

UNIVERSITÄT BREMEN

Information zu Energie und Umwelt

Teil A Nr. 11

Karl Z. Morgan

Ionisierende Strahlen im Bereich niedriger
Dosis und die Erzeugung von Krebs

Joseph Rotblat

Das Gesundheitsrisiko für
beruflich strahlenexponierte Personen

Herausgabe und Vertrieb: Universität Bremen
Presse- und Informationsamt
2800 Bremen 33, Postfach 330 440

Unkostenbeitrag: DM 5,- (zzgl. Versandkosten)

Vertriebs-Nr.: K 016

Redaktion Teil A: Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake
Eberhard Zamory

1. Auflage, Bremen, November 1979

Bestelladresse: Bremer Bürgerinitiative gegen Atomenergieanlagen
BBA Info-Laden
St Paulistr. 10/11
2800 Bremen
Tel.: 0421/700144

UNIVERSITÄT BREMEN

Information zu Energie und Umwelt

Teil A Nr. 11

Karl Z. Morgan

**Ionisierende Strahlen im Bereich niedriger
Dosis und die Erzeugung von Krebs**

Joseph Rotblat

**Das Gesundheitsrisiko für
beruflich strahlenexponierte Personen**

Vorbemerkung:

Die beiden in diesem Heft veröffentlichten Beiträge geben dem Leser einen Eindruck von der vor allem in der amerikanischen und englischen Öffentlichkeit geführten Debatte über radioaktive Strahlenbelastung und deren Krankheitsfolgen.

Diese Diskussion ist in jenen Ländern ebenso wie in der Bundesrepublik durch die Kontroverse um die Atomenergie ausgelöst worden und wird dort zwar heftiger, aber dennoch fairer geführt. Es deutet in der Bundesrepublik leider vieles darauf hin, dass die hiesigen 'Strahlenschützer' die Aussagen von K.Z. Morgan und J. Rotblat, zwei prominenten Wissenschaftlern und Kritikern der amtlichen Strahlenschutzmassnahmen, nicht zur Kenntnis nehmen wollen.

Weder den speziell Betroffenen - den Angestellten und Arbeitern in der 'strahlenden' Industrie - noch den deutschen Wissenschaftlern sind diese beiden hier abgedruckten Artikel hinreichend bekannt. Deswegen haben wir sie ins Deutsche übertragen und drucken sie mit der freundlichen Genehmigung der Autoren und des Verlages ab.

Die Redaktion

Karl Z. Morgan:

Ionisierende Strahlen im Bereich niedriger Dosis
und die Erzeugung von Krebs

"Cancer and Low Level Ionizing Radiation" aus The Bulletin of the Atomic Scientists, Sept.1978, S. 30-40

Übersetzung: J. Scheer und I. Schmitz-Feuerhake in Zusammenarbeit mit Freunde der Erde (DIP-Gruppe) und anderen ^{a)}

Karl Z. Morgan, Strahlenschutzphysiker, ist Professor der Schule für Kerntechnik an der Technischen Hochschule in Georgia, USA. Als einer der Begründer der Wissenschaft vom physikalischen Strahlenschutz (Health physics) war Morgan Direktor der Strahlenschutzabteilung des Nationalen Forschungszentrums von Oak Ridge von 1943 bis 1972. Er war 20 Jahre lang (bis 1972) Vorsitzender der Komitees über interne Dosimetrie der Internationalen Strahlenschutzkommission und des Nationalen Strahlenschutzrates der USA.

^{a)} Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung des Autors und der Zeitschrift

Kernsätze:

- Ein überaus umfangreiches Datenmaterial zeigt, daß es kein unbedenkliches Quantum an Bestrahlung gibt und keine Strahlenbelastung so niedrig ist, daß das Krebsrisiko gleich Null wäre. Die Frage ist lediglich: wie hoch ist das Risiko?
- Die meisten von uns sind sich darüber klar, daß das Krebsrisiko bei niedrigen Dosen ionisierender Strahlung viel größer ist, als wir früher dachten, und es könnte genau so groß oder noch größer für die Menschheit sein als das genetische Risiko.
- Viel häufiger als umgekehrt führt die Übertragung von Tierdaten auf den Menschen zu einer Unterschätzung der Risiken, insbesondere bei niedrigen Bestrahlungsdosen.
- Der wahre Sündenbock bei der überflüssigen Strahlenbelastung der Bevölkerung ist nicht die Kerntechnik sondern die Medizin.
- Nur in New York, New Jersey, Kentucky und Kalifornien wird verlangt, daß Röntgentechniker Ausbildung und Zeugnisse über den richtigen Gebrauch von Röntgenanlagen haben.
- Viele Kernkraftwerke lösen das Problem der Reparaturarbeiten an Stellen mit ständig hoher Strahlenbelastung durch Einstellung von Teilzeitbeschäftigten, um die Dosis bei "heißen" Arbeiten zu verteilen.

Berichte über einen signifikanten Zuwachs des Krebsrisikos infolge radioaktiver Strahlung von geringer Intensität und Hinweise darauf, daß Bundesbehörden versucht hätten, diese Berichte zu unterdrücken, führten zu den Anhörungen im Kongreß zu diesem Thema im letzten Winter, die in ziemlich erhitzter Atmosphäre durchgeführt wurden. Diese erhitzten Diskussionen wurden ausgelöst durch zwei Briefe, die im November 1977 von mehreren Organisationen (Zentrum für Umweltpolitik: Environmental Policy Center, Freunde der Erde: Friends of the earth, Gewerkschaft der Öl-Chemie-und Atomtechnik-Arbeiter: Oil, Chemical and Atomic Workers, Umweltschutz-Fonds: Environmental Defense Fund, Gruppe für Forschung im öffentlichen Interesse: Public Interest Research Group, Sierra-Club, Vereinigung Besorgter Wissenschaftler: Union of Concerned Scientists, Rat zur Verteidigung der natürlichen Vorräte: National Resources Defense Council) an Regierungsbeamte geschickt worden waren, in denen Maßnahmen der entsprechenden Behörden gefordert wurden.

Der Brief an James Schlesinger, den Minister für Energiefragen, stellte fest, daß die Behörde für Energieforschung und Entwicklung (Energy Research and Development Administration) einen schweren Fehler begangen habe, indem sie die Untersuchung von T.F.Mancuso, A. Stewart und G. Kneale von der Universität Pittsburgh über "Befunde über Lebensdauer, Gesundheit und Sterblichkeit bei Firmenbeschäftigten, die für die Energieforschungs-und Entwicklungsbehörde ERDA arbeiten", den Einrichtungen der Bundesregierung in Oak Ridge unter Leitung von E.A.Tomkins zur Bearbeitung übergab. Der Brief stellte fest, dieser Schritt sei "Bestandteil eines bestimmten Musters, wie man Wissenschaftler behindert und einschüchtert, die nicht mit dem Standpunkt der Strahlentechnikanhänger übereinstimmen, daß es nämlich keine schädlichen Wirkungen aufgrund einer Exposition durch ionisierende Strahlen bei geringer Intensität gäbe."

Der Brief an Joseph Califano, den Minister für Gesundheit, Erziehung und Volkswohlfahrt, fragte nach den Gründen für die Einstellung der "Drei-Staaten-Untersuchung" von I.D.J.Bross vom Roswell Park Memorial-Institut in Buffalo, New York, über das Krebsrisiko von Kindern, die diagnostischer Röntgenstrahlung im Mutterleib ausgesetzt worden waren. Der Brief an Califano kritisierte ferner das System der Begutachtung durch Spitzen der Wissenschaft des Nationalen Krebsinstituts, insbesondere einen Fall, in dem die Radiologen "verwirrt und ver-

ärger durch die Befunde" über die Wirkung von Strahlenbelastungen bei geringer Dosis waren. Sie waren danach als Begründung dafür benutzt worden, die massenhaften Mammographieprogramme in den Vereinigten Staaten zu beschränken. Das Forschungsprogramm von Bross wurde aufgrund solcherart Experten-Gutachten abgebrochen.

Beide Untersuchungen, die in diesen Briefen angesprochen wurden, haben eine signifikante Zunahme der Krebsfälle als Folge von Bestrahlungen aufgezeigt, die weit unterhalb der maximal zulässigen Dosis lagen (d.h. weit unterhalb 5 rem pro Jahr Ganzkörperdosis für einen in der Strahlentechnik Beschäftigten). Die Untersuchung von Mancuso und anderen hatte frühere Befunde von Samuel Milham (1) aus dem Jahr 1974 bestätigt, daß das Krebsrisiko für Strahlenarbeiter in der regierungseigenen Plutoniumfabrik von Hanford, Washington, zugenommen hatte. Die Untersuchung von Bross hatte ein um 5000 % vergrößertes Krebsrisiko bei solchen Kindern aufgezeigt, die diagnostischer Röntgenbestrahlung im Mutterleib ausgesetzt worden waren und die später gewisse Krankheiten der Atmungsorgane entwickelten.

Die Anhörungen wurden im letzten Januar und Februar im Rayburn-Gebäude unter Leitung des Abgeordneten Paul Rogers durchgeführt, des Vorsitzenden des Unterkomitees für Gesundheit und Umweltschutz im Komitee für Außenhandel und Handel zwischen den US-Bundesstaaten. Es wurden Gutachten vieler Sachverständiger zu einer Vielzahl von Themen gehört, wie den Untersuchungsprogrammen von Mancuso und Bross, dem Fall des Atombombentests Smokey (A), zu Vorschlägen, die maximal zulässige Belastung für beruflich strahlenexponierte Personen um den Faktor 10 zu senken, zu Mechanismen der Strahlenschäden, zum System der Begutachtung durch Spitzen der Wissenschaft, wie es bei der Vergabe von Regierungsmitteln für Forschungsaufträge angewendet wird, usw.

Den Anhörungen im Kongreß folgte eine Konferenz über Bestrahlung bei niedrigen Dosen, die im letzten Februar unter dem Vorsitz des Verfassers durchgeführt wurde und die unter der Schirmherrschaft des Instituts für Umweltpolitik (Environmental Policy Institute), des Atomenergieforums (Atomic Energy Forum) und der Umweltforschungskonferenz (Environmental Study Conference) stand. Die letztere ist

(A): Anmerkungen der Übersetzer am Schluß

ein Zusammenschluß von mehr als 280 Mitgliedern des Abgeordnetenhauses und des Senats aus beiden Parteien, die gleichermaßen ein Interesse daran haben, über Entwicklungen in der Umwelt und damit zusammenhängende Energiefragen informiert zu werden; die Senatoren Gary Hart und James Jeffords sind die Vorsitzenden. Die Vortragenden repräsentierten die meisten der amtlichen oder privaten Organisationen, die intensiv mit den Fragen der Krebsentstehung aufgrund von Bestrahlung bei niedriger Dosis befaßt sind. Angesichts der weitgefächerten Auffassungen und Interpretationen der Bestrahlungsdaten dürften die Konferenzprotokolle eine interessante Lektüre darstellen (sie sind beim Büro des Senators Hart zu erhalten).

Dieser Artikel soll etwas ausführlicher meine Auffassung über das Krebsrisiko durch Bestrahlung bei niedriger Dosis darstellen.

Während der ersten Jahre des Atomzeitalters (1942-1960) akzeptierte eine große Zahl von Wissenschaftlern - wahrscheinlich die meisten, die auf dem Gebiet des Strahlenschutzes und der Radiobiologie tätig waren - die Schwellwerttheorie: nämlich daß es ein sicheres Niveau an Belastung durch ionisierende Strahlung gibt und daß, solange bei einem Menschen dieser Schwellwert oder dieses sichere Niveau nicht überschritten wird, entweder kein Schaden entsteht oder ein eventueller Schaden so schnell wieder repariert wird, wie er entstand. Von 1960 bis zur Gegenwart hat sich eine überwältigende Menge von Befunden angesammelt, die zeigen, daß es kein unbedenkliches Niveau gibt und daß es keine noch so niedrige Bestrahlungsmenge gibt, bei der das Krebsrisiko null wäre. Daher ist die Frage nicht: gibt es ein Risiko bei Bestrahlung mit niedriger Dosis? Oder: was ist eine sichere Belastungsgrenze? Die Frage ist vielmehr: wie groß ist dieses Risiko? Oder: wie groß darf ein bestimmtes Bestrahlungsrisiko sein, bevor es die erwarteten Vorteile wie die der medizinischen Radiologie oder der Kernenergie überwiegt.

Es ist für alle auf diesem Gebiet arbeitenden Wissenschaftler genauso wie für die alten Kämpfer für die Schwellwerthypothese klar, daß es zumindest für manche Strahlenschäden und für manche Arten der Strahlenbelastung (insbesondere für Strahlung geringen spezifischen Energieverlustes wie Gamma- und Betastrahlung) eine gewisse Art der Reparatur des Strahlenschadens im Körper gibt. Die alten Kämpfer scheinen aber nicht gewillt oder in der Lage, den offensichtlichen

Tatbestand hinzunehmen, daß es beim Menschen nie eine vollständige Reparatur gibt, da es sogar bei sehr geringen Bestrahlungsdosen vieltausendfache Reaktionen auf die Strahlung in den Zellen des menschlichen Körpers gibt. Zum Beispiel entspricht ein rad bei Röntgenstrahlen von 1 Million Elektronenvolt 2,2 Milliarden Photonen pro Quadratzentimeter, die auf den Körper einwirken. Es ist unvorstellbar, daß alle die Milliarden bestrahlter und beschädigter Zellen vollständig repariert oder ersetzt werden.

Es gibt ohne Zweifel viele Mechanismen der Strahlenschädigung wie Beschädigung der Zellmembranen, Schaden am Reparaturmechanismus, indirekter Schaden (zum Beispiel Schaden an der Nachlieferung von Blutkörperchen und Bildung schädlicher chemischer Substanzen wie Wasserstoffperoxyd im Zellzytoplasma) und Verringerung der Wirksamkeit des Mechanismus der Lungenreinigung. Jeder dieser Mechanismen kann zur Entwicklung einer Krankheit beitragen. Aber der wichtigste Schaden infolge Bestrahlung bei niedriger Dosis resultiert vielleicht von einer direkten Wechselwirkung des Ionenstroms mit dem Kern einer der Milliarden bestrahlter Zellen, die in einem seltenen Fall überleben kann und sich weiter teilt, ohne jedoch den Strahlenschaden zu reparieren.

Es gibt im Kern einer normalen Körperzelle 46 Chromosomen und entlang eines jeden Chromosoms sind Millionen von Informationseinheiten kodiert, wie eine ungeheure Bibliothek, die die Zelle in die Lage versetzt, richtig zu funktionieren und sich zur richtigen Zeit zu teilen oder mit der Teilung aufzuhören. Wenn Strahlung den menschlichen Körper durchdringt, können vor allem vier verschiedene Prozesse auftreten:

- Die Strahlung geht durch eine Zelle oder in ihrer Nähe hindurch, ohne Schaden hervorzurufen,
- die Strahlung tötet die Zelle oder macht sie unfähig zur weiteren Teilung,
- die Strahlung schädigt die Zelle, aber der Schaden wird sofort repariert,
- der Zellkern (oder die Informationsbibliothek) ist beschädigt, aber die Zelle überlebt und vervielfältigt sich in ihrer gestörten Form über eine gewisse Zeit von Jahren (5-70 Jahre) und bildet einen Stamm von Zellen, der schließlich als bös-

artige Krebsgeschwulst diagnostiziert wird.

Nur dies letzte Ereignis bedeutet körperlichen Schaden wie Krebs durch niedrige Bestrahlungsdosen. Es scheint offensichtlich, daß, wenn der Zellkern beschädigt ist und eine bestimmte Information verlorengegangen ist, oder wenn eine ähnliche Ereigniskette zur Entwicklung eines Karzinoms führt, demnach keine Dosis so niedrig sein kann, daß das Risiko Null ist. Also steigt das Risiko für die Krebserzeugung durch Bestrahlung mehr oder weniger mit dem Steigen oder dem Ansammeln der Strahlenbelastung an. Das Risiko ist einfach ein Zufallsrisiko, genau wie das Zufallsrisiko, einen Unfall zu erleiden, wann immer man ein Taxi besteigt.

