

Ionisierende Strahlung aus Atomkraft und Bombenbau – unbedenklich oder Grund zum Ausstieg aus dem Atomzeitalter? Medizinische Überlegungen zu einem umstrittenen Gebiet.

Dr. med. Martin Walter, Innere Medizin FMH, Vorstandsmitglied PSR/IPPNW/CH (Physicians for Social Responsibility/International Physicians for the Prevention of Nuclear War/Switzerland/AerztInnen für Soziale Verantwortung und für die Verhütung des Atomkriegs/Schweiz)

„Das Erbgut ist das wertvollste Eigentum der Menschen. Es bestimmt das Leben ihrer Nachkommenschaft, die gesunde und harmonische Entwicklung der künftigen Generationen.“ (WHO, 1957) (1)

Sellafield

Als im Jahre 1983 die Yorkshire Television Company über ein gehäuftes Vorkommen von Leukaemien bei Kindern in der Umgebung von Windscale (heute Sellafield), vor allem im Dorf Seascale-Village, berichtete, hat neben einer öffentlichen Debatte in England über die Schädlichkeit von Atomanlagen auch eine eigentlich wissenschaftliche Diskussion über die Folgen der Atomenergie in ganz Europa begonnen. In Sellafield wird der Abbrand aus Atomkraftwerken aufbereitet zu Plutonium für Atomwaffen und Reaktoren. In schnelle Brüter sollte dieses Plutonium als nuklearer Brennstoff dereinst eingesetzt werden, ein Perpetuum mobile war uns versprochen. Die Technologie ist in Europa heute gestorben, war in den USA gar nie in Betracht gezogen worden und ist heute sogar in Japan ernsthaft als Möglichkeit in Frage gestellt.(2) Kalkar und Superphoenix, die beiden schnellen Brüter in Deutschland und Frankreich sind die teuersten Industrieruinen der westlichen Welt geworden, nie in Betrieb genommen der erstere, ohne nennenswerten Einsatz der zweite. Wir sitzen auf ungeheuren Plutoniumbergen. Kleine Mengen des sonst nur für Atomwaffen verwendbaren Stoffes werden als MOX (Mischoxid aus Uran und Plutonium) in unseren Reaktoren verwendet. Aus quantitativen Gründen kann der MOX-Einsatz bestenfalls als Feigenblatt der Wiederaufbereitungsbeifürworter bezeichnet werden. (3)

Im sogenannten „Black Report on Sellafield“ bestätigte eine eingesetzte Gruppe von Wissenschaftern unter der Leitung von Sir Douglas Black, dass tatsächlich zu viele Kinder in der Region an bösartigen Tumoren, vor allem der Blut bildenden Organe, erkrankt waren.(4) Zwar konnte wissenschaftlich damals kein Kausalzusammenhang mit dem Betrieb der britischen Anlage hergestellt werden, jedoch wurde in der Folge weiter untersucht.

1987 kommentierte Sir Douglas Black zwei im British Medical Journal erschienene Arbeiten über neue Indizien für die Schädlichkeit von Atomkraftwerken für die Gesundheit der Anwohner. Sir Douglas Black war bei seiner Beurteilung der Lage immer noch so defensiv wie 1984 und stand eher schützend vor den Atomkraftwerken.(5) Und doch sagte er:

„...; but there was a high likelihood that in small areas near Sellafield there was an increased risk of leukaemia in young children.“

Und:

„... .Even taking this point, the likelihood of a connection between nuclear plants and childhood leukaemia is enhanced by the finding of an increased incidence of leukaemia near Dounreay.“

Und er beendete sein Editorial im British Medical Journal mit den Worten:

„...; but should we not pressing ahead more activeley with the peaceful development of nuclear fusion, wich does not release radioactivity into the environment?“ (5)

