

WIE GEFÄHRLICH SIND KLEINE STRAHLENDOSEN?

Klaus Becker

1. Zusammenfassung

Spätestens seit dem Unfall in Tschernobyl ist die Frage nach der Wirkung kleiner Dosen ionisierender Strahlung, d.h. im Bereich der Schwankungsbreite natürlicher Expositionen, keine bloße akademische Streitfrage mehr, sondern Gegenstand erheblichen Medieninteresses mit starkem Einfluss auf unsere Energiepolitik. Die vorherrschende Hypothese der linearen Extrapolation von hohen zu niedrigen Strahlendosen ohne Schwellenwert wird jedoch zunehmend aus radiobiologischen und epidemiologischen, aber auch aus sozialen, ökonomischen und ethischen Gründen in Frage gestellt.

Eine wissenschaftlich begründete Kosten/Nutzen-Analyse, die sich auf einen Vergleich mit nachweisbaren natürlichen und zivilisatorischen Risiken konzentriert, würde wahrscheinlich nicht nur zu einer erheblichen Anhebung der zulässigen Grenzwerte, sondern auch zu Kostensenkungen in Milliardenhöhe und einer erhöhten Akzeptanz aller friedlichen Strahlennutzungen einschließlich der Kernenergie führen.

2. Einleitung

Vor fast einem halben Jahrtausend erwähnte der bedeutende Arzt Paracelsus erstmalig eine Lungenkrankheit im sächsischen Silberbergbau, von der man inzwischen weiss, dass sie mit den enormen Radonkonzentrationen in den Stollen zusammenhing – das Problem des “Schneeberger Lungenkrebses” tauchte im Uranbergbau der ersten Nachkriegsjahre in der gleichen Gegend erneut auf, als Äquivalentdosen von mehr als 3 Sv pro Jahr in der damaligen Wismut S.A.G eher die Norm als die Ausnahme waren. Es war aber auch Paracelsus, der den Satz prägte, dass “die Dosis das Gift macht”.

Tatsächlich gibt es kaum ein Agens oder einen Umwelteinfluss, von dem in sehr hohen Dosen keine Gesundheitsgefahr ausgeht, selbst wenn dieses Agens in kleinen Dosen völlig harmlos oder sogar lebensnotwendig ist – Spurenelemente sind ein typisches Beispiel. Es wird nun zunehmend deutlich, dass ionisierende Strahlung, mit der sich das Leben auf der Erde entwickelt hat, im Gegensatz zu den Hypothesen, die den derzeitigen Empfehlungen internationaler Gremien und einschlägigen Bestimmungen zugrunde liegen, keine Ausnahme von dieser Regel darstellt.

3. Beobachtungen und experimentelle Befunde

Dass Strahlung keine Sonderstellung einnimmt, hängt vor allem damit zusammen, dass die durch strahlungsbedingte Ionisationsvorgänge in der Zelle entstehenden reaktiven Sauerstoffverbindungen sich nicht von denen unterscheiden, die auch beim normalen oxidativen Zellmetabolismus entstehen. Dadurch wirken auch für Strahleneffekte körpereigene Abwehrmechanismen, die erst bei recht hohen Dosen überfordert werden. Die früher einmal befürchteten genetischen Schäden konnten beim Menschen ebenfalls nicht nachgewiesen werden, und zwar weder bei den japanischen Atombombenüberlebenden, noch in Weltgegenden mit zehnfach höherer natürlicher Strahlenexposition, was u.a. mit der sehr hohen Rate spontaner Frühaborte befruchteter Eizellen von 25-30% erklärt wird.

Selbstverständlich gibt es keine Zweifel daran, dass Dosen von mehreren Sv in hohem Maß gewebschädigend wirken können (darauf beruht u.a. die Strahlentherapie), und zwar besonders dann, wenn es sich um Ganzkörperbestrahlungen mit hoher Dosisleistung handelt. Eine ganze Anzahl von Strahlenunfällen und die Erfahrungen der frühen Röntgenärzte und Radium-Zifferblattmalerinnen belegen dies ebenso wie die bislang etwa dreißig Strahlentoten durch den Tschernobyl-Unfall oder die ca. 500 zusätzlichen Krebstoten (entsprechend einer etwa fünfprozentigen Erhöhung der Krebsmortalität) unter den Überlebenden mit einer Dosis von mehr als 200 mSv¹ in Japan. Diese nun über 50 Jahre lang genauestens studierte Gruppe dient als Hauptgrundlage unserer derzeitigen Strahlenschutzbestimmungen, bei denen man von den in Hiroshima und Nagasaki beobachteten Effekten linear zur Nulldosis extrapoliert.

Ein solches Vorgehen wird aber von vielen Fachleuten als unzulässig angesehen. Eine extreme Kriegssituation in einer völlig zerstörten Stadt mit weit dominierenden thermischen, mechanischen und Druckauswirkungen, hohen Dosen und Dosisleistungen in einem komplexen und immer noch ungenau bekannten gemischten Strahlenfeld, verbunden mit hohem psychischem Stress, dem Zusammenbruch aller sozialen und medizinischen Strukturen usw. ist kaum vergleichbar mit einem normalen europäischen Arbeitsplatz. Es überrascht deshalb nicht, dass man auch nach Jahrzehnten intensiver Forschung in Gegenden mit sehr hoher natürlicher Strahlenexposition (teilweise über 20 mSv jährlich anstatt der im Mittel etwa 2 mSv in Deutschland), z.B. in Indien, Brasilien, China, Iran und im Erzgebirge, keinerlei nachteilige Gesundheitseffekte wie erhöhte Krebsmortalität und Missgeburtenrate oder geringere Lebenserwartung beobachten konnte. Selbst unter den A-Bomben-Überlebenden fehlt jeder Hinweis auf Strahlenfolgen unterhalb 200 mSv². Es gibt allerdings Indizien, dass möglicherweise Expositionen im Bereich von nur 50 mSv in einer empfindlichen Phase der Embryonalentwicklung nachteilige Folgen haben können, so dass bei bestimmten strahlenmedizinischen Maßnahmen im 3. bis 4. Schwangerschaftsmonat besondere Zurückhaltung geboten ist.