Es ist auch klar, daß nicht für alle Menschen das gleiche Risiko besteht, eine Krebserkrankung aufgrund einer bestimmten Strahlenbelastung auszubilden und daß das Risiko bestimmter Krebsarten für manche Personen größer ist als für andere. Burch (2,3) hat z.B. gezeigt, daß der endgültige Ausbruch einer Krebsgeschwulst oder einer anderen Krankheit eine ganze Serie von Ereignissen voraussetzen kann, und daß eine gewisse Sorte Leukämie sogar insgesamt drei aufeinanderfolgende Ereignisse erfordert (wie wenn man drei in Serie geschaltete elektrische Schalter umlegt). Wenn z.B. einer von zwei eineiigen Zwillingen an einer bestimmten Art von Leukämie stirbt (ein Schalter umgelegt), besteht für den anderen Zwilling eine hohe Wahrscheinlichkeit, schließlich ein ähnliches Schicksal zu erleiden. Einige dieser Schalter können von Viren, Bakterien, Chemikalien, durch mechanische Schäden oder durch Strahlung umgelegt werden.

Untersuchungen von Bross (4,5) unterstützen die von Burch vorgeschlagene "Ereignisketten-Hypothese" und schließen auf synergistische Beziehungen zwischen ihnen. Er hat z.B. gezeigt, daß Kinder im Alter von 1-4 Jahren mit allergischen Krankheiten wie Asthma und Heuschnupfen ein um 300 bis 400 % größeres Risiko haben, an Leukämie zu sterben, als andere Kinder (d.h. Allergiekrankheiten legen einen Schalter um). Kinder, die im Mutterleib mit Röntgenstrahlung belastet wurden, haben ein um 40-50 % vergrößertes Risiko, an Leukämie zu sterben (6), aber Kinder mit zwei umgelegten Schaltern (d.h. Bestrahlung im Mutterleib und eine Allergiekrankheit) haben ein 5000 % vergrößertes Risiko, an Leukämie zu sterben.

Untersuchungen von Stewart und Kneale (6), Mac Mahon (7), des BEIR-Komitees (8), von Bross (4,5) und anderen zeigen, daß Kinder ein höheres Risiko haben, an strahlenerzeugter Leukämie zu sterben, als Personen im mittleren Alter. Hempelmann (9), Albert und Shore (10), Modan u.a. (11), Silvermann und Hoffmann (12) und andere haben gezeigt, daß strahlenerzeugter Schilddrüsenkrebs für Kinder ein größeres Risiko als für die erwachsene Bevölkerung bedeutet und daß, wie bei der Leukämie, das Risiko mit abnehmender Dosis linear abnimmt.

Es gibt weiterhin Untersuchungen, die darauf hinweisen, daß das Geschlecht eine Rolle dabei spielt, welche Art Krebs sich entwickelt. Mancuso und andere (13) berichten, daß ältere und jüngere Männer ein höheres Risiko für strahlenerzeugten Krebs haben als Männer mittleren Alters. E.B.Lewis (15) hob nach der Untersuchung der Daten von Saenger und Tomkins (14) hervor, daß jenen der deutliche Anstieg an Leukämie bei Personen zwischen 50 und 79 Jahren entgangen war, die einer Jod 131-Therapie unterzogen worden waren. Najarian (16) berichtete in einer Untersuchung an Atom-U-Boot-Arbeitern der Werft der US Kriegsmarine in Portsmouth NH über eine 450 % höhere Todesrate infolge Leukämie, verglichen mit der sonstigen Bevölkerung und bemerkte, daß das Krebsauftreten besonders hoch bei Arbeitern im Alter von 60-69 Jahren war. Daher haben bestimmte Mitglieder der allgemeinen Bevölkerung wegen genetischer Anlagen, verschiedener Krankheiten, Alter, Geschlecht, Verzehr- und Rauchgewohnheiten und möglicherweise wegen vieler anderer individueller Eigenheiten ein höheres Risiko zur Entwicklung bösartiger strahleninduzierter Erkrankungen als andere.

Das Krebsrisiko infolge Belastung mit ionisierenden Strahlen ist viel größer, als man noch vor einigen Jahren glaubte. Nachdem man die Tode durch Strahlenkrankheit bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki verfolgt hatte, glaubten viele Wissenschaftler, daß das wesentliche Langzeitrisko infolge ionisierender Strahlung lediglich ein Anstieg der Leukämiefälle war, die ungefähr 6 Jahre nach dem Bombenabwurf ein Maximum erreichten und dann langsam abnahmen. Viele Leute schlossen daraus, daß das einzige chronische Risiko bei den Überlebenden Leukämie war. Als die Untersuchung der Überlebenden fortgeführt wurde, zeigten jedoch unglücklicherweise andere Krebsarten (Knochen, Brust, Lunge, Speicheldrüse, Prostata, Schilddrüse

usw.) einen deutlichen Anstieg (17, 18). Wahrscheinlich werden wir im Laufe der Zeit feststellen, daß diese Bestrahlung bei vielen oder allen bösartigen Geschwulsten, die in der menschlichen Bevölkerung häufig auftreten, zu einem signifikanten Anstieg geführt hat.

Es sollte an dieser Stelle, obwohl diese Arbeit nur die Tumorbildung durch ionisierende Strahlung behandelt, betont werden, daß die genetischen Risiken und insbesondere diejenigen, die mit rezessiven Mutationen verbunden sind, genauso schädlich für die Menschheit sein können wie die Erhöhung des Krebsrisikos. Daher möchte ich unterbrechen und eine Warnung aussprechen, zu der mein langjähriger Freund, der Genetiker H.J. Muller mich gewiß aufgefordert hätte, wenn er noch leben würde:

Der BEIR-Report (8) behandelte die langfristigen rezessiven Mutationen nur auf oberflächlicher Weise. Es kann gut sein, daß viele und vielleicht die meisten unserer menschlichen Krankheiten, einschließlich Krebs, mit genetischen Faktoren zusammenhängen und insbesondere mit Mullers 10000 nicht sichtbaren oder "geringfügigen" Mutationen, die aus jeder beobachteten Mutation resultieren. Wie Muller betonte, kann es sein, daß diese kleinen Mutationen, die zu einem Mangel an allgemeiner Lebenskraft, Empfindlichkeit gegenüber Krankheiten oder zu einer leichten Verschlechterung der geistigen und körperlichen Stärke usw. führen, auf lange Zeit gesehen eine viel größere Belastung der Gesellschaft sein werden als die leicht zu erkennenden dominanten Mutationen. Das liegt daran, daß die kleinen Mutationen so langsam aus dem gesamten genetischen Vorrat der Bevölkerung (Pool) entfernt werden.

Während der ersten Jahre des Atomzeitalters (1942-60) nahm fast jeder an, daß das genetische Risiko infolge Bestrahlung bei niedriger Dosis die Risiken langfristiger körperlicher Schädigung, wie Krebs und Lebenszeitverkürzung, bei weitem übertraf. Dagegen ist immer deutlicher geworden, daß diese Annahme ungerechtfertigt und unhaltbar sein kann. Das BEIR-Komitee (8) hob hervor: "Bis vor kurzem wurde für gesichert gehalten, daß genetische Risiken infolge Bestrahlung der Bevölkerung mit Dosen von annähernd der Höhe der natürlichen Hintergrundstrahlung (ungefähr 100 Millirem pro Jahr) von viel größerer Bedeutung als körperliche Risiken seien. Diese Annahme kann jedoch nicht länger aufrecht erhalten werden, wenn eine lineare Beziehung ohne Schwellwert

zur Grundlage für die Abschätzung von Krebsrisiken gemacht wird". Das Komitee lieferte im folgenden viele Seiten mit Daten, von denen die meisten die lineare Hypothese unterstützen. Im Jahre 1971 machte die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) eine ähnliche Beobachtung: "Es könnte gefolgert werden, daß das Verhältnis der somatischen zu den genetischen Schäden aufgrund einer gegebenen Bestrahlung 60 mal größer ist, als vor 15 Jahren angenommen wurde" (19).

Die Betonung, die in diesem Artikel auf das Krebsrisiko gelegt wird, soll nicht das Problem des genetischen Risikos infolge ionisierender Strahlung herunterspielen, sondern vielmehr darauf hinweisen, daß die wissenschaftliche Gemeinschaft vor 15 Jahren ziemlich selbstgefällig im Glauben daran war (wie manche Wissenschaftler noch heute), daß das somatische Risiko viel geringer als das genetische sei und daß es bei niedrigen Dosen fast vernachlässigbar sei. Jetzt ist den meisten von uns klar, daß das Krebsrisiko bei niedrigen Bestrahlungsdosen viel größer ist, als wir früher geglaubt haben und daß es genauso groß oder größer als das genetische Risiko für die Menschheit sein kann.

Es hat in den letzten 35 Jahren eine Reihe von Senkungen der erlaubten Bestrahlungsmenge für beruflich strahlenexponierte Personen gegeben. Manche der "Quantensprünge" der Dosisgrenzwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die maximal zulässige Bestrahlungsdosis für beruflich strahlenexponierte Personen wurde um einen Faktor 10, für die allgemeine Öffentlichkeit um den Faktor 300 gesenkt.

Vieles, das über die Risiken infolge Bestrahlung bei niedriger Dosis gesagt wurde, hätte wesentlich weniger Gewicht, wenn bewiesen werden könnte, daß die lineare Hypothese, obwohl sie bei mittleren bis hohen Bestrahlungsdosen zutrifft, für Bestrahlungen bei niedriger Dosis wesentliche Sicherheitsabstände enthält. Unglücklicherweise gibt es in den meisten Fällen menschlicher Strahlenbelastung keinen Hinweis auf einen Sicherheitsfaktor bei niedrigen Dosen, wenn wir annehmen, daß die lineare Beziehung zwischen Bestrahlungsdosis und Krebszeugung, die bei hohen Dosen gefunden wurde, auch für den Bereich niedriger Dosen gilt. Wir besitzen eine große Menge von Daten - meistens an Menschen gewonnen - , die eine statistisch signifikante Zunahme für eine Anzahl von Krebsarten nach Bestrahlung mit niedrigen Dosen zeigen, und die Zahl der bösartigen Erkrankungen steigt be-

Tab.1 Die Wandlung der Dosisgrenzwerte für ionisierende Strahlung

Für beruflich strahlenexponierte Personen

<u>Empfohlene Werte</u>		<u>Anmerkungen</u>
0,1 der Erythem-(Haut-)rötungsdosis (1 Röntgen/Woche für 200 kV Röntgenstrahlung)	52 R/Jahr	1925 empfohlen von A. Mutscheller und R.M. Sievant. 1934 von der ICRP und weltweit bis 1950 benutzt.
0, 1 R/Tag oder 0,5 R/Woche	36 R/Jahr	1934 von der NCRP empfohlen
0,3 rem/Woche	15 rem/Jahr	1949 empfohlen von NCRP 1950 empfohlen von ICRP für Ganzkörperbelastung
5 rem/Jahr	5 rem/Jahr	1956 empfohlen von ICRP 1957 empfohlen von NCRP für Ganzkörperbelastung

Für die Bevölkerung

<u>Empfohlene Werte</u>		<u>Anmerkungen</u>
0,03 rem/Woche	1,5 rem/Jahr	1952 vorgeschlagen von der NCRP für jedes Organ des Körpers
0,5 rem/Jahr	0,5 rem/Jahr	1958 vorgeschlagen von der NCRP 1959 vorgeschlagen von der ICRP für Gonaden und Ganzkörper
5 rem/30 Jahre	0,17 rem/Jahr	1958 vorgeschlagen von der ICRP für Gonaden und Ganzkörper
25 mrem/Jahr	0,025 rem/Jahr	1977 von der Umweltschutzbehörde EPA für jedes Organ des Körpers mit Ausnahme der a) Schilddrüse vorgeschlagen
5 mrem/Jahr	5 mrem/Jahr	1974 von der Behörde für Energieforschung und Entwicklung ERDA für Personen in der Nähe eines Kernkraftwerks b) vorgeschlagen.

R = roentgen. 1 R $\approx$ 0.88 rem

rem = roentgen equivalent man

mrem = millirem

NCRP = National Council on Radiation Protection and Measurements

ICRP = International Commission on Radiological Protection (Int. Strahlenschutzkommission)

Für weitere Information siehe (21)

- a) Der von der Umweltschutzbehörde für die Schilddrüse festgelegte Wert beträgt 0,075 rem/Jahr.
- b) Gegenwärtiger Strahlenschutzführer der Nationalen Behörde für kerntechnische Regeln

ständig mit anwachsender Dosis. Diese Dosen sind in manchen Fällen beträchtlich niedriger als die gegenwärtigen Grenzen der maximal zulässigen jährlichen Belastung für Arbeiter in der Strahlentechnik. Zudem haben viele Forscher (22-25) gezeigt, daß in manchen Fällen die lineare Hypothese sogar die Risiken unterschätzt.

Tabelle 2 gibt die Größe des Krebsrisikos an und zeigt, daß das Risiko linear mit der Bestrahlungsdosis ansteigt. Dies gilt bis herunter zu sehr niedrigen Werten, nämlich bis herab zu 0,8 rad für Leukämie oder andere Krebsarten (insbesondere Krebs des Zentralnervensystems) infolge Unterleibsbestrahlung; und bis herab zu 6.5 rad für Schilddrüsenkrebs infolge Röntgentherapie der Kopfhaut bei Tinea capitis (einer Pilzkrankheit). Es muß betont werden, daß diese Dosiswerte (0.8 bzw. 6.5 rad) nicht die Dosen sind, unterhalb derer die lineare Hypothese ungültig wird, sondern die niedrigsten Werte, bei denen diese beiden Krankheiten untersucht wurden. Und wir haben jeden Grund zu der Annahme, daß die Linearität dieser Kurven bis zur Dosis Null hinab gilt und daß es eine ähnliche Linearität für andere Krebsarten gibt, die lediglich eine längere Inkubationszeit (Verzögerung zwischen der Bestrahlung und Auftreten der Krankheit) haben, oder die beim Menschen noch nicht in einem größeren Dosisbereich untersucht wurden.

Es sollte betont werden, daß diese 0,8 rad nur 2 % der 42 rad sind, die von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP 26) jährlich für das aktive Knochenmark des Beschäftigten in der Strahlentechnik zugelassen sind und daß 6.5 rad nur 13 % der 50 rad sind, die jährlich für die Schilddrüse gestattet sind. (Die maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentrationswerte für die übrigen Mitglieder der Bevölkerung, die von der internat. Kommission und von dem Nationalen Strahlenschutzrat (NRC) der USA angegeben werden, werden auf Grundlage von 10 % dieser Dosisraten berechnet, d.h. 4,2 rem pro Jahr für das Knochenmark und 5 rem für die Schilddrüse.)

Wenn eine Million Kinder jährlich 1 rad infolge Bestrahlung im Mutterleib erhalten würden, müßten wir mit 300 bis 3000 Leukämiefällen rechnen, abhängig davon, ob das Kind gewisse Krankheiten der Atmungsorgane hatte, von denen einige, wie von Bross gezeigt wurde (4, 5),

Tabelle 2

Krebsrisiken und bekannte Linearitätsbereiche

<u>Linearität bis herab zu</u>	<u>Risiko pro Person und rad</u>	<u>Bemerkungen</u>
≤ 10 rad	(0,3 - 1,0)10 ⁻⁴ L (0,5 - 1,7)10 ⁻⁴ C	Überlebende der Bomben von Hiro- shima und Naga- saki (8,30,31); siehe auch Mori- yama und Kato a)
Durchschnittlich 370 rad	(0,2-0,3)10 ⁻⁴ L	Bechterew-Patienten (6,27)
0,2 - 0,8 rad	3·10 ⁻⁴ L 6·10 ⁻⁴ C	Röntgenbestrahlung im Mutterleib bei Beckenuntersu- chungen, Stewart u. Kneale (6,27)
~ 1,0 rad	(3-30) 10 ⁻⁴ L	dasselbe, Bross (4,5)
20 rad	(0,5 - 1,1)10 ⁻⁴ S	Röntgentherapie, Hempelmann (9)
6,5 rad	1,2 ·10 ⁻⁴ S	Röntgentherapie bei Tinea capitis - Modan u.a. (11) Silverman und Hoff- man (12)

L = Leukämierisiko pro Person und Rad

C = gesamtes Krebsrisiko pro Person und Rad

S = Schilddrüsenkrebs-Risiko pro Person und Rad

Rad = 100 ergs pro Gramm Gewebe

a) Moriyama und Kato: "Mortality Experience of A-Bomb survivors
1970-72", KNIH ABCC Life Span Study Report, Tech.Report 15-73
(Washington D.C.: Atomic Bomb Casualty Commission. 1973)

mit der Strahlung synergistisch zusammenwirken (vergl. Tab. 2). Es gibt nicht so viele Daten über die Wirkung niedriger Bestrahlungsdosen bei Erwachsenen wie für Kinder, aber wie aus den neueren Daten von Mancuso und anderen entnommen werden kann, kann das Risiko für strahlenbedingte Leukämie für Erwachsene genau so groß oder größer als bei Kindern sein (möglicherweise an die $70 \cdot 10^{-4}$ Krebsfälle pro Person x rem, entsprechend 7000 Fälle auf 1 Million Menschen und 1 rem). Weiterhin zeigen Untersuchungen von Stewart (6, 27), Mac Mahon (7, 28) und vielen anderen, daß nach Bestrahlung im Mutterleib das Auftreten von örtlich begrenzten Krebserkrankungen (wie Tumoren des Zentralnervensystems) etwa so groß wie das von Leukämie ist, so daß die Gesamtzahl tödlicher Krebserkrankungen doppelt so hoch wie die Zahl der Leukämiefälle ist, die in Tabelle 2 angegeben ist: nämlich 600 - 6 000 Krebsfälle auf eine Million Kinder, die einem rad ausgesetzt waren.

