

Zusammenhang mit der berechneten mittleren Strontiumbelastung der Schwangeren. Das Maximum des Effekts zeigt sich etwa sieben Jahre nach Tschernobyl. Eine Zeitverschiebung von sieben Jahren wurde auch zwischen der Perinatalsterblichkeit in Westdeutschland nach den atmosphärischen Atomwaffentests und dem Maximum des Fallouts im Jahr 1963 beobachtet [8].

Aus der Differenz zwischen den beobachteten Sterblichkeitsraten im Studiengebiet (Gomel und Zhitomir) und den Raten im Vergleichsgebiet (Belarus ohne Gomel und Minsk) errechnet sich für 1987 bis 1997 eine Zahl von 1.104 zusätzlich perinatal gestorbenen Neugeborenen im Studiengebiet (680 in Zhitomir und 424 in Gomel), davon 65 Fälle im Jahr 1987 (38 in Zhitomir und 27 in Gomel).

Das widerspricht der Aussage, dass Strontium auch in den höher belasteten Gegenden Weißrusslands, Russlands und der Ukraine zu weniger als 5 Prozent zur internen Dosis beiträgt [9, Seite 15]. Außerdem ist das Ergebnis unvereinbar mit der von der ICRP angenommenen Schwellendosis von 100 mSv [10] für teratogene Schäden, denn die Dosis für Einwohner des Studiengebietes wird auch in den ersten Jahren nach Tschernobyl nur mit einigen mSv pro Jahr angegeben [11]. In Deutschland betrug die mittlere Dosis im ersten Folgejahr nach Tschernobyl nach Aussage der Strahlenschutzkommission sogar nur 0,2 mSv. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung widersprechen damit dem Konzept einer unschädlichen Dosis (safe dose) für teratogene Schäden.

Medizinische Strahlenbelastung

Auch ohne nuklearen Müll und Atomkraftwerke: Die Verstrahlung der Menschheit schreitet voran

Von Inge Schmitz-Feuerhake*

Einem neuen Buch aus dem Springer-Verlag zufolge – „Clinical PET-CT in Radiology 2011“ – gibt es zur Zeit bereits über 5.000 PET/CT-Scanner. Das sind Systeme, die gleichzeitig eine (Röntgen-) Computertomographie (CT) und eine Positronenemissionstomographie (PET) vom ganzen Menschen anfertigen können. Letzteres ist eine nuklearmedizinische dreidimensionale Methode, bei der Positronenstrahler – meistens Fluor-18 mit einer Halbwertszeit von 1,8 Stunden – eingesetzt werden. Für eine einzige Ganzkörperuntersuchung klettert dabei die effektive Dosis von 10 Millisievert

(mSv) für eine alleinige CT auf 25 mSv [Brix 2005]. Die Organdosen sind entsprechend: Knochenmark 29 mSv, Lunge 27 mSv, Eierstöcke 33 mSv, Darm 36 mSv, Magen 29 mSv.

Zum Vergleich: Der Grenzwert für die Bevölkerung bei einem Atomkraftwerk beträgt 0,3 mSv (effektiv) pro Jahr, für beruflich Strahlenexponierte 20 mSv pro Jahr.

Auch andere „Hybridsysteme“ sind im Kommen, nämlich SPECT¹/CT, bei dem normale gammastrahlende Nuklide

¹ Single Photon Emission Computed Tomography

1. Lüning G, Scheer J, Schmidt M, Ziggel H. Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl. *Lancet*. 1989 Nov 4;2(8671):1081-3.
2. Körblein A, Küchenhoff H. Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys*. 1997 Feb;36(1):3-7.
3. Scherb H, Weigelt E, Brüske-Hohfeld I. Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany 1980-1993. *Environ Health Perspect*. 2000 Feb;108(2):159-65.
4. http://gd1.med.uni-giessen.de/ugm_2/deu/ugi_nuk/PDF/Rad_V2_Strahlentherapie.pdf
5. Körblein A. Einfluss der Form der Dosis-Wirkungsbeziehung auf das Leukämierisiko. *Strahlentelex* (2008) 524-525:8-10. http://www.strahlentelex.de/Stx_08_524_S08-10.pdf
6. Körblein A. Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus. *Radiat Biol Radioecol*. 2003 Mar-Apr;43(2).
7. Körblein A. European stillbirth proportion and Chernobyl.

verwendet werden, und CT/MRT, bei dem die Magnetresonanztomographie (MRT) zwar keine ionisierende Strahlung aussendet, womöglich aber die Hochfrequenzstrahlung einen synergistischen Effekt mit der Röntgenstrahlung des CTs erzeugt.

Gerechtfertigt wird die hohe Dosis mit einer strengen Indikation, da sie nur bei Patienten eingesetzt werden soll, die schon Krebs haben. Da dient die Methode zur präzisen Darstellung des zu therapierenden Tumors und zur laufenden Metastasen-Nachkontrolle. In der Medizin gibt es aber bekanntlich keine Dosisgrenzwerte für Patienten. Die Hybridsysteme werden außerdem, wie bereits seit längerer Zeit die „Darmspiegelung“ per CT, für Vorsorge- und Früherkennungsmaßnahmen angeboten.

Die Ärzte sagen gern, sie seien für die weitgehende Vermeidung solcher Expositionen, aber viele Patienten würden diese Diagnoseverfahren

Int J Epidemiol. 2000 Jun;29(3):599. Erratum in: *Int J Epidemiol* 2000 Oct;29(5):962.

