

# Strahlentelex

mit **ElektrosmogReport**

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

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

Nr. 500-501 / 21. Jahrgang, 1. November 2007

## Medizinische Strahlenbelastung:

Die Zahl der Untersuchungen mit dem Computertomographen (CT) nimmt stetig zu – besonders auch bei Kindern. Allein in den USA ist deshalb später mit 120.000 zusätzlichen Krebstoten unter den ehemals kindlichen Patienten eines Jahres zu rechnen.

Seite 1

## Abgereichertes Uran (DU):

Jagdmunition aus Uran? Der Umwelt zu Liebe? Weshalb nicht, wenn doch bei Behörden und Agrar-Lobby keine Bedenken gegen Uran in unserer Umwelt bestehen? – Eine Eulenspiegelerei von Professor Dr. Dr. Ewald Schnug, Institutsleiter an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.

Seite 6

## Medizinische Strahlenbelastung

# Die Notwendigkeit einer öffentlichen Debatte über CT-Diagnostik bei Kindern

– Wider die politischen Tabus im Strahlenschutz –

Von Lynn Howard Ehrle, Rosalie Bertell und Inge Schmitz-Feuerhake

Die Computertomographie (CT) ist eine Röntgenuntersuchung mit vergleichsweise hoher Strahlenbelastung. Dieser Artikel befasst sich daher mit Strahlenfolgen in Hinblick auf CT-Anwendungen bei Kindern. Er beruft sich auf etliche frühere Studien, die in der Strahlenforschung nur selten berücksichtigt werden und gibt eine Abschätzung über die Krebstodesfälle, die aufgrund von 6,5 Millionen pädiatrischer CT-Untersuchungen in den USA zu erwarten sind. Danach erleiden 1,8 Prozent der untersuchten Kinder im späteren Lebensverlauf einen strahlenbeding-

ten Krebstod. Die Autoren setzen bei einem wichtigen gesundheitspolitischen Dokument an, das vom Nationalen Krebsinstitut (National Cancer Institute der USA) gemeinsam mit der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie in den USA veröffentlicht wurde – insbesondere bei ihrer Schlussfolgerung, dass die Dosis bei der Computertomographie ein „Problem der öffentlichen Gesundheitspflege“ darstellt. Die Autoren fordern Diskussionen zwischen den Standesorganisationen der Radiologie und gemeinnützigen Gesundheitsorganisationen mit dem Ziel, die CT-Anwendungen wesentlich zu reduzieren.

*Bei Röntgenstrahlen gibt es nicht so etwas wie „sichere Grenzwerte“. Jegliche Röntgenexposition hat ein erhöhtes Gesundheitsrisiko zur Folge.*

Medizinphysiker Joel E. Gray, Erklärung vor der Kommission für Gesundheitspflege von Minnesota am 18. Juni 1997

Die Gesundheitseffekte durch ionisierende Strahlung bei niedriger Dosis sind politisch brisant und die Risiken werden durchgängig unterbewertet. Dieser Beitrag zieht mehrere Studien heran, die in der Literatur mit Peer-Review selten zitiert werden. Mit Hilfe von Daten aus Publikationen von Strahlenforschern wird das Lebenszeitrisiko für tödliche Krebserkrankungen durch Computertomographie bei Kindern abgeschätzt. Wir behaupten, dass sich kurz nach Röntgens Entdeckung 1895 unwissenschaftliche Ansichten und eine Kultur der Verleugnung in die Röntgenpraxis eingeschlichen haben – eine

ausweichende Haltung, die nach Hiroshima in eine offizielle Verschleierung von Strahlenforschung mündete, die über die Zeit des Kalten Krieges andauerte. Dieser Übersichtsartikel stützt sich auf einen 2002 erschienenen „Leitfaden für Verantwortliche in der Gesundheitspflege“ des U.S.-amerikanischen Nationalen Krebsinstituts (NCI) und der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie (SPR), der folgende Warnung enthält: „Wegen des zunehmenden Einsatzes der Computertomographie (CT) und des Potentials für erhöhte Strahlenbelastungen bei Kindern durch solche Scans ist die pädiatri-

sche CT ein Problem von öffentlicher Bedeutung geworden“ [1]. In dem vierseitigen Statement steht außerdem, dass „die hauptsächlich nationalen und internationalen Organisationen, die für die Bewertung von Strahlenrisiken zuständig sind, darin übereinstimmen, dass es im Niederdosisbereich wahrscheinlich keine untere Grenze für die Induktion von Krebs gibt“ und es fordert Strategien, „um die CT-Dosis zu minimieren, die relevanten Informationen darüber zu verbreiten, und den Zusammenhang zwischen CT-Strahlung und Krebsrisiko klarzustellen.“

