

# Strahlentelex

## mit ElektromogReport

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

[www.strahlentelex.de](http://www.strahlentelex.de)

Nr. 718-719 / 30. Jahrgang, 1. Dezember 2016

### Dokumentation:

**Stellungnahme zum Entwurf des Strahlenschutzgesetzes, erarbeitet von Inge Schmitz-Feuerhake und Wolfgang Hoffmann.**

Seite 2

### Nachruf:

**Der Epidemiologe und kritische Denker Steven B. Wing ist gestorben. Ein Nachruf von Wolfgang Hoffmann.**

Seite 16

### Atommüll:

**Der Bund übernimmt die Atom-Zwischen- und Endlagerung. Einen entsprechenden Gesetzentwurf hat die Bundesregierung beschlossen.**

Seite 17

### Atommüll:

**Die Lauge aus der Asse könnte auch nach Gorleben und in die Elbe abgeleitet werden. Planspiele des BfS und der BI Umweltschutz.**

Seite 18

## Strahlenschutz

### Der Entwurf des neuen Strahlenschutzgesetzes verharrt auf dem Kenntnisstand der 1970er Jahre

Gemäß der Richtlinie 2013/59/Euratom vom 5. Dezember 2013 soll das Strahlenschutzrecht dem aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst werden [1] und über ein entsprechendes Strahlenschutzgesetz in deutsches Recht umgesetzt werden. Dazu hatte, wie bereits berichtet, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) nach jahrelanger Vorbereitung hinter verschlossenen Türen am 22. September 2016 den Entwurf eines Gesetzes „zur Neuordnung des Rechts zum

Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ im Rahmen einer Verbändeanhörung veröffentlicht. [2] Stellungnahmen sollten innerhalb eines Monats abgegeben werden und am 3. November 2016 fand eine mündliche Anhörung im BMUB in Berlin statt. Mit Hilfe eines Textes der Medizinphysikerin Professor Dr. rer. nat. Inge Schmitz-Feuerhake und des Epidemiologen Professor Dr. med. Wolfgang Hoffmann gelang es von Seiten der Umwelt- und Anti-Atom-Initiativen in diesem kurzen Zeitraum lediglich dem

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) eine ausführliche Stellungnahme abzugeben. Weil der Text im Kern bereits vor der Veröffentlichung des Gesetzestextes entstanden war, nimmt er noch nicht direkt Bezug auf ihn, sondern formuliert und begründet Ansprüche im Hinblick auf die Vorgaben der Euratom-Richtlinie.

Die Euratom-Richtlinie basiert auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) aus dem Jahre 2007, die lediglich auf Erkenntnissen der 1970er Jahre beruht. Die ICRP befindet sich bezüglich der Strahlengefahren nicht auf dem Stand der Wissenschaft und blendet viele Anforderungen an einen Strahlenschutz aus, der das in der Verfassung niedergelegte Recht auf körperliche Unversehrtheit respektiert, rügen deshalb mehr als 50 Initiativen in einer gemeinsamen Stellungnahme. [3] Die unterzeichnenden Organisationen fordern, vorrangiges Ziel im Strahlenschutzgesetz müsse die Gesundheit der Bevölkerung sowie die Unversehrtheit und die Vermeidung von genetischen Schäden für die

Nachkommen sein. Insbesondere wirtschaftliche Interessen seien diesem Ziel strikt unterzuordnen. Deshalb müsse das Vermeidungs- und Minimierungsgebot eine zentrale Rolle einnehmen als in der aktuell vorliegenden Gesetzesfassung. Weil sich aus dem aktuellen Stand der Wissenschaft ergibt, daß die Wirkung geringer Strahlendosen unterschätzt wurde, müssten die Grenzwerte auf ein Zehntel der bisherigen Grenzwerte abgesenkt werden.

Hinsichtlich der Atommüllentsorgung fordern die Umweltverbände und -initiativen zudem den vollständigen Verzicht auf Freigabe. Die Freigabe geringer kontaminierter Reststoffe widerspreche den grundsätzlichen Prinzipien des Strahlenschutzes und dem darin enthaltenen Minimierungsgebot.

Alle diese Einwände und Forderungen werden jedoch unberücksichtigt bleiben. Das war Teilnehmern an der mündlichen Anhörung des BMUB zufolge den Gesprächen mit Verantwortlichen des Ministeriums am Rande der Veranstaltung zu entnehmen. Die Euratom-Richtlinie solle

„eins zu eins“ umgesetzt werden. Lobbyisten der Industrie- und Radiologenverbände waren zudem auch diese Mindestanforderungen noch zu restriktiv. Offen wurde von Seiten der Verbände forschender Mediziner und Pharmafirmen gedroht, „Himmel und Hölle“ zur Durchsetzung ihrer Interessen in Bewegung zu setzen. Lediglich die Stahlhersteller fürchten den Ruch, daß in ihren Produkten Atom- müll eingeschmolzen ist.

Das neue Strahlenschutzgesetz soll offenbar auf dem Kenntnisstand vor vier Jahrzehnten verharren. Um dagegen den „Stand der Wissenschaft“ aufzuzeigen, dokumentiert Strahlentelex nachfolgend die Stellungnahme des BUND in ihrer vollständigen Fassung.

1. 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.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:DE:PDF>

2. Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, Bearbeitungsstand 14.09.2016, Versand zur Verbändeanhörung 22.09.2016.

[www.strahlentelex.de/Strahlenschutzgesetz\\_Referentenentwurf\\_2016\\_09\\_14.pdf](http://www.strahlentelex.de/Strahlenschutzgesetz_Referentenentwurf_2016_09_14.pdf)

3. Stellungnahme zum Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, Atommüllkonferenz 22. Oktober 2016.

<http://www.atommuellkonferenz.de/stellungnahme-mit-forderungen-zum-neuen-strahlenschutzgesetz/>

## Dokumentation

# BUND-Stellungnahme zum Entwurf des Strahlenschutzgesetzes

Berlin, 21.10. 2016

Erarbeitet von Prof. Dr. Wolfgang Hoffmann und Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake<sup>1</sup>

unter Mitarbeit von Claudia Baitinger, Oda Becker, Dr. Karsten Hinrichsen, Dr. Werner Neumann, Wolfgang Neumann und Karin Wurzbacher (alle BUND Atom- und Strahlenkommission) sowie Dr. med. Alex Rosen, Dr. med. Jörg Schmid und Dr. med. vet. Ursula Kia (alle IPPNW).

Die EU Richtlinie 2013/59/EURATOM muss bis zum 06.02.2018 in nationales Recht der Mitgliedstaaten umgesetzt werden. Sie enthält Mindestvorschriften. Der Erlass einheitlicher Sicherheitsnormen für den Gesundheitsschutz schließt nicht aus, dass ein Mitgliedstaat strengere Schutzmaßnahmen festlegt, sofern dies in den Normen nicht ausdrücklich anders geregelt ist.

Zu den Erwägungsgründen der Richtlinie gehört die Berücksichtigung der Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP aus dem Jahre 2007 in ihrer Publikation 103 (ICRP 2008). Diese löst die Risikoangaben und Grenzwertempfehlungen der ICRP-Publikation 60 von 1990 ab, auf der die Regelungen der noch gültigen Strahlenschutzverordnung beruhen. Da die Änderungen auch die Gewebe- und Strahlungswichtungsfaktoren betreffen, mussten die effektiven Dosen neu berechnet werden, daher wird in der Richtlinie auch auf die ICRP-Publikationen 116 (2010) und 119 (2012) hingewiesen.

Der BUND unterstützt die Pläne, in Deutschland ein neues Strahlenschutzgesetz zu schaffen. Die ICRP befindet sich bezüglich der Strahlengefahren nicht auf dem Stand der Wissenschaft und blendet viele Anforderungen an einen

Strahlenschutz aus, der das in der Verfassung niedergelegte Recht auf körperliche Unversehrtheit respektiert.

Die wichtigsten Verbesserungen, die der BUND demgegenüber für erforderlich hält, werden in den folgenden Punkten I – XIII benannt. Sie werden im Folgenden begründet.

## Forderungen an das neue Strahlenschutzgesetz:

**I** Ergänzung der vorrangigen Schutzziele um die Unversehrtheit der Nachkommen

**II** Senkung des Dosisgrenzwerts für die Bevölkerung um den Faktor 10 auf 0,1 mSv pro Jahr und Begrenzung der Kollektivdosis bei Maßnahmen mit Umweltkontaminationen

**III** Senkung der Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen um den Faktor 10

**IV** Senkung von organspezifischen Grenzwerten: Haut und Augenlinse sind als empfindlich für stochastische Schäden einzustufen

**V** Einführung eines Dosisgrenzwertes für die Gonaden

**VI** Erhöhung der Schutzvorschriften bei Schwangerschaft

**VII** Verbindliches Regelwerk zur Begrenzung der diagnostischen Strahlenbelastung durch Berücksichtigung von Referenzdosen; Wiedereinführung der genetisch signifikanten Dosis in der diagnostischen Radiologie

**VIII** Einführung eines Grenzwerts für Radon in Gebäuden von 50 Bq/m<sup>3</sup>

**IX** Senkung des Grenzwerts für den Radiumgehalt in Mineral- und Trinkwasser für die Vergabe des Hinweises „geeignet für Zubereitung von Säuglingsnahrung“ auf 10 mBq pro Liter. Deklarationspflicht über den Radiumgehalt in Mineralwässern.

**X** Berücksichtigung der höheren Relativen Biologischen Wirksamkeit von Neutronen und Protonen als nach ICRP für Dosismittlungen bspw. bei Flugpersonal und Castortransporten

**XI** Erweiterung der Rechenvorschriften für die Ermittlung von Bevölkerungsdosen. Angabe von Vertrauensbereichen für Dosisfaktoren bei Inkorporation, bei Transportrechnungen nach AVV<sup>2</sup> und weiteren Faktoren, die für die Berechnung von Strahlenexpositionen benötigt werden.

**XII** Aufhebung der aktuellen Freigaberegulungen für gering radioaktive Reststoffe und Abfälle

**XIII** Revision des Auswahlverfahrens für die Besetzung von Fachgremien und Einrichtung von Universitätslehrstühlen für unabhängige Strahlenbiologie und Strahlenmedizin.

## Begründung der Forderungen

### Inhaltsverzeichnis

1 Begründung der Forderungen I-VII: Bewertung strahleninduzierter Gesundheitsschäden	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Grundsätzliche Kritik	3
1.3 Krebsmortalität	3
1.4 Organspezifische Grenzwerte: Haut	4
1.5 Organspezifische Grenzwerte: Augenlinse	4
1.6 Effekte nach Exposition in utero	4
1.7 Erkrankungen bei den Nachkommen bestrahlter Eltern	5

<sup>1</sup> Prof. Dr.rer.nat. Inge Schmitz-Feuerhake: [ingesf@uni-bremen.de](mailto:ingesf@uni-bremen.de) Prof. Dr.med. Wolfgang Hoffmann, MPH: [wolfgang.hoffmann@uni-greifswald.de](mailto:wolfgang.hoffmann@uni-greifswald.de)

<sup>2</sup> AVV = Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (Anm. d. Red.)

1.8 Nicht maligne strahleninduzierte Erkrankungen 7  
 2 Begründung der Forderung VIII: Grenzwert für Radon 7  
 3 Begründung der Forderung IX: Radiumgehalt in Mineral- und Trinkwasser 8  
 4 Begründung der Forderung X: Wirksamkeit von Neutronen und Protonen 8  
 5 Begründung der Forderung XI: Dosisfaktoren und Ausbreitungsmodelle 10  
 6 Begründung der Forderung XII: Änderung der Freigaberegulation 11  
 7 Begründung der Forderung XIII: Besetzung von Fachgremien und Einrichtung unabhängiger Lehrstühle 12  
 8 Literaturangaben 13

**1 Begründung der Forderungen I-VII: Bewertung der strahleninduzierten Gesundheitsschäden**

**1.1 Einleitung**

Als Referenz für Strahlenschäden beim Menschen dienen der ICRP bis dato vornehmlich die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki, obwohl Kritiker seit den 1980er-Jahren auf zahlreiche Unterschiede hingewiesen haben, die diese Übertragung auf andere Bestrahlungssituationen in Frage stellen. Durchweg führt sie zu einer nennenswerten Unterschätzung der Folgen bei Exposition einer normalen westeuropäischen Bevölkerung. Bei der Bombenexplosion handelte es sich um eine Blitzbestrahlung, also um eine extreme Kurzzeitexposition. Diese wird von der ICRP als 2-fach wirksamer eingestuft als eine chronische Langzeitexposition wie an Arbeitsplätzen. Die bei den Überlebenden beobachteten Gesundheitsrisiken werden deshalb von der ICRP halbiert.

Die Reduzierung der Risikoangabe (DDREF=2) hat sich aufgrund von zahlreichen Untersuchungen an beruflich Strahlenexponierten als unzu-

Tabelle 1. Von der ICRP aufgeführte Gesundheitsschäden nach Exposition einer Bevölkerung mit niedriger Dosis und Kritik daran

	Krebsmortalität	Genetische Erkrankungen	Effekte nach Exposition in utero	Erkrankungen außer Krebs
<b>ICRP Risikoangaben 2007, 2012</b>	550 Todesfälle pro 10 <sup>4</sup> Sv (5,5 % pro Sv)	20 Fälle pro 10 <sup>4</sup> Sv (0,2 % pro Sv)	kein Effekt unter 100 mSv	kein Effekt unter 500 mSv
<b>Kritik</b>	Unterschätzung um Faktor 5-10 aufgrund neuer Hiroshimadaten und Ergebnissen nach beruflicher Exposition	Bewertung unvollständig und um Größenordnungen zu niedrig	nicht berücksichtigt: Aborte, Geringes Geburtsgewicht, Totgeburten, Säuglingssterblichkeit, Fehlbildungen, Geistige Behinderung, Geisteskrankheiten, Downsyndrom, Kinderkrankheiten	widerspricht: Daten über benigne Tumore (Hirn etc.); Hiroshimadaten; zahlreichen epidemiologischen Befunden nach Strahlentherapie und -diagnostik, beruflicher Exp., bei Tschernobyl-opfern

lässig herausgestellt und wird in der Bundesrepublik Deutschland von der Strahlenschutzkommission und dem Bundesamt für Strahlenschutz abgelehnt (BFS 2005; SSK 2007; SSK 2014). Auch international ist die Annahme der ICRP und damit der EU-Richtlinie als überholt anzusehen. Während das Strahlenkomitee der U.S.-amerikanischen Academy of Sciences BEIR (Biological Effects of Ionizing Radiation) bereits 2006 einen verringerten DDREF von 1,5 vorschlug (BEIR VII 2006), hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2013 in einer Stellungnahme zu den Folgen der Reaktorkatastrophe von Fukushima einen DDREF von 1 als angemessen eingesetzt (WHO 2013).

