

Ionisierende Strahlung und zivile Atomenergienutzung: Eine Risikobewertung

Wolfgang Stück

Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung werden vorwiegend mit atomaren Unfällen oder als unvermeidbare Begleitschäden therapeutischer Strahlenanwendung assoziiert. Dabei zeigt die wissenschaftliche Evidenz, dass bereits im Niedrigdosisbereich wie durch die ubiquitäre natürliche Radioaktivität ein Teil der spontanen Krebserkrankungen und Erbschäden in der Bevölkerung verursacht werden.

Jede zusätzliche Strahlenbelastung führt zu zusätzlichen Erkrankungen. Neuere Studien in der Umgebung atomarer Anlagen zeigen dort – entfernungsassoziiert – eine signifikante Häufung kindlicher Leukämien, die den Verdacht nähren, dass das Erkrankungsrisiko im Niedrigdosisbereich unterschätzt worden sein könnte. Die Fokussierung auf Krebserkrankungen übersieht die Vielfalt der durch ionisierende Strahlung erzeugten Krankheitsbilder. Selbst die unfallfreie zivile Atomenergienutzung trägt über Uranabbau, Urananreicherung, Urantransport, sowie dem AKW-Normalbetrieb bis zu der (nicht gelösten) Endlagerung bei zu einer schleichenden, irreversiblen Erhöhung ionisierender Strahlung in der Biosphäre bei.

Schlüsselwörter: Natürliche Radioaktivität, Strahlung AKW-Normalbetrieb, Lungenkrebs, Radon, Niedrigstrahlung, Intelligenzdefekte, Erbschäden.

Einleitung

Welche Lehren wurden 25 Jahre nach der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl gezogen? Es hat sich kaum etwas geändert. Die Strahlenschutzregeln und -gesetze sind die gleichen geblieben, das Super-GAU-Risiko wird unverändert unterschätzt, obwohl die Alterung deutscher Atomkraftwerke zu sich häufenden Pannenserien und zu immer längeren Stilllegungen führen, die designierte AKW-Direktorin eines deutschen Pannereaktors konnte eine Notfallabschaltung auch nach mehreren Stunden nicht bewerkstelligen, Katastrophenpläne - so sie denn noch existieren - werden weder geprobt, noch sind sie der Bevölkerung bekannt und die neue Risikobedrohung „Terrorismus“ soll erfolgreich mit Nebelgranaten abgewehrt werden. Der einzige Nebel, der sich gelüftet hat, ist die unbehinderte Sicht auf die undistanzierte Gemeinsamkeit von Politik und Wirtschaft. Die Situation ist aber zu ernst, um sie mit Satire und Kabarett abzuwehren. Die bekannten objektiven Fakten, ergänzt durch neue wissenschaft-

liche Erkenntnisse müssen wieder in den Vordergrund gerückt werden. Hierzu soll dieser Artikel einen Beitrag leisten.

Ionisierende Strahlung

Radioaktivität/radioaktiver Zerfall ist die Eigenschaft instabiler Atome sich spontan unter Energieabgabe (ionisierende Strahlung) umzuwandeln. Isotope eines chemischen Elementes sind Atomkerne gleicher Kernladungszahl mit unterschiedlicher Neutronenzahl. Für jedes Element unterscheidet man stabile Isotope von instabilen Isotope, die spontan oder durch künstliche Anregung von außen zerfallen. Die Zerfallsprodukte sind ihrerseits meist instabile (radioaktive) Isotope, die weiter unter Energieabgabe (Strahlung) zerfallen. Man spricht dann von einer radioaktiven Zerfallsreihe. Unter ionisierender Strahlung versteht man Strahlung deren Energie ausreicht um aus Atomen oder Molekülen Elektronen herauszuschlagen, so dass positiv gela-

dene Ionen oder Molekülreste zurückbleiben. Die Untergrenze hierfür liegt bei etwa 5 Elektronenvolt (eV) pro Energiequant der betrachteten Strahlung.

Für die hier vorgenommene medizinische Bewertung wird nur auf die biologisch relevanten Alpha-, Beta-, und Gamma-/Röntgenstrahlen eingegangen.

Alpha- Strahlen

sind geladene Teilchen, die aus Heliumkernen bestehen. Die starke Wechselwirkung mit Materie und biologischen Strukturen ist bedingt durch ihre hohe Energieabgabe auf aller kürzester Wegstrecke. Deshalb werden Alphastrahlen als dicht ionisierend bezeichnet. Ihre Eindringtiefe in Gewebe beträgt nur Millimeter. Die Masse eines Alpha-Teilchens ist 7342 mal so groß, wie die eines Beta-Teilchens. Eine große Gefahr besteht, wenn es zur Inhalation oder Ingestion von Alpha-Teilchen kommt.

Beta-Strahlen

sind eine aus Elektronen (+ Positronen) bestehende Partikel (Korpuskel)-Strahlung. Sie sind weniger dicht ionisierend als Alphastrahlen und haben eine größere Eindringtiefe.

Gamma / Röntgenstrahlen

sind elektromagnetische Wellen (keine Partikel), die aus „Energiepäckchen“ den Quanten oder Photonen bestehen. Ihre Weglänge/Durchdringungsfähigkeit in Geweben ist größer als bei Teilchenstrahlung. Ihre Energieabgabe pro Wegstrecke ist geringer und deshalb weniger dicht ionisierend.

Einheiten

(vereinfachte Darstellung ohne Wichtungsfaktoren etc.)
 1 Gray (Gy) = 1 Sievert (Sv) (bei Beta + Gammastrahlung) = 100 Rem = 100 Rad

Wirkung ionisierender Strahlung

Ionisierende Strahlung kann Ionen von Zellmolekülen entfernen, so dass z.B. Atombindungen aufgebrochen werden. Je größer die Energieabgabe einer Strahlung pro Wegstrecke ist (dicht ionisierend wie Alphastrahlung) umso größer ist die Trefferquote pro Zelleinheit und damit auch die Zunahme der Wahrscheinlichkeit, dass eine Akkumulation beschädigter Nachbarstrukturen eintritt, die die Reparaturleistung der Zelle überfordern kann. Die Wirkung kann zum einen direkt auf den Zellkern einwirken und dort DNA-Strukturen verändern oder aber auch die Radiolyse der wässrigen Zellstrukturen auslösen, durch die dann aggressive, hochreaktive Sauerstoffspezies (ROS) entstehen (1). Die ROS können dann die Membranstrukturen von Zelle und Zellkern schädigen, dort aber auch Ketten weiterer chemischer Reaktionen (z.B. Lipidperoxidation) auslösen (2).

Entstehen ROS sehr nah am Zellkern, so können sie die DNA des Zellkernes auch direkt schädigen. Eine wesentliche Initiierung der Karzinogenese ist die Störung des Gleichgewichtes von Supressorgenen und Proto-Onkogenen, wobei die Proto-Onkogene in Onkogene transformiert werden können und die Supressorgene durch Methylierung Funktionsverlust erleiden, wodurch die unkontrollierte Zellvermehrung initiiert wird (1).

