

H. Kuni, Marburg¹

Das Äquivalenzdosisprinzip und die Gleichberechtigung der Frau ²

Zum 60. Geburtstag von Frau Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake³

Als erstes muss ich Ihnen gestehen, dass ich als Arzt das Rednerpult in einem erlauchten Kreis von Physikern nur mit weichen Knie betrete, noch dazu, wenn es ein Festvortrag für eine Physikerin sein soll. Schließlich stellt sich doch für einen Physiker, zu mindestens unausgesprochen, die Frage, ob ein Nuklearmediziner nicht ein Arzt ist, dem es zum Physiker nicht gereicht hat. Diese Vermutung nähren Nuklearmediziner auch dadurch, dass es kaum eine qualifizierte nuklearmedizinische Abteilung ohne einen Physiker gibt. Auch die Jubilarin hat ihre berufliche Laufbahn in einer nuklearmedizinischen Abteilung begonnen. Prof. Hundeshagen, der Leiter dieser damals ersten selbständigen großen nuklearmedizinischen Abteilung, hatte das Talent, in einem scheinbar unbegrenzten Umfang Geräte und Mittel zu beschaffen, und ließ seine Mitarbeiter sich frei entfalten. Ich kann das gut beurteilen, war ich doch in seiner Marburger Zeit sein Doktorand. Vielleicht war es gerade das scheinbare Fehlen von materiellen Grenzen, die das Nachsinnen über andere Limitierungen induzierte: "Dürfen wir alles, was wir können?" - "Welche unerwünschten Wirkungen hat unser Tun?" Vielleicht war die von Hundeshagen geschaffene Arbeitsatmosphäre wesentlich mit dafür verantwortlich, dass wir beide unabhängig voneinander den Weg zu einem kritischen Strahlenschutz gefunden haben.

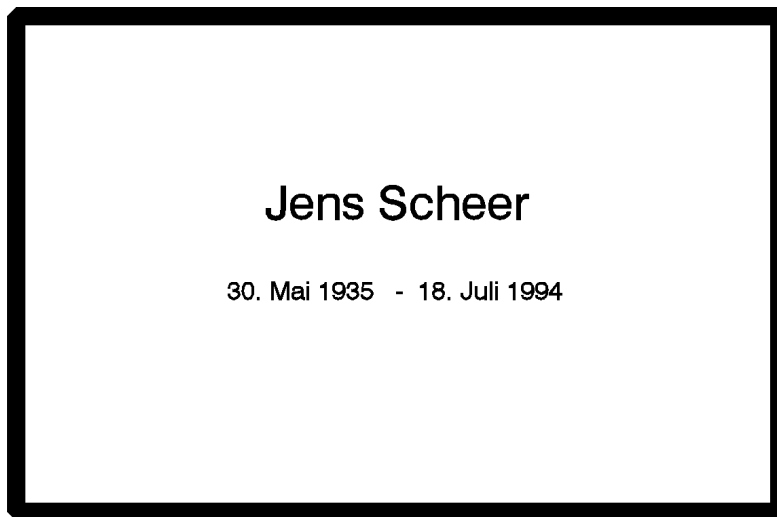
Allerdings wäre ich wohl nicht bei Hundeshagen und in der Nuklearmedizin gelandet, wenn nicht schon während meines vorklinischen Studiums in Heidelberg ein Kernphysiker, den ich im Praktikum für Mediziner kennen gelernt hatte, mein Interesse an Radioaktivitätsmessungen und Bestrahlungsexperimenten am Zyklotron geweckt hätte. Es hat mich zutiefst beeindruckt, einen Naturwissenschaftler zu finden, der auch über die Mauer aus Bleiziegeln und Paraffinblöcken hinwegblicken konnte und mir z.B. mit seiner Erfahrung bei der War Resisters International half, als ich den Kriegsdienst verwei-

¹ Prof. Dr. Horst Kuni, Klinische Nuklearmedizin, Philipps-Universität Marburg, D 35033 Marburg, <http://staff-www.uni-marburg.de/~kuni/h/>, horst@kuni.org

² Nachdruck aus Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes, Bonn, Bericht 12-14, Thomas Dersee, Strahlentelex, Berlin, 1996
Zur Bewertung der Gammastrahlung und Neutronen aus heutiger Sicht: s. Kuni, H.: Wichtungsfaktoren, Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes, Bonn, Bericht 2122, Thomas Dersee, Strahlentelex, Berlin, 2000, S. 43ff.

³ Vortrag im Physikalischen Sonderkolloquium auf Einladung des Fachbereichs Physik der Universität Bremen am 7.12.1995

gerte. Sicher sehen Sie mir diesen Exkurs nach, schließlich gehörte mein Freund Jens auch zu dem Kreis der heute zu Ehrenden, wenn er nicht viel zu früh gestorben wäre.



Zum Gedenken an den 60. Geburtstag meines Freundes Jens

Wende ich mich nun meinem Thema zu, werden Sie mich fragen, wie es denn ein Mediziner wagen kann, Physikern einen Vortrag über Dosimetrie zu halten, über ein Gebiet, das wohl eine Domäne der Physik schlechthin ist. Wer so denkt, dem geht es wie vielen, häufig auch mir selbst: Er übersieht, dass die Äquivalentdosis H keine Dosis im naturwissenschaftlichen Sinne ist, sondern - die ursprüngliche Bezeichnung der ICRP "dose equivalent" statt heute "equivalent dose" hatte das noch besser ausgedrückt - eine Größe, die aus der physikalischen Dosis D durch Multiplikation mit einem Bewertungsfaktor entsteht. Dieser Bewertungsfaktor wiederum war auf gespalten worden in einen Qualitätsfaktor Q und einen modifizierenden Faktor N [ICRP 26 1977] (s. F 1, S. 2).

$$H = D Q N$$

F 1

Der Ersatz von Q durch den Strahlungswichtungsfaktor w_R , weighting factor radiation, (S. F 2, S. 3) in der Empfehlung Nr. 60 der ICRP bringt noch deutlicher als bisher zum Ausdruck, dass diese Faktoren

quantitativ keine unmittelbar naturwissenschaftlich abgeleiteten Größen sind, sondern im Strahlenschutzrecht normativ gesetzt werden [ICRP 60 1991].

$$H_T = D_T w_R \quad \text{F 2}$$
$$H_T = \sum_R D_T w_R \quad \text{F 3}$$

Der Index T steht für Tissue und bringt zum Ausdruck, dass die Dosis für jedes einzelne Organ separat zu betrachten ist. In einem gemischten Strahlenfeld wird die Wichtung für jede einzelne Strahlenart vorgenommen und dann die Äquivalentdosisbeiträge aufsummiert (s. F 3, S. 3).

Die Perzeption als Dosis wird auch dadurch gefördert, dass der Begriff in der amtlichen Definition der Strahlenschutzverordnung mit *t* geschrieben wird, sich also auf **das** Äquivalent bezieht, wie z.B. das Äquivalentgewicht, das Chemiker objektiv errechnen können, und nicht auf **die** Äquivalenz, wie z.B. im Äquivalenzprinzip der Wirtschaftswissenschaftler zur Forderung der Gleichwertigkeit von Gebühren und den dafür erbrachten Dienstleistungen, bei dem die subjektive Komponente der Bewertung deutlicher wird. Insofern ist der scheinbare Schreibfehler im Vortragstitel Programm. Wie alle verabredeten Normen müssen auch diese Faktoren darauf geprüft werden, ob sie die Wirklichkeit hinreichend beschreiben und tatsächlich der Intention des Äquivalenzdosisbegriffes entsprechen, auch bei Einwirkung von ionisierenden Strahlen mit unterschiedlicher biologischer Wirksamkeit einen gleichwertigen Strahlenschutz zu gewährleisten.

Dies ist nun der Platz zu bekennen, dass ich es dem Vorbild unserer Jubilarin in hohem Maße zu danken habe, Normenvorschläge im Strahlenschutz zu hinterfragen. Wenn eine Physikerin, sagte ich mir, die Richtigkeit dosimetrischer Empfehlungen ihrer Fachkollegen anzweifelt, dann ist doch wohl auch einem Mediziner das Nachdenken darüber erlaubt. So hat sie mich schon 1979 - zu einer Zeit, als noch viele Strahlenschützer erklärten, Krebs würde erst induziert, wenn eine Schwellendosis überschritten worden wäre, die im Regelfall des beruflichen Alltags und erst recht bei der Bevölkerung in der Umgebung von Atomanlagen nicht erreicht würde - in dieser Zeit also hat sie mich durch einen Artikel beeindruckt, in dem sie nicht nur überzeugend auf die Indizien einer schwellenfreien stochastischen Wirkung eingegangen ist, sondern auch die systematische Unterbewertung der Schadenserwartungskoeffizienten durch die ICRP nachwies. Die Ausführungen haben auch nach 16 Jahren eine beklemmende Aktualität.