¹ W. F. Heidenreich, H. G. Paretzke, P. Jacob, D. A. Pierce, D. L. Preston: No evidence for increased tumor rates below 200 mSv in the atomic bomb survivor data; Radiat. Environm. Biophys. 36,1997, S. 205-210

² ebenda

Andererseits häufen sich in der Fachliteratur zunehmend Hinweise, dass die Krebsrate mit moderat zunehmender Strahlenexposition nicht zunimmt sondern im Gegenteil zunächst abnimmt. Eine der bekanntesten weil umfangreichsten Studien dieser Art, die fast 90% der U.S.-Bevölkerung umfaßt³, zeigt sowohl für männliche wie auch für weibliche Amerikaner nicht die von der International Commission for Radiological Protection (ICRP) angenommene Erhöhung durch erhöhte Radonkonzentrationen, sondern eine deutliche Verminderung der Lungenkrebsmortalität mit zunehmender Radonkonzentration in den Wohnungen (Abb. 1). Dieser Effekt ändert sich auch nicht durch Berücksichtigung des dominierenden Einflusses des Rauchverhaltens auf die Lungenkrebshäufigkeit.

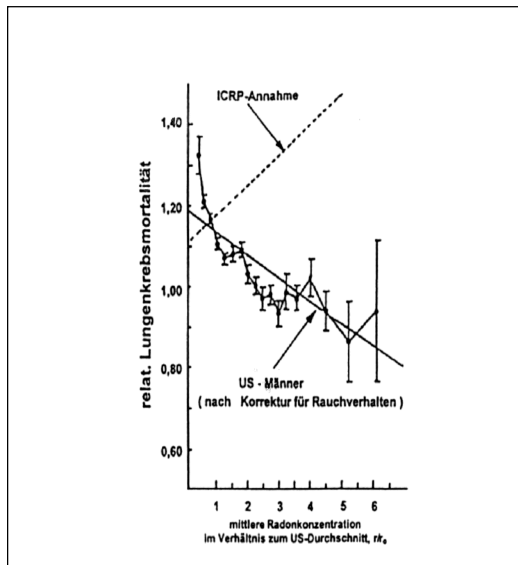


Abb. 1: Lungenkrebsmortalität der männlichen Bevölkerung in 1601 Bezirken der USA als Funktion der Radonkonzentration in Gebäuden nach Korrektur für das Rauchverhalten im Vergleich mit den nach ICRP zu erwartenden Werten (die Resultate für Frauen sind analog)⁴.

³ B. L. Cohen: Test of the LNT theory of radiation carcinogenesis in the low dose-rate region; Health Phys. 68, 1995, S. 157-174

⁴ ebenda

Studien an nichtrauchenden Frauen in den Uranbergbaugebieten der ehemaligen DDR mit teilweise sehr hohen Radonkonzentrationen in Wohnhäusern zeigen das gleiche⁵: Die Lungenkrebsrate ist nicht höher, sondern nur etwa halb so hoch wie im DDR-Durchschnitt. Diese Befunde werden erhärtet durch Ergebnisse an der Columbia University⁶, wonach bei Personen, die aus medizinischen Gründen mit externer Röntgen- und Gammastrahlung exponiert wurden, ein Schwellenwert für die Lungenkrebshäufigkeit von 2 Gy gefunden (Abb. 2) und daraus gefolgert wird, dass “der Nachweis für kein und wahrscheinlich ein negatives Risiko für Lungenkrebs im Bereich kleiner Dosen nicht nur der Linearität widerspricht, sondern auch alle Risikoabschätzungen, die auf nicht-gleichförmiger Bestrahlung beruhen, ungültig macht.”

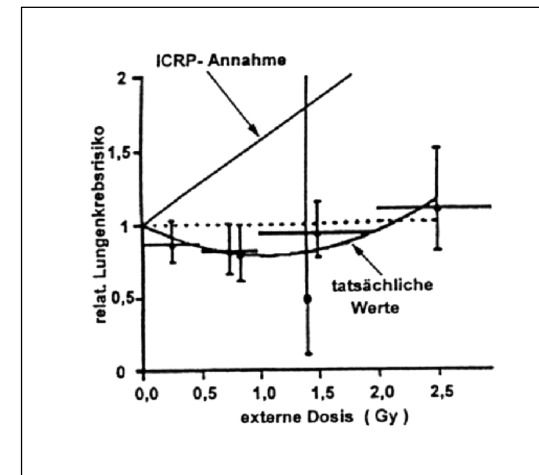


Abb. 2: Relatives Lungenkrebsrisiko als Funktion äußerer Strahlenexposition mit Röntgen- und Gamma-Strahlung im Vergleich mit den ICRP-Erwartungswerten⁷.

Selbst das weithin als Supergift verteilte Plutonium (tatsächlich sind viele bekannte Naturprodukte wie Bakterien-, Tier- und Pflanzengifte um viele Größenordnungen toxischer) zeigt nicht nur im Tierversuch (vgl. Abb. 3), sondern nach Analysen der Arbeiter in der russischen

⁵ K. Becker und W. Schüttmann: Was ist eigentlich aus dem Radon geworden?; Strahlenschutzpraxis 4, Heft 1, 1998, S. 54-58

⁶ H. H. Rossi, M. Zaider: Radiogenic lung cancer: The effect of low doses of low-LET radiation; Radiat. Environ. Biophys. 36, 1997, S. 85-88

⁷ ebenda

Kernwaffenproduktion auch beim Menschen bei Inhalation als Oxid einen Schwellenwert von 0.8 Gy (Abb. 4), was nach den offiziellen Annahmen einer Dosis von 16 Sv entspricht¹⁸.

Damit werden also nicht nur die Hypothesen der Linearität und schwellenlosen Strahlungswirkung, sondern auch das Konzept der Äquivalentdosis (Zusammenfassung gewichteter Teilkörperdosen zu einem "äquivalenten" Summenwert), das sich in der abgeleiteten Einheit Sv niederschlägt, in Frage gestellt. Auf die Fragwürdigkeit der ebenfalls auf der Linearitätshypothese beruhenden "Kollektivdosis" wird noch zurückzukommen sein.