Da die chemische Karzinogenese ebenfalls über ROS getriggert wird, sind bisher nicht untersuchte und quantifizierte Kombinationseffekte anzunehmen. Der Nachweis eines solchen Kombinationseffektes konnte mit dem Herbizid Paraquat und Röntgenstrahlen erbracht werden (3). Neuere Studien weisen nach, dass strahlengeschädigte Zellen die Signaltransduktion benachbarter, nichtbestrahlter Zellverbände stören und dort zu unterschiedlichen Schweregraden von Zellschäden führen können (sogar letal oder krebsauslösend). Diese sogenannten „Bystandereffekte“ können sogar vererbt werden (4).

Betrifft eine Strahlenschädigung eine Körperzelle, so ist nur dieses Individuum betroffen. Die Folge kann eine Funktionsänderung sein, aber auch Krebstransformation oder Zelltod (z.B. akute Strahlenkrankheit.).

Betrifft die Schädigung eine Keimzelle, so zeigt die Schädigung erst Symptome in der/n nachfolgenden Generation/en und kann unter Umständen bei rezessiver Vererbung erst als Merkmal in Erscheinung treten, wenn ein Zusammentreffen mit einem weiteren gleichen rezessiven Merkmalsträger erfolgt. Genetische (Erb-) Schäden durch ionisierende Strahlung sind ebenfalls stochastische Schäden, d.h. Art und Schweregrad unterscheiden sich nicht von den spontan vorkommenden Erkrankungen, lediglich die Häufigkeit des Auftretens steigt mit Zunahme der Strahlenbelastung.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) schreibt hierzu:

„Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICPR) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen (akuten) Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen hinweg wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, die Ursache für eine schwere Erkrankung ist. Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdopplungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. d.h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Häufigkeit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2 Prozent pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung beträgt die Verdopplungsdosis 0,3 Gy“ (6).

Es bleibt zu erwähnen, dass die dominanten Erbschäden, da sie schon in der ersten Generation auftreten, noch am ehesten abschätzbar sind. Völlig offen ist das zu erwartende Risiko der erst nach vielen Generationen auftretenden rezessiven Erbschäden. Im Gegensatz zur Life Span Study (LSS) an Menschen, werden die genetischen Abschätzungen aus Tierstudien vorwiegend mit Mäusen abgeleitet. Die Risikoabschätzungen bezüglich genetischer Strahlenschäden sind deshalb mit einer hohen Unsicherheit belastet.

Natürliche Radioaktivität

Die quantitative Zusammensetzung der natürlichen Radioaktivität ist in Tab. 1 dargestellt.

Die *Bodenstrahlung* besteht vorwiegend aus den Isotopen: Kalium-40 (Beta- + Gammastrahler), Kohlenstoff-14 (Betastrahler),

Bodenstrahlung (Gamma-Strahlung aus Boden/Gestein/Baumaterialien)	0,50 mSv
Kosmische Strahlung	0,30 mSv
Innere (Körperstrahlung)	0,30 mSv
Radonbelastung	1,30 mSv
Total	2,40 mSv pro Jahr

Tab. 1: Zusammensetzung der natürlichen Radioaktivität (Quellen: 2, 5)

sowie Uran 238 (Alphastrahler), Thorium-232 (Alphastrahler) und deren Zerfallsprodukte.

Die *Kosmische Strahlung* entsteht durch die Kernfusion in der Sonne und explodierende Supernovas und durch Sterne. Sie reagiert in der Atmosphäre besonders mit CO₂, Stickstoff etc. wobei radioaktives C-14 und Tritium etc. entsteht, die sekundäre Strahlung, die durch das Magnetfeld der Erde zu den Polen abgelenkt wird. Die geringste kosmische Strahlung besteht am Äquator und auf Meereshöhe. Ein Flug USA - Europa und zurück bringt eine zusätzliche Belastung von 50 mikro-Sv.

Die *Innere Strahlung* besteht zu 60 % aus mit der Nahrung aufgenommenem Kalium-40, das aber nicht im Körper akkumuliert, da Aufnahme und Ausscheidung ein steady-state bilden. Blei-210 und Polonium-210 machen weitere 20 % aus, weiterhin wird in unseren Körper Kohlenstoff-14 aus der Nahrung in den Körper eingebaut.

Radon-222 ist unsere größte Belastung durch natürliche Radioaktivität. Es ist ein Zerfallsprodukt von Uran-238/ Radium-26. Das geruchlose Gas steigt aus dem Boden auf und akkumuliert besonders in Kellerräumen und Souterrainwohnungen. Hohe Belastungen bestehen z.B. in Teilen Sachsens (z.B. Erzgebirge). Dort wurde die Sanierung von Wohnhäusern durch das BMU finanziell gefördert.

Beim Hausneubau lässt sich dieses relevante Gesundheitsrisiko minimieren, wenn z.B. eine **durchgehende**, unverrottbare Plastikfolie über die Bodenplatte gezogen wird und das weitere Mauerwerk erst darauf errichtet wird. Die häufige Lungenkreberkrankung bei Uran-Bergbauarbeitern (Radon/ Uranstaub) ist eine anerkannte Berufskrankheit (BK-Ziff. 2402).

Die **nicht-berufsbedingten** Krebserkrankungen durch Radon werden wie folgt beziffert: In der Bundesrepublik stirbt alle 4 Stunden ein Mensch an Lungenkrebs durch Radon, EU-weit jährlich 20 000 Menschen. 2 % aller Krebsfälle insgesamt sind durch Radon bedingt und 8,4 % aller Lungenkrebsfälle (6-9). Die US-regierungsamtliche EPA (Environmental Protection Agency) beziffert die Zahl der jährlichen Lungenkreberkrankungen durch Radon für die USA mit 20.000 Toten (10).

Die Höhe der natürlichen ionisierenden Strahlung variiert entsprechend Meereshöhe und Gesteinsart der Böden.

Die Gesamtstrahlenbelastung beträgt für einen Bundesbürger pro Jahr 4,3 mSv, wobei 56 % auf die natürliche und 44 % auf künstliche Strahlenbelastung entfallen (5).

Künstliche Radioaktivität

Zusätzlich zu der unvermeidbaren natürlichen Radioaktivität addiert sich die Strahlenbelastung aus verschiedenen anthropogenen Quellen (Tab. 2).

Fallout der oberirdischen Atombombenversuche	0,01 mSv
Strahlenbelastung durch den Reaktorunfall in Tschernobyl	0,02 mSv
Atomkraftwerke (jährlich erlaubte Abgabe im störungsfreien Betrieb)	0,30 mSv
Weitere berufliche, medizinische und sonstige Quellen	1,57 mSv
Gesamt	1,9mSv pro Jahr

Tab. 2: Zusammensetzung der künstlichen Radioaktivität (Quelle: 5)

Geschichte der Risikobewertung und des Strahlenschutzes

Die erste große und einzige wissenschaftliche Massen-Studie zur Abschätzung des Risikos ionisierender Strahlung erfolgte an den Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki. Von diesen Studienergebnissen werden heute die beruflichen und allgemeinen Strahlenschutzverordnungen abgeleitet.

