

Überholte Konzepte im neuen Strahlenschutzgesetz

Stand der Erkenntnis über Niederdosiseffekte beim Menschen

Inge Schmitz-Feuerhake, Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.
ingesf@uni-bremen.de

Der Strahlenschutz für beruflich Strahlenexponierte und das ungeborene Leben ist unzureichend. Nach Fukushima (2011) hat das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen UNSCEAR in einem „Korrigendum“ von 2016 zum Report von 2008 folgendes Statement abgegeben: „For most tumour types in experimental animals and in man a significant increase in risk is only detectable at doses above 100 mGy“ und damit behauptet, es gäbe unter 100 mSv praktisch keine erkennbaren Schäden durch Krebs (andere Strahlenschäden werden in diesem Dosisbereich ohnehin nicht für relevant gehalten). Die Analysen von UNSCEAR sind die maßgeblichen Grundlagen zur Beurteilung von berufsbedingten Strahlenschäden.

Der Tschernobyl-Unfall 1986 hat nach Berechnungen von UNSCEAR selbst in den höchst verstrahlten Regionen – mit Ausnahme bei der Schilddrüse – angeblich nicht mehr als mittlere Dosen von 31 mSv in der Bevölkerung erzeugt und damit nur sehr wenige Todesfälle durch Krebs.

Diesen dreisten Behauptungen wird vom offiziellen Strahlenschutz nirgends widersprochen, auch nicht im Ausstiegsland Deutschland. Der japanischen Regierung diente das 100 mSv-Kriterium für seine Evakuierungsmaßnahmen, und es eignet sich bestens zur inzwischen lautstark propagierten Renaissance der Kernenergie als Klimaschutzmaßnahme. Denn wenn in der „4. Generation Kernreaktoren“ nur solche arbeiten, die sich bei Leistungsexkursion selbst abschalten, dann kann es nur kleinere Unfälle geben, die nach oben als völlig harmlos zu betrachten sind.

Die Antiatombewegung ist aufgerufen, ihre Forderungen wieder mehr mit den nachgewiesenen Gesundheitsschäden durch niedrige Strahlendosen zu untermauern. Dies muss auch den Strahlenschutz in der medizinischen Diagnostik einschließen, deren wahres Risiko auf Grund der offiziellen Darstellungen den meisten Ärzten nicht bekannt ist.

<i>Inhalt</i>	Seite
Einleitung	2
Die BUND-Stellungnahme von 2017 zum neuen Strahlenschutzgesetz	4
Tschernobylfolgen global und in Deutschland	5
Krebserkrankungen in Folge von Röntgendiagnostik in Deutschland	8
Fehlbildungen bei Kindern beruflich Strahlenexponierter der BRD	10
Anerkennungspraxis bei beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmern	11
Allgemeines	11
Dekontaminationsarbeiter	13
Flugpersonal	13
Uranbergarbeiter	15
Radarsoldaten	16
Schlussfolgerungen	16
Quellenverzeichnis	17

EINLEITUNG

Die Antiatombewegung ist von Fachwissenschaftlern ausgelöst worden, die vor den biologischen Folgen der Radioaktivität warnten und die Erzeugung riesiger Mengen an künstlichen strahlenden Isotopen durch die Kerntechnik für unverantwortlich hielten. Eine für uns in Westdeutschland bedeutsame Informationsquelle war z. B. das 1971 erschienene Buch von Gofman und Tamplin: „Poisoned Power. The Case against Nuclear Power Plants“. John W. Gofman (1918-2007) war Kernphysiker und arbeitete später als Universitätsprofessor auf dem Gebiet der medizinischen Physik. Sein Schüler Arthur Tamplin war Biologe. Beide kamen zu ihrer Auffassung im Zeitraum von 1963-1969 als Gutachter für die AEC (Atomic Energy Commission), der vormaligen U.S.-amerikanischen Behörde zur Förderung der Atomenergie. Sie konnten zu dieser Zeit auf eine umfangreiche strahlenbiologische experimentelle Forschung im zellulären Bereich und mit Versuchstieren zurückblicken sowie auf erste Ergebnisse bei den japanischen Atombombenüberlebenden und nach diagnostischer Röntgenbestrahlung. Ihre Schlussfolgerung war, dass es eine unschädliche Dosischwelle für Krebserkrankungen und genetische Schäden nicht geben kann.

In der BRD gab es aus Universitätskreisen nur wenige Personen, die sich den Kritikern anschlossen, aber es bildeten sich Bürgerinitiativen, in denen Ärzte und andere vormalige Laien sich zu strahlenbiologischen Experten ausbildeten. Eine bedeutsame Rolle in den Debatten spielten die Ergebnisse der englischen Ärztin und Epidemiologin Alice Stewart (1906-2002). In den 1950-er Jahren hatte sie ein Projekt zur Erforschung der Ursachen kindlicher Krebserkrankungen begonnen, den Oxford Survey of Childhood Cancer (OSCC). 1956 veröffentlichte sie erstmalig, dass diagnostisches Röntgen bei schwangeren Frauen – ausgeführt vornehmlich bei Lageanomalien oder Verdacht auf Zwillinge – Leukämie bei den später geborenen Kindern auslöst. Es ergab sich, dass eine einzige Röntgenaufnahme mit damaliger Dosis – etwa 5 mSv – das Leukämierisiko verdoppelt, also um 100 % erhöht, und dass auch andere Krebserkrankungen im Kindesalter induziert werden. Die Untersuchungen wurden fortgeführt und es zeigte sich ein Dosiswirkungszusammenhang (s. Abb.1), wie er normalerweise als Nachweis eines Strahleneffektes angesehen wird.

Erst ab 1997 jedoch – also 40 Jahre später - entschlossen sich Wortführer des Establishments nach zahlreichen Wiederholungen durch andere Untersucher zur Anerkennung des Effektes. Er wurde 2003 bestätigt in einer Analyse von Wakeford und Little mit der Feststellung: “Dieses bedeutet, dass fötale Dosen im Uterus bei 10 mSv das Risiko für Krebs im Kindesalter erkennbar erhöhen.“ Im Report des Komitees der U.S.-amerikanischen Academy of Sciences BEIR¹ VII von 2006 ist dann die Rede von 10-20 mSv.

Diese Entwicklung spiegelt den wachsenden Einfluss der Atomlobby auf den offiziellen Strahlenschutz, in Gestalt der Internationalen Atomenergie-Agentur (IAEA). Unter Kritikern ist weitgehend bekannt, dass ein Vertrag von 1959 zwischen IAEA und Weltgesundheitsorganisation WHO besteht, beides Organe der Vereinten Nationen, der zur Absprache über Strahlenfolgen verpflichtet. Das hat u.a. zur bis heute durchgehaltenen grotesken Verharmlosung von Tschernobylfolgen durch die WHO geführt.

Das normgebende Gremium für unsere Strahlenschutzgesetzgebung ist die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP (International Commission on Radiological Protection). Diese ging aus einem 1928 gegründeten Komitee für medizinischen Strahlenschutz hervor. In den Empfehlungen der ICRP-Publikation 103 von 2007 wird angegeben, dass bei Exposition in utero eine unschädliche Dosischwelle von 100 mSv besteht. Damit sind das Absterben der Frucht sowie Fehlbildungen gemeint. Das Krebsrisiko nach Exposition im Mutterleib wird, basierend auf den

¹ Biological Effects of Ionizing Radiation

OSCC-Daten, im Kapitel 3.4 als gleich hoch angegeben wie dasjenige nach Exposition im frühen Kindesalter. Danach hält man den Schutz für Embryonen und Föten durch die allgemein gültigen Dosisgrenzwerte für ausreichend. Während Kinder aber nicht in Überwachungs- und Kontrollbereichen arbeiten dürfen, ist das für Frauen im gebärfähigen Alter nicht verboten.

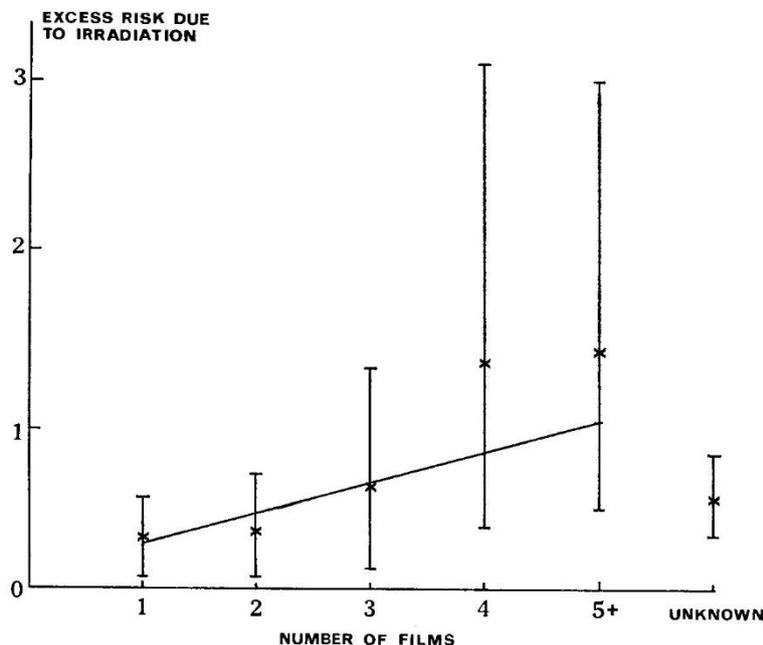


Abb.1

Krebstod im Kindesalter nach vorgeburtlicher diagnostischer Röntgenbestrahlung 1953-1967 (aus Bithell & Stewart 1975)

Als Goldstandard für die Beurteilung von Strahlenschäden durch den offiziellen Strahlenschutz gelten bis dato die Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki 1945. Alles an Effekten, was dort nicht gefunden wurde – und zwar durch das von den Amerikanern in Hiroshima installierte Institut – kann es nicht geben oder wird zumindest bezweifelt. Das Institut nahm seine Arbeit 1950 auf und erfasste am Anfang etwa 120.000 Personen. 1975 wurde es in eine Gemeinschaftsforschungseinrichtung von USA und Japan umgewandelt und erhielt den Namen Radiation Effects Research Foundation (RERF). Inzwischen liegen Ergebnisse über einen Beobachtungszeitraum von über 60 Jahren vor, wobei sich anhaltend weitere Strahlenschäden gezeigt haben. Zweifel an der Übertragbarkeit der quantitativen Befunde im Sinne von Dosiswirkungsangaben auf europäische Bevölkerungen haben bislang keine Rolle gespielt. Sie betreffen die abgeschätzten Dosen für die Überlebenden, die mehrfach revidiert wurden und den radioaktiven Fallout der Bombenexplosionen nicht berücksichtigen, unterschiedliche Dosisleistung und Strahlenqualitäten der Expositionen im Vergleich zu denen bei berufsmäßigen und diagnostischen Bestrahlungen, genetische Unterschiede sowie unterschiedliche epidemiologische Gegebenheiten bei den Kollektiven.