Heute gibt es weltweit – vor allem aber aus England (6,7,8,9,10,11,12) - eine Unzahl von Publikationen, die Indizien liefern für erhöhte Incidenzen bösartiger Tumoren in der Umgebung von Kernanlagen. Herausragend ist die Debatte über die erhöhte Leukaemieinzidenz bei Kindern um die Anlagen von Sellafield (früher Windscale) in England. Später wurden in England mehrere epidemiologische Arbeiten publiziert, die Hinweise in die gleiche Richtung gaben, nämlich, dass um normal betriebene englische Kernkraftwerke herum Kinder vermehrt an malignen Erkrankungen der blutbildenden Organe und an anderen Tumoren erkrankten.(13) Dass viele dieser Publikationen angezweifelt werden, ist aus politischen Gründen unschwer zu verstehen. Die Arbeit von Sharp zB geht in diese Richtung, doch bleibt offen, weshalb in unmittelbarer Nähe von Dounreay die Tumoren von Kindern so häufig sind, wenn nicht wegen der dortigen Atomanlage.(14) Die Indizien für eine ursächliche Bedeutung von Atomkraftwerken für die Entstehung maligner Erkrankungen des blutbildenden Systems von Kindern werden aber aufgrund epidemiologischer Studien immer zahlreicher, und die Diskussion unter den Wissenschaftlern geht weiter und wird weiter gehen. Der Ablauf dieser Diskussion um die Schädlichkeit der ionisierenden Strahlung, insbesondere der Schädlichkeit kleiner Strahlendosen, gleicht dabei der Diskussion – oder besser – der Verpolitisierung wissenschaftlicher Diskussionen anderer arbeits- und industriebedingter Noxen. Aehnlich lief die Diskussion über die Schädlichkeit von Asbest. Asbest wird heute nicht mehr gebraucht, da die Zahl der Opfer zu gross wäre bei dessen weiterer Verwendung. Dass industrielle Kreise gegen ein Asbestverbot ankämpften, war und ist verständlich, standen doch ebenfalls – wie bei der Atomenergieproduktion - wirtschaftliche Interessen den praeventiven Interessen der Verantwortlichen für die öffentliche Gesundheit entgegen.

Stochastische Strahlenschäden – Die Risikofrage

Wird eine Population von Menschen oder Tieren Strahlung ausgesetzt, erkrankt ein mehr oder weniger grosser Teil dieser Menschen an Krebs und einige sterben an diesem Krebs. Bisher wird angenommen, dass der statistische Zufall dafür sorgt, dass es den einen trifft, den andern nicht. Deshalb werden die Schäden als stochastisch bezeichnet im Gegensatz zu den deterministischen Schäden der hohen Strahlendosen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Das Risiko wird an der Uebersterblichkeit der Bestrahlten gemessen, nicht an der Incidenz der Krebserkrankungen. Abschätzungen dieser Krebsübersterblichkeit werden von internationalen Wissenschaftsgruppen vorgenommen und immer wieder revidiert. Es zeigt

sich, dass die Risikoeinschätzungen in den letzten Jahren aus verschiedenen Gründen immer wieder nach oben korrigiert werden mussten und heute 10 mal höher liegen als 1971. (Fig 1)

Die Unsicherheiten in der Risikoabschätzung sind also gross. Es erstaunt nicht, dass die Strahlenbiologen und Strahlenepidemiologen nach dem Unfall von Tschernobyl überrascht wurden vom Ausmass der Incidenz kindlicher Schilddrüsenkarzinome und vom Zeitpunkt des Auftretens der Tumorphäufung. (Fig. 2) Hatte man aufgrund der Daten, die nach Hiroshima und Nagasaki (15) an den Ueberlebenden erhoben wurden und erhoben werden, gedacht, dass der Gipfel der Erkrankungen nach etwa 17 Jahren erfolgen würde, traten bei den weissrussischen und ukrainischen Kindern die Carcinome schon nach 4 Jahren deutlich in Erscheinung.(16) Dabei gelten die Daten von Hiroshima und Nagasaki als wichtigste Grundlage für den modernen Strahlenschutz.

Heute, bei den mehr als 3-4 Monate nach dem 26. April 1986 (Datum des Tschernobylunfalls) gezeugten Jugendlichen, ist die Incidenz wieder auf das Niveau des Jahres 1986 zurückgefallen, was indirekt fast ein Beweis für die ¹³¹Iodgenese der Tumoren ist. ¹³¹Iod ist ein relativ kurzlebige Isotop mit einer Halbwertszeit von 8 Tagen. Wenn der Reaktor kein Iod mehr emittiert, zerfällt vorher emittiertes ¹³¹Iod in wenigen Wochen auf praktisch vernachlässigbare Werte, was bedeutet, dass die Schilddrüsen der danach gezeugten Kinder kein radioaktives Iod mehr aufnehmen können.

Wie kommt es zum bösartigen Tumor durch ionisierende Strahlung?

Einerseits wird in somatischen Zellen ein Schaden an der DNA und – wichtig - auch an kodierenden und/oder steuernden DNA-Abschnitten gesetzt, der direkt oder indirekt zur Proliferation der geschädigten Zelle oder im besseren Fall zu deren Absterben führen kann. Es kommt im ersteren Fall zum Krebs Jahre nach dem Schaden. Es können aber auch Reparaturgene der DNA beschädigt oder ausgeschaltet werden und so zur Störung der Reparatur an irgendwie beschädigter DNA (chemische Noxen, Spontanmutationen, Strahlenschäden) führen.