Hierzu wurde das staatliche, gemeinsame japanisch/US-amerikanische Forschungsinstitut **RERF** (Radiation Effects Research Foundation) in Hiroshima gegründet.

Dies erfasste ab 1950-1952 rund 100.000 Überlebende der Bombenexplosionen und begleitet sie und ihre Kinder wissenschaftlich bis heute (**LSS = Life Span Study**). Die einmalige Strahlendosis durch locker ionisierende Gammastrahlung der Überlebenden lag unter 1Gy bis herunter zu 0,10 Gy.

Auf der Basis dieser fortlaufenden Studien, ergänzt durch experimentelle Erfahrungen sowie Auswertungen von Strahlenunfällen, veröffentlichen die drei großen internationalen Strahlenschutzgesellschaften ihre fortlaufenden Reporte und Empfehlungen, die als Referenz von den meisten nationalen Strahlenschutzorganisationen übernommen werden. Es sind dies

- **ICRP** - International Commission on Radiological Protection,
- **UNSCEAR** - United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation,
- **BEIR** - United States Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation).

Aus den Krebsstatistiken und den geschätzten Strahlenbelastungen durch Ermittlung des Aufenthaltsortes aus Hiroshima und Nagasaki und den Messwerten der A-Bombenexplosionen in Nevada wurde das erste Dosimetriesystem zur Abschätzung des Strahlenrisikos durch das RERF etabliert („Tentative 1965 Radiation Dose Estimates“), ersetzt 1986 durch das Dosimetriesystem DS86, angepasst 2002 (11,12).

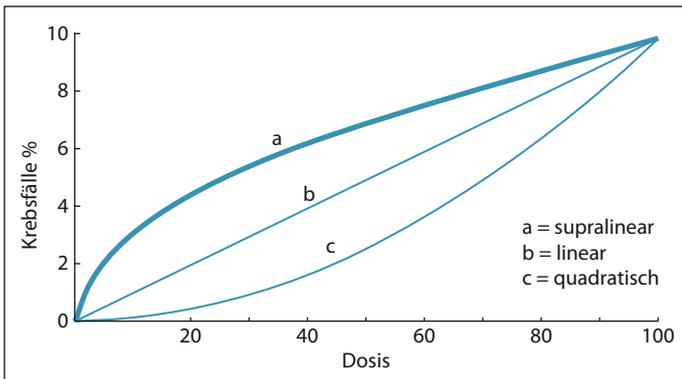


Abb. 1: Dosis-Wirkungskurven extrapoliert von 1 Gy zur Dosis 0. Unterschiedliche Annahmen linearer, supralinearer und quadratisch-linearer Verlauf. Kein Schwellenwert (Quelle: 13)

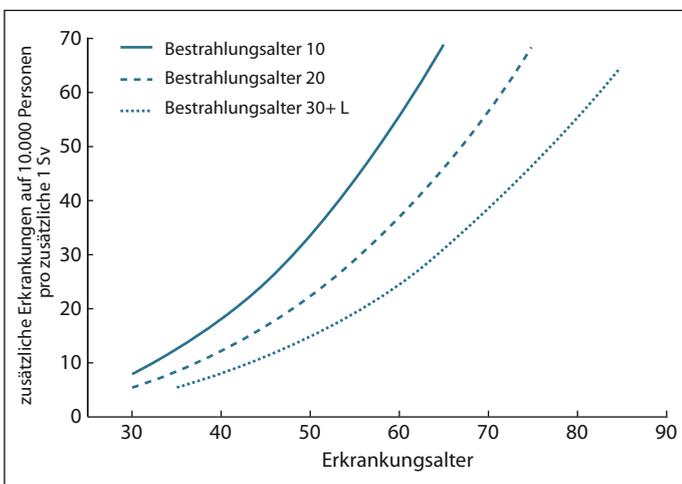


Abb. 2: Altersabhängigkeit der Erkrankungswahrscheinlichkeit (Quelle: 2).

Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

Strahleninduzierte Krebs-, Erb- und andere Folgekrankheit im Niedrigdosisbereich (LNT) unterscheiden sich weder von der Art noch vom Schweregrad der spontan auftretenden Erkrankungen. Die Häufigkeit dieser ubiquitär vorkommenden Erkrankungen nimmt mit der Höhe der Strahlendosis zu, weshalb man von stochastischen Schäden spricht. Da es sich um statistische Wahrscheinlichkeiten handelt, ist deshalb kein individuelles Erkrankungsrisiko abzuschätzen oder im Eintrittsfalle nachzuweisen - es handelt sich im juristischen Sinne um keine haftungsausfüllende bzw. haftungsbegründende Kausalität.

Für ionisierende Strahlung existiert kein Schwellenwert, d.h. schon ein einziges Strahlenpartikel oder Strahlenquant hat die Potenz z.B. eine Krebserkrankung auszulösen (LNT = Linear-no-threshold-model). UNSCEAR drückt dies (bis heute unbestritten) wie folgt aus: „Das Studium der Beziehungen zwischen Dosis und Wirkung auf Zellebene oder darunter muss zu dem Schluss führen, dass biologische Schädigungen nach Bestrahlungen eintreten, wie klein die Dosis auch sein mag“ (14).

Die Dosis/ Wirkungskurve ist ohne Schwellenwert bis zur Dosis Null linear (Abb. 1). Die im Laufe des Lebens empfangenen

Dosen sind in ihrer Wirkung kumulativ. Frauen haben eine höhere Morbiditäts- und Mortalitätsrate als Männer. Je jünger das Lebensalter in dem die Strahlenbelastung erfolgt, desto größer ist die spätere Erkrankungswahrscheinlichkeit (Abb. 2). Bei Bestrahlung im Kindesalter ist die Erkrankungswahrscheinlichkeit um den Faktor 2 erhöht (15).

Die Latenzzeit, d.h. die Zeit zwischen dem Schädigungsereignis und dem Zeitpunkt des Krankheitsausbruch, beträgt für Leukämien wenige Jahre. Die Latenzzeit für solide Tumore mehrere Jahrzehnte.

— Erkrankungen durch Ionisierende Strahlung

Krebserkrankungen

Leukämien und andere Krebserkrankungen waren die ersten Erkenntnisse der Folgen ionisierender Strahlen im Niedrigdosisbereich. Die Forschung fokussiert sich bis heute vorwiegend auf die Krebserkrankungen, obwohl vielfältige Hinweise (und teilweise auch Studien) auf ein Bündel anderer strahlenbedingter Gesundheitsschäden beobachtet werden.

Das Krebsrisiko wird unterschiedlich hoch eingeschätzt.

UNSCEAR 2000 schätzt das Lebenszeitrisiko für den Krebstod durch solide Krebserkrankungen auf 9 % für Männer und 13 % für Frauen bei Belastung mit einer akuten Dosis von 1 Sv. Das Leukämierisiko bei einer Belastung mit einer zusätzlichen Strahlendosis von 1 Sv wird auf 1 % geschätzt (15).