Ferner war die Bombenstrahlung extrem hochenergetisch, so dass sie strahlenbiologisch als weniger wirksam eingeschätzt werden muss (Straume 1995). Somit sind die Risikoangaben der ICRP auch aus physikalischen Gründen zu klein. Die neueren Aussagen der ICRP sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Risikoangaben pro Doseinheit sind Mittelwerte, die sich auf die Bestrahlung einer Bevölkerung beziehen. Wie in der folgenden Tabelle stichwortartig angegeben ist, sind die Risikoangaben der ICRP weder kon-

servativ noch vollständig.

**1.2 Grundsätzliche Kritik**

Das Konstrukt „effektive Dosis“ der ICRP als Schadensmaß für Strahleneffekte ist ausschließlich auf die Krebsmortalität ausgerichtet anhand organspezifischer Wichtungsfaktoren, die in ICRP 103 geändert wurden und entsprechend zu anderen Dosisfaktorangaben für Radionuklide führen, s. ICRP 116 (2010), ICRP 119 (2012). Diese gelten nicht als Schadensmaß für Kinder, das genetische und teratogene Risiko und die nicht malignen Strahlenschäden.

Als oberstes Schutzziel muss die Unversehrtheit von Ungeborenen, Nachkommen, Kindern und jungen Menschen angesehen werden. Generelle Forderungen sind daher, außer den effektiven Dosen weitere Grenzwerte für besonders betroffene Organe festzulegen sowie für Kollektivdosen bei Maßnahmen, die die Bevölkerung betreffen. Als Standard für Umweltverträglichkeit gilt eine Schadensrate von nicht mehr als 1 Fall auf 1 Million Menschen pro Jahr (UVP-Ges. 2014).

**1.3 Krebsmortalität**

Höhere Werte für die Krebsmortalität als nach ICRP ergeben sich aus neueren Ergebnissen von den japani-

schen Atombombenüberlebenden (Ozasa et al. 2012). Die Krebsmortalität ohne Leukämie und Lymphome als absolutes Lebenszeitrisiko wird dort mit 24 % pro Sv angegeben (dort Tabelle 9). Hinzu kommen Leukämien mit etwa 2 % pro Sv (Preston et al. 1994), so dass sich insgesamt eine Risikozahl 26 % pro Sv ergibt. Das ist 4,7-mal so hoch wie die Angabe der ICRP in Tabelle 1.

Weitere Vergleiche gestatten Ergebnisse nach Bestrahlungen im Erwachsenenalter. Hierfür wird in ICRP 103 ein Wert von 4,1 % pro Sv angegeben. Ozasa et al. (2012) ermitteln hingegen für Erwachsene im Alter von 30 Jahren bei Exposition ein Risiko von 26,4 % pro Sv für solide Tumore bei den Atombombenüberlebenden. Das ist 6,4-mal so hoch wie nach ICRP.

Beide Befunde zusammengenommen zeigen, dass der Risikofaktor der ICRP das Krebsrisiko etwa um einen Faktor 5 unterschätzt.

Im Rahmen des Projektes INWORKS (International Nuclear Workers Study) wurden 308.297 überwachte Beschäftigte der Nuklearindustrie in Frankreich, U.K. und U.S.A. hinsichtlich der bei ihnen aufgetretenen Todesursachen untersucht. Beteiligt waren 9 in-

ternationale Forschungsinstitute. Für Krebsstod ergab sich ein absolutes Risiko von 48 % pro Gy (Richardson et al. 2015). Die mittlere Organdosis für den Darm (entsprechend der gewählten Referenzdosis wie bei den Atombombenüberlebenden) wurde zu 20,9 mGy bestimmt. Unter der Annahme, dass überwiegend externe Gammastrahlung wirksam war, erhält man damit einen 8,7-fach höheren Wert als ICRP. Allerdings kann eine Dosis durch Inkorporation von unbekannter Höhe vorgelegen haben, die das Ergebnis zu hoch erscheinen lässt. Andererseits ergeben etliche Vergleiche an einzelnen Krebserkrankungen aus dem Berufsmilieu mit den Atombombenüberlebenden ebenfalls um den Faktor 5-10 höhere Risiken (Mämpel et al. 2015).

Das absolute Strahlenrisiko von Kindern wird in ICRP 103 (2007) höher eingeschätzt als das von Erwachsenen, es soll aber im frühen Kindesalter höchstens dreifach höher liegen. Dieses ergäbe ein Lebenszeitrisiko für die Krebsmortalität nach ICRP von maximal 16,5 % pro Sv.

Eine sehr viel größere relative Strahlenempfindlichkeit als bisher angenommen, zeigt sich in zwei der größten Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Krebsinzidenz bei Kindern und Hintergrundstrahlung aus jüngster Zeit (Kendall et al. 2013; Spycher et al. 2015). Die Autoren der erstgenannten Studie fanden in Großbritannien einen signifikanten Anstieg der Leukämierate mit der akkumulierten Dosis in einem Bereich von 1 bis 31 mSv (mittlere Dosis 4,0 mSv). Er beträgt relativ 12 % pro mSv für Gammastrahlung. Andere Krebserkrankungen zeigten sich nicht erhöht, jedoch muss man die längeren Latenzzeiten bedenken, die für diese zu erwarten sind und während des begrenzten Kindesalters (14 J.) nicht erreicht werden.

Die zweite Untersuchung betraf 2 Millionen Personen bis zum Alter 16 Jahre in der Schweiz. Dort ist die Hintergrundstrahlung höher als in Deutschland (mittlere akkumulierte Dosis 9,1 mSv). Signifikante Erhöhungen ergaben sich außer für Leukämie (4 % pro mSv) für die Gesamtkrebsrate (3 % pro mSv) und für ZNS-Tumoren (4 % pro mSv).

In beiden Untersuchungen wird ein genetisches Risiko durch die Bestrahlung der Eltern oder Exposition in utero nicht in Rechnung gestellt, dieses wäre aber erforderlich (s. unten).

Die hohe Empfindlichkeit von Kindern bestätigt sich in einer australischen Studie über die Folgen von CT-Scans im Kindes- und Jugendalter. Mathews et al. (2013) untersuchten 680.000 Personen mit einer mittleren effektiven Dosis von 4,5 mSv und erhielten ein relatives Krebsrisiko von 5,3 % pro mSv bei einer Beobachtungszeit von im Mittel nur 9,5 Jahren. Bereits vorher hatten britische Mediziner die Folgen von Schädel-CTs bei Kindern untersucht und erhöhte Raten von Leukämie und Hirntumoren bei den Betroffenen festgestellt (Pearce et al. 2012). Zu ersterem Befund ist zu bemerken, dass sich im Kindesalter höhere Anteile des roten Knochenmarks im Schädel befinden als bei Erwachsenen.

Die genannten neueren Erkenntnisse sind in der EU-Richtlinie und im offiziellen Strahlenschutz nicht berücksichtigt worden. Sie stützen die Forderung nach einer konsequenten Minimierung von Strahlenexpositionen im Kindes- und Jugendalter.

#### 1.4 Organspezifische Grenzwerte: Haut

Die Haut galt früher als relativ unempfindlich gegenüber ionisierender Strahlung und die ICRP hat daher den Gewebewichtungsfaktor zu 0,01 angesetzt. Um gegen deterministi-

sche Effekte zu schützen, wurde ein Grenzwert für die Organ-Äquivalentdosis von 50 mSv pro Jahr für die Bevölkerung und 500 mSv pro Jahr für berufliche Exposition empfohlen. Als Referenz dienten wiederum die japanischen Atombombenüberlebenden.

Dabei wurden mögliche genetische Unterschiede zur europäischen Bevölkerung nicht beachtet. Obwohl wahrscheinlich von Bedeutung ist, dass Hautkrebs bei Menschen mit stärkerer Hautpigmentierung sehr viel seltener auftritt als bei Menschen mit heller Haut (Gloster et al. 2006).

Inzwischen hat sich gezeigt, dass neben Basaliomen und Plattenepithelkarzinomen, die wegen der guten Therapierbarkeit im System der ICRP keine Rolle spielen, auch maligne Melanome bei beruflich Exponierten und nach Röntgendiagnostik vermehrt auftreten (Mathews et al. 2013; Schmitz-Feuerhake 2014; Mämpel et al. 2015). Die Verdopplungsdosen liegen grobenteils unterhalb von 100 mSv.

Während die ICRP und die EU-Richtlinie (Artikel 9, 11, 129) die alten Empfehlungen aufrechterhalten, muss ein Organdosisgrenzwert für die Haut von 1 mSv pro Jahr für die Bevölkerung und ein Wert von 10 mSv pro Jahr für berufliche Exposition gefordert werden.

#### 1.5 Organspezifische Grenzwerte: Augenlinse

Strahleninduzierte Trübungen der Augenlinse wurden früher als deterministische Effekte angesehen. Die ICRP hat diese Auffassung in ihren Publikationen 103 und 118 aufrechterhalten, obwohl zahlreiche neuere Publikationen über Katarakte bei niedriger Dosis und mit dosisproportionaler Häufigkeit von ihr aufgeführt werden. Dennoch werden in der EU-Richtlinie die Dosisgrenzwerte nach ICRP 60 (1991) beibehalten;

- Bevölkerung: Organ-Äquivalentdosis für die Augen-

linse 15 mSv im Jahr

- Beruflich: 20 mSv in einem einzelnen Jahr oder 100 mSv in einem Fünfjahreszeitraum, wobei der Dosiswert für ein einzelnes Jahr 50 mSv nicht überschreiten darf.

Diese Bewertung ist wissenschaftlich nicht mehr haltbar, vielmehr müssen strahleninduzierte Katarakte als stochastischer Effekt aufgefasst werden (Ainsbury et al. 2009; Shore et al. 2010). Insbesondere zeigen Beobachtungen in den durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminierten Gebieten eine hohe Empfindlichkeit von Kindern (Worgul et al. 1996a), die von der ICRP nicht beachtet wird. (Angaben über abzuleitende Verdopplungsdosen siehe Mämpel et al. (2015)).

Ein Organdosisgrenzwert für die Augenlinse von 1 mSv pro Jahr für die Bevölkerung und ein Wert von 10 mSv pro Jahr für berufliche Exposition wird gefordert.

#### 1.6 Effekte nach Exposition in utero

Es ist heute anerkannter Erkenntnisstand, dass vorgeburtliche Exposition durch diagnostisches Röntgen Leukämie und andere Krebserkrankungen auslöst. ICRP 103 (2007) schätzt dieses Krebsrisiko als gleich hoch ein wie dasjenige nach Exposition im frühen Kindesalter (das wiederum etwa dreimal so hoch sein soll wie im Durchschnitt in der Bevölkerung insgesamt). Das Risiko bei Exposition in utero (Tabelle 1, Spalte 4) wird nicht gesondert berücksichtigt, sondern wird durch den Dosisgrenzwert für die Bevölkerung als hinreichend niedrig erachtet.

Entsprechend heißt es in Artikel 10 der Richtlinie: „Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass dem ungeborenen Kind ein Schutz gewährt wird, der dem Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung vergleichbar ist.“

Schon in den frühen Zeiten der Strahlenforschung war bekannt, dass zwei weitere Klassen von Schädigungen zu erwarten sind: a) das vorzeitige Absterben der Frucht in utero und eine Erhöhung der perinatalen Sterblichkeit, b) Missbildungen von Organen oder des Körperbaus und fehlerhafte Organfunktion. Die Effekte sind naturgemäß sehr stark vom Entwicklungsstadium bei Exposition abhängig. Im Tierversuch sind sie auch unterhalb von 100 mSv nachweisbar (Fritz-Niggli 1997). Signifikante Schädigungen des Zentralnervensystems bei den Atombombenüberlebenden lassen keine Aussagen über einen so hohen Dosis-schwellenwert wie 100 mSv zu (Yamasaki et al. 1990; Miller 1990). Sie äußerten sich durch geistige Behinderung und dosisproportionale Senkung der IQ-Werte. Die genannte Dosis-schwelle ist auch angesichts der Daten aus der Tschernobylforschung vollkommen unangemessen. Sie wurde in dieser Höhe erst in neuerer Zeit eingeführt (in ICRP 90 von 2003).

Nach dem Tschernobylunfall 1986 wurde in zahlreichen deutschen und internationalen Studien aufgezeigt, dass nicht nur in den Nachbarländern der zerstörten Anlage, sondern auch in weiter entfernten europäischen Staaten die Fehlbildungsraten anstiegen und die perinatale Sterblichkeit erhöht war (Busby et al. 2009; Hoffmann 2001; Körblein et al. 1997; Körblein 2003; Scherb et al. 1999; Fucic et al. 2016). Ferner zeigten sich nach Exposition im Mutterleib bei den Jugendlichen Störungen der Intelligenz, wie es nach den Befunden in Hiroshima und Nagasaki zu erwarten war (Heiervang et al. 2010). Wertelecki und Mitarbeiter (2010, 2014) fanden in den Jahren 2000-2009 – also mehr als 14 Jahre nach dem Unfall – in der Ukraine noch über 50 % erhöhte Fehlbildungsraten, und zwar in der

hochverstrahlten nördlichen Provinz Rivne. Diese werden von ihnen als in utero erzeugt aufgefasst.

In Deutschland wird an der Universitätskinderklinik Mainz ein lokales Geburtenregister über angeborene Fehlbildungen geführt. Im Auftrag des BfS erfolgte dort eine Untersuchung an strahlenexponierten Frauen. Bei deren Kindern zeigte sich eine 3,2-fach erhöhte Rate an Fehlbildungen, die die Autoren auf die Exposition während der Schwangerschaft zurückführen (Wiesel et al. 2011). Man hätte erwarten können, dass ein solches Ergebnis, das zwar nur auf 4 Fällen beruht, die aber sämtlich sehr schwerwiegend sind, zumindest zu umfangreicheren Folgeuntersuchungen geführt hätte. Das ist aber nicht der Fall. Der BUND hält diesen Befund eher für einen genetischen Effekt, in jedem Fall ist er keinesfalls kompatibel mit den Annahmen der ICRP.

Ein Downsyndrom (Trisomie 21) als genetischer Effekt kann ebenfalls in utero – kurz nach der Konzeption – durch ionisierende Strahlung induziert werden.

Die Vielfältigkeit der in utero auslösbaren Strahleneffekte erfordert einen Strahlenschutz über das Krebsrisiko hinaus. Selbst wenn die teratogenen Schädigungen nicht zu den stochastischen Effekten zu zählen sind, können diese offensichtlich durch sehr niedrige Dosen weit unterhalb von 100 mSv erzeugt werden.

Im Gegensatz zu Säuglingen, für die Grenzwerte bezüglich radioaktiver Belastungen von Nahrungsmitteln bestehen, gibt es keine entsprechenden Schutzvorschriften für Embryonen und Föten. Daher müssen Grenzwerte für Nahrungsmittel, die Schwangere zu sich nehmen, eingeführt werden.

