

Strahlenschutz im Blick

Erläuterungen zum Lineal (Beilage in diesem Heft)



Das Lineal „Strahlenschutz im Blick“, die Beilage zu diesem Heft, bietet – auf engstem Raum – praktische Information und wichtige Zahlenwerte für den täglichen Strahlenschutz. Der vorliegende Beitrag enthält ergänzende Hinweise und vor allem Quellenangaben, für die auf dem Lineal nicht ausreichend Platz war.

lichen Formulierungen der ICRP hier vereinfacht wiedergegeben. Schon 1985 hatte die ICRP in ihrer Veröffentlichung Nr. 42 [11] die Grundsätze für den Strahlenschutz festgelegt: Rechtfertigung, Optimierung und Dosisgrenzwerte. In ihrer Empfehlung Nr. 103 von 2007 [4] hat sie diese Grundsätze bestätigt und vertieft. Diese sind nun leider wenig prägnant formuliert:

- „Grundsatz der **Rechtfertigung**: Jede Entscheidung, die zu einer Verände-



Abb. 1: Die Vorderseite des Lineals „Strahlenschutz im Blick“

Grundsätze des Strahlenschutzes: Empfehlungen der ICRP von 2007

In ihrer letzten, grundlegenden Empfehlung Nr. 103 von 2007 beschreibt die ICRP [4] nun 3 Arten von Expositionssituationen:

- „**Geplante Expositionssituationen** sind Situationen, die mit der beabsichtigten Einführung und Anwendung von Quellen einhergehen.“ Dies betrifft also den operationellen Strahlenschutz, bei dem die Quellen der Exposition unter Kontrolle sind.
- „**Notfall-Expositionssituationen** sind Situationen, die während des Ablaufs einer geplanten Situation oder als Folge einer böswilligen Handlung bzw. jeder anderen unerwarteten Situation auftreten können und die zur Vermeidung unerwünschter Konsequenzen Sofortmaßnahmen erfordern.“ Dies bedeutet, dass in solchen Situationen die Quellen der Exposition nicht unter Kontrolle

und Dosisgrenzwerte daher nicht mehr praktikabel sind oder nicht eingehalten werden können.

- „**Bestehende Expositionssituationen** sind Situationen, die bereits bestehen, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss.“ Dies sind z. B. solche, die durch natürliche Strahlung verursacht werden.

Auch eine Notfall-Expositionssituation wird nach einer gewissen Zeit, in der einschneidende Schutzmaßnahmen getroffen wurden, in eine bestehende Expositionssituation übergehen, in der noch weitere Maßnahmen notwendig sein können.

Die wichtigen Grundsätze des Strahlenschutzes, nach denen sich alle Maßnahmen richten sollten, beziehen sich dann auf diese Expositionssituationen und sind in der ersten Spalte dieser Linealseite enthalten. Die Sätze sind im Vergleich zu manchmal umständ-

lung der Strahlenexpositionssituation führt, soll mehr nutzen als schaden.“ Verkürzt heißt dies: Jede Schutzmaßnahme soll mehr nutzen als schaden. In ICRP 42 war dies bezüglich von Schutzmaßnahmen noch klarer ausgedrückt: „Keine Maßnahme soll angewandt werden, es sei denn, sie erbringt einen positiven Nettonutzen.“

- „Grundsatz der **Optimierung** des Schutzes: Die Wahrscheinlichkeit, Expositionen zu erhalten, die Anzahl exponierter Personen und der Wert/Betrag ihrer individuellen Dosen sollen jeweils so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist.“ Verkürzt heißt dies: Die **Summe** der Risiken oder Schäden aus Strahlenexposition und Schutzmaßnahmen soll minimiert werden.