Andererseits ist es aber auch möglich, dass die Keimbahn des bestrahlten Individuums geschädigt wird, und dass der Strahlenschaden erst in den folgenden Generationen exprimiert wird, zum Beispiel auch durch Schädigung von Reparaturgenen, welche, wenn sie an der Keimbahn stattfindet, auch vererbt werden kann.

Die kindlichen Leukaemien in der Region Sellafield konnten durch den ersten Mechanismus (Schädigung der somatischen Zelle) wegen einer sehr kleinen anzunehmenden Dosis auf die Kinder nicht gut als wahrscheinlich belegt werden durch den sogenannten „Black Report on Sellafield“. Martin Gardner und Eve Roman publizierten, und später in einer Arbeit über Totgeburten Louise Parker (17), mehrere epidemiologische Arbeiten, die alle darauf hinwiesen, dass in Sellafield die Keimbahntheorie die wahrscheinlichere ist. Die Väter der erkrankten Kinder hatten vor derer Zeugung als Arbeiter in Sellafield nachgewiesen und dosimetrisch festgehalten, am Arbeitsplatz eine

Strahlenexposition erhalten. Dosisabhängig erkrankten deren Kinder (selber wenig bestrahlt?) an Leukaemien, oder, wie in der Arbeit von Louise Parker gezeigt, starben die von solchen Vätern gezeugten Kinder häufiger vorzeitig im Mutterleib ab, als Kinder nicht bestrahlter Väter. Interessant ist die Tatsache, dass bei den Totgeburten eine sehr hohe Zahl von Neuralrohrdefekten aufgetreten war als Missbildung, die zum Absterben geführt hatte, was typisch ist für Strahlenschäden. 8 der 9 gefundenen Neuralrohrdefekte lagen als Anencephalie vor.

Diese Keimbahntheorie scheint zwar für Sellafield wahrscheinlich, ist aber für Professor Viel in Frankreich für die Anlage von La Hague - auch um diese Wiederaufbereitungsanlage herum gibt es eine erhöhte Incidenz kindlicher Leukaemien - nicht der entscheidende Punkt für die Leukaemiegenese. Er hatte in seiner case-control-study herausgefunden, dass zwischen Aufenthaltsdauer der Kinder am Strand und Aufnahme des Nahrungsmittels Fisch und Seefrüchte aus der Küstenfischerei der Zusammenhang mit den kindlichen Leukaemien in La Hague zu bestehen scheint. (18)

Die Lösung dieser Fragen, ob direkte Strahlung über einen Schaden an der somatischen Zelle oder ob der Schaden an der Keimbahn oder beide zusammen zur Tumorkrankheit führen, wird aber wahrscheinlich nicht durch die Epidemiologen zu lösen sein. Letztere können eher als Wegweiser vertiefte Arbeiten mit gentechnologischen Instrumenten durch Genetiker anregen.

Genau das haben die Genetiker in jüngster Zeit unternommen und erste Resultate erhoben und Hinweise geliefert.

Mutationen am Minisatellitengenom nach Tschernobyl, aber nicht nach Hiroshima und Nagasaki

Am 25. April 1996 publizierte eine Gruppe um Dubrova eine Arbeit über eine erhöhte Rate von Mutationen im Minisatellitengenom. Kinder, die vom Februar bis September 1994 in der Mogilev Region geboren wurden und deren Väter und Mütter (beide Eltern mussten zeitlebens in Mogilew gelebt haben) wurden mittels DNA Fingerprints untersucht. Sie wurden verglichen mit einem Kollektiv von geschlechts- und altersgematchten Kindern caucasischer Rasse aus nicht kontaminierten Gebieten in England. (19) Korreliert mit der Höhe der Bodenkontamination mit ¹³⁷Caesium fanden sie eine im Durchschnitt zweifache Erhöhung der Mutationsrate im Minisatellitengenom. Mit gleichen Methoden wurden Kinder von Atombombenüberlebenden aus Hiroshima und Nagasaki untersucht und es wurden dort keine erhöhten Mutationsraten festgestellt. (20)

Der Tschernobylunfall scheint biologisch eine völlig andere Bedeutung zu haben, als die Bombardierung von Hiroshima und Nagasaki 1945 in Japan mit amerikanischen Atombomben.

Diese Arbeit weist in die Richtung der von Martin Gardner epidemiologisch erhobenen Indizien der Keimbahngenese zur Leukaemieentstehung bei den

Kindern in Sellafield, aber bestätigt auch die Hypothese von Louise Parker (17), dass Totgeburten vermehrt vorkommen wegen der Schädigung der Keimbahn.