Sobald eine schwangere Mitarbeiterin dem Arbeitgeber mitgeteilt hat, dass sie schwanger ist, muss ein Auf-

enthalt nicht nur in Kontrollbereichen, sondern auch in Überwachungsbereichen absolut ausgeschlossen werden. Die aktuell geltende Höchstdosis von 1 mSv als Uterusdosis ist in der Praxis nicht überprüfbar und kann daher den Schutz des ungeborenen Lebens nicht sicherstellen.

### 1.7 Erkrankungen bei den Nachkommen bestrahlter Eltern

Aufgrund von Forschungsergebnissen aus Tierversuchen und Beobachtungen beim Menschen muss mit folgenden Erbschäden bei den Nachkommen bestrahlter Eltern durch ionisierende Strahlung gerechnet werden:

- 1) schwerwiegende Entwicklungsstörungen (Aborte, geringes Geburtsgewicht, perinatale Sterblichkeit, früher Kindstod, Fehlbildungen, Unfruchtbarkeit, durch Chromosomen- oder Genanomalien bedingte Krankheiten wie Downsyndrom)
- 2) Krebs im Kindes- oder Erwachsenenalter
- 3) Immunschwäche und multiple Degenerationserscheinungen.

Die ICRP betrachtet ausschließlich dominante Effekte in der 1. Generation und leitet ihre Risikozahl von Experimenten an Mäusen ab. Sie behauptet, es gäbe keinen direkten wissenschaftlichen Nachweis, dass für Kinder von bestrahlten Eltern ein erhöhtes Risiko für Erbkrankheiten besteht (ICRP 2008).

Die Annahmen der ICRP und anderer offizieller Gremien, die das genetische Strahlenrisiko als äußerst gering einschätzen, beziehen sich auf Beobachtungen an den japanischen Atombombenüberlebenden und auf Studien an Nachkommen von Eltern, die sich im früheren Leben einer Strahlentherapie unterziehen mussten (ICRP 2008). In beiden Fällen lag eine Kurzzeitbestrahlung vor. Für die Mutationsentstehung in den Keim-

zellen ist jedoch der Zeitpunkt der Bestrahlung vor Konzeption von großer Bedeutung. Dies gilt besonders für die Spermatogenese.

Bei der Betrachtung des genetischen Strahlenrisikos ist es daher sehr wichtig, den Unterschied zwischen einer akuten und einer chronischen Exposition, wie sie bei Umweltkontaminationen und an Arbeitsplätzen vorliegt, zu beachten.

Die Stammzellen der Spermien in den Gonaden (Stamm-Spermatogonien) sind relativ unempfindlich gegenüber Strahlenwirkungen bzw. verfügen über gute Reparatursysteme bei Mutationen im Erbmateriale (Fritz-Niggli 1997). Bis zur Entstehung der reifen Spermien durchlaufen die Tochterzellen verschiedene Entwicklungsstadien. Aus den B-Spermatogonien, die in die Hodenkanälchen gelangen, entstehen Spermatozyten, die durch Reifeteilung in solche mit halbem Chromosomensatz übergehen (haploid). Die weiteren Tochterzellen verwandeln sich zu Spermatiden und schließlich zu reifen Spermien. Die Zeitdauer der Spermatogenese beträgt etwa 86 Tage.

Die Stadien der Spermatozyten und Spermatiden sind um ein Vielfaches strahlenempfindlicher als die Stammzellen und auch als die reifen Spermien (Fritz-Niggli 1997). Erstere kommen bei strahlentherapierten Eltern naturgemäß nicht zur Wirkung und waren auch bei den Atombombenüberlebenden wahrscheinlich nicht relevant. Hinzu kommt, dass die systematische Untersuchung der gesundheitlichen Folgen in Hiroshima erst 5 Jahre nach den Explosionen begann.

Bei chronischer Strahlenexposition von Männern werden ständig alle Stadien der Spermatogenese bestrahlt. Dadurch erklärt sich das relativ hohe Aufkommen von Fehlbildungen und anderen Geburtsfehlern in den Untersuchungen

nach Tabelle 2 und auch ein vielfach beobachtetes Auftreten in durch Tschernobylfall-out betroffenen Bevölkerungen (Lazjuk et al. 1997, 2003; Scherb et al. 2003, 2004; Schmitz-Feuerhake et al. 2016).

In der Tabelle 2 sind Studien aufgeführt, die genetische Effekte bei den Kindern bestrahlter erwachsener Männer zeigen.<sup>3</sup> Die verhältnismäßig geringe Anzahl solcher Untersuchungen resultiert daraus, dass man im offiziellen Strahlenschutz früher davon ausging, dass bei beruflich strahlenexponierten Personen innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte statistisch keine Effekte erkennbar sein würden. Deswegen wurden auch bei ihren Nachkommen keine diesbezüglichen Daten erhoben.

Beim Vergleich mit den japanischen Daten wird ein weiterer wichtiger Punkt in den offiziellen Bewertungen nicht beachtet. Die Datenerhebung in der Kohorte der Atombombenüberlebenden in Bezug auf die Nachkommen war besonders unzuverlässig, weil sie eine gesellschaftlich ausgestoßene und geächtete Population darstellten. Um die Heiratschancen ihrer Kinder nicht zu gefährden, wurde ihre Herkunft möglichst verschwiegen und die potentiellen Schädigungen wurden von vielen Eltern nicht angegeben (Yamasaki et al. 1990).

Auch mit Stammzellmutationen muss aber gerechnet werden, wie eine bislang unbeachtete Arbeit aus Deutschland zeigt (Herrmann et al. 2004). Die Autoren untersuchten 61 Kinder von 47 Paaren, bei denen ein Elternteil eine Strahlentherapie erhalten hatte, über einen Zeitraum bis zu

Tabelle 2: Angeborene Anomalien bei den Nachkommen (1.Generation) beruflich strahlenexponierter Männer

Kohorte der Väter	Art der Geburtsfehler	Dosis	Referenzen
Radiologen in den USA 1951	Angeborene Fehlbildungen Erhöhung um 20 %		Macht et al. 1955
Beschäftigte der Nuklearwaffenfabrik Hanford USA	Neuralrohrdefekte (Spina bifida, Gehirnmisbildungen u.a.) signifikant verdoppelt	im allg. < 100 mSv	Sever et al. 1988
Beschäftigte Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoff Sellafield U.K.	Totgeburten mit Neuralrohrdefekten Pro 100 mSv signifikant um 69 % erhöht	Mittelwert 30 mSv	Parker et al. 1999
Röntgentechniker in Jordanien	Erhöhung angeborener Anomalien 10-fach signifikant		Shaknatreh et al. 2001
Liquidatoren aus Obninsk (Russ.) mit 300 Kindern	Erhöhung angeborener Anomalien zwischen 1994-2002	im allg. 10-250 mSv	Tsyb et al. 2004
Liquidatoren aus Russland, Provinz Bryansk	Erhöhung angeborener Anomalien ca. 4-fach		Matveenko et al. 2005
Liquidatoren aus Russland 2379 Neugeborene im Alter bis 1 Jahr	Signifikante Erhöhung ca. um: Anenzephalie 310 % Spina bifida 316 % Lippen/Gaumenspalten 170 % Gliedmaßenverkümmern 155% Mehrfachfehlbildungen 19 % Fehlbildungen gesamt 120 %	5-250 mSv	Lyaginskaja et al. 2009

20 Jahren. Es handelte sich um Bestrahlungen mit Gonadendosen zwischen 0,01 und 2 Gy. Gegenüber dem Normalkollektiv zeigten sich eine erhöhte Frühgeburtlichkeit und eine Verzögerung der Skelettentwicklung. „2 der Kinder (3,3%) waren vor der 37. Schwangerschaftswoche mit schweren Fehlbildungen geboren worden und verstarben noch im 1. Lebensmonat (Atemnotsyndrom, Trisomie E).“ Insgesamt traten 61 leichte und schwere Entwicklungsstörungen und Fehlbildungen auf (bei einigen Kindern traten mehrfache Anomalien auf). Dazu geben die Autoren an: „Dabei fallen neben einer schweren Fehlbildung im Handbereich, eine angeborene Taubheit, eine Innenohrschwerhörigkeit sowie eine einseitige Blindheit als besondere, die Lebensqualität einschränkende Normabweichung auf.“ Insgesamt werden also mit diesen vier „schwereren Malformationen“ und den genannten beiden früh Verstorbenen mit schweren Fehlbildungen sechs klinisch schwerere oder schwere Fehlbildungen registriert, was mit einer Quote von fast 10% eine deutliche Erhöhung gegenüber normal darstellt.

Auffällig ist weiterhin, wie die Autoren ausführen, die große Anzahl von Hernien (Nabel- und Leistenbrüche) – 16 Hernien bei 13 Kindern (21,3% der Kinder waren betroffen).

In West-Berlin, welches 1986 zur Zeit der Tschernobylkatastrophe eine Art geschlossene Insel bildete, fand der Humangenetiker Sperling einen auffälligen signifikanten Anstieg von Downsyndromfällen exakt 9 Monate nach dem Reaktorunfall. In anderen kontaminierten Gegenden Deutschlands und Europas ergaben sich ebenfalls Anstiege von Downsyndrom (Sperling et al. 1987, 1991, 1994a, 1994b, 2012; Zatsepin et al. 2007).

Downsyndrom und andere kongenitale Defekte zeigten sich auch erhöht in einer frühen Studie aus dem Department für Medizinische Genetik des Kinderkrankenhauses Montreal, Kanada, über die genetischen Folgen diagnostischer Röntgenstrahlen (Cox 1964). Der Autor untersuchte die Nachkommen von Müttern, die seit 1925 im Kindesalter wegen Hüftdysplasie behandelt worden waren und deswegen mehrere Röntgenaufnahmen erhalten hatten.

Krebserkrankungen als genetischer Strahleneffekt wurden in den 1990-er Jahren heftig diskutiert, als es um Leukämien bei der britischen Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe Sellafield ging. Diese waren von Gardner und Mitarbeitern als genetischer Effekt gedeutet worden, da sich zeigte, dass die Väter der betroffenen Patienten in der Anlage gearbeitet hatten (Gardner et al. 1990). Prinzipiell waren solche Effekte aus Tierversuchen bekannt (Nomura 1982; 2006) und bereits nach beruflicher Exposition und diagnostischem Röntgen beim Menschen gefunden worden.

Statistische Erhebungen in Weißrussland und anderen hoch kontaminierten Regionen in den Anrainerstaaten von Tschernobyl haben Anstiege der Krebsmortalität bei Kindern ergeben, die Jahre nach dem Unfall geboren wurden (Yablokov 2006; Yablokov et al. 2009). Kinder von Liquidatoren litten ebenfalls vermehrt an Leukämien und anderen Krebserkrankungen (Pflugbeil et al. 2006).

Genschäden als Ursache für ein Absterben der Frucht kön-

<sup>3</sup> Als „Liquidatoren“ wurden Soldaten und andere (überwiegend junge) Männer eingesetzt, um Strahlenschutzmaßnahmen und Aufräumarbeiten am Katastrophenort vorzunehmen.

nen auch an den Geschlechtschromosomen auftreten, wobei sie hauptsächlich an dem größeren X-Chromosom zu erwarten sind. Das X-Chromosom des Mannes kann nur an die Töchter weitergegeben werden. Ein dominanter Letalfaktor dort führt zum Absterben der weiblichen Zygote. Rezessive Letalfaktoren am X-Chromosom sind wesentlich häufiger als dominante (Vogel 1969). Diese können sich auch nur bei den Töchtern auswirken. Wenn man genügend große Bevölkerungen studiert, ist dieser Effekt nachweisbar.

Ein sehr eindrucksvoller Befund wurde an Arbeitern der britischen Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe Sellafield erhoben, die in der Provinz Cumbria liegt. Das Geschlechterverhältnis bei ihren Kindern (Verhältnis männlich : weiblich) war deutlich erhöht gegenüber dem bei allen Geburten in Cumbria und stieg an mit der erhaltenen Dosis (Dickinson et al. 1996). Einen ähnlichen Effekt zeigt eine Untersuchung an männlichen Kardiologen, die Herzkatheteruntersuchungen ausführten und dadurch einer relativ hohen Röntgendosis ausgesetzt waren. Der Anteil weiblicher Nachkommen nimmt ab, je höher die Exposition der Väter war (Choi et al. 2007).

Es zeigt sich, dass bei Bestrahlung einer Gesamtbevölkerung (d.h. Frauen und Männer) ebenfalls ein Verlust an weiblichen Geburten erfolgen kann. Hagen Scherb, Kristina Voigt vom Helmholtz-Zentrum München und Mitarbeiter haben diesen Effekt an exponierten Bevölkerungsgruppen untersucht. Sie fanden signifikante Abnahmen des weiblichen Geburtenanteils an U.S.-Bewohnern nach oberirdischen Atomtests, nach Tschernobyl in Europa und in der Umgebung europäischer Nuklearanlagen (Scherb et al. 2007; 2011; 2015; 2016).

### 1.8 Nicht maligne strahleninduzierte Erkrankungen

Benigne Tumore in verschiedenen Organen und Geweben sind schon lange als Strahlenfolge aus der Strahlentherapie, nach diagnostischem Röntgen und nach Umweltkontaminationen bekannt, aber von der ICRP nie berücksichtigt worden. Besonders gefährlich sind Hirntumore (z. B. nach Zahnrontgen festgestellt). Eine Arbeitsgruppe der SSK befasst sich zurzeit mit benignen Tumoren (SSK 2016a). Der vormalige SSK-Vorsitzende W.-U. Müller bestätigte auf einem Fachgespräch Radar im Februar 2016,<sup>4</sup> dass gesicherte Daten für die Organe Schilddrüse, Hirn/Zentralnervensystem, Speicheldrüse, Darm, Ovar, Uterus und Knochen/Knorpel vorliegen und auch in anderen Geweben benigne Tumore durch ionisierende Strahlung entstehen können.

Nach dem Tschernobylunfall 1986 wurde ein Anstieg zahlreicher Nicht-Tumor-Erkrankungen beobachtet, die offensichtlich als Folge der chronischen Radioaktivitätsbelastung in den Anrainerstaaten aufgetreten sind (Yablokov et al. 2009). Diese Effekte wurden bislang von der ICRP nicht zur Kenntnis genommen, wohl aber die Tatsache, dass auch in ihrem bevorzugten Referenzkollektiv, den japanischen Atombombenüberlebenden, in neuerer Zeit etliche strahlenbedingte Krankheitsformen außer Krebs festgestellt wurden. Diese betreffen Herz/Kreislaufleiden sowie Erkrankungen des Blutes, des Atemtrakts, der Harnwege, der Leber, des Magen/Darm-Trakts und der Augen (Yamada et al. 2004; Shimizu et al. 2010; Ozasa et al. 2012). Schädigungen des Immunsystems und Entzündungsreaktionen bei niedriger Dosis wurden ebenfalls festgestellt (A-

kiyama 1995; Kusunoki et al. 2008).