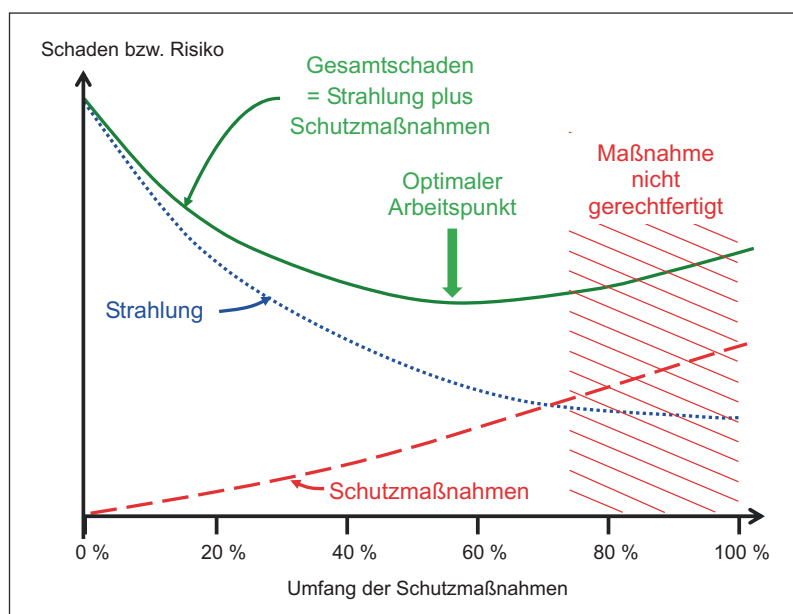


Abb. 2: Prinzipien der Rechtfertigung und der Optimierung

● „Grundsatz der Anwendung von **Dosisgrenzwerten**: Die Gesamtdosis einer jeden Person aus regulierten Quellen in geplanten Expositionssituationen soll die entsprechenden, von der Kommission empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten.“ Hier liegt die Betonung auf **reguliert** und **geplant**: In einer Notfallsituation, in der die Quelle der Exposition nicht unter Kontrolle ist, machen strikte Grenzwerte keinen Sinn. Dann gelten flexible Referenzwerte, sowohl für die Bevölkerung als auch für berufliche Exposition und für Einsatzkräfte.

Bei dringenden Rettungsmaßnahmen gelten z. B. für Einsatzkräfte Referenzwerte von 500 bis 1.000 mSv. Für die Bevölkerung liegen die Referenzwerte für die temporäre Evakuierung bei 50 bis 500 mSv in einer Woche, für eine dauerhafte Umsiedlung bei 100 mSv (im 1. Jahr) bzw. 1.000 mSv, gemäß Tab. 8 in [4]. Bei Beachtung dieser Werte, so hält die ICRP fest, sind die Maßnahmen fast immer gerechtfertigt. Die optimierten Werte liegen meist nicht mehr als einen Faktor 10 darunter. In einer Gesamtschutzstrategie für alle Maßnahmen zusammen sollen für die **Planung** bezüglich der

Bevölkerung typischerweise zwischen 20 und 100 mSv/Jahr, entsprechend der vorherrschenden Situation, zugrunde gelegt werden.

Laut ICRP (Tab. 1 in [4]) betragen die nominellen Risikokoeffizienten für stochastische Wirkungen nach Strahlenexposition bei niedriger Dosisleistung für die Krebsinzidenz, gewichtet hinsichtlich der Sterblichkeit und Beeinträchtigung der Lebensqualität, nach neuesten epidemiologischen Studien nun 4,1%/Sv für Erwachsene und 5,5%/Sv bezogen auf die Gesamtbevölkerung. Gegenüber früheren Angaben sind die Risikokoeffizienten für vererbare Defekte um mehr als den Faktor 5 niedriger, nämlich 0,1%/Sv für Erwachsene und 0,2%/Sv, bezogen auf die Gesamtbevölkerung. Leider war zur Angabe dieser Risikofaktoren kein Raum mehr auf dem Lineal, daher sind sie hier der Vollständigkeit halber zitiert.

Die Prinzipien der Rechtfertigung und Optimierung sind in Abbildung 2 verdeutlicht. Je mehr Schutzmaßnahmen durchgeführt werden, umso geringer wird das Risiko für Strahlenschäden sein, da aber kaum eine Maßnahme ohne unerwünschte Nebenwirkungen bleiben wird, wie z. B. Verletzte durch Unfälle bei

einer Evakuierung, steigen dabei die möglichen Schäden durch die Schutzmaßnahmen an. Sobald diese Schäden größer als die möglichen Strahlenschäden werden, ist die Maßnahme nicht mehr gerechtfertigt und sollte unterbleiben. Der optimale Arbeitspunkt ist dort gegeben, wo die Summe aus beiden Schäden ein Minimum ergibt.