Eine weitere Studie wurde in den Proceedings der Royal Society in London von Weinberg und seiner Gruppe im Jahre 2001 publiziert. 700 Liquidatoren aus der ehemaligen Sowjetunion sind nach Israel ausgewandert. (21) Als Liquidatoren werden Menschen bezeichnet, die nach dem SuperGau von Tschernobyl dort im Einsatz waren als Aufräumer. Meistens waren junge Männer zu den Arbeiten kommandiert worden. Dazu wurden auch Familien in der Ukraine ausgewählt. Bei allen ausgewählten Familien waren die Väter Liquidatoren mit einer Ausnahme eines Ehepaars, wo beide Partner als Liquidatoren gearbeitet hatten. Die Familien waren einerseits israelische Immigranten, andererseits ukrainische Bürger. Bedingung für die Aufnahme in die Studie war, ein Kind vor den Aufräumarbeiten gezeugt zu haben, eines nach der Aufräumarbeit. Es wurden 41 „Nachgezeugte“ und 22 „Vorgezeugte“ und deren Eltern untersucht, dazu eine Kontrollpopulation von 14 Familien mit 28 Kindern aus radiologisch unverseuchtem Gebiet. Die nach dem Unfall gezeugten Kinder der Liquidatoren, also der strahlenbelasteten Väter, hatten eine über siebenfach höhere Mutationsrate im Minisatellitengenom als die vor dem Einsatz als Liquidator gezeugten Kinder. Auch Weinberg weist darauf hin, dass diese Steigerung der Mutationsrate durch Satoh und Kodaira bei Kindern von Atombombenüberlebenden in Japan nicht gefunden werden können. (20)

Der Einwand, dass es sich bei den Mutationen im Minisatellitengenom um Mutationen ohne gesundheitsschädigende Auswirkungen handle, weil das Minisatellitengenom keine codierenden Abschnitte aufweise, wird von einer Gruppe von Genetikern um Jurij Dubrova zurückgewiesen, da es deutliche Hinweise darauf gebe, dass die Bestrahlung von männlichen Keimzellen zur transgenerationalen Genominstabilität führen könne, wahrscheinlich durch eine vererbte Störung von Reparaturmechanismen von DNA-Schäden, die so zu Krebs, Verhaltensstörung, Fertilitätsstörung, erhöhter Sterblichkeit und somatischen Schäden an den Zellen führen könne. (22)

Die Störung der Lebensgrundlagen – Besteht ein Trieb zum Omnicid?

Zusammenfassend zeigen die zitierten Arbeiten, dass die Atomtechnologie mit ihren Emissionen keineswegs eine saubere Energie produziert. Das „Recycling“ in Sellafield und La Hague stellt eines der schlimmsten Umweltprobleme dar. Die Freisetzung von Radioaktivität produziert – auf welchem Weg auch immer, über direkte Effekte an der somatischen Zelle, oder durch transgenerationale Schäden am Erbgut – maligne Tumoren und eine Schwächung der lebenden Organismen.

Mit Atomenergie wird nur ein kleiner Bruchteil, im Jahre 2001 3 % des ganzen Welt-Energiebedarfs, in Form von elektrischem Strom gedeckt. Der Verzicht auf die Atomenergie bringt ohne grosse Komforteinbußen Sicherheit für jetzige und hunderte kommender Generationen. Kein Argument der Atomkraft-Befürworter kann ethisch den Schaden rechtfertigen, der ausgelöst wird durch die jetzigen Atomabfallpraktiken sowie die langfristig ungelösten Entsorgungsprobleme - ganz zu schweigen vom nicht versicherbaren Risiko atomarer Unfälle. Es geht nicht nur um den Tod einzelner Menschen wegen durch ionisierende Strahlung verursachter Krebsleiden. Haben wir

vergessen, dass der nachhaltigste Schaden die Störung des Erbgutes ist, des wichtigsten Eigentums der Menschen und aller Lebewesen? Der Ausstieg aus dem Atomzeitalter tut not.

Gardners Studie

Martin Gardner publizierte 1990 eine epidemiologische Studie, in welcher er aufzeigen konnte, dass Väter – die berufsbedingt vermehrt Strahlung ausgesetzt sind – ein erhöhtes Risiko aufweisen, Kinder zu zeugen, die an einer Leukämie oder an einem Lymphom erkranken werden. (^{8,9}) Vor allem aber beschrieb er im Dorf Seascale, dem Dorf neben der Anlage, eine über Jahre anhaltende, erhöhte kindliche Leukämieinzidenz.