Im BEIR-VII Report (2008) wird das zu erwartende Krebserkrankungsrisiko bei einer einmaligen Strahlendosis von 0,1 Sv ebenfalls mit 1 % angegeben (Abb. 3).

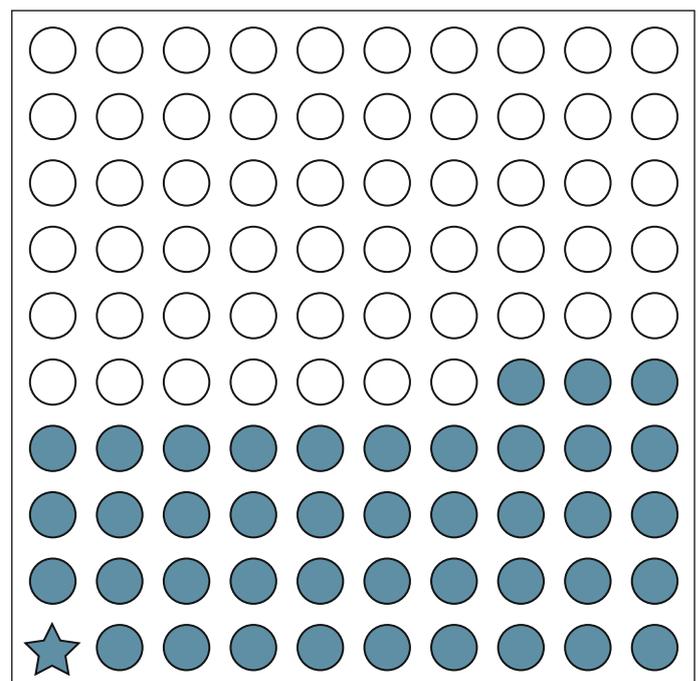


Abb. 3: Während des Lebens erkranken 42 (schwarze Punkte) von 100 Menschen an Krebs. Bei einer zusätzlichen einmaligen Belastung mit 0,1 Sv mit locker ionisierender LET-Bestrahlung (Beta und Gamma) erkrankt 1 Mensch zusätzlich an einem soliden Krebs (schwarzer Stern) (Quelle: 2)

Die US-EPA teilt auch auf der Basis des letzten BEIR-VII Reports folgende Zahlen mit (16):

Erwachsene:

0,101 zusätzliche Erkrankungsfälle/ 0,1 Gy,
(der 90 % Vertrauensbereich 0,07-0,24/ 0.1 Gy)

Die Mortalitätsrate liegt bei ca. 50 %

Kinder unter 15 Jahre:

Mädchen: 0,30 Erkrankungsfälle/ 0,1 Gy

Jungen: 0,16 Erkrankungsfälle/ 0,1 Gy

Frühere Untersucher berechneten folgende Daten (17,18):

Anzahl zusätzlicher Krebstote / 1 Millionen Menschen bei		
100 mrem	(≅ 0,1 mSv od. mGy)	950 Tote
1.000 mrem	(≅ 1 mSv od. mGy)	3.800 Tote
10.000 mrem	(≅ 10 mSv od. mGy)	15.000 Tote

RRF: Für alle soliden Krebserkrankungen betrug das zusätzliche relative Erkrankungsrisiko (ERR) 49 % (19).

Sonstige Erkrankungen

Herz-Kreislaufkrankungen

In der LSS-Studie (1950-2003) zeigten sich Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem schon bei einer Ganzkörperstrahlendosis von unter 1Gy (0.5-2 Gy). Die zusätzliche Mortalität für Herzerkrankungen und Schlaganfall betrug 1/3 der Krebsmortalität. (20, 21).

Mentale Retardierung

Tritium ist ein schwacher Betastrahler und Hauptemittent von Atomkraftwerken im störungsfreien Betrieb.

Zamenhof et al. fütterten Ende der 1970er Jahre weibliche Ratten mit tritiumhaltigen Wasser. Während bei den Muttertieren keinerlei Strahleneffekte nachweisbar waren, zeigten sich bei den neugeborenen Jungtieren - bei sonst völliger Unauffälligkeit - erhebliche Hirnschäden als Folge der Bestrahlung auf die vorgeburtliche Gehirnentwicklung (22).

Nachgewiesen wurden schwere geistige Retardierungen auch in der LSS bis zu einer Dosierung herab von 0,21 Gy von Kindern, deren Mütter in utero eine Bestrahlung in der 8.-15. Schwangerschaftswoche erhielten (23). Aber auch minder schwere und vermutlich viel häufigere zerebrale Schäden im Sinne von Intelligenzminderungen sind nachgewiesen. So wurde Anfang der 1980er Jahre beobachtet, dass der Schultest (Scholastic Aptitude Test) für die Universitätsaufnahme in Utah/Nevada drastisch schlechtere Ergebnisse erbrachte. Nachforschungen ergaben, dass die schlechten Ergebnisse von Schülern stammten, deren Mütter zwischen 1961-1963 schwanger waren (= zur Zeit der meisten oberirdischen Atombombenversuche) und die in der Abluftfahne der Nevada-Test-Site wohnten und hohen Fallout-Belastungen ausgesetzt waren. Bestätigung fanden diese Befunde auch in der LSS. Eine Verminderung der Intelligenztestscores bei japanischen Schülern fand sich bei denjenigen, deren Mütter in der 8.-15. und/oder 16.-25. Schwangerschaftswoche strahlenexponiert waren. Andere Studien bestätigen dieses vulnerable Zeitfenster in der Gravidität für die Intelligenzentwicklung des Feten (24). Keine statistische Auffälligkeiten waren nachweisbar in der 0.-7. und

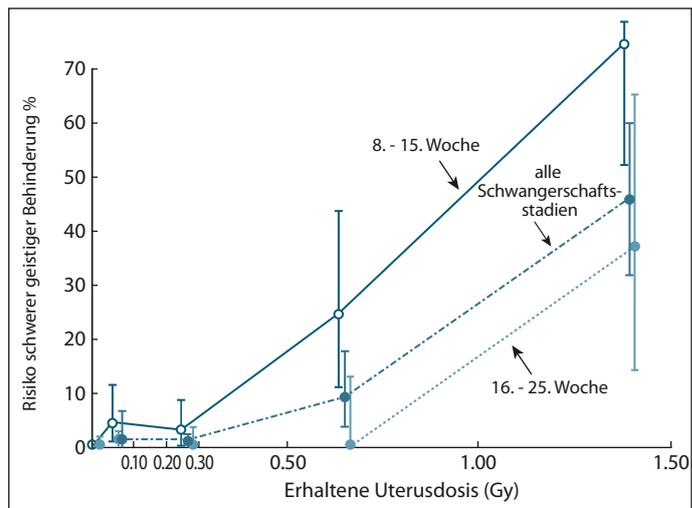


Abb. 4: Prozentuales Risiko des Auftretens schwerer geistiger Behinderung in Abhängigkeit von der Höhe der Strahlendosis in Gy und dem Schwangerschaftsstadium (Quelle: 25)

der 26.-40. Woche nach der Konzeption (26, 27). Das prozentuale Risiko des Auftretens schwerer geistiger Behinderung in Abhängigkeit von der Höhe der Strahlendosis in Gy und dem Schwangerschaftsstadium zeigt Abb. 3 am Beispiel von in utero exponierten Atombombenopfern (25).

