

RBW der Neutronen und Epidemiologie der Atombombenopfer in Hiroshima und Nagasaki

Einleitung

Die bereits vor längerer Zeit erhobene Forderung nach einer Neubewertung dichtungisierender Strahlen im Konzept der Äquivalentdosis [Kuni 1991, Kuni 1993] ist in jüngster Zeit im Rahmen der Bewertung von Atommüll-Transporten intensiver diskutiert worden [Kuni 1995a]. Gegen eine höhere Bewertung der Neutronen wurde u.a. folgendes Argument angeführt: Wären die Neutronen tatsächlich 300mal wirksamer als Gammastrahlung, so wären die an den überlebenden Atombombenopfern beobachteten Gesundheitsschäden zum größten Teil nicht mehr der Gammastrahlung, sondern überwiegend der Neutronenstrahlung zuzuschreiben. Damit würden sich die Risikoschätzungen für Röntgen- oder Gammastrahlung entsprechend stark verringern. Die Aussagen (zur Notwendigkeit einer höheren Bewertung der Neutronen - d. Autor) seien daher in sich unsinnig [SSK 1995, Streffer 1995].

Diesem Argument muß differenziert nachgegangen werden. Zunächst stellt es eine Behauptung auf, die dem Autor quantitativ unzutreffend zugeschrieben wird. Der Faktor 300 setzte sich aus einer Kettenmultiplikation der Faktoren Q_{ICRU40} mit dem Zahlenwert 25, $N_{R\ddot{A}}$ mit 2, N_{DF} mit 2 und N_{ID} mit 3, also $25 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 = 300$, zusammen.

Bei einer Überprüfung der Wirksamkeit der Strahlung anhand der epidemiologischen Daten aus Hiroshima und Nagasaki muß der Faktor N_{DF} entfallen. Er hat die Funktion, bei einer Gegenüberstellung einer Strahlenbelastung durch Neutronen mit empfohlenen Grenzwerten der ICRP, den von diesem Gremium verwendeten DDREF auszugleichen, der auf Neutronen unstreitig nicht anwendbar ist. Auch der Faktor N_{ID} für den Einfluß der inversen Dosisleistungsabhängigkeit entfällt, denn eine niedrige Dosisleistung lag bei der Atombombenexplosion nicht vor. Schließlich muß bei einer solchen Argumentation deklariert werden, mit welcher Quelle von "Risiko"-Schätzungen ein Vergleich erfolgen soll, denn diese haben keineswegs durchgehend ohne eine gesonderte Berücksichtigung der relativen biologi-

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

schen Wirksamkeit (RBW) der Neutronen gerechnet (s. Tab 11 (S. 22). Je nach Quelle, auf die ein Vergleich rekurriert, kann ein Q_{Rest} von nur 2,5 (bei einem RBW von 10) oder 1,25 (bei einem RBW von 20) übrig bleiben.

Tab. 1 Angenommene RBW für Neutronen in Relation zur Gammastrahlung bei epidemiologischen Bewertungen der Atombombenstrahlung in Hiroshima und Nagasaki

RBW	Autoren
1	Shimizu et al. 1988
10	Folgende Publikationen des RERF, z.B. Thompson et al. 1992/1994 u.a.
20	BEIR V 1990

In jedem Fall verbleibt der Faktor $N_{R\ddot{A}}$ zum Ausgleich des Wirkungsunterschiedes zwischen Röntgenstrahlung als Referenzstrahlung für Q und der energiereichen Gammastrahlung der Atombomben. Hinzugenommen werden muß bei sehr niedrigen Dosen dagegen der Faktor N_{ND} , mit dem der strahlenbiologischen Erfahrung Rechnung getragen werden soll, daß die RBW eine inverse Dosisabhängigkeit zeigt. Die Dosisabhängigkeit experimenteller Daten konnten meist erfolgreich mit einem Algorithmus beschrieben werden, nach dem sich die RBW umgekehrt proportional der Wurzel aus der Dosis verhält [ICRU 40 1986].