Martin Gardner war Mitglied in der Wissenschaftlergruppe von Sir Douglas Black gewesen und nahm die Empfehlungen des sogenannten „Black Report on Sellafield“ (3) als Aufgabe wieder auf. Dort war eine Fallkontrollstudie gefordert worden, die mehr Licht in die epidemiologischen Zusammenhänge bringen sollte, die zur erhöhten Tumorzinzidenz der Kinder um Sellafield führten. Gardner hatte die epidemiologischen Daten von Kindern und Jugendlichen (bis 25-jährig) ausgewertet, bei denen zwischen 1950 und 1985 eine Leukämie oder ein Non-Hodgkin-Lymphom festgestellt worden war.

Seine Ergebnisse bestätigten erneut den Black-Report: Wurde das relative Risiko in Funktion von der Distanz des Wohnortes von der Sellafieldanlage beschrieben, nahm dieses Risiko, an einer der beiden Krankheitsgruppen (Leukämie oder Non-Hodgkin-Lymphom) zu erkranken, etwa um den Faktor 6 ab, was die Leukämie betrifft, und etwa um den Faktor 10, was beide Krankheitsgruppen zusammen betrifft.

Distanz von der Anlage	Relatives Risiko Leukämie	Relatives Risiko Leukämie und Non-Hodgkin-Lymphom
<=4 km	1	1
5-9 km	0.35	0.21
10-14 km	0.21	0.17
15-19 km	0.22	0.16
20-24 km	0.22	0.07
25-29 km	0.14	0.06
=>30 km	0.17	0.11

Durch die Fallkontrollstudie von Gardner wurde eine weitere sehr wichtige Tatsache festgestellt: Er konnte aufzeigen, dass die Distanz des Wohnortes zur Anlage nicht der einzige Einflussfaktor war, weswegen die Kinder häufiger an Leukämie oder Non-Hodgkin-Lymphom erkrankten. So untersuchte er auch andere Kriterien wie die Strahlung, welcher der Kindsvater vor der Zeugung ausgesetzt war. Die Strahlendaten (Dosimetrien) bekam Gardner von der BNFL. Daraus liess sich ablesen: Das Risiko an Leukämie zu erkranken nahm zu, je näher ein Kind bei der Anlage lebte, aber ebenso, je höher die Dosis war, die sein Vater vor der Zeugung abbekommen hatte.

Risikogruppe	Relatives Risiko Leukämie und Non-Hodgkin-Lymphom
Geboren ausserhalb des 5-km-Umkreises um die Anlage	0.17
Vater arbeitet in der Anlage	2.44
Vater arbeitet in der Anlage und hat eine Strahlendosis von =>100 mSv vor der Zeugung seines Kindes erhalten	6.42

Erhöhte Inzidenzraten von Leukämie und Non-Hodgkin-Lymphom fand man auch um die Anlage der Atomic Energy Authority in Dounreay (11,12), wie auch in der Umgebung der Atomwaffenfabriken von Aldermaston und Burghfield. (¹³)

Gardners These, dass die Ursache für kindliche Leukämie bei den strahlenbelasteten Vätern zu suchen ist, war jedoch umstritten. Deshalb führte Eve Roman 1999 eine sogenannte «family study» durch, worin sie alle kindlichen Krebsfälle von Angestellten der britischen Atomindustrie untersuchte. 39'557 Kinder von männlichen und 8'883 von weiblichen Angestellten wurden

untersucht. 111 Krebsfälle liessen sich bei den Nachkommen dieser ArbeiterInnen eruieren, von denen wiederum 28 Leukämien waren. ⁽⁹⁾ Die Autoren beobachteten dabei eine 5.8-fach erhöhte Leukämierate bei Kindern, deren Väter vor der Zeugung 100 mSv oder mehr erhalten hatten. Sie vertreten – im Gegensatz zu andern Autoren – die Überzeugung, dass epidemiologisch eine erhöhte Leukämieinzidenz bei Kindern, deren Väter vor der Zeugung bestrahlt worden waren, nicht ausgeschlossen werden könne und verstärkten damit Martin Gardners Keimbahnhypothese.

Häufige Totgeburten

Eine neuere Arbeit von Louise Parker und Mitarbeitern liefert deutliche Hinweise, dass die Atomindustrie tatsächlich transgenerationale Schäden verursacht. Die Bestrahlung der Keimzellen des Vaters vor der Zeugung birgt für das Kind nicht nur das Risiko der erhöhten Leukämie- und Lymphominzidenz, sondern auch dasjenige, nach der 28. Schwangerschaftswoche abzusterben und tot geboren zu werden. (17) Parker hat zwischen 1950 und 1989 die Totgeburten in Cumbrien untersucht, da in der Umgebung von Sellafield unerklärlich viele Kinder tot zur Welt kamen.

