

Strahlentelex

mit **ElektrosmogReport**

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

www.strahlentelex.de

Nr. 724-725 / 31. Jahrgang, 2. März 2017

Folgen von Fukushima:
Verseuchter Boden aus Fukushima wird in Straßen, Deichen und öffentlichen Bauten wiederverwendet.

Seite 4

Strahlenschutz:
Radioaktive Stoffe im Trinkwasser – Bundesumweltministerium veröffentlichte aktualisierten Trinkwasser-Leitfaden.

Seite 6

Katastrophenplanung:
Planungszonen um Atomkraftwerke sollen im Katastrophenfall nur akute Strahlenschäden verhindern.

Seite 7

Atommüll:
Ein Prozess der passiven Revolution: Auseinandersetzung um Heiße Zellen an den Standorten der Atommüll-Zwischenlager.

Seite 7

Strahlenschutz

Der Einfluss der Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen und Protonen auf die Bestimmung der Strahlenexposition von Flugpersonal

Zu erwartende Änderungen durch die Euratom-Richtlinie 59/13 und Unterschätzung der Ergebnisse durch unrealistische ICRP-Annahmen

Von Robert Schmitz*

Einführung

Nach Strahlenschutzverordnung gehört Flugpersonal zur Gruppe der „beruflich strahlenexponierten“ Personen. Wie auch aus anderen Sparten bekannt, zeigen sich bei ihm erhöhte Raten an Krebserkrankungen, nicht malignen Hirntumoren und Katarakten. Sein

Gesundheitsrisiko erscheint im Vergleich zu anderen chronisch exponierten Kollektiven als unerwartet hoch, weil laut Bundesamt für Strahlenschutz die Jahresdosen nur bei 2 bis 5 Millisievert (mSv) liegen sollen (BfS 2011). Wegen der komplexen Zusammensetzung der Höhenstrahlung im Flug-

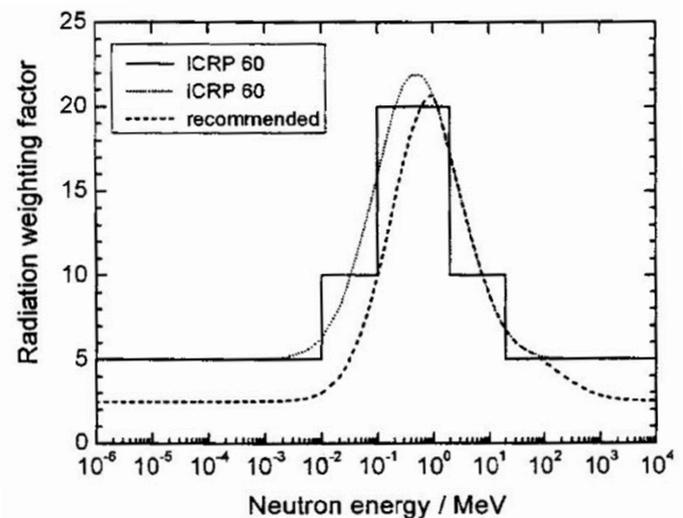


Abbildung 1: **Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen in Abhängigkeit von der Neutronenenergie** aus ICRP 2007; kastenförmige Linien: Werte nach ICRP 60, feingestrichelt: Anpassung der Werte von ICRP 60 durch kontinuierliche Funktion, grob gestrichelte Linie: neue Empfehlung in ICRP 103

zeug mit Anteilen von hochenergetischen Neutronen und geladenen Partikeln wird die Dosis nicht durchgängig gemessen, sondern mithilfe von Annahmen über die Verhältnisse bei Standardflugrouten bewertet. Die entsprechenden Rechnungen werden von den jeweiligen Arbeitgebern durchgeführt. Die verwendeten Re-

chenmodelle müssen vorher durch das Luftfahrt-Bundesamt genehmigt werden.