Methodik

Für die folgende Abschätzung der Auswirkung einer geänderten Bewertung auf die epidemiologischen Analysen der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki soll vom extremsten Fall ausgegangen werden, nämlich einem Vergleich mit den Auswertungen von Shimizu et al. [1988], die eine erhöhte RBW der Neutronen nicht berücksichtigten, sie also Eins setzten. Für eine Neutronendosis von $D_n \leq 1$ mGy wird dazu eine RBW von 200 angesetzt und für die höheren Dosen ein Wert, der umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem Dosisverhältnis zu 1 mGy ist. In Tab. 2 (S. 3) und Tab. 3 (S. 3) sind die RBW-Faktoren aufgelistet, die sich dann für die einzelnen Dosisklassen ergeben.

In den Tabellen von Shimizu et al. sind die Neutronendosen in den unteren Dosisklassen offensichtlich gerundet. Sie wurden für die folgenden Berechnungen, in denen ihnen eine größere Bedeutung zukommt, aus dem Schwächungsverlauf beider Strahlenarten über die Dosisklassen hinweg nachberechnet. Die schließlich verwendeten Werte sind in den Tabellen Tab. 2 und Tab. 3 zusätzlich aufgeführt.

Tab. 2: Dosisklassen und Neutronendosen der Knochenmarkdosis nach Shimizu et al. [1988], nachberechnete Neutronendosen und verwendete RBW

Dosis-Klasse Gy		Neutronendosis n mGy	nachberechnete n mGy	RBW
von	bis			
0,01	0,05	0	0,035	200
0,06	0,09	0	0,24	200
0,1	0,19	1	0,6	200
0,2	0,49	2		141
0,5	0,99	7		76
1	1,99	19		46
2	2,99	41		31
3	3,99	62		25
>4		95		21

Tab. 3: Dosisklassen und Neutronendosen der Dickdarmdosis nach Shimizu et al. [1988], nachberechnete Neutronendosen und verwendete RBW

Dosis-Klasse Gy		Neutronendosis n mGy	nachberechnete n mGy	RBW
von	bis			
0,01	0,05	0	0,035	200
0,06	0,09	0	0,21	200
0,1	0,19	0	0,5	200
0,2	0,49	1	1,4	200
0,5	0,99	4		100
1	1,99	10		63
2	2,99	21		44
3	3,99	33		35
>4		48		29

Zur Veranschaulichung und einer groben Abschätzung der Auswirkung dieser RBW-Faktoren wurden die von Shimizu et al. in den einzelnen Dosisklassen berichteten Verhältnisse von beobachteter zu erwarteter Mortalität (O/E) der neu berechneten, zur Gammastrahlung biologisch äquivalenten Dosis aufgetragen. Die Analyse wurde auf die beiden wichtigsten Tumorarten Leukämie sowie alle Krebserkrankungen außer Leukämie beschränkt.

Für eine grobe Charakterisierung der Auswirkung wurde eine einfache lineare Regression durch die Punkte der Graphik berechnet, wobei die Korrelation bei Dosen über 4 Gy abgeschnitten wurde.

Ergebnisse

In den Abb. 1 (S. 4) und Abb. 2 (S. 4) sind die Veränderungen für die Leukämie einander gegenübergestellt. Es errechnet sich eine um 20% steilere Regression nach einer höheren Bewertung der Neutronen.