Anwendung der Strahlenschutz-Grundsätze

Leider wurde der Grundsatz der Rechtfertigung bei den Evakuierungen nach den Reaktorunfällen in Fukushima grob verletzt, denn dort gab es über 60 Todesfälle infolge der Evakuierung [12], während die maximalen Strahldosen für Betroffene, auch für relativ spät Evakuierte, gemäß WHO [13] bei 10 bis 50 mSv lagen. In diesem Dosisbereich sind akute Strahlenschäden ausgeschlossen, und die mögliche Erhöhung des Krebsrisikos liegt gemäß den oben zitierten Risikofaktoren bei weniger als 2%. In geplanten Expositionssituationen sind Dosisgrenzwerte strikt einzuhalten, in Notsituationen dürfen diese Grenzwerte jedoch nicht als Maßstab dienen, sondern es sind die flexiblen Referenzwerte, unter Beachtung der Grundsätze von Rechtfertigung und Optimierung, anzuwenden. In der (medialen) Öffentlichkeit sind diese Unterschiede kaum bekannt, da immer wieder Bezug auf 1 mSv pro Jahr genommen wird. Auch im beruflichen Strahlenschutz, bei dem Notfallsituationen äußerst selten sind, ist anscheinend der Wegfall der Grenzwerte in diesen Situationen nicht allen bewusst.

Faustformeln zur Dosisabschätzung und typische Dosis(leistungs)faktoren

Im Anschluss an die „Grundsätze des Strahlenschutzes“ gibt die erste Formel auf der anderen Seite des Lineals gibt zunächst die Definition der Dosisleistungskonstanten Γ_H wieder. Sie gilt für „punktförmige Strahlenquel-

len“, das heißt, dass der Abstand von der Quelle groß gegenüber deren Ausdehnung ist. Die weiteren Ausdrücke enthalten näherungsweise Beziehungen zur Abschätzung der Dosisleistung über einer ausgedehnten, kontaminierten Fläche und unter einer mit radioaktiven Stoffen kontaminierten, ausgedehnten Wolke. Beide Beziehungen sind hilfreich für Dosisabschätzungen nach einem kerntechnischen Unfall. Umgekehrt kann damit rasch z. B. die Kontamination einer Fläche aus der gemessenen Dosisleistung bestimmt werden, wenn ein Näherungswert für die mittlere Dosisleistungskonstante der betreffenden Radionuklide zur Verfügung steht.

Eine Herleitung dieser Näherungsbeziehungen findet sich im Tagungsband eines früheren AKN-Seminars [6], ebenso wie die Angabe der mittleren Dosisleistungskonstanten für Spaltprodukte. Als gewichteter Mittelwert über die sich ablagernden Radionuklidgruppen der Jode und Aerosole von Spaltprodukten ergeben sich die folgenden Werte:

- Jode und Aerosole:

$$\Gamma_H \approx 140 \text{ (fSv/h)/(Bq/m}^2\text{)}$$

und

- für alle Spaltprodukte (einschließlich Edelgase):

$$\Gamma_H \approx 50 \text{ (fSv/h)/(Bq/m}^2\text{)}$$

Derselbe Zahlenwert ergibt sich für die Einheit $(\mu\text{Sv/h})/(\text{GBq/m}^2)$, wie sie auf dem Lineal benutzt wird. Mit diesen Zahlenwerten von 140 kann die Kontamination einer Fläche und mit dem von 50 die Radionuklidkonzentration in einer Wolke aus der gemessenen Dosisleistung abgeschätzt werden.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass in der Veröffentlichung [6] die Angaben zur Abschätzung der Schilddrüsensdosis infolge eines Fehlers in den ersten beiden Auflagen der SSK-Veröffentlichung Band 4 [7] nicht korrekt sind, daher hier die Angabe der korrekten Beziehungen:

Der Gehalt der Schilddrüse an Radiojod kann durch eine Messung der Do-

sisleistung $\dot{H}(\text{SD})$ an der Schilddrüse grob bestimmt und daraus die Folgedosis $H_{50a}(\text{SD})$ für das Organ abgeschätzt werden. Für die Schilddrüsensdosis bei Erwachsenen gilt:

$$H_{50a}(\text{SD}) = \frac{\dot{H}(\text{SD})}{1 \mu\text{Sv/h}} \times 60 \text{ mSv}$$

und bei Kindern:

$$H_{70a}(\text{SD}) = \frac{\dot{H}(\text{SD})}{1 \mu\text{Sv/h}} \times 480 \text{ mSv}$$

In der dritten Spalte des Lineals ist ein Mittelwert der Dosisleistungskonstanten für typische β/γ -Strahler von $100 (\mu\text{Sv/h})/(\text{GBq/m}^2)$ sowie Werte [8] für einzelne, häufig verwendete Radionuklide angegeben.