8. Körblein A. Perinatal mortality in West Germany following atmospheric nuclear weapons tests. *Arch Environ Health*. 2004 Nov;59(11):604-9.
9. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Environment” (EGE), August 2005.
10. International Commission on Radiological Protection (2003). Biological effects after prenatal irradiation (Embryo and Fetus). ICRP Publication 90, Annals of the ICRP 33, Nos. 1-2. Pergamon Press, Oxford.
11. World Health Organization. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Health” (EGH), August 2005.

* Dr. Alfred Körblein,
www.alfred-koerblein.de

ren verlangen und die Ärzte regresspflichtig machen, wenn sie nicht alle Möglichkeiten ausschöpfen.

Die stetig ansteigende Strahlenbelastung

Einschlägigen Standesorganisationen und Strahlenschutzgremien dämmert es inzwischen, dass es mit der diagnostischen Strahlenbelastung nicht so weitergehen kann. Besonders in den USA, in Japan, Deutschland und einigen westeuropäischen Ländern ist sie wegen der stetig zunehmenden CT-Aufnahmen auf nie erreichte Höhen geklettert.

Auslöser der längst überfälligen Diskussion war ein Artikel von Brenner u.a. aus dem Jahre 2001, in dem geschätzt wurde, dass jährlich in den USA bei Kindern, die eine CT erhalten, dadurch bei 500 von ihnen ein späterer Krebs induziert wird. Die deutsche Strahlenschutzkommission hat 2006 eine äußerst restriktive Anwendung von CT-Untersuchungen bei Kindern emp-

fohlen. Ob dieses zu einer nennenswerten Reduktion der Anwendungen geführt hat, ist noch nicht bekannt.

Das Problem dabei ist die Art der Risikovermittlung. Erstens wird als Maß für das Schadensrisiko die effektive Dosis der Röntgenuntersuchung benutzt, die per Definition einen nur kleinen Wert ergibt. Zweitens soll der Arzt anhand einer Nutzen/Risiko-Abwägung vor jeder Untersuchung eine „rechtfertigende Indikation“ herleiten.

Letzteres ist gut gemeint, aber nicht wirklich hilfreich. Denn das eigentliche Problem besteht darin, dass das Individualrisiko bei einer einzelnen Untersuchung relativ klein ist, während die Kollektivdosis steigt und steigt.

Wie groß sind die Krebsfolgen durch Medizin-diagnostik?

Mit Recht wird darauf hingewiesen, dass die meisten Röntgenuntersuchungen in der Bevölkerung bei Personen im höheren Lebensalter stattfinden, und da wiederum besonders häufig bei solchen, die schon Krebs haben. Spätfolgen müssen daher alters- und indikationsabhängig bewertet werden.

Vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wird die mittlere effektive Dosis der Deutschen durch Röntgendiagnostik im Jahr 2006 zu 1,8 mSv angegeben². Das bedeutet bei 82,4 Millionen Einwohnern eine effektive Kollektivdosis von 148.320 Personen-Sievert (Pers Sv) pro Jahr. Davon sollen circa 2 Prozent bzw. 3.000 PersSv auf kindliche Patienten entfallen. Wir haben an anderer Stelle abgeschätzt, dass das absolute Risiko für Leukämie bei der Bestrahlung von Kindern etwa $130 \cdot 10^{-4}$ pro Sv beträgt [Schmitz-Feuerhake 2010]. Damit errechnen sich 39 zusätzliche Leukämiefälle

pro Jahr durch Röntgen im Kindesalter, wovon wegen der Latenzzeiten nur etwa die Hälfte (circa 20 Fälle) im Alter unter 15 Jahren diagnostiziert wird.

20 Fälle auf 11,45 Millionen Kinder ergeben eine Induktionsrate von 0,17 Fällen auf 100.000 Kinder pro Jahr ($0,17 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr). Gegenüber dem deutschen Mittelwert der Inzidenz von $5,5 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr (2006) macht das zusätzliche 3 Prozent aus, die sich natürlich auf mehrere Folgejahre verteilen. Die Leukämie bei Kindern ist in Westdeutschland seit den 1970er Jahren – dem Beginn des CT-Einsatzes – ständig angestiegen. Zwischen 1980 und 2004 betrug der Anstieg laut Mainzer Kinderkrebsregister bereits $0,06 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr.

Die übrigen 19 im Kindesalter induzierten Leukämien sind im frühen Erwachsenenalter unterhalb von 30 Jahren zu erwarten. Hinzu kommen die weiteren induzierten Krebserkrankungen, die wegen der viel längeren Latenzzeiten bei den soliden Tumoren (außer Knochenkrebs) ebenfalls im Erwachsenenalter erscheinen. Ihre Anzahl ist auf Grund der Angaben über die japanischen Atombombenüberlebenden etwa gleich hoch anzusetzen [Preston 2007].

Auf Personen im Alter von 15 bis 59 Jahren entfallen im Jahr 2006 nach Angabe des BfS 31 Prozent der Kollektivdosis und damit 45.979 PersSv. Der Internationalen Strahlenschutzkommission zufolge [ICRP 2007] gibt es bei Erwachsenen ein Risiko von 4,1 Prozent pro Sv für den Krebstod. Dieser Wert liegt, wie im Folgenden gezeigt wird, um mindestens einen Faktor 4 zu niedrig. Denn erstens nimmt die ICRP entgegen einer weit verbreiteten Meinung keinen linearen Dosiswirkungszusammenhang ohne Schwelle (LNT-Modell) an, sondern verwendet einen Dosis-und-Dosisraten-Effektivitäts-Faktor (DDREF) von

2. Das heißt, die aus den Daten der japanischen Atombombenüberlebenden per linearer Extrapolation hin zu kleinen Dosen gewonnenen Krebsraten werden halbiert. Dieser Faktor ist ein historisches Überbleibsel ohne strahlenbiologische Rechtfertigung [Nussbaum 1994].