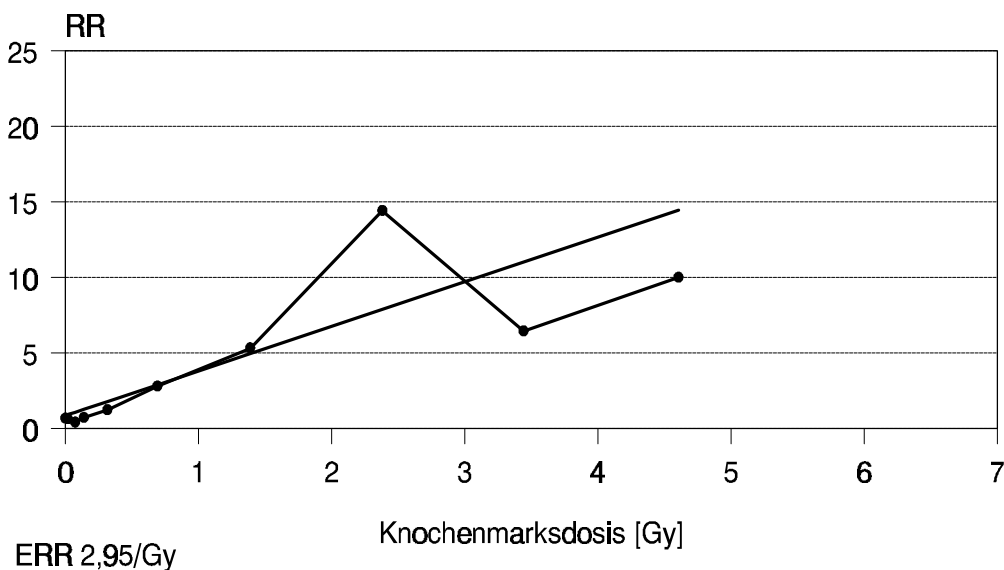


Abb. 1: Relation des in den einzelnen Dosisklassen errechneten Verhältnisses beobachteter zu erwarteter Mortalität (O/E) an Leukämie zur physikalischen Dosis im Knochenmark (RBW der Neutronen: 1)
Daten nach Shimizu et al. [1988]

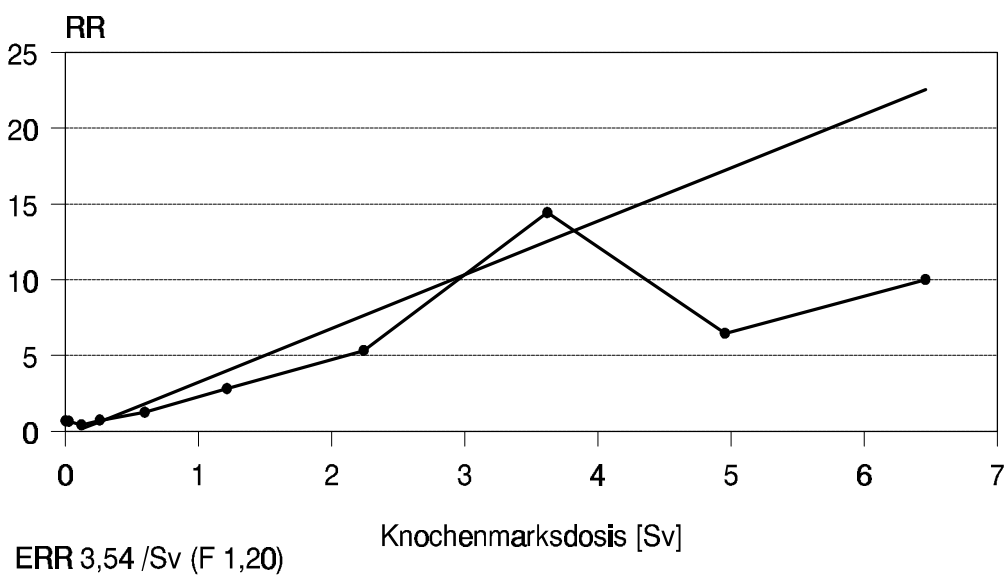


Abb. 2: Relation des in den einzelnen Dosisklassen errechneten Verhältnisses beobachteter zu erwarteter Mortalität (O/E) an Leukämie zu der mit Gammastrahlung biologisch äquivalenten Dosis im Knochenmark
RBW der Neutronen: s. Tab. 2 (S. 3)
Daten nach Shimizu et al. [1988]

Die Abb. 3 (S. 5) und Abb. 4 (S. 6) zeigen im Vergleich die Auswirkungen einer höheren Bewertung der Neutronen auf alle Krebserkrankungen außer Leukämie. Es kommt zu einer leichten Abflachung der Dosiswirkungsbeziehung bei Anwendung einer linearen Korrelation auf 79% des ursprünglichen Wertes.

Bei einer groben Wichtung der beiden Gruppen im Verhältnis 1:9 kann damit die gesamte Auswirkung der höheren Bewertung auf 83% der ursprünglichen Berechnung der Strahlenfolgen abgeschätzt werden.