Werden jedoch epidemiologische Befunde aus Bestrahlungssituationen vorgelegt, die andere oder höhere Risiken zeigen als sich aus den japanischen Daten ergeben, so wird erfahrungsgemäß geglaubt, dass andere unbekannte Einflüsse außer Strahlen (Confounder) eine Rolle spielen oder die unterstellte Dosis unsicher ist.

Aber auch die inzwischen erarbeiteten Ergebnisse in der Life Span Study (LSS) der RERF sind nicht gänzlich kompatibel mit den Vorstellungen von UNSCEAR und ICRP. Bei Strahlenschutzdiskussionen war früher vielfach die Rede davon, dass man es bei dem japanischen Kollektiv mit den Wirkungen einer hohen Dosis zu tun hat und dann mangels Daten aus dem Niederdosisbereich extrapolieren müsse, um Aussagen zu erhalten (Stichwort „hypothetisches Risiko“). Diese Annahme ist falsch, denn die meisten Personen der LSS befinden sich in den Niederdosisgruppen, da die Dosis vom Abstand der Person vom Explosionsort abhängt. Da die Bomben über den

Städten gezündet wurden, hielten sich in größeren Entfernungen auch wesentlich mehr Einwohner auf. Die mittlere Dosis in der gesamten LSS-Kohorte beträgt nur etwa 200 mSv.

Im Jahr 2000 veröffentlichten Pierce und Preston Ergebnisse einer Analyse von LSS-Daten über die Inzidenz von soliden Tumoren nur im Dosisbereich unterhalb von 500 mSv. Sie kamen zu dem Schluss: **“Es gibt einen statistisch signifikanten Effekt im Dosisbereich 0–100 mSv.“** Dies wurde 2017 bestätigt durch eine Inzidenzstudie, die den Untersuchungszeitraum bis 2009 umfasst (Grant et al.).

Auch die Behauptung der ICRP, dass keine Entwicklungsstörungen in utero unterhalb von 100 mSv induziert werden, wird durch die RERF-Studien nicht gestützt. Die Vorstadien des Zentralnervensystems sind, wie man aus der experimentellen Forschung weiß, sehr strahlenempfindlich. Neben Missbildungen des Gehirns wurden in den 1990-er Jahren bei Kindern der Atombombenüberlebenden insbesondere nach Exposition in der 8.-15. Schwangerschaftswoche Intelligenzminderungen festgestellt. Für diese ergaben sich dosisproportionale Wirkungsanstiege ohne erkennbare Schwelle. Dieser Zusammenhang wurde in RERF-Publikationen mehrfach bestätigt (Otake, Schull 1998).

Die BUND-Stellungnahme von 2017 zum neuen Strahlenschutzgesetz

Im Dezember 2013 wurde die Richtlinie 2013/59/EURATOM erlassen, um die Strahlenschutzgesetzgebung an neuere Erkenntnisse der ICRP anzupassen. Deutschland ist nach wie vor Mitglied der europäischen Gesellschaft EURATOM, einer Institution zur Förderung der Atomenergie. Diese hat mit Grundnormen-Richtlinien zum Strahlenschutz verbindliches europäisches Recht geschaffen, das die BRD in innerdeutsches Recht umsetzen muss. Grundlage für die Richtlinie 2013/59 bilden dabei die Empfehlungen der ICRP-Publikation 103 (2008).

Die Verharmlosung von Strahlenschäden ist dann erkennbar, wenn man die wissenschaftlichen Ergebnisse in ihrem heute vorhandenen Umfang mit den Angaben der ICRP vergleicht. Dieses hat der Bund für Umwelt- und Naturschutz e.V. (BUND) versucht in seiner Stellungnahme vom März 2017 zum Entwurf des neuen Strahlenschutzgesetzes, das im Juni 2017 erlassen wurde. Die Kritikpunkte sind schematisch in Tabelle 1 niedergelegt².

Strahlenschäden, die von der ICRP als Risiko bei niedriger Dosis in Betracht gezogen werden, sind ausschließlich Krebserkrankungen mit einer Ausnahme: genetische Schäden bei den Kindern bestrahlter Eltern (Spalte 3 in Tabelle 1). Diesen wird jedoch seit 2008 nur ein Anteil von 8% gegenüber den Krebstoden bei gleicher Organdosis zugerechnet (Gewebewichtungsfaktor $w_T=0,08$, dieser hatte in ICRP 26 von 1977 den Wert 0,25 und in ICRP 60 von 1991 den Wert 0,20).

Die ICRP behauptet, es gäbe keinen direkten wissenschaftlichen Nachweis, dass bei Kindern von bestrahlten Eltern Erbkrankheiten auftreten. Sie und andere internationale und nationale Strahlenschutzkomitees berufen sich auf die Atombombenüberlebenden, bei denen man keine Effekte in der Nachfolgeneration beobachtet hat. Ihre Risikoangabe (Tab.1, Spalte 1) interpretiert die ICRP daher als eine Schätzung zur sicheren Seite hin, die wahrscheinlich in der Realität nicht zu befürchten sei. Betrachtet werden dabei nur dominante Effekte in der 1. Generation und die Risikozahl wird von Experimenten an Mäusen abgeleitet.

² Die Dosisangabe in Sv bzw. mSv steht für die „effektive“ Dosis nach ICRP. Diese soll alle Teilkörperbestrahlungen bezüglich der Folgen vergleichbar machen. Zur Ermittlung wird die jeweilige Organdosis je nach Strahlenempfindlichkeit mit einem Gewebewichtungsfaktor w_T versehen, die Summe aller so gewichteten Teilkörperdosen ergibt die effektive Dosis. Bei homogener Ganzkörperbestrahlung ist jede Organ- oder Gewebedosis gleich der effektiven Dosis.

Früher hat man angenommen, dass eine akkumulierte Dosis bei einer hohen Dosisleistung schädlicher ist, als wenn sie über einen langen Zeitraum zu Stande kommt. Bei chronischer Bestrahlung wurden wirksamere Reparaturmöglichkeiten unterstellt. Die zu erwartende Dosiswirkungskurve sollte linearquadratisch sein, also einen Anteil haben, bei dem der Effekt proportional zur Dosis ansteigt und einen, der mit dem Quadrat der Dosis ansteigt. Diese Annahme sollte jedenfalls für locker ionisierende Strahlung zutreffen (Beta, Gamma, Röntgen).

Tabelle 1: Zu erwartende Gesundheitsschäden nach Exposition einer Bevölkerung mit niedriger Dosis, Angaben nach ICRP und Bewertung aus BUND 2017

	Krebskrankheiten	Genetische Schäden	Effekte nach Exposition in utero	Erkrankungen außer Krebs
ICRP Risikoangaben 2008, 2012	5,5% pro Sv	0,2 % pro Sv	kein Effekt unter 100 mSv	kein Effekt unter 500 mSv
Kritik BUND	Unterschätzung um Faktor 2-5 aufgrund unberechtigtem DDREF=2 und neueren Ergebnissen aus epidemiologischen Untersuchungen im Niederdosisbereich	Bewertung unvollständig und u.a. deshalb 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 Exposition, bei Tschernobylopfern

Diese Hypothese hat sich jedoch schon seit Langem als nicht verifizierbar erwiesen. Die Atombombenüberlebenden unterlagen einer extremen Kurzzeitexposition, die überwiegend durch Gammastrahlen erzeugt wurden. Dennoch ergaben sich bei ihnen für die Krebserkrankungen durchweg dosisproportionale Zusammenhänge ohne Schwelle, bis zu einer Dosis von etwa 3 Sv (bei höheren Dosen flacht die Kurve ab, da Zellen abgetötet werden und sich daher nicht mehr teilen können).

Die ICRP hat dennoch bis dato an der alten These festgehalten und bei der Ableitung des Krebsrisikos (Spalte 2 in Tabelle 1) die aus den japanischen Daten ermittelten Ergebnisse durch den Faktor 2 geteilt, bevor sie also auf andere bestrahlte Bevölkerungen angewendet werden sollen.

Umfangreiche Studien an beruflich Strahlenexponierten, durch natürliche Umgebungsstrahlung und an durch den Tschernobylunfall betroffenen Personen haben gezeigt, dass die Risiken bei den chronischen Strahlenexpositionen größer sind, als bisher angenommen wurde, und nicht nur Krebserkrankungen, sondern eine große Anzahl weiterer schwerwiegender Gesundheitsstörungen auftreten (s. BUND 2017, Kap.1.9; Mämpel et al. 2015). Die Tschernobylforschung hat auch ergeben, dass durch chronische Niederdosisexposition der Gonaden von Eltern ein erhebliches Risiko für nachfolgend gezeugte Kinder besteht, Erbschäden wie Fehlbildungen des Skeletts und der Organe zu erleiden sowie Störungen der geistigen Entwicklung. Die genetischen Folgen werden bislang als ein berufsbedingter Strahlenschaden nicht beachtet.