Kritische Wissenschaftler weisen seit langem auf die Unterschätzung der biologischen Wirkung von Neutronen, die einen erheblichen Dosisbeitrag liefern, in den Berechnungen hin. Entgegen zahlreichen Befunden, die diese These bestätigen, hat die internationale Strahlenschutzkommission ICRP 2007 eine weitere Senkung der Strahlungswich-

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b.Bln.
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

* Der Autor Dr. rer. nat. Robert Schmitz ist freiberuflicher Physiker in Hannover, Robert-Schmitz@gmx.net

tungsfaktoren für Neutronen und Protonen, die in die Rechenmodelle eingehen, empfohlen (ICRP 103). Dies ist in der auch für Deutschland verbindlichen EURATOM-Richtlinie 59 von 2013 übernommen worden. Es besteht somit die Gefahr, dass die zukünftigen Strahlendosen des Flugpersonals so klein gerechnet werden, dass das Flugpersonal wegen zu kleiner Dosis von Strahlenschäden freigesprochen wird.

Diese Studie beschäftigt sich hauptsächlich mit der Frage, wie sich verschiedene Wertzuweisungen für den Strahlungswichtungsfaktor w_R auf die Berechnung der effektiven Dosis H_E durch ionisierende Strahlung in einer für Langstreckenflüge typischen Höhe von 10 bis 12 Kilometern auswirken.

Die effektive Dosis H_E ist für monoenergetische Strahlung gegeben durch:

$$H_E = \sum w_T H_T = w_R \sum w_T D_T$$

Dabei sind w_T die Gewebewichtungsfaktoren, H_T die Äquivalentdosis eines Organs oder Gewebes, w_R die Strahlungswichtungsfaktoren und D_T die entsprechende Energiedosis im Organ. Wir betrachten zunächst die Neutronenstrahlung und vergleichen folgende Wertzuweisungen:

(1) $w_R = 5 + 17 e^{-\frac{(\ln 2E)^2}{6}}$
(derzeit gültig nach ICRP 60, 1990/91)

(2) $w_R = \begin{cases} 2,5 + 18,2 e^{-\frac{(\ln 2E)^2}{6}} \\ 5 + 17 e^{-\frac{(\ln 2E)^2}{6}} \\ 2,5 + 3,25 e^{-\frac{(\ln 0,04E)^2}{6}} \end{cases}$
(ICRP 103)

(3) $w_R = 90$
(Schmitz-Feuerhake 2016)

E ist die Strahlungsenergie in MeV. In der Abbildung 1 sind die Strahlungswichtungsfaktoren für Neutronen zu sehen, nach ICRP in Abhängigkeit von der Neutronenenergie (aus ICRP 2007), kastenförmige Linien: Werte nach ICRP 60, feingestrichelt: An-

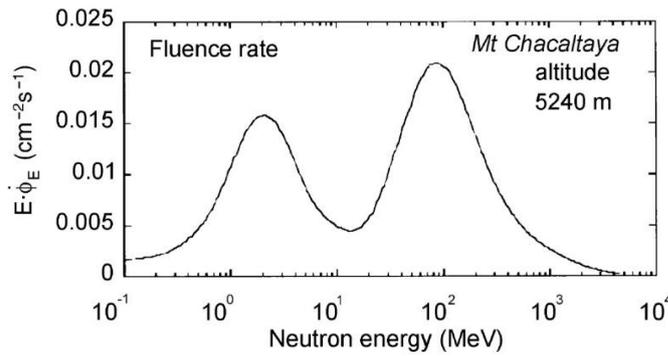


Abbildung 2: Neutronen-Fluenzrate in Abhängigkeit von der Neutronenenergie, nach ICRP 92 für den 5240 Meter hohen Berg Mt Chacaltaya in relativer Äquatornähe.

passung der Werte von ICRP 60 durch kontinuierliche Funktion, grob gestrichelte Linie; neue Empfehlung in ICRP 103.

Für Protonen empfiehlt ICRP 103 die Senkung des konstanten Strahlungswichtungsfaktors von $w_R = 5$ (nach ICRP 60) auf $w_R = 2$.

Ziel dieser Arbeit ist es zu prüfen, welchen Einfluss Veränderungen in der Ansetzung von Strahlungswichtungsfaktoren auf die Berechnung effektiver Dosen haben, wie sie in den Programmen der Fluglinien vorgenommen wird.