1970 haben Jablon und Kato darauf hingewiesen (29), daß ihre Ergebnisse an den Atombombenüberlebenden, die im Mutterleib bestrahlt worden waren, einige der genannten Befunde (6-7, 27-28) nicht unterstützen. Sie wiesen darauf hin, daß aufgrund der Befunde von Stewart und Kneale und der damit übereinstimmenden linearen Hypothese 36,9 zusätzliche Krebsfälle in den zehn Jahren nach dem Bombenabwurf in dieser Bevölkerungsgruppe zu erwarten gewesen wären, aber daß nur ein Fall von Leberkrebs gefunden worden sei. Infolgedessen waren manche Leute schnell bei der Hand mit der Mitteilung, daß mit den retrospektiven Untersuchungen über die Krebserzeugung durch diagnostische Röntgenbestrahlung im Mutterleib, wie sie von Stewart, Mac Mahon und anderen durchgeführt wurden, etwas falsch sein müsse, und daß man nunmehr beruhigt sein könne. Unglücklicherweise ist dies aber (für im Mutterleib bestrahlte Kinder) nicht der Fall.

Stewart und andere haben Untersuchungen veröffentlicht (22,30,32-34), die die Studien von MacMahon u. a. über die Krebserzeugung durch diagnostische Röntgenbestrahlung im Mutterleib bei geringer Dosis (unter 1 rem) unterstützen, und es gibt heute kaum Zweifel, daß die japanischen Untersuchungen das Risiko beträchtlich unterschätzen. Jablon und Kato haben selbst (8, 29) bei der Diskussion der ungewöhnlich niedrigen Krebsrate bei denjenigen Kindern, die

im Mutterleib zur Zeit des Bombenabwurfs bestrahlt worden waren, festgestellt: "Solch ein Resultat könnte möglicherweise auftreten, wenn eine übermäßige Anzahl spontaner Fehlgeburten bei hohen Dosen vorgelegen hat." Demnach erhielten die Föten, die mit größter Wahrscheinlichkeit strahlenbedingte Leukämiefälle geworden wären, so hohe Dosen und erlitten solche Belastungen, daß sie vielfach gar nicht überlebten. Es gibt in der Tat Grund zu der Annahme, daß nach den Atombombenabwürfen eine ungewöhnlich hohe Zahl von Fehlgeburten und von Kindersterblichkeit aufgetreten ist.

Viele Untersuchungen (35) haben gezeigt, daß in Stressituationen und bei allgemeinen Katastrophen die Föten, Säuglinge und Kleinkinder am meisten leiden. Es ist auch bekannt, daß man in solchen Situationen der Unruhe und des Leidens die Frühstadien einer Krebserkrankung mit einer akuten Infektion verwechseln kann. Außerdem sieht es so aus, als ob die japanische Kontrollgruppe selbst ein größeres Krebsrisiko als normal gehabt hat.

Rotblats kürzlich erschienene Veröffentlichungen (36) scheinen die obige Erklärung zu stützen, warum das bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki ermittelte Krebsrisiko zu niedrig ist. Er verglich das Krebsrisiko in zwei Gruppen: die einen waren Personen, die innerhalb der ersten drei Tage nach der Explosion nach Hiroshima kamen und der durch Neutronenstrahlung erzeugten Radioaktivität und dem radioaktiven Niederschlag (Fallout) ausgesetzt waren. Die andere Gruppe setzte sich aus Menschen zusammen, die später nach Hiroshima kamen und eine vernachlässigbare Strahlendosis erhielten. Keine dieser Personen war den Belastungen durch Druckwelle, Feuer, Verschüttung usw. ausgesetzt gewesen. Das Leukämierisiko in der ersten Gruppe, die der erzeugten Radioaktivität ausgesetzt war, betrug $1,6 \cdot 10^{-4}$ Fälle pro Person und rad (d. h. 160 Fälle pro 1 Million Personen und rad). Rotblat machte einige optimistische Annahmen, daher muß diese Schätzung als untere Grenze angesehen werden. Dieser für Erwachsene erhaltene Wert stimmt daher mit dem Leukämierisiko in Tabelle 2 von $3 \cdot 10^{-4}$ überein, das für Kinder gilt, die im Mutterleib diagnostischer Röntgenstrahlung ausgesetzt waren. Rotblat hebt hervor, daß diese Schätzung des Leukämierisikos etwa achtmal so hoch ist wie der Wert von $2 \cdot 10^{-5}$ Fällen pro Person und rad, wie er von der Internationalen Strahlenschutzkommission angegeben wird (26).

An dieser Stelle möchten wir die interessante Vermutung aussprechen, daß Rotblat vielleicht einen Schlüssel zu dem Rätsel geliefert hat, warum keine genetischen Mutationen bei den Nachkommen der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki beobachtet worden sind. Es gibt also kaum Zweifel, daß die japanischen Daten in hohem Maße das Risiko für strahlenerzeugten Krebs unterschätzen und daß auch das genetische Risiko unterschätzt wird.

Einige der Gründe (22), warum in vielen Fällen die lineare Hypothese bei der Abschätzung des Risikos bei geringen Dosen keine sichere Abschätzung darstellt, sollen im folgenden aufgeführt werden.

- Abtötung bei hohen Dosen (Overkill). Die meisten Abschätzungen des Risikos durch Bestrahlung sind auf der linearen Extrapolation vom Bereich hoher Dosen bis herab zur Dosis Null begründet.

Oft wird bei solchen Extrapolationen zuwenig in Betracht gezogen, daß bei hohen Dosen eine große Zahl der Lebewesen getötet wird und daß in keinem Fall mehr als 100% der Tiere durch die Strahlung getötet werden kann. Manchmal bestimmt man einfach mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate die Linie, die am besten durch die Meßpunkte und den Punkt Null führt. Manche der Punkte, die verwendet werden, um die Steigung dieser Geraden festzustellen, können schon auf dem oberen gekrümmten Teil der Kurve liegen, wo die Tiere durch hohe Dosen geschädigt wurden und nicht lange genug lebten, um an dem Krebs zu sterben, der Gegenstand der Untersuchung war.

- Zu kurze Zeitdauer der Untersuchungen an Menschen. Die meisten Untersuchungen der Effekte am Menschen erstrecken sich nur über einen kurzen Teil seiner Lebensspanne. Wenn man z.B. die Steigung der Kurve bestimmt, die Schilddrüsenkrebs als Funktion der Dosis darstellt und die Untersuchungsperiode nur 7 Jahre beträgt, dann würden Untersuchungen der Bevölkerung bis zum Lebensende aller Personen die Steigung dieser Kurve anwachsen lassen und damit insbesondere die Risikoabschätzung bei kleinen Dosen vergrößern. (Anmerkung: Manche der veröffentlichten Arbeiten über die Erzeugung von Schilddrüsenkrebs bestehen aus Untersuchungen, die sich nur über 5-10 Jahre nach Röntgenbestrahlung oder der Gabe von Radiojod erstreckten. Wenn die bestrahlte Personengruppe über ihre ganze Lebenszeit hinweg beobachtet worden wäre, hätten sich gewiß weitere Krebserkrankungen feststellen lassen.

längere Zeit bis zum Auftreten (B)).

- Vergleichende Untersuchungen an Tieren, bezogen auf bestimmte Lebensaltersperioden. Manchmal werden Untersuchungen der Schädigung von Föten angestellt, in denen jeweils im ersten Drittel der Schwangerschaft von Mäusen und von Frauen bestrahlt wurde, oder es werden Vergleiche angestellt zwischen Tieren, die eine mittlere Lebenszeit von 20 Jahren haben, und Menschen. Da sich in den meisten Fällen die Schäden infolge Bestrahlung auf Ereignisse beziehen, die nach einer bestimmten Zahl von Jahren auftreten und nicht innerhalb eines gewissen Bruchteils der Lebensdauer eines Tieres, können solche Vergleiche nur die Risiken für den Menschen unterschätzen.

- Verschiedene Strahlenempfindlichkeit für verschiedene Arten. Viele Untersuchungen haben die Gefahr hervorgehoben, die darin besteht, daß man die Wirkung von Bestrahlungen von einer Tierart auf die andere überträgt. Unterschiede im Stoffwechsel, dem Grundumsatz, der Aufnahme durch den Verdauungstrakt, Hautatmung, Blutkreislauf, mitotischen Index usw. können einen deutlichen Einfluß darauf haben, wie ein Tier auf eine bestimmte Belastung von ionisierender und nichtionisierender Bestrahlung reagiert. Eine Untersuchung der Daten führt mich zu dem Schluß, daß zuweilen diese Art der Übertragung von Daten vom Tier zum Menschen zu einer Unterschätzung des Risikos führt, insbesondere bei niedrigen Dosen.

- Verschiedenheit der menschlichen Bevölkerung. Die größte Zahl der Untersuchungen von Bestrahlungseffekten wurden mit krankheitsfreien, durch Inzucht gewonnenen Tieren durchgeführt. Radioökologieprogramme müssen ausgedehnt werden auf Tiere in freier Wildbahn, wenn wir Effekte simulieren wollen, die wir infolge von Bestrahlungen niedriger Dosis beim Menschen erwarten.

Bei der Bestimmung von Risiken der Bevölkerung infolge Bestrahlung müssen wir die Reaktion auf eine gegebene Dosis kennen für junge und alte, Männer und Frauen, dicke und dünne, gesunde und kranke, Menschen mit verschiedenen Ernährungsgewohnheiten usw.

Wenn wir diese Daten haben, wird sich ohne Zweifel zeigen, daß unsere Risikoabschätzung für gewisse Teile der Bevölkerung bei Bestrahlung niedriger Intensität viel größer sein wird als das Risiko für die sogenannte durchschnittliche Bevölkerung.

- Zellsterilisation. Es ist wohl bekannt, daß, wenn die Menschen älter werden, der Anteil abnormer Zellen im Körper ansteigt. Zum Beispiel steigt der Prozentsatz von Zellen mit Chromosomenveränderungen mit dem Alter eines Tieres. Unter Benutzung unserer oben genannten Analogie können wir sagen, der Körper enthält immer mehr Zellen, bei denen ein oder mehrere Schalter umgelegt sind, oder welche einen höheren Wirkungsquerschnitt für die Krebserzeugung infolge Bestrahlung bieten.

Wie oben erwähnt, wird gemeinhin angenommen, daß manche Arten von bösartigen Geschwulsten als Ergebnis einer Serie von Veränderungen entstehen, die in den 46 Chromosomen stattfinden, die den Kern einer normalen Körperzelle des Menschen bilden.

Damit besitzt ein Mensch, wenn er altert, eine gewisse Anzahl von Zellen und Zellstämmen, die eine oder mehrere Abnormitäten enthalten und deshalb hochempfindlich dagegen sind, daß die Entwicklung einer bösartigen Geschwulst ausgelöst werden kann. Wenn Untersuchungen an Tieren durchgeführt werden, die hohen Bestrahlungsdosen ausgesetzt wurden, dann kann Abtötung von Zellen auftreten, so daß viele der Zellen, die sonst wahrscheinlich Krebs entwickeln würden, vorzugsweise zerstört werden. Daher würden solche Daten, die bei hohen Dosen gewonnen wurden, die Tendenz haben, die Steigung der Kurve zu verringern, die durch Extrapolation nach Null erhalten wurde; und sie würden zu einer Unterschätzung des Risikos bei niedrigem Bestrahlungsniveau führen.

Fraglos haben einige mit Röntgen- oder Gammastrahlen durchgeführte Tierversuche gezeigt, daß das Krebsrisiko pro rem bei geringen Dosen geringer ist, wenn die Dosis über längere Zeit verteilt wurde. Dies scheint eindeutig nicht der Fall zu sein für Strahlung mit hohem spezifischen Energieverlust LET (Alphas oder Neutronen), wo es wenig oder keine Reparaturmöglichkeit für beschädigte Zellen gibt, und wo schon ein einziges Teilchen (Alphateilchen oder ein schweres Rückstoßion infolge Zusammenstoß mit einem Neutron) beim Zelldurchgang ausreichend ist, um die Schädigung auszulösen (z. B. den seltenen Fall, in dem eine überlebende Zelle, die später zu einer Krebsgeschwulst führt, erzeugt wurde). Für manche Arten der Strahlenschädigung (Leukämieerzeugung bei Personen mittleren Alters) infolge einer Belastung mit Strahlung niedrigen spezifischen

Energieverlustes (Röntgen oder Gamma), kann es erforderlich sein, daß zwei-oder mehrmal ein Quant unmittelbar auf einen Zellkern einwirkt, bevor es zur Bildung einer Zelle kommt, die zu einer bösartigen Geschwulst führt. In solch einem speziellen Fall würde das Risiko pro rad bei niedrigen Dosen geringer sein und die lineare Hypothese wäre eine sichere Abschätzung (siehe Abbildung, (C)).

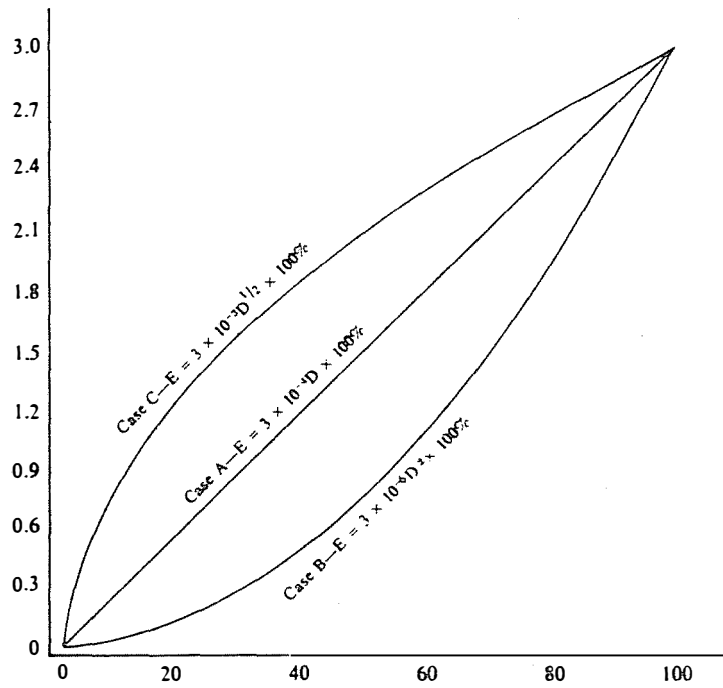
Die mittlere Bestrahlungsdosis der 442 Arbeiter in den Hanford-Werken, die in dem untersuchten Zeitintervall (1944-72) an Krebs starben, war nur etwa 1 rem (13). Mancuso, Stewart und Kneale schätzen, daß nur 6-7 % der Krebstoten (26-31 Fälle) durch diese Strahlung erzeugt wurden. Die Gesamtzahl der Todesfälle in ihrer Untersuchung war 3520. Damit war ihr Krebsrisiko $(7-8)10^{-3}$ oder etwa 25 mal so groß wie das Risiko von 0,03 %, das durch Kurve A in der Abbildung wiedergegeben wird und 10-25 mal so groß wie das allgemein angenommene totale Risiko für strahlungserzeugten Krebs. (Dies weist daraufhin, daß vielleicht die Potenz von D bei Kurve C kleiner als 1/2 sein könnte. Aber ich glaube, eine wahrscheinlichere Erklärung ist, daß die Mehrzahl der Arbeiter in Hanford mit mehr als 1 rem im Durchschnitt bestrahlt wurden (D)). Baum (23) fand heraus, daß die Potenz von D, die die beste Anpassung an eine Anzahl von Krebserzeugungsuntersuchungen $n = 0,5$ betrug).