Weitere Studienergebnisse betreffs Intelligenzeinschränkungen zeigen Folgeuntersuchungen der LSS (28, 29) aber auch nach Strahlenbehandlung von Tinea Capitis sowie therapeutischer Behandlung von Kindern mit ionisierender Strahlentherapie (30).

Lebenszeitverkürzung

Cologne und Preston (2000) untersuchten die Lebenserwartung in der LSS Kohorte. Ein klarer Zusammenhang zwischen Lebenserwartung und Strahlendosis wurde gefunden. Bei einer Dosis zwischen 0.005 und 1.0 Gy betrug die Lebenszeitverkürzung 2 Monate, bei einer Strahlendosis von mehr als 1 Gy betrug die Lebenszeitverkürzung 2,6 Jahre (31).

Weitere Effekte durch ionisierende Strahlung:

- Vermehrtes Auftreten gutartige Tumore (21, 32, 33)
- Störungen des Immunsystems (34)
- Katarakt und Anstieg von Entzündungsproteinen etc. (35-38).

Kritik der derzeitigen Risikobewertungen

Erhöhte Leukämieraten bei Kindern in der Umgebung von Atomanlagen wurden zunächst vermutet, wenige durch Nachuntersuchungen nicht bestätigt, andere durch epidemiologische Studien gesichert. Eine kausale Zuordnung zu einer künstlichen Strahlenquelle ist deshalb schwierig, weil es vereinzelt idiopathische Leukämiecluster gibt. Die Häufung in der Umgebung von Atomanlagen ist jedoch hochsignifikant, siehe KIKK-Studie und Untersuchungsergebnisse aus England in New Dounreay, Aldermaston, Sellafield etc. (1).

Hinweisend ist besonders die räumliche Korrelation des Wohnortes der Erkrankten zur Entfernung von der Atomanlage (KIKK-

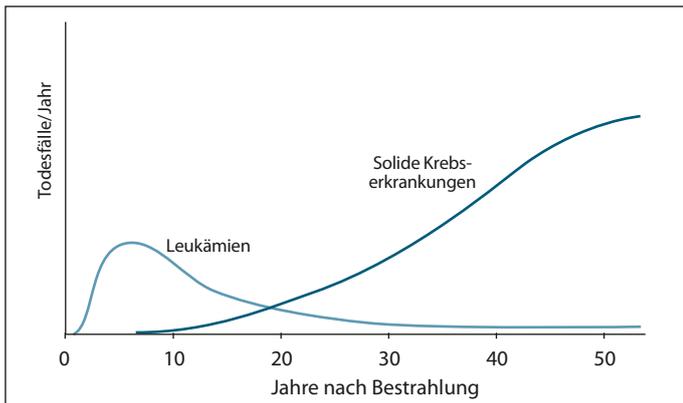


Abb. 5: Änderung der Art der Krebserkrankungen und Todesfälle im Zeitenverlauf nach dem Strahleneignis (Atombombe) (Quelle: 39)

Studie, etc.). Dieser sich wiederholende Zusammenhang ist kein Beweis, aber eine Kausalität mit den Emissionen der benachbarten Atomanlagen sehr plausibel. Hierfür spricht auch, dass die Suche nach confoundern bis jetzt erfolglos blieb. Nach den Risikoabschätzungen der LSS, der ICRP, UNSCEAR und BEIR wären die Strahlendosen der Atomanlagen für die hohen Leukämieraten nicht ausreichend.

Wie valide aber sind die Risikoabschätzungen auf der LSS-Basis und damit auch von ICRP, BEIR und UNSCEAR ?

Die statistische Erfassung der ca.100.000 Überlebenden erfolgte erst von 1950-1952. Die erste Krebserkrankungswelle sind die Leukämien bei Kindern (40). Die Erhöhung der Leukämieerkrankungen beginnt 2 Jahre nach der Strahlenbelastung und erreicht nach 6-8 Jahren den Höhepunkt. Das zusätzliche Risiko beträgt bei einer Strahlendosis mit 0,005-0,1 Gy 6 %, bei einer Dosis von 0,5-1,0 Gy 63 %. Aufgrund der späten Erfassung in der LSS wurde höchstwahrscheinlich nur noch die „Nachhut“ der Leukämieerkrankungswelle erfasst, das tatsächliche Risiko demnach unterbewertet.

In den ersten Nachkriegsjahren gab es in Hiroshima Unternahrung (Essensmarken für Schwangere), unzureichende hygienische Verhältnisse und schwere Infektionskrankheiten, an denen bis zu 200.000 Menschen bis 1950 verstarben. Hierunter fallen nicht die Hochdosisbelasteten, die an der akuten Strahlenkrankheit kurzzeitig verstarben.

Die Teilnehmer der LSS sind wahrscheinlich eine Selektion der genetisch Stabilsten und nicht repräsentativ für eine differenzierte Risikoabschätzung insbesondere der Risikogruppen in unserer Bevölkerung. Eine weitere Unsicherheit besteht auch darin, ob der einmalige, kurzzeitige Strahlenstoß der Bombenexplosion mit überwiegend elektromagnetischer Gammastrahlung trotz Einbeziehung von Wichtungsfaktoren z.B. Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) etc. vergleichbar ist mit den Langzeitbelastungen durch inkorporierte, korpuskuläre Alpha- und Beta-Strahlen wie sie wesentlich von AKWs und dem Uranzyklus emittiert werden.

Die 1965 Dosimetrie (T65D) musste revidiert werden durch neue Erkenntnisse, dass z.B. die Neutronenstrahlung wesentlich geringer war und wenig zur Gesamtstrahlenbelastung beitrug, d.h. dass die Krebserkrankungen vorwiegend durch die Gammastrahlung bedingt waren. Die Umgebungsabschirmung der Überlebenden

erwies sich erheblich höher bei Nachberechnungen. Die Strahlenbelastung war um den Faktor 10 überschätzt worden!

Nach dem revidierten neuen Dosimetriesystem von 1986 (modifiziert 2002) erhöhte sich die Rate von zusätzlich zu erwartenden soliden Krebstumoren (bei einem zugrundegelegten RBW von 10/20 um 30 % / 72 %, für Leukämien um 80 % / 136 % (41).

Die in neueren Studien nachweisbaren erhöhten Leukämieerkrankungen im Umfeld von AKWs/ Nuklearanlagen sind auch mit den revidierten Dosimetriesystemen nicht erklärbar.