Das NCI-SPR-Dokument steht in starkem Gegensatz zu konventionellen Meinungen, die durch viele führende Repräsentanten des Gesundheitswesens und Kernkraftbefürworter in den letzten 50 Jahren verkündet wurden und die davon ausgingen, dass Strahlenexpositionen mit niedriger Dosis und geringer Dosisleistung keine nennenswerten Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit und Sicherheit hätten. Ein typisches Beispiel ist in dem Positionspapier der Health Physics Society von 1996 nachzulesen, das 2004 erneuert wurde: „Unterhalb von 5-10 rem<sup>1</sup> (bezogen sowohl auf berufliche als auch Umwelt-Expositionen) sind die gesundheitlichen Wirkungen entweder zu klein, um beobachtet zu werden, oder nicht existent“ [2]. Diese Vorgabe wurde auf einer Sitzung der U.S. Academy of Sciences verstärkt: „Aufgrund der Kenntnisse, die man über Dosiswirkungszusammenhänge in menschlichen Kollektiven hat, ist es offensichtlich, dass ionisierende Strahlung kein sehr wirksamer Auslöser von Krebs ist“ [3] – eine überaus selektive Auslegung der Evidenzen. Das Thema ist hoch politisch geworden, seit die Kernkraftin-

dustrie und ihre Interessenvertreter sich aggressiv um eine Lockerung der Strahlenschutzstandards bemühen, während zur selben Zeit eine wachsende Zahl von nationalen und internationalen Gremien schärfere Regeln empfehlen. Der Überblick über lebenszeitliche Schädigungen, die man den CT bei Kindern zuordnen muss, zeigt das Gesundheitsrisiko durch Niederdosisbestrahlungen und widerlegt Behauptungen, dass die Risiken minimiert werden. Der Beitrag ist ein Versuch, mit denjenigen einen Dialog zu eröffnen, die einen umfassenden Überblick über die Evidenzen gewinnen möchten.

### **Der Historische Hintergrund: Zementierung der Leugnung**

Als Wilhelm Konrad Röntgen im Jahr 1895 die Röntgenstrahlen entdeckte, wurden ihre diagnostischen Möglichkeiten sofort erkannt, und in den Vereinigten Staaten und Europa wurden schnellstens Röntgenpraxen eingerichtet. Medizinische Zeitschriften und Zeitungen wurden mit Inseraten überflutet, in denen alle möglichen Heilungen und Kuren angepriesen wurden, und wohlwollende Kommentare überhäuft ungeprüfte diagnostische und therapeutische Verfahren mit ungerechtfertigtem Lob. In diesen frühen Jahren gab es zahlreiche Berichte über schwere Hautverbrennungen bei Radiologen, die die „Strahlen“ mit bedenkenloser Hingabe einsetzten. Trotz des (ersten strahlenbedingten) Todes von Thomas Edisons Glasbläser Clarence Dally im Jahr 1904 und den folgenden Sterbefällen von etlichen bekannten Röntgendiagnostikern waren nur wenige bereit, die Röntgenstrahlung zu diskreditieren, weil sie ein wertvolles Instrument für diagnostische und chirurgische Zwecke geworden war. Das Leugnen von Niederdosiseffekten wurde zum integralen Bestand des Arsenal der medizinischen

Gemeinschaft und spielt noch heute eine Rolle in Strahlenschutzgrundsätzen und in der Strahlenschutzpraxis. Es gab wenig Interesse daran, die Folgen der Strahlenexposition beim Menschen zu untersuchen. Tatsächlich war für fast ein halbes Jahrhundert nach Röntgens Entdeckung nur die Hautdosis ein Strahlungsmaß.

In den Jahren 1926 und 1927 führte Hermann Joseph Muller seine Experimente mit Röntgenstrahlen an der Taufliege (*Drosophila*) durch, bei denen strahleninduzierte Mutationen nachgewiesen wurden [4]. Seine Forschung wurde allgemein herabgewürdigt oder ignoriert. Das änderte sich jedoch, als das Nobel-Komitee ihn 1946 auszeichnete. Er wurde bald als Vater der Humangenetik anerkannt und durch die U.S. Academy of Sciences als erster Preisträger für den jährlichen Kimberpreis für Genetik ausgewählt (1955). In seiner Dankesrede gab Muller zu bedenken: „Keine Exposition ist so winzig, dass sie nicht ein genetisches Risiko in sich trägt. Es ist wohlbekannt, dass die überwiegende Anzahl der Mutationen (über 99 Prozent) schädlich ist, indem eine funktionelle Störung verursacht wird“ [5]. Diese frühen Warnungen und das Prinzip „zu allererst keinen Schaden zuzufügen“, wurden oft missachtet. Während der frühen Entwicklungsphase hatten Patienten oder Mediziner keine Kenntnisse über Strahlenfolgen. Trotz Ermahnungen prominenter Radiologen an ihre Kollegen war der unkritische Einsatz von Röntgenstrahlen und Radium weit verbreitet.

Nachdem der Feuersturm Hiroshima und Nagasaki vernichtet hatte, erhob sich der Geist des Atomzeitalters aus der schwelenden Asche und es wurde ein aggressives Paradigma eingeführt, das durch den anhaltenden Kalten Krieg genährt wurde. Es herrschte Furcht und Mißtrauen und die offene Diskussion wurde ge-

drosselt. Eine Studie der Brookings Institution<sup>2</sup> berichtet, dass das Atomenergiewerkgesetz von 1946 vorsah, dass Strahlenuntersuchungen geheimzuhalten und unter ihrer RD (restricted data)-Kennzeichnung verborgen abzulegen seien [6]. Unter diesem Schleier von Geheimhaltung veranlasste das US-Verteidigungsministerium eine Serie von Menschenversuchen mit Bestrahlungen an Soldaten und Krebspatienten. Eine Regierungsanweisung beendete schließlich im Jahr 1992 die offizielle Geheimhaltung. Keine der medizinischen oder radiologischen Standesorganisationen hatte gegen den Einsatz der Atombombe protestiert, keine gegen die offizielle Geheimhaltung und keine gegen die radiologischen Menschenversuche. Und keine der Standesorganisationen unterstützte die Petition von Linus Pauling, die 1963 zum Teststopp für oberirdische Atomwaffenversuche führte, nachdem sie von Tausenden von Ärzten und Naturwissenschaftlern unterzeichnet worden war.