Tschernobylfolgen global und in Deutschland

Bei den Bürgern unseres Landes gibt es zwei unterschiedliche Meinungen über die Auswirkungen des Reaktorunfalls 1986 in Tschernobyl (Ukraine). Die einen halten es für eine Katastrophe, die Hunderttausende Menschen getötet oder krank gemacht hat. Die anderen verlassen sich auf die Aussagen des Bundesamts für Strahlenschutz, von Behörden und der deutschen Strahlen-

schutzkommission (SSK). Diese halten sich an die Vorgaben der ICRP. Diese wiederum legt für ihre Einschätzung die Dosisabschätzungen von UNSCEAR zu Grunde.

Die Leugnung von Gesundheitsschäden in den durch den Tschernobylfallout kontaminierten Ländern erfolgt mit dem Argument, die bewirkte Dosis sei so klein, dass ein erkennbarer Schaden nicht auftreten könne. Die Dosis durch eine Inkorporation von Radionukliden kann aber physikalisch nicht direkt gemessen werden, sondern wird anhand von Umgebungsmessungen über die Radioaktivitätskonzentrationen mit Hilfe von Transport- und Stoffwechselmodellen abgeschätzt. Dabei müssen zwangsläufig vereinfachte Annahmen gemacht werden.

Das Komitee UNSCEAR hat seine derart gewonnenen Ergebnisse im Report von 2008 neu zusammengefasst. Ihre grundlegende Annahme ist, dass von den Radionukliden mit größeren Halbwertszeiten als einige Tage nur die Cs-Isotope flüchtig sind, d.h. große Entfernungen erreichen. Diese Isotope haben sehr niedrige Dosisfaktoren (Sv pro eingeatmetes oder verschlucktes Bq). UNSCEAR behauptet: „Ab Mitte 1986 war die innere Aufnahme durch ^{134}Cs und ^{137}Cs in Milch und Fleisch die überwiegende Quelle der Exposition“. Eine Deposition von Heißen Teilchen mit ^{90}Sr , Pu-Isotopen und ^{241}Am wurde nur innerhalb einer Entfernung von 20 km Umkreis angenommen. Mit Ausnahme der Schilddrüsendosis berechneten sie folgende mittleren effektiven Dosen im Zeitraum 1986 bis 2005 für die Bevölkerungen:

Evakuierungszone	31 mSv
Hoch kontaminierte Regionen in Ukraine, Weißrussland u. Russland	9 mSv
Bevölkerung Weißrussland, Ukraine und Russ. Föderation	1,3 mSv
Bevölkerung Westeuropa	0,3 mSv

Die gefundenen Effekte zeigen jedoch etwas anderes, insbesondere auch die Chromosomenschäden, die in den betreffenden Bevölkerungen festgestellt wurden und eine „Biologische Dosimetrie“ ermöglichen. Verschiedene Forschungsgruppen untersuchten strahlenspezifische zytogenetische Veränderungen in den Lymphozyten von Personen aus den kontaminierten Gegenden direkt nach dem Unfall oder einige Jahre später (Schmitz-Feuerhake 2009). Bei den meisten Untersuchungen waren die aufgetretenen Raten instabiler und stabiler Chromosomenaberrationen erheblich größer – und zwar um 1 bis 2 Größenordnungen – als anhand der physikalischen Dosisabschätzungen erwartet werden konnte. Des Weiteren wird in etlichen Studien über das Auftreten multiaberranter Zellen berichtet. Dies weist auf einen bedeutsamen Beitrag von inkorporierter Alphastrahlung hin und spricht dafür, dass die Dosisbeiträge von emittiertem Kernbrennstoff sowie Brutprodukten nicht vernachlässigt werden dürfen.

Die betroffenen Regierungen der ehemaligen Sowjetunion haben aus wirtschaftlichen und politischen Gründen kein Interesse an der näheren Aufklärung der gesundheitlichen Folgen. Ein vorsichtiges Aufmucken von einheimischen Forschern in offizieller Funktion ist jedoch durchaus zu vermelden. Prof. Dimitry Bazyka, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der Ukraine und Direktor des ukrainischen National Research Center for Radiation Medicine (NRCRM) in Kiev hat 2016 mit Kollegen einen Forschungsbericht „Health effects of the Chornobyl accident – thirty years aftermath“ veröffentlicht. Sie bezeichnen den Unfall als verheerende Katastrophe und haben u. a. eigene physikalische Abschätzungen über die Strahlenbelastung der Bevölkerung vorgestellt.

4 % der Fläche der Ukraine gelten als hochverstrahlt, gemessen an der Bodenkontamination mit Cs-Isotopen mit $> 37 \text{ kBq/m}^2$ (wie bei UNSCEAR). Diese haben sie in 4 Zonen eingeteilt, für die sie mittlere Bevölkerungsdosen von 11 bis 313 mSv angeben, was immerhin den UNSCEAR-Wert bis zum 35-fachen übertrifft. Die Autoren befassen sich viel mit zellbiologischen Folgen der Bestrahlung und immunologischen Parametern, aber auch andeutungsweise mit Anstiegen von Krebserkrankungen in der Bevölkerung über Schilddrüsenkrebs bei Kindern hinaus, des Weiteren mit Schädigungen des Zentralnervensystems und mit Kinderkrankheiten.

In Wahrheit sind sämtliche möglichen Strahlenschäden nach Tabelle 1 von Fachwissenschaftlern, Ärzten oder Mitarbeitern von Gesundheitsbehörden nach Tschernobyl in den Nachbarländern des Unfalls, der Türkei und in westeuropäischen Ländern mit Gegenden nachgewiesener Kontaminationen beobachtet oder erforscht worden. Großenteils wurden die Ergebnisse in wissenschaftlichen Zeitschriften mitgeteilt. Von Kritikern des offiziellen Strahlenschutzes sind im Laufe der Zeit etliche zusammenfassende Berichte erstellt worden, darunter aus neuerer Zeit die folgenden:

IPPNW-Report **“Gesundheitliche Folgen der Atomkatastrophen. 5 Jahre Leben mit Fukushima – 30 Jahre Leben mit Tschernobyl.** Autoren: Angelika Claußen, Alex Rosen u.a. März 2016, 84 Seiten

Ian Fairlie: TORCH-2016 (**The other report on Chernobyl**) An independent scientific evaluation of the health-related effects of the Chernobyl nuclear disaster. Aufarbeitung des Reports TORCH-2006. Herausgeber Wiener Umwelthanwaltschaft, Global 2000.

Diese Berichte werden von den internationalen Komitees ignoriert oder nicht berücksichtigt, weil ihre Herausgeber und Autoren als Laien eingestuft werden. Sehr bemerkenswert ist der Report des russischen Biologen und Atomkritikers Prof. Dr. Alexey Yablokov (1933 – 2017) mit Koautoren von 2009:“Chernobyl. Consequences of the catastrophe for people and environment“. Dieses Werk ist sehr umfangreich (327 Seiten), weil es u.a. sehr viele osteuropäische Beobachtungen auflistet, die uns wegen der Sprachbarriere nicht zugänglich waren. Es ist nicht nur bedeutsam wegen seines Inhalts sondern auch wegen der Publikation in den Annals der New York Academy of Sciences. Damit wurde es in der internationalen wissenschaftlichen Referatedatei PubMed zitiert und annonciert.

Für mich war interessant, von ihm zu erfahren, dass er als Aktivist und damit Außenseiter in seinem Land weder diskriminiert noch angepöbelt wurde. Er führte das auf seine Mitgliedschaft in der russischen Akademie der Wissenschaften zurück, in die man berufen wird.

In Westdeutschland erschienen nach dem Unfall verhältnismäßig viele Arbeiten über erhöhte Gesundheitsschäden, und zwar über Anstiege bei Totgeburten, Säuglings- und Kindersterblichkeit, Fehlbildungen bei Neugeborenen und Down-Syndrom durch die Autoren Körblein, Scherb, Sperling und Mitarbeiter. Die Ergebnisse wurden in der wissenschaftlichen Literatur publiziert, in den o.g. Berichten beschrieben und auch im Strahlentelex veröffentlicht oder referiert (www.strahlentelex.de).

Weniger bekannt geworden ist, dass auch Chernobylfolgen in der DDR zu beobachten sind. Dort wurde seit 1967 ein zentrales Register über angeborene Lippen-Kiefer-Gaumenspalten geführt. Ziegowski und Hemprich (1999) untersuchten die Spaltgeburtenrate im Zeitraum 1970 – 1989 im gesamten Land mit Ausnahme der Bezirke Gera und Suhl. Im Vergleich zur mittleren Spaltgeburtenrate von 1980 -1986 erhöhte sich die Rate 1987 um 9,4%. Bei regionaler Betrachtung fiel ein deutlicher Prävalenzanstieg in den nördlichen Bezirken Schwerin, Rostock und Neubrandenburg auf, wo durchschnittlich höhere Werte für ^{137}Cs und ^{90}Sr gemessen wurden. Dort nahm im Jahr 1987 die Spaltgeburtenrate um 40% zu (!).

Rösch und Mitarbeiter (1998) untersuchten die Spaltgeburtenrate in der Region Magdeburg ab 1983 und erweiterten den Zeitraum bis 1995. In den Jahren 1988 und 1989 stieg sie um etwa 45% an, in 22% der Fälle traten zusätzliche Fehlbildungen auf. Davon betrafen 28,4% Organe des Abdomens und unter diesen fielen Hernien auf (Nabel- oder Leistenbruch). Dieses ist interessant, weil sich in einer deutschen Studie zu genetischen Folgen bei den Nachkommen von Eltern, die sich einer Strahlentherapie unterzogen hatten, ebenfalls Hernien vermehrt gezeigt haben (Hermann et al. 2004). Über diese Untersuchung wurde vom BUND 2017 berichtet.