Berechnung effektiver Dosen aus Neutronenspektren

Die Neutronenstrahlung, von der wir ausgehen, ist nicht monoenergetisch, sondern entspricht einem Spektrum. Dieses ist in Form der Fluenzrate $\phi = \phi(E)$ in Abhängigkeit von der Energie gegeben. Wir entnehmen sie ICRP 92, wo sie für einen 5240 m hohen Berg (Mt Chacaltaya) in relativer Äquatornähe angegeben ist (Abbildung 2):

Wir sehen hier, dass die Neutronenstrahlung sich über einen weiten Energiebereich von einigen Größenordnungen von MeV erstreckt. Diese Fluenzrate setzen wir als ä-

berst konservative (Unter-) Schätzung für die Verhältnisse in 10 bis 12 km Höhe an und versehen sie (nach Kendall 2000) mit einem globalen Faktor 3 für einen äquatorfernen Fall. Mit Transformationskoeffizienten $C = C(E)$ (Bozkurt 2000/01) in isotroper Strahlungsgeometrie berechnen wir die effektive Dosisleistung $\dot{h}_E = \dot{h}_E(E) = C\phi$. Integration ergibt

$H_E = \int \dot{h}_E dEdt$. Da \dot{h}_E jeweils für einen bestimmten Wert der Energie E proportional zu $w_R = w_R(E)$ ist, können wir die drei Wertzuweisungen (1)-(3) dafür in unserer Rechnung handhaben.

Unsere Berechnung der effektiven Dosis für ein Jahr mit typischerweise 900 Flugstunden (BfS 2011) ergibt im Fall der Neutronenstrahlung mit den verschiedenen Strahlungswichtungsfaktoren w_R :

- (1) $H_E(n) = 0,367 \text{ mSv}$ (ICRP 60)
- (2) $H_E(n) = 0,315 \text{ mSv}$ (ICRP 103)
- (3) $H_E(n) = 5,659 \text{ mSv}$ ($w_R = 90$)

Hieraus läßt sich zunächst ablesen, dass mit dieser Methode in den Fällen (1) und (2) die

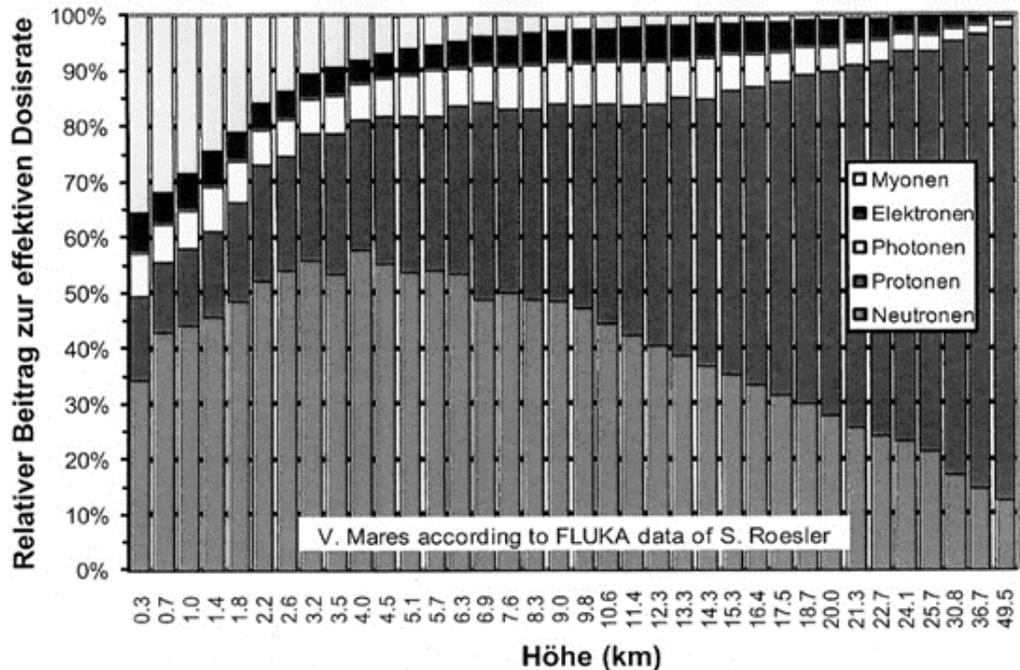


Abbildung 3: Relativer Beitrag zur effektiven Dosis als Funktion der Höhe über dem Meeresniveau, berechnet für eine Periode niedriger solarer Aktivität für die Polarregionen aus Mares 2014