### **Untersuchungen über Strahlenwirkungen im Niederdosisbereich**

Alice Stewart war die erste, die in den 1950er Jahren mit dem Oxford-Programm über die Ursachen von Kinderkrebs eine epidemiologische Studie über Niederdosiseffekte beim Menschen durchführte und diese 1958 veröffentlichte [7]. Es zeigte sich, dass eine Exposition während der Schwangerschaft durch eine oder zwei Röntgenaufnahmen – mit 10 bis 20 Millisievert (mSv) Dosis – die Erkrankungshäufigkeit (Inzidenz) an Krebs und Leukämie bei den später geborenen Kindern bis zum Alter von 10 Jahren um etwa 50 Prozent erhöht. Das war die erste Evidenz beim Menschen,

<sup>2</sup> Einrichtung, die interdisziplinär gesellschaftlich-politische Themen bearbeitet (Anm. d. Übersetzerin)

<sup>1</sup> entsprechend 50-100 mSv

die diagnostisches Röntgen mit Gesundheitseffekten in Zusammenhang brachte. Krebs-„Experten“ reagierten mit Hohn und Unglauben und behaupteten, dass Stewarts retrospektive Untersuchung unwissenschaftlich sei. Aber 4 Jahre später veröffentlichte MacMahon in Harvard eine prospektive Studie, die ihr Ergebnis bestätigte [8]. Auf diesen Nachweis folgte die Veröffentlichung von mindestens acht anderen epidemiologischen Niederdosisstudien, die die Schwellwerttheorien widerlegten [9-16], einschließlich der bedeutenden Tinea capitis<sup>3</sup>-Studie von Modan, in der Schilddrüsenkarzinome bei Kindern nach Expositionen von 60 bis 90 mSv gefunden wurden.

Ein größeres Projekt zu Strahleneffekten wurde 1963 gestartet, als John W. Gofman, Assistenz-Direktor beim Nationalen Lawrence Livermore Laboratorium, einen Auftrag von der Atomenergiekommission (AEC) erhielt, eine biomedizinische Forschungsabteilung speziell für die Untersuchung von Strahleneffekten einzurichten. In einem Vortrag 1969 bei einem Kernphysiksymposium des Instituts für Elektrotechnik und Elektronik warnte Gofman vor den Schäden durch Niederdosisbestrahlung und forderte ein fünfjähriges Moratorium für die Errichtung von Kernkraftwerken [17]. Die Atomenergiekommission war nicht erfreut. Gofman verlor seine Forschungsgelder bei Livermore und gründete daraufhin das Komitee für Nukleare Verantwortung (unter den Vorstandsmitgliedern befanden sich vier Nobelpreisträger: Linus Pauling, Harold Urey, George Wald und James D. Watson). Er verfasste im Folgenden fünf Bücher über die Gesundheits-

schäden durch Niederdosisstrahlung, die 1.916 Referenzen enthielten [18-22]. Zwei bedeutende Medizinphysiker rezensierten sein Buch von 1990 „Strahleninduzierter Krebs durch Strahlung bei niedriger Dosis“ [20] zusammen mit dem „BEIR V-Report“ des Nationalen Forschungsrates der USA (siehe unten) und stellten fest, dass sie „beträchtliche Bereiche der Übereinstimmung“ beinhalten. Beide Bücher wurden „wärmstens empfohlen“ [23].

10 Jahre später gab das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen (UNSCEAR 2000) einen Report heraus, der Gofmans „Keine sichere Dosis“-Theorie bestätigte: „Ein Doppelstrangbruch in der DNA-Kette kann durch den Durchgang einer einzigen Ionisationsspur erzeugt werden und erfordert keine mehrfache Spurbildung (...). Ein Teil der strahleninduzierten Doppelstrangschäden wird effektiv und korrekt repariert, aber eine fehlerfreie Reparatur aller solcher Schäden, auch bei einer so geringen Rate, wie sie bei niedriger Dosis erwartet wird, ist nicht anzunehmen“ [24].

Im Jahr 1997 wurden die Schlussfolgerungen aus Stewarts pränatalen Studien in einer Veröffentlichung von Doll und Wakeford prinzipiell bestätigt [25]. Sechs Jahre später publizierten 15 Krebsexperten eine Übersichtsarbeit, die zu dem Schluss kam, dass es hinreichende epidemiologische Evidenz für ein erhöhtes Krebsrisiko bei 10 bis 50 mSv nach akuter Bestrahlung und bei 50 bis 100 mSv für chronische Exposition gibt [26].

### CT-Warnzeichen

Nachdem ein Team von Wissenschaftlern der Columbia Universität 2001 einen Artikel publiziert hatte, in dem 500 nachfolgende Krebstode durch 600.000 pädiatrische CTs abgeschätzt wurden [27], gerieten Radiologen und Kliniker

der weiteren Medizinerschaft in Aufruhr. Es war die erste Anstrengung, die CT-induzierten Todesfälle zu quantifizieren, und sie beflügelte erneut die ständige Niederdosisdebatte. Vom 18. bis 19. August 2001 hielt die Society for Pediatric Radiology eine ALARA-Konferenz ab (as low as reasonably achievable)<sup>4</sup>, an der zahlreiche Funktionsträger teilnahmen. Die komplette Aprilnummer 2002 von „Pediatric Radiology“ war den zusammenfassenden Äußerungen vieler Teilnehmer gewidmet. Im Folgenden einige Auszüge [28]:

- Don Frush: Ich möchte dem Auditorium klarmachen, dass wir zu sehr die optimale Bildqualität haben wollten, das aber nicht unbedingt erforderlich ist. Wir sollten eine ausreichende Bildqualität anstreben.
- Ed Nickoloff: Die Strahlendosen im Phantom (aus Acrylglas) sind bei kleinen Größen fast überall gleich und die Dosis im Innern beträgt etwa 50 % von der Oberflächendosis beim Erwachsenen.
- Tom Slovis: Die pädiatrischen Radiologen sind sich darin einig, dass an die 30 % der CTs überflüssig sind.