Krebserkrankungen in Folge von Röntgendiagnostik in Deutschland

In den 1960-er bis 1980-er Jahren wurde in etlichen Studien gezeigt, dass diagnostisches Röntgen auch bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu Krebserkrankungen, Hirntumoren und genetischen Effekten geführt hat. Diese Befunde wurden in die jüngeren Betrachtungen von UNSCEAR und ICRP nicht einbezogen, da es inzwischen durch verbesserte Technik zu erheblichen Dosisenkungen gekommen war. Dies geschah einerseits durch die Verwendung von Verstärkerfolien an den Filmen, wodurch geringere Röntgenenergie zur Schwärzung der Fotoschicht erforderlich war, und durch den Einsatz von elektronischen Bildverstärkern bei Durchleuchtungen.

In den 1970-er Jahren begann jedoch der Einsatz der Computertomographie (CT). Dabei wird das Bild eines Körperquerschnitts aus vielen verschiedenen seitlichen Röntgenansichten rekonstruiert und entsprechend summiert sich die Dosis erheblich auf. In Deutschland ist seitdem die Anzahl der CT-Untersuchungen ständig angestiegen. Die mittlere effektive Dosis wird vom BfS zu 7 mSv angegeben (Nekolla 2017). Die Organdosen betragen bei homogener Bestrahlung des Körpers dann 7 mSv oder bis zu 58 mSv, wenn praktisch nicht mehr als ein strahlenempfindliches Gewebe im Strahlenfeld liegt (Strahlungswichtungsfaktor $w_T=0,12$).

Nach BfS macht eine CT-Untersuchung strahlungsmäßig im Mittel etwa so viel aus wie 30 normale Röntgenaufnahmen (mittlere effektive Dosis 0,22 mSv), liegt aber dosismäßig im Allgemeinen unterhalb der 100 mSv-Schwelle, die von UNSCEAR praktisch als harmlos angesehen wird. Allerdings kommt es häufig zu mehrfachen Scans pro Fall, bei Kindern nach Krille u.a. (s. unten) im Mittel 1,6 mal.

In der BUND-Stellungnahme zum Strahlenschutzgesetz 2017 wurde über 2 neuere Untersuchungen in Australien und Großbritannien berichtet, die erhöhte Krebsraten nach CT-Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen festgestellt haben. Eine solche Studie liegt auch aus Deutschland vor. Die zugehörigen Publikationen sind:

Krille, L. + 30 Autoren "Risk of cancer incidence before the age of 15 years after exposure to ionising radiation from computed tomography: results from a German cohort study". Radiat. Environ. Biophys. 54 (2015) 1-12

Die gleichen Autoren "Erratum to: Risk of cancer incidence before the age of 15 years after exposure to ionising radiation from computed tomography: results from a German cohort study". Radiat. Environ. Biophys. 56 (2017) 1-12

Die Arbeit von 2015 der Autorengruppe beschreibt eine Untersuchung an 44584 Kindern nach 71073 CT-Untersuchungen unter Federführung von Prof. Maria Blettner, vormalige Leiterin des Deutschen Kinderkrebsregisters in Mainz und Mitglied der SSK. 39 der Kinder ohne bereits vorhandene Krebserkrankung bei Untersuchung und zwei Jahre danach waren im Krebsregister registriert. Damit ergab sich eine signifikante Erhöhung der Gesamtkrebsrate um 54 % gegenüber normal. Das erfährt man aber im Abstract nicht, dort ist nur die Rede von nicht signifikanten Erhöhungen von Leukämie und CNS-Tumoren. Die Erhöhung der Gesamtkrebsrate wird auf „unerwartete“ Lymphome zurückgeführt, die nicht für strahleninduzierbar gehalten werden. Letztere Annahme kann man anhand von zahlreichen internationalen Studien aus dem Berufsmilieu nur als abenteuerlich bezeichnen (Richardson et al. 2009, Mämpel et al. 2015, Wolff et al. 2018).

Ursprünglich wurde in der Untersuchung eine Erhöhung der Krebsrate bei den exponierten Kindern von 87 % gefunden. Mit dem Argument, es handele sich um Patienten mit gesundheitlichen Beschwerden, die womöglich ohnehin an Krebs erkranken würden, wurden solche Verdachtsfälle ausgenommen. Die Kriterien für diese Auswahl wurden nicht mitgeteilt.

Die restlichen 54 % an überschüssigen Fällen hält man wegen der geringen absoluten Zahl (10) für nicht besorgniserregend, weil man den Nutzen der CT berücksichtigen müsse und weil

Kinderkrebs inzwischen zu 81 % heilbar sei. Nicht beachtet wird, dass die Patienten nur bis zum Alter von 14 J. untersucht wurden und die meisten strahleninduzierten Krebserkrankungen lange Latenzzeiten haben. Daher werden die Folgen der CT-Untersuchungen überwiegend erst im Jugendlichen- und Erwachsenenalter eintreten.

In der Folgestudie der Autoren von 2017 werden 2 Änderungen vorgenommen: die Zahl der Patienten wird auf 39184 reduziert, 1 Lymphomfall wird wegen Doppelregistrierung ausgeschlossen. Die anderen Krebsarten bleiben in gleicher Weise nicht signifikant erhöht. Die Gesamtkrebsrate bei Ausschluss der Verdachtsfälle ergibt sich jetzt signifikant erhöht nur zu 49 %. Die korrigierten Ergebnisse werden nicht weiter kommentiert.

Interessant ist die Aufschlüsselung in das relative Risiko einerseits nach 1 CT-Scan gegenüber demjenigen in der Gruppe mit 2 CTs in Tabelle 6. Für alle Krebsfälle ergibt sich in der ersten Gruppe eine Erhöhung von 64 %, in der zweiten von 129 %. Dieses ist ein Hinweis auf einen Dosiswirkungszusammenhang, den man für strahleninduzierten Krebs auch erwartet.

Über die Organdosen und effektiven Dosen bei pädiatrischen CT-Untersuchungen sowie ihre Häufigkeit gibt es in Deutschland keine aufgeschlüsselten Daten. Überhaupt finden sich in der Literatur kaum Angaben darüber, mit denen man in der Praxis argumentieren kann. **Eine Ausnahme bildet die Arbeit von Bernier et al. (2012) aus Frankreich, bei der individuelle Dosen bei 27362 Kindern unter 5 J. nach CT-Untersuchungen in 14 Universitätskliniken bestimmt wurden:**

Gehirn und Augenlinse bekamen die höchsten Dosen, erzeugt bei Untersuchungen des Kopfes. Die mittleren Organdosen betragen dabei 22 mGy³ (maximal 1107 mGy) und 26 mGy (maximal 1392 mGy). Die mittlere effektive Dosis ergab sich zu 3,2 mGy (Bereich 0,1 bis 189 mSv)!! Die Dosen für die Gonaden, die uns im Zusammenhang mit dem genetischen Strahlenrisiko interessieren (s. Kap. Fehlbildungen), waren etwas weniger bedenklich, sie betragen für die Hoden im Mittel 0,6 mGy (Bereich 0-79) und für die Eierstöcke im Mittel 2 mGy (Bereich 0-291).

Die Untersuchung von Krille et al. liefert nicht zum ersten Mal den Befund, dass diagnostisches Röntgen nachweislich Krebs erzeugt, der mit Hilfe des deutschen Kinderkrebsregisters erhoben wurde.

Der Niedersächsische Sozialminister hatte dem Mainzer Register eine „Fallkontrollstudie zu den Ursachen von Leukämie bei Kindern in Niedersachsen“ in Auftrag gegeben. Anlass waren die in den 1980-er und 1990-er Jahren aufgetretenen zwei sehr auffälligen Häufungen kindlicher Leukämiefälle in der Gemeinde Sittensen (Schmitz-F. et al. 2007; Schmitz-F., Hoffmann 2007) sowie in der Elbmarsch in unmittelbarer Umgebung des AKW Krümmel und der nahegelegenen GKSS⁴ (Wassermann et al. 2004; Hoffmann et al. 2007).

Die Niedersachsenstudie zeigte, dass die kindlichen Leukämien keine generelle Clusterung aufweisen (Kaletsch et al. 1995), wie dies von einigen Wissenschaftlern postuliert wurde und noch wird. Nur in 11 (2,6%) von insgesamt 429 Samtgemeinden in Niedersachsen fanden die Autoren signifikant erhöhte Leukämieraten gegenüber dem bundesrepublikanischen Durchschnitt.

Unter den untersuchten Expositionen erwies sich diagnostisches Röntgen als relevanter Risikofaktor. Wurden Fälle mit mehr als 4 Röntgenaufnahmen verglichen mit Nahkontrollen von 1-4 Aufnahmen, ergab sich ein relatives Leukämierisiko von 6,96 (!). Dieser Befund wurde aber nur am Rande erwähnt (Kaatsch et al. 1996) oder ganz geleugnet (Michaelis 1998).

³ Die Doseinheit Gy bezeichnet die „Energiedosis“, bei Röntgenstrahlung entspricht sie Sv (Einheit der „Äquivalentdosis“, die verschiedene Strahlenarten wie Alpha-, Beta-, Gammastrahlen bezüglich ihrer biologischen Wirkung vergleichbar machen soll)

⁴ Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau- und Schifffahrt GmbH

Greiser und Hoffmann wiesen in einer Kritik der Fallkontrollstudie darauf hin, dass auch die Strahlenbelastung der Eltern als weiterer Risikofaktor für kindliche Leukämien in Niedersachsen nicht ausreichend kommuniziert wurde. Obwohl es im Abschlussbericht der Fall-Kontrollstudie im Kapitel „Strahlenexposition der Eltern vor oder während der Schwangerschaft“ heisst: *„Es fällt auf, dass bei den Untersuchungen der Strahlenbelastung der Mutter (berufliche und nicht berufliche Strahlenbelastung vor oder während der Schwangerschaft) für den Vergleich erkrankter Kinder mit den entsprechenden Kontrollgruppen die Odds Ratios mit einer Ausnahme konsistent größer als 1 sind. Dies gilt auch für die Mütter von Kindern aus Clusterregionen.“* Damit stellt sich ein **genetisches und vorgeburtliches Risiko** durch niedere Strahlendosen dar, wie es später auch durch weitere deutsche Untersuchungen bestätigt wurde (s. Kap. Fehlbildungen).