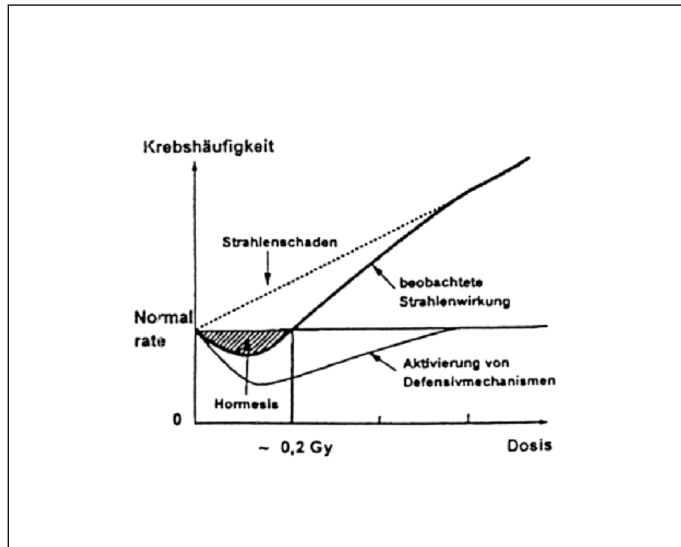


Abb. 3: Schematische Darstellung der Überlagerung von Strahlenschäden mit der Aktivierung von Defensivmechanismen im Bereich kleinerer Strahlendosen⁹

8 Z. B. Tokarskaya et al.: Multifactorial analysis of lung cancer dose-response relationships for workers at the Mayak nuclear enterprise; Health Phys. 73,1997, S. 899-905

9 L. Feinendegen: Vortrag Internat. Konf. "Radon und Gesundheit"; Bad Hofgastein Sept. 1998, im Druck

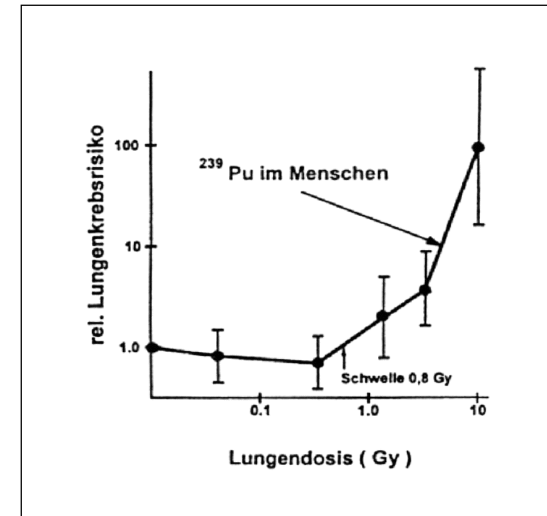


Abb. 4: Lungenkrebsrate als Funktion der Lungendosis durch inhaliertes Plutoniumoxid bei russischen Nucleararbeitern¹⁰

Doch wie lassen sich solche Befunde erklären? Zunächst ist festzustellen, dass sich (ähnlich wie bei den japanischen Studien) die Verhältnisse in den Frühjahren des Uranbergbaus nicht auf die in Wohnhäusern übertragen lassen. Die Bergarbeiter waren unter für heutige Verhältnisse unfasslichen Bedingungen beim Trockenbohren, exzessiven Rauchgewohnheiten, mangelhafter Belüftung usw. sehr hohen Radonkonzentrationen ausgesetzt, außerdem erheblichen Belastungen mit Staub und toxischen Mineralstäuben, nitrosen Gasen, Dieselabgasen usw. Außerdem rauchten die Bergarbeiter weit mehr als die Durchschnittsbevölkerung, was zu offensichtlichen Synergismen in der Belastung des Bronchialepithels führte.

Trotzdem wurden aufgrund der Bergarbeiter-Befunde in verschiedenen Ländern Interventions-Richtwerte um etwa 150-400 Bq m⁻³ in Atemluft festgesetzt. Würden diese wirklich ernst genommen, müssten sie zur Evakuierung ganzer Landstriche in Finnland, Cornwall, China, im Iran und Erzgebirge führen. Damit entwickelt sich das Radon zu einem zentralen Test für die Richtigkeit der "Linearen Nichtschwelen-Hypothese" (engl. LNT= Linear No Threshold), die den derzeitigen ICRP-Empfehlungen, EU-Richtlinien und der deutschen Strahlenschutzverordnung zugrundeliegen.

10 s. Tokarskaya et al.

Aber auch andere Daten lassen an der Richtigkeit dieser Hypothese zweifeln: So ist bei den Leukämiefällen unter den Hiroshima/Nagasaki-Überlebenden¹¹ deutlich eine zunächst mit zunehmender Dosis abnehmende Tendenz (Abb. 5) zu erkennen.

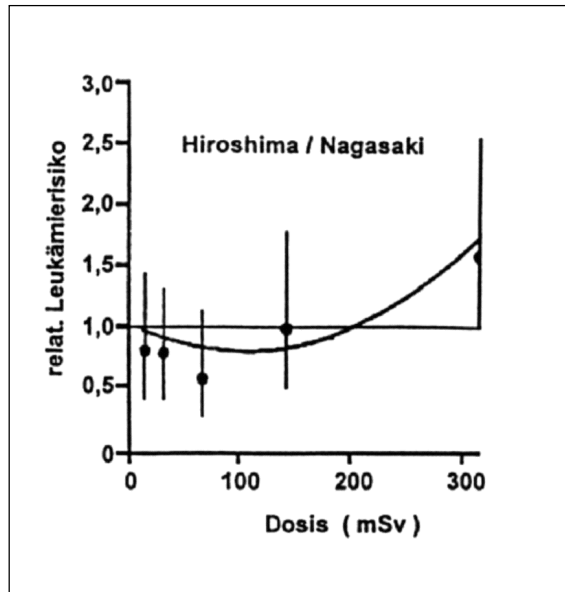


Abb. 5: Mortalitätsrisiko durch Leukämie unter den Hiroshima/Nagasaki-Überlebenden¹²

Bei der Knochenkrebserregung in Menschen (Radiumarbeiterinnen) und Versuchstieren (Abb. 6) liegt die Schwelle, ebenso wie beim Lungenkrebs für externe Röntgen- und Gammastrahlung, bei mehreren Gy. In anderen Fällen sind die Ergebnisse eher ambivalent. So wurde z.B. bei Mäusen, denen große Mengen Radium injiziert worden waren, einerseits erwartungsgemäß eine Erhöhung des Knochensarkoms um einige Prozent festgestellt, andererseits aber auch eine Verlängerung der mittleren Lebenserwartung um 20%.