Des Weiteren sind die Daten der japanischen Atombombenüberlebenden auf den Fall diagnostischer Röntgenstrahlung wegen der geringeren Strahlungsenergie nicht direkt übertragbar. Die Atombombenstrahlung war eine sehr hochenergetische Gammastrahlung mit einer mittleren Energie von etwa 3 Mega-elektronenvolt (MeV). Eine solche Strahlung ist strahlenbiologisch um mindestens einen Faktor 2 weniger wirksam als eine niederenergetische Röntgenstrahlung [Straume 1995].

Mit diesen Korrekturen ergibt sich für Erwachsene ein Risiko für die Krebssterblichkeit (Mortalität) von 16,4 Prozent pro Sv und entsprechend errechnen sich pro Jahr 7.540 zusätzliche Krebstote durch Röntgendiagnostik in Deutschland bei Menschen unter 60 Jahren. Das sind 3,6 Prozent im Vergleich zu den 210.930 Krebstoten in Deutschland im Jahr 2006 [www.gekid.de]. Die Krebsinzidenz ist nach ICRP auf das Doppelte der Mortalität anzusetzen. Damit erhöht sich die Fallzahl auf 15.080 zusätzlich induzierte Krebsfälle pro Jahr.

Hinzu kommen strahleninduzierte sogenannte gutartige Tumoren, die von der ICRP nicht berücksichtigt werden. Diese bilden zwar keine Metastasen, können jedoch zu lebensbedrohlichen Verdrängungen anderen Gewebes führen. Zum Beispiel gehören Meningeome überwiegend zu den gutartigen Hirntumoren und werden nicht mitgezählt, obwohl sie als Strahlenfolge vielfach nachgewiesen wurden [Schmitz-Feuerhake 2009,10].

Zwei Drittel der Bevölkerungsdosis durch Röntgendiagnostik entfallen laut BfS auf Personen ab dem Alter von 60 Jahren. Auch in dieser Altersgruppe dürften die Nebenwirkungen nicht ganz vernachlässigbar sein, da im Alter womöglich, und bei Patienten unter Krebstherapie bestimmt, das Immunsystem geschädigt und somit die Strahlenempfindlichkeit erhöht ist.

Keine Gefährdung der nachfolgenden Generationen?

Das Hauptargument der Atomkraftgegner ist bekanntlich die ungelöste Endlagerfrage. Man will die nachfolgenden Generationen vor einer Belastung mit riesigen Mengen künstlich erzeugter Radioaktivität bewahren. Wenn dagegen Leute unbedingt zum CT wollen, dann ist die Strahlung vorbei, wenn das Gerät wieder ausgeschaltet worden ist, und es trifft nur sie selbst.

Aber gab es früher nicht die „genetisch signifikante Dosis“ in der Radiologie? Gerade bei CTs ist der Gonadenschutz nur eingeschränkt möglich, bei Abdominalaufnahmen bei Frauen gar nicht, auch bei SPECT und PET natürlich nicht. Wenn die CTs und die Hybridsysteme zunehmend zu Abdominaluntersuchungen und zur Ganzkörperkontrolle von Krebspatienten eingesetzt werden und damit zu lebensverlängernden Maßnahmen sowie zu Früherkennungsuntersuchungen, dann natürlich auch bei Personen, die sich noch im reproduktionsfähigen Alter befinden.

Die ICRP hat inzwischen – in ihrer Empfehlung von 2007 – das genetische Strahlenrisiko bis zur Unkenntlichkeit hinunter dekliniert; es wurde von früher 1,3 auf 0,2 Prozent pro Sv gesenkt. Die ICRP argumentiert, es gebe keinen direkten wissenschaftlichen Nachweis dafür, dass Kinder von bestrahlten Eltern Erb-

² hinzu kommen 0,13 mSv durch Nuklearmedizin

krankheiten haben. Wegen der Ergebnisse aus Tierversuchen hält sie es aber für notwendig, ein reales Risiko anzunehmen. Ihre Empfehlung stützt sich, analog zu Vorgaben des Strahlenkomitees der Vereinten Nationen [UNSCEAR 2001] und des U.S.-amerikanischen BEIR Komitees [2006], auf dominante Effekte bei Mäusen in der ersten Generation.

Die Schätzung im UNSCEAR-Report 2001 ergab 0,3 bis 0,5 Prozent pro Sv. Dies soll einer Verdopplungsdosis³ von etwa 1 Sv entsprechen. Diese ist dann nach ICRP mit 2 Sv anzusetzen. Sie gilt wiederum nur für dominante Erbschäden und die Folgen in der 1. Generation. Rezessive Mutationen und polygenisch beeinflusste Störungen, das heißt durch mindere Schädigungen bei mehreren Genen, die in ihrer Gesamtheit negative Auswirkungen haben, werden nicht berücksichtigt.