Da die ICRP es aber nicht für gesichert ansah, dass diese Erkrankungen auch unterhalb von 0,5 Sv auftreten, hielt sie es vorläufig nicht für angezeigt, diese Ergebnisse in ihre Risikobetrachtungen einzubeziehen (ICRP 2008). Im Jahr 2012 hat sie sich zur Frage möglicher Wirkungsmechanismen der Strahlung im Gewebe außer der Tumorbildung geäußert und die Abhängigkeit nicht-karzinogener Effekte von der Dosisleistung untersucht. Für Katarakte und Kreislauferkrankungen kommt sie zu dem Schluss, dass die Folgen bei niedriger Dosis unabhängig von der Dosisleistung sind und daher auf irreparable „Eintreffer“-Schäden zurückzuführen sind wie bei der Krebsentstehung. Das bedeutet, dass diese Effekte eigentlich den stochastischen Schäden zuzurechnen wären. Da sie aber – angeblich – sehr selten auftreten, definiert die ICRP einen „praktischen“ Schwellenwert von 0,5 Sv für alle diese Fälle außerhalb von Krebs.

Diese Beurteilung ist für Katarakte überholt, da zahlreiche Befunde bei radioaktiv kontaminierten Bevölkerungen und Flugpersonal vorliegen (Mämpel et al. 2015). Die SSK hat sich ebenfalls von der Schwelldosis für Katarakte verabschiedet (SSK 2009).

Die Beurteilung durch die ICRP ist auch überholt für die japanischen Atombombenüberlebenden. Die Untersucher Ozasa et al. (2012) geben dosisproportionale Wirkungen an für die o.g. Krankheitsgruppen, sie erhalten ein  $ERR/Sv=0,13$  für die Mortalität an Nicht-Krebs-Erkrankungen, welches bedenklich ist, weil diese normalerweise viel häufiger auftreten als Krebs.

Bezüglich der Kreislauferkrankungen hat sich in weiten Kreisen der Fachwelt ebenfalls die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Auswirkungen

niedriger Dosen auch unterhalb von 0,5 Sv relevant sind. Im November 2012 haben Little und 26 weitere Wissenschaftler aus verschiedenen Ländern eine Übersichtsarbeit dazu veröffentlicht (Little et al. 2012). Ihr vorläufiges Ergebnis ist, dass die strahlenbedingte Mortalität an Herz-Kreislauferkrankungen etwa so hoch ist wie diejenige durch strahlenbedingten Krebs. Man kann zeigen, dass diese Einschätzung nicht konservativ ist. Außerdem müssen weitere Organkrankheiten in den Katalog der Strahlenschäden aufgenommen werden (Mämpel et al. 2015).

## 2 Begründung der Forderung VIII: Grenzwert für Radon

Radon (Rn) ist ein gasförmiges radioaktives Folgeprodukt von Radium, welches Alphastrahlung aussendet. Es befindet sich in der Atmosphäre und trägt damit zur natürlichen Strahlenbelastung des Menschen bei. Radon kann durch Kellerfundamente und Erdreich berührende Außenwände in Häuser eindringen und wird bei geschlossenen Fenstern und guter Isolierung gegenüber außen erheblich angereichert.

Nach Angaben des Bundesamts für Strahlenschutz beträgt die Konzentration des Isotops Rn-222 in Häusern in Deutschland im Mittel etwa 50 Bq pro Kubikmeter (m<sup>3</sup>) Luft und bewirkt damit eine effektive<sup>5</sup> Dosis für die Bevölkerung von ca. 0,9 mSv pro Jahr (BfS 2016), das ist etwa gleich viel wie die übrige Bestrahlung der Menschen

<sup>5</sup> Die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung werden als „effektive“ Dosis angegeben. Diese soll alle Teilkörperbestrahlungen bezüglich der Folgen vergleichbar machen. Zur Ermittlung wird die jeweilige Organdosis je nach Strahlenempfindlichkeit mit einem Organwichtungsfaktor versehen, die Summe aller so gewichteten Teilkörperdosen ergibt die effektive Dosis.

<sup>4</sup> veranstaltet vom Bundesministerium für Verteidigung

durch natürliche Quellen. Mit dem Organwichtungsfaktor von 0,12 nach ICRP bedeuten sie eine Lungendosis von 7,5 mSv pro Jahr. Die real vorkommenden Raumkonzentrationen von Radon besonders in Gegenden mit hohem Uran-gehalt im Untergrund betragen u. U. ein Vielfaches des o.g. Mittelwerts.

Anhand der Analysen in 13 epidemiologischen Studien aus Europa (Darby et al. 2005) und 7 aus Nordamerika (Krewski et al. 2005) wurde ein dosisproportionaler Zusammenhang zwischen dem Anstieg von Lungenkrebs bei den Bewohnern und der mittleren Radonkonzentration in Häusern festgestellt.

Turner und Mitarbeiter bestätigten die Befunde 2011 in einer prospektiven Studie an 820 000 Kanadiern (Turner et al. 2011). Sie fanden pro zusätzlichen 100 Bq/m<sup>3</sup> Radon in Häusern einen Anstieg für die Lungenkrebsmortalität von 15 % (Darby et al. 16 %; Krewski et al. 11 %; WHO 2009 16 %). Danach werden in Deutschland etwa 8 % des vorkommenden Lungenkrebses durch das Radon in Häusern erzeugt.

In der neuen EU-Richtlinie wird in Absatz 23 gefordert, dass die Mitgliedstaaten auf die neu bewerteten Gesundheitsgefahren reagieren und der Erkenntnis Rechnung tragen müssen, dass sich bei Rauchern das Krebsrisiko durch Radon vergrößert. Nach Absatz 22 soll die Empfehlung 90/143/Euratom als verbindlich gelten. Diese reicht aber nicht aus, da sie Referenzwerte von 400 Bq/m<sup>3</sup> (entsprechend 20 mSv effektiv pro Jahr) für Altbauten und 200 Bq/m<sup>3</sup> für zu errichtende Bauten fordert. Der BUND ist der Meinung, dass durch technische Maßnahmen auch im Altbau ein Wert von 50 Bq/m<sup>3</sup> erreichbar ist.<sup>6</sup>

### 3 Begründung der Forderung IX: Radiumgehalt in Mineral- und Trinkwasser

Für die Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser hat die WHO einen Dosisrichtwert (ICD = Individual Dose Criterion) von 0,1 mSv pro Jahr angegeben (WHO 2011).

Das BfS (2015) hat Aktivitätsmessungen in deutschen Mineralwässern vorgenommen. Die höchsten Dosiswerte wurden für Säuglinge ermittelt, für die Mineralwasser zur Zubereitung von Fertignahrung und als Trinkwasser verwendet wird. Für etwa 20 % der untersuchten Wässer errechneten sich Dosiswerte oberhalb von 0,1 mSv pro Jahr bei angenommenem Jahreskonsum von 170 Litern. Im Jahr 2003 wurde daher die Mineral- und Tafelwasserverordnung dahingehend verändert, dass der Zusatz „Geignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ auf dem Flaschenetikett nur noch dann zulässig ist, wenn die Aktivitätskonzentration von Radium-226 den Wert 125 mBq pro Liter und für Radium-228 den Wert 20 mBq pro Liter nicht überschreiten. Sind beide Nuklide enthalten, darf die Summe der Konzentrationen 100 mBq pro Liter nicht überschreiten. (Radium-228 stammt aus der Thoriumreihe.)

Wegen der oben begründeten Forderung nach Senkung der Dosisgrenzwerte müssen die zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Radium ebenfalls um den Faktor 10 gesenkt werden. Ferner müssen behördliche regelmäßige Kon-

kann durch den Einbau einer regelten Lüftungsanlage der Radongehalt dauerhaft unter 50 Bq/cbm gesenkt werden. Verbunden mit einer Wärmerückgewinnung können Wohnkomfort (Staubabscheidung, Geruchsabfuhr), Erhalt von Bausubstanz (Feuchtigkeitsabfuhr), Energieeinsparung sowie Strahlenschutz verbunden werden.

trollen auf Einhaltung stattfinden und eine Deklarationspflicht für den Radiumgehalt eingeführt werden.

### 4 Begründung der Forderung X: Wirksamkeit von Neutronen und Protonen

Die Strahlungswichtungsfaktoren  $w_R$  für Neutronen sind in ICRP 103 geändert worden. Sie sollen die Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) repräsentieren, die von der Energie der Neutronen abhängt. Für den Energiebereich  $\cdot 1 \text{ eV} - 10.000 \text{ MeV}$  wird eine kontinuierliche Funktion für  $w_R$  angegeben, die einen maximalen Wert von 20 bei 1 MeV hat und zu niedrigeren und höheren Energien hin bis auf einen Wert 2,5 sinkt. Im intermediären Energiebereich (1-10 keV) wird damit  $w_R$  auf die Hälfte abgesenkt. Insgesamt ergibt sich für alle bekannten Situationen des praktischen Strahlenschutzes mit Beteiligung von Neutronen eine Absenkung der effektiven Dosis. Zu Grunde gelegt werden die Betrachtungen über die RBW von Strahlungen in ICRP-Publikation Nr. 92 von 2003. Für Protonen wird der frühere konstante energieunabhängige Faktor  $w_R = 5$  auf den Wert 2 abgesenkt.

Zu Neutronen werden aus der experimentellen Forschung für stochastische Effekte  $w_R$ -Werte von 2-300 angegeben (Engels et al. 1998), in ICRP 92 wird über Werte bis 100 berichtet. Die hohen Werte hängen auch damit zusammen, dass etliche Forscher angeben, dass die RBW jeweils von der Dosis abhängt. Mit geringer werdender Dosis nimmt sie zu. Für Katarakte, die nach neueren Erkenntnissen zu den stochastischen Effekten gezählt werden müssen, fanden Worgul et al. (1996b) Werte von 8-16 bei 250 mGy und 250-500 bei 2 mGy für Neutronen mit einer Energie von 400 keV.

In ICRP 103 wird dennoch behauptet (auf S. 285), die

o.g. Funktion stelle eine „gute und konservative Näherung für die effektive Dosis bei den meisten Expositionsbedingungen“ dar. In ICRP 92 (2003) heißt es auf S. 83, dass die Dosis in Neutronenfeldern für Energien zwischen 50 keV und 2,5 MeV konservativ berechnet wird, aber außerhalb dieses Bereiches überschritten werden kann.

In zwei Anwendungsfeldern zeigt sich beim Menschen, dass die erstere Einschätzung nicht zutreffend sein kann. Erstens ergaben sich bei Analysen des Neutronenanteils in der Atombombenstrahlung von Hiroshima und Nagasaki, für den in der konventionellen Auswertung eine RBW von 10 verwendet wird, Werte von 100 bzw. 65 (Kellerer et al. 2006; Walsh 2013).

Zweitens wurden in zahlreichen Inzidenzstudien an Flugpersonal Strahlenschäden in Form von Krebserkrankungen beobachtet, die durch die offiziell erhobenen geringen Dosen nicht erklärbar sind. Nach Lindborg et al. (2007) und BfS (2011) wird bei ihnen annähernd die Hälfte der Dosis durch Neutronen und ihre Wechselwirkungsprodukte im Gewebe gebildet, sofern die Energiedosis nach dem Schema der ICRP gewichtet wird. Ab Flughöhen von 9 km aufwärts nimmt allerdings die Neutronendosis zugunsten der Protonendosis ab (Mares et al. 2014).

Letztere bildet jedoch ebenfalls einen bedeutsamen Beitrag. Die effektive Dosis des Flugpersonals wird derzeit vom Bundesamt für Strahlenschutz zu 2-5 mSv jährlich angegeben (BfS 2011).

Untersuchungsergebnisse aus zusammenfassenden Inzidenzstudien sind in Tabelle 3 angegeben. Aufgeführt sind hier nur signifikante Ergebnisse und das Ergebnis für Leukämie. Als Kontrollgruppe dienten jeweils die nationale Rate. Die deutlich erhöhten Risikowerte sind daher trotz des

<sup>6</sup> Neben Maßnahmen der Abdichtung von Räumen oder Fußböden



vielfach bestätigten erheblichen Healthy-Worker-Effekts bei Flugpersonal, der – im Vergleich z.B. zu den japanischen Atombombenüberlebenden – verhältnismäßig geringen Beobachtungsdauer und der zahlenmäßig kleinen Untersuchungskohorten bemerkenswert.

Die bekannteste Strahlenfolge, Leukämie, zeigt sich ebenfalls als erhöht an. Da es sich dabei um eine sehr seltene Krankheit handelt, ergab sich wahrscheinlich wegen zu geringer Fallzahlen in den zusammengefassten Studien nach Tabelle 3 kein signifikantes Ergebnis. In einer dort nicht einbezogenen dänischen Studie an männlichem Cockpit-Personal mit mehr als 5.000 Flugstunden war akute myeloische Leukämie mit 3 Fällen sogar 5-fach signifikant erhöht (Gundestrup et al. 1999). Die Gesamtkrebsrate im Vergleich zur dänischen Bevölkerung war in dieser Untersuchung signifikant um 20 % erhöht.

In einem Kollektiv von 8507 weiblichen Flugbegleiterinnen aus 4 nordischen Ländern traten 14 Fälle von Leukämie auf, was einer signifikanten Erhöhung gegenüber der Nationalrate um den Faktor 1,89 entspricht (Pukkala et al. 2002). Brustkrebs- und Melanomanstiege ergaben ähnliche Werte wie in Tabelle 1. Die mittlere Beobachtungsdauer betrug 23,6 Jahre.

Manche Autoren halten das hohe Aufkommen von Melanomen und anderen Hautkrebskrankungen bei Flugpersonal für nicht erklärbar, da die Haut (fälschlich, s. zu Forderung IV) als relativ unempfindlich gegenüber ionisierender Strahlung angesehen wird. Man muss aber bedenken, dass sich in der kosmischen Strahlung geladene Partikel befinden, die in Gewebe nur eine kurze Reichweite haben. Im Flugzeug sind das vor allem Protonen, die auf der Körperoberfläche absorbiert werden und eine höhere Haut-

Tabelle 3. Meta-Analysen über Krebserkrankungen (Inzidenz) bei Flugpersonal Auszug von Ergebnissen

Art der Erkrankung	Anzahl ausgewerteter Studien	Relatives Risiko	Vertrauensbereich
Piloten u. männliches Kabinpersonal (Buja et al. 2005)			
Alle Krebserkrankungen	3	1,67	1,15-2,45
Melanome	3	3,42	1,94-6,05
Anderer Hautkrebs	2	7,47	3,52-15,87
Non-Hodgkin-Lymphome	2	2,49	1,03-6,03
Leukämie	2	1,67	0,35-7,94
Stewardessen			
(a) Tokumaru et al. 2006	5 (a)		
(b) Buja et al. 2006	7 (b)		
Brustkrebs		1,41 (a) 1,40 (b)	1,22-1,62 1,19-1,65
Melanome		2,13 (a) 2,15 (b)	1,58-2,88 1,56-2,88

dosis erzeugen als in den übrigen Geweben, die nur von dem durchdringenden Anteil der Strahlung betroffen sind.