¹¹ Report of the United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 1994
¹² ebenda

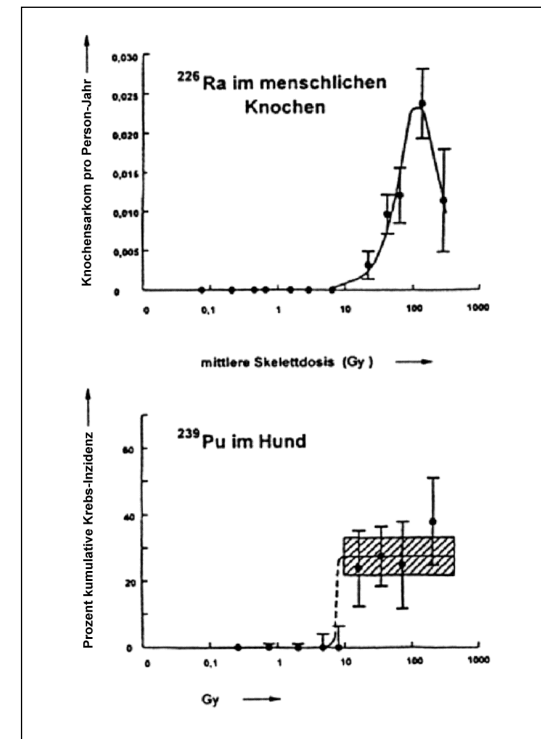


Abb. 6: Dosis-Effekt-Beziehung für radium-induzierten Knochenkrebs beim Menschen (oben) und bei Hunden (unten)¹³

4. Erklärungsmöglichkeiten

Die komplexen biophysikalischen und biochemischen Vorgänge, die hier auf molekularer und zellulärer Ebene zugrunde liegen und die zunächst wahrscheinlich dominierend positiven, später sicher überwiegend negativen Strahleneffekte erklären, sind bisher noch nicht vollständig aufgeklärt. Anscheinend werden durch kleinere Dosen zunächst Defensiv- und Reparaturmechanismen aktiviert. Diese Wechselwirkung wurde in Abb. 3 schematisch dargestellt.

¹³ S. Kondo: Effects of low-level radiation; Kinki University Press 1993 (ISBN 0-944838-43-X)

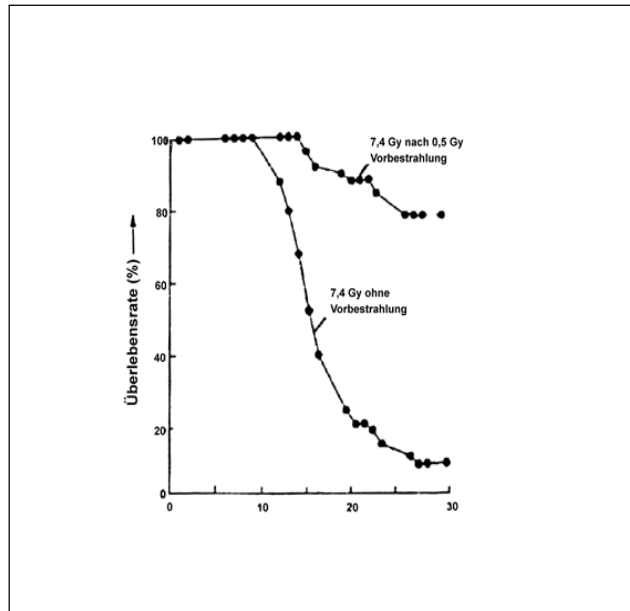


Abb. 7:
Überlebensraten von Mäusen nach Bestrahlung mit 7.4 Gy Röntgenstrahlung hoher Dosisleistung ohne Vorbestrahlung (untere Kurve) und bei Bestrahlung zwei Wochen nach einer Vorbestrahlung mit 0.5 Gy¹

Der bekannte Effekt des “Adaptive Response”, dem der UNSCEAR-Bericht von 1994¹⁴ 87 Seiten mit 400 Literaturhinweisen widmet, ist eine von vielen Erklärungsmöglichkeiten. Abb. 7 zeigt als Beispiel, wie die Überlebensrate von Mäusen, die nach einer Dosis von 7.4 Gy nach einem Monat weniger als 10% beträgt, durch eine Vorbestrahlung mit 0.5 Gy um das Achtfache gesteigert werden kann¹⁵. Andere Studien zeigten, dass nach einer Vorbestrahlung auch die karcinogene Wirkung chemischer Agenzien herabgesetzt wird.