Die Abschätzung von Mancuso und anderen, daß das normale Krebsrisiko der Arbeiter in Hanford durch die Bestrahlung um 6-7% erhöht werde, verursachte beträchtliche Kontroversen. Das liegt zum Teil daran, daß der für Hanford gewonnene Krebsrisikokoeffizient 10-25 mal größer ist als in der Vergangenheit angenommen.

Ich glaube aber, die Kontroverse entsteht deshalb, weil viele Personen in der Kerntechnik und in den Bundesbehörden, ohne auf Rat schläge zu hören, verkündet haben, daß es k e i n Strahlenrisiko gibt. Es gibt sicher keinen Beruf, der frei von irgendeinem Risiko für die Arbeiter ist. Wenn daher die Befürworter der Kernenergie früher vernünftiger bei ihren Behauptungen über die Ungefährlichkeit der Strahlung gewesen wären, würden sie heute nicht so verzweifelt versuchen, ihr Gesicht zu wahren.

Die Kräfte, die die Ergebnisse von Mancuso u.a. unterstützen bzw.

Prozentuale Zunahme des Krebsrisikos



Dosis der ionisierenden Strahlung (rem)

Krebserzeugung als Funktion der Dosis
ionisierender Strahlung von 0 bis 100 rem

Abbildungsunterschrift

Die Figur besteht aus Darstellungen der Gleichung

$$E = k D^n \% \quad (1)$$

Darin ist E = Krebsrisiko (Prozent der Personen mit Krebs) als Ergebnis einer Bestrahlung mit der Dosis D in rem mit ionisierender Strahlung.

Fall A, bei dem $n = 1$, stellt die lineare Hypothese dar, nach der man $3 \cdot 10^{-4}$ Krebsfälle pro Person und rem erwarten würde.

Fall B, bei dem $n = 2$ ist, stellt die alte Schwellwerthypothese dar, nach der das Krebsrisiko bei geringen Durchschnittsdosen pro Person vernachlässigbar oder statistisch unbedeutend wird.

Vielleicht charakterisiert dieser Fall das niedrige Leukämierisiko für Personen mittleren Alters, die Strahlung mit geringem linearen Energietransfer (LET) (bzw. geringer spezifischer Energieverlust) ausgesetzt waren.

Neuere Untersuchungen am Menschen weisen daraufhin, daß Kurve C oder eine andere Kurve mit n kleiner als 1 für Leukämie bei jungen und alten Menschen und vielleicht für die meisten anderen Krebsarten unabhängig von dem Alter der Personen gilt. In solchen Fällen ist das Risiko pro rem bei geringen Dosen größer als bei hohen Dosen.

Die Kurven A, B, C sind in erster Linie zur Veranschaulichung dargestellt, aber jede Kurve scheint in gewissen Fällen zu gelten. Es ist vielleicht von Interesse, daß für eine Dosis von 1 rem das Krebsrisiko nach der linearen Hypothese 0.03 % beträgt (Kurve A) und $3 \cdot 10^{-4}$ % (vernachlässigbar) nach der Schwellwerthypothese (Kurve B).

sie kritisieren, haben ihre Argumente in einer Kongreß-Anhörung vortragen können. Zusätzlich dazu berichtete Stewart auf dem Treffen der Amerikanischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften im Februar 1978 über weitere Analysen der Daten aus Hanford, die die Argumente in den früheren Arbeiten wesentlich stärken. Gilbert (37) aus Hanford selbst führte eine sorgfältige Untersuchung der Daten von Mancuso und anderen durch, um herauszufinden, ob ihre Befunde tatsächlich richtig seien. In der Konferenz über Strahlung niedriger Dosis trug Gilbert einen Bericht vor, den ich als Unterstützung von Mancuso und anderen interpretiere, zumindest für zwei Krebsarten, die ein hohes Risiko für Erzeugung durch Strahlung geringer Dosisbelastung haben.

All diese Befunde unterstützen den Bericht von Milham aus dem Jahr 1974, daß es eine erhöhte Zahl von Krebsfällen unter den Arbeitern von Hanford gibt.

Um die absorbierte Dosis (angegeben in rad, wobei 1 rad einer Energieabgabe von 100 erg pro Gramm entspricht) in die Äquivalenzdosis (angegeben in rem) umzurechnen, benutzen wir die Beziehung

$$\text{Äquivalenzdosis (rem)} = \text{absorbierte Dosis (rad)} \cdot Q \cdot N \quad (2).$$

Q ist ein physikalischer Korrekturfaktor, der mit dem Bremsvermögen ($-dE/dx$) oder dem linearen Energietransfer (LET) in Beziehung steht. N ist ein biologischer Korrekturfaktor.

Als generelle Vereinfachung (vor allem für die Berechnung von Dosen infolge im Körper befindlicher Strahler) setzen wir $Q = 1$ für Gamma-Röntgen- und Elektronenstrahlung und $Q = 10$ für Alphastrahlen, wenn sie von Radionukliden emittiert werden, die im Körper abgelagert wurden.

Es ist leicht zu sehen, warum Q für Alphas viel größer als das Q für Röntgenstrahlen oder Elektronen sein sollte, weil die spezifische Ionisation entlang der Spur des Alphateilchens viel größer als entlang einer Elektronenspur ist. Zum Beispiel ist $S_a \approx 8000$ Ionenpaare pro Mikron im Gewebe für Alphateilchen, während $S_e \approx 8$ für ein Elektron ist, wenn beide Energien von etwa 1 Megavolt haben.

Damit ist der Unterschied der Schädigungen einer lebenden Zelle in den beiden Fällen wie der Unterschied zwischen einem Bulldozer und einem Kaninchen, die ein Kornfeld durchqueren. Viele Kaninchen

müßten innerhalb kurzer Zeit über dasselbe Kornstück laufen, um es zu beschädigen (oder viele Sekundärelektronen müßten in kurzer Zeit in der Nähe eines Zellkerns erforderlich sein, um Schaden zu verursachen). So ist zu verstehen, warum für manche Arten von Schäden infolge Röntgen- und Gammastrahlen (z.B. Leukämie bei Personen mittleren Alters) die Kurve B in der Abbildung die beste Anpassung an die experimentellen Daten liefert oder $n = 2$ in Gleichung (1) (E). Es ist auch leicht zu sehen, warum n kleiner als 1 für Kurve C in der Abbildung für alle Arten chronischer Schädigung infolge im Körper aufgenommenen Alphastrahler gilt. Das liegt daran, daß bei hohen Dosen oder Dosisraten es eine übermäßige Abtötung gibt, das heißt, der größte Teil der Alphaenergie wird nicht genutzt; wie, wenn wir versuchen würden, ein Eichhörnchen mit einer Kanone statt mit einem Gewehr zu töten.

Der andere modifizierende Faktor N in Gleichung(2) ist nicht gut verstanden. Als ich zuerst 1947 damit anfang, den Faktor N zu verwenden, glaubte ich, daß wir einen biologischen Korrekturfaktor brauchen, um zusätzliche biologische Schäden in Rechnung zu ziehen, die von gewissen im Körper abgelagerten Nukliden herrühren und daß dieser Faktor vor allem im Zusammenhang mit ungleichmäßiger Verteilung oder "heißen Gebieten oder Punkten" stünde, die auf ausgewählte Teile des Gewebes kritischer Organe einwirkten (zum Beispiel das endosteale oder perosteale Knochengewebe, Gewebe innerhalb und außerhalb des Knochens). Es wurde jedoch bald erkannt, daß N auch mit anderen Dingen im Zusammenhang stand, darunter: 1) die Frage, wie wesentlich das gefährdete Gewebe für die richtige Funktion des Körpers war und 2) die relative Strahlenempfindlichkeit des bestrahlten Gewebes. Damit kann N auch eine wichtige Rolle spielen bei der Frage, ob der Strahlenschaden sich wie Kurve A, B oder C in der Abbildung verhält und warum es deutliche Unterschiede unter den Kurven, die die Reaktion auf die Dosis angeben, für verschiedene Arten der Strahlung gibt, ebenso für verschiedene Tierarten (einschließlich Mensch), sowie Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, genetischen Faktoren, gewissen Krankheiten usw.

Dieser Faktor mag eines Tages erklären, warum die sehr jungen und sehr alten Personen am empfindlichsten für Strahlenschäden sind und warum sogar für Röntgen- und Gammastrahlung bei Föten und alten Leuten die Kurve C wahrscheinlich für Krebs erzeugung durch Röntgen-

und Gammastrahlung die beste Anpassung gibt. Der Unterschied, was die anzuwendende Kurve für manche Tiere und für den Menschen als Funktion des Alters angeht, kann von der Tatsache herrühren, daß die Entwicklung des Skeletts und des Knochenmarks sich bei manchen Tieren ziemlich gleichmäßig während des ganzen Lebens vollzieht, was für den Menschen nicht zutrifft. Ganz am Anfang seines Lebens ist der Umsatz des Knochens ziemlich gleichförmig, und das gesamte Knochenmark ist aktiv, aber im späteren Leben des Menschen ist der Knochen weniger aktiv, und ein wachsender Teil des Marks wird inaktiver (gelbes Mark). Strahlenbiologen haben tausende von Experimenten mit verschiedenen Tierarten durchgeführt, um die Dosis-Wirkungsbeziehungen festzustellen und haben in vielen Fällen diese Daten auf den Menschen extrapoliert (vielleicht mit dreister Stirn oder auch mit manchen unguten Gefühlen). Manche Ökologen und Strahlenschützer haben warnend darauf hingewiesen, daß viele dieser Tierdaten aus vielen Gründen nicht auf den Menschen übertragbar sind. Einige dieser Gründe sind:

- Untersuchungen haben gezeigt, daß die Reaktion auf eine bestimmte Dosis von Art zu Art um Größenordnungen sich verändern kann (beim Übergang etwa von der Fliege zum Fisch, zur Maus, zum Affen und zum Menschen).
- Untersuchungen haben gezeigt, daß sogar geringe Unterschiede in Bezug auf Art und Stamm eine wesentliche Veränderung in der Reaktion auf eine Dosis bewirken können. Zum Beispiel haben Warren und Gates (38) große Unterschiede in der Leukämieentstehung und der Lebenszeitverkürzung bei den Untersuchungen verschiedener Mäusearten gefunden. Dennoch beruhen die Standards auf Beobachtungen an der Inzucht unterliegenden, sorgfältig kontrollierten gesunden Tieren. Und eben diese Standards werden in Tierversuchen verwendet, um die Krebserzeugung beim Menschen zu bestimmen. Aber der Mensch ist ein wildes oder heterogenes (mit vielerlei verschiedenen Erbeigenschaften ausgestattetes) Lebewesen mit verschiedenen Eßgewohnheiten, verschiedener Beeinflussung durch Chemikalien, mit vielen Krankheiten und Besonderheiten, mit verschiedenen Lebensaltern usw.

Es bedeutet wenig Trost für eine Mutter, zu wissen, daß das mittlere Risiko für die in ihrer Gemeinde lebenden Menschen $3 \cdot 10^{-4}$ pro

Person und rem beträgt oder 0,003 % infolge einer durch ein Kernkraftwerk über 10 Jahre angesammelten Umgebungsdosis von 100 Millirem, wenn sie erfährt, daß in Wahrheit ihr an Asthma leidendes Kind ein 50-mal so großes Risiko oder die Aussicht von 0,15 % hat, aufgrund dieser Belastung an Krebs zu erkranken. Es hilft sehr wenig, der Mutter zu erzählen, daß die natürliche Strahlenbelastung 100 Millirem pro Jahr beträgt und daß dies ihrem Kind über diesen Zeitraum von 10 Jahren ein Risiko von 1,5 % bringt. Und es hilft ihr auch nicht, wenn man ihr erzählt, daß bei Ersetzung des Kernkraftwerks durch ein Kohlekraftwerk - und sogar eines besonders sauberen - das Risiko aufgrund des Kraftwerks wahrscheinlich von 0,15 % auf 5 % ansteigen würde, und daß das wesentliche Risiko dann bei chronischer Bronchitis und Emphysem (Lungenblähung, d. Übers.) statt bei Krebs liegen würde. Es ist für diese Mutter schwer zu verstehen, warum sie das Leben ihres Kindes auf's Spiel setzen sollte, damit das Kraftwerk an einem bestimmten Fluß errichtet werden kann oder, wie sie sich klarmachen kann, damit die Aktionäre einen besseren Gewinn aus ihren Investitionen ziehen können.

Viele sehen die Lösung in der Verringerung der maximal zulässigen Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen und für die Öffentlichkeit um den Faktor 10. Verschiedene Bürgerinitiativen haben diesbezüglich schon Petitionen an die Environmental Protection Agency (Umweltamt, d. Übers.) und an die Atombehörde Nuclear Regulatory Commission eingereicht. Obwohl ich für diesen Schritt Verständnis habe, bin ich nicht davon überzeugt, daß er eine befriedigende Lösung herbeiführen würde. Mit kommt es vor, als ob man versucht, ein Leck im Deich mit einem Daumen zuzustopfen. Ich sehe die Dinge vor allem aus drei Gründen so:

1. Unser Ziel sollte eine Strahlenbelastung sein, die sich dem Wert Null nähert, und vor allem derart, daß die Bevölkerungsdosis (in Personen x rem) "so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar"(SNWVE) ist.
2. Der eigentliche Sündenbock bei den unnötigen Belastungen der Bevölkerung ist nicht die Atomindustrie sondern die medizinische Radiologie.
3. Eine kleinere Reduzierung der zulässigen Maximaldosen für beruflich Strahlenexponierte - z. B. von 5 rem/Jahr auf 2,5 rem/Jahr

anstelle der vorgeschlagenen Verringerung auf 0,5 rem/Jahr könnte wahrscheinlich erreicht werden, ohne die Entscheidung für die Kernenergie zu gefährden.

Was den ersten Grund angeht, so ist es zum Teil eine Frage der Erziehung und der Bereitschaft zu moralischer Verpflichtung von Seiterer, die für die Bestrahlung von Menschen verantwortlich sind. Über Jahrzehnte hin sind die mittleren Belastungswerte für beruflich strahlenexponierte Personen in den regierungseigenen Nationalen Forschungszentren (wie Oak Ridge, Argonne, Brookhaven und Savannah River) in Übereinstimmung mit dem Prinzip SNWVE (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar") gewesen, und die mittlere Dosis ist unterhalb von 10 % der maximal zulässigen Belastung gewesen, das heißt kleiner als 0,5 rem/Jahr, und Unfälle mit großen Belastungen einzelner Individuen sind äußerst selten gewesen. Das schließt natürlich die Möglichkeit von Fehlern bei der Abschätzung der Belastungen und insbesondere die Gefahr größerer, innerer Dosis (aufgrund in den Körper aufgenommener radioaktiver Stoffe) als mit den zur damaligen Zeit vorhandenen Techniken erfaßbar war, nicht aus. Aber zumindest wurden ernsthafte Anstrengungen unternommen, alle Belastungen SNWVE zu halten. Diese vorsorgliche Praxis galt sowohl für individuelle Dosen (in rem) und Populationsdosen (in Personen rem), für die Arbeiter als auch für Personen aus der übrigen Bevölkerung. Unglücklicherweise ist dies jedoch nicht einheitliche Praxis in der Kernindustrie.

Ich war besonders unglücklich darüber, was in der Wiederaufarbeitungsanlage in West Valley, New York und der Brennstoffabrik von Kerr Mc Gee in Oklahoma vor sich ging. Ich meine, in diesen Fällen wurde das Prinzip SNWVE, ebenso wie eine anständige Strahlenschutzpraxis in grober Weise mißachtet. Mir macht die zunehmende Praxis große Sorge, zeitweise angestellte Arbeiter "auszubrennen": Die Tatsache nämlich, daß viele Kernkraftwerke es notwendig finden, das Problem der individuellen Belastung bei Reparaturarbeiten an ständig hochgradig belasteten Plätzen dadurch zu lösen, daß Arbeiter für begrenzte Zeit eingestellt werden, um die Dosis bei den "heißen Arbeiten" zu verteilen. Dies hat die Bevölkerungsdosis (in Personen rem) oder das allgemeine Risiko von Krebs und Erbschäden für die Bevölkerung vergrößert, und ich meine, das ist genau das, was wir möglichst vermeiden sollten.