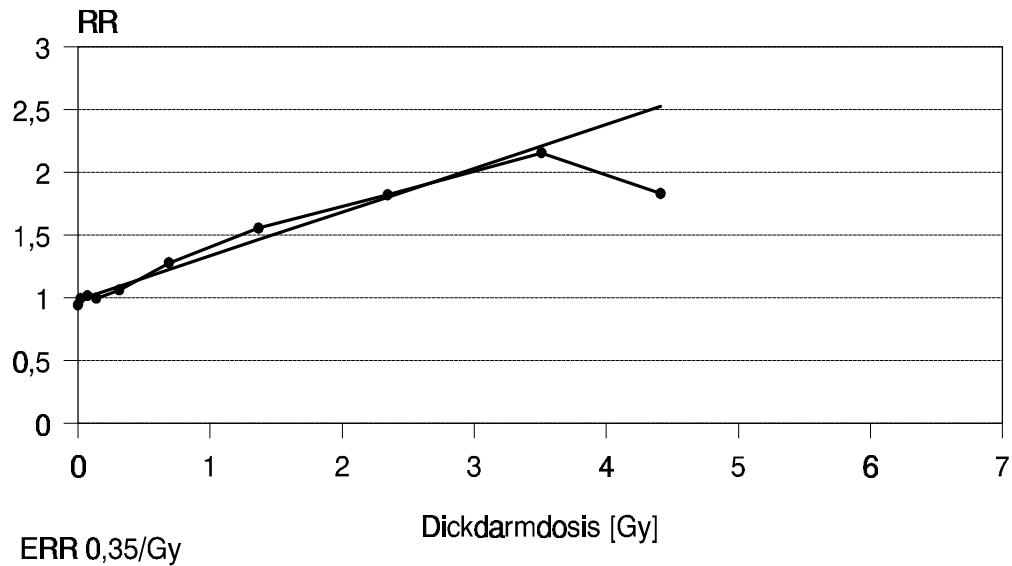


Abb. 3: Relation des in den einzelnen Dosisklassen errechneten Verhältnisses beobachteter zu erwarteter Mortalität (O/E) an allen Krebserkrankungen außer Leukämie zur physikalischen Dosis des Dickdarms (RBW der Neutronen: 1)
Daten nach Shimizu et al. [1988]

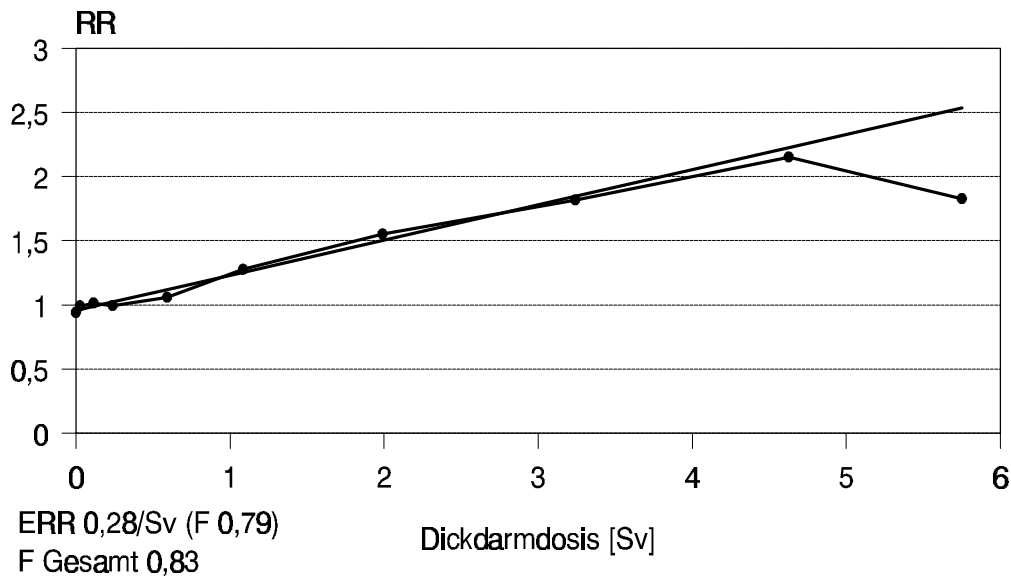


Abb. 4 Relation des in den einzelnen Dosisklassen errechneten Verhältnisses beobachteter zu erwarteter Mortalität (O/E) an allen Krebserkrankungen außer Leukämie zu der mit Gammastrahlung biologisch äquivalenten Dosis des Dickdarms
RBW der Neutronen: s. Tab. 3 (S. 3)
Daten nach Shimizu et al. [1988]