Fehlbildungen bei Kindern beruflich Strahlenexponierter der BRD

In der BUND-Stellungnahme zum Strahlenschutzgesetz 2017 wurde dargelegt, dass entgegen den Annahmen der ICRP sowohl zahlreiche Studien an Menschen vorliegen, die Gesundheitsstörungen als Folge von strahlenbedingten Mutationen in den Keimzellen eines Elternteils zeigen, als auch durch vorgeburtliche Bestrahlung im Mutterleib bei sehr niedriger Dosis. Fehlbildungen bei Neugeborenen können durch beide Mechanismen verursacht werden.

An der Universitätskinderklinik Mainz wird seit 1990 als Pilotprojekt ein lokales Geburtenregister über angeborene Geburtsfehler geführt (Geburtenregister Mainzer Modell). Dadurch ergab sich die Möglichkeit der Zuordnung zu beruflich strahlenexponierten Frauen. Schon 2011 wurde veröffentlicht, dass sich erhöhte Fehlbildungsraten bei Kindern von beruflich strahlenexponierten Frauen aus dem medizinischen Bereich gezeigt hatten.

Diese Untersuchungen wurden fortgesetzt (Wiesel et al. 2016). Bei 27 Geburten wiesen 8 Neugeborene schwere Fehlbildungen auf. Dies entspricht im Vergleich zur Kontrollrate einer Erhöhung um den Faktor 3,8! Dabei ist die Kontrollrate bereits extrem hoch, s. unten. In Europa besteht eine zentrale Sammelstelle für Geburtsfehler namens EUROCAT. Auf Grund der Daten des Mainzer Registers geht aus deren Bericht für den Zeitraum 1980-2012 hervor, dass in Deutschland die weitaus höchste Rate an angeborenen Geburtsfehlern vorliegt (Morris et al. 2018).

Das frühere Geburtenregister der DDR wird im Bundesland Sachsen-Anhalt ausschnittsweise weitergeführt. Die Rate angeborener Anomalien ist nach EUROCAT-Angabe dort ebenfalls vergleichsweise hoch, wenn auch nicht so hoch wie in der Region Rheinhessen. Daten aus der Ukraine oder anderen stark durch Tschernobylfallout belasteten Gebieten sind in der EUROCAT-Aufstellung allerdings nicht aufgeführt.

Vom Mainzer Register wird angegeben, dass in Rheinhessen etwa jedes 15. Kind mit einer „großen“ Fehlbildung geboren wird (6,5 %). Damit sind Formabweichungen des Körpers gemeint, die die Lebensfähigkeit beeinträchtigen und interventionsbedürftig sind (Queisser-Wahrendorf et al. 2016; Beispiele: Offener Rücken, Darmverschluss, Herzfehler, Gehirnverformung, Gesichtspalten, fehlende Gliedmaßen). Dennoch haben die Ergebnisse bislang zu keiner Beachtung in Gesundheitspolitik oder bei Strahlenschutzgremien geführt. Stattdessen soll das Mainzer Register in diesem Jahr auslaufen.

Es ist allerdings anzunehmen, dass wegen der aktuellen Beobachtungen vom September 2019 über Fehlbildungen in Gelsenkirchen nun doch verstärkte Anstrengungen zur Ursachenforschung unternommen werden.

Ihren Befund an Neugeborenen von strahlenexponierten Frauen interpretieren die Autoren als teratogenen Effekt nach Exposition in utero.

Im Jahr 2018 konnten Forscher aus Berlin und Bonn durch Gensequenzierung an 12 Familien nachweisen, dass aufgefallene Fehlbildungen bei Kindern von „Radarsoldaten“ über die

Keimbahn des Vaters genetisch induziert worden sind (Holtgrewe et al.). Die Väter waren während des Kalten Krieges in Radaranlagen der Bundeswehr einer Röntgenbremsstrahlung und Beschriftungen mit Radiumleuchtfarbe ausgesetzt. Das gewählte Verfahren wurde erstmalig für diesen Forschungszweck eingesetzt, es erlaubt eine genauere Bestimmung von Mutationsraten als bisher möglich war.

Bezeichnender Weise wurde diese Untersuchung durch Spendengelder finanziert und ist dem Einsatz eines Selbsthilfevereins, dem Bund zur Unterstützung Radarstrahlengeschädigter e.V., zu verdanken. Die Bundeswehr hat nunmehr Forschungsgelder zur Fortsetzung des Projektes bereitgestellt.

Anerkennungspraxis bei beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmern

ALLGEMEINES

In Deutschland gibt es laut BfS derzeit etwa 400 000 beruflich strahlenexponierte Arbeitnehmer*innen. Im Verein Gesellschaft für Strahlenschutz haben wir in den zurückliegenden Jahrzehnten viele Erfahrungen über die Anerkennungsverfahren zu folgenden Berufsgruppen gesammelt:

Beschäftigte in der westdeutschen und gesamtdeutschen Nuklearindustrie sowie dem neuerdings eingesetzten Personal zu Abbau und Dekontamination der Anlagen

Medizinisches Personal, das in der Strahlentherapie und -diagnostik sowie bei Maßnahmen unter Röntgenkontrolle exponiert worden ist

Flugpersonal

Bergarbeiter und andere Beschäftigte des Uranabbauetriebs SDAG Wismut DDR

„Radarsoldaten“, d.h. Soldaten und Personal der Bundeswehr und der NVA, die ab 1956 über einige Jahrzehnte ionisierender Strahlung ausgesetzt waren.

Für Betroffene aus den 3 erstgenannten Gruppen gilt die Berufskrankheitenverordnung (BKV). Für die Wismut-Beschäftigten wird auch die BKV herangezogen, obwohl eine wichtige Voraussetzung zur Anwendung fehlt, nämlich das Vorhandensein individueller Dosismesswerte. Soldaten der Bundeswehr und NVA werden nach dem Soldatenversorgungsgesetz entschädigt und das Personal nach BKV.

Als berufsbedingt durch ionisierende Strahlung anerkannt werden nach BKV (Krankheitsgruppe BK 2402) beim bestimmungsgemäßen Betrieb nur bestimmte Krebserkrankungen. Da diese auch „spontan“ auftreten können, wird eine Listenkrankheit der Gruppe 2402 nur als BK anerkannt, wenn die Wahrscheinlichkeit der Verursachung durch Strahlen größer ist als die Wahrscheinlichkeit des Spontanauftretens (Verursachenswahrscheinlichkeit größer als 50 %). Es muss daher eine relativ hohe Minstdosis nachgewiesen werden, um dieses Kriterium zu erfüllen. Aus dieser Bedingung resultiert bereits, dass die meisten Krebserkrankungen bei den Arbeitnehmern nicht anerkannt werden. Denn die Anzahl der erzeugten Erkrankungen richtet sich nicht nach der Individualdosis der Exponierten sondern nach der Summe aller Einzeldosen. Letztere sind in der BRD überwiegend sehr viel kleiner als die Minstdosis, und die meisten BK treten nach Wahrscheinlichkeit in den unteren Dosisgruppen auf, da sich dort die allermeisten Beschäftigten befinden. Dieses grundsätzliche Problem wird in anderen Industrienationen zum Teil anders gehandhabt.

Die Kritik an der Anerkennungspraxis besteht in der Tatsache, dass die Strahlenschäden beim Menschen nach überholten Vorstellungen über Dosiswirkungszusammenhänge beurteilt werden. Den Sachverständigen der Berufsgenossenschaften, bei denen die potentiellen Berufskrankheiten gemeldet werden, sind die nach 2006 erschienenen Untersuchungsergebnisse an Nukleararbeitern nicht bekannt und insbesondere auch nicht der Tatbestand, dass außer Krebs eine Reihe

weiterer Erkrankungen wie z.B. benigne Hirntumore und Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch niedrigere Strahlendosen erzeugt werden, s. dazu die BUND-Stellungnahme 2017.

Da es oft sehr lange dauert, bis neue Erkenntnisse der Wissenschaft Eingang in die Berufskrankheitenliste finden, ist vom Gesetzgeber für solche Fälle vorgesorgt worden. Es heißt im SGB VII § 9 (2): *Die Unfallversicherungsträger haben eine Krankheit, die nicht in der Rechtsverordnung bezeichnet ist oder bei der die dort bestimmten Voraussetzungen nicht vorliegen, wie eine Berufskrankheit als Versicherungsfall anzuerkennen, sofern im Zeitpunkt der Entscheidung nach neuen Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaft die Voraussetzungen für eine Bezeichnung nach Absatz 1 Satz 2 erfüllt sind.*

Diese wohlgemeinte Anordnung hat sich aber in der Praxis als unwirksam erwiesen. Denn wer bestimmt den Stand der Erkenntnisse? Die BG nehmen diesen im Allgemeinen unwidersprochen selbst in Anspruch bzw. beziehen sich auf die Vorgaben in Anlage 1 der BKV zu BK 2402. Dort werden Aussagen zur Strahlenempfindlichkeit der Organe und zu verwendender Dosiswirkungsbeziehungen vom Ärztlichen Sachverständigenbeirat „Berufskrankheiten“ beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales gemacht. Dieses Gremium behandelt wohlgerne den gesamten Komplex der Berufskrankheiten. In der Besetzung für die Periode 2016-2021 befindet sich darin u.W. keine einzige Wissenschaftler*in mit Forschungshintergrund oder Spezialgebiet Strahlenbiologie.

Die letzte Änderung in Anlage 1 zu BK 2402 erfolgte 2011, wobei auf Risikoangaben für Krebserkrankungen aus dem Bericht des Strahlenkomitees der Vereinten Nationen von 2006 Bezug genommen wurde. Dieser hinkte bereits neuen Ergebnissen über unterschätzte Strahlenfolgen im Berufsbereich nach und stützt sich auf ältere Auswertungen der Ergebnisse von den japanischen Atombombenüberlebenden.