Erwähnt sei, dass Untersuchungen in früheren Jahren an Säugtierzellen im Niedrigdosisbereich eine wesentlich höhere Mutationsrate zeigten als im höheren Dosisbereich, so dass die bisherigen linearen Dosis-Wirkungskurven eine erhebliche Unterschätzung des tatsächlichen Risikos darstellen könnten (siehe Abb. 6 und 7). Die Mutationsauslösung ist bei sehr niedrigen Dosisleistungen am größten (42). Die Reduktion der Dosisleistung führt zu starkem Anstieg der Dosis-Wirkungskurve (43).

Sollten sich diese Studienergebnisse weiter verdichten, bedarf es erneuter Dosimetrieadjustierungen (Risikobewertungen).

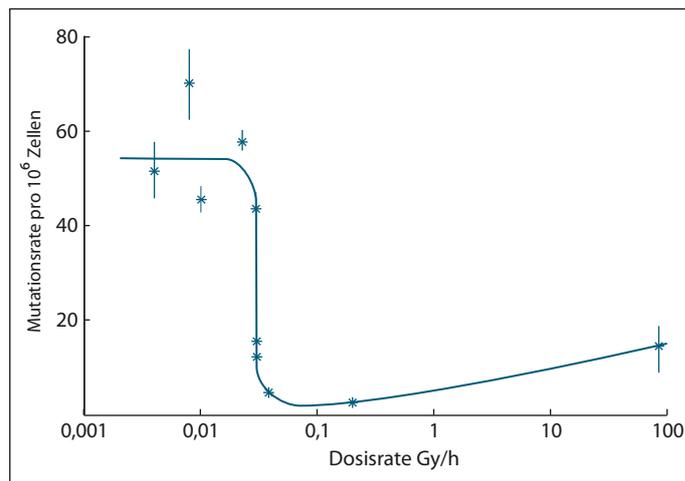


Abb. 6: Mutationsauslösung von Säugetierzellen in Abhängigkeit von der Dosisleistung (Quelle: 42)

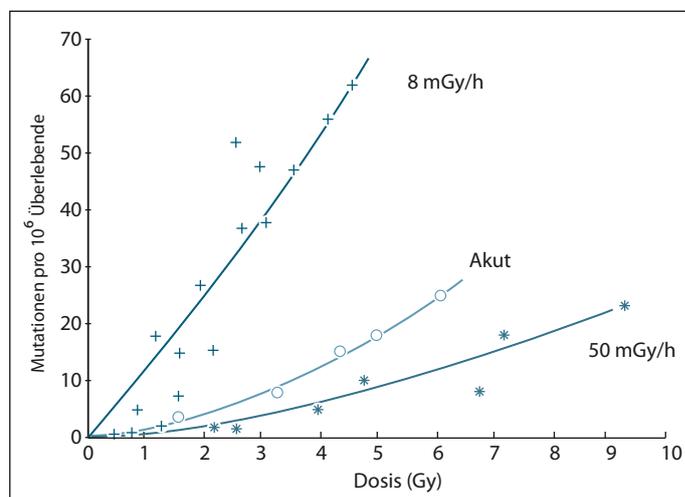


Abb. 7: Mutationsauslösung bei Säugetierzellen in Abhängigkeit von der Dosis-Leistung. Reduktion der Dosisleistung führt zu starkem Anstieg der Dosis-Wirkungskurve (Quelle: 43)

Konsequenzen für das ärztliche Handeln

Da es für ionisierende Strahlung keinen unbedenklichen Schwellenwert gibt, führt jede Dosis in biologischen Systemen zu Veränderungen, d.h. für den Menschen zu möglichen Gesundheitsschäden. Gesichert sind als Strahlenfolgen Krebserkrankungen der Betroffenen, aber auch Krebserkrankungen deren Kinder, die selbst nicht bestrahlt wurden. Krebserkrankungen sind nur die Spitze des Eisberges der tatsächlich aufgetretenen Gesundheitsschäden. Die Erfassung, Zuordnung und Erforschung dieser „übrigen Gesundheitsschäden“ existiert nur in Ansätzen, ist teilweise auch gar nicht möglich, deshalb ist von einer hohen Dunkelziffer strahlenbedingter Erkrankungen auszugehen. Wissenschaftlich unbestritten ist ebenfalls, dass ionisierende Strahlen das menschliche Erbgut verändern können. Dominante Mutationen werden in der 1. Folgegeneration sichtbar. Rezessiv vererbte Mutationen, die aber mehr als 10fach häufiger auftreten als dominante treten zunächst nicht in Erscheinung, erst dann, wenn sie mit einer zweiten rezessiven Mutation zusammentreffen.

Jede zusätzliche Belastung der Bevölkerung mit ionisierenden Strahlen führt zu weiteren Mutationen und damit zu einer ansteigenden Wahrscheinlichkeit des Aufeinandertreffens rezessiver Mutationen mit dem dann erst in Erscheinung tretenden Krankheitsbild, das in der Folge weitervererbt werden kann. Die zunehmende chemische Belastung der Bevölkerung verstärkt dann noch die ebenfalls gentoxischen physikalischen Belastungen durch ionisierende Strahlung. Fixierte Genveränderungen sind irreversibel und auch medizinisch irreparabel.

Das Zulassen einer weiter ansteigenden Anreicherung der Biosphäre mit Radioaktivität, aber auch mit toxischen, insbesondere persistenten Chemikalien, stellt nicht nur eine aktuelle Gesundheitsbedrohung dar, sondern auch zunehmend eine kollektive Bedrohung des menschlichen Genoms. Einmal in die Biosphäre entlassen, ist Radioaktivität weder inaktivierbar noch rückholbar, ebenso sind umweltbedingte, fixierte Erbschäden nicht mehr umkehrbar. Diese Dimension der Irreversibilität erfordert eine besondere Verantwortung in Politik, Gesellschaft und in der Risikobewertung.

Medizinische Strahlenbelastung minimieren

Die Anwendung von röntgenologischen und nuklearmedizinischen diagnostischen Untersuchungsverfahren bedarf einer drastischen Reduzierung. Belastende Untersuchungen sollen nur dort veranlasst werden, wo sich potentiell ein erheblicher therapeutischer Nutzen ergeben könnte. Massenscreenings müssen auf den Prüfstand ebenso wie einige onkologische Nachsorgeschemata. Routineröntgen wie es teilweise noch immer üblich ist, besonders in der Orthopädie, HNO, Urologie und Zahnmedizin, bedarf der Korrektur.

Hauptauftraggeber für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen sind die hausärztlichen Disziplinen. In deren Zulassungsverfahren müssen solide Kenntnisse der Indikationsstellungen und Nebenwirkungen bildgebender Verfahren etabliert werden. Vergessene ärztliche Fähigkeiten wie subtile klinisch-physikalische Untersuchungstechniken und differenzierte Anamneseerhebungen müssen wieder Eingang in die fachärzt-

lichen Curriculae finden (aber auch adäquat honoriert werden!). Umweltbelastende radiologische/nuklearmedizinische- und manche Laboruntersuchungen ließen sich hierdurch ohne Qualitätsverluste reduzieren.