Diese Spalte enthält ebenfalls einen Hinweis zur Abschätzung der Hautdosisleistung bei einer Kontamination der Haut mit β/γ -Strahlern [9]. Hier betragen die typischen Dosisleistungskonstanten für β/γ -Strahler ca. $1 (\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/cm}^2)$, also etwa $100 (\text{pSv/h})/(\text{Bq/m}^2)$. Bei einer Kontamination mit reinen α -Strahlern ergibt sich keine Hautdosis, da diese Strahlen nicht tief genug in die Haut eindringen können.

In der letzten Spalte sind mittlere Dosisfaktoren für die effektive Folgedosis E_{50a} nach einer Inkorporation angegeben. Für typische β/γ -Strahler liegen sie bei 10 nSv/Bq , für α -Strahler bei etwa 300 nSv/Bq .

Daraus kann man eine grobe Merkregel für die Dosisabschätzung ableiten:

- Wenn die Radionuklide **in** den Körper gelangen, sind die Dosisfaktoren **nSv/Bq**.
- Sind die Stoffe **außen** auf der Haut abgelagert, liegen die Dosisfaktoren bei **(pSv/h)/(Bq/m²)**.
- Bei Bestrahlung aus der **Ferne** (γ -Strahler) ergeben sich **(fSv/h)/(Bq/m²)**.

So kann man sich leicht die Größenordnung der Dosisfaktoren merken:

- weit weg von Körper **fSv** (10^{-15}),

- auf der Haut **pSv** (10^{-12}) und

- im Körper **nSv** (10^{-9}),

das heißt bei jeder „Annäherung“ eine Steigerung um den Faktor 1.000.

Schließlich sind in dieser Spalte die Dosisgrenzwerte nach der Richtlinie 2013/59/Euratom zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen [10] zitiert. Diese Quelle wurde verwendet, da sie gegenüber der ICRP 103 [4] die neuesten Erkenntnisse bezüglich möglicher Schädigungen der Augenlinse berücksichtigt.

Definition von Aktivität und Strahlendosen (Rückseite)

Die Definition der Aktivität ist jedem Strahlenschutzler bekannt. Sie wurde hier nur der Vollständigkeit halber angegeben. Auf die Angabe zur Umrechnung in die alte Einheit Curie ($1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$) wurde bewusst verzichtet. Auch die früheren Dosisseinheiten werden nicht mehr erwähnt, da die SI-Einheiten inzwischen allen geläufig sind und die alten eher zur Verwirrung beitragen. Eine Übersicht über die früheren Dosisbegriffe wurde in Heft 2/2016 der StrahlenschutzPRAXIS [1] veröffentlicht.

Von den vielen Dosisbegriffen enthält das Lineal nur die wichtigsten in der nach DIN 6814 [2, 3] festgelegten deutschen Bezeichnung: in logischer Reihenfolge die Energiedosis, die Organ-Äquivalentdosis und die effektive Dosis.

Im mittleren Teil dieser Seite des Lineals sind die Strahlungs-Wichtungsfaktoren sowie die Gewebe-Wichtungsfaktoren zur Berechnung der Äquivalentdosis (aus der Energiedosis) und der effektiven Dosis abgedruckt. Die dort nur summarisch erwähnten „16 weitere Organe“ sind die Knochenoberfläche, das Gehirn, die Speicheldrüsen und die Haut mit jeweils 0,01; der restliche wT-Wert (0,12) bezieht sich gemäß ICRP-Empfehlung 103 [4] auf die arithmetische Durchschnittsdosis der Gewebe Nebennieren, obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mund-

schleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (♂), Dünndarm, Milz, Thymus und Gebärmutter/Gebärmutterhals (♀).

Praktischer Strahlenschutz und Übersicht über typische Dosen Die „4 A“ des praktischen Strahlenschutzes

Auch die „4 A“ des praktischen Strahlenschutzes sind meist bekannt, wobei das vierte A für Abschalten manchmal vergessen wird. Aber gerade für Röntgenröhren, Beschleuniger und vor allem Quellen nichtionisierender Strahlung stellt Abschalten die schnellste und effektivste Maßnahme zur Begrenzung der Dosis dar. Gelegentlich wird auch der Satz „Aktivität so gering wie möglich“ für das vierte A angeführt. Er ist äquivalent zum Abschalten, doch beiden sind Grenzen gesetzt, da man z. B. den Betrieb der Röhre oder die Aktivität für den vorgesehenen Zweck benötigt.