Diskussion

Die Prüfung der Auswirkungen einer höheren Bewertung von Neutronen auf die epidemiologischen Analysen der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki an dem gewählten Datensatz von Shimizu et al. [1988] ist nicht nur deshalb angezeigt, weil diese Autoren in ihren ersten Auswertungen die epidemiologischen Beobachtungen mit den physikalischen Dosen korreliert haben, also effektiv die RBW von Neutronen gleich Eins gesetzt hatten und ein Vergleich mit diesem Vorgehen deshalb den größten Unterschied erwarten läßt. Der Vergleich mit diesen Daten ist auch deshalb sinnvoll, weil sie den Ausgangspunkt für die Rechtfertigung der neuen Grenzwerte durch die ICRP 60 [1991] darstellten.

Die von der Strahlenschutzkommission [SSK 1995] erhobenen Einwände gegen eine Neubewertung gehen nicht nur deshalb ins Leere, weil die sich gegen Faktoren wenden, die in diesem Zusammenhang nicht nur nicht anwendbar sind, sondern auch vom Autor der Vorschläge auch nicht für diesen Zweck deklariert worden waren. Die überschlägige Abschätzung der Auswirkung einer Neubewertung durch Streffer [1995] geht ebenfalls an der Sache vorbei. Er stellt dazu aus der Dosisklasse 1-2 Gy die physikalischen Dosen 1,369 Gy Gammastrahlung und 0,019 Gy Neutronen gegenüber und multipliziert dann die Neutronendosis zum Vergleich mit den Faktoren 1, 20 und 300. Dabei handelte es sich um Relationen der Knochenmarkdosis. Wie Tab. 2 (S. 3) zeigt, errechnet sich nach den Vorschlägen des Autors in dieser Dosisklasse lediglich ein RBW von 46. Der Neutronenanteil multipliziert sich dann zu 0,874 Sv

biologisch zur Gammastrahlung äquivalenter Dosis und addiert sich dann mit der Gammakomponente lediglich zu 2,243 Sv und nicht zu 7,069 Sv, wie Streffer meint.

Von Dietze ist auf die Diskussion um Diskrepanzen in der physikalischen Dosimetrie der Neutronen in größerer Entfernung vom Nullpunkt der Atombomben hingewiesen worden [Dietze 1995]. Die Schlußfolgerungen daraus leitet er aus einer Bewertung der Kerma frei Luft ab. Die dort gefundene Relation zwischen Neutronen- und Gammastrahlendosis verschiebt sich bei Abschirmung durch Häuser etc. sowie durch Gewebe bis zur Berechnung der Organdosis erheblich zu Ungunsten der Neutronen. Selbst wenn in einem extremen Fall sich in einer Dosisklasse eine z.B. neunfach höhere Neutronendosis ergeben sollte, verringert sich die zuzuordnende RBW um den Faktor Drei nach unten, so daß netto nur eine Zunahme der Neutronendosis um einen Faktor Drei verbleibt. Es ist unschwer abzuschätzen, daß auch dies keine dramatischen Konsequenzen für die Dosiswirkungsrelation haben wird, weil die diskutierten Diskrepanzen in den höheren Dosisklassen, in denen sich zwar weniger Überlebende finden, die aber stark die Korrelationen bestimmen, gegen Eins gehen. Solange die Auseinandersetzung um die physikalische Neutronendosis noch nicht zu einer weltweit konsensfähigen erneuten Dosisrevision in Hiroshima und Nagasaki geführt hat, braucht diese Diskussion nicht weiter vertieft zu werden.