Als repräsentatives Beispiel zeige ich eine Graphik zu der Dosis-Wirkungsrelation des Mammakarzinoms (s. Abb. 1, S. 4). Es ist zu erkennen, dass die von der ICRP angenommene Dosis-Wirkungsrelation nicht nur an der unteren Grenze der Bandbreite einer damals aktuellen Abschätzung der durch das UNSCEAR-Komitee lag, sondern dass die meisten Beobachtungen aus epidemiologischen Un-

tersuchungen höhere Werte ergaben. Bei der Würdigung der Abweichungen ist die doppelt logarithmische Skala zu beachten. Schließlich muss auch für die folgenden Betrachtungen mitgenommen werden, dass die Verbindungslinien zwischen den Beobachtungen zu verschiedenen Belastungskategorien einer Gruppe eher flacher als steiler zur Steigung Eins verlaufen, die eine lineare Dosis-Wirkungsrelation im doppeltlogarithmischen Netz charakterisiert, also keine Indizien für eine quadratische Funktion zu erkennen sind.

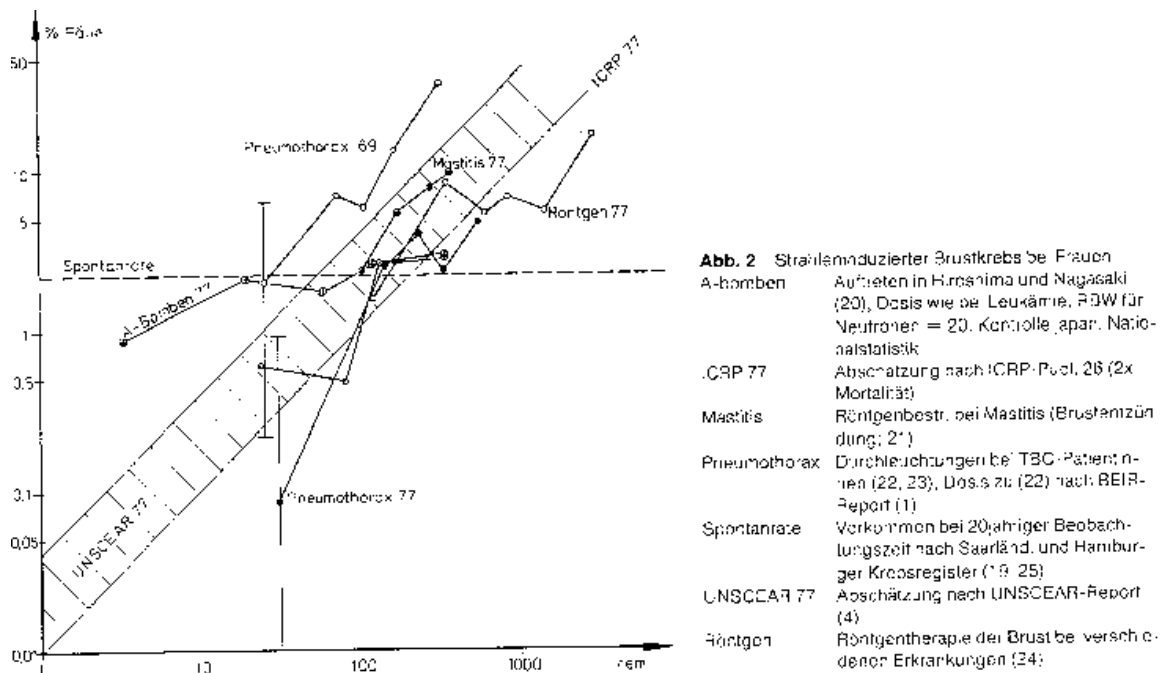


Abb. 1: Häufigkeit des strahleninduzierten Brustkrebses der Frau in Abhängigkeit von der Äquivalentdosis.
100 rem entsprechen heute 1 Sv.
aus Schmitz-Feuerhake et al. [1979]

Welche Folgen hat z.B. die Empfehlung der ICRP, für alle lockerionisierenden Strahlen $Q = 1$ oder $w_R = 1$ zu setzen außer der für uns Ärzte angenehmen Konsequenz, das Rechnen zu vereinfachen.

Sehr wesentlich war für mich ein Beitrag Schmitz-Feuerhakes 1985 zu dem umfangreichen interdisziplinären Forschungsprojekt "Arbeitsbedingungen in Wiederaufarbeitungsanlagen", in dem sie anhand experimenteller Beobachtungen und mikrodosimetrischer Überlegungen plausibel machte, dass die energiearme Betastrahlung von Tritium biologisch mindestens doppelt so wirksam ist wie Röntgenstrahlung und deshalb mit einem $Q = 2$ zu bewerten sei [Schmitz-Feuerhake 1985]. Dies wurde schon kurz darauf durch eine Arbeitsgruppe der ICRU und ICRP 1986 einschließlich der Konsequenz für den Strahlenschutz bestätigt [ICRU 40 1986]. Nur wer die langjährige Bewertungspraxis der ICRP nicht kennt, kann sich darüber wundern, dass in den Empfehlungen Nr. 60 von 1991 darauf nicht eingegangen wird. Man hätte sonst ja wohl auch berücksichtigen müssen, dass für energiereiche Gammastrah-

lung ein Q von 0,5 angemessen ist (s. Abb. 2, S. 5). Allerdings hätte das auch Konsequenzen für den Strahlenschutz, warnte NCRP 1990 davor, solche Überlegungen zu Ende zu denken [NCRP 1990]. Wie wahr! Die Krebsinzidenz und Krebsmortalität der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki wären dann nämlich nur auf halb so große Äquivalentdosen zu beziehen, die aus diesen Beobachtungen abgeleiteten Schadenserwartungskoeffizienten würden sich verdoppeln - und schließlich müssten die Grenzwerte im Strahlenschutz halbiert werden.

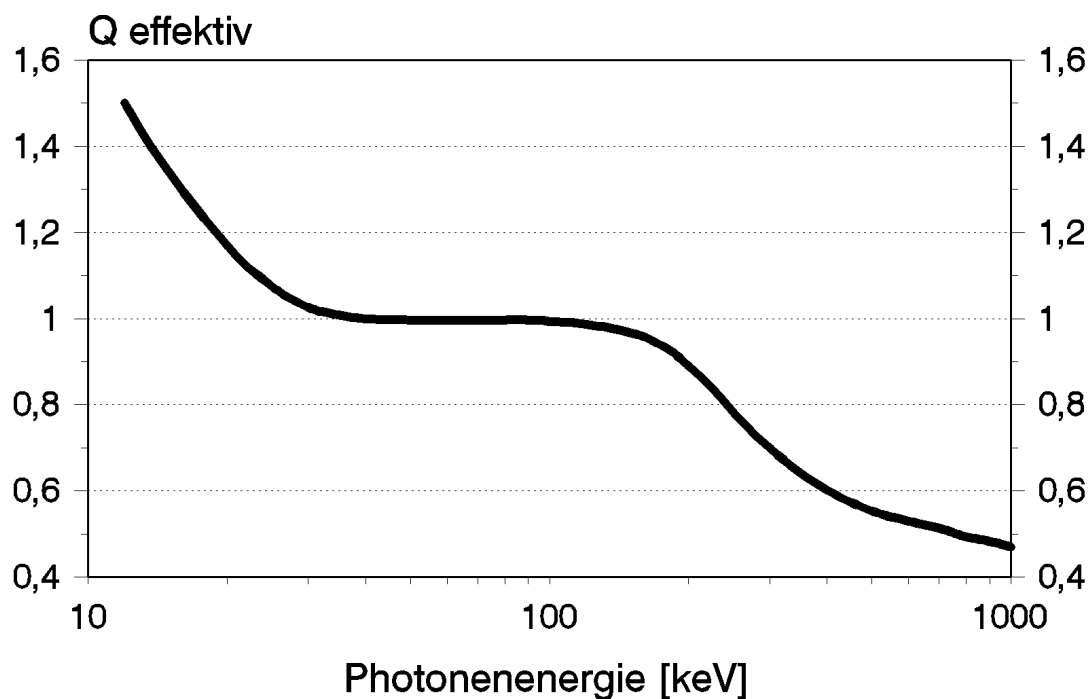


Abb. 2: Berechnete Werte für den mittleren Qualitätsfaktor Q in Abhängigkeit von der Energie einer Photonenstrahlung unter der Annahme, dass sich Q proportional der spezifischen Energie in einem Gewebevolument mit $1 \mu\text{m}$ Durchmesser verhält. nach ICRU 40 [1986]

