

## ■ Unter Kontrolle

**Ionisierende Strahlung ist ein Gesundheitsrisiko. Deshalb müssen strahlenexponierte Berufstätige überwacht werden. Hierzu dienen Personendosimeter.**

**A**ufmerksame Patienten stellen beim Röntgen fest, dass das Personal eine ungefähr scheckkartengroße Plakette am Oberkörper trägt. Ähnliche Plaketten verwenden Mitarbeiter in der medizinischen Strahlentherapie, aber auch in verschiedenen Forschungseinrichtungen oder in Kernkraftwerken. Bei den Plaketten handelt es sich um amtliche Personendosimeter, die aufgrund der Röntgen- und Strahlenschutzverordnung vorgeschrieben sind. So soll die Exposition der Berufstätigen kontrolliert und letztlich möglichst gering – und vor allem unter dem vorgeschriebenen Grenzwert – gehalten werden. Als Maß dient die effektive Dosis, die sowohl die unterschiedliche Wirkung verschiedener ionisierender Strahlungsarten beim Menschen als auch die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe berücksichtigt. Bei beruflich strahlenexponierten Personen liegt ihr Jahresgrenzwert bei 20 Millisievert – und damit 20-mal höher als generell bei der Bevölkerung. Etwa 350 000 Personen gehören in Deutschland zur Gruppe der beruflich Strahlenexponierten, rund 70 Prozent von ihnen arbeiten in der Medizin.

Personendosimeter detektieren ionisierende Strahlung mit unterschiedlichen Methoden. Im beruflichen Umfeld kommen in Deutschland vor allem drei Arten zum Einsatz: Film-, Lumineszenz- und elektronische Dosimeter. Beim Filmdosimeter dient eine Filmemulsion als Detektor. Die Schwärzung des Films, also seine optische Dichte, lässt sich direkt mit der empfangenen Äquivalentdosis, die bei Messungen die nicht direkt messbare effektive Dosis ersetzt, in Beziehung setzen. Das ist nicht ganz trivial, denn die hohe Ordnungszahl der Silberionen führt dazu, dass der Film mit der ionisierenden Strahlung ganz anders wechselwirkt als das menschliche Gewebe, das einen hohen Wasseranteil hat. Zudem



Je nach Art der Strahlenexposition müssen Berufstätige Ganzkörper- oder Teilkörperdosimeter an einer „für die Exposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche“ tragen: Filmdosimeter am

Rumpf, Teilkörperdosimeter z. B. an dem Finger, welcher der Strahlungsquelle am nächsten kommt, und direkt ablesbare elektronische Personendosimeter beispielsweise an der Hüfte.

ist das Strahlungsfeld, dem ein Beschäftigter ausgesetzt ist, oft räumlich oder zeitlich inhomogen und die Strahlungsintensität winkelabhängig. Berücksichtigen lassen sich all diese Faktoren durch verschiedene Filter und Masken über der Filmemulsion. Filmdosimeter sprechen auf Röntgen- und Gammastrahlung an, auf Betastrahlung mit Einschränkungen.

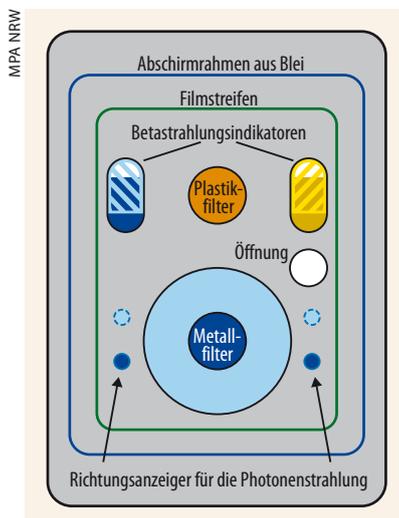
Bei Lumineszenzdosimetern dienen Kristalle mit einem großen Energieabstand zwischen Valenz- und Leitungsband (Bandlücke) als Detektoren. Beispiele sind Lithiumfluorid oder Berylliumoxid. Diese Kristalle werden dotiert, Lithiumfluorid zum Beispiel mit Magnesium und Titan. So lassen sich zusätzliche, langlebige Energieniveaus in die Bandlücke einbringen. Erzeugt nun die zu detektierende Strahlung Elektron-Loch-Paare im Kristall, wird ein Teil der Elektronen in den Zwischenniveaus „gespeichert“. Erst durch starke Energiezufuhr rekombinieren diese Elektronen wieder und emittieren dabei Photonen. Die Zahl der Photonen ist proportional zur Zahl der

Elektronen, welche die ionisierende Strahlung erzeugt hat. Bei Thermolumineszenzdosimetern wird diese Energie beim Auslesen als Wärme zugeführt, bei OSL-Dosimetern (optisch stimulierte Lumineszenz) durch Licht. Beide Bauformen sprechen auf Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung an.