Zwei Monate nach der ALARA-Konferenz gab die U.S. Food and Drug Administration (FDA) eine Gesundheitsempfehlung heraus, in der gewarnt wurde: „Kinder unter 10 Jahre sind mehrfach strahlenempfindlicher als Erwachsene in mittleren Jahren“ [29]. Sie empfahl Methoden zur Optimierung der CT-Anwendungen einschließlich der Reduzierung des Röhrenstroms, wobei eine Tabelle für Röhrenstromeinstellungen in Abhängigkeit vom Patientenge-

wicht mitgeliefert wurde, ferner zur Reduktion von Mehrfachscans mit Kontrastmitteln und zur Vermeidung von unangemessenen Kontrolluntersuchungen.

### Überarbeitung der pädiatrischen Daten

Im Folgenden werten wir die Angaben von offiziellen Experten aus, verwenden Abschätzungen aus dem BEIR V-Report [35], fügen verschiedene Annahmen ein und leiten eine Formel ab, mit der man die zusätzlichen Krebstode errechnen kann, die aufgrund der pädiatrischen (Alter 0 bis 14 Jahre) CT-Untersuchungen in den USA zu erwarten sind.

### Methoden

*Festlegung der Strahlendosis*  
Die Doseinheit Sievert (Sv) soll alle Strahlenarten vergleichbar machen. Man geht aus von einer physikalischen Größe, der Energiedosis in Gray (Gy). 1 Gy ist die absorbierte Energie in Joule (J) pro Kilogramm (kg) Gewebe. Da verschiedene ionisierende Strahlen (Alpha, Beta, Gamma, Röntgen) bei gleicher Energiedosis in Gy eine verschieden große biologische Wirkung haben – man spricht von der Relativen Biologischen Wirksamkeit (RBW) der Strahlung – hat die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP einen Wichtungsfaktor  $w_R$  für die Strahlenqualität eingeführt. Die Referenzstrahlung ist Röntgenstrahlung von 200 kV<sub>p</sub> (Röhrenspannung) mit RBW=1 und  $w_R=1$ .

Organ- und andere Teilkörperdosen werden daher in Sv gemessen. Um verschiedene Teilkörperdosen hinsichtlich ihrer Spätfolgen vergleichbar zu machen, hat die ICRP die „effektive“ Dosis eingeführt, die ebenfalls in Sv gemessen wird. Sie ist eine bezüglich des Krebsrisikos gewichtete Summe der Teilkörperdosen. 1 Sv effektive Dosis hat laut ICRP die gleiche Krebssterblichkeit (Mortalität) zur Folge

<sup>3</sup> Pilzkrankung der Kopfhaut, die einer Strahlenbehandlung unterzogen wurde (Anm. d. Übersetzerin)

<sup>4</sup> Strahlenschutzprinzip der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) mit der Bedeutung, die Exposition „so niedrig wie auf vernünftige Weise erreichbar“ zu halten. (Anm. d. Übersetzerin)

wie 1 Sv homogene Ganzkörperdosis.

#### *CT-Untersuchungen des Abdominalbereichs in den USA*

Um die Zahl der pädiatrischen CT-Scans zu bestimmen, beginnen wir mit Studien, die sämtliche CT-Untersuchungen in den USA abschätzen. Eine Übersichtsarbeit der FDA für 2000-2001 von CT-Einrichtungen in 39 US-Staaten ergab mindestens 50 Millionen CT-Aufnahmen pro Jahr. Sie ermittelte außerdem ein Verhältnis von 3:2 für die Anzahl von Körper- zu Kopfscans. Danach lag die effektive Dosis im Mittel für Abdominal-CTs bei 10 mSv pro Scan (20 mSv bei Kindern) und es wurde 1 Todesfall pro 1.000 Scans angegeben [31]. Nach FDA steigt die Zahl der Körper-scans ständig an. Viele Experten schätzen derzeit, dass mindestens 75 Prozent aller Untersuchungen abdominale Scans sind (wir nehmen 70 Prozent an).

Kurz vor Vollendung der englischsprachigen Fassung dieses Artikels veröffentlichte die Firma IMV Ltd auf ihrer Website ([imvlimited.com](http://imvlimited.com), 6. November 2006) eine Presseerklärung, in der das Ergebnis der letzten Erhebung ihrer medizinischen Informationsabteilung mitgeteilt wurde. Man zählte alle CT-Untersuchungen in einem Drittel aller Kliniken und Praxen mit CT-Einrichtungen (2.565 von 7.650 Einrichtungen) in der Zeit von Februar bis August 2006 und kam auf 62 Millionen CT-Aufnahmen pro Jahr. Das bedeutet einen Anstieg um mindestens 25 Prozent in den letzten vier Jahren. Auf der Nationalen Konferenz über die Dosisreduzierung bei der CT im November 2002 stellte der Vorsitzende Fred A. Mettler Jr. fest, dass „die CT derzeit die größte einzelne Quelle medizinischer Strahlenbelastung darstellt und ihr Einsatz schnell zunimmt. In manchen Universitätsabteilun-

gen sind CT-Scans auf etwa 15 Prozent der Gesamtzahl der (Röntgen-)Untersuchungen angestiegen und liefern jetzt ungefähr 70 Prozent der gesamten applizierten Dosis. CT-Anwendungen verursachen möglicherweise 60 Prozent der gesamten zivilisatorischen Strahlenbelastung der Amerikaner“ [82].