Solange diese Konsequenz noch nicht gezogen worden ist, muss die Äquivalentdosis für alle in der biologischen Wirksamkeit signifikant von Gammastrahlung abweichende Strahlenarten adaptiert werden. Dazu bietet sich der modifizierende Faktor N an, der seit seiner Einführung niemals in Anspruch genommen worden war und deshalb nach den Empfehlungen der ICRP 60 auch wieder entfallen soll. Für Röntgenstrahlen und alle auf sie relativ zu normierenden Strahlen, also alle dichtionisierenden Strahlen, setzen wir zum Ausgleich der Röntgenstrahlenäquivalenz $N_{R\ddot{a}} = 2$.

Bei der Ableitung der Grenzwerte aus der Schadensbilanz von Hiroshima und Nagasaki setzt die ICRP im Bereich niedriger Dosen und Dosisleistungen eine Wirksamkeitsminderung lockerionisierender Strahlen voraus. In den jüngsten Empfehlungen ist dafür ein "dose and dose rate effectiveness

factor" (DDREF) von Zwei angesetzt worden. Die Befürworter der These eines DDREF gehen für die Induktion humaner Tumore von einer linear-quadratischen Dosiswirkungsrelation aus. Im Bereich hoher Dosen soll es bei lockerionisierenden Strahlen zu einer Wirksamkeitssteigerung durch mehr Trefferereignisse im wirksamen Gewebesvolumen kommen. Es war für mich schwierig, aus dem Bereich epidemiologischer Untersuchungen an strahlenbelasteten Menschen zur Veranschaulichung einer linear-quadratischen Dosis-Wirkungsrelation ein Beispiel zu finden (s. Abb. 3, S. 6).

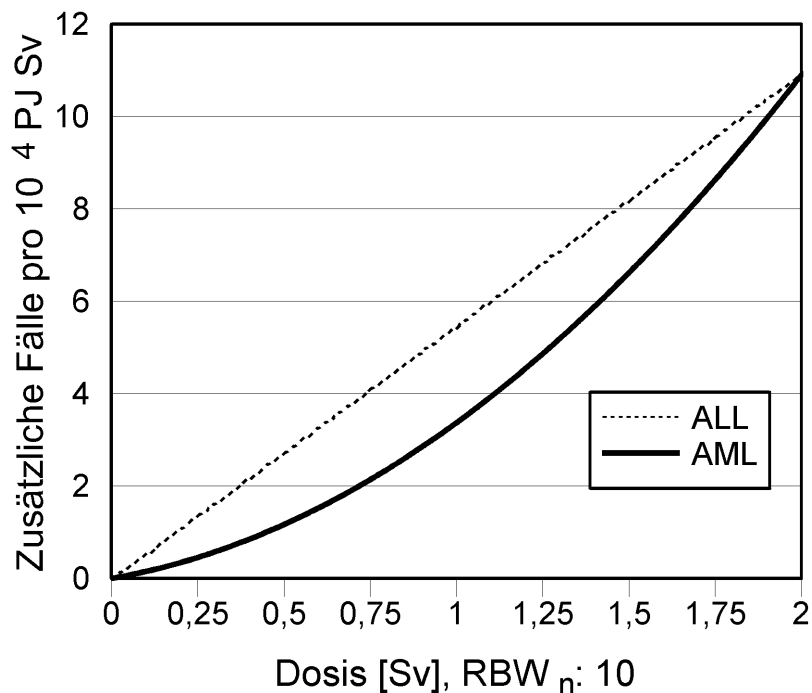


Abb. 3: Beispiel einer linear-quadratischen Dosiswirkungsrelation (AML).

Bei einer linearen Extrapolation der bei hohen Dosen zwischen ein und zwei Sievert beobachteten Wirkung in den Bereich niedriger Dosen (z.B. unter 0,4 Sv, der maximalen Lebensdosis nach StrlSchV 1989) wird die Wirkung um etwa das Zweifache überschätzt.

Zusätzliche Fälle einer Leukämie pro 10^4 Personenjahre und Sievert für akute lymphatische Leukämie (ALL) und akute myeloische Leukämie (AML) in Abhängigkeit von der Dosis in Sievert bei Annahme einer relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) für Neutronen von Zehn, einem Alter bei Belastung von zehn Jahren und einer Beobachtungszeit bis fünf Jahre nach Belastung.
nach Preston et al. [1994]

Zu diesem Kapitel zitiere ich keine einzelne Arbeit der Jubilarin, aber nicht etwa, weil es dazu keine gibt, sondern weil es seit vielen Jahren ein zentrales wissenschaftliches und beharrlich verfolgtes Thema Schmitz-Feuerhakes ist. Nach der Dosisrevision sind sowohl die Inzidenz- als auch die Mortalitätssteigerung für solide Tumore bei den Atombombenopfern linear zur Dosis korreliert [BEIR V 1990; Thompson et al. 1992/1994; Pierce, Vaeth 1991; Preston et al. 1994]. Lediglich für Leukämien, für etwa 10% der radiogenen Tumoren nach einer Ganzkörperbestrahlung verantwortlich, war eine qua-

dratische Komponente nachweisbar, wenn die gesamte Krankheitsgruppe nach dem relativ risk Modell ausgewertet wurde [BEIR V 1990]. Bei einer differenzierten Analyse nach der FAB-Klassifikation der Leukämien ließ sich mit dem absolut risk-Modell nur noch bei der AML, der akuten myeloischen Leukämie, eine nicht lineare Komponente nachweisen, das waren etwa 25% der Leukämien, also nur 2,5% aller radiogenen Tumore [Preston et al. 1994]. Bei diesem Krankheitsbild ist die quadratische Komponente so stark ausgeprägt, dass sie noch in den Leukämien als Sammelgruppe signifikant durchschlägt.

Schmitz-Feuerhake hat durch sorgfältige Analysen nachgewiesen, dass vielzitierte tierexperimentelle Indizien für die linear-quadratische Funktion fehlerhaft waren und sogar von den Autoren selbst nicht mehr aufrechterhalten wurden [Schmitz-Feuerhake 1990]. Von der dedizierten Ausnahme der AML abgesehen, kann das Theorem einer linear-quadratischen Dosiswirkungsrelation lockerionisierender Strahlen für menschliche Tumore mit seriösen Argumenten nicht mehr verteidigt werden - eine glänzende Bestätigung auch der Arbeiten Schmitz-Feuerhakes.

Nehmen wir aus dieser Betrachtung mit, dass bis zur fälligen Korrektur der Grenzwerte ein konsequenter Strahlenschutz einen weiteren modifizierenden Faktor zum Ausgleich des DDREF von $N_{DF} = 2$ verlangt. Auch diejenigen, die das Schwinden des quadratischen Terms immer noch nicht akzeptieren wollen, müssen konzedieren, dass für dichtungisierende Strahlen mit dem DDREF korrigierte Grenzwerte nicht angemessen sind.

Ein ausgeprägter quadratischer Term bei Dosen lockerionisierender Strahlen um 1 Gy bedeutet, dass Mehrfachtreffer in einem Volumen um 1 μm Durchmesser wirksam geworden sind. Die Erzeugung dizentrischer Chromosomenaberrationen, eine Methode der biologischen Dosimetrie, die von der Arbeitsgruppe um Schmitz-Feuerhake schon sehr erfolgreich eingesetzt worden ist, ist dafür ein gutes Modell. Die Auslösung humaner Tumoren scheint, wir haben es gerade diskutiert, nur ausnahmsweise mit solch ausgedehnten empfindlichen Volumina verknüpft zu sein. Eine bis zu Dosen um 4 Gy lineare Dosis-Wirkungsrelation spricht für deutlich kleinere Wirkorte, ein mit heutigen molekularbiologischen Vorstellungen zur Tumorgenese durchaus verträglicher Befund.