### Bodycheck für Neutronen

Doch das Prinzip lässt sich auch für den Nachweis von Neutronen verwenden. Ein so genanntes Albedodosimeter nutzt die Rückstrahlung des menschlichen Körpers: Die vielen Wasserstoffatome im Gewebe bremsen die hochenergetischen Neutronen ab und streuen sie zurück. Treffen sie dann als thermische Neutronen auf den Detektor des Dosimeters, erzeugen sie dort durch Kernreaktionen sekundäre Teilchen. Diese heben dann letztlich wie bei anderen Lumineszenzdosimetern Elektronen des dotierten Kristalls in langlebige Energiezustände, die sich später auslesen lassen. Das typische Albedodosimeter besteht aus Detektorkristallen mit verschiedenen Lithium-Isotopen.

#) Ich danke Peter Ambrosi von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, und Frank Busch vom Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund, für hilfreiche Erläuterungen.



Bei amtlichen Film dosimetern liefert der ausgeklügelte Aufbau Zusatzinformationen über die Strahlenexposition des Trägers, etwa ob das Gerät richtig getragen oder durch radioaktive Präparate kontaminiert wurde. Die vier Richtungsanzeiger aus Blei (zwei vorne, zwei hinten) werfen wie die Filter richtungsabhängige Schatten auf den Film. Daraus ergibt sich die Dosis unabhängig vom Einfallswinkel der Strahlung. Mit Betastrahlungsindikatoren lässt sich zwar nicht die amtliche Dosis ermitteln, aber Betastrahlung und Photonen unterscheiden. Eine Öffnung lässt sofort erkennen, ob ein Film eingelegt ist.

Lithium-6 hat einen hohen Wirkungsquerschnitt für Kernreaktionen mit thermischen Neutronen und spricht daher auf Photonen und thermische Neutronen an, während Lithium-7 nur für Photonen empfindlich ist. Aus dem Differenzsignal der Lithium-6- und Lithium-7-Detektoren lässt sich die Strahlungsdosis ermitteln, die den Neutronen zuzuschreiben ist.

Die elektronischen Personendosimeter nutzen als Detektor meist ein Geiger-Müller-Zählrohr oder eine Silizium-PIN-Diode. Beim Zählrohr ist die angelegte Spannung im gasgefüllten Detektionsvolumen so hoch, dass die durch die ionisierende Strahlung erzeugten Elektronen mit hoher kinetischer Energie zum positiv geladenen Zählrohr beschleunigt werden. Die dabei auftretende Stoßionisation führt zu einer Sekundärelektronenlawine, die das gesamte Zählrohr rasch entlädt. Das resultierende kurze elektrische Signal ist ein Maß für die eingefallene ionisierende Strahlung. Ein Löschgas sorgt dafür, dass es zu keiner Dauerentladung kommt, sondern sich das Zählrohr wieder auf eine ausreichende Spannung bringen lässt, damit die Stoßionisation erneut beginnen kann. Bei Personendosimetern mit PIN-Dioden dient der nur schwach dotierte Bereich zwischen p- und n-dotierter Schicht als Detektionsvolumen: Wird die Diode in Sperrrichtung betrieben, muss ein Stromsignal von den Elektron-Loch-Paaren stammen, die durch die einfallende

ionisierende Strahlung entstanden sind. Elektronische Dosimeter sprechen auf Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung an.

#### Amtlich ermittelt

Ein Arbeitgeber in Deutschland muss jedem seiner strahlenexponierten Beschäftigten ein amtliches Personendosimeter zur Verfügung stellen und in regelmäßigen Abständen von einer unabhängigen Stelle überprüfen lassen, ob die Dosisgrenzwerte eingehalten wurden. Hierfür gibt es vier Dosiometriestellen im Bundesgebiet. Damit ein Dosimeter als amtlich gelten kann, muss die Physikalisch-Technische Bundesanstalt seine Bauart zulassen, und jedes einzelne Gerät muss geeicht sein, sofern dies technisch möglich ist. Ansonsten muss die Bauart an jährlichen Vergleichsmessungen teilnehmen. Die Eichung wird alle zwei Jahre überprüft. Bislang sind in Deutschland nur passive Personendosimeter amtlich zugelassen, nämlich Lumineszenz- und vor allem Film dosimeter. Sie haben den Vorteil, dass die Technologien und Verfahren sehr etabliert sind und die Geräte weniger kosten als elektronische Personendosimeter. Diese kommen als Zweitgerät zum Einsatz, weil sie in Echtzeit vor erhöhten Strahlendosen warnen können und jederzeit ablesbar sind. Besonders relevant ist das zum Beispiel bei Wartungsarbeiten in Kernkraftwerken oder für die Feuerwehr.<sup>#1</sup>

Michael Vogel