Die Auswirkungen auf die Dosiswirkungsrelation für die Leukämie, und nur diese Erkrankung darf seriöserweise mit der Knochenmarkdosis korreliert werden und keineswegs alle Krebserkrankungen pauschal, wie es Streffer in seiner Argumentation vornimmt, bestehen dennoch nicht in einer Verminderung der Wirkung pro Dosis, wie es der Zuwachs der Dosis in dieser Dosisklasse erwarten ließe. Im Gegenteil findet sich ein ähnlicher Effekt, wie er schon bei der Auswertung durch das BEIR V-Komitee zu beobachten war, das mit einer pauschalen RBW von 20 in allen Dosisklassen arbeitete: Eine höhere Dosisklasse verschiebt sich in den Bereich über 4 Gy, der üblicherweise wegen des konkurrierenden Zellkilling-Effektes aus den Korrelationen ausgeschlossen wird. Dadurch errechnet sich für diese Krankheitsart sogar eine um fast 30% größere Steigung. Allerdings suggerieren die Daten der Abb. 2 auch, daß vermutlich wie bei BEIR V eine linear-quadratische Funktion eine bessere Annäherung der Dosiswirkungskurve an die Daten erlaubt als eine lineare Beziehung. Da sich die aus der Tab. 2 ergebenden RBW-Faktoren in den höheren Dosisklassen nicht sehr von dem Wert 20 unterscheiden, mit dem das BEIR V-Komitee gerechnet hat, ist auch keine wesentliche Verschiebung in den Parametern einer besser angepassten Dosiswirkungsrelation im Vergleich denen zu erwarten, die das BEIR V-Komitee errechnet hat.

Daß eine höhere Bewertung der Neutronen für die Dosiswirkungskurve der Leukämie keine dramatischen Auswirkungen erwarten ließ, konnte auch einer Sonderauswertung entnommen werden, die Shimizu et al. [1988] berichteten. Bei Anwendung eines linear-quadratischen Modells für Gammastrahlen und eines linearen Modells für Neutronen fanden sie, wenn auch mit großen Unsicherheiten behaftet, Werte in einer vergleichbaren Größenordnung, wie sie in der Tab. 2 verwendet worden sind (s. Tab. 4, S. 8).

Tab. 4: Berechnung des RBW (Neutronen/Gammastrahlung) für Leukämie der Atombombenopfer nach der Dosisrevision
 Modell für Gammastrahlung: Linear-Quadratisch
 Neutronen: Linear
 Daten nach Shimizu et al. [1988]

RBW	149	60	27
Dosis [Gy]	0,01	0,1	1,0

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei an dieser Stelle auch ausdrücklich hervorgehoben, daß die hier gewählten linearen Korrelationen nur zum groben Vergleich der beiden Datensätze gedacht sind. Für eine eingehendere Analyse der Dosiswirkungsbeziehung müssen selbstverständlich wesentlich anspruchsvollere Rechenverfahren und die individuellen Daten herangezogen werden.

Für die Abschätzung der Auswirkung einer höheren Bewertung der Neutronen auf die Dosiswirkungskurve der Krebserkrankungen außer Leukämie darf selbstverständlich nicht die Knochenmarksdosis herangezogen werden, wie das Streffer vornimmt. Üblich ist es, für pauschale Analysen die Dosis des Dickdarms zu verwenden (Colon-Dose). Dies ist in diesem Zusammenhang auch deshalb von besonderer Bedeutung, weil durch die Abschwächung der Anteil der Neutronen in den entsprechenden Dosisklassen bei diesem Organ noch deutlich niedriger ist als im Knochenmark, wie ein Vergleich der Tabellen Tab. 2 und Tab. 3 zeigt.

Hierbei kommt es zu einer leichten Verflachung der Dosiswirkungskurve, allerdings in keinem dramatischen Ausmaß. Auf diese Insensibilität des Datensatzes gegenüber einer Höherbewertung der Neutronen hatte schon der Befund des BEIR V-Komitees aufmerksam gemacht. Es hatte keine signifikante Änderung der Dosiswirkungsrelation gefunden, wenn bei den Modellanpassungen der Wert einer über alle Dosisklassen konstanten RBW zwischen 10 und 20 variiert worden war.