Die Komitees sehen sich in ihrer niedrigen Einschätzung des genetischen Risikos dadurch bestätigt, dass bei den japanischen Atombombenüberlebenden keine signifikant erhöhten Erbschäden bei den Kindern gefunden wurden [Neel 1990; Fujiwara 2008]. Dagegen haben Kritiker immer wieder darauf hingewiesen, dass dort nur eine begrenzte Auswahl an genetischen Merkmalen untersucht werden konnte, da bis heute das gesamte Spektrum mutationsbedingter Schädigungen nicht bekannt ist. Außerdem war die Datenerhebung in Bezug auf die Nachkommen der Bestrahlten besonders unzuverlässig, weil letztere eine gesellschaftlich ausgestoßene und geächtete Population darstellten. Um die Heiratschancen ihrer Kinder nicht zu gefährden, wurde ihre Herkunft

³ Die Verdopplungsdosis ist diejenige Dosis, die genau soviel Effekt erzeugt wie der Spontanrate entspricht.

Tabelle: **Strahleninduzierte Krebserkrankungen im Kindesalter nach präkonzeptioneller beruflicher oder diagnostischer Niederdosisbestrahlung**

Bestrahltes Kollektiv	Krankheit	Gonadendosis in mSv	Relatives Risiko [‡]
Sellafield Seascale Väter [Gardner 1990]			
alle Stadien der Spermatogenese	Leukämie + Lymphome	200	7
6 Monate vor Konzeption	Leukämie + Lymphome	10	7
Sellafield Arbeiter [Dickinson 2002]	Leukämie + Lymphome		1,9
Berufliche Exposition			
Väter West Cumbria [McKinney 1991]	Leukämie + Lymphome		3,1
Exposition beim Militär [Hicks 1984]	Krebs		2,7
Präkonzeptionelle Röntgendiagnostik			
Väter [Graham 1966]	Leukämie	3-30	1,3
Väter [Shu 1988]	Leukämie		1,4-3,9
Väter [Shu 1994]	Leukämie		3,8
Mütter [Stewart 1958]	Leukämie		1,7
Mütter [Graham 1966]	Leukämie		1,7
Mütter [Natarajan 1973]	Leukämie		1,4
Mütter [Shiono 1980]	Leukämie		2,6
	Krebs		

‡ Verhältnis der beobachteten Fälle zu den anhand von Kontrollgruppen zu erwartenden Fällen

möglichst verschwiegen und die potentiellen Schädigungen wurden von den Eltern nicht angegeben [Yamasaki 1990].

Im Gegensatz dazu stehen Befunde nach beruflicher Exposition sowie diagnostischem Röntgen. Zudem gibt es ein großes Spektrum von genetischen Schäden, die nach dem Tschernobylunfall beobachtet wurden.

Nach Angaben von Genetikern muss man aufgrund von Befunden aus Tierversuchen und Beobachtungen am Menschen grundsätzlich folgende Arten von Erbschäden nach Bestrahlung erwarten [Vobrovtsova 1989; Friedler 1996]:

1. Schwerwiegende Entwicklungsstörungen (Absterben der Frucht, Totgeburt, frühkindliche Sterblichkeit, Fehlbildungen, chromosomale und genomische Erbkrankheiten, Unfruchtbarkeit).
2. Krebserkrankungen im Kindes- und Erwachsenenalter.
3. Degenerationserscheinungen, die sich in Form von verminderter Widerstandskraft und Fitness zeigen.

Sever und Mitarbeiter publizierten 1988 die Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie über Fehlbildungen bei Kindern von Beschäftigten in der Nuklearindustrie (Hanford im

Staat Washington). Die Rate der Neuralrohrdefekte wie Offener Rücken und Missbildungen des Gehirns war signifikant um das Doppelte erhöht. Es bestand ein Zusammenhang der Rate mit der Höhe der elterlichen Dosis, die nur in wenigen Fällen 100 mSv überschritt. Neuralrohrdefekte sind ebenfalls bei den Kindern von Frauen vermehrt aufgetreten, die im Säuglingsalter eine Röntgentherapie wegen Blutschwamm erhalten hatten [Källén 1998]. Die mittlere Dosis der Eierstöcke wird zu 60 mSv angegeben.

Neuralrohrdefekte waren nach dem Tschernobylunfall auffällig in besonders kontaminierten Gebieten der Türkei [Akar 1988; Caglayan 1990; Mocan 1990]. Da ihre Häufigkeit danach wieder abfiel, wurden sie zunächst als Folge einer Exposition im Mutterleib interpretiert. Es zeigte sich aber ein weiterer Effekt über 9 Monate nach dem Unfall hinaus, so dass für diese Fälle nur eine Zeugung durch bestrahlte Eltern in Frage kommt [Güvenc 1993]. Der spätere Rückgang der Schäden kann darauf beruhen, dass beim Mann die Keimzellen in der kurzen Zeitspanne von etwa 90 Tagen vor Konzeption besonders strahlenempfindlich sind.

Überhaupt liegen zahlreiche Untersuchungsergebnisse aus dem betroffenen (Ukraine) und den Anrainerländern von Tschernobyl sowie weiter entfernten Ländern Europas vor, die Fehlbildungen und perinatale Sterblichkeit in Folge des Unfalls nachweisen, ohne dass immer eine klare Trennung möglich ist in solche, die durch Exposition im Mutterleib entstanden sind, oder solche durch präkonzeptionelle Bestrahlung [Scherb 2003, 2007; Busby 2009; Pflugbeil 2006].