Ein anderes Problem ist die Auswahl der Gutachter, die die Sozialgerichte im Klagefall treffen. Hier gibt es den ebenfalls wohlgemeinten § 109 SGG, wonach der Kläger selbst einen Gutachter vorschlagen darf, der allerdings vom Gericht nicht zwangsläufig bestellt werden muss. Dieser Gutachter muss eine Mediziner*in sein. Leider gibt es in Deutschland fast keine Mediziner mit Fachgebiet Strahlenfolgen mehr, da entsprechende Lehrstühle oder Abteilungen an den Universitäten nach Tschernobyl weitgehend abgeschafft wurden. Diese befanden sich in den Medizinischen Fakultäten und wurden nicht mehr für notwendig erachtet. Als Gutachter*innen auf Vorschlag der BG werden aber durchaus auch andere Wissenschaftler bestellt, im Allgemeinen aus der SSK. In dieser befanden sich stets überwiegend Nicht-Mediziner, vornehmlich Physiker, unter den Kritikern des offiziellen Strahlenschutzes befinden sich ebenfalls vielfach Physiker*innen. Das liegt daran, dass die Dosimetrie für das gesamte Feld der Strahlungsarten und Expositionsmöglichkeiten von Physikern erarbeitet wurde. Es wäre daher dringend notwendig, den § 109 dementsprechend zu ändern.

Die gegenwärtige Situation ist nach unseren Erfahrungen auch deshalb nachteilig für die Betroffenen, weil sich mit Ausnahme der Radarsoldaten nach unserer Kenntnis in den genannten Berufsgruppen keinerlei Selbsthilfegruppen mehr gehalten oder neu gegründet haben, durch die Informationen und Erfahrungen weitergegeben werden können. Behördliche oder gewerkschaftliche Arbeitsgruppen, die sich unabhängig von den Betreibern und der zuständigen Berufsgenossenschaft um die Ansprüche der geschädigten Arbeitnehmer kümmern, bestehen unseres Wissens ebenfalls nicht mehr. So ist der Einzelne der BG ausgeliefert, die mit immer den gleichen überholten Kriterien und denselben Gutachtern argumentiert, auch wenn in vorangehenden Verfahren längst die Voraussetzungen kritisiert und widerlegt wurden.

DEKONTAMINATIONSARBEITER

Bei Arbeitern in Atomanlagen stellt die Möglichkeit der Inkorporation von radioaktivem Staub ein besonderes dosimetrisches Problem dar. Dieses wird sich durch den inzwischen begonnenen Abbruch von Atomanlagen noch verschärfen, da die Beschäftigten bei der Dekontamination solcher Anlagen mit offener Radioaktivität zu tun haben. Durch Prof. Dr. med. Frentzel–Beyme aus Bremen sind wir zufällig mit drei Fällen von Leiharbeitern befasst worden, die in Hanau bei vormals Nukem mit dem Abriss einer Anlage für die Herstellung von MOX-Brennelementen beschäftigt waren und danach in relativ jungen Jahren an einem Non-Hodgkin-Lymphom erkrankten. Diese Krebskrankheit gehört offiziell bei uns zu solchen mit geringem Strahlenrisiko, tritt aber typischerweise bei Nukleararbeitern auf, die radioaktiven Staub einatmen (Richardson et al. 2009). Bei den 3 Fällen lässt sich an Hand der dosimetrischen Angaben nachweisen, dass sie sich in einer plutoniumhaltigen Atmosphäre aufgehalten haben (Wolff et al. 2018).

Die zugehörige BG ETEM (Energie, Textil, Elektro, Medienerzeugnisse) streitet jedweden Zusammenhang ab. Interessanterweise hat sie aber im Mai 2019 einen Beitrag „**Rückbau von Kernkraftwerken: Arbeitsschutz frühzeitig einplanen**“ in Form eines Interviews veröffentlicht. Interviewt wird der Leiter des Fachgebiets Strahlenschutz der BG ETEM Thomas Ludwig, es ist also ein Interview mit sich selbst. Defizite in der bisherigen Handhabung oder mangelnde Vorsorge werden von Ludwig darin nicht beklagt.

FLUGPERSONAL

Auf die unvorhergesehen hohen Krebsraten bei Flugpersonal und die sicher unterschätzten Dosisbeiträge durch die Höhenstrahlung wurde in der Stellungnahme des BUND von 2017 bereits eingegangen (dort Kap.4). Eine später erschienene Langzeituntersuchung über Piloten, die auf den Nordatlantik-Routen geflogen sind, betätigt die hohe Krebsinzidenz (Gundmundsdottir et al. 2017), ebenso eine neue US-amerikanische Studie an Stewardessen (McNeely et al. 2018). Letztere ergab eine Erhöhung der Brustkrebsrate um 51% verglichen mit der Bevölkerung. Eine Chance zur Anerkennung einer BK besteht bei uns dennoch nicht, da die zugehörige BG Verkehr auf die angeblich sehr niedrigen Dosiswerte verweist und auf die Ergebnisse der deutschen Untersuchung an Flugpersonal, die eine Todesursachenstudie ist und in der aufgetretene überzählige Krebstode kurzerhand als nicht strahleninduzierbar erklärt werden.

Zur Kritik an der deutschen Studie soll hier auf das Beispiel eines Falles mit Prostata-Krebs näher eingegangen werden, der nach dem beschriebenen Muster von der BG abgelehnt wurde. Die erste Publikation der Autorengruppe (Blettner et al. 2002) betrachtete nur 170 Tode insgesamt bei 4537 vorwiegend jüngeren Männern, von denen nur 21 durch Krebs starben, davon 1 nicht näher spezifizierter Fall an einem Geschlechtsorgan (Tabelle 2). Die Krebstodesrate unterschied sich mit 0,71 nicht signifikant von der entsprechenden der Bevölkerung, da der Vertrauensbereich von 0,41 bis 1,18 eine Verminderung bis zu 59 % und eine Erhöhung bis 18 % gegenüber der Bevölkerung zugelassen hätte. Überhaupt war in der Studie keine einzelne Krebsart statistisch abweichend. Für die Prostata konnte sie kein Ergebnis liefern.

Die Gruppe der untersuchten Frauen war größer und wurde aber mit im Mittel 11,8 Jahren noch kürzere Zeit beobachtet, 44 Krebstode traten auf. Die mit 19 Fällen von Brustkrebs höchste Todesrate ergab eine nicht signifikante Erhöhung von 28 % und wird diskutiert, weil sich in Studien aus anderen Ländern eine Brustkrebserhöhung gezeigt hatte. Die Autoren kommen aber zu dem Schluss, dass andere Faktoren als Strahlung dafür verantwortlich sind. Auf Grund der geringen statistischen Aussagekraft ihrer Daten hielten die Autoren aber längere Auswertungen für erforderlich.

Insgesamt erwies sich Studie 1 in keiner Richtung für aussagefähig. Dennoch versteigen sich die Autoren im voran gehenden Abstrakt zu der Pauschalaussage: “Berufliche Gründe scheinen nicht ernsthaft zur Sterblichkeit von Flugbegleitern beizutragen.“

In der zweiten Untersuchung von 2010 wurde die Beobachtungszeit um 6 Jahre verlängert (Zeeb et al. 2010, s. Tabelle 2). Bei den männlichen Flugbegleitern traten 2 Tode durch Prostatakrebs auf, entsprechend einer nicht signifikanten Erhöhung gegenüber der Bevölkerung. Außerdem wurden Personen der Cockpit-Crew untersucht, bei den 6017 männlichen Piloten und Flugingenieuren zeigten sich 11 Todesfälle durch Prostatakrebs. Diese entsprachen einer Rate von 0,96 gegenüber der Bevölkerung mit einem Vertrauensbereich von 0,42-1,91. Auch damit kann man das Fehlen eines Effektes nicht begründen.

Tabelle 2: Deutsche Mortalitätsstudie zum Krebsrisiko bei fliegendem Personal

Kollektiv	Anzahl expon. Pers.	Mittl. Beob. Dauer Jahre	Mittl. Alter Jahre	Todesfälle gesamt	Beob. Krebstode gesamt	Beob. Tode Prostata	Dosis mSv	Ergebnisse
Kabinenpers. Männer 1960-1997 (Blettner et al. 2002)	4537	13,4	73 % < 41	170	21	≤ 1	überwiegend <100mSv	Keine signifikante Abweichung
Kabinenpers. Männer	3735	19,1		232	45	2		s. Text
Piloten u. Flugingenieure 1960-2003 (Zeeb et al. 2010)	6017	22,7		385	127	11		
Piloten u. Flugingenieure 1960-2004 (Hammer et al. 2012)	6006	23,5	51,5	405	127	11	überwiegend <100mSv	Prostata um 8% erhöht (nicht sign.)

Auf die Schwächen von Mortalitätsstudien zur Feststellung eines Strahleneffektes wird von den Autoren nicht hingewiesen. Im Zeitraum 2009-2010 war Prostatakrebs in Deutschland nur etwa in 19 % der Fälle die registrierte Todesursache (www.gekid.de). Für das Cockpit-Personal ergab sich in der 2. Studie eine signifikant erhöhte Todesrate durch Hirntumore. Bei Vergleich von Personen mit über 30 Jahren Flugzeit mit solchen mit weniger als 10 Jahren Flugzeit erschien die Krebssterblichkeit um mehr als das Doppelte erhöht. Bei den Flugbegleitern war die Sterblichkeit an Non-Hodgkin-Lymphomen signifikant erhöht. Dennoch kommen die Autoren zu dem Schluss, dass strahlenbedingte Krebsarten nicht erhöht sind, s. unten.

