

Biologische Wirksamkeit der Neutronen im Strahlenschutz unterschätzt ²

Ein typisches Strahlenfeld des CASTOR zeigt in 2 m Abstand 17 $\mu\text{Sv/h}$ Neutronen- und 5,8 $\mu\text{Sv/h}$ Gammastrahlen-Dosisleistung. Da der Grenzwert 100 $\mu\text{Sv/h}$ beträgt, scheint der CASTOR damit sicher zu sein. Bei der Bewertung sind jedoch die Abweichungen der tatsächlichen relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) der Strahlenarten von den Qualitätsfaktoren zu beachten, mit denen die Äquivalentdosis errechnet wird. Die Gammastrahlung des CASTOR ist, wie seit 1995 bekannt ist, zweifach wirksamer als die Atombombenstrahlung, aus deren Auswirkungen auf die Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki die Grenzwerte abgeleitet worden sind, die von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlen werden. In der Wissenschaft dient als Referenzstrahlung für den RBW Röntgenstrahlung (250 kV). Ihre Wirksamkeit für Krebsinduktion liegt, etwa um den Faktor 4 höher als die der Atombombenstrahlung. Dies gilt auch für alle Strahlenarten wie Neutronen, deren Wirksamkeit auf Röntgenstrahlung zu beziehen ist.

Bei der Empfehlung der Grenzwerte setzt die ICRP eine Wirksamkeitsminderung von Strahlung im Bereich niedriger Dosen und Dosisleistungen im Vergleich zur Atombombe (DDREF) von einem Faktor 2 an. Dieser DDREF findet in über 90% der strahleninduzierten Tumore der Atombombenopfer nach den neueren Statistiken (1994) keine Begründung mehr. Für Neutronen war er noch niemals als wirksam angesehen worden. Zumindest für Neutronen muß deshalb der DDREF ausgeglichen werden. Wer die Meinung vertritt, dies sei in den empfohlenen Strahlungswichtungsfaktoren enthalten, muß diese beim Vergleich mit experimentell erhaltenen RBW-Werten durch Zwei dividieren.

Schließlich ist der RBW von Neutronen von der Dosis abhängig. Bei Neutronendosen um 1 mGy sind RBW-Werte von mehr als 200 beobachtet worden. Ausgehend von einem Wert von 25 für mittlere Dosen (Arbeitsgruppe der ICRP) stellt der von mir vorgeschlagene Wert von 75 für niedrige Dosen einen keineswegs übertrieben konservativen Wert dar. Der seit über einem Jahrzehnt veraltete Qualitätsfaktor der Strahlenschutzverordnung für Neutronen (10) wird so um das 7,5fache übertroffen.

Alle Abweichung multiplizieren sich in der Auswirkung: $4 \cdot 2 \cdot 7,5 = 60$

¹ Prof. Dr. Horst Kuni, Klinische Nuklearmedizin, Med. Zentrum für Radiologie, Philipps-Universität Marburg, 35033 Marburg/Lahn
<http://staff-www.uni-marburg.de/~kuni/h/>, h.kuni@mail.uni-marburg.de

² Auf dieser Seite finden Sie nur knappe Thesen, einige Erläuterungen dazu auf der Rückseite. Für weitere Information und Diskussion: Anschrift s.o., T. 06421-28-6220, F. -8940

Erläuterungen

Bereits die physikalische Messung der Neutronen ist nicht trivial. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat am CASTOR IIa aus Philippsburg in 2 m Abstand mit sechs verschiedenen Meßgeräten folgende Neutronen-Dosisleistung gemessen: 15, 17, 23, 25, 30, 69 $\mu\text{Sv/h}$, wobei es den Wert von 17 $\mu\text{Sv/h}$ für den zutreffenden hielt.

Im Strahlenschutz sind Grenzwerte als "Äquivalentdosis" (Benennung: Sievert, Sv) definiert. Die physikalische Energiedosis (Benennung: Gray, Gy) wird dazu mit einem Qualitätsfaktor gewichtet, womit einer unterschiedlichen biologischen Wirksamkeit der jeweiligen Strahlenart Rechnung getragen werden soll. Die Qualitätsfaktoren sind in der Strahlenschutzverordnung normativ festgelegt, z.B. für Gammastrahlung: 1, für Neutronen: 10. Dieser Qualitätsfaktor darf nicht mit der tatsächlichen biologischen Wirksamkeit verwechselt werden, so wie die reale Kaufkraft und der Kurs auf dem Schwarzmarkt der Währung eines unfreien Staates nicht dem dort amtlich festgelegten Wechselkurs entsprechen muß.

Die ICRP erkennt zwar an, daß verschiedene Arten lockerionisierender Strahlung wie Elektronen-, Röntgen- und Gammastrahlung biologische Wirksamkeitsunterschiede aufweisen, ordnet ihnen aber, "um einen wesentlichen Grad der Vereinfachung" zu erreichen, den Wichtungsfaktor Eins zu. Konsequenterweise hält sie es damit für gleichgültig, welche Energie die Referenzstrahlung für abweichende Wichtungsfaktoren hat.

Quelle für den Wirksamkeitsunterschied zwischen Röntgenstrahlung und der Strahlung der Atombomben: Straume, T.: High-Energy Gamma Rays in Hiroshima and Nagasaki: Implications for Risk and w_R , Health Phys. 69 (1995), 954-956. Zuvor war ein Wirksamkeitsunterschied von Zwei angenommen worden.

Der RBW der Neutronen hängt sehr vom bestrahlten Gewebe, der Dosis und Dosisleistung ab. Niedrige Werte der RBW, mit denen die empfohlenen Wichtungsfaktoren begründet werden, finden sich bei groben Strukturen wie z.B. Chromosomen und langsam wachsenden oder ruhenden Zellen und/oder bei hohen Dosen. Bei kurzfristig tödlichen Dosen verliert sich der Wirkungsunterschied. Diese Werte sind nicht repräsentativ für drüsige Organe oder Gewebe mit rascher Zellteilung, wie sie aus Ausgangspunkt für eine Tumorentwicklung charakteristisch sind. Hier wurden insbesondere bei niedrigen Dosen wesentlich höhere Werte beobachtet.

Die höhere Wirksamkeit der Neutronen bei niedrigen Dosen wird damit abgetan, daß sie auf einem überproportionalen Wirksamkeitsverlust der Röntgen- und Gammastrahlung bei niedrigen Dosen beruhe. Dieses Argument wurde bereits zur theoretischen Rechtfertigung des DDREF angewendet und ist deshalb verbraucht. Es findet in der menschlichen Tumorforschung keine Stütze. Dagegen zeigen Beobachtungen, daß im Bereich niedriger Dosen dichten Strahlen Neutronen eine steile Dosiswirkungskurve haben, die bei höheren Dosen abflacht.