Neutronenstrahlung offensichtlich nur einen untergeordneten Teil der oben zitierten effektiven Jahresdosis von 2 bis 5 mSv ausmacht. Darauf kommen wir unten noch einmal zurück. Rechnerisch beobachten wir, dass die Veränderung der Strahlungswichtungsfaktoren w_R von der Vorgabe aus ICRP 60 weg, hin zu derjenigen aus ICRP 103 eine verringerte Abschätzung der effektiven Dosis um 14 Prozent mit sich bringt. Das heißt, ein entsprechend verändertes Rechenmodell senkt die simulierte Dosis um 14 Prozent ab. Dies ist ein Ergebnis unserer Rechnung, das sich aus den entsprechenden Wertzuweisungen für w_R selbst nicht unmittelbar ablesen läßt. Durch den gegenüber ICRP 60 veränderten Standard ICRP 103 wird daher keine wesentliche Senkung der Neutronendosis in Flughöhe bewirkt.

Viel wichtiger ist der Hinweis auf eine durch die ICRP-Empfehlungen gegebene systematische Unterschätzung der Relativen Biologischen Wirksamkeit von Neutronen. Der begründete Vorschlag (3) führt zu einer erhöhten Berechnung der effektiven Dosis um circa einen Faktor 15 gegenüber ICRP 60. Mit anderen Worten dürfte es bei einer realistischen mathematischen Beschreibung der Strahlenbelastung um eine wesentlich höhere Korrektur als 14 Prozent gehen.

Abschätzung der effektiven Dosis aus Protonenstrahlung

Die effektive Dosis durch ionisierende Strahlung wird in 10 bis 12 km Höhe zu je circa 40 Prozent durch Neutronen- und Protonenstrahlung verursacht, wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist.

Wir schreiben nun der Protonenstrahlung eine effektive Dosis $H_E(p)$ zu und nehmen an, dass sie nach ICRP 60 mit dem Strahlungswichtungsfaktor $w_R = 5$ für Protonen be-

rechnet sei. Dabei gehen wir für ein Gedankenspiel, bei dem wir die jeweiligen Wichtungsfaktoren für Neutronen und Protonen verändern, zunächst von dem Standard nach ICRP 60 aus. Für diesen setzen wir je 40 Prozent der effektiven Dosis für Neutronen und Protonen an. Nach unserer Rechnung ergibt sich:

$$(1) \quad H_E(p) = H_E(n) = 0,367 \text{ mSv} \\ = 0,4 H_E \text{ und } H_E = 0,918 \text{ mSv}$$

H_E ist die effektive Dosis, die alle Strahlungsarten beinhaltet. Die hierfür vom Bundesamt für Strahlenschutz angegebenen 2 bis 5 mSv werden durch unsere Rechnung merklich, aber auch um deutlich weniger als eine Größenordnung unterschätzt. Damit geben wir uns hier zufrieden, denn wir streben keine exakte Berechnung der effektiven Dosis an, sondern möchten die unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Wichtungsfaktoren in den Dosisberechnungen untersuchen. Wie oben bemerkt, unterschätzen wir die Neutronenfluenz, die in 10 bis 12 km sicher erheblich größer ist als in dem Fall von 5,2 km Höhe, mit dem wir uns vorerst mangels anderer Quellen hinsichtlich des Datenmaterials behelfen.

