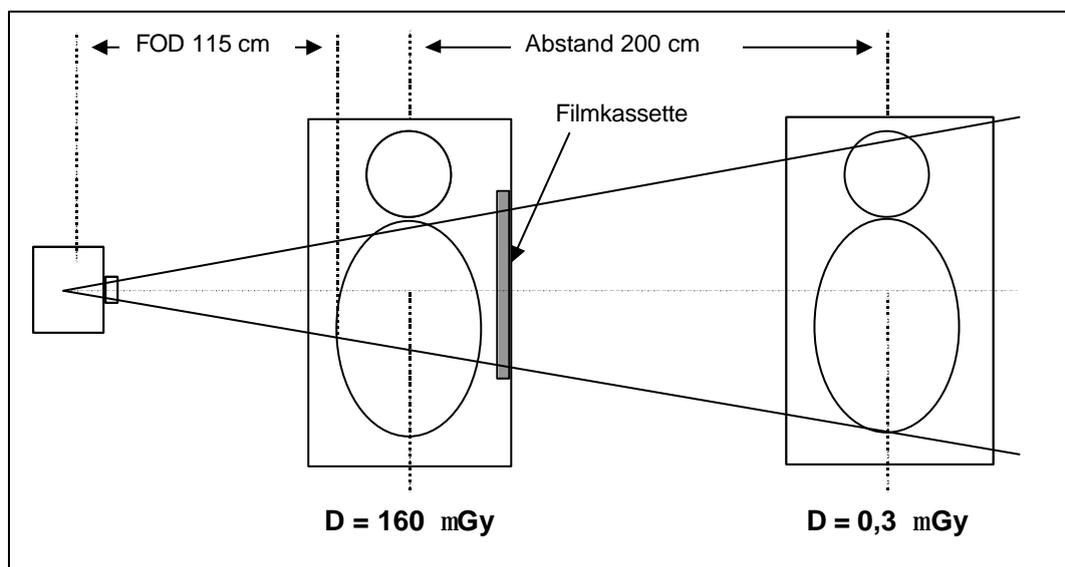


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Untersuchungs- und Messanordnung bei einer lateralen Thorax-Aufnahme mit einem transportablen Röntgengerät in einem Mehrbettzimmer.

Zu Beantwortung dieser Frage wurden Messungen bei den üblichen Aufnahmebedingungen mit einem transportablen Röntgengerät AMX4 (Firma GE) durchgeführt,

nämlich bei einer Röhrenspannung von 110 kV, einer Exposition von 1 mAs und einem Fokus-Oberflächen-Abstand von 115 cm, wobei der zu untersuchende Patient durch das Alderson-Phantom ersetzt wurde. Die Dosis wurde mit Hilfe einer 30-cm³-Streustrahlenkammer gemessen. In Abbildung 2 ist die Messanordnung für den exponierten sowie den benachbarten Patienten schematisch dargestellt.

Aufgrund der Messergebnisse führt eine laterale Thorax-Aufnahme des Patienten in Rückenlage am 200 cm entfernten Nachbarpatienten zu einer Strahlenexposition von 0,3 µGy, wenn er im Strahlschatten des untersuchten Patienten liegt. Dies ist immer dann der Fall, wenn das Feld auf Kassettengrösse eingeblendet ist. Somit konnte für die zuständige Fachperson für medizinisch technische Radiologie die folgende Empfehlung abgegeben werden: Bei der Röntgenuntersuchung eines Patienten ist die Strahlenexposition für den Nachbarpatienten in 2 m Entfernung vernachlässigbar, sofern auf die Kassettengrösse eingeblendet wird. Daher sind für ihn grundsätzlich keine zusätzlichen Strahlenschutzmassnahmen erforderlich, insbesondere kann bei ihm auf die Anwendung einer Bleischürze verzichtet werden.

Wo liegen die Probleme?

Der Strahlenschutz muss dort verbessert werden, wo die höchsten Dosen für die Patienten bzw. das Personal vorhanden sind (z.B. CT-Untersuchungen) oder hohe Kollektivdosen aufgrund der Häufigkeit einer Untersuchung auftreten (z.B. Thorax-Untersuchungen). Oft wird von falschen Annahmen ausgegangen. Dann können nur Messungen in der Praxis die Realität aufzeigen. Verbesserungen bzw. kleinere Dosen sind zu erreichen durch eine gute Strahlenschutzausbildung. In der diagnostischen Radiologie können eine optimale Einblendung der Feldgrösse, ein empfindliches Bildsystem und die Konsequenzen der Qualitätssicherung die Strahlenexpositionen wesentlich beeinflussen. Bei der Durchleuchtung bestimmen die Strahlenqualität (Röhrenspannung, Filterung), die Feldgrösse, die Pulsfrequenz, das Streustrahlenraster und vor allem die Durchleuchtungsdauer die Dosis. Neue Geräte führen nicht a priori zu kleineren Dosen.

In der Radio-Onkologie muss die Dosis in den strahlenempfindlichen Organen ausserhalb des Zielvolumens möglichst klein gehalten werden. In Zukunft wird diese Forderung an Bedeutung noch zunehmen, da nach verschiedenen Publikationen aufgrund des zunehmenden Alters mit vermehrten Zweit- oder sogar Drittbestrahlungen zu rechnen ist.

Literatur

- [1] H.W. Nemeč, H.W. Roser, J. Roth: Zum Strahlenschutz am Linearbeschleuniger: Messungen der Neutronendosis am SL 25. Medizinische Physik (Hrsg.: F. Nüsslin), Tübingen (1988), 524-528
- [2] H. Nemeč, J. Roth, H.W. Roser: Zum Strahlenschutz an medizinischen Elektronenbeschleunigern: Vergleich zwischen Messungen und Berechnungen. Ztschr. Med. Physik **2** (1992) 179-184
- [3] J. Roth: Neue schweizerische Strahlenschutzgesetzgebung: Änderungen im medizinischen Bereich. Ztschr. Med. Physik **6** (1996) 145-148
- [4] J. Roth, H.W. Roser: Zur Einhaltung der Strahlenschutz-Vorschriften in der Medizin. Band der 29. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz (Hrsg.: A. Auf der Mauer, H. Brunner, C. Wernli). Verlag TÜV Rheinland (1997), 191-196