Diese Beobachtungen haben auch Konsequenzen für die Bewertung der inversen Dosisabhängigkeit des Q für Neutronen, die z.B. bei Mammatumoren der Ratte zu einem Anstieg der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) im Vergleich zu Röntgenstrahlen bis auf Werte um 180 bei einer Neutronendosis von 1 mGy führen (s. Abb. 4, S. 8). Während die klassische Interpretation der inversen Dosisabhängigkeit eine geringere Wirksamkeit der Gammastrahlen im Niedrigdosisbereich annahm, muss bei einer linearen Dosis-Wirkungsrelation der lockerionisierenden Strahlung die inverse Dosisabhängigkeit auf einer Zunahme der relativen Wirksamkeit von Neutronen im Niedrigdosisbereich beruhen. Dies gilt übrigens, zumindest für die Auslösung von Lungenkrebs durch Radon, auch für Alphastrahlung [Kuni 1995a]. Deshalb und wegen der dosisabhängigen inversen Dosisleistungsabhängigkeit, auf die ich hier aus Zeitgründen nicht ausführlicher eingehen kann, wird

ein weiterer Faktor N_{ND} zur Berücksichtigung des inversen Dosiseffektes oder N_{ID} zur Berücksichtigung des inversen Dosisleistungseffektes oder einer Kombination von beiden mit Werten von Drei bis Vier erforderlich [Kuni 1993, 1994].

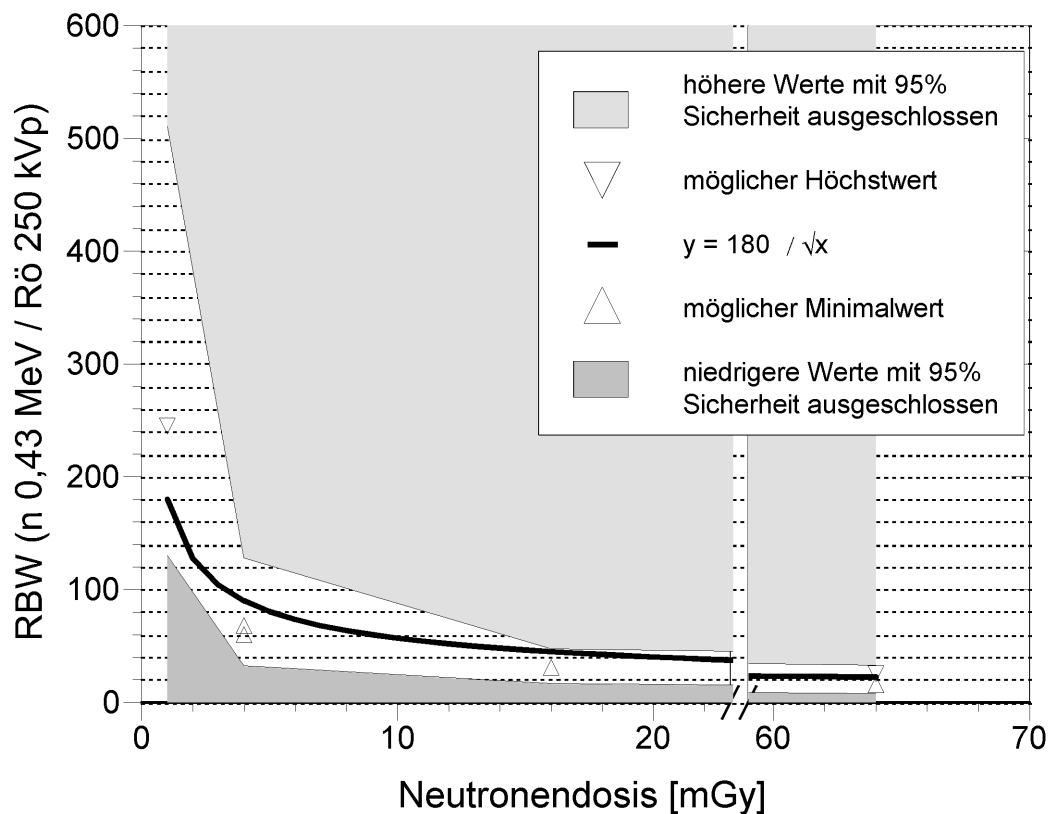


Abb. 4: Die Abhängigkeit der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) bei einer Bestrahlung mit Neutronen (430 keV) von der Neutronendosis bei der Erzeugung von Mammatumoren der Ratte.

X-Skala zwischen 20 und 60 mGy unterbrochen.

In dieser parameterfreien Auswertung zeigen die schraffierten Flächen den Bereich, der mit 95%-Vertrauen als RBW ausgeschlossen werden konnte. Die Gerade mit negativer Steigung entspricht der theoretisch angenommenen inversen Abhängigkeit der RBW von der Quadratwurzel der Dosis.

Referenzstrahlung: 250 kVp Röntgenstrahlung
nach Kellerer [1974]

Würdigt man das gesamte Ausmaß der Unterbewertung von Neutronen, ist die Folge der Missachtung dieser Einflussfaktoren geradezu grotesk und es erscheint unverhältnismäßig, dass die ICRP von einem maximalen w_R von 20 für Neutronen noch energieabhängige Abschläge empfiehlt (s. F 4, S. 9

und Tab. 1, S. 9). Wie die Auseinandersetzungen um den Transport von abgebrannten Brennelementen gezeigt haben, sind die Folgen im praktischen Strahlenschutz und damit für die Atomtechnik enorm [Kuni 1995b] (s. Abb. 5, S. 10, bis 7, S. 12).

	$H = Q D N$	F 4
H	biologisch äquivalente Dosis	
Q	Qualitätsfaktor	
D	physikalische Dosis	
N	modifizierender Faktor	
	$N = N_{R\bar{A}} \quad N_{DF} \quad N_{ND} \quad N_{ID}$	
$N_{R\bar{A}}$	N für Rö-Strahlenäquivalenz	
N_{DF}	N für DDREF-Ausgleich	
N_{ND}	N für niedrigere Dosis	
N_{ID}	N für inverse Dosisleistung	

Tab. 1: Modifizierende Faktoren zur Berechnung einer biologisch äquivalenten Dosis für Alphastrahlen und Neutronen

Strahlenart	Anwendung	Q	N_{ND}	N_{ID}	$N_{R\bar{A}}$	N_{DF}	N	Q*N
Neutronen	Beruf	25	1	3	2	2	12	300
Neutronen	Bevölkerung	25	4,4	1	2	2	17,6	440
Alpha		25	1	1	2	2	4	100
Alpha	Lunge	25	1	1,75	2	2	7	175