Zivile und militärische Nutzung der Atomenergie beenden

Der Betrieb von Atomkraftwerken bedingt auch ohne Störfälle oder Super-GAU entlang des gesamten Uranzyklus eine kontinuierliche Freisetzung von Radioaktivität in die Biosphäre. Eine noch darüber hinausgehende Gesundheitsgefährdung besteht für die Mitarbeiter der Atomindustrie, insbesondere für die Minenarbeiter.

Schwangere Frauen gefährden im Nahbereich von Atomkraftwerken ihre Kinder. Das Restrisiko eines Super-GAUs bedroht im Falle des Schadenseintritts die Gesundheit von Millionen von Menschen und macht Abertausende zu „Strahlenflüchtlingen“. IPPNW berechnete das Super-Gau-Risiko mit 16 % !! (44).

Den Nachkommen wird eine Welt hinterlassen mit „strahlenden“ Abraumhalden, Massen an hochradioaktivem abgebrannten Atommüll, dessen Ausbreitung für Tausende von Jahren von unseren Nachkommen verhindert werden muss. Die Biosphäre, in der sie leben werden, wird ein Mehr an Strahlenbelastung aufweisen und das Erbgut wird vermutlich eine höhere Schädigungsrate zeigen. Unsere Nachkommen, die keinerlei Nutzen von der Atomenergie haben, werden die Folgelasten tragen müssen. Dies ist eine besonders rücksichtslose Aufhebung des Generationenvertrages. Die zivile Atomenergienutzung heute ist die behindernde Konkurrenz zum Ausbau der gesundheitsverträglicheren, alternativen Energiegewinnung und die notwendige Brückentechnologie zur Herstellung der atomaren Massenvernichtungswaffen. 1997 existierten 40.000 intakte Sprengköpfe, dies entspricht mehr als 1 Millionen Hiroshimabomben oder einer Sprengkraft von 3 Tonnen TNT auf jeden lebenden Erdenbürger (45). Diese Waffenproduktion führte schon zur Verstrahlung der Umgebung und der Arbeiter z.B. in Hanford/USA oder bei Unfällen z.B. in Palomares/Spanien, Marshallinseln, etc.

Die oberirdischen Atombombenversuche haben zu einer Erhöhung der weltweiten Hintergrundstrahlung und Verseuchung ganzer Landstriche z. B. in Kasachstan geführt. Die permanente Gewaltdrohung mit der atomaren Geiselhaft der Bevölkerungen zum Erhalt von politischen Systemen, Machtstrukturen und Durchsetzung von politischen und Wirtschaftsinteressen beeinträchtigt auch unser psycho-somato-soziales Wohlbefinden im WHO-Sinne. Die latente atomare Erpressung führt zu einer Kettenreaktion, innerhalb derer andere Staaten ebenfalls atomar aufrüsten, um dieser Erpressbarkeit zu entgehen und/oder um selbst die neue Macht gegen Andere anzuwenden. Die zugrunde liegenden, extern projizierten inneren Feindbilder sind nicht nur Ausdruck einer ethischen Retardierung auf niedriger Zivilisationsstufe, sondern sind eine - die menschlichen Gemeinschaften - gefährdende psychische Störung, der es ärztlich zu begegnen gilt (Medizin im Virchow'schem Sinne).

Die Bekämpfung von Krankheitsursachen und die Gesundheitsprävention sind Grundsäulen ärztlichen Handelns. Fangen wir an, die atomare Krankheitsursache zu beseitigen. Der Ausstieg aus der Atomindustrie ist die Therapie der Wahl.

Kontakt:

Dr. med. Wolfgang Stück
 Facharzt für innere Krankheiten - Umweltmedizin - Diplom-Umweltarzt
 Wissenschaftsberater für Risikobewertung der Europäischen Kommission
 Vorstand ÖAB/Directing Board Member ISDE
 Trierer Straße 391
 56072 Koblenz
 E-Mail: Oekol.Aeb.-dr.stueck@gmx.de

Nachweise

(1) SUMMER, D., WHELDON, T., WATSON, W. (1991): Radiation Risks: An Evaluation, Glasgow.

(2) COMMITTEE TO ASSESS HEALTH RISKS FROM EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION (2006): Health Risks From Exposure To Low Levels Of Ionizing Radiation, BEIR VII Phase 2, Board on Radiation Effects Research, Division on Earth and Life Studies, National Research Council Of The National Academies, The National Academies Press, Washington, D.C. [http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=030909156X, letzter Zugriff: 14.4.2011].

(3) PETER, B., WARTENA, M., KAMPINGA, H.H., KONINGS, A.W.T. (1992): Role of lipid peroxidation and DNA damage in paraquat toxicity and the interaction of paraquat with ionizing radiation, *Biochemical Pharmacology* 43(4): 705-715.

(4) BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ – BFS (2010): Genetische Strahlenwirkungen [http://www.bfs.de/de/ion/wirkungen/gen_schaeden.html/printversion, letzter Zugriff: 17.02.2011].

(5) BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ – BFS (2001): Jahresbericht: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: 41.

(6) DARBY, S., HILL, D., AUVINEN, A. et al. (2005): Radon in home and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, *BMJ* 330: 223 doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63. [www.bmj.com/content/330/7485/223.full, letzter Zugriff: 17.02.2011].

(7) SCHMID, K., KUWERT, T., DREXLER, H. (2010): Radon in Innenräumen: Ein in der umweltmedizinischen Diskussion unterschätzter Risikofaktor für Lungenkrebs, *Deutsches Ärzteblatt* 107(11): 181-186.

(8) BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ - BFS (2009): Gesundheitliche Auswirkungen von Radon in Wohnungen [www.bfs.de/de/ion/wirkungen/radon_ges.html, letzter Zugriff: 07.02.2011].

(9) WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO (2009): Handbook on Indoor Radon – A Public Health Perspective [whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf, letzter Zugriff: 07.02.2011].

(10) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (2010): Why is radon the public health risk that it is? [http://www.epa.gov/radon/aboutus.html, letzter Zugriff: 17.02.2011].

(11) RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION - RERF (1965): Tentative 1965 Dosimetry System (T65D), RERF Glossary [www.rerf.or.jp/glossary_e/t65d.htm, letzter Zugriff: 03.02.2011].

(12) RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION - RERF (1986): Dosimetry System 1986 (DS86), Glossary [www.rerf.or.jp/glossary_e/ds86.htm, letzter Zugriff: 03.02.2011].

(13) GRAEUB, R. (1985): Der Petkau-Effekt und unsere strahlende Zukunft, *Zytglogge, Gümlingen*.

(14) UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION – UNSCEAR (1962): General Assembly, Official Records: Seventeenth Session Supplement No. 16 (A/5216), United Nations, New York [http://www.unscear.org/docs/reports/1962,%2017th%20session%20(Suppl.%20No.16)/1962final-1_unscear.pdf, letzter Zugriff: 13.4.2011].