Schließlich ist beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen die Strahlenshygiene zu beachten, um Inkorporation zu verhindern und Kontamination zu vermeiden. Personal in Krankenhäusern ist die Schwierigkeit hygienischer Arbeitsweisen bewusst. Dabei hat man bei radioaktiven Stoffen den Vorteil, dass eine radioaktive Kontamination, im Gegensatz zum Beispiel zu biologischen Agenzien, leicht nachweisbar ist.

Typische Strahlendosen

Am oberen Rand dieser Linealseite sind typische Strahlendosen in einem logarithmischen Maßstab aufgetragen. Man beachte, dass sich der Bereich von μSv bei typischen Diagnoseverfahren (blau markierter Bereich) bis hin zu Sv bzw. Gy (in Lila) bei Therapien erstreckt. Dazu ist zu ergänzen, dass es sich bei der Leukämitherapie um Ganzkörperdosen handelt, die in wenigen Einzeldosen appliziert werden. Die Tumorbestrahlung betrifft Organ-dosen, welche die Patienten in 50 bis 60 Bestrahlungen, meist an speziellen Beschleunigern, erhalten. Die Schilddrüsenbestrahlung erfolgt in der Regel

durch eine einzelne Gabe von ¹³¹I. Einen umfassenden Überblick über Dosen bei der Diagnose sowie zur natürlichen (grüner Balken) und zivilisatorischen Strahlenexposition enthalten die jährlichen Berichte des BfS, z. B. der für das Jahr 2013 [5].

Schließlich sind in der logarithmischen Skala noch die international geltenden Dosisgrenzwerte für berufliche Strahlenexposition und die für die Bevölkerung durch rote Pfeile markiert. Auch wenn die meisten Werte bekannt sind, ist es lohnend, sich den gesamten, sehr weiten Bereich einmal anhand der logarithmischen Darstellung vor Augen zu führen.

Appell des Autors

Der Autor wünscht allen Nutzern des Lineals viel Erfolg bei dessen Anwendung und appelliert an alle Strahlenschützer, die Grundsätze zu beherzigen und sie in allen Expositionssituationen zu beachten, wobei die Dosisgrenzwerte nur in geplanten Situationen gelten, die Quelle der Exposition also unter Kontrolle ist.

Horst Miska

E-Mail: horst.miska@t-online.de ■

LITERATUR

- [1] Miska, H.; Völkle, H.: Fachbegriffe des Strahlenschutzes in Rechtsvorschriften. In: StrahlenschutzPRAXIS 2/2016.
- [2] DIN 6814-3: Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 3: Dosimetrie. DEUTSCHE NORM, Beuth-Verlag, Berlin, August 2016.
- [3] Harder, D.; Kramer, H.-H.; Miska, H.; Zink, K.: Dosisbegriffe für den Strahlenschutz. In: StrahlenschutzPRAXIS 3/2013, S. 54.
- [4] Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007. ICRP-Veröffentlichung 103, deutsche Ausgabe: http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2009082154/1/BfS_2009_BfS-SCHR-47-09.pdf.
- [5] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Umwelt-radioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2013, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015072112949>.
- [6] Miska, H.: Faustregeln für den Strahlenschutz. In: Bayer, A.; Leonardi, A. (Bandhrg.): Messen

und Rechnen im nuklearen Notfallschutz. Seminar des AKN vom 28.–30. März 2001 in München. TÜV-Verlag Köln, 2001, S. 293.

[7] Strahlenschutzkommission: Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen. Band 4, 1. und 2. Auflage, G. Fischer Verlag, 1986 und 1995, 3. überarbeitete Auflage, H. Hoffmann GmbH – Fachverlag, 2007.

[8] Tschurlovits et al.: Dose Rate Constants for New Dose Quantities. In: Rad. Prot. Dos., 1992, Vol. 42–2, p. 77.

[9] Strahlenschutzkommission: Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Band 18, G. Fischer Verlag, 1992.

[10] Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. Amtsblatt der Europäischen Union L 13/1, 2014.

[11] ICRP Publication 42: A Compilation of the Major Concepts and Quantities in Use by ICRP. Ann. ICRP 14, 4, 1985.

[12] The National Diet of Japan: The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. 2012, www.nirs.org/fukushima/naic_report.pdf.

[13] World Health Organization (WHO): Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. 2012, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44877/1/9789241503662_eng.pdf?ua=1.