Ich bin nicht sicher, was der Effekt der vorgeschlagenen Senkung der maximal zulässigen Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen auf 10 % des gegenwärtigen Wertes, d.h. bis herab auf 0,5 rem/Jahr sein wird. Es würde gewiß die individuelle Bestrahlungsdosis senken, aber ich fürchte, in vielen Fällen würde es nur heißen, daß mehr Menschen eingestellt werden würden, von denen jeder einzelne geringe Dosen von weniger als 0,5 rem/Jahr erhalten würde, bei einer deutlichen Erhöhung der gesamten in Personen·rem gemessenen Bevölkerungsdosis. Diese Bevölkerungsdosis würde für dieselbe Arbeit unter Strahlenbelastung aus zwei Gründen ansteigen:

1. Unerfahrene Personen erhalten immer mehr Strahlung, und 2. ein großer Teil der Belastung bei einer "heißen" Arbeit wird auf dem Weg zum und vom heißen Arbeitsplatz empfangen. Golden (39) hat einige Abschätzungen über die Vergrößerung der Bevölkerungsdosis durchgeführt, die in einem Kraftwerk auftreten würde, wenn die maximal zulässige Dosis auf 0,5 rem/Jahr verringert würde.

Der zweite Grund für mein Zögern, mich auf eine Lösung des Problems durch einfache Herabsetzung der maximalen Dosiswerte zu verlassen, liegt darin, daß zur Zeit die medizinischen Berufe von den Empfehlungen ausgenommen sind, die von der Internat. Strahlenschutzkommission für ionisierende Strahlung vorgeschlagen wurden - sogar obwohl sie über 90 % der vom Menschen verursachten Dosis liefern.

(Anmerkung: Die Kommission schlägt überhaupt keine Werte für eine maximal zulässige Belastung vor, sie sagt, der Arzt müsse die Vorteile gegenüber den Gefahren für den Patienten abwägen, jedoch konnten die meisten Ärzte weder den Begriff rad definieren, noch das Risiko von strahlungserzeugtem Krebs !)

Ich habe nachgewiesen, daß die durch medizinische diagnostische Röntgenstrahlen verursachte Dosis auf 10 % des gegenwärtigen Wertes verringert werden kann, bei gleichzeitiger Erhöhung der Menge und Qualität der diagnostischen Information (40). Nur die Staaten New York, New Jersey, Kentucky und Kalifornien verlangen, daß Röntgentechniker Ausbildung und Bescheinigung über den richtigen Gebrauch von Röntgenanlagen haben. Nur Kalifornien verlangt eine staatliche Prüfung über die Wirkung von Röntgenstrahlung und über Strahlenschutz.

Ist es ein Wunder, daß diejenigen, die für über 90 % der vom Menschen erzeugten Strahlung verantwortlich sind, das Prinzip SNWVE fast vollständig ignorieren?

Ist es überraschend, daß Untersuchungen zeigen, daß die Hautdosis infolge einer Röntgenaufnahme der Brust in einer medizinischen Einrichtung 10 Milliröntgen sein kann, während sie bei einer anderen 3000 Milliröntgen sein kann und daß dennoch viel mehr nützliche Information bei den 10 Milliröntgen erhalten wird? Warum haben nicht die verantwortlichen Behörden diese medizinischen Mißstände vor 20 oder 30 Jahren beseitigt, statt endlose Diskussionen mit der Amerikanischen Medizinischen Gesellschaft, dem Amerikanischen Strahlenkolleg und der Zahnärztlichen Vereinigung usw. zu führen, um festzustellen, wie sich ohne Kosten oder Unbequemlichkeiten für die Mediziner Verbesserungen erreichen ließen?

Wenn diese Fragen beantwortet sind, wenn wir die unnötige Belastung der amerikanischen Öffentlichkeit durch ionisierende Strahlung, die 90 % unseres Problems darstellt, beseitigt haben, dann kann ich eventuell den nächsten Schritt darin sehen, die maximal zulässige Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen auf 0,5 rem/Jahr und den entsprechenden Wert für die allgemeine Öffentlichkeit zu senken. Nur 1 % Senkung der gegenwärtigen unnötigen medizinischen diagnostischen Belastungen in den Vereinigten Staaten würde die Bevölkerungsdosis infolge von Menschen erzeugter Strahlung mehr als die Abschaffung der Kernindustrie bis zum Jahr 2000 verringern (G). Ich habe für eine Verringerung unnötiger medizinischer Belastung über ein Vierteljahrhundert lang gekämpft, aber der Fortschritt ist sehr langsam gewesen. Die einzigen wesentlichen Erfolge waren die Abschaffung der Programme für die massenhaften Röntgenuntersuchungen des Brustkorbs, Begrenzungen der Programme für die massenhafte Mammographie und die kürzlich festgelegten Grenzwerte (41) für Dosen, die in den üblicheren diagnostischen Verfahren verabreicht werden. Es ist jedoch unglücklich, daß der wichtigste und effektivste Schritt immer noch aussteht, daß wir nämlich verlangen, daß alle in medizinischen Berufen Tätigen Ausbildung, Übung und Zeugnisse im Strahlenschutz erhalten.

Schließlich habe ich ernstliche Zweifel, daß viele unserer Kernkraftwerke weiterbetrieben werden könnten, wenn wir die gegenwärtigen maximal zulässigen Dosen auf 10 % senken würden. Es würde insbesondere für Druckwasserreaktoren schwierig sein, wegen des hohen Strahlungsuntergrundes in der Nähe des Dampferzeugers infolge der Ansammlung von Kobalt-58 und -60. Ich glaube, die Lösung für dieses Problem liegt darin, die Druckwasserreaktoren in dem Sinne umzukonstruieren, daß die aktivierbaren Elemente entweder nicht die Region des Reaktors mit hohem Neutronenfluß erreichen oder daran gehindert werden, mit dem Primärkühlwasser zu zirkulieren. Ferner muß in gewissen Bereichen mehr Platz für Abschirmungen und die Benutzung von ferngesteuerten Geräten, Fernsehkameras usw. gelassen werden. Die Maßnahmen zur Verringerung der Belastung der Beschäftigten in den heutigen Kraftwerken sollten in gewisser Weise verschärft werden, aber die wesentlichen Anstrengungen in dieser Hinsicht sollten bei den Kraftwerken erfolgen, die gegenwärtig in der Planung sind.

Die Kommission für kerntechnische Regeln hat den kühnen und empfehlenswerten Schritt getan, den Dollarwert einer Person·rem zu 1000 \$ zu einem Zeitpunkt festzusetzen, als andere (42) einen so niedrigen Wert wie 10 \$ pro Person rem vorschlugen.

Obwohl die meisten von uns wahrscheinlich vor dem Gedanken zurückschrecken, ein Menschenleben in Dollars festzulegen, müssen wir dennoch erkennen, daß in der realen Welt möglicherweise keine Alternative existiert. Mit einem totalen Risiko von $6 \cdot 10^{-4}$ Krebsfällen pro Person rem (600 Fälle bei einer Million und 1 rem) erhalten wir das Ergebnis, daß diese 1000 Dollar pro Person·rem einem Betrag von 1,7 Millionen Dollar pro Krebsfall entspricht. Mit anderen Worten übt die Kommission für kerntechnische Regeln vermutlich dann einen gewissen Druck auf die Kerntechnik aus, eine Ursache für 1 Person·rem unter den Beschäftigten zu beseitigen, wenn die Kosten dafür 1000 \$ nicht überschreiten. Um es noch unverhüllter zu sagen, die Firma sollte 1,7 Millionen Dollar ausgeben, um zu verhüten, daß ein Beschäftigter an Krebs erkrankt.

Eine der unglücklichsten Entwicklungen der jüngeren Zeit auf dem Gebiet der Festlegung von Standardwerten für Belastung durch ionisierende Strahlung stellt eine Empfehlung der Internationalen Strah-

lenschutzkommission dar, die im Jahr 1977 veröffentlicht wurde (26). Sie geben empfohlene Gewichtungsfaktoren an, die ich dahingehend interpretiere, daß sie zu großen Anstiegen bei den gegenwärtigen von der Kommission empfohlenen maximalen Belastungswerten, allen Werten für die Belastung des Gesamtkörpers und für die maximal zulässigen Konzentrationen in Luft, Wasser und Nahrungsmitteln für Radionuklide führen werden, ausgenommen in den Fällen, in denen sie gleichmäßig über den Körper verteilt sind. Tabelle 3 gibt eine Zusammenfassung dieser Werte.

Ich halte diesen Bericht für einen Rückschritt auf Seiten der Kommission, weil er zu einer Zeit erscheint, in der die internen Berichte (19) betonen, daß das Krebsrisiko viele Male größer ist, als wir vor 15 Jahren glaubten. Diese Änderungen wurden, wie man hört, in der Absicht durchgeführt, die Inkonsistenz zu beseitigen, die darin bestand, daß die maximal zulässige Belastung für den ganzen Körper dieselbe gewesen ist, wie für die Keimdrüsen und das rote Knochenmark. Die Kommission hätte die maximal zulässige Belastung bei 5 rem/Jahr für die Keimdrüsen und das rote Knochenmark und den Wert für Ganzkörperbestrahlung auf einen niedrigeren Wert festsetzen sollen als 5 rem, beispielsweise auf 2,5 rem/Jahr.

In einer Situation, in der wir zu erkennen beginnen, daß Strahlenrisiken größer sind als wir früher glaubten, hoffe ich sehr, daß der Nationale Strahlenschutzrat, das Komitee für die biologischen Effekte ionisierender Strahlung (BEIR), die Kommission für kerntechnische Regeln, die Umweltschutzbehörde usw. in diesem Land diesem Schritt der Internationalen Kommission energisch widersprechen und diese neuen Werte zurückweisen werden, welche die Tendenz hätten, die innere Dosis infolge im Körper aufgenommener Radionuklide zu vergrößern. Abschließend schlage ich die folgenden Maßnahmen vor:

- Ablehnung von Vorschlägen, im gegenwärtigen Zeitpunkt die maximale zulässige Belastung um einen Faktor 10 zu senken, aber Erwägung der Möglichkeit, diese um einen Faktor 2 zu verringern.
- Erwägung der Möglichkeit, die maximal zulässige Belastung zu einem späteren Zeitpunkt um einen Faktor 10 zu senken, wenn nachgewiesen werden kann, daß alle unnötigen Belastungen

Tabelle 3

Werte für modifizierende Faktoren, die von der Internationalen Strahlenschutzkommission vorgeschlagen wurden

Organ	Gegenwärtiger Wert für die max.zul.Be-strahlung in rem/Jahr	Werte für W_1 ^{a)}	Neue Werte der maxim.zul. Be-strahlung in rem/Jahr ^{b)}
Ganzkörper	5	1,0	5
Keimdrüsen	5	0,25	20
Brust	15	0,15	32
Rotes Knochenmark	5	0,12	42
Lunge	15	0,12	42
Schilddrüse	30	0,03	167
Haut	30		
Rest	15	0,3	17

a) Werte in der Veröffentlichung der ICRP (26)

b) die in dieser Spalte gegebenen Werte sind nicht ausdrücklich von der ICRP angegeben, aber sie ergeben sich bei Division des ICRP-Wertes von 5 rem/Jahr durch die Werte in Spalte 3. Es ist wahrscheinlich, daß die ICRP einen oberen Wert von 50 rem/Jahr für jeden dieser Werte festlegen wird für die Berechnung interner Dosen.

(insbesondere medizinische) verringert werden können und daß der Menschheit insgesamt ein Vorteil aus diesem Schritt erwächst.

- Unmittelbare Maßnahmen, die Bevölkerungsdosis (in Person·rem) zu verringern. Dies könnte auf verschiedene Weisen erreicht werden. Zum Beispiel könnte in der Kernenergie-Industrie ein Grenzwert von 500 Personen·rem pro 1000 Megawatt (elektrisch)·Jahr für gegenwärtig in Betrieb befindliche Anlagen und 200 Personen·rem pro 1000 Megawatt (elektrisch)·Jahr für jetzt in Konstruktion befindliche Anlagen festgelegt werden.
- Kühne Schritte, um die unnötige Belastung infolge medizinischer Quellen ionisierender Strahlung zu verringern.
Im Februar 1978 haben die Umweltschutzbehörde und das Büro für Strahlenschutz einige ermutigende Fortschritte auf diesem Gebiet gemacht (41), aber es bleibt immer noch ein langer Weg vor uns.
- Anwendung des Prinzips SNWVE - so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar - in allen Gebieten, in denen Belastung durch ionisierende Strahlung vorkommt, und Anwendung auf alle gefährlichen Stoffe, z.B. auf nichtionisierende wie auf ionisierende Strahlung und chemische Verbindungen.
- Erwägung aller Vor- und Nachteile aller Brennstoffarten bei der Entscheidung, welche Brennstoffart für ein Kraftwerk gewählt werden soll. Bei dieser Auswertung sollte darauf geachtet werden, daß Belastung durch radioaktive Strahlung nur eine der Gefahren darstellt und daß in vielen Fällen die Gefahren durch chemische Belastung viel größer als infolge ionisierender Strahlung sein können.
(Man sollte auch nicht vergessen, daß es eine ernsthafte Belastung infolge Strahlung bei der Verbrennung von Kohle gibt, durch Radium 226 und 228, Radon 222 usw., (H)).
- Angemessene Unterstützung für Forschungsprogramme, die darauf aus sind, die Risiken durch Belastung von Menschen mit ionisierender Strahlung genauer zu bestimmen.