Im Untersuchungs-jahr 1998-1999 überprüften Mettler und Kollegen 33.713 aufeinander folgende CT-Untersuchungen und führten eine genauere Analyse bei 2.000 davon durch. Sie fanden, dass 11,2 Prozent im Kindesalter durchgeführt wurden und kamen zu dem Schluss: „Unsere Angaben stammen nur von einem Krankenhaus, aber wir glauben, dass die Ergebnisse weitgehend repräsentativ für eine große Anzahl von radiologischen Praxen in den USA sind.“ [32].

Aufgrund der raschen Zunahme von CT-Untersuchungen nehmen wir an, dass die CTs bei Kindern nunmehr mindestens 15 Prozent aller Untersuchungen ausmachen, bzw. 9,3 Millionen im Kindesalter stattfinden; 6,5 Millionen (70 Prozent) davon sind Abdominal-CTs; siehe entsprechend in der Tabelle. Man beachte, dass dieser konservative Ansatz keine wiederholten Scans beinhaltet.

#### *Pädiatrische Organ- und Gewebsdosis bei der CT*

Anhand von Acrylphantomen berechnet der Medizinphysiker Edward Nickoloff die typische pädiatrische CT-Abdominaldosis zu 29 bis 68 mSv, wenn mit 100 bis 300 mAs (Milliamperere × Sekunde) gescannt wird, und er stellt fest: „Wenn der Phantomdurchmesser auf eine geringe Größe absinkt, ist die Dosis in der Mitte fast genau so groß wie an der Oberfläche“ [33]. Nickoleff gibt an, dass sein Labor nur bei 60 bis 80 mAs scannt, wobei die Dosis der inneren Organe 10 bis 30 mSv beträgt [34].

Auf der Grundlage der FDA-Berechnung von 20 mSv effektiver Dosis für einen Abdominalscan [31] und der Schätzung durch 15 Krebsexperten, dass die mittlere abdominale Dosis bei pädiatrischen CTs 25 mSv beträgt, setzen wir 20 mSv als die typische pädiatrische effektive CT-Dosis pro Scan an (Tabelle).

#### *Wiederholungsfaktor*

Als das Mettler-Team 2.000 fortlaufende CT-Akten durchsah, machten sie eine Aufstellung über Wiederholungsscans in vier Kategorien: 59 Prozent der CT-Patienten hatten eine oder zwei Scans, 30 Prozent von ihnen drei oder vier Scans, 7 Prozent fünf bis acht Scans und 4 Prozent neun oder mehr. In ihrer Studie fanden sie, dass 96 Prozent aller Patienten mehr als eine Scanssequenz am selben Tag erfuhren [32].

Wir benutzen den Mittelwert in jeder Kategorie (für 9+ setzen wir 10) – 1,5; 3,5; 6,5 und 10 – als Wiederholungsfaktor, um die Gesamtzahl der Scans pro Patient pro Untersuchung zu bestimmen.

#### *Krebsrisiko pro Dosisseinheit*

Das Komitee des Nationalen Forschungsrates für die Biologischen Effekte Ionisierender Strahlung (BEIR)<sup>5</sup> in den USA macht in seinem Report BEIR-V folgende Angaben: „Wenn 100.000 Personen aller Alter eine Ganzkörperdosis von 0,1 Sv (100 mSv) durch Gammastrahlung als einzelne Kurzzeitexposition bekämen, würden 800 zusätzliche Krebstode in ihrem weiteren Leben erwartet“ [35]. Als Referenzkollektiv dienen die Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Dieses Ergebnis wurde erzielt, indem BEIR-V den früher für richtig befundenen Dosisreduktionsfaktor von 2 einsetzt (der von der ICRP und dem UNSCEAR-Komitee benutzt

wird). Dieser dividiert die Schadensraten durch 2 bei der Übertragung auf das Krebsrisiko bei niedriger Dosis. Der Report gibt jedoch auch an, dass das Sterblichkeitsrisiko (Mortalitätsrisiko) für Kinder doppelt so hoch ist wie für Erwachsene. Die grundlegende Beziehung für die Gesamtbevölkerung ist:

$$800 = r(100.000)(0,1 \text{ Sv})$$

wobei r die Krebstodesrate pro Dosisseinheit Sv ist. Daher ergibt sich:

$$r = 800 / (100.000 \times 0,1 \text{ Sv})$$

$$r = 8 / 100 \text{ pro Sv}$$

Dies ist gleichbedeutend mit 80 zusätzlichen Krebstoten, wenn 10.000 Personen mit 100 mSv Ganzkörperdosis bestrahlt werden, oder 8 Krebstoten, wenn 10.000 Personen mit 10 mSv bestrahlt werden – und das muss für das Kindesalter mit 2 multipliziert werden. Das heißt für das pädiatrische Strahlenrisiko erhält man 16/100 pro Sv, oder als Individualrisiko ausgedrückt bedeutet es eine Krebstodeswahrscheinlichkeit von 16 Prozent bei einer Bestrahlung mit 1 Sv.