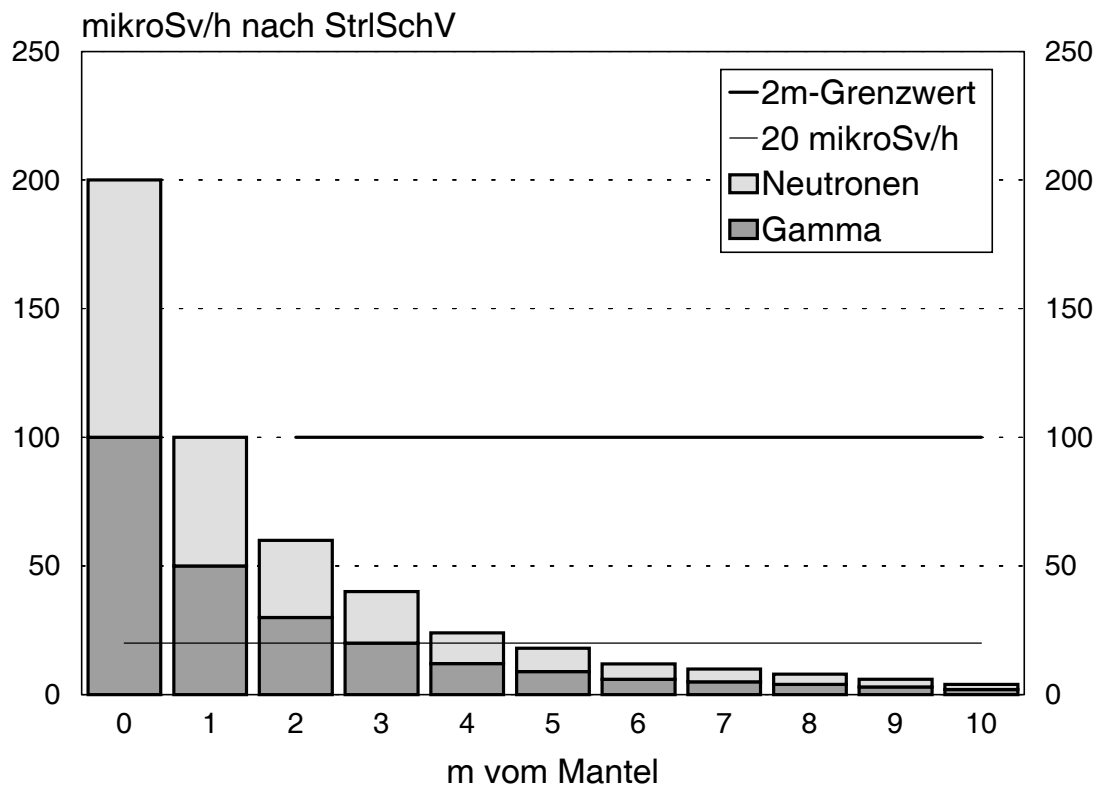


Abb. 5: Dosisleistung eines typischen CASTOR in Abhängigkeit von der Distanz zum Mantel. Berechnung der Äquivalentdosisleistung nach der Strahlenschutzverordnung. Der Grenzwert der Gefahrguttransportverordnung von $100 \mu\text{Sv/h}$ in 2 m Abstand wird sicher unterschritten.

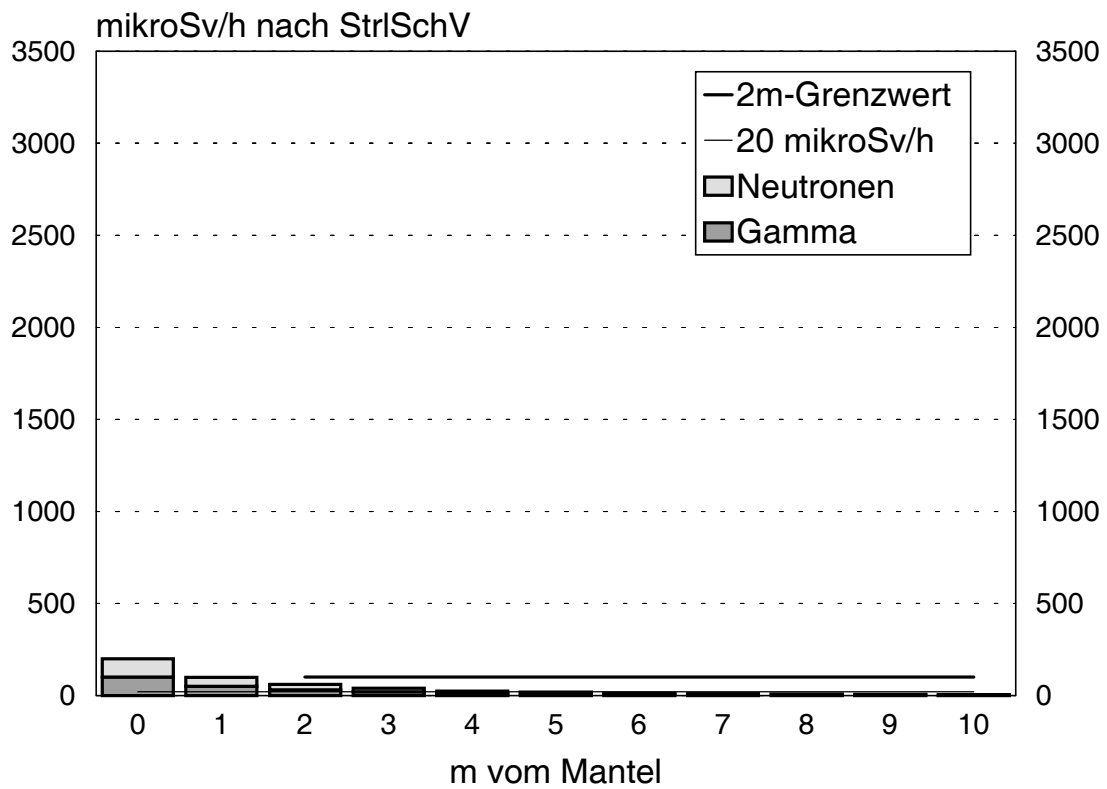


Abb. 6: Wie Abb. 5 (S. 10), jedoch mit einer adaptierten Skala der Y-Achse, um einen besseren Vergleich mit Abb. 7 (S. 12) zu ermöglichen.

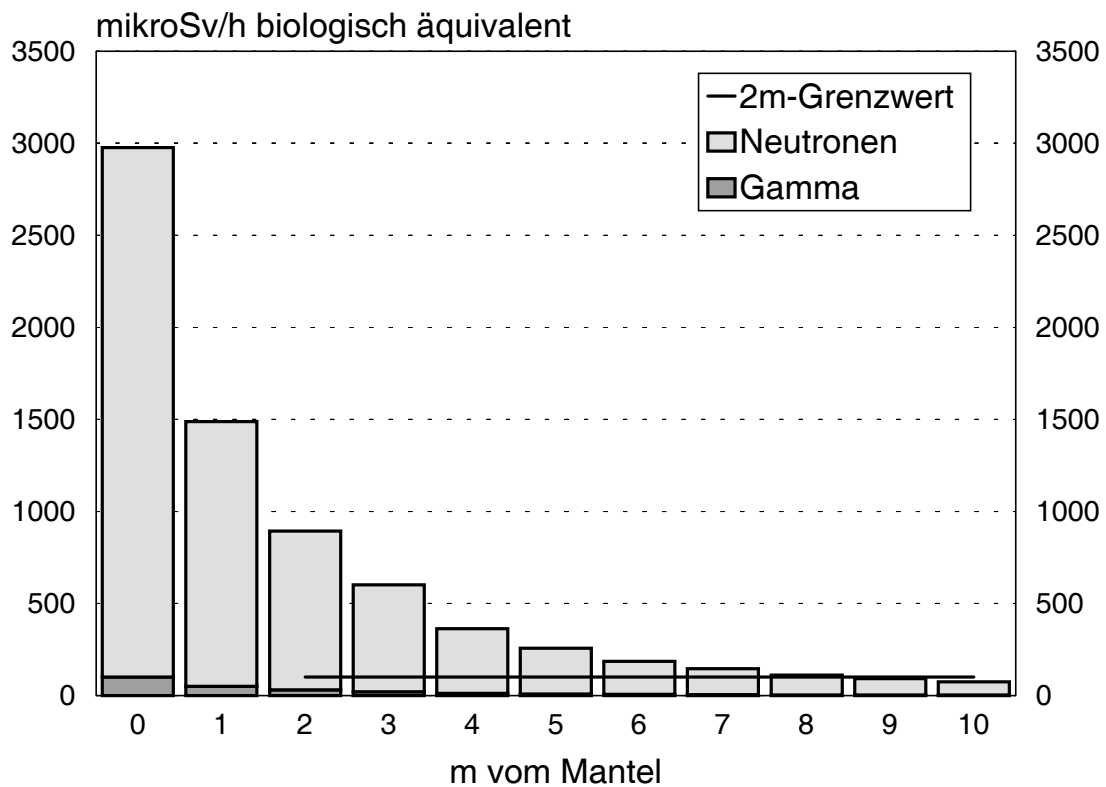


Abb. 7: Wie Abb. 5 (S. 10), jedoch mit Berechnung einer biologisch äquivalenten Dosisleistung. Die Überschreitung der Grenzwerte ist so enorm, dass Abweichungen im Strahlenfeld einzelner Behälter von dem hier betrachteten Muster relativ belanglos sind.

In den Empfehlungen Nr. 60 der ICRP wird der Begriff der effektiven Äquivalentdosis durch effektive Dosis E ersetzt, was ihn zwar kompakter macht, zugleich aber verschleiert, dass auch die Organwichtungsfaktoren w_T , weighting factor tissue⁴, keineswegs die Relation einer tatsächlichen biologischen Effektivität widerspiegeln, sondern nur den Anteil, den man im Strahlenschutz berücksichtigen will (s. F 5 bis F 7, S. 13).