Einem weiteren Mißverständnis sei hier vorgebeugt. Eine RBW von 200 im Vergleich zu Gammastrahlen reduziert sich zu einem Wert von 100, wenn die Referenzstrahlung Röntgenstrahlung darstellt. Im Tierversuch sind solche Werte bei einer Neutronendosis von 1 mGy durchaus überschritten worden, z.B. bei der Auslösung von Mammatumoren der Ratte [Shellabarger et al. 1980]. Im Bereich einer 16fach höheren Dosis, also nach den Annahmen der Tab. 2 bei etwa 16 mGy Neutronendosis, wird bereits ein RBW im Vergleich zu Röntgenstrahlung von 25 erreicht, also der in ICRU 40 [1986] empfohlene Wert, und bei einer Dosis von 25 mGy ein RBW-Wert von 20, der von der ICRP 60 für Neutronen unbekannter Energie empfohlene Wert. Eine Dosis von 25 mGy entspricht dann einer Äquivalentdosis von 500 mSv, also einer Dosis in der Größenordnung der von der Strahlenschutzverordnung gesetzten Lebensdosis von 400 mSv [StrlSchV 1989]. Die hier diskutierten Faktoren fallen also keineswegs aus dem Rahmen. Die Diskussion kann deshalb weniger um die Wahl des richtigen Strahlungswichtungsfaktors

an sich gehen, sondern muß sich auf die Frage zentrieren, ob es zulässig ist, die enormen Einflüsse der Dosis und Dosisleistung auf die RBW dabei zu vernachlässigen.

Mit dem Versuch, eine höhere RBW für Neutronen auf die epidemiologischen Daten der Atombombenopfer anzuwenden, soll auch nicht behauptet werden, daß eine einheitliche RBW für alle Krebsarten anzunehmen ist. Dies ist nur eine starke Vereinfachung für die Zwecke des Strahlenschutzes, die auch nur dann gerechtfertigt ist, wenn ausreichend konservative Werte gewählt werden. Nach allen Erfahrungen in den Tierexperimenten ist im Gegenteil eher zu erwarten, daß es dabei erhebliche Unterschiede gibt. Auch erste Beobachtungen an Menschen, die beruflich einer erhöhten Neutronendosis ausgesetzt waren, stützen diese Vermutung eher als ihr zu widersprechen. Sie sind auch mit den hier diskutierten höheren Werten des RBW im Bereich niedriger Dosen und Dosisleistungen vereinbar [Kuni 1995b].

Zaider hat in einer Analyse der Daten von Hiroshima und Nagasaki eine RBW der Neutronen im Vergleich zu Gammastrahlen für die Induktion solider Tumore von 70 ± 50 errechnet [Zaider 1991]. Sein Modell setzte allerdings neben einem Zellkillingeffekt für beide Strahlenarten eine linear-quadratische Dosiswirkungsrelation voraus. Eine gute Näherung an die Daten erzielte er bereits mit jeweils einem linearen Term für jede Strahlenart und einem Zellkillingeffekt für Gammastrahlen. Deshalb führte die Berechnung bei niedrigen Dosen zwangsläufig auf eine konstante RBW. Bei einer linearen Dosiswirkungsrelation für Gammastrahlen setzt jedoch eine mit abnehmender Dosis zunehmende RBW eine konvexe Dosiswirkungskurve für Neutronen voraus, wie dies z.B. bei der Induktion von Mammatumoren der Maus zu erkennen war [Shellabarger et al. 1980]. Die Parameter für diese Kurve können natürlich nur gefunden werden, wenn das mathematische Modell sie vorsieht. Unabhängig davon stützt aber der errechnete Wert die Forderung nach einer höheren Bewertung der Neutronen.

Bei einer Zusammenfassung beider Effekte unter Wichtung der beiden Tumorarten, wie sie auch den Empfehlungen der Grenzwerte zugrunde liegt [ICRP 60 1991] Leukämie:Solide Tumore wie 1:9, verbleibt ein Minderungseffekt von 17%. Er ist sicher vernachlässigbar im Vergleich zum Faktor Zwei, der sich ergibt, wenn die biologische Äquivalenz der Röntgenstrahlung als Referenzstrahlung im Vergleich zur Gammastrahlung beachtet wird, die relative biologische Wirksamkeit der Gammastrahlung mit 0,5 angesetzt und die an den Atombombenopfern beobachteten Effekte auf eine so berechnete Äquivalenzdosis bezogen werden.

Zusammenfassung

Die Neutronendosen in Hiroshima und Nagasaki werden zum Vergleich mit den Originalwerten von Shimizu et al. bei einer Dosis von ≤ 1 mGy mit einer RBW von 200 im Vergleich zur Gammastrahlung bewertet. Bei größeren Neutronendosen wird mit einer umgekehrten Proportionalität der RBW zur Wurzel des Dosisverhältnisses gerechnet. Zum Vergleich der Dosiswirkungsrelationen bei unterschiedlicher Bewertung der Neutronen wird eine lineare Korrelation zwischen dem Verhältnis

beobachteter zu erwarteter Mortalität an Leukämie sowie an allen Krebserkrankungen ohne Leukämie zu den Dosisklassen <4 Gy gerechnet.