Zu erwähnen ist auch, dass sich im Körper eines Erwachsenen stündlich etwa 20 Millionen “natürliche” radioaktive Zerfälle ereignen. Diese tragen allerdings nur sehr gering zu den durch den Metabolismus (freie Radikale usw.) und thermische Instabilität bedingten etwa 10.000 Mutationen pro Zelle und Stunde (das sind bei etwa 7×10^{13} Zellen im Körper des durchschnittlichen

¹⁴ Report of the United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 1994
¹⁵ Z. Jaworowski, All the Chernobyl deaths; Nukleonika, im Druck

Europäers etwa 7×10^{17} Mutationen pro Tag oder 10^8 Mutationen pro Zelle und Jahr) bei. Diese Einzel- und Doppelstrangbrüche in der DNA kompensiert der Körper sehr erfolgreich durch vielfältige Schadenskontrollsysteme, von der Zelldetoxifizierung über DNS-Reparatursysteme und Apoptosis, einen selbst-programmierten Zelltod, der stündlich viele Millionen von Körperzellen ohne makroskopische Negativfolgen eliminiert, bis hin zum Immunsystem, das veränderte Zellen erkennen und beseitigen kann¹⁶

Angesichts der langen Generationenspanne beim Menschen von etwa 30 Jahren sind beträchtliche Redundanzen gegen schädliche Einflüsse aller Art entstanden. Mit den ca. 100 Millionen aus anderen Gründen entstehenden DNS-Schäden pro Zelle und Jahr ist zu vergleichen, dass bei einer Exposition von 1 mGy Röntgenstrahlung pro Jahr jede Zelle nur einmal von einem Compton-Elektron getroffen wird. Damit ist es durchaus möglich, dass eine Stimulierung von Abwehr- und Reparatursystemen durch ionisierende Strahlung mehr anderweitig verursachte Schäden kompensiert, als sie selbst verursacht, und ein per saldo biopositiver Effekt zu erklären ist.

5. Konsequenzen der derzeitigen Strahlenschutzregeln

Trotz dieser bekannten Fakten, und ohne jeden Nachweis von Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlen im weiten Bereich natürlicher Expositionen, hat die Expertengruppe ICRP in ihrem Bericht 60 von 1990, der als Grundlage für die “Basic Safety Standards” von IAEA, WHO und EU diente, sich mehrheitlich für die überaus konservative Annahme einer linearen Dosiswirkung ohne Schwelle entschieden.

Damit hängt eng das Konzept der Kollektivdosis (Aufsummierung aller Individualdosen einer Personengruppe oder Bevölkerung) zusammen, das ursprünglich zur Vereinfachung der Buchführung für bestimmte Fälle entwickelt worden war, hauptsächlich zur Bewertung der Dosis von beruflich Strahlenbeschäftigten. Die Grundannahme des “Ein-Elektron-kann-Sietöten” lief dann in der Praxis jedoch oft praktisch auf eine Multiplikation von Null mit Unendlich hinaus, wodurch man beispielsweise in der nördlichen Hemisphäre tausende oder mehr potentielle Tschernobyltote “errechnet”. Tatsächlich liegt die Zahl der primär durch ionisierende Strahlung verursachten Mortalitäten über zwölf Jahre nach dem Unfall, einschließlich der Kinder-Schilddrüsenkarzinome, glücklicherweise immer noch unter vierzig¹⁷.

¹⁶ L. Feinendegen: Vortrag Internat. Konf. “Radon und Gesundheit”; Bad Hofgastein Sept. 1998, im Druck;
 J. Muckerheide and T. Rockwell: The Hazards of U.S. Policy on Low-Level Radiation; 2th century, Fall 1997, S. 16-25

¹⁷ Z. Jaworowski, All the Chernobyl deaths; Nukleonika, im Druck;
 K. Becker: Some social, economical and political effects in Western Europe; Proceed. Chernobyl Summing-up Conference, May 1996, IAEA Wien

Trotzdem werden in Deutschland, basierend auf der unbewiesenen LNT-Hypothese, nach wie vor DM 200.000 zur Vermeidung einer jährlichen Individualdosis von einem Sv ausgegeben, und zwar mit einer Untergrenze von 0.00001 Sv, d.h. von etwa dem zweihundertsten Teil der mittleren natürlichen Exposition. Das führt dann beispielsweise bei der Wismut-Sanierung im Erzgebirge oder beim Rückbau kerntechnischer Anlagen in Greifswald oder Karlsruhe, sowie bei Transport und Beseitigung radioaktiver Abfälle zu unnötigen mehrstelligen Milliardenkosten¹⁸.

Nachfolgend seien nur einige deutsche Beispiele genannt (die Liste lässt sich leider, auch mit Beispielen aus anderen Ländern, fast beliebig verlängern):

1. Nach dem Tschernobyl-Unfall wurden in Deutschland landwirtschaftliche Produkte im Werte von ca. 400 Mill. DM vernichtet, einschließlich Milch in Hessen, deren Gehalt an I-131 mit 20 Bq/l bei einem Fünftel der natürlichen Radioaktivität durch K-40 lag. Die "Strahlenmolke", mit einer Aktivität geringer als die von Phosphatdünger, kostete zur Verblüffung der Fachwelt den deutschen Steuerzahler etwa 70 Mill. DM¹⁹.
2. Die Rückbaukosten der WAK in Karlsruhe werden auf etwa das 30-fache der Baukosten geschätzt, einschließlich einer etwa 400 Mill. DM teuren Anlage zur Verglasung von 80 m³ flüssiger Abfälle, die man ebensogut in der nur etwa 350 km entfernten, etwa ein Zehntel so teuren und mit deutscher Technik errichteten PAMELA-Anlage in Mol hätte behandeln können.
3. Für inzwischen zweistellige Millionensummen werden Studien durchgeführt über "Leukämie-Cluster", die seit über 70 Jahren bekannt sind und zuerst im Umfeld einer katholischen Kirche in Chicago beschrieben wurden, und deren negative Resultate für Fachleute von Anfang an feststanden. Ähnliche Beispiele gibt es auch in der Radon-Epidemiologie.
4. Nicht zuletzt durch breit publizierte Behauptungen eines Außenseiters über exorbitante Qualitätsfaktoren für schnelle Neutronen gelang es, die Kosten für einen einzigen CASTOR-Transport auf das Vielfache der Gesamtkosten eines finnischen Endlagers von 30 Mill. DM zu steigern.