Bei Kindern von Liquidatoren, das heißt von Personen, die Strahlenschutzmaßnahmen am Reaktor direkt nach dem Unfall durchführten und dabei relativ hohe Dosen erhielten, wurden Fehlbildungen eindeutig als genetische Folge der väterlichen Bestrahlung festgestellt [Pflugbeil 2006].

Im Jahr 1984 war eine sehr auffällige Erhöhung der Leukämieerkrankungen von Kindern und Jugendlichen bei der britischen Wiederaufarbeitungsanlage von Kernbrennstoffen Sellafield bekannt geworden. Diese wurde im Folgenden von Gardner und Mitarbeitern als genetischer Effekt gedeutet, da sich zeigte, dass die betroffenen Patienten Väter hatten, die in der Anlage gearbeitet hatten [Gardner

1990]. Das Ergebnis ist über Jahre in zahlreichen Abhandlungen als „Gardner-Effekt“ diskutiert und in vielen Folgestudien bestätigt oder auch angeblich widerlegt worden. Dabei waren derartige Effekte prinzipiell aus Tierversuchen bekannt und bereits nach beruflicher Exposition und diagnostischem Röntgen gefunden worden (Tabelle).

Aus den in der Tabelle aufgeführten Untersuchungen über Krebserkrankungen bei Kindern, deren Väter oder Mütter eine diagnostische Röntgenbestrahlung der Keimdrüsen vor der Zeugung erfahren hatten, sind sehr viel geringere Verdopplungsdosen als von der ICRP angenommen ableitbar.

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 [Pflugbeil 2006; Yablokov 2006, 2009]. Kinder von Liquidatoren litten ebenfalls vermehrt an Leukämie und anderen Krebserkrankungen.

Die Einschränkung auf die Betrachtung nur der ersten Generation bei der ICRP ist sicherlich problematisch in ihrer Gewichtung gegenüber Krebserkrankungen der Bestrahlten selbst, weil Erbschäden, sofern sie nicht mit früher Sterblichkeit oder Unfruchtbarkeit einhergehen, eben in die nachfolgenden Generationen weitervererbt werden.

Die Nichtbeachtung von geringen Schädigungen einzelner Gene, die aber in ihrer Gesamtheit erhebliche Beeinträchtigungen der Gesundheit zur Folge haben können, muss man angesichts der Beobachtungen an den Nachkommen der Tschernobylexponierten als viel zu optimistisch ansehen. Bei den Kindern der Liquidatoren wurden nicht nur die klassischen genetischen Effekte wie Fehlbildungen

und Krebs nachgewiesen sondern auch andere Leiden wie endokrinologische und metabolische Erkrankungen sowie psychische Störungen [Pflugbeil 2006; Yablokov 2009].

ICRP und die anderen genannten Strahlenkomitees begründen die bisher geübte Leugnung anderer Erkrankungen als Schilddrüsenkrebs durch den Tschernobylfall mit dem, dass die notwendige Dosis zur Erreichung statistisch nachweisbarer Schäden nicht erreicht worden sei. Bei der Dosisbestimmung beruft man sich auf Abschätzungen von UNSCEAR (1988). Das folgt einem auch aus anderen Zusammenhängen bekannten Muster: Man berechnet anhand von Modellen über die Verbreitung und Inkorporation der einschlägigen Nuklide eine sehr kleine Dosis mit vereinfachten Annahmen und Parametern ohne Vertrauensbereich, das heißt, ohne Aussagen zu ihrer Zuverlässigkeit zu machen. Diese dient dann als verbindliche Bezugsgröße.

Es lässt sich leicht nachweisen, dass die Dosisangaben von UNSCEAR stark unterschätzt sind. Verschiedene Forschergruppen untersuchten strahlenspezifische zytogenetische Veränderungen in den Lymphozyten von Personen aus den kontaminierten Gegenden direkt nach dem Unfall oder einige Jahre später, die eine „Biologische Dosimetrie“ darstellen. In der Mehrheit der Untersuchungen waren Chromosomenaberrationen erheblich zahlreicher – und zwar um 1 bis 3 Größenordnungen (also zehn- bis tausendfach) – als anhand der physikalischen Dosisabschätzungen erwartet werden konnte [Busby 2009; Schmitz-Feuerhake 2006].

Diskutiert werden in neuerer Zeit die Auswirkungen zweier Strahleneffekte, die erst vor einigen Jahren entdeckt und auf zellulärer Ebene inzwischen vielfach bestätigt wurden. Es handelt sich um den

„Bystander“-Effekt und die „Genomische Instabilität“ [Averbeck 2010; Baverstock 2010]. Während früher davon ausgegangen wurde, dass stochastische Effekte durch ionisierende Strahlung Folge einer direkten Wechselwirkung eines Strahlenquants mit dem Erbmaterial einer getroffenen Zelle sind, zeigt der Bystander-Effekt eine mutagene Wirkung in einer von dem „Einschlag“ entfernten Zelle. Genomische Instabilität bedeutet, dass sich Strahlenwirkungen nicht in der unmittelbaren Tochterzelle der bestrahlten Zelle zeigen, wohl aber in einer späteren Generation der Zellteilung.

Chromosomenveränderungen wurden bei Kindern von Liquidatoren und durch den Tschernobylfallout exponierten Eltern nachgewiesen und als genomische Instabilität gedeutet [Pflugbeil 2006; Weinberg 2001; Yablokov 2009; Agadzhanian 2010]. Die Beachtung solcher Phänomene bei der Bewertung des genetischen Risikos erscheint daher dringend geboten.