Ein weiterer Mehrfachbefund bei männlichem Flugpersonal ist das Auftreten erhöhter Raten von Prostatakrebs (Band et al. 1996; Buja et al. 2005; Nicholas et al. 1998; Pukkala et al. 2002; Yamane 2006). Die Strahlenempfindlichkeit der Prostata hat sich insbesondere auch nach diagnostischem Röntgen gezeigt (Myles et al. 2008). Es ist sicherlich kein Zufall, dass neben Hautkrebs die außen liegenden Organe Prostata und weibliche Brust vergleichsweise hohe Effekte zeigen, und die gemeinhin nur angegebene effektive Dosis kein geeignetes Maß für die Auswirkungen der kosmischen Strahlung auf die spezifischen Gewebe des menschlichen Körpers ist.

Rafnsson und Mitarbeiter (2005) untersuchten das Auftreten von Katarakten bei Zivillflugpiloten in einer Fall-Kontrollstudie. Als Kontrolle dienten männliche Einwohner aus Reykjavik. Das Auftreten war bei den Piloten dreifach signifikant erhöht.

Die langjährig durchgeführte deutsche Studie an Flugpersonal kann diese Erkenntnisse

nicht widerlegen, da sie die Mortalität bei Piloten im Vergleich zur übrigen Bevölkerung untersucht und damit die erfolgreich therapierten Krebserkrankungen, die nicht auf dem Totenschein vermerkt sind, auslöst (Hammer et al. 2012). Es geht bei der Frage des Strahlenrisikos für Piloten auch nicht darum, ob sie häufiger an Krebs erkranken als die Bevölkerung, sondern darum, ob eine Schädigung vorliegt, die nicht aufgetreten wäre, wenn der Betreffende diesen Beruf nicht ausgeübt hätte. Dieses genau wird in der deutschen Studie nicht untersucht.

Das Flugpersonal gehört nach ICRP 92 tatsächlich auch zu den Fällen, die durch die o.g. Aussagen über „Konservativität“ bei der Ableitung der Wichtungsfaktoren nicht gedeckt sind. Nach Abb. 4.5 (S. 79 in ICRP 2003), wo die Energiedosisrate in einem Flugzeug in Abhängigkeit von der Neutronenenergie aufgetragen ist, wird der weitaus überwiegende Teil der Dosis durch Neutronen von solchen mit höheren Energien als 2,5 MeV geliefert.

Bei Transport- und Lagerbehältern für bestrahlte Brennelemente oder hochaktive Wiederaufarbeitungsabfälle (z. B. CASTOR) liegen die

austretenden Neutronen nach Messungen des BfS überwiegend in einem sehr viel niedrigeren Energiebereich als in Flughöhen, meistens unterhalb von 2,5 MeV mit einer maximalen Häufigkeit bei ungefähr 400 keV (Börst et al. 2000). Auch die von den Atombomben auf Japan ausgesandten Neutronen wiesen überwiegend Energien unterhalb von 2,5 MeV auf (Roesch 1987). Die o.g. Ergebnisse über ihre RBW zeigen ebenfalls keine Übereinstimmung mit den Annahmen der ICRP, die daher zu weiteren drastischen Unterschätzungen der von CASTOR-Behältern ausgehenden Gesundheitsgefahren führen werden.

Eine konservative Schätzung für chronische Exposition im Niederdosisbereich muss für alle Neutronenenergien einen Wert  $w_R$  von mindestens 90 benutzen.

Die Senkung des Strahlungswichtungsfaktors um mehr als die Hälfte für alle vorkommenden Protonen im Strahlenschutz kann ebenfalls nicht überzeugen. Sie wird in ICRP 92 ausschließlich mit Werten aus dem Hochdosisbereich begründet, der für die Strahlentherapie mit Protonen von Interesse ist. Es ist aber bekannt, dass auch die RBW von Protonen mit abnehmen-

der Dosis und Dosisleistung ansteigt (Yang et al 1986; Mognato et al. 2003; Jones 2016).

## 5 Begründung der Forderung XI: Dosisfaktoren und Ausbreitungsmodelle

Wie zu den Punkten I-VII dieser Stellungnahme belegt wurde, kann kein Zweifel daran bestehen, dass der Tschernobylunfall in zahlreichen Ländern somatische und genetische Schäden erzeugt hat. Die in einer umfangreichen wissenschaftlichen Literatur niedergelegten Ergebnisse werden jedoch von der ICRP nicht als Folge von Bestrahlungen anerkannt, da sie behauptet, dass die Dosis in den entsprechenden Bevölkerungen durch den Tschernobylfall viel zu klein gewesen sei, um statistisch erkennbare Effekte zu bewirken. Sie beruft sich dabei auf Angaben des Strahlenkomitees der Vereinten Nationen (UNSCEAR 1988). Selbst in den hochverstrahlten Gegenden der Anrainerländer mit mehr als 37 kBq/m<sup>2</sup> Bodenbelastung mit Cs-137 soll sie im Mittel nicht mehr als etwa 10 mSv betragen (effektive Lebenszeitdosis). Für die Türkei und die weiter entfernten Länder Zentraleuropas soll sie unterhalb von 1,2 mSv liegen.

Zahlreiche Studien über Chromosomenaberrationen in den weißen Blutkörperchen der Bewohner solcher Gegenden, die man als „Biologische Dosimetrie“ auffassen kann, zeigen jedoch, dass die Dosen tatsächlich um den Faktor 10 bis 100 höher liegen müssen (Yablokov et al. 2009). Die biologische Dosimetrie erfasst dabei auch die Beiträge der inkorporierten radioaktiven Stoffe. So entsprachen zum Beispiel kurz nach dem Unfall gemessene Werte für dizentrische Chromosomen in Salzburg etwa 60 mSv Ganzkörperdosis, im benachbarten Berchtesgaden etwa 30 mSv (Pohl-Rüling et al. 1991; Ste-

phan et al 1993). In der größten Gruppe an untersuchten Personen aus den höchstbelasteten Gebieten von Weissrussland – 330 gesunde Erwachsene – wurde eine Aberrationsrate gemessen, die etwa 150 mSv entspricht (Domracheva et al. 2000).

Die Dosis bei Personen, die Radionuklide durch Inhalation oder Aufnahme in den Magen/Darm-Trakt (Ingestion) aufnehmen, kann nicht direkt gemessen werden. Deshalb wird mit Modellrechnungen gearbeitet, bei denen durchweg vereinfachte Annahmen gemacht werden müssen. Das UNSCEAR-Komitee hat u. a. angenommen, dass außer den Radionukliden Cs-137 und Cs-134 alle dosisrelevanten Spalt- und Brutprodukte sowie Bestandteile des Kernbrennstoffs außerhalb eines 100 km-Umkreises vom Tschernobylreaktor keine Rolle mehr spielen. Aus den gemessenen Bodenkontaminationen für diese Isotope haben sie die Dosis durch die Bodenstrahlung und durch Inhalation ermittelt.

Für die Dosis nach Inkorporation von Radionukliden hat die ICRP Stoffwechselmodelle entwickelt, die den Anteil und Verbleib des jeweiligen chemischen Elements in den verschiedenen Kompartimenten des Körpers beschreiben, damit daraus die jeweilige Organdosis berechnet werden kann. Das Ergebnis sind Dosisfaktoren in der Einheit Sv pro Bq für Inhalation und Ingestion für verschiedene Altersklassen, die nach StrlSchV verbindlich im Strahlenschutz für die Umwelt und an Arbeitsplätzen einzusetzen sind. Sie werden je nach Fragestellung einerseits als konservativ, im anderen Fall als real betrachtet, ohne dass jeweils ein wissenschaftlicher Beleg dafür vorliegt, denn die Werte werden ohne Vertrauensbereich angegeben. Dieses wurde vom BUND schon früher kritisiert (Dannheim et al. 2000).

In die Modellrechnungen gehen naturgemäß zahlreiche Parameter ein, die wiederum ohne Vertrauensbereich verwendet werden. Internationale Untersuchungen haben gezeigt, dass die Unsicherheit der Dosisfaktoren mehrere Größenordnungen betragen kann (Roy et al. 1998; Dannheim et al. 2000). Dennoch wird anhand solcher Dosisfaktoren entschieden, ob z. B. Grenzwerte eingehalten werden oder die Anerkennung einer Berufskrankheit abgelehnt werden kann.

Das gleiche grundsätzliche Problem besteht bei den vorgeschriebenen Ausbreitungsrechnungen für Radionuklide, wenn es darum geht, aus den Emissionen einer Quelle die Dosis bei den Anwohnern zu ermitteln. Bevor die o. g. Dosisfaktoren zur Anwendung kommen, müssen die Nuklidkonzentrationen am Aufenthaltsort der Personen ermittelt werden (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu §47 StrlSchV, AVV).

Die Verdünnung der luftgetragenen Radionuklide (gasförmig oder als Aerosol) erfolgt mit den Parameterwerten des Anhangs 7 der AVV. Für 6 Diffusionskategorien werden von der Emissionshöhe und von der Entfernung zur Quelle abhängige Ausbreitungsparameter angegeben, die als Mittelwerte von Experimenten, die in Jülich und Karlsruhe durchgeführt wurden, bestimmt wurden. Diese Vorgehensweise kann die Variabilität der atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen nicht annähernd korrekt abbilden.

Bei der Ausbreitungsrechnung nach AVV wird angenommen, dass

- das Gelände eben ist,
- die Emissionsrate konstant ist,
- das meteorologische Windfeld stationär und homogen ist,
- die Turbulenz stationär und homogen ist,

- die Diffusion in Transportrichtung vernachlässigbar gegenüber dem horizontalen Transport ist,
- die Schadstoffbahn einmal am Boden reflektiert wird.

Sofern das Gelände nicht eben ist, soll das durch Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.

Eine Kritik der AVV wurde von Schumacher und Hinrichsen in einem Strahlenbiologischen Gutachten vorgenommen, das das schleswig-holsteinische Energieministerium im Zusammenhang mit den Aufklärungsbemühungen um das Leukämievorkommen beim AKW Krümmel in Auftrag gegeben hatte (Hinrichsen 2001; Schumacher 2001). Zu den Ausbreitungsrechnungen wurden in der Zusammenfassung des Gutachtens folgende Feststellungen getroffen:

- „Ein gravierender Schwachpunkt des Gaußschen Modells liegt darin, dass es nur bei bestimmten orografischen Voraussetzungen Gültigkeit hat, die mehr oder minder idealisierte Bedingungen darstellen, die kaum anzutreffen sind. So können insbesondere in komplex gegliedertem Gelände oder bei Vorliegen einer komplexen Meteorologie (wie das Vorhandensein eines größeren Gewässers) Gauß-Modelle zu falschen Ergebnissen betreffend der Bestimmung der ortsabhängigen Schadstoffkonzentration in der Luft führen.“
- Ein weiteres Problem liegt in der Anwendung vereinfachter Schemata für die genannten Ausbreitungskategorien. Außerdem kann es zu einer Fehlzuordnung von Ausbreitungskategorien kommen. Ein Zusammenwirken dieser beiden Fehlerquellen kann zu signifikanten Unterschätzungen der Expositionen führen.
- Weiterhin sind Diskrepanzen zwischen theoretisch errechneten und gemessenen Werten für die Ausbreitung von Radioaktivität in Abhän-

gigkeit von der Emissionshöhe und Entfernung von der Quelle beobachtet worden. Die Anwendung von gemittelten Werten aus Langzeitausbreitungen für die Berechnung von Kurzzeitausbreitungen kann zu Verfälschungen und folglich Unterschätzungen führen. Von besonderem Interesse ist auch, was als Quasi-Langzeitausbreitung bezeichnet wird, charakterisiert durch eine Vielzahl von Kurzzeit-Emissionen (eine Stunde Dauer) über einen längeren Zeitraum, z.B. von einem Jahr, anstatt einer kontinuierlichen Emission. Die gesamte Jahresexposition aus der Summe solcher kurzen Emissionen kann den Grenzwert für Langzeitausbreitungen um einen Faktor von 5,5 höher legen, wenn ersatzweise mit Langzeitausbreitung gerechnet wird.“

Beim Normalbetrieb eines Leichtwasserreaktors, wie sie in Deutschland betrieben werden, geht man für den Luftpfad davon aus, dass die Knochenmarksdosis eines Kleinkindes oder Erwachsenen zu etwa 2 Dritteln durch äußere Gammastrahlung zustande kommt, indem die Person sich einerseits in einer radioaktiven Atmosphäre aufhält, andererseits durch im Boden abgelagerte Nuklide bestrahlt wird (Bonka 1982). Ein weiteres Drittel ergibt sich durch Ingestion, die die Person durch die aus der Luft abgelagerte Radioaktivität in der Nahrungskette erfährt. Die Inhalation der Radioaktivität gilt demgegenüber als vernachlässigbar.

Man muss also berechnen, wieviel von der Luftradioaktivität durch trockene Ablagerung (sie kann z. B. bei elementarem Jod um den Faktor 80 variieren) und durch Regen in den Boden gelangt. Des Weiteren ermittelt man die Ingestion. Dazu berechnet man die Kontaminationen der Nutzpflanzen, die in der betreffenden Region angebaut werden mit Hilfe sog. Transferfaktoren, die in der AVV aufgeführt sind. Diese geben

z.B. für den Weide-Kuh-Milchpfad an, wieviel Aktivität vom Boden in die Pflanze, von der Pflanze in die Kuh und von da in die Milch gelangt. Als weitere Faktoren gehen die tägliche Verzehrmenge und Wasseraufnahme der Kuh, Ernährungsgewohnheiten der Referenzperson usw. ein.

Die mangelnde Konservativität der Ergebnisse in den verschiedenen Zwischenschritten der Modellierung war bereits von Teufel, Franke und Steinhilber-Schwab in der früheren Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Zukünftige Kernenergie-Politik“ kritisiert worden (Teufel et al. 1980). Insbesondere hatten sie nachgewiesen, dass die Transferfaktoren Boden-Pflanze um Größenordnungen größer sein können als die damals von der SSK nach ICRP vorgeschlagenen Werte. Auch für die Transferfaktoren werden bis heute keine Vertrauensbereiche angegeben.

Dass die Modellrechnungen bei kerntechnischen Anlagen auch im Normalbetrieb nicht zutreffen können, ergibt sich aus zahlreichen Beobachtungen über Strahleneffekte in der Umgebung solcher Anlagen, es sei denn, diese gäben deutlich mehr Radioaktivität ab als genehmigt. Insbesondere sind in etlichen europäischen Ländern sowie in den USA und Japan Leukämieerkrankungen bei Kindern und Erwachsenen in der Umgebung von Atomkraftwerken und anderen Nuklearanlagen aufgetreten (Baker 2007; Gardner et al. 1990; Goldsmith 1992; Hoffmann et al. 1990, 1996, 2007; Körblein et al. 2012a; Körblein 2012b; Möhner et al. 1993; Morris et al. 1996; Pobel et al. 1997; Roman et al. 1987). Überall hieß es offiziell, die zugehörige Bevölkerungsdosis sei viel zu klein für einen Strahleneffekt.