6. Neue Stimmen

Es ist unter diesen Umständen nicht verwunderlich, dass sich inzwischen nicht nur eine Vielzahl prominenter Fachleute, sondern auch wichtige Verbände und Institutionen klar gegen die LNT-Hypothese und das Kollektivdosis-Konzept ausgesprochen haben. Hierzu gehört die Französische Akademie der Wissenschaften, die im Oktober 1995 in ihrem Bericht Nr.34 zu der neuen EU-

¹⁸ K. Becker: Schwelle oder Nicht-Schwelle - ist das hier die Frage?; Strahlenschutzpraxis 3, 1997, S. 14-21

¹⁹ Z. Jaworowski, All the Chernobyl deaths; Nukleonika, im Druck

Grundnorm feststellte: "Es gibt keine wissenschaftlichen Daten, welche die Reduktion der Bevölkerungsdosis (von bisher 5) auf 1 mSv pro Jahr empfehlenswert machen würde." Dazu ist anzumerken, dass in Deutschland schon seit längerer Zeit das Limit bei je 0.3 mSv bei Luft- und Wasserpfad liegt.

Die größte und älteste Strahlenschutz-Gesellschaft der Welt, die Health Physics Society, stellte im März 1996 in einem "Position Statement" fest, dass "unterhalb 100 mSv das Risiko von Gesundheitsschäden entweder zu klein ist, um festgestellt zu werden, oder nicht existiert.... Es gibt schwerwiegende Gründe dafür, dass das LNT-Modell eine übergroße Vereinfachung der Dosis-Wirkungs-Beziehung darstellt und zu einer Verschätzung der Gesundheitsrisiken kleiner Strahlendosen führt.... Wenn in der Bevölkerung alle Personen Dosen von weniger als 100 mSv zusätzlich zur natürlichen Strahlenexposition erhalten, sollte die Kollektivdosis nicht zur Quantifizierung von Gesundheitsrisiken herangezogen werden." Dem hat sich inzwischen auch die kanadische Strahlenschutzvereinigung angeschlossen.

Schon 1980 sagte Lauriston S. Taylor, u.a. als ehemaliger Vorsitzender von ICRP und NCRP einer der Väter des modernen Strahlenschutzes, dass "niemand bei Beachtung der ersten, 1934 von NCRP und ICRP festgelegten Grenzwerte nachweisbare Strahlenschäden erlitten hat", und folgert: "Die Anwendung der LNT-Theorie für die Berechnung der Kollektivdosis ist ein zutiefst unmoralischer Missbrauch unseres wissenschaftlichen Erbes."

Einige weitere Zitate prominenter Fachleute:

- Z. Jaworowski, ehemaliger Vorsitzender von UNSCEAR: "Das Nichtschwellen-Prinzip gehört in den Bereich der Verwaltung und ist kein wissenschaftlicher Grundsatz."
- R. Yalow, Nobelpreisträgerin für Medizin: "Es gibt keinerlei reproduzierbare Hinweise auf nachteilige Gesundheitseffekte durch Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition um einen Faktor von 5 bis 10. Die übermäßige Sorge um Strahlung behindert ernsthaft den Einsatz von Strahlung und Radioaktivität in Medizin, Wissenschaft und Industrie."
- Ph. H. Abelson, Herausgeber von SCIENCE: "Die derzeitige Mode der Extrapolation von hohen zu niedrigen Dosen ist falsch für Chemikalien wie auch für Strahlung. Die Bevölkerung wurde unnötig verängstigt und betrogen, und hunderte von Milliarden Dollar wurden vergeudet."
- G. Walinder, ehemaliger Mitarbeiter von Rolf Sievert, UNSCEAR usw.: "Es ist absolut notwendig, die überholte und falsche LNT-Hypothese abzuschaffen, weil sie auf keinen Fall als Vorsichtsmaßnahme angesehen werden kann, sondern im Gegenteil eine Gefahr für Gesundheit und Leben von Mensch und Umwelt darstellt. Strahlenschutz wurde zum Gesundheitsrisiko."
- M. Goldman, Ex-Präsident der Health Physics Society: "Es ist an der Zeit, dem alten Lehrsatz, dass das Krebsrisiko stets der Dosis, und sei sie noch so klein, proportional ist, wissenschaftlich zu widersprechen."

- J. A. Simmons and D. E. Watt, zwei namhafte britische Strahlenwissenschaftler, fordern in einem neuen Buch "Radiation Protection Dosimetry - a Radical Reappraisal" (Med. Phys. Publ. 1999) die Abschaffung der absorbierten Energie pro Masseneinheit als Grundlage der Dosimetrie und folgern: "Das Postulat einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ist bestenfalls eine grobe Vereinfachung und schlimmstenfalls eine extrem teure Überschätzung des Risikos."

Auch diese Liste läßt sich fast beliebig verlängern²⁰. Inzwischen haben sich auch Politiker diesen Einsichten nicht verschließen können. So bemerkte A. Merkel als Präsidentin der großen Wiener Tschernobyl-Konferenz im Mai 1996 vorsichtig, dass "die Strahlenempfindlichkeit von Gesellschaften die von Individuen weit überschreitet". Der amerikanische Senator P. V. Domenici formulierte es bei einer vielbeachteten Ansprache an der Harvard University am 31.10.1997 etwas ausführlicher: "Wir regeln Expositionen mit kleinen Strahlendosen auf Basis des sogenannten linearen Nichtschwellen-Modelles, das aussagt, es gäbe keinen "sicheren" Wert für Expositionen. Unser Modell zwingt uns, Strahlung bis zu fast einem Prozent der natürlichen Exposition zu regulieren ohne Berücksichtigung der Tatsache, dass die natürliche Strahlung in den USA um 50% variiert. Andererseits glauben viele Wissenschaftler, dass lebende Zellen nach Millionen von Jahren natürlicher Bestrahlung sich so an niedrige Strahlendosen angepasst haben, dass diese sehr wenig oder gar keinen Schaden verursachen. Tatsächlich zeigen einige Untersuchungen, dass genau das Gegenteil richtig ist, nämlich dass niedrige Strahlendosen sogar die Gesundheit verbessern können. Die Wahrheit ist wichtig."