Impressionen von einem Internationalen Kongress über Strahlenschutz in der Medizin

In Varna am Schwarzen Meer in Bulgarien trafen vom 1. bis 3. September 2010 vornehmlich Radiologen und Medizinphysiker aus osteuropäischen Ländern zusammen. Veranstalter waren die Radiologische Gesellschaft von Bulgarien mit dem nationalen Zentrum für Strahlenbiologie und Strahlenschutz und der Gesellschaft für Biomedizinische Physik und Technik, gefördert durch die Internationale Atomenergie Organisation IAEA (!), die Internationale Agentur für Strahlenschutz IRPA und die Weltgesundheitsorganisation WHO. IAEA und WHO sind Einrichtungen der Vereinten Nationen.

Die Funktionsträger dieser

Organisationen hielten Übersichtsreferate und bestritten einen Großteil der Diskussionen, da für viele der Teilnehmer eine erhebliche Sprachbarriere bestand. Die erste wissenschaftliche Sitzung widmete sich den diagnostischen Untersuchungen mit den höchsten Strahlendosen. Erstens ging es um Eingriffe unter Röntgenkontrolle wie z.B. Herzkatheter, bei denen es durch mangelnde Optimierung der Einstellungsparameter oder zu langer Untersuchungszeit zu Hautverbrennungen kommen kann. Zweitens wurden die neuen Hybridsysteme vorgestellt, mit dem Unterton der Besorgnis und dennoch der Gewissheit, dass ihre Anzahl rasch zunehmen wird. Forderungen nach Verzicht wurden auch später auf dem Kongress nicht erhoben. Lediglich Vorschläge wurden gemacht, wie man die Dosis pro Untersuchung um einige 10 Prozent senken könne.

Ganze 3 Vorträge auf dem 3-tägigen Kongress mit Parallelsitzungen widmeten sich den gesundheitlichen Nebenwirkungen der diagnostischen Bestrahlung: a) Katarakte (Grauer Star), b) Überschätzung der Folgen bei Verwendung des ICRP-Risikofaktors wegen Nichtbeachtung der begrenzten Lebensdauer von Krebspatienten (sic!), c) Hirntumoren und Leukämie durch CTs (von mir). Ich habe eine Tabelle gezeigt mit verschiedenen Ergebnissen über Hirntumoren in Folge von Zahnrontgen. Madan Rehani, Vorsitzender des Programmkomitees, der regelmäßig Empfehlungen und Stellungnahmen zum medizinischen Strahlenschutz der IAEA im Internet herausgibt, fragte, ob diese Arbeiten denn auch Fall-Kontroll-Studien mit „matched controls“ seien. Demnach hatte er noch nie gehört, dass es seriöse epidemiologische Studien gibt, die Spätfolgen von normalem diagnostischen Röntgen nachweisen.

Besonders fiel mir diesbezüglich ein Beitrag auf der Vorkonferenz über Strahlenschutz für Kinder, Embryonen und Föten auf. Eine Marilyn Goske aus den USA berichtete sehr engagiert über ein Programm „Image Gently“ zur Schonung von Kindern, das sie als Graswurzelkampagne bezeichnete (www.imagegently.com). Die an sich selbst gestellte Frage, ob die Röntgen-diagnostik bei Kindern Spätschäden erzeugt, beantwortete sie mit: „Ich weiß es nicht.“ Mir gelang es später nicht, sie zu fragen, ob sie das ernst meint. Wie kann es sein, dass jemand, dem die offiziellen Maßnahmen unzureichend erscheinen und der für Verbesserungen kämpft, die Untersuchungen nicht kennt, welche die zu befürchtenden Folgen belegen? Zum Beispiel, dass häufiges Röntgen bei Mädchen wegen Skoliose (Wirbelsäulenverkrümmung) Brustkrebs erzeugt, wie unter anderem in einer großen amerikanischen Skoliose-Untersuchung gezeigt wurde [Morin Doody 2000]. Ein Blick auf die Website zeigt allerdings, dass sich die Kampagne auf die Aussagen der einschlägigen Behörden und Fachgesellschaften zur stetig anwachsenden diagnostischen Exposition beschränkt und deren Meinung zum Risiko offenbar übernimmt.

Die Mehrheit der anderen Kongressteilnehmer hatte sicherlich ebenfalls noch nie gehört, dass diese Risiken erwiesen sind, unter anderem durch die zahlreichen Niederdosisbefunde aus dem Berufsmilieu. Auch bei uns in Deutschland hörte man ja lange und wohl auch immer noch das geflügelte Wort vom „hypothetischen Strahlenrisiko“ (das es vermutlich gar nicht gebe, das man aber zur Sicherheit nicht ganz ausschließen), und in den Lehrbüchern und den meisten Strahlenschutzkursen kommen die Arbeiten aus dem Niederdosisbereich nicht vor, außer

diejenigen über die japanischen Atombombenüberlebenden. Von diesen wird wiederum kolportiert, dass sie sehr hohen Strahlendosen ausgesetzt waren, obwohl die weitaus meisten Exponierten sich in den Dosisgruppen unterhalb von 100 mSv befanden.