Wir nehmen also an, $H_E(p)$ und $H_E(n)$ seien wie oben für den Fall (1) berechnet. Die Änderung dieser Rechnung gemäß ICRP 103, insbesondere mit dem Faktor $w_R = 2$ statt 5 für Protonen, verschiebt nun das Bild:

$$(2) \quad H_E(p) = 0,146 \text{ mSv und} \\ H_E(n) = 0,315 \text{ mSv}$$

Der Protonen- und Neutronenanteil an der effektiven Dosis, $H_E(p)+H_E(n)$, wird somit rechnerisch von 0,734 mSv auf 0,461 mSv gesenkt. Unter der Annahme, dass sich die restlichen Strahlungsanteile (außer Neutronen und Protonen) nicht verändern, erhalten wir somit eine Absenkung der gesamten effektiven Dosis von $H_E = 0,918$ mSv auf 0,645 mSv, das heißt um circa 30 Prozent. Nochmals: Wir gehen

hier gedanklich von einem Standard aus (ICRP 60) und betrachten anschließend die Konsequenzen, die sich rechnerisch aus Veränderungen des Standards ergeben.

Im dritten Fall, $w_R = 90$ für Neutronen und 5 für Protonen, erhalten wir folgendes Ergebnis:

$$(3) \quad H_E(p) = 0,367 \text{ mSv und} \\ H_E(n) = 5,659 \text{ mSv}$$

Dem entspricht $H_E(p)+H_E(n) = 6,026$ mSv, das ergibt mit unveränderten restlichen Strahlungsanteilen $H_E = 6,21$ mSv. Das ist eine empfindliche Steigerung dieses Wertes um fast einen Faktor 7 gegenüber ICRP 60. Fall (3) zeigt auf, dass man selbst mit einer sehr konservativen Abschätzung der Strahlungsintensität (in 10 bis 12 km Höhe wird die Strahlung deutlich intensiver sein als nach dem von uns benutzten Datenmaterial auf 5,2 km Höhe) eine erhebliche Strahlenbelastung berechnen kann. (Dieses Ergebnis bewegt sich bereits im Bereich der wichtigen Grenze von 6 mSv zwischen den Kategorien A und B für beruflich Strahlenexponierte.)

Mögliche Konsequenzen der veränderten Standards nach ICRP

Es ist zu befürchten, dass die rechnerische Absenkung der effektiven Dosis durch Neutronen- und Protonenstrahlung um 30 Prozent dazu benutzt wird, das Flugpersonal aus der gesetzlich geschützten Kategorie der beruflich Strahlenexponierten herauszunehmen.

Wir planen hierzu weitere rechnerische Studien mit Datenmaterial, das präzisere Aussagen zuläßt, allerdings einen beträchtlichen Aufwand für seine Beschaffung erfordern wird.

Literatur

BfS. Frasch, G., Kammerer, L., Karofsky, R., Schlosser, A., Spiesl, J., Stegeman, R.: Die berufliche Strahlenexposition des

fliegenden Personals in Deutschland 2004-2009. Bundesamt für Strahlenschutz 2011

urn:nbn:de:0221-201108016029

Bozkurt, A., Chao, T.C., Xu, X.G.: Fluence-to-Dose Conversion Coefficients From Monoenergetic Neutrons below 20 MeV based on the VIP-Man Anatomical Model. Phys. Med. Biol. 45 (2000) 3059-3079

Bozkurt, A., Chao, T.C., Xu, X.G.: Fluence-to-Dose Conversion Coefficients Based on the VIP-Man Anatomical Model and MCNPX Code for Monoenergetic Neutrons above 20 MeV. Health Physics 81 (2001) 184-202

ICRP, International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publ. 60, Ann. ICRP 21 (1991) No. 1-3

ICRP, International Commission on Radiological Protection: Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (w_R). ICRP-Publication 92. Ann. ICRP 33 (2003) No. 4

ICRP, International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP-Publication 103, Ann. ICRP 37 Nos. 2-4 (2008)

Kendall, G.M.: Factors Affecting Cosmic-Ray Doses At Aircraft Altitudes. Health Physics 79 (2000) 560-562

Mares, V., Rühm, W.: Computerprogramm zur Dosisberechnung beim Fliegen am Beispiel von EPCARD. Strahlenschutzpraxis Heft 2 (2014) 18-21

Schmitz-Feuerhake, I., Die Minimierung der Strahlenbelastung des Flugpersonals durch Rechenkunst, Strahlentelex Nr. 712-713 (2016),

www.strahlentelex.de/Stx_16_712-713_S01-06.pdf