Louise Parker machte einerseits eine Kohortenstudie, in der sie eine Kohorte von «radiation worker» (Strahlenarbeiter) untersuchte, bei der 9'208 Geburten registriert wurden, darunter waren 130 Totgeburten. Von allen Vätern dieser Kohorte lagen dosimetrische Daten vor; die Dosis war individuell ermittelt. Die rohen Inzidenzzahlen hatte man korrigiert und zwar nach den Kriterien «väterliches Alter» und «soziale Klasse», beides Faktoren, die einen Einfluss auf das Risiko Totgeburt haben. Mit demselben epidemiologischen Datenmaterial wurde zudem eine Fallkontrollstudie erstellt. Den «Fällen» aus den 130 Totgeburten – wurden bis zu vier Lebendgeborene als «Kontrollen» zugeordnet, die gleich alt waren und das gleiche Geschlecht hatten. Ausgeschlossen wurden solche Fälle und Kontrollen, deren Väter zwar «radiation worker» waren, aber keine Strahlung auf den Dosimetern registriert hatten.

So konnte in der Kohortenstudie eine adjustierte odds ratio von 1,24 pro 100 mSv (um den Faktor «odds ratio» höhere Wahrscheinlichkeit als erwartet von der Beobachtung einer normalen Vergleichsgruppe) gefunden werden. Das heisst, dass bei einer vorkonzeptionellen Bestrahlung von 100 mSv 1,24 odds ratio resultierte – also 24 Prozent mehr Totgeburten auftraten als bei nicht bestrahlten Erzeugern.

Ganz ähnlich waren die Resultate der zweiten Studie, der Fallkontrollstudie. Auch hier wurde eine signifikante Erhöhung der Totgeburtenrate nach Einwirkung von Strahlung auf die Väter gefunden, die konsistent ist mit den Ergebnissen der Kohortenstudie. Die odds ratio war 1.23 pro 100 mSv, wich also praktisch nicht ab von der odds ratio, die mittels der Kohortenstudie gefunden wurde.