Andere Risikofaktoren konnten jedoch nicht ausgemacht werden und die einzige Übereinstimmung besteht darin,

dass die jeweilige Anlage radioaktive Stoffe emittiert. Es ist daher wissenschaftlich unsinnig, die auf Schätzwerten ohne Vertrauensbereich basierende Dosisangabe gegen die Evidenz auszuspielen.

In Deutschland ergab sich in der sog. KiKK-Studie sogar ein signifikanter Aufwärtstrend des Leukämierisikos bei Kleinkindern der Altersgruppe 0-4 Jahre mit abnehmender Entfernung vom AKW. Untersucht wurde die Umgebung für alle AKWs zusammengekommen für den Zeitraum 1980-2003. Im 5 km-Umkreis ergab sich eine signifikante 61%-ige Erhöhung der Gesamtkrebsrate bei Kindern bis zu 5 Jahren, wobei als Kontrolle entsprechende Fälle außerhalb dieses Gebietes gewählt wurden (Spix et al. 2008).

Die Leukämierate war im 5 km-Umkreis in dieser Gruppe um 119% erhöht, das ist etwas mehr als eine Verdopplung gegenüber normal. Die Autoren und die SSK behaupten, für diesen Effekt sei eine Dosis von 2 Sv erforderlich und dies sei mehr als das Tausendfache der realen Dosis (reale Dosis demnach < 2 mSv angenommen). Die Verdopplungsdosis für Leukämie bei Kleinkindern wird jedoch selbst bei den japanischen Überlebenden nicht als so hoch eingeschätzt. Aus den Angaben über Leukämie durch natürliche Hintergrundstrahlung von Kendall et al. (2013) leitet sich eine Verdopplungsdosis von ca. 8 mSv ab. Das entspräche demnach nur mehr als dem 4-fachen der realen Dosis.

Zu den somatischen Folgen müssten aber die Beiträge der Leukämieinduktion durch vorgeburtliche und genetische Strahleninduktion addiert werden, die sich bei chronischer Exposition derzeit nicht quantifizieren lassen.

Auf jeden Fall ist es unumgänglich, mögliche Fehler der Modellrechnungen anzuer-

kennen, sowie die Tatsache, dass sich die Expositionen der Bevölkerung durch physikalische Betrachtungen nicht präzise bestimmen lassen.

## 6 Begründung der Forderung XII: Änderung der Freigaberegulation

Die Strahlenschutzverordnung sieht in § 29 vor, dass eine Freigabe von radioaktiven Stoffen erfolgen kann, wenn festgelegte Höchstwerte der Aktivitäten einzelner Radionuklide eingehalten werden. Es erfolgt eine Differenzierung nach einer uneingeschränkten Freigabe bzw. eingeschränkten Freigaben in verschiedenen Pfaden (Deponie, Müllverbrennung, Metallschmelze). Die jeweiligen Stoffe werden durch die Freigabe als nicht radioaktiv deklariert und können in Stoffströme oder die Umwelt gelangen und auf verschiedenen Pfaden Mensch und Natur Strahlendosen aussetzen. Während die ursprüngliche Freigaberegulation (vor dem Jahr 2001) sich auf geringe Mengen von Stoffen mit geringster Aktivität bezog, umfasst die Freigaberegulation der StrlSchV 2001/2011 sehr hohe Mengen von mehreren 100.000 Tonnen Material mit jährlich begrenzten Mengenabgaben (Neumann 2013).

Die EU-Richtlinie legt zwar in Anhang VII, Tabelle A Höchstwerte für die Freigabe von Materialien, die „für jede Menge und jede Art von Feststoff als Standardwerte dienen können“ fest. Diese Werte liegen in der Größenordnung der Höchstwerte für die uneingeschränkte Freigabe nach § 29 StrlSchV/Anlage III Tabelle 1. In Anhang III Ziffer 3 der EU-Richtlinie werden allgemeine Freistellungs- und Freigabekriterien etabliert, wenn „die radiologischen Risiken (...) so gering sind, dass kein Regelungsbedarf besteht“ und „die Tätigkeit als gerechtfertigt eingestuft“ wurde. In Punkt 3. d) wird die Möglichkeit einer Bewertung eröffnet, wenn die

Mengen nicht den Tabellen A und B entsprechen und – für künstliche Radionuklide – für eine Einzelperson die erwartete effektive Dosis „im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  jährlich oder weniger“ liegt. Dies bedeutet, dass über die EU-Richtlinie das „10  $\mu\text{Sv}$ -Konzept“ weitergeführt wird. Dieser Ansatz ist nicht akzeptabel:

Grundsätzlich widerspricht die Freigaberegelung den Prinzipien des Strahlenschutzes, wonach jegliche zusätzliche und vermeidbare Strahlenbelastung zu unterlassen ist (Minimierungsgebot der Strahlenschutzverordnung). In unvermeidbaren Fällen, z.B. in der medizinischen Diagnostik oder beim Flugverkehr bedarf es hierzu einer Rechtfertigung und darüber hinaus immer einer Minimierung der Strahlendosen. Diese Rechtfertigung liegt bei der Freigabe von Atommüll aus dem Abriss von Atomkraftwerken nicht vor – ein Alternativenvergleich erfolgt regelhaft nicht.

Auch gemäß dem Grundgesetz ist zum Schutz von Leben und Gesundheit jegliche Freisetzung von gesundheitsgefährdenden Stoffen so gering wie möglich zu halten. Im Falle der Freigabe haben mögliche Betroffene durch die Nicht-Deklaration keine Information über mögliche und tatsächliche Strahlendosen, so dass eine Kontrolle der Ausbreitung der radioaktiven Stoffe und passive oder aktive Schutzmaßnahmen nicht möglich sind. Durch die Art des (erlaubten) Umgangs mit freigesetztem Abfall ist eine Rückholbarkeit nicht möglich.

Die aktuellen Freigabewerte (Anlage III StrlSchV) beruhen auf zahlreichen Annahmen und Voraussetzungen, die nach den Ausführungen zu I bis VII überholt sind. Die Regelungen in der StrlSchV sowie in der EU-Richtlinie entziehen zudem die Freigabepraxis sowohl der Rechtfertigung als auch der Minimierungspflicht. Dies erfolgt durch Setzung eines Dosisrichtwertes

von 10  $\mu\text{Sv}$  pro potentiell durch Strahlung aus freigegebenen Stoffen belasteter Person im Jahr. Dieser Wert grenzt willkürlich diesen Bereich von Strahlenbelastungen durch Freigabe aus dem Regelungsbereich des Strahlenschutzes aus. Dieser Wert, der durch die IAEA und nicht durch demokratisch legitimierte Gremien vorgegeben ist, unterstellt, dass das durch diese Dosen hervorgerufene Risiko von Erkrankungen und Todesfällen hinzunehmen ist. Dies widerspricht dem Erkenntnisstand im Strahlenschutz, dass es keine untere Schwelle der Ungefährlichkeit gibt. Daher widerspricht die Freigaberegelung grundsätzlich den Zielen des Strahlenschutzes. Anstelle einer Freigabe ist eine geordnete Depositionierung mit hohen Schutzanforderungen vorzunehmen.

Bei der Ableitung der Freigabewerte nach Anlage III StrlSchV wurden in Modellberechnungen zahlreiche Annahmen unterstellt, die nicht mehr gelten, in der Praxis der Freigabe nicht vorgeschrieben sind oder nicht kontrolliert werden (können) (Neumann 2014). Die aufgrund der derzeitigen Freigaberegelung durch den Abriss von Atomkraftwerken zu erwartenden Abfallmengen sind weitaus höher als ursprünglich unterstellt wurde. Modellannahmen zur Ableitung der Freigabewerte, z.B. über erforderliche Jahres-Kapazitäten von Depo-nien oder Arbeitsmodalitäten die Strahlenbelastung aufzuteilen, werden in der Realität weder vorgeschrieben, noch eingehalten, noch kontrolliert.

Es wurden bei der Verabschiedung der StrlSchV 2001 durch das BMU auch Kriterien wirtschaftlicher Abwägung angewendet (ALARA-Prinzip). Dies widerspricht den Grundsätzen des Strahlenschutzes zur Minimierung der Strahlenbelastung (ALASTA-Prinzip). Aus diesen Gründen besteht keine belastbare, nachvollziehbare Begründung für

die Freigabewerte. Bei der Ableitung der Werte wurde sich darauf verlassen, dass ein bestimmter Freigabepfad aus einer Quelle der freizugebenden Materialien bestimmend ist. Tatsächlich muss jedoch aufgrund höherer Mengen von Abfällen, die zeitlich konzentriert durch parallelen Abriss von Anlagen anfallen, sowie durch gleichzeitige Expositionen aus mehreren Freigabepfaden mit einer Kumulierung von Strahlendosen gerechnet werden.

Die Stoffe, für die eine Freigabe nach StrlSchV vorgesehen war, sind gesondert und gegen Freisetzungen gesichert aufzubewahren. Sie können in besonders gesicherte Depo-nien oder in ein oberflächennahes Endlager verbracht werden. Auch möglich ist die Lagerung in entkernten Gebäuden des Atomkraftwerkes oder verbunkert auf dessen Gelände. Diese vier Optionen sollten gleichwertig verfolgt und geprüft werden.

## 7 Begründung der Forderung XIII: Besetzung von Fachgremien und Einrichtung unabhängiger Lehrstühle

Die ICRP besitzt weder eine fachliche noch eine demokratische Legitimation. Ihre Mitglieder rekrutieren sich vielmehr selbst (Dannheim et al. 2000). Ihre einseitig auf Anwenderinteressen ausgerichtete Denkweise erkennt man an der Tatsache, dass zahlreiche internationale Befunde über Niederdosiseffekte wie z.B. die genannten über kardiovaskuläre oder genetisch induzierte Erkrankungen ausgeblendet oder erst nach Jahrzehnten berücksichtigt werden wie die Effekte nach Röntgenexposition in utero. Die deutsche Strahlenschutzkommission repräsentiert in großer Mehrheit eine gleiche selektive Wahrnehmung. Einer wissenschaftlich seriösen Diskussion der Ergebnisse der KiKK-Studie (Kinderkrebs bei deutschen AKW) von 2007 ist sie

ausgewichen. Die realen und noch zu erwartenden Gesundheitsschäden der Reaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima werden von ihr bis heute negiert oder verharmlost, ebenso wie die Untersuchungen über Schäden durch diagnostisches Röntgen oder berufliche Exposition.

Angesichts der großen Bedeutung einer objektiven Einschätzung der Gesundheitsrisiken durch niedrige Dosen ionisierender Strahlung müssen die beauftragten Fachgremien:

- das gesamte Spektrum der relevanten Fachdisziplinen abdecken (Dosimetrie, physikalische Strahlenwirkung, biologische Strahlenwirkungen, Strahlenepidemiologie, Ethik, Risikokommunikation)
- die Unabhängigkeit ihrer Mitglieder sicherstellen. Alle Teilnehmer, insbesondere auch jene aus dem Bereich der Industrie müssen ihre Interessenkonflikte offenlegen. An Diskussionen und Entscheidungen, die direkt oder indirekt die Interessen ihrer Arbeitgeber betreffen, dürfen diese Mitglieder sich nicht beteiligen
- ihre Arbeit transparent gestalten. Vertreter von Betroffenen sind anzuhören und in Abwägungsprozesse einzubeziehen. Die Öffentlichkeit ist angemessen zu informieren und einzubeziehen
- sich regelmäßig einer externen Begutachtung stellen (Peer review)
- ihre Methoden, Verfahren und Abwägungsgründe regelmäßig vor den zuständigen staatlichen Organen offenlegen und begründen
- mit Fachgremien der einschlägigen wissenschaftlichen Fachgesellschaften in einen Dialog auf Augenhöhe eintreten sowie deren Rat berücksichtigen.

Angesichts eines eklatanten Mangels an universitärer Forschung und Lehre im Bereich einer unabhängigen Strahlen-

biologie bzw. Strahlenmedizin – angesichts auch des Umstandes, dass Wirtschaftsunternehmen zunehmend Einfluss auf Universitäten über die Finanzierung von Professuren gewinnen, sollen die Wissenschaftsministerien von Bund und Ländern die Einrichtung unabhängiger Lehrstühle an den Universitäten initiieren.

## 8 Literaturangaben

Ainsbury, E.A., Bouffler, S.D., Dörr, W. et al.: Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat. Res.* 172 (2009) 1-9

Akiyama, M.: Late effects of radiation on the human immune system: an overview of immune response among the atomic-bomb survivors. *Int. J. Radiat. Biol.* 68 (1995) 497-508

Baker, P.J., Hoel, D.G.: Meta-analysis of standardized incidence and mortality rates of childhood leukaemia in proximity to nuclear facilities. *Europ. J. Cancer Care* 16 (2007) 355-363

Band, P.R., Le, N., Fang, R. et al.: Cohort study of Air Canada pilots: mortality, cancer incidence, and leukemia risk. *Am. J. Epidemiol.* 143 (1996) 137-143

BEIR VII PHASE 2: Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Nat. Academies Press, Washington D.C. 2006, www.nap.edu

BfS Bundesamt für Strahlenschutz: Positionsbestimmung des BfS zu Grundsatzfragen des Strahlenschutzes. Leitlinien Strahlenschutz des BfS. 01.06.2005, www.bfs.de

BfS Bundesamt für Strahlenschutz Frasch, G., Kammerer, L., Karofsky, R., Schlosser, A., Spiesl, J., Stegeman, R.: Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004-2009. 2011 urn:nbn:de:0221-201108016029

BfS Bundesamt für Strahlenschutz: Natürliche Radionuklide in Mineralwässern. Informationen Stand 05.10.2015

BfS Bundesamt für Strahlenschutz: Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko. Broschüre Strahlenschutz Konkret. Stand Juli 2016. www.bfs.de

Börst, F.-M., Rimpler, A., Scheib, H.: Strahlungsmessungen

an Transport- und Lagebehältern zur Beförderung von hochaktiven Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung und von bestrahlten Brennelementen. Bundesamt für Strahlenschutz, BfS-ET-32/00, Salzgeber, Juli 2000

Bonka, H.: Strahlenexposition durch radioaktive Emission aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1982

Buja, A., Lange, J.H., Perissinotto, E. et al.: Cancer incidence among military and civil pilots and flight attendants: an analysis on published data. *Toxicol. Ind. Health* 21 (2005) 273-282

Buja, A., Mastrangelo, G., Perissinotto, E. et al.: Cancer incidence among female flight attendants: a meta-analysis of published data. *J. Womens Health* 15 (2006) 98-105

Busby, C., Lengfelder, E., Pflugbeil, S., Schmitz-Feuerhake, I.: The evidence of radiation effects in embryos and fetuses exposed to Chernobyl fallout and the question of dose response. *Medicine, Conflict and Survival* 25 (2009) 20-40

Cox, D.W.: An investigation of possible genetic damage in the offspring of women receiving multiple diagnostic pelvic X-rays. *Am J Human Genetics* 16 (1964) 214-230

Choi, J.W., Mehrotra, P., MacDonald, L.A. et al.: Sex proportion of offspring and exposure to radiation in male invasive cardiologists. *Proc. (Bayl. Univ. Med. Cent.)* 20 (2007) 231-234

Dannheim, B., Franke, B., Hirsch, H., Hoffmann, W., Köhlein, W., Kuni, H., Neumann, W., Schmitz-Feuerhake, I., Zahrt, A.: Strahlengefahr für Mensch und Umwelt. Bewertungen der Anpassung der deutschen Strahlenschutzverordnung an die Forderungen der EU-Richtlinie 96/29/Euratom. Berichte des Otto Hug Strahleninstituts Nr. 21-22, 2000, 118 S.

Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros, J.M. et al.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Brit. Med. J.* 2005 Jan.29; 330 (7485) 223-228

Dickinson, H.O., Parker, I., Binks, K., Wakeford, R., Smith, J.: The sex ratio of children in relation to paternal preconceptional radiation dose: a study in Cumbria, northern England. *J. Epi-*

*demiol. Community Health* 50 (1996) 645-652

Domracheva, E.V., Aseeva, E.A., Obukhova, T.N. et al.: Cytogenetic features of leukaemias diagnosed in residents of areas contaminated after the Chernobyl nuclear accident. *Appl. Radiat. Is.* 53 (2000) 1171-1177

Engels, H., Wambersie, A.: Relative biological effectiveness of neutrons for cancer induction and other late effects: a review of radiobiological data. *Recent Results Cancer Res.* 150 (1998) 54-87

Fritz-Niggli, Hedi (1997): Strahlengefährdung/Strahlenschutz. Ein Leitfaden für die Praxis. Verlag Hans Huber, Bern

Fucic, A., Aghajanyan, A., Druzhinin, V. et al.: Follow-up studies on genome damage in children after Chernobyl nuclear power plant accident. *Arch. Toxicol. Online*: 22 June 2016 DOI 10.1007/s00204-016-1766-z

Gardner, M.J., Snee, M.P., Hall, A.J. et al.: Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Brit. Med. J.* 300 (1990) 423-429

Gloster, H.M., Neal, K.: Skin cancer in skin of color. *J. Am. Acad. Dermatol.* 55 (2006) 741-760

Goldsmith, J.R.: Nuclear installations and childhood cancer in the UK: mortality and incidence for 0-9-year-old children, 1971-1980. *Sci. Total Environment* 127 (1992) 13-35

Gundestrup, M., Storm, H.H.: Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: a population-based cohort study. *Lancet* 354(9195) (1999) 2029-2031

Hammer, G.P., Blettner, M., Langner, I., Zeeb, H.: Cosmic radiation and mortality from cancer among male German airline pilots: extended cohort follow-up. *Eur. J. Epidemiol.* 27 (2012) 419-429

Heiervang, K.S., Mednick, S., Sundet, K., Rund, B.R.: The Chernobyl accident and cognitive functioning: a study of Norwegian adolescents exposed in utero. *Dev. Neuropsychol.* 35 (2010) 643-655

Herrmann, T., Thiede, G., Trott, K.-R., Voigtman, L.: Nachkommen präkonzeptionell bestrahlter Eltern. Abschlussbe-

richt einer Longitudinalstudie 1976-1994 und Empfehlungen zur Patientenberatung. *Strahlentherapie und Onkologie* 180 (2004) 21-30

Hinrichsen, K. (2001): Kritische Würdigung der meteorologischen Basis im Zusammenhang mit den AVV, Anhang D in s. Stevenson.

Hoffmann, W., Kuni, H., Artmann, S. et al.: Leukämiefälle in Birkenfeld und Umgebung. Eine erste Bestandsaufnahme. In: Köhlein, W., Kuni, H., Schmitz-Feuerhake, I. (Eds.), *Niedrigdosisstrahlung und Gesundheit*. Berlin, Springer Verlag 1990, 127-135

Hoffmann, W., Kuni, H., Ziggel, H.: Leukaemia and lymphoma mortality in the vicinity of nuclear power stations in Japan 1973-1987. *J. Radiol. Prot.* 16 (1996) 213-215

Hoffmann, W.: Fallout from Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Arch Environ Health* 56 (2001) 478-484

Hoffmann, W., Terschüren, C., Richardson, D.B.: Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishments near Hamburg, Germany. *Environ. Health Persp.* 117 (2007) 947-952

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: Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. *Annals of the ICRP* 33 (2003) No.1-2

ICRP, International Commission on Radiological Protection: Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (wR). 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)

ICRP, International Commission on Radiological Protection: Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures. ICRP -Publication 116, Ann.

ICRP 40 Nos. 2-5 (2010)

ICRP, International Commission on Radiological Protection: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP-Publication 118, Ann. ICRP 41 (2012) Nos. 1-2

ICRP, International Commission on Radiological Protection: Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP-Publication 119, Ann. ICRP 41 Suppl. 1 (2012) 1-130

Jones, B.: Why RBE must be a variable and not a constant in proton therapy. *Br. J. Radiol.* 89 (2016) doi:10.1259/bjr.20160116

Kellerer, A.M., Rühm, W., Walsh, L. Indications of the neutron effect contribution in the solid cancer data of the Abomb survivors. *Health Phys.* 90 (2006) 554-564

Kendall, G.M., Little, M.P., Wakeford, R., Bunch, K.J., Miles, J.C., Vincent, T.J., Meara, J.R., Murphy, M.F.: A recordbased case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980-2006. *Leukemia* 27 (2013) 3-9

Körblein, A., Küchenhoff, H. (1997): Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident, *Rad. Environ. Biophys.* 36: 3-7

Körblein A: Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus. *Radiats Biol Radioecol* 2003, 43(2),197-202

Körblein, A., Fairlie, I.: French geocap study confirms increased leukemia risks in young children near nuclear power plants. *Int. J. Cancer* 131 (2012)a 2970-2971

Körblein, A.: CANUPIS study strengthens evidence of increased leukaemia rates near nuclear power plants. *Int. J. Epidemiol.* 41 (2012)b 318-319

Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M. et al.: Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiol.* 16 (2005) 137-145

Kusunoki, Y., Hayashi, T.: Long-lasting alterations of the immune system by ionizing radiation exposure: Implications for disease development among atomic bomb survivors. *Int. J.*

*Radiat. Biol.* 84 (2008) 1-14

Lazjuk GI, Nikolaev DL, Novikova IV (1997) Changes in registered congenital anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident. *Stem Cells* 15, Suppl 2:255-260

Lazjuk, G., Verger, P., Gagnière, B. et al.: The congenital anomalies registry in Belarus: a tool for assessing the public health impact of the Chernobyl accident. *Reprod. Toxicol.* 17 (2003) 659-666

Lindborg, L., Beck, P., Bottonier-Depois, J.F. et al.: Determinations of H\*(10) and its dose components onboard aircraft. *Radiat. Prot. Dosimetry* 126 (2007) 577-580

Little, M.P. und 26 Autoren: Systematic review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks. *Environ Health Perspect.* 120 (2012) 1503-1511

Lyaginskaja, A.M., Tukov, A.R., Osipov, V.A. et al.: Congenital malformations at posterity of the liquidators of the consequences from Chernobyl accident. *Radiazionnaya Biologiya* 49 (2009) 694-702 (Russ.)

Macht, S., Lawrence, P.: National Survey of congenital malformations resulting from exposure to Roentgen radiation. *Am. J. Roentgenol.* 73 (1955) 442-466

Mämpel, W., Pflugbeil, S., Schmitz, R., Schmitz-Feuerhake, I.: Unterschätzte Gesundheitsgefahren durch Radioaktivität am Beispiel der Radarsoldaten. *Berichte des Otto Hug Strahleninstituts, Bericht Nr. 25* (2015) Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. www.strahlenschutz-gesellschaft.de

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

Mathews, J.D., Forsyth, A.V., Brady, Z. et al.: Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *Brit. Med. J.* 346 (2013) f2360

Matveenko, E.G., Borovykova, M.P., Davidov, G.A. (2005): Physical characteristics and primary morbidity in liquidator's children. *Konferenzproceed. "Chernobyl 20 Years After"*, zitiert nach Yablokow 2009, S. 148

Miller, R.W.: Effects of prena-

tal exposure to ionizing radiation. *Health Physics* 59 (1990) 57-61

Mognato, M., Bortoletto, E., Ferraro, P. et al.: Genetic damage induced by in vitro irradiation of human G0 lymphocytes with low-energy protons (28 keV/microm): HPRT mutations and chromosome aberrations. *Radiat. Res.* 160 (2003) 52-60

Möhner, M., Stabenow, R.: Childhood malignancies around nuclear installations in the former GDR. *Medizinische Forschung* 6 (1993) 59-67

Morris, M.S., Knorr, R.S.: Adult leukemia and proximity-based surrogates for exposure to Pilgrim plant's nuclear emissions. *Arch. Environ. Health* 51 (1996) 266-274

Myles, P., Evans, S., Lophatananon, A., Dimitropoulou, P. et al.: Diagnostic radiation procedures and risk of prostate cancer. *Brit. J. Cancer* 98 (2008) 1852-1856

Neumann, Werner: Bis zu 1000faches Strahlenrisiko bei der Freigabe von Atommüll aus dem Abriss von Atomkraftwerken. *Strahlentelex* Nr. 662-663 v. 7.08.2014, 1-8, [http://www.strahlentelex.de/Stx\\_14\\_662-663\\_S01-08.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_14_662-663_S01-08.pdf)

Neumann, Wolfgang: Stellungnahme zu Defiziten der Regelungen zu Freigaben radioaktiver Stoffe, i.A. des BUND, intac Hannover 2013

[http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/atomkraft/140716\\_bund\\_atomkraft\\_freimessung\\_studie.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/atomkraft/140716_bund_atomkraft_freimessung_studie.pdf)

Nicholas, J.S., Lackland, D.T., Dosemeci, M. et al.: Mortality among US commercial pilots and navigators. *J. Occup. Environ. Med.* 40 (1998) 980-985

Nomura T.: Parental exposure to X-rays and chemicals induces heritable tumours and anomalies in mice *Nature* 296 (1982), S. 575-7

Nomura, T.: Transgenerational effects of radiation and chemicals in mice and humans. *J. Radiat. Res.* 47, Suppl. (2006) B83-B97

Ozasa, K., Shimizu, Y., Suyama, A. et al.: Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat Res.* 177 (2012) 229-43

Parker, L., Pearce, M.S., Dickinson, H.O. et al.: Stillbirths among offspring of male radiation workers at Sellafield nuclear

reprocessing plant. *Lancet* 354 (1999) 1407-1414

Pearce, M.S., Salotti, J.A., Little, M.P. et al.: Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumors: a retrospective cohort study. *Lancet* 380 (2012) 499-505

Pflugbeil, S., Paulitz, H., Claßen, A., Schmitz-Feuerhake, I.: Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl. 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe. In IPPNW, Ges. f. Strahlenschutz e.V. Berlin, April 2006, 76 S.

Pobel, D., Viel, J.-F.: Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reactor reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *Br. Med. J.* 314 (1997) 101-106

Pohl-Rüling, J., Haas, O., Brogger, A. et al.: The effect on lymphocyte chromosomes of additional burden due to fallout in Salzburg (Austria) from the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 262 (1991) 209-217

Preston, D.L., Kusumi, S., Tomonaga, M. et al.: Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat. Res.* 137 (1994), S68-S97

Pukkala, E., Aspholm, R., Auvinen, A. et al.: Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *Brit. Med. J.* 325 (2002) 1-5

Rafnsson, V., Olafsdottir, E., Hrafnkelsson, J. et al.: Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots. *Arch. Ophthalmol.* 123, 2005, 1102-1105

Richardson, D.B., Cardis, E., Daniels, R.D. et al.: Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ* 351 (2015)

Roesch, W.C. (Ed.): Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. Final Report, Vol.1, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima 1987

Roman, E., Beral, V., Carpenter, L. et al.: Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire district health authorities in relation to nuclear establishments

in the vicinity. *Brit. Med. J.* 294 (1987) 597-602

Roy, M. A.: Reliability of dose coefficients calculated with the respiratory tract model of the ICRP. *Radiat. Prot. Dos.* 79 (1998) 237-240

Scherb, H., Weigelt, E., Brüske-Hohlfeld, I.: European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident. *Int J Epidemiol* 28 (1999) 932-940

Scherb, H., Weigelt, E.: Congenital malformation and stillbirth in Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Environ. Sci.&Pollut. Res.* 10, Special (1) (2003) 117-125

Scherb, H., Weigelt, E.: Spaltgeburtenrate in Bayern vor und nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 8 (2004) 106-110

Scherb, H., Voigt, K.: Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. *Reprod Toxicol* 23 (2007) 593-599

Scherb, H., Voigt, K.: The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 18 (2011) 697-707

Scherb, H., Voigt, K., Kusmierz, R.: Ionizing radiation and the human gender proportion at birth – A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data. *Early Hum. Dev.* 91 (2015) 841-850

Scherb, H., Kusmierz, R., Voigt, K.: Human sex ratio at birth and residential proximity to nuclear facilities in France. *Reprod. Toxicol.* 60 (2016) 104-111

Schmitz-Feuerhake: Ionisierende Strahlung und Hautkrebs. *Strahlentelex* Nr. 658-659 v. 5.06.2014, 1-7

Schmitz-Feuerhake, I., Busby, C., Pflugbeil, S.: Genetic radiation risks – a neglected topic in the low dose debate. *Environ. Health Toxicol* 31 (2016) Article ID: e2016001, 13 p. <http://dx.doi.org/10.5620/eh.t.e2016001>

Schumacher, O. (2001): Zuverlässigkeit der AVV hinsichtlich der Emissionsausbreitungsberechnungen und Dosierermittlung, Anhang C1 in s. Stevenson

Sever, L.E., Gilbert, E.S., Hessol, N.A., McIntyre, J.M.: A case-control study of congenital

malformations and occupational exposure to low-level ionizing radiation. *Am. J. Epidemiol.* 127 (1988) 226-242

Shaknatreh, F.M.: Reproductive health of male radiographers. *Saudi Med. J.* 22 (2001) 150-152

Shimizu, Y., Kodama, K., Nishi, N. et al.: Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003. *BMJ* (2010) 340:b5349

Shore, R.E., Neriishi, K., Nakshima, E.: Epidemiological studies of cataract risk at low to moderate radiation doses: (not) seeing is believing. *Radiat. Res.* 174 (2010) 889-894

Sperling, K. et al: Gemeinschaftsstudie zur saisonalen und regionalen Häufigkeit pränatal diagnostizierter Chromosomenanomalien für die Bundesrepublik Deutschland einschl. Berlins im Jahre 1986. *Ann. Univ. Sarah. Med. Suppl.* 7 (1987) 307-313

Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Schulzke, I., Struck, E.: Frequency of trisomy 21 in Germany before and after the Chernobyl accident. *Biomed. Pharmacother.* 45 (1991) 255-262

Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Dörries, A., Grüters, A., Mikkelsen, M.: Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: temporal correlation or causal relation? *Brit. Med. J.* 309 (1994a) 1299

Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Dörries, A., Grüters, A., Mikkelsen, M.: Bewertung eines Trisomie 21 Clusters. *Med. Genetik* 6 (1994b) 378-385

Sperling, K., Neitzel, H., Scherb, H.: Evidence for an increase in trisomy 21 (Down syndrome) in Europe after the Chernobyl reactor accident. *Genet. Epidemiol.* 36 (2012) 48-55

Spix, C., Schmiedel, S., Kaatsch, P., Schulze-Rath, R., Blettner, M.: Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980-2003. *Eur. J. Cancer* 44 (2008) 275-284

Spycher, B.D., Lupatsch, E.L., Zwahlen, M. et al.: Background Ionizing Radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study. *Environ Health Persp.* 123 (2015) 622-828

SSK Strahlenschutzkommission: Strahleninduzierte Katarakte. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission mit wissen-

schaftlicher Begründung. Bonn 14.5.2009, [www.ssk.de](http://www.ssk.de)

SSK Strahlenschutzkommission: Krebsrisiko durch mehrjährige Expositionen mit Dosen im Bereich des Grenzwerts für die Berufslebensdosis nach § 56 StrlSchV. Empfehlung der SSK vom 20.04.07, *Bundesanzeiger* Nr. 183a vom 28.09.2007

SSK Strahlenschutzkommission: Jahresbericht der Strahlenschutzkommission 2015. Bonn, Febr. 2016, [www.ssk.de](http://www.ssk.de) (a)

SSK Strahlenschutzkommission: Dosis- und Dosisleistungseffektivitätsfaktor (DDREF) Empfehlung der SSK vom 13.02.2014, *Bundesanzeiger* am 03.05.2016 (b)

Stephan, G., Oestreicher, U.: Chromosome investigation of individuals living in areas of southern Germany contaminated by fallout from the Chernobyl reactor accident. *Mutat. Res.* 319 (1993) 189-196

Stevenson, A.F.G. (2001), Institut für Toxikologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: Strahlenbiologisches Gutachten zur Ermittlung des Standes wissenschaftlicher Erkenntnisse und der Verlässlichkeit der Strahlenschutzbestimmungen unter besonderer Berücksichtigung der Belastung durch Radioaktivität in der Umgebung von Kernkraftwerken und zur Frage der Strahleninduktion kindlicher Leukämien, durchgeführt im Auftrag des Ministeriums für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.

Straume, T.: High-energy gamma rays in Hiroshima and Nagasaki: implications for risk and wR. *Health Physics* 69 (1995) 954-956

Teufel, D., Franke, B., Steinhilber-Schwab, B. (Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU, Heidelberg): Stellungnahme zum Fragenkatalog „Strahlenrisiko“ (Antworten und Fragen 3 bis 5 des Fragenkatalogs der Enquete-Kommission), Vorlage II/K/22, Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“, Bonn, 6. Mai 1980

Tokumaru, O., Haruki, K., Bacal, K. et al.: Incidence of cancer among female flight attendants a meta-analysis. *J. Travel Med.* 13 (2006) 127-132

Tsyb, A.F., Souchkevitch, G.N., Lyasko, L.I. et al.: General characterization of health in the first-

generation offspring born to liquidators of the Chernobyl NPP accident consequences. *Int. Journal of Radiation Medicine (Kiev)* 2004, 6(1-4) 116-121

Turner, M.C., Krewski, D., Chen, Y. et al.: Radon and lung cancer in the American Cancer Society cohort. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 20 (2011) 438-448

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York 1988

UVP-Gesellschaft e.V., AG Menschliche Gesundheit (Herausg.): Leitlinien Schutzgut Menschliche Gesundheit. Kap.5.5.1. S. 111-122. Selbstverlag UVP-Ges., 1. Aufl. Juni 2014

Vogel, Friedrich et al. (1969): *Strahlen-genetik der Säuger*. Band 1. Fortschritte der allg. und klinischen Humangenetik. Herausgeber E. Becker et al., Georg Thieme Verlag Stuttgart

Walsh, L.: Neutron relative biological effectiveness for solid cancer incidence in the Japanese A-bomb survivors: an analysis considering the degree of independent effects from  $\gamma$ -ray and neutron absorbed doses with hierarchical partitioning. *Radiat. Environ. Biophys.* 52 (2013) 29-36

Wertelecki, W.: Malformations in a Chernobyl-impacted region. *Pediatrics* 125 (2010) 836-843

Wertelecki, W., Yevtushok, L., Zymak-Zakutnia, N. et al.: Blastopathies and microcephaly in a Chernobyl impacted region of Ukraine. *Congenital Anomalies* 54 (2014) 125-149

WHO, World Health Organisation: Radon and cancer. Fact Sheet No. 291, Geneva Sept. 2009

WHO, World Health Organisation: Guidelines for drinking-water quality. 4th Edition, Geneva 2011

WHO, World Health Organisation: Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. Febr. 28, 2013, p.32

[www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/fukushima\\_report/en/in dex.html](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_report/en/in dex.html)

Wiesel, A., Spix, C., Mergenthaler, A., Queißer-Luft, A.: Maternal occupational exposure

to ionizing radiation and birth defects. *Radiat. Environ. Biophys.* 50 (2011) 325-328

Worgul, B.V., Kundiev, Y., Likhtarev, I. et al.: Use of subjective and nonsubjective methodologies to evaluate lens radiation damage in exposed populations - an overview. *Radiat. Environ. Biophys.* 35 (1996)a 137-144

Worgul, B.V., Medvedovsky, C., Huang, Y. et al.: Quantitative assessment of the cataractogenic potential of very low doses of neutrons. *Radiat. Res.* 145 (1996)

b 343-349

Yablokov, A.V.: The Chernobyl catastrophe - 20 years later. In C.C. Busby, A.V. Yablokov (Eds.), *European Committee on Radiation Risk ECRR, Chernobyl: 20 Years on. Green Audit, 2006, www.euradcom.org*

Yablokov, A.V., Nesterenko, V.B., Nesterenko, A.V.: Chernobyl. Consequences of the catastrophe for people and environment. *Ann. New York Acad. Sci.* 1181 (2009) 327 Seiten

Yamada, M., Wong, F.L., Fu-

jiwara, S., Akahoshi, M., Susuki, G.: Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998. *Radiat. Res.* 161 (2004) 622-632

Yamane G.K.: Cancer incidence in the U.S. Air Force: 1989-2002. *Aviation, Space, Environ. Med.* 77 (2006) 789-794

Yamasaki, J.N., Schull, W.J.: Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the Atomic bomb. Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. *JAMA* 264 (1990) 605-609

Yang, T.C.-H., Craise, L.M., Mei, M.-T., Tobias, C.A.: Dose protraction studies with low- and high-LET radiations on neoplastic cell transformation in vitro. *Adv. Space Res.* 6 (1986) 137-147

Zatsepin, I., Verger, P., Robert-Gnansia, E. et al.: Down syndrome time-clustering in January 1987 in Belarus: link with the Chernobyl accident? *Reprod. Toxicol.* 24 (2007) 289-295 ●

## Nachruf

# Steve Wing

3. Okt. 1952 – 9. Nov. 2016

Am 28.3. 1979 geriet der Atomreaktor Three Mile Island bei Harrisburg, Pennsylvania (USA), nach einem Kühlmittelverlust außer Kontrolle. Im Reaktorkern kam es zu einer partiellen Kernschmelze und der Freisetzung großer Mengen von gasförmigen Radionukliden. Die Bevölkerung war besorgt, aber die Behörden wiegelten ab – die Strahlendosis für Menschen in der Umgebung des Reaktor habe weniger als eine Röntgenaufnahme des Thorax betragen – gesundheitliche Folgen seien deshalb ausgeschlossen. Anfang der 1990er Jahre wurden dennoch erhöhte Krebsraten bei Kindern und Jugendlichen in der Umgebung des havarierten Reaktors beobachtet. Die Autoren schlossen einen Zusammenhang mit der Atomkatastrophe jedoch aus, weil die Strahlenexposition zu gering gewesen sei. Steve Wing und seine Koautoren David Richardson, Dana Armstrong und Douglas Crawford-Brown zeigten 1997, dass die Krebshäufigkeit im Nahbereich um den havarierten Reaktor stark mit der Verteilung der Radionuklide korrelierte, die anhand der lokalen Wetterbedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls berechnet werden konnte. Andere Ursachen konnten nicht gefunden werden – auch nicht in den unsachlichen,

teilweise wütenden Leserbriefen, die nach seiner Veröffentlichung in einem der renommiertesten Fachjournals dort eingingen. Steve's Antwort vor fast 20 Jahren war überschieden: *Collision of evidence and assumptions*. Steve's Position war klar – sein Beitrag war *evidence*.

Steve forschte lange Jahre zu Gesundheitsrisiken von Beschäftigten des Manhattan Project, und anderen Daten aus den Einrichtungen des US-amerikanischen Dept. of Energy – dem militärisch-industriellen Komplex der Atomenergie. Er verbesserte die Methoden der Kohortenanalyse bei Beschäftigten, untersuchte Unterschiede des Strahlenrisikos zwischen Älteren und Jüngeren, Beschäftigten und in der Allgemeinbevölkerung. Viele seiner Artikel hatten methodische Schwerpunkte – im Kern ging es immer um die *evidence*. Strahlenbelastung durch die Atomwirtschaft ist ein Risiko für die Gesundheit der Menschen – unabhängig davon, ob sie zur Energiegewinnung oder zum Bau der Atombomben genutzt wird. Seine Arbeit im *Journal of the American Medical Association (JAMA)* war 1991 ein Durchbruch in der Epidemiologie niedriger Strahlendosen. Nicht nur, dass ein Artikel zu gesundheitlichen Wirkungen niedriger Strahlendosen in einem mainstream Journal erschien – er konnte auch zeigen, dass ein erhöhtes Krebsrisiko unmittelbar epidemiologisch be-

obachtet werden kann. Und quantitativ war dieses Risiko in einer gut charakterisierten Kohorte beruflich Strahlenexponierter pro Dosis deutlich höher als bei den Überlebenden der Atombombenangriffe auf Hiroshima und Nagasaki – die bis dahin als Referenz gegolten hatten.

Steve war beeindruckt und inspiriert von Alice Stewart, die später den Alternativen Nobelpreis erhielt. Und sie war beeindruckt von ihm, weil er so konsequent analytisch, methodisch, beharrlich, mutig und unbestechlich war wie sie selbst.



**Steven Bennett Wing**

\*3. Okt. 1952 + 9. Nov. 2016

Ich habe Steve Wing das erste Mal persönlich getroffen, als ich mich im Jahr 1993 für das Master of Public Health (MPH) Programm in der University of North Carolina at Chapel Hill (UNC) bewarb.

Ich kannte ihn aus Publikationen zum Gesundheitsrisiko niedriger Strahlendosen, und er war die Empfehlung von Inge Schmitz-Feuerhake, die mich bis kurz vorher gemeinsam mit Horst Kuni als Doktorand betreut hatte. Als ich 1995 bei Steve mit meinem MPH-Studium anfang, stand die UNC im US-Ranking der besten Universitäten gemeinsam mit Harvard auf Platz 1 und hieß noch School of Public Health. Viel später wurde sie umbenannt in Gillings School of Global Public Health – nach einer größeren Spende einer Firma, die mit klinischen Studien u.a. in Entwicklungsländern viel Geld verdient hatte. Steve war entsetzt und alarmiert, engagierte sich gegen diese Vereinnahmung der akademischen Einrichtung durch *corporate interests*. Unter der Überschrift „*Getting UNC in line*“ schrieb er am 26. Jan. 2015 in einem beißend ironischen Beitrag: „(...) *There are far too many buildings and schools in the UNC system that have not been named for wealthy individuals and companies.*“ Und weiter: „(...) *funding UNC through wealthy donors helps protect the university from the influence of elected officials who control tax dollars.*“

Steve war ein begnadeter Lehrer, engagierter Betreuer, kritischer Denker – auf der Suche nach dem Kern, dem *reason* und *purpose of Public Health* – Epidemiologie war für ihn die Wissenschaft für die Betroffenen, *the science*



## ERRATA

**Betr.: BUND-Stellungnahme zum Entwurf des Strahlenschutzgesetzes**

Berlin 21.10.2016

**Strahlentelex Nr. 718-719 vom Dezember 2016, S.2 ff**

Im Abschnitt 1.3 „Krebsmortalität“ wurde für das Strahlenrisiko für solide Tumoren bei den japanischen Atombombenüberlebenden ein Wert von 24 % pro Sv angegeben, der aus Daten von Ozasa et al. (2012), Tabelle 9, folgen soll. Diese Angabe ist falsch, ebenso der Wert von 26,4 % pro Sv für Personen bei Exposition im Alter von 30 J. Die zitierten Autoren geben kein absolutes Strahlenrisiko für die Kohorte aller Altersklassen an.

Nach Tabelle 9 von Ozasa et al. wurden in den Dosisgruppen 0,005 Gy bis 2+ Gy durch Strahlung 525 Tote erzeugt (Spalte 5). Die Anzahl sämtlicher Todesfälle in der Kohorte ergibt sich annähernd aus der Summe der Krebstodesfälle (6.308) und der Todesfälle durch Nicht-Krebserkrankungen (19.779) zu 26.087. Damit erhält man eine Rate von  $525/26.087 = 0,0201$  an strahlenbedingten Krebstoten. Für die Kohorte wird eine mittlere Dosis von 0,2 Gy angegeben (Seite 236). Somit erhält man ein absolutes Strahlenrisiko für solide Tumoren von 10,1 % pro Gy. Die Einheit Gy ist in der Arbeit mit Sv gleichzusetzen, da für Neutronen eine RBE von 10 eingesetzt wird (Seite 231). Zusammen mit den 2 % pro Sv für Leukämie erhält man somit 12 % pro Sv, wie es in etwa der Angabe der ICRP entspricht, die ja noch den DDREF=2 verwendet.

Ozasa et al. weisen aber darauf hin, dass die Werte für das ERR/Sv im Dosisbereich unterhalb von 100 mSv sehr viel höher liegen als der linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung

entspricht. Um diesen Dosisbereich geht es eigentlich in der Strahlenschutzgesetzgebung. Während für die lineare Approximation ein  $ERR/Sv = 0,42$  erhalten wird, betragen nach Fig.5 die Werte für 40 mSv 1,7 und für 30 mSv 1,8, also bis zum 4-fachen des linear ermittelten Wertes. Das gilt dann auch für das absolute Strahlenrisiko, das zum  $ERR/Sv$  proportional ist.

Die Autoren haben für diese Steigerung keine Erklärung. Von der ICRP muss aber verlangt werden, dass sie konservativ vorgeht. Die von uns behauptete Unterschätzung des Risikos für Krebsmortalität durch die ICRP um mindestens den Faktor 5 ist somit auch durch die Daten von Ozasa et al. begründbar.

Für die Autoren:

Inge Schmitz-Feuerhake ●