Literaturhinweise

1. Samuel Milham, *Occupational Mortality in Washington State, 1950-1971*, 3 vols., NIOSH-76-175 (Washington, D.C.: Department of Health, Education and Welfare).
2. P. R. J. Burch, "Age and Sex Distributions for Some Idiopathic Non-Malignant Conditions in Man," in *Proceedings of Colloquium on Radiation and Aging*, Austria, June 23-24, 1966, edited by P. J. Lindopand and G. A. Sacher (London: Taylor & Francis), p. 117.
3. Burch, "Radiation Biophysics," in *Principles of Radiation Protection*, edited by K. Z. Morgan and J. E. Turner (New York: R. E. Krieger, 1973), Chap. II and references on p. 396.
4. I. D. J. Bross, "Leukemia from Low-Level Radiation," *New England Journal of Medicine*, 287 (July 20, 1972), 107.
5. Bross, *Proceedings of a Congressional Seminar on Low-Level Ionizing Radiation*, House, 94th Cong. (Washington, D.C.: Environmental Policy Institute, 317 Pennsylvania Ave. SE, 20003).
6. This confirms the findings of the extensive studies in the United Kingdom by A. Stewart and G. W. Kneale ("Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-rays and Childhood Cancer," *Lancet*, 1185 (June 5, 1970)).
7. B. MacMahon, "X-Ray Exposure and Malignancy," *Journal of American Medical Association*, 183 (1963), 721.
8. BEIR (Biological Effects of Ionizing Radiation) Committee, "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation," (Washington, D.C.: National Academy of Sciences-National Research Council, Nov. 1972).
9. L. H. Hempelmann, "Neoplasms in Youthful Populations Following X-Ray Treatment in Infancy," *Environmental Research*, 1 (1967), 338.
10. R. E. Albert and R. E. Shore, "Follow-up Study of Irradiated Tinea Capitis Cases," paper presented at 100th annual meeting of American Public Health Association, 1972.
11. B. Modan *et al.*, "Radiation-Induced Head and Neck Tumors," *Lancet*, 1 (Feb. 23, 1974), 277.
12. C. Silverman and D. A. Hoffman, "Thyroid Tumor Risk from Radiation During Childhood," *Preventive Medicine*, 4 (1975), 100.
13. T. F. Mancuso, A. Stewart and G. Kneale, "Radiation Exposure of Hanford Workers Dying from Cancer and Other Causes," *Health Physics*, 33:5 (Nov. 5, 1977), 369.
14. E. L. Saenger, "Radiation and Leukemia Rates," *Science*, 171 (March 19, 1971), 1096.
15. E. B. Lewis, "Leukemia, Radiation and Hyperthyroidism," *Science*, 174 (Oct. 29, 1971), 454.
16. T. Najarian and T. Colton, "Mortality from Leukemia and Cancer in Shipyard Nuclear Workers," *Lancet*, (May 13, 1978), 1018; see also L. Torrey, "Radiation Haunts Shipyard Workers," *New Scientist*, 726 (March 16, 1978).
17. Frank Barnaby, "The Continuing Body Count at Hiroshima and Nagasaki," *Bulletin*, Dec. 1977.
18. Natural Science Group (of Geneva-based International Peace Bureau), "Physical and Medical Effects of the Hiroshima and Nagasaki Bombs," *Bulletin*, Dec. 1977.
19. International Commission on Radiological Protection, working paper ICRP/71/L:C 4, 1971.
20. Environmental Protection Agency, "Rules and Regulations," *Federal Register* (Thursday, Jan. 13, 1977).
21. K. Z. Morgan, "Maximum Permissible Levels of Exposure to Ionizing Radiation," *Proceedings of International Summer School on Radiation Protection*, Cavtat, Yugoslavia (Belgrade: Boris Kidric Institute of Nuclear Sciences), 1 (Sept. 21-30, 1970), 7.
22. Morgan, "The Linear Hypothesis of Radiation Damage Appears to be Non-Conservative in Many Cases," *Proceedings of 4th International Congress of International Radiation Protection Association*, Paris, France, August 1976, paper no. 451, p. 11.
23. J. W. Baum, "Population Heterogeneity Hypothesis on Radiation Induced Cancer," *Health Physics*, 25 (August 1973), 97.
24. A. G. Craig, "Alternatives to the Linear Risk Hypothesis," *Health Physics*, 31 (July 1976), 81.
25. J. M. Brown, "Linearity vs. Non-Linearity of Dose Response for Radiation Carcinogenesis," *Health Physics*, 31 (Sept. 1976), 231.
26. International Commission on Radiological Protection, *Recommendations*, ICRP no. 26 (New York: Pergamon Press, 1977).
27. A. Stewart, "Los Dise Radiation Cancers in Man," *Advances in Cancer Research*, 14 (1971), 359.
28. B. MacMahon, "Prenatal X-Ray Exposure and Childhood Cancer," *Journal of National Cancer Institute*, 28 (1962), 1173.
29. S. Jablon and H. Kato, "Childhood Cancer in Relation to Prenatal Exposure to Atomic Bomb Radiation," *Lancet*, 14 (Nov. 14, 1970), 1000.
30. E. E. Pochin, "Malignancies Following Low Radiation Exposures in Man," *British Journal of Radiology*, 49 (July 1976), 577.
31. ICRP, "The Evaluation of Risks from Radiation," Committee I Report, ICRP pub. 8 (New York: Pergamon Press, 1966).
32. R. M. Holford, "The Relation Between Juvenile Cancer and Obstetric Radiography," *Health Physics*, 28 (February 1975), 153.
33. E. Landau, "Health Effects of Low-Dose Radiation: Problems of Assessment," *International Journal of Environmental Studies*, 6 (1974), 51.
34. R. H. Mole, "Ante-natal Irradiation and Childhood Cancer: Causation or Coincidence?" *British Journal of Cancer*, 30 (1974), 199.
35. G. Bennet, "Bristol Floods 1968. Controlled Survey of Effects on Health of Local Community Disaster," *British Medical Journal*, 454 (Aug. 22, 1970).
36. J. Rotblat, "The Puzzle of Absent Effects," *New Scientist*, 476 (August 25, 1977); and Rotblat to Morgan.
37. E. S. Gilbert, paper presented at Conference on Low-Level Radiation, Environmental Study Conference of House and Senate, Feb. 10, 1978; proceedings available from Sen. Gary Hart.
38. S. Warren and O. Gates, "The Inclusion of Leukemia and Life Shortening in Mice by Continuous Low-Level External Gamma Radiation," *Radiation Research*, 47 (August 1971), 480.
39. J. C. Golden, "Effect of a Change in Regulating Limits for Occupational Radiation Exposures of Manpower Requirements and Radiation Dose (Man.Rem) Experiences at a Nuclear Power Station," Commonwealth Edison Co., Dec. 16, 1975.
40. K. Z. Morgan, "The Need for Radiation Protection," *Radiologic Technology*, 44:6 (1973), 385; Morgan, "Population Exposure to Diagnostic X-Rays and Resultant Damage Can Be Reduced to 10% of Their Present Levels While at the Same Time Increasing the Quality and Amount of Diagnostic Information," testimony presented before hearings on HR10790, Oct. 11, 1976; and Morgan, "Reducing Medical Exposure to Ionizing Radiation," Landauer Memorial Lecture, Stanford University, Sept. 27, 1974, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 36 (May 1975), 358.
41. Environmental Protection Agency and Bureau of Radiological Health, "Radiation Guidance to Federal Agencies for Diagnostic X-rays," *Federal Register*, 43:22 (Feb. 1, 1978).
42. ICRP, "Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept as Low as Reasonably Achievable," ICRP pub. 22, April 1973.

Zu (6):

Dies bestätigt die Befunde der ausführlichen Untersuchungen im Vereinigten Königreich von A. Stewart und G.W. Kneale.

Anmerkungen des Übersetzers

- (A) Bei mehreren Soldaten, die bei diesem Test bestrahlt worden waren, wurde später Leukämie festgestellt.
- (B) Dieser Effekt wurde beim Menschen nicht beobachtet, auch aufgrund von anders lautenden Ergebnissen bei Tieren kann er keine Allgemeingültigkeit beanspruchen.
- (C) Dieser Effekt ist auch in dem angegebenen Bereich nicht als allgemeingültig anerkannt.
- (D) Die Verfasser der Hanford-Studie weisen die Vermutung zurück, der Effekt sei durch höhere Belastung infolge interner Bestrahlung hervorgerufen, die von den verwendeten Dosimetern nicht erfaßt würde.
- (E) Es muß betont werden, daß dieser Effekt der Abschwächung der Wirkung dünn ionisierender Strahlung nicht allgemein gilt, vielmehr auch hier die lineare Kurve zur Sicherheit verwendet werden sollte.
- (F) Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß durch Einsatz von diesen Filtern und Entschwefelung diese Emission ganz erheblich verringert werden kann.
- (G) Dies bedeutet sicher eine Unterschätzung der Belastung durch Atomenergie, schon weil dabei die vielfach zu optimistischen radioökologischen Berechnungen der Dosis aus den angesetzten Abgabemengen eingehen.
- (H) Allerdings tritt diese radioaktive Belastung nur bei speziellen Kohlesorten auf.
Zudem ist die durch die genannten Nuklide bewirkte Belastung bei Kohleverbrennung immer noch wesentlich geringer als bei Verwendung der Atomenergie, wenn man den gesamten Brennstoffprozeß samt Abbau und Abraum mitberücksichtigt.

The risks for radiation workers aus "The Bulletin of the Atomic Scientists", Sept. 1978
S. 41 - 46.

Übersetzung von N. Flato, V. Medgyessy und Klaus Bätjer, Universität Bremen ⁺)

Joseph Rotblat ist emeritierter Professor für Physik an der Universität London. Er war Präsident des British Institute of Radiology und der British Hospital Physicists Association. Lange Jahre war er Herausgeber der Zeitschrift "Physics in Medicine and Biology" - 28 Jahre war er leitender Physiker am St. Bartholomew-Krankenhaus in London.

Die wichtigsten Aussagen lauten:

- Neue Erkenntnisse zeigen, daß die krebserzeugende Wirkung radioaktiver Strahlung viel größer ist, als bislang angenommen wurde.
- Alarmierende Befunde sind in jüngster Zeit über die Auslösung bösartiger Erkrankungen, insbesondere Leukämie (Blutkrebs), bei beruflich strahlenexponierten Personen veröffentlicht worden.
- Es erscheint angemessen, daß ein Strahlenexponierter, der eine Dosis größer als 1 rem pro Jahr erhält, dann entschädigt werden wollte, wenn er sich eine Krankheit zuzieht, die mit seiner beruflichen Strahlenbelastung in Verbindung gebracht werden könnte.

In den letzten 20 Jahren wurde viel über die biologischen Wirkungen ionisierender Strahlung entdeckt. Es wurde sehr viel Material über die Wirkung verschieden starker Strahlenbelastungen beim Menschen, insbesondere über die Auslösung verschiedener durch die Strahlung erzeugter Krebskrankheiten, gesammelt. Diese Erkenntnisse weisen darauf hin, daß die krebserzeugende Wirkung von Strahlung sehr viel größer ist, als man früher dachte. Das wissenschaftliche Gremium, das Empfehlungen über die Höhe der Strahlenbelastung für das beruflich strahlenexponierte Personal und für die Gesamtbevölkerung gibt, hielt es im letzten Jahr nicht für nötig, die maximal zulässige Dosis (oder den Dosisgrenzwert, wie er jetzt genannt wird) von 5 rem pro Jahr für die strahlenexponierten Beschäftigten zu reduzieren. ¹⁾Die Empfehlungen dieses Gremiums der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP) werden von vielen Ländern als Basis für ihre eigenen Strahlenschutzbestimmungen benutzt.

Das Gremium, das 1928 vom Internationalen Kongreß für Radiologie gegründet worden ist, besteht aus einem Präsidenten und 12 weiteren Mitgliedern. Sie kommen aus verschiedenen Ländern, sind aber eher nach Gesichtspunkten einer ausgeglichenen Sachkenntnis (hauptsächlich der medizinischen Radiologie und der Physik) ausgewählt, als nach Nationalitäten. Die Mitglieder werden alle 4 Jahre zusammen mit dem Internationalen Kongress für Radiologie gewählt und sie treffen sich ungefähr einmal pro Jahr, um Berichte ihrer 4 Ausschüsse zu erhalten und um Empfehlungen herauszugeben.

⁺) Mit der freundlichen Erlaubnis des Autors und des Verlages veröffentlicht.

Auf seiner Sitzung im Jahre 1977 hielt es das Gremium nicht für notwendig, den Dosisgrenzwert zu senken, da nach seiner Ansicht jetzt die Schätzung von Risikofaktoren zuverlässiger ist, und man nun auf eingebaute Sicherheiten verzichten kann; aber hauptsächlich deshalb, weil das Gremium sein Konzept von Strahlenschutzgrenzwerten geändert hat. Der Dosisgrenzwert wird jetzt als absolute Höchstgrenze und nicht mehr als eine tatsächlich auftretende Arbeitsbelastung angesehen. Letztere wird aus der durchschnittlichen Belastung der Beschäftigten ermittelt, die als ein Zehntel des Dosisgrenzwertes angenommen wird.

Der Dosisgrenzwert für strahlenexponierte Beschäftigte wird unter drei Gesichtspunkten abgeleitet:

- einer Schätzung über die Zahl der Todesfälle, mit der sich die Gesellschaft bei einer sicheren Industrie "abfindet",
- den Risikofaktor pro Doseinheit, und
- der Durchschnittsdosis, die die Beschäftigten abbekommen.

In diesem Artikel analysiere ich die letzten beiden Gesichtspunkte und komme zu der Schlußfolgerung, daß der Dosisgrenzwert um einen Faktor 5 vermindert werden sollte.

Die letzte umfassende Durchsicht der Daten über die Wirkung radioaktiver Strahlen wurde im Jahr 1977 in dem Bericht des "Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkung atomarer Strahlung" (UNSCEAR) vorgelegt.²⁾ Die Daten und die Bemühungen, den Risikofaktor für die Krebsentstehung durch Beobachtungen an verschiedenen der radioaktiven Strahlung ausgesetzten Bevölkerungsgruppen festzusetzen, werden im Anhang G unter der Überschrift "Strahleninduzierter Krebs beim Menschen" vorgelegt.

Um eine vernünftige Schätzung für den Risikofaktor zu erhalten – dieser ist definiert als die Wahrscheinlichkeit einer Krebsentstehung pro Doseinheit – benötigt man eine genügend große Personengruppe, die einer Strahlung ausgesetzt war und bei der man die Dosis kennt.

Von den Überlebenden der Atombombenexplosionen 1945 in Hiroshima und Nagasaki wird allgemein angenommen, daß diese Menschen die für diesen Zweck zuverlässigste Gruppe sind. Nicht nur, weil sie die größte Gruppe dieser Art darstellen, sondern auch wegen der peniblen und grandiosen Anstrengungen, eine Dosisbestimmung zu erreichen.³⁾

Diese Arbeiten, die 1945 begannen, wurden 1947 verstärkt, als die Atombombenopfer-Kommission (ABCC) gegründet wurde, die hauptsächlich von den USA gefördert wurde. 1975 wurde die ABC-Kommission durch die Radiation Effects Research Foundation (RERF) ersetzt, die gemeinsam von Japan und den USA geleitet wird, die Zentralstelle liegt in Hiroshima.

Es gab mehr als 350 000 Überlebende in Hiroshima und Nagasaki. Die meisten wurden einzeln befragt, um den Aufenthalt dieser Personen im Augenblick der Atombomben-Explosion festzustellen, das heißt, um die Entfernung vom Explosionszentrum der Bombe unter Berücksichtigung möglicher abschirmender Gebäudewände festzuhalten. Das war notwendig, um die Dosis der erhaltenen Strahlung schätzen zu können. Die Dosimetrie – und auch die Einschätzung des Risikofaktors – wurde durch die beiden unterschiedlichen Atombombenarten kompliziert. In der Hiroshima-Bombe wurde Uran-235 als Spaltmaterial benutzt (anscheinend das einzige Mal, daß dieses Material von den

USA angewandt wurde), während das Atombombenmaterial in Nagasaki Plutonium-239 war. Es war jedoch die Art der Anordnung und Zündung bei den Bomben, die den großen Unterschied bei der sofortigen Strahlung, den Gammastrahlen und den Neutronen bewirkte.

In Hiroshima wurde eine gewehrartige Anordnung benutzt. Ein Teil des Uran-235 wurde auf einen anderen Teil geschossen, um eine überkritische Masse zu bilden; das Eisen dieser Anordnung schwächte die Gammastrahlen stärker ab als die Neutronen. In Nagasaki wurde ein Implosionsmechanismus angewendet. Eine Anzahl von Plutoniumsegmenten war von geformten Ladungen von Plastiksprengstoff umgeben, diese wurden gleichzeitig gezündet, um das Plutonium nach innen zu pressen. Tonnen von wasserstoffhaltigem Material umgaben das Plutonium, dadurch erfolgte eine sehr beträchtliche Abschirmung der Neutronen, während die Intensität der Gammastrahlen sehr viel weniger beeinflußt wurde. Das Ergebnis war, daß es, obwohl die Nagasaki-Atombombe eine fast doppelt so große Sprengkraft wie die Hiroshima-Bombe (22 000 Tonnen TNT gegenüber 12 500 Tonnen TNT) hatte, kaum Neutronen in der Strahlenbelastung der Menschen von Nagasaki gab. In Hiroshima betrug die Neutronenstrahlendosis hingegen nahezu ein Drittel der Belastung.

Das Entscheidende der Neutronenstrahlung ist, daß bei gleicher physikalischer Dosis ein sehr viel größerer biologischer Effekt auftritt. Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) liegt bei 10 für Spaltneutronen und ist definitionsgemäß gleich 1 für Gammastrahlen. Das Problem wird dadurch komplizierter, daß der RBW-Wert selbst von der Dosis abhängt. Bei kleinen Dosen kann die RBW möglicherweise bis 40 gehen; aber es gibt keine zuverlässigen Daten darüber.

Als ein Teil der ABCC-Untersuchungen wurden unter ähnlichen Bedingungen wie in Hiroshima und Nagasaki mehrere Atombombentests in der Nevada-Wüste der USA durchgeführt. Es wurden japanische Häuser errichtet, um die Wirkung in Städten herausfinden zu können. Der Teilatomteststopvertrag von 1957 entstand, ehe diese Tests abgeschlossen wurden, und deshalb mußten ein gepulster Reaktor und ein Beschleuniger auf der Spitze eines ca. 460 m hohen Turmes aufgebaut werden, die in den letzten Experimenten die Strahlungsquelle bildeten. Als Ergebnis dieser Anstrengungen wurde eine ziemlich sorgfältige Art der Dosisbestimmung (bekannt als T 65) entwickelt, die es erlaubte, die Dosen, die Individuen erhalten hatten, zu berechnen.

Von den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki wurden für eine Lebenserwartungsstudie 82 000 Personen ausgesucht, bei denen Unterschiede in den Todesursachen und in der Lebenserwartung festgestellt werden sollten. Weiter wurden ungefähr 26 000 Personen ausgesucht, die vom Alter und vom Geschlecht her der bestrahlten Gruppe entsprachen und die als Kontrollgruppe fungierten.

Einige Personen der Auswahl wurden auf alle krankhaften Veränderungen hin untersucht, ebenfalls die Kinder Überlebender. Die sorgfältige Analyse der Daten wurde vom RERF durchgeführt und die Ergebnisse sind in Form von zahlreichen Berichten und veröffentlichten Aufsätzen zugänglich.