Risikoeinschätzung Internationaler Gremien

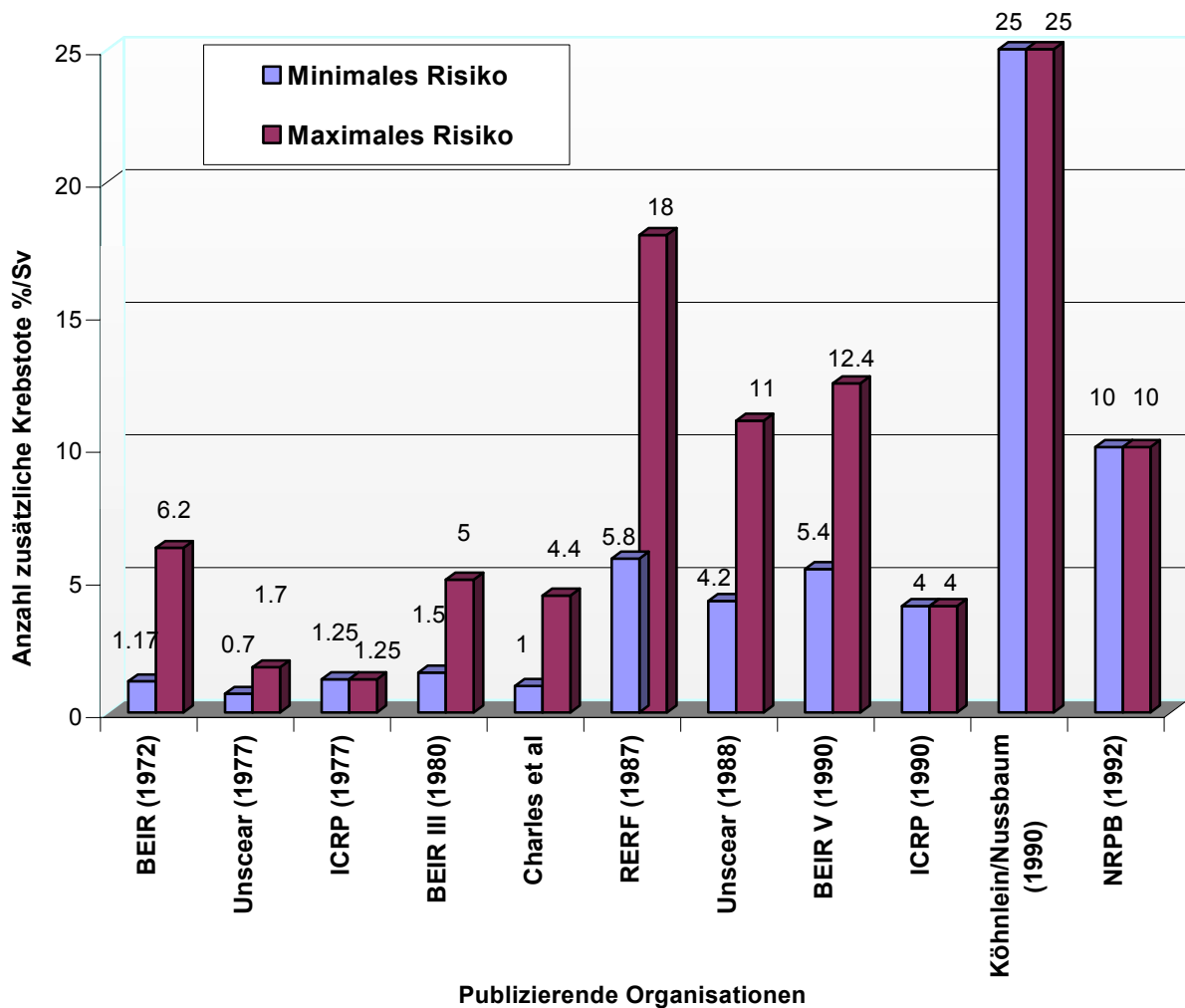


Fig 1: Die Grafik zeigt die Risikoeinschätzung der verschiedenen offiziellen, Gremien und der beiden unabhängigen Experten Köhnlein und Nussbaum. Die Säulen geben an, wieviele zusätzliche Krebstote zu erwarten sind, wenn 100 Personen mit 1 Sievert (Sv) bestrahlt werden. Dieses Risiko wird auch als Prozentzahl ausgedrückt: Geht man zum Beispiel von 10 zusätzlichen Krebstoten pro 1 Sievert aus, spricht man von 10%/Sv. Die unterschiedlich hohen Säulenpaare geben eine Risikospanne an, welche aufgrund verschiedener Berechnungsmodelle oder statistischer Unsicherheiten der Gremien zustandekommt.

BEIR: (Committee on) Biological Effects of Ionizing Radiations (USA)

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNO)

ICRP: International Commission on Radiological Protection

NRPB: National Radiation Protection Board (UK)

Köhnlein und Nussbaum : <http://www.foe.arc.net.au/kohnpaper.htm>

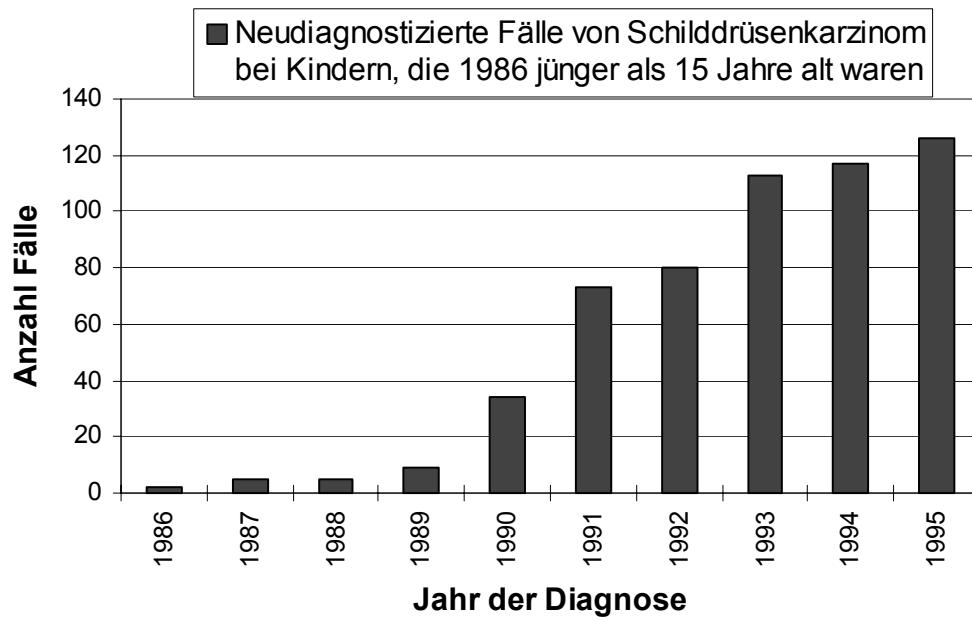


Fig 2: Tabelle Inzidenz der kindlichen Schilddrüsenkarzinome bis 1995

¹Effets génétiques des radiations chez l'homme. pp. 184, OMS Palais des Nations Genève, 1957