#### *Die Relative Biologische Wirksamkeit (RBW)*

Die Internationale Kommission für Strahlungseinheiten und -messungen ICRU<sup>6</sup> gab 1986 bekannt, dass die Gammastrahlung, die die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki getroffen hat, nur halb so wirksam war wie eine Röntgenröhrenstrahlung [36]. Dieser Faktor ist eher zu klein angesetzt. 1995 publizierte Tore Straume, der beim Nationalen Lawrence Livermore Forschungsinstitut arbeitet, eine Arbeit, wonach Röntgenstrahlen mit einer Energie von 250 kV<sub>p</sub> viermal wirksamer sind, bzw. dass die Hiroshimastrahlung im Vergleich zur Röntgenstrahlung (RBW=1) nur eine RBW=1/4 hat [37]. Für unsere

<sup>5</sup> Biological Effects of Ionizing Radiation

<sup>6</sup> International Commission on Radiation Units and Measurement

Tabelle: **Anzahl strahleninduzierter Krebstode durch pädiatrische CT in den USA pro Jahr\***) bei 20 mSv effektiver Dosis pro Scan nach FDA [31], Risikofaktor im Kindesalter 0,16/Sv nach BEIR V [35]

a. 6,5 Mill. CTs x 0,59(1-2 Scans) x 1,5 Scans pro Kind im Mittel	5.752.500
b. 6,5 Mill. CTs x 0,30(3-4 Scans) x 3,5 Scans pro Kind im Mittel	6.825.000
c. 6,5 Mill. CTs x 0,07(5-8 Scans) x 6,5 Scans pro Kind im Mittel	2.957.500
d. 6,5 Mill. CTs x 0,04 (9+ Scans) x 10 Scans pro Kind im Mittel	2.600.000
Gesamtzahl Scans bei Kindern	18.135.000
Mittlere Anzahl von Scans pro Kind	2,8
Mittlere Dosis pro Untersuchung	56 mSv
Krebstode bei effektiver Dosis von 56 mSv mit Konversionsfaktor 2 von Gamma- zu Röntgenstrahlen	58.032
als Anteil von 6,5 Mill. Kindern mit CT-Untersuchungen	116.064 1,8 %
Krebstode bei 9,3 Mill. Kindern mit Scans im Jahr 2006	166.061

\*) Berechnungen unter der Annahme von 6,5 Millionen CT-Untersuchungen pro Jahr nach Mettler et al. [32]

Berechnung der strahlenbedingten Krebsmortalität setzen wir einen Faktor 2 ein (Tabelle), da die Abschätzung des BEIR-Komitees auf den Befunden bei den japanischen Atombombenüberlebenden beruht.

## Ergebnisse

Diese Datenauswertung ergibt, dass eine Dosis von 20 mSv ionisierender Strahlung durch eine einzige CT-Untersuchung ein potentes Mutagen ist, das verheerenden Schaden in den inneren Organen und dem Knochenmark anrichten kann, mit einem direkten Bezug zu etwa 120.000 zusätzlichen Krebstoden bei den 6,5 Millionen kindlichen Patienten in den USA allein aus einem Jahr. Mit den Annahmen in der Tabelle, die das Risiko eher unterschätzen als überschätzen, würden von jährlich 100 CT-untersuchten Kindern 1,8 dieser Patienten dadurch in ihrem späteren Leben einen Krebstod erleiden. Ein nennenswerter Anteil dieser Todesfälle würde wegen des frühen Expositionsalters in relativ jungen Jahren erfolgen.

## Diskussion

Der Leitfaden des Nationalen Krebsinstituts (NCI) und der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie (SPR) liefert den Hintergrund für diesen Beitrag [1]. Seine unten angegebenen Feststellungen rechtfertigen die Behauptung, dass Niederdosisexpositionen und pädiatrische CT ein Problem der Gesundheitspflege und ein Thema für eine weitergehende Diskussion auf medizinischen Konferenzen und für Podiumsdiskussionen sind:

• Die CT-Untersuchungen (für alle Alter) sind von 1993 bis 2002 um das Siebenfache angestiegen.

• In epidemiologischen Studien zeigt sich eine viel größere Strahlenempfindlichkeit im Kindesalter als bei Erwachsenen.

• Die Krebsmortalität ist nach Strahlenexposition bei Kindern signifikant erhöht.

• Eine untere Dosisgrenze für die Krebsinduktion existiert wahrscheinlich nicht.

• Überflüssige Exposition bedeutet unnötiges Risiko.

• Minimierung der Dosis reduziert die zu erwartenden Krebstode durch CT-Anwendungen.

• Ärzte, die CTs anordnen, sollten ihre Anwendung beständig auf den individuellen Fall abstimmen.

Wir stimmen mit der NCI-SPR-Meinung überein, dass Mehrfachscans ein besonderes Problem darstellen und dass medizinisch bestrahlte Bevölkerungen eine geringe, aber signifikante Zunahme von Krebsfällen aufweisen.

Man beachte, dass keine Studien über die Altersverteilung

bei Untersuchungen im Kindesalter vorliegen, und daher pauschale Annahmen darüber gemacht werden müssen. In Bezug auf die Referenzstudien stellt die angenommene Dosis von 20 mSv pro Abdominalscan eine konservative Schätzung dar. Kritiker mögen auf kleinere Dosen verweisen, die aus niedrigeren Betriebsdaten und neuen Geräten resultieren.