⁴ ICRP spricht in diesem Zusammenhang von Tissue, Gewebe. Dies hat vor allem dosimetrische Gründe, da früher die Dosis des Knochens über das ganze Organ gemittelt worden war, für die Bewertung des Wichtungsfaktors für den Knochen aber nur die Dosis der für stochastische Wirkungen als empfindlich angesehenen Knochenoberfläche bewertet wird. Vor allem bei inhomogen abgelagerten Radionukliden mit Teilchenstrahlung kurzer Reichweite, in erster Linie bei den knochensuchenden Alphastrahlern, hat das Konsequenzen. Im übrigen sind in entsprechenden Tabellen ausschließlich Organe im klassischen Sinn aufgeführt. In der Strahlenschutz- und der Röntgenverordnung findet sich die Bezeichnung Organe und Gewebe.

$$E_T = H_T w_T \quad F 5$$

$$E_T = \sum_T H_T w_T \quad F 6$$

$$E_T = \sum_T w_T \quad \sum_R D_{T;R} w_R \quad F 7$$

Die Organwichtungsfaktoren differenzieren weder nach Alter noch nach Geschlecht, stellen also scheinbar die vollkommene Verwirklichung der Gleichberechtigung dar. Dabei sind Frauen, sowohl gemessen an der absoluten Zahl der Schadensfälle als auch gemessen an der relativen Steigerung der Krebsinzidenz pro Dosis erheblich stärker gefährdet als Männer (s. Abb. 8, S. 13).

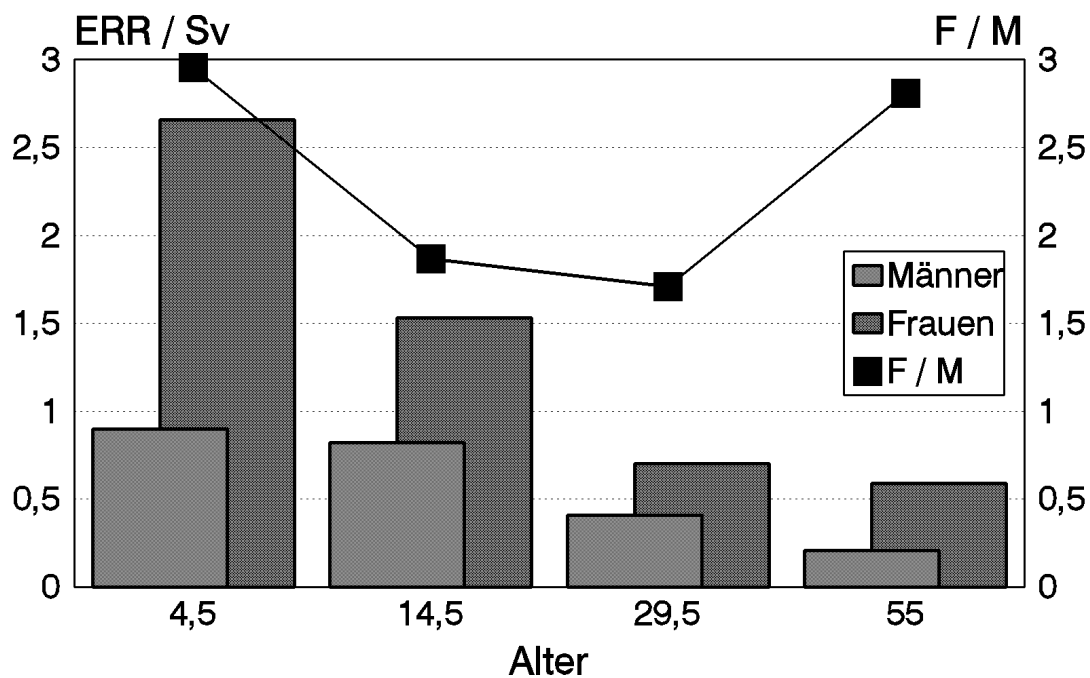


Abb. 8: Excess relative risk pro Sievert für die Inzidenz solider Tumore 13 bis 32 Jahre nach Strahlenbelastung in Abhängigkeit vom Geschlecht und vom Alter bei Strahlenbelastung sowie die relative Mehrgefährdung von Frauen im Vergleich zu Männern (F/M). Bei der Dosimetrie der Atombombenopfern wurde von den Autoren eine konstante RBW von Zehn angesetzt.

Daten nach Thompson et al. [1994]

Besonders drastisch zeigt sich die problematische Bewertung der ICRP beim Brustkrebs, einem Tumor, der beim Mann auch nach einer Strahlenbelastung extrem selten ist (s. Abb. 9, S. 14). Bei einem Vergleich der Strahlengefährdung bei Zählung der Inzidenz, der Erkrankungshäufigkeit, fanden sich hier wie bei anderen Tumoren etwa 40% höhere Werte für das excess relative risk pro Sievert als bei Auswertung der Mortalitätsstatistik [Ron et al. 1994]. Die Schadenserwartung nach einer Strahlenbelastung durch Karzinome wie Brustkrebs, tödliche Verläufe (tV) in Hiroshima und Nagasaki etwa 30%, Schilddrüsenkrebs (tV: 21%) und insbesondere Hautkrebs (ohne malignes Melanom) (tV: 14%) wird deshalb bei der bisher vorherrschenden ausschließlichen oder überwiegenden Bewertung der Mortalität erheblich unterschätzt.

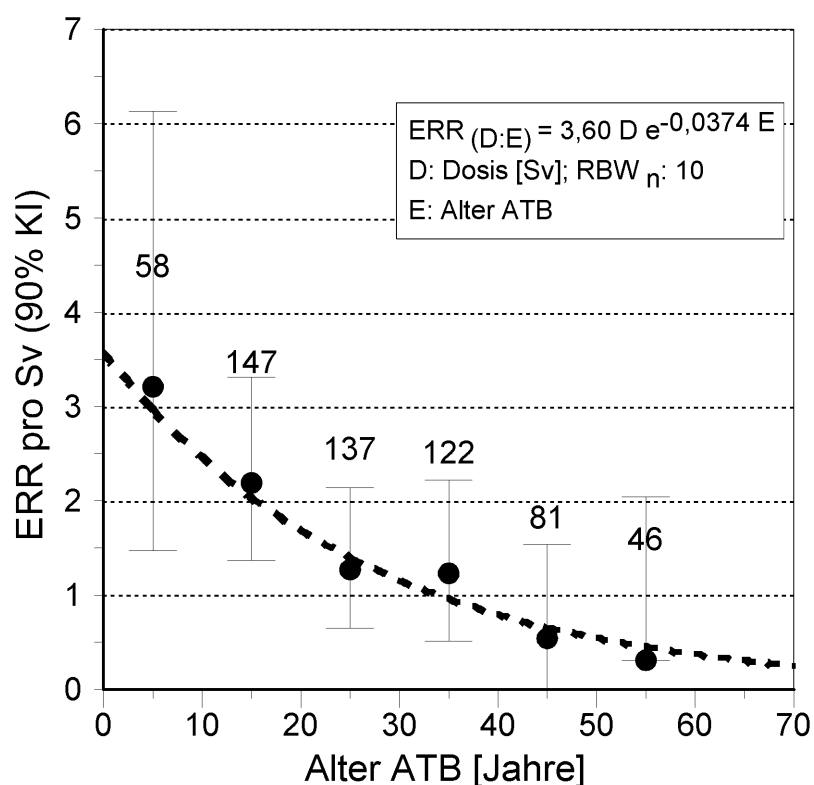


Abb. 9: Excess relative risk pro Sievert (mit 90% Konfidenzintervall) für die Inzidenz des Brustkrebses fünf bis 40 Jahre nach Strahlenbelastung in Abhängigkeit vom Lebensalter bei Strahlenbelastung sowie die approximierte Exponentialfunktion für diese Abhängigkeit
 ATB: at the time of the bombings (Hiroshima 6.8.1945, Nagasaki 9.8.1945)
 Zur Dosimetrie s. Abb. 8, S. 13
 Daten nach Tokunaga et al. 1994

Das excess relative risk dieses Tumors ist das höchste aller soliden Tumore (s. Abb. 10, S. 15). In dieser makabren Hitliste sind nicht nur zwei Organe, die Brust und der Eierstock, enthalten, deren Strahlengefährdung nur Frauen treffen, sondern auch die Organe Lunge und Magen zeigen eine signifikant stärkere Betroffenheit des weiblichen Geschlechts. Beachtenswert ist auch, dass die Liste

von drei Organen angeführt wird, bei denen die Inzidenz in besonderem Maße die Mortalität übersteigt.