² Am 8.12.1995 traten 640 kg flüssiges Natrium aus dem Sekundaerkühlkreislauf des schnellen Brütters von Monju in Japan aus, dies führte zu einem Brand und zur manuellen Abschaltung des Schnellen Brütters von Monju. Monju lieferte Japans bis 1995 aufsehenerregendsten Atomunfall, der in der Öffentlichkeit die Frage aufkommen liess, ob die Option Kernenergie für Japan wirklich das Richtige sei. Monju ist noch nicht wieder im Betrieb, die Wiederaufnahme der Stromproduktion ist geplant für 2005, welcher Termin eher als unrealistisch angesehen werden darf. 1999 folgte der schwerste japanische Unfall, anlässlich dem es zu einer Kritikalität in einer Atomfabrik in Tokai-mura kam.

³Küppers Ch., Sailer Michael: Mox-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung, Eine Studie im Auftrag der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges (IPPNW), 2. Auflage 1996

⁴ Black D.: Investigation of the possible increased incidence of cancer in West Cumbria. London HMSO, 1984

⁵ Sir D. Black: New evidence on childhood leukaemia and nuclear establishments. British Medical Journal, Vol 294, 7 march 1987 pp 591-592

⁶ Eve Roman et al: Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity. British Medical Journal, Vol 294, 7 march 1987 pp 597-602

⁷ Darby SC, Doll R: Fallout, radiation doses near Dounreay and childhood leukaemia. British Medical Journal, Vol 294, 7 march 1987 pp 603-607

⁸ Gardner Martin J et al: Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. British Medical Journal, Vol 300, 17 february 1990, pp 423-429

⁹ Gardner Martin J et al : Methods and basic data of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. British Medical Journal, Vol 300, 17 february 1990, pp 429-434

¹⁰ Roman Eve et al: Cancer in children of nuclear industry employees: report on children aged under 25 years from nuclear industry family study. British Medical Journal, Vol 318, 29. MAY 1999, pp 1443-1450

¹¹ Heasman M.A., Kemp I.W., Urquhart J.D., Black R.: Childhood leukaemia in northern Scotland. Lancet 1986;i:266

¹² Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. Second report. Investigation of the possible increased incidence of leukaemia in young people near the Dounreay nuclear establishment, Caithness, Scotland. London: HMSO, 1988

¹³ Roman Eve et al: Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity. British Medical Journal, Vol 294, 7 march 1987 pp 597-602

¹⁴ Sharp L, Black RJ, Harkness EF, McKinney PA: Incidence of childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in the vicinity of nuclear sites in Scotland, 1968-93, Occup Environ Med 1996 Dec;53(12):823-31

¹⁵ Hiroshima and Nagasaki, The Physical, Medical and Social Effects of the Atomic Bombings. The Committee for the compilation of Materials on damage caused by the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Hutchinson 1981: ISBN 0 09 145640 1

¹⁶ Kofler A., Bleuer J. P., Abelin Th.: Schilddrüsenkrebs nach Tschernobyl, PSR News: Atomstrom und Strahlenrisiko, Band 1, 1999, PSR/IPPNW/CH, Klosterberg 23, 4051 Basel. www.ippnw.ch

¹⁷ Parker Louise, Pearce Mark S., Dickinson Heather O., Aitkin Murray, Craft Alan W.: Stillbirths among offspring of male radiation workers at Sellafield nuclear reprocessing plant. The Lancet: Vol 354, 23th Oct. 1999, pp 1407-1414

¹⁸ Viel J.F., Pobel D.: Case control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. British Medical Journal, 1997, Vol 314, pp 101-106

¹⁹ Dubrova Y.E., Nesterov V.N., Krouchinsky N.G., Ostapenko V.A., Neumann R., Neil D.L. & Jeffreys A.J.: Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident, Nature : Vol 380, p. 683-686, 25th April 1996

²⁰ Kodaira, M., Satoh, C., Hiyama, K. & Toyama, K., Lack of effects of atomic bomb radiation on genetic instability of tandem-repetitive elements in human germ cells. Am. J. hum. Genet 57, 1275-1283, 1995

²¹ Weinberg H. Sh., Korol A. B., Kirzhner V. M., Avivi A., Fahima T., Nevo Eviatar, Shapiro S., Rennert G., Piatak O., Stepanova E. I. and Skvarkaja E.: Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators, Proc. R. Soc. Lond. B (2001) 268, 1001-1005, Received 24 January 2000, Accepted 2 March 2001

²² Barber Ruth, Mark A. Plumb, Emma Boulton, Isabelle Roux, and Yuri E. Dubrova: Elevated mutation rates in the germ line of first- and second-generation offspring of irradiated male mice, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002 May 14; 99 (10): 6877-6882