Die Ärzte in den Schwellen- und Entwicklungsländern sehen ebenfalls einem rasanten Ausbau der Strahlendiagnostik entgegen. Sie möchten auch Mammografie-Screening einführen, wenngleich die Brustkrebsraten dort ja noch nicht so hoch sind wie bei uns. Vorläufig „mammographieren“ manche noch mit 30 mSv Brustdosis, dem Zehnfachen wie bei uns. Entsprechend ging es bei dem Kongress vorwiegend um technische Optimierung, Dosisrichtwerte für Untersuchungen und internationale Standardisierung sowie Strahlenschutz und Unterweisung für das medizinische Personal.

Schlussfolgerungen

Man kann sich ausrechnen, dass die ständig angestiegenen Krebsraten in den hochentwickelten Ländern großenteils auf die zunehmenden diagnostischen Expositionen der letzten Jahrzehnte zurückzuführen sind. Darüber hinaus sollten aber endlich auch die genetischen Strahlenfolgen wieder zum Schwerpunkt des Strahlenschutzes werden.

Die Anwender der Techniken, Radiologen und Nuklearmediziner, werden das Problem nicht durch freiwillige Selbstkontrolle vermindern, da sie von offizieller Seite nur halbherzige Bekenntnisse zum Risiko und unbrauchbare Vorschläge – jeweilige Erstellung der rechtfertigenden Indikation – geliefert bekommen. Der Druck muss daher von außen kommen.

Unter den bei uns zahlreichen Atomenergiegegnern sind auch viele im Medizinbereich tätige Personen. Ihnen ist

möglicherweise nicht durchgängig bewusst, dass diejenigen Instanzen, welche die Strahlenfolgen der Nukleartechnik herunterspielen, und denen sie ihr Vertrauen angekündigt haben, dieselben sind, die auch die Kriterien für den Strahlenschutz in der Medizin festlegen.

Letztlich gibt es nur eine Lösung des Problems: man muss weitestgehend umsteigen auf nicht-ionisierende Verfahren. Im Gegensatz zu den schon überaus hochentwickelten aber grundsätzlich sehr kostspieligen MR-Tomographen sind die Möglichkeiten der Ultraschalltechnik bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Auch wenn sie noch so phantastisch gute Bilder liefert: die Röntgen-CT muss zur Ausnahme werden!

Agadzhanian, A.V., Suskov, I.: Genomic instability in children born after the Chernobyl nuclear accident (in vivo and in vitro studies). (In Russ.) *Genetika* 46 (2010) 834-843

Akar, N., Cavdar, A.O., Arcasoy, A.: High incidence of Neural Tube defects in Bursa, Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 2 (1988) 89-92

Averbeck, D.: Nontargeted effects as a paradigm breaking evidence. *Mutat. Res.* 687 (2010) 7-12

Baverstock, K., Belyakov, O.V.: Some important questions connected with non-targeted effects. *Mutat. Res.* 687 (2010) 84-88

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

Brenner, D.J., Elliston, C.D., Hall, E.J., Berdon, W.E.: Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 176 (2001) 289-296

Brix, G., Lechel, U., Glatting, G., Ziegler, S.I., Münzing, W., Müller, S.P., Beyer, T.: Radiation exposure of patients undergoing whole-body dual-modality 18F-FDG PET/CT examinations. *J. Nucl. Med.* 46 (2005) 608-613

Busby, C., Lengfelder, E., Pflug-

beil, 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

Caglayan, S., Kayhan, B., Mentesoglu, S., Aksit, S.: Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4 (1990) 264-268

Dickinson, H.O., Parker, I.: Leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children of male Sellafield radiation workers. *Int. J. Cancer* 99 (2002) 437-444

Friedler, G.: Paternal exposures: impact on reproductive and developmental outcome. An overview. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 55 (1996) 691-700

Fujiwara, S., Suyama, A., Colonne, J.B., Akajoshi, M., Yamada, M., Suzuki, G., Koyama, K. et al.: Prevalence of adult-onset multifactorial disease among offspring of atomic bomb survivors. *Radiat. Res.* 170 (2008) 451-457

Gardner, M.J., Snee, M.P., Hall, A.J., Powell, A.J., Downes, S., Terrell, J.D.: 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

Graham, S., Levin, M.L., Lilienfeld, A.M. et al.: Preconception, intrauterine, and postnatal irradiation as related to leukemia. *Natl. Cancer Inst. Monogr.* 19, 1966, 347-371

Güvenc, H., Uslu, M.A., Güvenc, M., Ozkici, U., Kocabay, K., Bektas, S.: Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey. *J. Epidemiol. Community Health* 47 (1993) 40-41

Hicks, N., Zack, M., Caldwell, G.G., Fernbach, D.J., Falletta, J.M.: Childhood cancer and occupational radiation exposure in parents. *Cancer* 53 (1984) 1637-1643

Källén, B., Karlsson, P., Lundell, M., Wallgren, A., Holm, L.E.: Outcome of reproduction in women irradiated for skin hemangioma in infancy. *Radiat. Res.* 149 (1998) 202-208

McKinney, P.A., Alexander, F.E., Cartwright, R.A., Parker, L.: Parental occupations of children with leukemia in west Cumbria, north Humberside, and Gateshead. *Br. Med. J.* 302 (1991) 681-687

Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z.M., Furtun, E.M.: Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4 (1990) 264-268

Morin Doody, M., Lonstein, J.E., Stovall, M., Hacker, D.G., Luckyanov, N., Land, C.E.: Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. scoliosis cohort study. *Spine* 25 (2000) 2052-2063

Natarajan, N., Bross, I.D.J.: Preconception radiation leukemia. *J. Med.* 4, 1973, 276-281