(15) MUIRHEAD, C.R., PRESTON, D.L. (2000): Low dose ionizing radiation and cancer risk, *Radiation protection 125*, European Commission, Luxembourg [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/125.pdf, letzter Zugriff: 13.4.2011].

(16) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (2008): (2008): Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population, Draft, EPA, Office of radiation and Indoor Air, Washington D.C.

(17) GOFMAN, W. J. (1990): Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis, Committee for Nuclear Responsibility, Inc., San Francisco, USA.

(18) SCHOLZ, R, LENGFELDER, E. (1989): Strahlenschutz in der Bundesrepublik Deutschland: Das 30-Millirem-Konzept, Bericht Nr. 1, Berichte des Otto Hug Strahleninstituts, Bonn.

(19) PRESTON, D.L., RON, E., TOKUOKA, S. et al.(2007): Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998, *Radiation Research* 168: 1-64.

(20) SHIMIIZU, Y., KODAMA, K., NISHI, N. et al.(2010): Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003, *BMJ* 340: b.5349.

(21) YAMADA, M., WONG, F.L., Fujiwara, S. et al. (2004): Noncancer disease incidence in atomic bombs survivors, 1958-1998, *Radiation Research* 161: 622-632.

(22) ZAMENHOF, S., VAN MARTHENS, E. (1979): The Effects of chronic Ingestion of Triated Water on Prenatal Brain Development, *Radiat. Res.* 77: 117-127.

(23) OTAKE, M., YOSHIMARU, H., SCHULL, W.J. (1987): Severe Mental Retardation among The Prenatally Exposed Survivors Of The Atomic Bombing of Hiroshima And Nagasaki, RERF-Technical Report 16-87, Hiroshima.

(24) SCHULL, W.J., OTAKE, M., YOSHIMARU, H. (1988): Effect On Intelligence Test Score of Prenatal Exposure to Ionizing Radiation in Hiroshima And Nagasaki, RERF-Technical Report 3-88, Hiroshima.

(25) OTAKE, M., YOSHIMARU, H., SCHULL, W.J. (1987): Severe Mental Retardation among the Prenatally Exposed Survivors of the Atomic Bombing of Hiroshima and Nagasaki, RERF-Technical Report 16-87, Hiroshima.

(26) OTAKE, M., SCHULL, W.J., YOSHIMARU, H. (1991): Brain damage among the prenatally exposed: A review of 45 years' study of Hiroshima Nagasaki atomic-bomb survivors, *Journal of Radiation Research (Tokyo)* 32 (Suppl): 249-264.

(27) OTAKE, M., YOSHIMARU, H., SCHULL, W.J. (1989): Prenatal Exposure to Atomic Radiation and Brain Damage, *Congenital Abnormalities* 29: 309-320.

(28) OTAKE, M., SCHULL, W.J. (1984): in utero exposure to A-bomb radiation and mental retardation; a reassessment, *Br J Radiol* 57: 409-414.

(29) SCHULL, W.J., OTAKE, M. (1986): Effect on Intelligence of Prenatal Exposure to Ionizing Radiation, RERF-Technical Report 7-86, Hiroshima.

(30) RON, E., MODAN, B., FLORO, S., HARKEDAR, I., GUREWITZ, R. (1982): Mental function following scalp irradiation during childhood, *Am J Epidemiol* 16: 149-160.

(31) COLOGNE, J.B., PRESTON, D.L. (2000): Longevity of atomic-bomb survivors, *Lancet* 356: 303-307.

(32) RON, E., WONG, F.L., MABUCHI, K. (1995): Incidence of benign gastrointestinal tumors among atomic-bomb survivors, *American Journal of Epidemiology* 142:68-75.

(33) KAWAMURA, S., KASAGA, F., KODAMA, K. et al. (1997): Prevalence of uterine myoma detected by ultrasound examination in the atomic bomb survivors, *Radiation Research* 147: 753-758.

(34) KUSUNOKI, Y., HAYASHI, T. (2008): Long-lasting alterations of the immune system by ionizing radiation exposure: Implications for disease development among atomic bomb survivors, *International Journal of Radiation Biology* 84: 1-14.

(35) SASAKI, H., WONG, F.L., YAMADA, M., KODAMA, K. (2002): The effects of aging and radiation exposure on blood pressure levels of atomic bomb survivors, *Journal of Clinical Epidemiology* 55: 974-981.

(36) YAMADA, M., NAITO, K., KASAGI, F. et al. (2005): Prevalence of atherosclerosis in relation to atomic bomb radiation exposure: An RERF Adult health Study, *International Journal of Radiation Biology* 81: 821-826.

(37) SASAKI, H., KODAMA, K., YAMADA, M. (1991): Aging. A review of 45 years' study of Hiroshima and Nagasaki atomic-bomb survivors, *Journal of Radiation Research (Tokyo)* 32(Suppl): 310-326.

(38) HAYASHI, T., MORISHITA, Y., KUBO, Y. et al. (2005): Long-term effects of radiation dose on inflammatory markers in atomic bomb survivors, *American Journal of Medicine* 118: 83-86.

(39) RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION – RERF (2008): Radiation and Health Services: Late Effects of Radiation [www.rerf.jp/shared/basicg/basicg_e.pdf, letzter Zugriff: 17.02.2011].

(40) PRESTON, D.L., PIERCE, D.A. (1994): Cancer incidence in atomic-bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma, and multiple myeloma, 1950-1987, *Radiation Research* 137: 68-97.

(41) PRESTON, D.L., PIERCE, D.A. (1987): The Effect Of Changes In Dosimetry On Cancer Mortality Risk Estimates in the Atomic Bomb Survivors, RERF-Technical Report 9-87, Hiroshima.

(42) KIEFER, J. (1986): Die Dosisleistungsabhängigkeit der zellulären Mutationsinduktion, in: Aktuelle Erkenntnisse zur Bewertung des Strahlenrisikos: Informationen zur Energie und Umwelt, Teil A, Nr. 25, Universität Bremen: 54-67.

(43) CROMPTON, N.E.A., ZÖLZER, F., SCHNEIDER, E., KIEFER, J. (1985): Increased mutant induction by very low dose-rate gamma-irradiation, *Naturwissenschaften* 72: 439-440.

(44) SCHMIDT, M. (2005): Risiko für einen Super-GAU in Europa bei 16 Prozent, *Lebenshaus Schwäbische Alb*, Online Magazin, 2.11.2005, [http://www.lebenshaus-alb.de/magazin/003326.html, letzter Zugriff: 17.02.2011].

(45) LIEBERT, W., HAUSWEDELL, C., NASSAUER, O. et al. (1997): 40 Jahre Göttinger Erklärung Jetzt endlich Atomwaffen abschaffen, Dossier Nr. 25, in: *Wissenschaft & Frieden 1997-2: Quo vadis Europa* [http://www.wissenschaft-und-frieden.de/seite.php?dossierID=51, letzter Zugriff: 5.5.2011].