Es ist nur natürlich, daß angesichts der großen Sorgfalt und Anstrengungen, die in die Auswertung der japanischen Daten gesteckt wurde, den Risikofaktoren, die dadurch erhalten wurden, ein großes Gewicht beigemessen wird. Es ist ebenso verständlich, daß die Stiftung Informationen über Überlebende, die nicht aus ihren Untersuchungen stammen, mit einiger Vorsicht begegnet, vielleicht sogar dazu neigt, Schlußfolgerungen aus anderen japanischen Studien abzulehnen.

Quantitative Erkenntnisse von anderen bestrahlten Personengruppen kommen allmählich hinzu. Einige davon sind schon lange bekannt, aber es wurde erst kürzlich begonnen, dieses Material sorgfältiger zu untersuchen. Die Erkenntnisse stammen aus unterschiedlichen praktischen Erfahrungen. Eine Gruppe, die Bewohner der Marshall-Inseln, war ebenfalls Atomwaffenopfer: Der Fallout des "Bravo"-Tests der ersten Wasserstoffbombe des Jahres 1954 traf sie. Sie zeigen eine Häufung von Schilddrüsenkrebs. Eine andere Gruppe sind Bergleute, die hauptsächlich in Uranbergwerken arbeiten, bei ihnen ist der Lungenkrebs eine berufliche Gefährdung. Jedoch besteht die größte Bevölkerungsgruppe aus Personen, die aus medizinischen Gründen bestrahlt wurden. Diese Personen teilen sich in 2 Gruppen: die einen wurden für diagnostische Zwecke bestrahlt und die anderen erhielten die Strahlung als Heilmittel gegen eine Krankheit.

Diagnostische Röntgenstrahlendosen sind im allgemeinen sehr klein, aber es gibt Ausnahmen. Eine solche Ausnahme sind Pneumothorax-Patienten, bei denen zahlreiche Röntgendurchleuchtungen erforderlich sind. Im Laufe der Zeit erhalten diese Patienten hohe Strahlenbelastungen des Brustkorbs, und man findet bei ihnen ein erhöhtes Auftreten von Brustkrebs. Eine weitere Ausnahme sind Patienten, denen ein Kontrastmittel (Thorotrast) in das Blut eingespritzt wurde, um die Blutgefäße für die Röntgenstrahlen 'sichtbar' zu machen. Für die diagnostische Untersuchung ist dieses Verfahren sicher sehr gut, aber das Kontrastmittel bleibt lange im Körper, und da es radioaktives Thorium enthält, ist es eine innere Bestrahlungsquelle. Etliche Leukämie- wie auch Leberkrebsfälle sind darauf zurückzuführen.

In der zweiten Gruppe wurden Patienten absichtlich große Strahlendosen (von Röntgenstrahlenapparaten oder durch radioaktive Substanzen) zur Behandlung vieler Krankheiten verabreicht. Heutzutage, wo die krebserregende Wirkung der Strahlung wohl bekannt ist, wird die Strahlentherapie fast ausschließlich bei der Behandlung bösartiger Tumore angewandt. Früher wurden jedoch viele gutartige Krankheiten wegen der sehr guten Ergebnisse mit Strahlen behandelt. Eine große Gruppe bildeten die Patienten, die an einer Krankheit des Rückgrates (Bechterewsche Krankheit) litten. Große Dosen Röntgenstrahlung auf das Rückgrat milderten dieses Leiden, aber später fielen einige dieser Patienten der Leukämie und anderen Krebserkrankungen zum Opfer. Kindern, die Ringelflechte (tinea capitis) hatten, wurde die Kopfhaut mit Röntgenstrahlen behandelt, heute zeigt sich bei ihnen ein vermehrtes Auftreten von Krebs. Auf diese Weise wurden auch Kinder gegen einen vergrößerten Thymus behandelt. Man gab Frauen mit gynäkologischen Störungen therapeutische Röntgendosen auf das Becken, und es gibt unter ihnen offensichtlich ein Ansteigen von Leukämie.

Meistens ist es schwierig, eine Dosisbestimmung durchzuführen. Meist gibt es auch keine entsprechenden Kontrollgruppen. Der Dosisbereich, die Dosisrate und die Strahlungsart, die auch unterschiedlich sind, lassen einen Vergleich kaum zu. Trotzdem, diese Menschen stellen - neben dem menschlichen Leid, das dort anzutreffen ist - eine Fülle von Faktenmaterial dar, und es wäre unverantwortlich, von diesen Daten keinen Gebrauch zu machen. Außerdem ist es wichtig, die Wirkung auf verschiedene ethnische und kulturelle Personengruppen zu vergleichen. Aus diesen Gründen wurde versucht, den Risikofaktor bei diesen Personengruppen zu bestimmen. Der oben erwähnte UN-Bericht enthält einen quantitativen Überblick über die vorhandenen Daten.⁴⁾

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für vier Krebsarten - bei der Schilddrüse, der Brust, der Lunge und von Leukämie - von diesen Personengruppen zeigt Tabelle 1, die auch die entsprechenden Zahlen von den japanischen Überlebenden enthält.

Tabelle 1: Risikofaktoren für strahlenerzeugte Krebserkrankungen
(Anzahl der Fälle pro Million Personen pro rem)

Krebsart	japanische Überlebende	andere Bevölkerungs- gruppen	Verhältnis
Schilddrüse (Auftreten)	19	107	5,6
Brust	10	47	4,7
Lunge	18	110	6,1
Leukämie	30	30	1

Der Ausdruck rem ist eine Abkürzung für roentgen equivalent man, einer Meßgröße für die Dosis einer beliebigen ionisierenden Strahlung, die den gleichen biologischen Effekt hat wie eine Einheit einer absorbierten Dosis normaler Röntgenstrahlung.

Der Dosisbereich, die Dosisrate und die Strahlungsart, die auch unterschiedlich sind, lassen einen Vergleich kaum zu; trotzdem, diese Menschen stellen - neben dem menschlichen Leid, das dort anzutreffen ist - eine Fülle von Faktenmaterial dar, und es wäre unverantwortlich, von diesen Daten heute Gebrauch zu machen.

Die Angaben in Spalte 3 sind Mittelwerte von mehreren Untersuchungen. Die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen wurden nicht gewichtet, weil die Beschränktheit der Daten dieses kaum zuläßt.

Spalte 4 zeigt, daß für die drei Krebskrankheiten - Schilddrüse, Brust und Lunge - die von anderen Testgruppen abgeleiteten Risikozahlen 5 bis 6mal größer sind als die der japanischen Überlebenden.

Der Vergleich ist sehr interessant. Bei drei der vier Krebsarten, bei denen die Risikofaktoren in anderen Personengruppen hergeleitet wurden - den Marshall-Insulanern, den Uran-Bergbauarbeitern und den medizinisch behandelten Patienten - sind die Risikofaktoren 5 - 6mal größer als die der japanischen Überlebenden.

Für andere Krebsarten sind die Daten zu schlecht, als daß ein quantitativer Vergleich erlaubt wäre, aber es gibt qualitative ähnliche Befunde. Speicheldrüsentumore und Krebs der Verdauungsorgane sind bei anderen Bevölkerungsgruppen höhere Risikofaktoren als bei den Überlebenden in Japan. In Japan wurden keine Knochentumore gefunden, obwohl aufgrund der Daten von den anderen Gruppen her mehr hätten erwartet werden müssen. Allerdings zeigen die verfügbaren Daten bei nur einer Ausnahme,

daß die von den japanischen Überlebenden errechneten Risikofaktoren aller Krebsarten bedeutend kleiner sind als die anderer bestrahlter Personengruppen.

Eine Ausnahme scheint Leukämie zu sein. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, findet man für die Überlebenden in Japan und für die anderen Personengruppen denselben Risikofaktor. Leukämie ist die Krebskrankheit, die zu allererst nach der Bestrahlung auftritt, die durchschnittliche Latenzzeit beträgt in etwa 10 Jahre, verglichen mit 25 Jahren bei anderen Krebsarten. Leukämie ist viel genauer als andere strahleninduzierte Krebskrankheiten untersucht worden. Der Risikofaktor für Leukämie wird sogar für die Abschätzung des gesamten Risikofaktors aller Krebsarten angewendet. Von daher führte die gute Übereinstimmung des Risikofaktors für Leukämie zu der Annahme (siehe Tabelle 1), daß die japanischen Untersuchungen eine gültige Abschätzung des Krebsrisikos in anderen Bevölkerungsgruppen darstellen. Doch bei genauerer Untersuchung treten Zweifel an der Stichhaltigkeit dieser Schlußfolgerung auf. Die strahleninduzierte Leukämie entsteht durch die radioaktive Belastung des biologisch wirksamen Knochenmarks und das Risiko hängt vom Ausmaß des bestrahlten Knochenmarks ab. Von diesem Gesichtspunkt her existiert ein bedeutender Unterschied zu den betroffenen Bevölkerungsgruppen. Die Überlebenden in Japan erhielten mehr oder weniger eine in etwa gleichmäßige Ganzkörperdosis, d.h. ihr gesamtes Knochenmark wurde bestrahlt. Im Gegensatz dazu wurden bei den anderen Gruppen nur Teile des Knochenmarks bestrahlt. Der Teil des bestrahlten Knochenmarks wurde berücksichtigt, doch kann eine Proportionalität möglicherweise nicht richtig sein. Tierexperimente zeigen, daß sogar die Abschirmung eines kleinen Teils des Knochenmarks eine verhältnismäßig große Schutzwirkung beim Auftreten von Leukämie gibt. Der Risikofaktor, der an Personen mit einer Teilkörperbelastung ermittelt wurde, kann deshalb als zu klein angesehen werden. Die Tatsache, daß der Risikofaktor bei diesen Personen (Teilkörperbestrahlte) mit dem von den Überlebenden in Japan (Ganzkörperbestrahlte) übereinstimmt, weist darauf hin, daß der Ganzkörperwert ebenfalls zu gering ist. Tatsächlich gibt es direkte, wenn auch weniger dokumentierte, Unterlagen, daß dieses so ist.

Diese Hinweise stammen ebenfalls aus japanischen Städten, aber nicht aus den Städten, die die Explosionen erlebt haben. Nach den Atombomben-Explosionen gingen zahllose Menschen, allein in Hiroshima waren es 40 000, in die Städte, um Hilfe zu leisten oder nach Verwandten zu suchen. Sie waren der noch vorhandenen Strahlung ausgesetzt, der hauptsächlich von den Neutronen verursachten, kurzlebigen Radioaktivität des Bodens und der Gebäudewände. Eine hohe Leukämierate wurde bei den Menschen gefunden, die während der ersten 3 Tage eintrafen, während diese unter den später Angekommenen viel niedriger war.⁵⁾ Dies stimmt mit der Tatsache überein, daß die Strahlung der kurzlebigen Radioisotope für die Leukämiefälle unter den Erstangekommenen verantwortlich ist.

Es wurde anscheinend kein Versuch unternommen, die Dosis, die die Einzelnen erhalten haben, zu berechnen, aber mit einigen einfachen Annahmen ist es möglich, die durchschnittliche Dosis zu schätzen und von daher auch den Risikofaktor. Es ergibt sich ein Wert von 240×10^{-6} pro rem Strahlenbelastung. Die Verlässlichkeit dieses sehr hohen Wertes wurde mit der Begründung angezweifelt, daß einige der angegebenen Leukämiefälle Schwindel gewesen wären; die Menschen hätten falsche Angaben gemacht, um das Sondergeld als Strahlengeschädigter zu kassieren, ohne tatsächlich unter den Ankömmlingen der ersten 3 Tage gewesen zu sein. Angesichts der Seltenheit des Auftretens von Leukämie ist es unwahrscheinlich, daß viele

Leute plausibel klingende, aber doch falsche Angaben hätten machen können. Nehmen wir aber trotzdem an, daß ein Drittel aller Fälle auf Schwindel beruhen, so ergibt dies einen Risikofaktor von 160×10^{-6} pro rem, 5mal mehr als der Wert aus Tabelle 1. Damit wäre die Leukämie mit den beobachteten anderen Krebsarten gleichgestellt.

Es bleibt rätselhaft, warum die Überlebenden der Atombombenexplosionen eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber Bestrahlung gezeigt haben. Es sollte angemerkt werden, daß ein erheblich verringertes Risiko bei strahleninduziertem Krebs nicht die einzige merkwürdige Beobachtung ist:

- es konnten bis heute keine strahlenbedingten genetischen Veränderungen bei den Nachkommen der Überlebenden festgestellt werden;
- es ist keine Zunahme bösartiger Krankheiten bei den Kindern aufgetreten, deren Mütter zur Zeit der Explosionen schwanger waren, und
- es gibt Hinweise für eine allgemein geringere Sterblichkeitsrate, statt der erwarteten Zunahme.

Tabelle 2 Überschluß der Sterberate (Mortalität)
(pro einer Million Personen pro rad)

Gruppe mit der Dosis (rad)	Brustkrebs in Nagasaki	Lungenkrebs in Hiroshima
10-49	86	70
50-99	26	24
100-199	14	21
200	1	8

Quelle: UNSCEAR, Sources and Effects²⁾

Der Ausdruck rad, eine Abkürzung für radiation absorbed dose, ist die Einheit der im Gewebe absorbierten Dosis ionisierender Strahlung.

Um die Seltenheit bzw. das Fehlen erwarteter Folgen zu erklären, schlug ich die Annahme vor, daß die Überlebenden aus Hiroshima und aus Nagasaki wahrscheinlich eine ausgewählte Bevölkerungsgruppe sind: nur die genetisch widerstandsfähigsten Individuen überlebten die Verletzungen und das Trauma.⁶⁾ Ob diese Vermutung richtig ist oder nicht, der Befund stärkt die Vermutung, daß diese Überlebenden einer besonderen Gruppe angehören. Sie sind nicht geeignet, um Risikofaktoren für andere Bevölkerungsgruppen zu berechnen.

Im Lichte des oben Beschriebenen scheint es nötig, die Risikofaktoren für strahlenbedingten Krebs zu überprüfen. Die ICRP hat den Risikofaktor von 100×10^{-6} pro rem für die Sterblichkeit aller strahleninduzierten Krebsarten empfohlen. Dies entspricht dem Wert, der von dem wissenschaftlichen Komitee für die Effekte atomarer Strahlung der UNO vorgeschlagen wurde, daß das Gesamtrisiko fünfmal so groß wie das für Leukämie berechnete ist. Das für Leukämie wurde von der Kommission

mit 20×10^{-6} pro rem festgesetzt, statt des größeren Wertes von 30×10^{-6} pro rem, aus Tabelle 1. Sie nahmen an, daß das Risiko pro Dosisseinheit bei kleiner Dosis wahrscheinlich kleiner sei als das, was von Beobachtungen bei hoher Dosis her berechnet wurde. Diese Annahme ist jedoch fragwürdig.

In einigen Fällen ist das Risiko pro Dosisseinheit bei kleinen Dosen größer als bei größeren Dosiswerten (siehe Tabelle 2). Auf jeden Fall wird durch solche Argumente der hier vorausgesetzte Wert von 160×10^{-6} pro rem für Leukämie nicht berührt, da sie von Beobachtungen bei kleinen Dosen abgeleitet sind. Multiplizieren wird diesen Wert mit 5, so erhalten wir einen veränderten Gesamtrisikofaktor von 800×10^{-6} pro rem, der 8mal größer ist als der ICRP-Faktor.

Es sollte angemerkt werden, daß für die Entstehung von Krebs, insbesondere von Leukämie bei beruflich strahlenexponierten Personen kürzlich noch wesentlich alarmierendere Werte angegeben worden sind. Eine Analyse der Akten von Arbeitern der U.S.-staatlichen Plutoniumfabrik in Hanford im Staate Washington durch Mancuso, Stewart und Kneale führt diese zu der Schlußfolgerung, daß die Risikofaktoren der ICRP bis zum Faktor 20 zu niedrig sein können.⁷⁾ Najarian und Colton berichteten, daß bei den Arbeitern der Marine-Werft Portsmouth die Leukämierate 5,6mal höher war als unter nichtbestrahlten Arbeitern.⁸⁾ Nach den Angaben der ICRP hätte jeder dieser Arbeiter durchschnittlich 2 000 rem erhalten müssen, damit solche Todesraten zustandekommen. Dies ist offensichtlich absurd und legt eine Erhöhung des Risikofaktors nahe, obwohl man zunächst die wirklichen Dosiswerte kennen müßte, bevor eine quantitative Herleitung gemacht werden könnte.