Neel, J.V., Schull, W.J., Awa, A.A., Satoh, C., Kato, H., Otake, M., Yoshimoto, Y.: The children of parents exposed to atomic bombs: estimates of the genetic doubling dose of radiation for humans. *Am. J. Hum. Genet.* 46 (1990) 1053-1072

Nussbaum, R.H., Köhnlein, W.: Inconsistencies and open questions regarding low-dose health effects of ionizing radiation. *Environ. Health Perspect.* 102 (1994) 656-667

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

Preston, D.L., Ron, E., Tokuoka, S. et al.: Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res.* 168 (2007) 1-

64

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

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

Schmitz-Feuerhake, I., Hoffmann, W., Pflugbeil, S.: Wie sichhaltig sind die Dosisbestimmungen für Bevölkerungen durch den Tschernobylfallout? Vergleich der Ergebnisse durch physikalische und biologische Dosimetrie. *Int. Kongress Ges. f. Strahlenschutz: „20 Jahre nach Tschernobyl“* Berlin, 3.-5. April 2006

Schmitz-Feuerhake, I.: Die Induktion gutartiger Tumore durch ionisierende Strahlung - ein vernachlässigtes Kapitel von Strahlenrisikobetrachtungen. *Strahlentelex* Nr. 548-549 v. 5.11.09, 1-5

Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S., Pflugbeil, C.: Röntgenrisiko: Abschätzung der strahlenbedingten Meningeome und anderer Spätschäden bei Exposition des Schädels. *Gesundheitswesen* 72 (2010) 246-254

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 ra-

diation. *Am. J. Epidemiol.* 127 (1988) 226-242

Shiono, P.H., Chung, C.S., Myriantopoulos, N.C.: Preconception radiation, intrauterine diagnostic radiation, and childhood neoplasia. *J. Natl. Cancer* 65, 1980, 681-686

Shu, X.O., Gao, Y.T., Brinton, L.A., Linet, M.S., Tu, J.T., Zheng, W., Fraumeni, J.F.: A population-based case-control study of childhood leukemia in Shanghai. *Cancer* 62, 1988, 635-644

Shu, X.O., Reaman, G.H., Lampkin, B., Sather, H.N., Pendergrass, T.W., Robison, L.L.: Association of paternal diagnostic x-ray exposure with risk of infant leukemia. *Cancer Epidemiol., Biomarkers & Prevention* 3, 1994, 645-653

Stewart, A., Webb, J., Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *Br. Med. J.* i, 1958, 1495-1508

Strahlenschutzkommission. Bildgebende Diagnostik beim Kind – Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität. *Berichte der SSK* Heft 53, Jahresbericht 2006 der SSK. www.ssk.de

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

UNSCEAR 1988 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, effects and risks of ion-

izing radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York 1988

UNSCEAR 2001 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Hereditary effects of radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 2001

Vorobtsova, I.E.: Increased cancer risk as a genetic effect of ionizing radiation. *IARC Sci. Publ.* 96 (1989) 389-401

Weinberg, H.Sh., Korol, A.B., Kirshner, V.M. et al.: Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268 (2001) 1001-1005

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

Yablokov, A.V.: Chernobyl – Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. *Ann. New York Academy of Sci.* Vol. 1181, Boston 2009

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

* Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, ingesf@uni-bremen.de ●

Atommüll-Lagerung

Das multiplikative Zusammenwirken von radioaktiven und nichtradioaktiven Schadstoffen in der Schachtanlage Asse wird bei Risikobetrachtungen nicht beachtet

Von Rolf Bertram*

„Ein hilfloses passives Akzeptieren des technokratischen Macherchertums ist immer eine gefährliche und leider nicht ganz unwahrscheinliche Entwicklung als Antwort auf die von Wissenschaft und Technik ausgelöst und weithin ungelöst, eher noch wachsenden Probleme.“

(F. Cramer ‡)

Einleitung

In der Schachtanlage Asse sind mit dem Atommüll große Mengen unterschiedlicher Stoffe wie anorganische, organische zum Teil toxische und grundwassergefährdende Chemikalien eingelagert. Viele davon sind anerkannte Schadstoffe, wie z.B. einige Schwermetalle. Neben 13.000 Tonnen Eisen-Metall sind in den Inventarlisten [1] über 1.000 Tonnen Nichteisenmetalle darunter circa 700 Kilogramm Arsen und arsenhaltige Verbindungen (überwiegend aus eingelagerten Pflanzenschutzmitteln), 12.000 Kilogramm Blei, circa 25.000 Kilogramm Chrom, 230.000 Kilogramm Zink, 55 Kilogramm Cadmium, 22.000 Ki-

logramm Nickel etc. aufgeführt. Daneben erhebliche Mengen an zum Teil giftigen Chemikalien organischer Art, wie zum Beispiel Tributylphosphat, BTEX-Aromaten, Dichlormethan und 1,1,1-Trichlorethan, Phthalsäureester und Komplexbildner wie Diammonium Hydrogen Citrat $(NH_4)_2HC_6H_5O_7$ und viele andere Verbindungen. Gelangen diese Stoffe über Luft und Wasser in die Biokreisläufe, so ist mit Gesundheitsbeeinträchtigungen zu rechnen, die denen durch radioaktive Schadstoffe verursachten gleichkommen. Eine Fokussierung allein auf das radioaktive Abfallinventar wird daher der Sachlage nicht gerecht. Über Art und Menge der in den Mischabfällen ent-