Die Regression für Leukämie nimmt um etwa 20% zu, die für solide Tumore um 21% ab. Bei einer Wichtung beider Gruppen 1:9 verbleibt ein Minderungseffekt von 19%, der vernachlässigbar erscheint im Vergleich zum Faktor Zwei als Konsequenz einer RBW von 0,5 für Gammastrahlung.

Literatur

BEIR V 1990

Committee on the **B**iological **E**ffects of **I**onizing **R**adiations
Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation
National Academy Press, Washington DC

Dietze, G. 1995

Strahlenbiologische Bewertung von Neutronenstrahlung
In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Biologische Wirksamkeit von
Neutronenstrahlung
Expertengespräch 19.09.1995, Tagungsband, Hannover

ICRP 60 1991

International **C**ommission on **R**adiological **P**rotection
Publication 60
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3
Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo

ICRU 40 1986

International **C**ommission on **R**adiation **U**nits and **M**easurements
The Quality Factor in Radiation Protection
Report of a Joint Task Group of the ICRP and ICRU to the ICRP and ICRU
Report 40, Bethesda, Maryland 20814, USA

Kuni, H. 1991

Zur Strahlenbelastung des fliegenden Personals - Neutronen und ihre Bewertung
Vereinigung Cockpit, Frankfurt, 39 S.

Kuni, H. 1993

Die Bewertung von Alpha- und Neutronenstrahlen bei der Berechnung der Äquivalentdosis
In: Lengfelder, E., Wendhausen, H. (Hrsg.):
Neue Bewertung des Strahlenrisikos, Niedrigdosis-Strahlung und Gesundheit
MMV Medizin Verlag, München, 1993, S. 19-27

Kuni, H. 1995a

Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR
IPPNW, Berlin

Kuni, H. 1995b

Epidemiologische Hinweise zur RBW von Neutronen
Manuskript, Marburg

Shellabarger, C.J., Chmelevsky, D., Kellerer, A.M. 1980

Induction of Mammary Neoplasms in the Sprague-Dawley Rat by 430-keV Neutrons and X-Rays
J. Natl. Cancer 64, 821-833

Shimizu, Y., Kato, H., Schull, W.J. 1988

Life Span Study Report 11
Part 2. Cancer Mortality in the Years 1950-85 Based on the Recently Revised Doses (DS86)
Technical Report, Hiroshima, RERF TR 5-88

SSK 1995

Strahlenschutzkommission

Stellungnahme der SSK zum Beitrag von H. Kuni, Marburg, "Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR"

132. Sitzung 22.09.1995, Manuskript, Braunschweig

StrlSchV 1989

Zweite Verordnung zur Änderung der Strahlenschutzverordnung vom 18.Mai 1989

BGBl I S. 943. Bekanntmachung der ab 1.November 1989 geltenden Fassung vom 30.Juni 1989.

BGBl. I S. 1321, berichtigt 16.10.1989 BGBl. I S. 1926

Streffer 1995

Stellungnahme zur biologischen Wirkung von Neutronen auf der Basis der Studie "Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR" von H. Kuni, Marburg

In: Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.): Biologische Wirksamkeit von Neutronenstrahlung

Expertengespräch 19.09.1995, Tagungsband, Hannover

Thompson, D.E., Mabuchi, K., Ron, E., Soda, M., Tokunaga, M., Ochikubo, S., Sugimoto, S., Ikeda, T., Terasaki, M., Izumi, S., Preston, D.L. 1992/1994

Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors. Part II: Solid Tumors, 1958-1987

Technical Report, Hiroshima, 1992, RERF TR 5-92

Radiat. Res. 137, 1994, S17-S67

Zaider, M. 1991

Evidence of a Neutron RBE of 70 (± 50) for Solid-Tumor Induction at Hiroshima and Nagasaki and its Implications for Assessing the Effective Neutron Quality Factor

Health Physics 61, 631-636