Bei einer vorgegebenen Analyse der Dosen, die beruflich Strahlenexponierte erhalten haben, nahm die ICRP an, daß die durchschnittliche Dosis 1/10 des Dosisgrenzwertes, das sind 0,5 rem pro Jahr, wäre. Ein anderer Anhang des U.N.O.-Reports enthält Einzelheiten über die Dosisverteilung bei Beschäftigten unterschiedlicher Industriezweige in mehreren Ländern.⁹⁾ Nach diesem Überblick ist klar, daß der geringe Dosiswert dadurch zustandekommt, daß ein großer Prozentsatz Personen sind, deren Belastung zwar gemessen wurde, die jedoch nur wenig oder gar keiner Strahlenbelastung ausgesetzt waren. Eine typische Verteilung der Strahlenbelastung in einem medizinischen Institut zeigt Bild 1, ungefähr 90% der Messungen sind bei den kleinsten gemessenen Dosen angegeben.

Dies führt zu der Frage: Wer ist ein beruflich Strahlenexponierter? In vielen Einrichtungen trägt jeder Beschäftigte eine Filmplakette, obwohl nur ein kleiner Teil von ihnen durch ihre Arbeit wirklich mit Strahlung in Berührung kommt. Im Gegensatz hierzu ist die Häufigkeitsverteilung doppelhöckrig für eine Anlage, in der eine große Anzahl Beschäftigter mit radioaktivem Material umgeht (siehe Bild 2). Dieses unterscheidet dieses Personal deutlich von denen, die (soweit es die Strahlenbelastung betrifft) nichts damit zu tun haben.

Als die ICRP dies erkannte, empfahl sie, daß nur noch die Beschäftigten berücksichtigt werden wollten, deren Belastung 30% des Dosisgrenzwertes überschreitet. Dies enthält unausgesprochen eine Definition eines beruflich Strahlenexponierten. Hiernach ist die durchschnittliche Dosis eines richtigen Strahlenexponierten wahrscheinlich größer als 30% des Dosisgrenzwertes. Als eine konservative Annahme will ich 30% des Dosisgrenzwertes als die durchschnittliche Dosis eines Beschäftigten im Strahlungsbereich ansetzen.

Mit dieser Angabe können wir nun einen Dosisgrenzwert für Beschäftigte errechnen, der den Wert der ICRP ersetzen sollte. Zu diesem Zweck beginne ich mit der ICRP-Erklärung, die besagt, daß einen hohen Sicherheitsstandard jene Beschäftigungen haben, bei denen die durchschnittliche, beruflich bedingte Sterberate jährlich 10^{-4} nicht überschreitet. Mit einem Risikofaktor von 800×10^{-6} pro rem sollte deshalb die durchschnittliche Dosis $1/8$ rem pro Jahr nicht überschreiten. Falls dies 30% des Dosisgrenzwertes betragen soll, ergibt sich daraus ein Wert von 0,4 rem pro Jahr als Dosisgrenzwert. Jedoch muß noch ein anderer Faktor betrachtet werden, der diesen Dosisgrenzwert anheben wird.

Es ist oben angedeutet worden, daß die Empfindlichkeit gegenüber der Entstehung von Krebs bei Gruppen geringer sein kann, die in irgendeiner Weise "ausgewählt" sind. Von diesem Standpunkt aus wären Strahlenbeschäftigte eine ausgewählte Gruppe. Der Grund ist der, daß nur gesunde Leute im frühen Erwachsenenalter und mittleren Alters für Arbeiten in der Strahlenindustrie angenommen werden. Außerdem werden sie ärztlich besser überwacht. Es gibt nicht genug Daten, um eine genaue Schätzung darüber machen zu können, in welchem Maße so eine Auswahl eine Schutzwirkung ausübt; aber aus der Kenntnis der Altersempfindlichkeit würde ein Faktor von 2 - 3 angemessen erscheinen. Damit würde der Dosisgrenzwert für Strahlenarbeiter auf 1 rem pro Jahr ansteigen, dies entspricht $1/5$ des ICRP-Dosisgrenzwertes. Somit erscheint es mir gerechtfertigt, aufgrund des oben angeführten Beweismaterials eine Senkung des Dosisgrenzwertes auf $1/5$ zu verlangen.

Es ist von Morgan behauptet worden, daß die Verringerung des Dosisgrenzwertes um mehr als einen Faktor 2 wegen der Auswirkung auf die Kernindustrie nicht annehmbar sei.¹⁰⁾ Dieses Argument erscheint mir unlogisch. Wenn Dosisgrenzwerte danach bestimmt werden, was sich eine bestimmte Industrie leisten kann, dann können wir gleich alle Bemühungen aufgeben, Risikofaktoren aufgrund neuer Befunde abzuschätzen, und es der Wirtschaft überlassen, Dosisgrenzwerte festzusetzen. Das würde dann von Land zu Land und ebenso von Industrie zu Industrie verschieden sein. Sobald wir uns von wissenschaftlichen Kriterien entfernen, wird die Situation unhaltbar.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, sich der praktischen Bedeutung der Dosisgrenzwerte zu erinnern. Die ICRP empfiehlt, daß die Grenzwerte nicht als Arbeitsplatzbelastungen aufgefaßt werden sollten, sondern daß stattdessen das Prinzip ALARA (as low as reasonably achievable) angewandt werden sollte: die Strahlenbelastung soll "so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar" sein. Der Dosisgrenzwert ist jedoch in die Gesetzgebung einiger Länder eingegangen, sowohl im Hinblick auf die Planung als auch bei der Frage von Entschädigungen für Berufskrankheiten. Arbeitsgerichte werden Entschädigungsforderungen nur dann anerkennen, wenn der Grenzwert überschritten wurde.

Selbst die ICRP räumt ein, daß eine Strahlenbelastung über längere Zeit bei einer jährlichen Durchschnittsrate von mehr als 0,5 rem eine Gefahr bedeutet, die höher ist als sie für eine sichere Beschäftigung annehmbar ist. Darum erscheint vernünftig, daß ein Beschäftigter, der mehr als 1 rem pro Jahr Strahlenbelastung erhalten hat - das ist der hier vorgeschlagene Grenzwert - ein Anrecht auf Entschädigung hat, falls er sich ein Leiden zuzieht, das möglicherweise von einer Strahlenbelastung herrühren könnte.

Literatur:

1. International Commission on Radiological Protection, Recommendations, ICRP No. 26 (New York: Pergamon Press. 1977)
2. U. N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Radiation Carcinogenesis in Man, " in Sources and Effects of Ionizing Radiation (New York: United Nations, 1977), Annex G.
3. J.A. Auxier, Ichiban (Washington, D.C.: Energy Research and Development Administration, 1977)
4. UNSCEAR, Sources and Effects
5. S. Watanabe, "Cancer and Leukemia Developing Among Atom Bomb Survivors" (New York: Springer, 1974)
6. J. Rotblat, "The Puzzle of Absent Effects," New Scientist, 75 (1975), 475
7. T.F. Mancuso, A. Stewart and G. Kneale, "Radiation Exposures of Handord Workers Dyping from Cancer and Other Causes," Health Physics, 33 (1977), 369
8. T. Najarian and T. Colton, "Mortality from Leukemia and Cancer in Shipyard Nuclear Workers," The Lancet (May 13, 1978), p. 1018
9. UNSCEAR, "Doses from Occupational Exposure," in Sources and Effects, Annex E.
10. K.Z. Morgan, "Risk of Cancer form Low Level Exposure to Ionizing Radiation," Bulletin, Sept. 1978

Abb. 1 Erhaltene Strahlendosen bei englischen Beschäftigten in der Medizin 1974

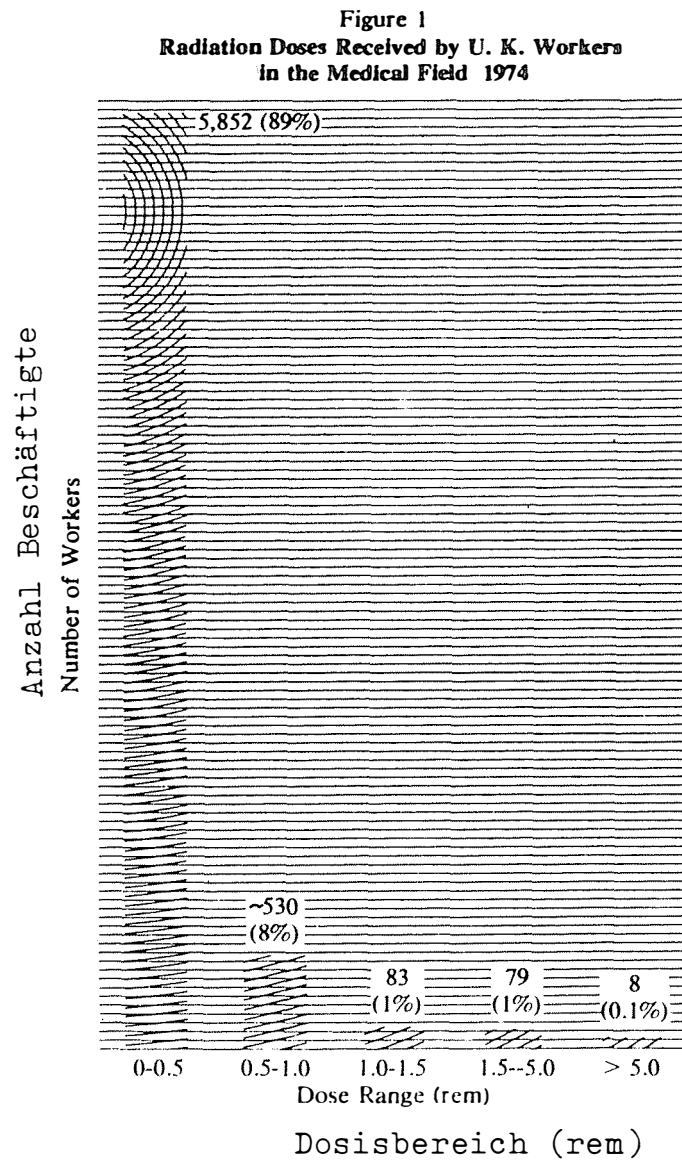
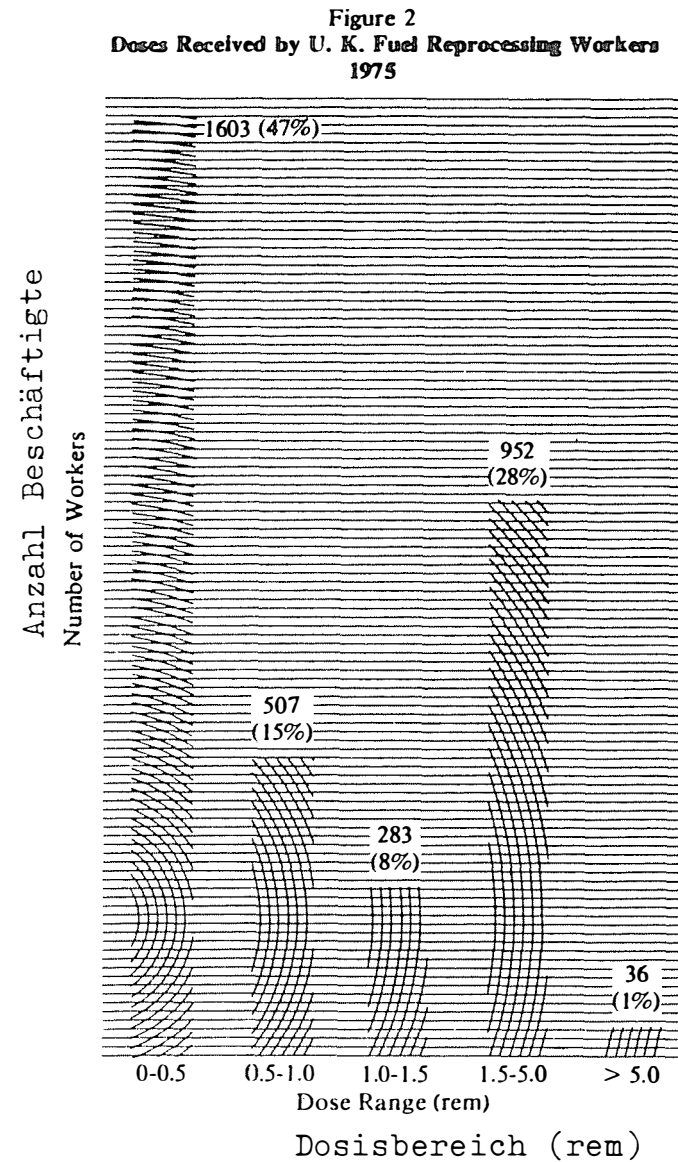


Abb. 2 Dosen bei englischen Beschäftigten in der Wiederaufarbeitung 1975



Erläuterungen

In dieser Reihe werden in unregelmäßiger Folge wissenschaftliche Arbeitsergebnisse in möglichst allgemein verständlicher Darstellung vervielfältigt werden, die in den Projekten der Universität Bremen entstanden sind:

Schadstoffbelastung am Arbeitsplatz		
und in der Industrieregion	Unterweser (SAIU)	Teil A
	Weserwasser	Teil B
	Kernenergie/Energie	Teil C

(Die fortlaufende Numerierung erfolgt für jede der Unterreihen A, B und C separat)

Gelegentlich werden auch Gerichtsurteile, Übersetzungen und Manuskripte von Autoren, die nicht der Universität Bremen angehören, gedruckt werden, wenn sie in einem inhaltlichen Zusammenhang mit den Projekten der Universität stehen, weitgehend unbekannt sind und wenn ihre Publikation im Interesse der zur Zeit stattfindenden allgemeinen öffentlichen Diskussion als sinnvoll angesehen wird.

Kritische Äußerungen der Leser zu den Texten sind der Redaktion erwünscht.

Einige Autoren sind bereit, den Lesern dieser Hefte im Bedarfsfall zu gestatten, ihre Texte ohne Honorarforderungen zu reproduzieren. Dies wird jeweils im Impressum vermerkt werden.

Gegen Erstattung der Porto- und Versandkosten können Organisationen auch Bestellungen in größerer Stückzahl aufgeben.

Interessenten, die einen ständigen Bezug der Publikationen wünschen, werden gebeten, ihre Anschrift der Vertriebsstelle anzugeben. Es können auch Einzelexemplare bezogen werden. Sofern es sich bei den Veröffentlichungen nicht um kurze Stellungnahmen oder Zusammenfassungen handelt, sondern um Arbeiten mit erheblicher Seitenzahl, wird ein Unkostenbeitrag erhoben werden. Diese Publikationen werden den Beziehern dieser Reihe vorher angezeigt und auf schriftliche Bestellung ausgeliefert werden.

Titel der Schriftenreihe:
 Information zu Energie und Umwelt
 Teil A

Nr.	Verfasser, Titel	
Teil A Nr. 1	Schmitz-Feuerhake, Inge Die gesundheitliche Gefährdung durch radioaktive Strahlung	vergriffen
Teil A Nr. 2	Beschluß des Obergerichtes Lüneburg zum Atomkraftwerk Stade und Anmerkungen	—
Teil A Nr. 3	Kollert, Roland Plutonium als Umweltproblem	vergriffen
Teil A Nr. 4	Radioökologische Abwassergutachten zum Atomkraftwerk Esenshamm	vergriffen
Teil A Nr. 5	Fachgespräch 'Quantifizierbarkeit des Strahlenrisikos', veranstaltet in der Universi- tät Bremen	DM 4,— (zzgl. Versandkosten)
Teil A Nr. 6	Krüger, Eckhard H. Gutachten über die Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung des Kern- kraftwerkes Gundremmingen (KRB I u. KRB II) unter dem Aspekt der Kontaminie- rung von Nahrungsmitteln durch die Emis- sion radioaktiver Aerosole bei Normalbe- trieb	vergriffen
Teil A Nr. 7	Bätjer, Klaus; Scheer, Jens Die Atomenergie in der DDR	vergriffen
Teil A Nr. 8	Schmitz-Feuerhake, Inge Die Wirkung ionisierender Strahlung auf die Menschen	DM 3,— (zzgl. Versandkosten)
Teil A Nr. 9	Bleck-Neuhaus, Jörn Viel versprechen – wenig halten Umweltschutzpolitik bei einer Atomanlage im Land Niedersachsen	
Teil A Nr. 10	Fischer, Helmut; Herzer, Werner; Hettwig, Bernd Strahlenbelastung durch Kunstdüngerpro- duktion in Nordenham	