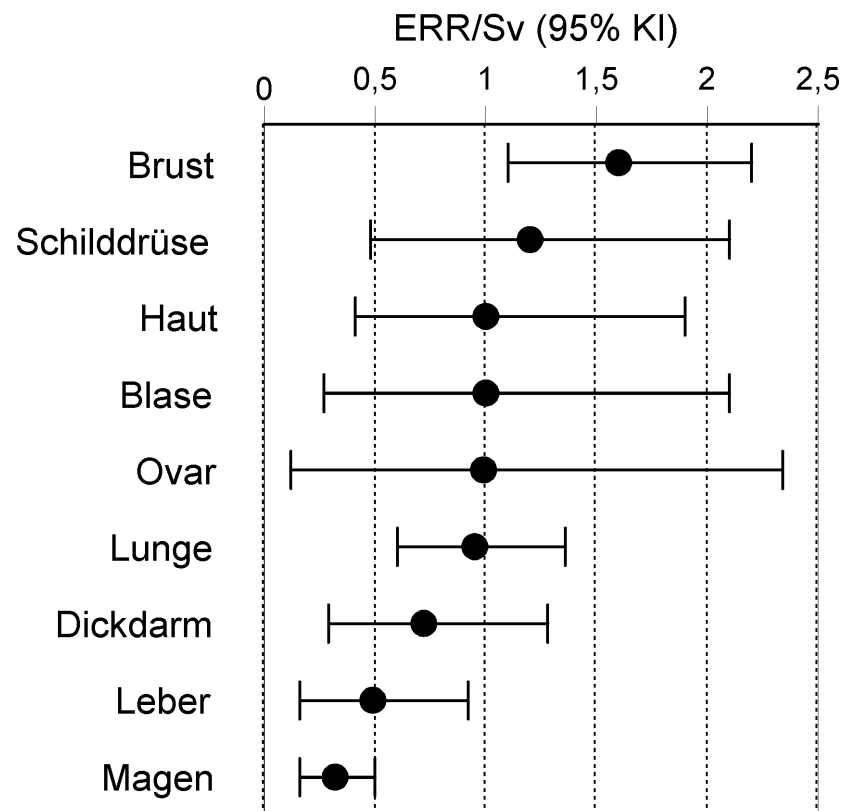


Abb. 10: Excess relative risk pro Sievert (mit 95% Konfidenzintervall) für Karzinome, deren Inzidenz bei den Atombombenopfern signifikant erhöht war.
Hautkrebs ohne malignes Melanom.
Zur Dosimetrie s. Abb. 8, S. 13.
Daten nach Thompson et al [1994]

Da der Brustkrebs in unserem Land auch in der Häufigkeitsstatistik bei Frauen an der Spitze steht, wenn auch der Lungenkrebs in den letzten Jahren zu ihm aufgerückt ist, stellt dieser Krebs nach einer Strahlenbelastung die bedrohlichste Tumorart für die Frau dar. Dem wird ein Organwichtungsfaktor von 0,15 in der Strahlenschutzverordnung, die immer noch auf die Empfehlungen von 1977 zurückgeht, ebenso wenig gerecht, wie der neue Wichtungsfaktor der ICRP 60 von nur 0,05. Diese Wichtungsfaktoren sind so niedrig, weil

- ein Schadenswert für ein mittleres Lebensalter bei Exposition eingesetzt wird,
- der Mortalität ein früher ausschließliches und heute noch überwiegendes Gewicht gegeben wird,

- die Schadenshäufigkeit für eine eigenwillige Altersverteilung eines für die Weltbevölkerung repräsentativ gedachten Kollektivs konstruiert wird, in dem die in unserer Gesellschaft vom Brustkrebs besonders stark betroffenen Altersstufen stark unterrepräsentiert sind,
- nicht beachtet wird, dass die in den Industrieländern immer häufiger durchgeführte Östrogen-substitution nach dem Klimakterium den altersbedingten Abfall des excess relative risk verhindern dürfte, eine Besonderheit, die Schmitz-Feuerhake kürzlich herausgearbeitet hat,
- und schließlich über Männer und Frauen gemittelt wird.

Diese scheinbare Gleichberechtigung von Mann und Frau benachteiligt bei einer Exposition der Brustdrüse nicht nur die Frauen, besonders die in jungen Lebensjahren, sondern bei vielen Expositionsbedingungen auch den Mann. Bei einer Inkorporation radioaktiver Stoffe, die in der Regel vorwiegend andere Organe als die Brust belasten, stiehlt der bei Männern unsinnige Wichtungsfaktor für die Brust den anderen betroffenen Organen Gewichtung.

Die neue Bezeichnung effektive Dosis verschleiert nicht nur ihren Charakter einer Äquivalentdosis, sondern segelt auch unter falscher Flagge, wenn sie den Einheitenamen der Äquivalentdosis, Sievert, trägt. Da die Größe des Dosiswertes in vielen Fällen, und bei lockerionisierenden Strahlen immer, durch den Organwichtungsfaktor drastischer verändert und - zwar verkleinert - wird als durch den Strahlungswichtungsfaktor, ist hier eine neue Einheitenbenennung mindestens genauso wichtig wie bei der Umrechnung der physikalischen Dosis in die Äquivalentdosis.

Um die Folgen der fehlenden Berücksichtigung der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit zu mildern, sind bereits modifizierende Faktoren vorgeschlagen worden, die - allerdings organunabhängig - zu einer korrigierten effektiven Dosis führen sollen. Sie sind verwendet worden, um bei der Berechnung der unerwünschten Wirkung medizinischer Strahlenbelastung, die in großem Umfang alte Menschen trifft, ein günstigeres Nutzens-Schadensverhältnis zu berechnen. Die selben Autoren haben allerdings noch nicht gefordert, solche modifizierenden Faktoren in der Strahlenschutzverordnung anzuwenden, wo sie zu einer drastischen Senkung der Grenzwerte für junge Menschen und hier insbesondere für Frauen führen würden.

Schließlich muss auch die obligate Trennung von Wichtungsfaktoren für Strahlung und Organ hinterfragt werden. Tierversuche liefern deutliche Indizien dafür, dass die Tumorinduktion in einer ruhenden Zelle, z.B. den Eizellen des Ovars, und Zellen, die ununterbrochen auf proliferative Reize zu reagieren haben, wie z.B. die Zellen drüsiger Organe, eine erheblich unterschiedliche biologische Wirksamkeit zeigen. Es scheint so zu sein, dass oft erst im Verlauf weiterer Zellteilungsschritte Schäden dicht ionisierender Strahlen manifest werden. Dies gilt nicht nur für Neutronen. An der Wirkung von Alphateilchen in Zellkulturen konnten Steigerungen der relativen biologischen Wirksamkeit in den Tochterzellen bestrahlter Zellen auf das über Tausendfache beobachtet werden [Evans 1992; Kadhim et al. 1992, 1994; Nagasawa, Little 1992].

Nehmen wir uns also zum Abschluss den immerwährenden Appell Schmitz-Feuerhakes zu Herzen, in epidemiologischen Beobachtungen von strahlenbelasteten Menschen zu prüfen, ob es Indizien gibt, die unsere Überlegungen zur Wirksamkeit dichtungisierender Strahlen und ihrer systematischen Unterbewertung durch die amtliche Äquivalentdosis stützen. Wir prüfen die Steigerung der Krebsinzidenz und Krebsmortalität, die bei epidemiologischen Untersuchungen des fliegenden Personals gefunden worden waren, daraufhin, welche biologisch äquivalente Strahlendosis nach den Erfahrungen an den Atombombenopfern notwendig wäre, um den Effekt zu erklären, und vergleichen diese Dosis mit der Lebensdosis nach den amtlichen Maßstäben (s. Tab. 2, S. 17, und Tab. 3, S. 17) [Kuni 1995c].