Medizinische Vereinigungen, Gesellschaften und Akademien sollten das Nationale Krebsinstitut auffordern, regionale Symposien zur Krebsprävention zu finanzieren, an denen alle gesundheitspolitisch orientierten NGOs beteiligt werden sollten, damit dem Kongressstatut zu U.S. Code Title 42, Part C, Sec.285a besser entsprochen wird, das ausagt: „das Nationale Krebsprogramm soll aus einem ausgedehnten, intensivierten und koordinierten Krebsforschungsprogramm bestehen (...) in dem ein ausgedehntes und intensiviertes Forschungsprogramm für die Prävention von Krebserkrankungen durch berufliche oder umweltbedingte Expositionen mit Karzinogenen enthalten ist.“

*Danksagung* – Der Autor Ehrle ist John W. Gofman<sup>7</sup>, emeritierter Professor für Medizinphysik der Universität von Kalifornien, Berkeley, zutiefst verpflichtet für un-

<sup>7</sup> Gofman ist 2007 verstorben

zählige Stunden der kompetenten Beratung und die Überlassung seiner fünf Bücher über die Gesundheitsschäden durch Niederdosisbestrahlungen. Außerdem ist er zu Dank verpflichtet gegenüber Joel E. Gray, Medizinerphysiker und emeritierter Professor der Mayo Medical School, für seinen bedeutsamen Beitrag.

*Anmerkung* – Ehrle erarbeitete den Textentwurf des Artikels mit dem Schwerpunkt auf einem Review über Niederdosispolitik und -praktiken und übernahm dann bedeutende Ergänzungen und Revisionen von den Doktoren Bertell und Schmitz-Feuerhake. Die Autoren weisen zusammen 105 Jahre an Forschung, Autorenschaft, Politikanalyse und Aktivitäten auf dem Gebiet der ionisierenden Strahlung im Niederdosisbereich auf.

*Der Originalartikel lautet:* Bertell, R., Ehrle, L.H., Schmitz-Feuerhake, I.: *Pediatric CT research elevates public health concerns: low-dose radiation issues are highly politicized. Int. J. Health Serv. 37 (2007) 419-439. Der vorliegende Beitrag ist eine verkürzte Fassung.*

Übersetzung ins Deutsche von Inge Schmitz-Feuerhake.

*Die Autoren und Strahlentelex danken der Baywood Publishing Company für die Genehmigung zum Abdruck dieses Artikels.*

## Referenzen

1. National Cancer Institute and Society for Pediatric Radiology. Radiation and Pediatric Computed Tomography: A Guide for Health Care Providers. National Cancer Institute, Bethesda, MD, 2002.
2. Health Physics Society. Position Statement: Radiation Risk in Perspective. Revised, August 2004. www.hps.org (January 5, 2006).
3. Board on Radiation Effects Research Panel. A Review of the Dose Reconstruction Program of the Defense Threat Reduction Agency. National Academies Press, Washington, DC, 2003.