In der 3. Studie von 2012 wurden die Piloten und Flugbegleiter um ein Jahr länger untersucht (Tabelle 2). Für die Prostata ergab sich kein neuer Fall und eine nicht signifikante leichte Erhöhung der Todesrate. Diesmal wurden Dosiswerte ergänzt und eine Unterteilung in Dosisklassen vorgenommen. Im Ergebnis wurde ein Anstieg der Gesamtkrebsmortalität mit der Dosis festgestellt. Dies führen die Autoren aber wie schon vorher nicht auf die Strahlung zurück. Sie nehmen nämlich eine Einteilung der Krebsarten in „radiogene“ – d.h. durch ionisierende Strahlung erzeugbare – und „nicht-radiogene“ vor. Nur die nicht-radiogenen in der Studie seien dosisabhängig.

Zu den nicht-radiogenen zählen sie u.a. Prostata-, Haut-, Hirntumore und Non-Hodgkin-Lymphome. Als radiogen führen sie auf: Speiseröhren-, Magen/Darm-, Harnwegs-, Schilddrüsenkrebs sowie Leukämie (ohne chronisch lymphatische). Eigentlich gehört bekanntlich auch Lungenkrebs dazu. Diesen lassen sie weg mit der Begründung des unbekannteren Rauchverhaltens in der Kohorte. Lungenkrebs macht mit 17 Fällen aber 34 % der insgesamt zu zählenden 50 „radiogenen“ Krebstoten aus. Es drängt sich der Verdacht auf, dass bei Einbeziehung der Lungenkrebsfälle auch für die Gruppe der radiogenen Krebse ein Anstieg mit der Dosis erhalten würde (dieses gilt normalerweise als Indiz für die Strahlenursache).

Die vorgenommene Einteilung der Krebsarten entspricht nicht den strahleninduzierbaren bösartigen Tumoren, wie sie in der schon genannten Anlage 1 von 2011 der BKV von 2011 aufgeführt sind. Die Autoren der deutschen Studie von 2012 beziehen sich auf einen UNSCEAR-Report von 2000, den man als überholt ansehen muss, weil gerade im Zeitraum nach 2000 sehr viele epidemiologische Studien an beruflich Exponierten zu neuen Erkenntnissen geführt haben. Prostata-, Haut-, Hirntumore, Non-Hodgkin-Lymphome und auch Chronisch lymphatische Leukämie gelten auch in Deutschland inzwischen als strahleninduzierbar. Alle diese Erkrankungen sind auch nach niedrigen Dosen aufgetreten, wie sich in etlichen Studien gezeigt hat, s. dazu die Zusammenstellung von Daten durch Mämpel et al., die im Zusammenhang mit den Krankheiten der Radarsoldaten erstellt wurde. Prostatakrebs bei Männern unter 60 Jahren in Großbritannien wird z.B. von einer britisch-thailändischen Autorengruppe zu 20 % auf das diagnostische Röntgen zurückgeführt (Myles 2008).

Die deutsche Mortalitätsstudie an Flugpersonal ist keine ergebnisoffene Untersuchung. Sie macht generalisierende Aussagen, die anhand des zu Grunde liegenden beschränkten Datenumfanges nicht gerechtfertigt sind.

URANBERGARBEITER

1946 wurde durch das sowjetische Militär der Abbau von Uran in Ostdeutschland angeordnet. In Sachsen und Thüringen entstand das drittgrößte Uranfördergebiet der Welt, das später von der sowjetisch-deutschen Gesellschaft SDAG Wismut betrieben wurde. Es ging nach dem Ende der DDR in den Besitz der Bundesrepublik über. Die Förderung wurde 1990 wegen Erschöpfung der Uranflöze und Unwirtschaftlichkeit des Weiterbetriebs eingestellt. Die Sanierungsaufgaben wurden dem Bundeswirtschaftsministerium übertragen, die notwendigen Mittel dazu aus dem Bundeshaushalt bereitgestellt.

Die Wismut hatte bis dahin etwa 600.000 Bergleute und andere Personen beschäftigt. Die Kompensation der Folgen von Berufskrankheiten wurden den gewerblichen Berufsgenossenschaften übertragen. Bis 1990 waren in der DDR bei der Wismut etwa 14.500 Silikosen und 5500 Lungenkrebsfälle als Berufskrankheit anerkannt worden (Koppisch 2005). Mit dem Ende der SDAG Wismut war das Auftreten von Berufskrankheiten jedoch naturgemäß nicht beendet. In den folgenden 8 Jahren (1991-2008) wurden weitere 3500 Bronchialkarzinome und 4000 andere Berufskrankheiten anerkannt. Im gleichen Zeitraum wurden 12.000 Anträge auf Anerkennung einer Berufskrankheit abgelehnt, 1200 Wismut-Kumpel klagten gegen diese Entscheidung, davon waren 60 erfolgreich.

Typische Folgeerkrankungen bei den Uranbergarbeitern sind Lungenkrebs, der auf das eingeatmete Radon in den Stollen zurückgeführt wird, und Lungenfibrose, die durch eine Kombinationswirkung von Radon und Erzstaub verursacht wird. Ein Lungenkrebs wird nur dann ohne weiteres Gutachtergezerre als Berufskrankheit anerkannt, wenn die Lungendosis so hoch ist, dass sie, nach heutiger Vorgabe der ICRP aus der Radonexposition abgeleitet, den Wert 20 Sv (!) überschreitet. Als Bewertungsgrundlage für den Dosiswirkungszusammenhang beziehen sich die Berufsgenossenschaften auf ein 1992 erstelltes Gutachten von Prof. Wolfgang Jacobi, Physiker und langjähriges ICRP-Mitglied. Er nebst Mitarbeitern Henrichs und Barclay führte in seiner Modellrechnung u.a. fälschlich einen starken Rückgang des Lungenkrebsrisikos mit der Zeit nach der Exposition ein. Dadurch haben Bergleute, die jetzt erst oder zukünftig noch erkranken, überhaupt keine Chance auf Kompensation mehr (Schmitz-F., Pflugbeil 2008). Die Latenzzeiten für strahleninduzierten Lungenkrebs können aber mehrere Jahrzehnte betragen.

Bezüglich Krebserkrankungen außerhalb der Lunge gutachtete Jacobi 1995. Danach bedarf es ausnehmend riesiger Dosen für einen Anerkennungsfall, obwohl eine Reihe derartiger Erkrankungen bei Uranbergarbeitern gut dokumentiert ist. Bei Lungenfibrosen wird eine Lungendosis

ab 12 Sv zur Anerkennung verlangt, die Herkunft dieses hohen Schwellenwertes ist wissenschaftlich nicht nachvollziehbar (Schmitz-F., Pflugbeil 2010).

Die vom BfS begonnene und bis dato weitergeführte Deutsche Uranbergarbeiterstudie, die von den Berufsgenossenschaften auch herangezogen wird, ist wenig hilfreich, da sie eine Mortalitätsstudie ist, d.h. größtenteils nur auf Totenscheinen fußt, und die angenommenen Individualdosen mit großen Unsicherheiten behaftet sind (Eigenwillig 2004, 2007).

RADARSOLDATEN

Über die Probleme der „Radarsoldaten“ hat die Gesellschaft für Strahlenschutz 2015 einen Bericht veröffentlicht (Mämpel et al.). In diesem wurden für die folgenden „radiogenen“ Erkrankungen bei erwachsenen Männern Daten zusammengestellt und Verdopplungsdosen⁵ abgeleitet oder diskutiert. Letztere sind durchweg wesentlich niedriger, als sich aus den Befunden an den japanischen Atombombenüberlebenden ergibt:

Krebserkrankungen	Gutartige Tumore, insbesondere Hirntumore
<i>Non-Hodgkin-Lymphome</i>	Katarakte (Grauer Star)
<i>Chronisch lymphatische Leukämie</i>	Fertilitätsstörungen
<i>Prostata</i>	Herz-/Kreislaufkrankungen
<i>Rektum (Mastdarm)</i>	Nicht-maligne Erkrankungen des Magen-/Darmtrakts
<i>Maligne Melanome</i>	Nicht-maligne Erkrankungen des Atemtrakts
<i>Multipl. Myelom</i>	Psychisch-neurologische Erkrankungen
<i>Larynx (Kehlkopf)</i>	Schäden an Knochen, Knorpel und Zähnen
<i>Pankreas (Bauchspeicheldrüse)</i>	Schädigungen des Immunsystems und Entzündungen
<i>Hoden</i>	

Schlussfolgerungen

In Deutschland sehen wir zwei unbeachtete große Probleme im Strahlenschutz: 1) die mangelnde Kompensation von strahleninduzierten Berufskrankheiten durch die Berufsgenossenschaften sowie das inzwischen bestätigte Risiko für ihre Nachkommen, 2) den generell fehlenden Strahlenschutz für das ungeborene Leben. Letzteres war auch ein zentrales Anliegen in der Stellungnahme des Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland zum neuen Strahlenschutzgesetz von 2017, dem sich der Ärzteverein IPPNW und andere NGOs angeschlossen hatten.

Die Kritiker des offiziellen Strahlenschutzes müssen verstärkt darum kämpfen, dass die sehr aufschlussreichen Gesundheitsfolgen nach Tschernobyl berücksichtigt werden.

Die WHO hat im Update von 2016 mitgeteilt, dass sich inzwischen ein Verbund von UNDP, IAEA, WHO und UNICEF daran gemacht hat, die Effekte nach Tschernobyl in den betroffenen Bevölkerungen zu erklären. Das verspricht nichts Gutes, denn bekanntlich ist die IAEA eine Einrichtung der Vereinten Nationen zur Förderung der Kernenergieanwendung. Seit Langem haben Wissenschaftler aus NGOs ein unabhängiges Institut gefordert, das nach dem Muster des Hirosimainstituts RERF die Strahlenfolgen nach Tschernobyl bearbeiten und beforschen soll.

Das unabhängige internationale Tschernobylinstitut ist natürlich ein derzeit kaum zu erreichendes Ziel. Dennoch könnten sicherlich die verschiedenen Aktivitäten von Tschernobylinitiativen besser gebündelt werden, um Aufklärung in der Ärzteschaft, bei Politikern und in der übrigen Gesellschaft zu betreiben. Die unzumutbar größte Quelle für die Strahlenbelastung der Bevölkerung ist gegenwärtig die Diagnostik mittels Computertomographie.