Tab. 2: Erläuterung der analysierten Parameter
SIR: Standardisierte Inzidenzrate
SMR: Standardisierte Mortalitätsrate

Nr.	Organ	registriert wurden	verglichen wurde mit der Normalbevölkerung	Rate	Ort der Exposition	Land	Fälle Anzahl
1	Mamma	Brustkrebs der Frau	Inzidenz	SIR	Kabine	FIN	20
2	Sol. F	Solide Tumore der Frauen	Inzidenz	SIR	Kabine	FIN	32
3	Alle F	Alle Krebsarten der Frauen	Inzidenz	SIR	Kabine	FIN	35
4	Alle M	Alle Krebsarten der Männer	Mortalität	SMR	Cockpit	J	20

Tab. 3: Erforderliche biologisch äquivalente Dosis zur Erklärung der epidemiologisch gefundenen Effekte
Organ: s. Tab. 2 (S. 17)
Rate: SIR oder SMR
ERR: Excess relative risk
b.ä.D.: biologisch äquivalente Dosis
LAZ: Lebensarbeitszeit
LD: Lebensdosis
F: Faktor b.ä.D./LD

Nr.	Organ	Rate	ERR Gy ⁻¹	b.ä.D. mSv	LAZ a	LD mSv	F
1	Mamma	190	124	726	8,3	17,5	41
2	Sol. F	120	70	284	8,3	17,5	16
3	Alle F	123	54	430	8,3	17,5	25
4	Alle M	145	27	1.655	13,8	69	24

Wir finden eine Diskrepanz um den Faktor 20 für alle Tumore und 40 für das Mammakarzinom und hätten nach meinen Thesen sogar nur eine Diskrepanz um den Faktor Sechs bis Acht erwarten können. Auch ohne die Diskussion hier zu vertiefen, können wir festhalten, dass diese ersten Beobachtungen unsere Thesen eher stützen als falsifizieren.

Es ist also nachvollziehbar, warum es erhebliche Widerstände bei Fluggesellschaften und auch dem Verkehrsministerium, bis vor kurzem praktisch Besitzer der größten deutschen Fluggesellschaft, gibt, solche epidemiologischen Untersuchungen zu fördern oder wenigstens nicht zu verhindern. Man kann schon verstehen, dass mit Methoden, die den Eindruck des Ausschreibungsbetruges erwecken können, die Bremener Arbeitsgruppe trotz einschlägiger Vorarbeiten von Frau Heimers und Mitarbeiterinnen nicht den Zuschlag für die biologische Dosimetrie an 50 Flugbegleiterinnen und ebenso vielen Kontrollpersonen erhalten hat, sondern ein Labor des inzwischen aufgelösten Bundesgesundheitsamtes. Dabei war dem Berliner Labor von zwei wissenschaftlichen Kommissionen eine unzureichende Qualifikation bescheinigt worden, weil es in einer bestrahlten Blutprobe die deutlich erhöhten Chromosomenaberrationsraten ebenso wenig gefunden hatte wie in den Blutproben der Einwohner der Elbmarsch.

Dieser Umgang mit Frau Schmitz-Feuerhake und ihrer rührigen Arbeitsgruppe hat eine lange Tradition. Als ich darauf zum ersten Mal stieß, war mein erster Gedanke, die meinen wohl, mit einer Frau kann man das machen. Inzwischen habe ich, nicht zuletzt auch durch eigene Erfahrungen, gelernt, dass es auch heute Wissenschaftlern schlecht bekommt, Fakten zu recherchieren, die mächtigen Interessen zuwiderlaufen und diese dann auch noch abweichend vom Mainstream zu interpretieren. Dennoch gibt es drastische Beispiele dafür, dass Wissenschaftlerinnen diesen Widerstand besonders heftig zu spüren bekommen.

Ich habe in meinem Vortrag nur wenige Schlaglichter auf das umfangreiche Wirken unserer Jubilarin werfen können. Wenn ich dazu häufig eigene Befunde und Thesen instrumentalisiert habe, dann nicht nur, um meinem Narzissmus zu frönen. Ich wollte an meinem Beispiel deutlich machen, welche Ausstrahlungen die Arbeiten Schmitz-Feuerhakes auf andere hatten und noch haben und für wie fruchtbar ich die interdisziplinäre Auseinandersetzung an Grenzgebieten von Physik und Medizin auch zu diesem thematischen Schwerpunkt halte. Frau Schmitz-Feuerhake hat in ihrer Einladung zur Geburtstagsfeier die - wie ich hoffe - Falschmeldung verbreitet, sie habe das Flegelalter verlassen. Ich bitte sie dringend, ihre persönliche, herausfordernde Art, ihre Thesen frauhaft zu vertreten, nicht abzulegen, weil sie wohl in unserem gesellschaftlichen Machtgefüge notwendig ist, damit sich eine Wissenschaftlerin Gehör verschaffen kann.

Literatur

BEIR V 1990

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

Evans, H.J. 1992

Alpha-Particle after Effects
Nature 355, 674-675

ICRP 26 1977

International **C**ommission on **R**adiological **P**rotection
Publication 26
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
Annals of the ICRP Vol. 1, No. 3, Pergamon Press, Oxford, New York

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

Kadhim, M.A., Macdonald, D.A., Goodhead, D.T., Lorimore, S.A., Marsden, S.J., Wright, E.G. 1992

Transmission of Chromosomal Instability after Plutonium (Alpha)-Particle Irradiation
Nature 355, 738-780

Kadhim, M.A., Lorimore, S.A., Hephurn, M.D., Goodhead, D.T., Buckle, V.J., Wright, E.G. 1994

Alpha-Particle-Induced Chromosomal Instability in Human Bone Marrow Cells
Lancet 344, 987-988

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. 1994

Niedrige Strahlendosen und Gesundheit der Arbeitnehmer,
Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes, Bonn, Bericht 8-11, MMV Verlag München

Kuni, H. 1995a

Radon und Lungenkrebs
In: Lengfelder, E., Pflugbeil, S., Köhnlein, W. (Hrsg.): Gesundheitliche Risiken und Folgen des Uranbergbaues in Thüringen und Sachsen
MMV Medizin Verlag München, 1995, S. 13 ff.

Kuni, H. 1995b

Gefährdung der Gesundheit durch Strahlung des CASTOR
IPPNW, Berlin

Kuni, H. 1995c

Epidemiologische Hinweise zur RBW von Neutronen
Manuskript, Marburg

Nagasawa, H., Little, J.B. 1992

Induction of Sister Chromatid Exchanges by Extremely Low Doses of Alpha Particles
Cancer Res. 52, 6394-6396

NCRP 1990

National Council on Radiation Protection and Measurements
The Relative Biological Effectiveness of Radiations of Different Quality
Report No. 104, Bethesda, Maryland 20814, USA

Pierce, D.A., Vaeth, M. 1991

The Shape of the Cancer Mortality Dose-Response Curve for the A-Bomb Survivors
Radiat. Res. 126, 36-42

Preston, D.L., Kusumi, S., Tomonaga, M., Izumi, S., Ron, E., Kuramoto, A., Kamada, N., Dohy, H., Matsui, T., Nonaka, H., Thompson D.E., Soda, M., Mabuchi, K. 1994

Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors.
Part III: Leukemia, Lymphoma and Multiple Myeloma, 1950-1987
Radiat. Res. 137, S68-S97

Ron, E., Preston, D.L., Mabuchi, K., Thompson, D.E., Soda, M. 1994

Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors.
Part IV: Comparison of Cancer Incidence and Mortality
Radiat. Res. 137, S98-S112

Schmitz-Feuerhake, I. 1985

Tritium
In: Blum, A., Kuni, H. 1985
Bericht zum BMFT-Projekt KWA 3309 A7
Arbeitsbedingungen in nuklearen Wiederaufarbeitungsanlagen
Projektabschnitt II Medizin
Teil 1: Wissenstand über Strahlengefährdung
Marburg, S. 5-145 - 5-150

Schmitz-Feuerhake, I. 1990

Der Wandel im Erkenntnisstand über stochastische Strahlenwirkungen im Niedrigdosisbereich
In: Otto Hug 1990, S. VIII-1 - VIII-29

Schmitz-Feuerhake, I., Bätjer, K., Muschol, E. 1979

Abschätzungen zum somatischen Strahlenrisiko und die Empfehlungen der ICRP-
Publikation Nr. 26 (1977)
Fortschr. Röntgenstr. 131, 84-89

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, berichtet 16.10.1989 BGBl. I S. 1926

**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