4. Muller, H.J. Artificial transmutation of the gene. *Science* 46:84–87, 1927.
5. Muller, H.J. Genetic damage produced by radiation. *Science* 121:837–840, 1955.
6. Schwartz, S.I. (ed.). *Atomic Audit: The Costs and Consequences of U.S. Nuclear Weapons Since 1940*. Brookings Institution, Washington, DC, 1998.
7. Stewart, A., Webb, J.W., and Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *BMJ* 2:1495–1508, 1958.
8. MacMahon, B.: Prenatal x-ray exposure and childhood cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 28:1173–1191, 1962.
9. MacKenzie, I.: Breast cancer following multiple fluoroscopies. *Br. J. Cancer* 19:1–8, 1965.
10. Myrden, J.A., and Hiltz, J.E.: Breast cancer following multiple fluoroscopies during artificial pneumothorax treatment of pulmonary tuberculosis. *CMAJ* 100:1032–1034, 1969.
11. Modan, V., Ron, E., and Werner, A.: Thyroid cancer following scalp irradiation. *Radiology* 123:741–744, 1977.
12. Boice, J.D. Jr., and Monson, R.R.: Breast cancer in women after repeated fluoroscopic examinations of the chest. *J. Natl. Cancer Inst.* 59:823–832, 1977.
13. Baverstock, K.F., Papworth, D., and Vennart, J.: Risk of radiation at low dose rates. *Lancet* 1:430–433, 1981.
14. Harvey, E., et al.: Prenatal x-ray exposure and childhood cancer in twins. *N. Engl. J. Med.* 312:541–545, 1985.
15. Modan, B., et al.: Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation. *Lancet* 1:629–631, 1989.
16. Doody, M.M., et al.: Breast cancer mortality after diagnostic radiography: Findings from the United States Scoliosis Cohort Study. *Spine* 25:2052–2063, 2000.
17. Gofman, J.W., and Tamplin, A.R.: *Low dose radiation and cancer*. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-17(1):1–9, 1970.
18. Gofman, J.W.: *Radiation and Human Health*. Sierra Club Books, San Francisco, 1981.
19. Gofman J.W., and O'Connor, E.: *X-rays: Health Effects of Common Exams*. Sierra Club Books, San Francisco, 1985.
20. Gofman, J.W.: *Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure*. CNR Books, San Francisco, 1990.
21. Gofman, J.W.: *Preventing Breast Cancer: The Story of a Major, Proven Cause of This Disease*. CNR Books, San Francisco, 1995.
22. Gofman, J.W.: *Radiation from Medical Procedures in the Pathogenesis of Cancer and Ischemic Heart Disease*. CNR Books, San Francisco, 1999.
23. Davis, G.T., and Bruwer, A.J.: *Two book reviews: Health Effects of Exposure to Low Levels of Radiation: BEIR V (National Research Council, 1990) and Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure (John W. Gofman, 1990)*. *N. Engl. J. Med.* 324:497–498, 1991.
24. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, Vol. II*, p. 80. U.N. Publications, New York, 2000.
25. Doll, R., and Wakeford, R.: Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br. J. Radiol.* 70:130–139, 1997.
26. Brenner, D.J., et al.: Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:13761–13766, 2003.
27. Brenner, D.J., et al.: Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am. J. Roentgenol.* 176:289–296, 2001.
28. Slovis, T.L. (ed.): *Conference on the ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT intelligent dose reduction*. *Pediatr. Radiol.* 32 (April), 2002.
29. Feigal, D.W.: *FDA Public Health Notification: Reducing Radiation Risk from Computed Tomography for Pediatric and Small Adult Patients*. FDA Center for Devices and Radiological Health, Rockville, MD, November 2, 2001.
30. Linton, O.W., and Mettler, F.A.: Jr. *National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients*. *AJR Am. J. Roentgenol.* 181:321–329, 2003.
31. Stern, S.H., et al.: *Nationwide Evaluation of X-ray Trends (NEXT): 2000–2001 Survey of Patient Radiation Exposure from Computed Tomography Examinations in the United States*. U.S. Food and Drug Administration, Rockville, MD, 2002. [www.fda.gov/cdrh/ct/risks.html](http://www.fda.gov/cdrh/ct/risks.html) (February 3, 2006).
32. Mettler, F.A. Jr., et al.: *CT scanning: Patterns of use and dose*. *J. Radiol. Prot.* 20:353–359, 2000.
33. Nickoloff, E.: *Current adult and pediatric CT doses*. *Pediatr. Radiol.* 32:250–260, 2002.
34. Nickoloff, E.: *Phone conversation with L. Ehrle, July 1, 2004*.
35. *National Research Council. BEIR-V Report: Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*. National Academies Press, Washington, DC, 1990.
36. *International Commission on Radiation Units and Measurements. The Quality Factor in Radiation Protection: ICRU Report 40*. Joint Task Force of the ICRU and ICRP, Washington, DC, 1986.
37. Straume, T.: *High-energy gamma rays in Hiroshima and Nagasaki: Implications for risk and weighting factor*. *Health Phys.* 69:954–956, 1995. ●

## Abgereichertes Uran

# HorriDU!

„Jagdmunition aus Uran – der Umwelt zu Liebel!“

Von Ewald Schnug<sup>1</sup>

Horrido! Bald schallt er wieder durch Wald und Flur, der alte Gruß- und Jagdruf der Jäger und zwar dann, wenn mit dem Namenstag des Heiligen

Hubertus, am 3. November die Gesellschaftsjagden auf Niederwild beginnen (gemeinhin auch als „Treibjagden“ bekannt). Hase, Kaninchen, Ente und KollegInnen werden dabei mit dem sogenannten Schrottschuss „gestreckt“. Im Gegensatz zum Schuss mit der „Kugel“ rückt hierbei nicht ein einziges Geschoss, sondern eine ganze Wolke („Garbe“) kleiner Kügelchen der Beute zu Leibe. Tradition-

nell bestehen diese Kügelchen aus einer Bleilegierung, deren hohes spezifisches Gewicht für Durchschlag in den Wildkörper sorgt, deren Weichheit aber den Gewehrlauf schont und die Gefahr von Querschlägern vermindert. Ein wahrhaft ideales Material, das Blei, wenn da nicht seine Giftigkeit wäre. Schon ein einzelnes Schrotkorn von einer Ente verschluckt besiegelt ihr Ende [Schleiderer 2001]. Auch umweltrelevante Gesetzgebung weiß um die Gefährlichkeit von Blei: das Bundes Bodenschutz Gesetz [BBodSchG, 1998] begrenzt die Bleimengen im Boden und das Düngemittelrecht die Einbringung von Blei in Böden durch Düngemittel [DüMG 1977; DüMV

2003/2004]. Dementsprechend fieberhaft sucht die Waffen- und Munitionsindustrie nach Alternativen für Bleischrot. Weich und schwer wie Blei soll es sein und das Verschießen in freier Natur von keinem Gesetz gebannt.

Bisher war die Suche nach Alternativen [Kinsky 2007; Schmidt-Colberg 2007] nur wenig erfolgreich<sup>2</sup>: Entweder zu leicht wie etwa Kalkperlen [Schnug und Haneklaus 2001] oder Zinn, zu hart wie Weichblei und Wolfram oder ganz

<sup>1</sup> Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug ist seit 30 Jahren Jagdscheininhaber und Leiter des Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Tel.: 05315962101, E-mail: [ewald.schnug@fal.de](mailto:ewald.schnug@fal.de)

<sup>2</sup> relative Härte (Moh) (Blei=1): Sn 1,5; Kalzit 1,8; U 2,1; Bi 2,1; Fe 3,8; W 5,2; relative Dichte (Blei=1): Kalzit 0,3; Sn 0,7; Fe 0,7; Bi 0,9; U 1,7; W 1,7