⁵Die Verdopplungsdosis ist diejenige Dosis, die zusätzliche so viele Erkrankungsfälle erzeugt wie der Spontanhäufigkeit entspricht

- 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
- Bernier, M.-O., Rehel, J.-L., Brisse, H.J., Wu-Zhou, X., Caer-Lorho, S., Jacob, S., Chateil, J.F., Aubert, B., Laurier, D.: Radiation exposure from CT in early childhood: a French large-scale multicentre study. *Brit. J. Radiol.* 85 (2012) 53-60
- Bithell, J.F., Stewart, A.: Pre-natal irradiation and childhood malignancy: a review of British data from the Oxford Survey. *Brit. J. Cancer* 31 (1975) 271-287
- Blettner, M., Zeeb, H., Langner, I., Hammer, G.P., Schafft, T.: Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Germany, 1960-1007. *Am. J. Epidemiol.* 156 (2002) 556-567
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: BUND-Stellungnahme zum Entwurf des Strahlenschutzgesetzes, Berlin 24. März 2017; Bundestag Ausschussdrucksache 18 (16) 539-6 zur Anhörung am 27.03.2017; www.strahlenschutz-gesellschaft.de
- Doll, R., Wakeford, R.: Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Brit. J. Radiol.* 70 (1997) 130-139
- Eigenwillig, G.G. Radon und Radon-Zerfallsprodukte im Uranerzbergbau der WISMUT – Ermittlung von Exposition, zusätzlichen Randbedingungen u. Verbesserungen. *Zbl. Arbeitsmed.* 85(4) 420-429.
- Eigenwillig, G.G.: Fehlerhafte Ermittlung und Zuordnung von Expositionswerten für Hauer in den Objekten 02, 03 und 09 der WISMUT in den Jahren 1946 bis 1976. *Zbl. Arbeitsmed.* 57 (2007) 375-390
- Grant, E.J., Brenner, A., Sugiyama, H., Sakata, R., Sadakane, A. et al.: Solid cancer incidence among the Life Span Study of atomic bomb survivors: 1957-2009. *Radiat. Res.* 197 (2017) 513-537
- Greiser E, Hoffmann W: Kommentare zur Fall-Kontrollstudie Niedersachsen s. (2), Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin (BIPS), Bremen, im März 1996
- Gudmundsdottir, E.M., Hrafnkelsson, J., Rafnsson, V.: Incidence of cancer among licenced commercial pilots flying North Atlantic routes. *Environ. Health* (2017) 16-86
- 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
- Herrmann, T., Thiede, G., Trott, K.-R., Voigtmann, L.: Nachkommen präkonzeptionell bestrahlter Eltern. Abschlussbericht einer Longitudinalstudie 1976-1994 und Empfehlungen zur Patientenberatung. *Strahlentherapie und Onkologie* 180 (2004) 21-30
- Hoffmann W, Terschueren C, Richardson DB: Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishments near Hamburg, Germany. *Environ Health Perspect* 2007; 115: 947-52.
- Holtgrewe, M. et al.: Multisite de novo mutations in human offspring after paternal exposure to ionizing radiation. *Scientific Reports* 2018 www.nature.com/articles/s41598-018-33066-x
- Holtgrewe, M., Sperling, K., Krawitz, P.: Exposition gegenüber Röntgenstrahlung von Radarsoldaten: Nachweis genetischer Veränderungen bei den Nachkommen. *Strahlentelex* Nr. 764-765 v. 1. Nov. 2018 www.strahlentelex.de
- 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: 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 Nos. 1-2 (2012)
- Kaatsch P, Kaletsch U, Krummenauer F, Meinert R, Miesner A, Haaf G, Michaelis J. Case control study on childhood leukemia in Lower Saxony, Germany. *Klin Pädiatr* 1996; 208: 179-185
- Kaletsch U, Haaf G, Kaatsch P et al.: Fallkontrollstudie zu den Ursachen von Leukämie bei Kindern in Niedersachsen. Institut für Med. Statistik u. Dokumentation, Univ. Mainz, Juli 1995.
- Koppisch, D., Otten, H.: Der Beitrag der Berufsgenossenschaften zur "Wismut"-Forschung. *Die BG* 05 (2005) 291-292
- 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
- McNeely, E., Mordukhovich, I., Staffa, S., Tidemann, S., Gale, S., Coull, B.: Cancer prevalence among flight attendants compared to the general population. *Environ. Health* (2018) 17:49 <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0396-8>
- Michaelis J: Recent epidemiological studies on ionizing radiation and childhood cancer in Germany. *Int J Radiat Biol* 1998; 73: 377-81.

- Morgan, K.Z.: Veränderungen wünschenswert – Über die Art und Weise, wie internationale Strahlenschutzempfehlungen verfaßt werden. Berichte des Otto Hug Strahleninstituts Nr. 6, 1993, 5-12
- Morris et al. (2018): Trends in congenital anomalies in Europe from 1990 to 2012. *PLoS ONE* 13(4) e0194986. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194986>
- Myles, P., Evans, S., Lophatananon, A., Dimitropoulou, P., Easton, D., Key, T., Pocock, R., Dearnaley, D., Guy, M., Edwards, S., O'Brien, L., Gehr-Swain, B., Hall, A., Wilkonson, R., Eeles, R., Muir, K.: Diagnostic radiation procedures and risk of prostate cancer. *Brit. J. Cancer* 98 (2008) 1852-1856
- Nekolla, E.A., Schegerer, A.A., Griebel, J., Brix, G.: Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen. Trends zwischen 2007 und 2014. *Radiologe* 7 (2017) 555-562
- Otake, M., Schull, W.J.: Radiation-related brain damage and growth retardation among the prenatally exposed atomic bomb survivors. *Int. J. Radiat. Biol.* 74 (1998) 159-171
- Pierce, D.A., Preston, D.L.: Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat. Res.* 154 (2000) 178-186
- Queisser-Wahrendorf, A., Wiesel, A., Stolz, G.: Fehlbildungen – Häufigkeiten und Risikofaktoren. Aktuelle Daten aus dem Geburtenregister Mainzer Modell (MaMo). *Kinder- und Jugendarzt.* 47 (2016) Nr.6
- Richardson, D.B., Sugiyama, H., Wing, S., Sakata, R., Grant, E., Shimizu, Y., Nishi, N., Geyer, S., Soda, M., Suyama, A., Kasagi, F., Kodama, K.: Positive associations between ionizing radiation and lymphoma mortality among men. *Am. J. Epidemiol.* 169 (2009) 969-976
- Rösch, C., Steinbicker, V., Röse, I.: Häufigkeit oraler Spaltbildungen in der Region Magdeburg. *Mund Kiefer GesichtsChir.* 2 (1998) 5-10
- Schmitz-Feuerhake, I., Hoffmann, W.: Das Sittenser Leukämiecluster – Aufklärung ohne Konsequenzen. *KINDER- UND JUGENDARZT* 38 (2007) 816-818
- Schmitz-Feuerhake, I., von Boetticher, H., Dannheim, B., Götz, K., Heimers, A., Hoffmann, W. and Schröder, H. Estimation of x-ray overexposure in a childhood leukaemia cluster by means of chromosome aberration analysis. *Radiat. Prot. Dos.* 98, 291-297 (2002)
- Schmitz-Feuerhake, I.: How reliable are the dose estimates of UNSCEAR for populations contaminated by Chernobyl fallout? A comparison of results by physical reconstruction and biological dosimetry. *ECRR Int. Conference „Criticisms and Developments in the Assessment of Radiation Risks“* in Molyvos, Lesbos, Greece, May 5-6, 2009. *Proceedings* 2011, 70-85
- Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S. (2008): Unterschätzte Gesundheitseffekte durch inkorporierte Radioaktivität und die Folgen des Uranbergbaus der SDAG WISMUT, *Thüringer Ärzteblatt* 7-8: 413-418.
- Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S. (2010): „Weltniveau“ im Arbeitsschutz: Professor Arndt und die Lungenfibrose bei Wismut-Bergleuten, *Strahlentelex* Nr. 556-557: 2-7.
- Stewart, A., Webb, J., Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *Brit. Med. J.* (1958) 1495-1508
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2006, Report to the General Assembly with Scientific Annexes Vol.I.* United Nations, New York 2008
- UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes Vol. II, Scientific Annex D (Health Effects due to Radiation from the Chernobyl Accident)* United Nations New York, 2011
- Wakeford, R., Little, M.P.: Risk coefficients for childhood cancer after intrauterine irradiation: a review. *Int. J. Radiat. Biol.* 79 (2003) 293-309
- Wassermann, O. u.a.: Erkenntnisse der schleswig-holsteinischen Fachkommission Leukämie im Zeitraum 1993-2004 zur Ursache der in der Nahumgebung der Geesthachter Atomanlagen aufgetretenen Leukämiehäufung bei Kindern. Abschlussbericht des Vorsitzenden Univ.-Prof. (em.) Dr. Otmar Wassermann vom 15.09.2004. <http://www.oh-strahlen.org/docs/ableukkom.pdf>
- Wiesel, A., Stolz, G., Queisser-Wahrendorf, A.: Evidence for a teratogenic risk in the offspring of health personnel exposed to ionizing radiation?! *Birth Defects Research (Part A)* 106: 475-479, 2016
- Wolff, R., Frenzel-Beyme, R., Schmitz-Feuerhake, I.: High prevalence of chronic lymphocytic leukemia and B cell lymphomas in nuclear workers after incorporation of alpha emitters. Case report and review of the literature. *Conference Proceedings RAD 20018 Mazedonien.*
- 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
- Zeeb, H., Hammer, G.P., Langner, I., Schafft, T., Bennack, S., Blettner, M.: Cancer mortality among German aircrew: second follow-up. *Radiat. Environ. Biophys.* 49 (2010) 187-194
- Ziegler, V., Hemprich, A.: Spaltgeburtenrate der ehemaligen DDR vor und nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. *Mund Kiefer GesichtsChir.* 3 (1999) 195-199