Selbst der Vorsitzende der überaus konservativen ICRP und Direktor des britischen Strahlenschutzinstitutes NRPB R. Clarke schlug kürzlich eine Diskussion über neue Grenzwertkonzepte vor, die eine Entschärfung der LNT- und Kollektivdosisdebatte bewirken sollen. Danach sollen dann, wenn das am höchsten exponierte Mitglied eines Kollektivs nicht gesundheitlich gefährdet ist, die Expositionen aller anderen Kollektivmitglieder vernachlässigt werden, mit einem möglichen Grenzwert als Teil oder Vielfaches der natürlichen Exposition. Offensichtlich kommt das Gespräch zwischen den eher "fundamentalistischen" und den "pragma-

20Proceed. ANS/ENS Internat. Meet., Washington Nov. 1996 und ANS Meet. Orlando, June 1997;
J. Muckerheide: The health effects of low-level radiation: Science, data, and corrective action; Nucl. News, Sept. 1995, S. 26-39;
T. Rockwell: What's wrong with being cautious?; Nucl. News, June 1997, S. 28-32;
M. Pollycove: The rise and fall of the LNT hypothesis; Nucl. News, June 1997;
G. Walinder: Has Radiation Protection Become a Health Hazard?; Nyköping 1995 (ISBN 91-630-2492);
S. Kondo: Effects of low-level radiation; Kinki University Press 1993 (ISBN 0-944838-43-X);
Z. Jaworowski: Stimulating effects of ionizing radiation: New issue for regulatory policy; Regulat. Toxicology and Pharmac. 22, 1995, S. 172-179 - s. auch Nukleonika 40, 1995, S. 3-12;
A. Brodsky: Radiation Risks & Uranium Toxicity; RSA Publications 1996 (ISBN 0-9630191-2-0);
W. A. Mills: Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides.; in: Radiation Dosimetry; HPS Summer School 1994, S. 609-632;
B. L. Cohen: Turning the tide of public opinion on nuclear power; Nucl. News, April 1997, S. 26-29;
D. Schwarz: Ethical issues in radiation protection, continued; Health Phys. 75 (2), 1998, S. 183-186

tischen" Strahlenschutzfachleuten über eine sinnvollere Kosten/Nutzen-Analyse auf diesem Gebiet international in Gang, und verschiedene große Konferenzen, in Tokyo und Versailles 1999 und in Hiroshima 2000, sind diesem Dialog gewidmet.

7. Die deutsche Haltung in der LNT-Kontroverse.

Die Haltung der deutschen Experten und zuständigen Gremien in dieser hochaktuellen und wichtigen Diskussion war bisher recht zurückhaltend. Die Hauptgründe dafür sind:

1. Große Teile auch der deutschen "radiation protection community" sind durchaus an teuren Rückbau- und Sammlungsprojekten, dem Verkauf von Strahlenschutz-Geräten und Dienstleistungen, relevanten Forschungsprogrammen, Abfallmanagement und relevanten Verwaltungs- und Beratungsprogrammen interessiert.
2. Viele kenntnisreiche Wissenschaftler sind zurückhaltend, es sich mit dem launischen "Zeitgeist" und seinen noch ausgeprägteren wissenschafts- und technikfeindlichen Tendenzen, wie sie sich in Parteien, Medien, Kirchen, Schulen usw. artikulieren, zu verderben. Sie äußern sich nur selten öffentlich, weil sie (oft nicht zu Unrecht) befürchten, dass das Schwimmen gegen diesen Zeitgeist berufliche oder private Nachteile mit sich bringen könnte. Wichtige Ausnahmen – meist bereits außerhalb beruflicher Zwänge befindlicher – prominenter internationaler Fachleute²¹ bestätigen eher diese Regel.
3. Selbst dann, wenn die Notwendigkeit von grundsätzlichen Änderungen der gegenwärtigen Situation unter den Fachleuten völligen Konsens findet, würden die entsprechenden Änderungen der Gesetze, Verordnungen usw. – besonders unter Berücksichtigung europäischer und globaler Harmonisierungsgebote – einen beträchtlichen Zeit- und Verwaltungsaufwand beinhalten. Dabei ist die autobiographische Bemerkung von Max Planck (1946) von nur geringem Trost: "Neue wissenschaftliche Wahrheiten setzen sich nicht durch die Überzeugung der Opponenten durch, und durch deren Anerkennung ihrer Irrtümer. Sie sterben langsam aus und werden durch eine neue Generation, welche die Wahrheit kennt, ersetzt". Leider ist dies ein langsamer Prozess.

21 Z.B.: T. Rockwell: What's wrong with being cautious?; Nucl. News, June 1997, S. 28-32;
M. Pollycove: The rise and fall of the LNT hypothesis; Nucl. News, June 1997;
G. Walinder: Has Radiation Protection Become a Health Hazard?; Nyköping 1995 (ISBN 91-630-2492);
S. Kondo: Effects of low-level radiation; Kinki University Press 1993 (ISBN 0-944838-43-X)

8. Die ethische Frage

Abschließend erscheint das Problem der Bewertung kleiner Strahlendosen nicht zuletzt als eine wichtige ethische Fragestellung:

- Sollte man tatsächlich auch "Risiken" mit erheblichen volkswirtschaftlichen Mitteln zu mindern versuchen, die entweder gar nicht existieren oder doch so gering sind, dass sie sich trotz erheblicher Bemühungen in den letzten Jahrzehnten bislang jedem Nachweis entziehen konnten?
- Könnten die dafür eingesetzten Mittel nicht erheblich sinnvoller zur Lösung durchaus realer Gesundheits- und sozialpolitischer Probleme eingesetzt werden – nicht nur in Deutschland, sondern vielleicht mit einem noch viel günstigeren Kosten/Nutzen-Verhältnis in Entwicklungsländern?
- Wie ist das Kosten/Nutzen-Verhältnis im Strahlenschutz im Vergleich zum Umgang mit anderen natürlichen und zivilisatorischen Risiken – sei es durch die Risiken anderer Energiequellen einschließlich Emissionen, Gruben- und Transportunfällen, aber auch in den chemischen und anderen Technologiezweigen?
- Welche weiterreichende Folgen hat eine öffentlich propagierte Radiophobie, beispielsweise in Bezug auf Zehntausende zusätzlicher Abtreibung besorgter Frauen in Westeuropa in den Monaten nach dem Tschernobyl-Unfall, oder auf Patienten, welche aus Strahlenfurcht dringend erforderliche radiodiagnostische, nuklearmedizinische oder therapeutische Maßnahmen verweigern – bis hin zu geopolitischen Fragen wie Klimaänderungen und ihre Folgen, Verschuldung armer Entwicklungsländer und sinnlose Vergeudung wertvoller petrochemischer Grundstoffe²²? Übrigens: Ein Kollege, D. Schwarz aus Dortmund, hat kürzlich privat einen Preis von DM 100.000 für den Nachweis ausgelobt, dass ein Atomausstieg ethisch verantwortbar sei.
- Und nicht zuletzt: Wie hätte man die Entwicklung wissenschaftlich nicht fundierter, primär buchhaltungstechnischer Konzepte, wie im vorliegenden Fall LNT und Kollektivdosis, in enorm kostspielige gesetzliche Maßnahmen verhindern können, und wie kann man solche Entwicklungen in Zukunft vermeiden? Oder anders formuliert: Wie kann man die Degeneration von Empfehlungen sachkundiger, wenn auch sehr vorsichtiger Fachleute in ICRP und anderen internationalen Gremien zu formal und ohne Rücksicht auf Verhältnismäßigkeit alzuwendenden Rechtsnormen und Verwaltungsvorschriften rückgängig machen? Und wie ist zumindest das alte ICRP-Prinzip ALARA (...= so niedrig wie *vernünftigerweise* unter Berücksichtigung aller ökonomischen und sozialen Faktoren erreichbar), das in seinem langen Weg durch die bürokratischen Instanzen häufig zu "so niedrig wie möglich ohne Rücksicht auf die Kosten" wurde, wieder mit dem wichtigsten Wort "vernünftig" anreichern? Vor allem aber: Wie lässt sich der

²² T. Rockwell: What's wrong with being cautious?; Nucl. News, June 1997, S. 28-32;
D. Schwarz: Ethical issues in radiation protection, continued; Health Phys. 75 (2), 1998, S. 183-186

Primat abwägender Vernunft über Ideologie, Zeitgeist und Politik wieder herstellen? Aber diese Frage, den Standort Deutschland grundsätzlich betreffend, reicht natürlich weit über Strahlung und Strahlenschutz und die damit eng verbundene Frage der Akzeptanz der Kernenergie hinaus.

Literaturhinweise

(vorwiegend neuere zusammenfassende Darstellungen mit weiterführenden Hinweisen):

Der Verfasser ist zahlreichen Kollegen, insbesondere Prof. Dr. L. Feinendegen, Dr. E. Roth, Prof. Dr. W. Schüttmann, Prof. Dr. D. Schwarz und Prof. Dr. W. Stoll zum Dank für wertvolle Hinweise verpflichtet. Eine frühere Fassung dieses Vortrages wurde nach Verabschiedung durch den Vorstand der Deutschen Kerntechnischen Gesellschaft veröffentlicht:

K. Becker und E. Roth: Zur Wirkung kleiner Strahlendosen, atw 43(10), 616-620, 1998.

K. Becker: Some social, economical and political effects in Western Europe; Proceed. Chernobyl Summing-up Conference, May 1996, IAEA Wien

K. Becker: Schwelle oder Nicht-Schwelle - ist das hier die Frage?; Strahlenschutzpraxis 3, 1997, S. 14-21

K. Becker und W. Schüttmann: Was ist eigentlich aus dem Radon geworden?; Strahlenschutzpraxis 4, Heft 1, 1998, S. 54-58

A. Brodsky: Radiation Risks & Uranium Toxicity; RSA Publications 1996 (ISBN 0-9630191-2-0)

B. L. Cohen: Test of the LNT theory of radiation carcinogenesis in the low dose-rate region; Health Phys. 68, 1995, S. 157-174

B. L. Cohen: Turning the tide of public opinion on nuclear power; Nucl. News, April 1997, S. 26-29

L. Feinendegen: Vortrag Internat. Konf. "Radon und Gesundheit"; Bad Hofgastein Sept. 1998, im Druck

W. F. Heidenreich, H. G. Paretzke, P. Jacob, D. A. Pierce, D. L. Preston: No evidence for increased tumor rates below 200 mSv in the atomic bomb survivor data; Radiat. Environm. Biophys. 36, 1997, S. 205-210

Z. Jaworowski, All the Chernobyl deaths; Nukleonika, im Druck

S. Kondo: Effects of low-level radiation; Kinki University Press 1993 (ISBN 0-944838-43-X)

Z. Jaworowski: Stimulating effects of ionizing radiation: New issue for regulatory policy; Regulat. Toxicology and Pharmac. 22, 1995, S. 172-179 - s. auch Nukleonika 40, 1995, S. 3-12
W. A. Mills: Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides.; in : Radiation Dosimetry; HPS Summer School 1994, S. 609-632

J. Muckerheide: The health effects of low-level radiation: Science, data, and corrective action; Nucl. News, Sept. 1995, S. 26-39

J. Muckerheide and T. Rockwell: The Hazards of U.S. Policy on Low-Level Radiation; 21th century, Fall 1997, S. 16-25

M. Pollycove: The rise and fall of the LNT hypothesis; Nucl. News, June 1997

Proceed. ANS/ENS Internat. Meet., Washington Nov. 1996 und ANS Meet. Orlando, June 1997

(7) Report of the United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 1994

T. Rockwell: What's wrong with being cautious?; Nucl. News, June 1997, S. 28-32

H. H. Rossi, M. Zaider: Radiogenic lung cancer: The effect of low doses of low-LET radiation; Radiat. Environm. Biophys. 36, 1997, S. 85-88

D. Schwarz: Ethical issues in radiation protection, continued; Health Phys. 75 (2), 1998, S. 183-186

(5) Z. B. Tokarskaya et al.: Multifactorial analysis of lung cancer dose-response relationships for workers at the Mayak nuclear enterprise; Health Phys. 73, 1997, S. 899-905

G. Walinder: Has Radiation Protection Become a Health Hazard?; Nyköping 1995 (ISBN 91-630-2492)

M. Yonezawa et al.: Proceeding International Symposium on Low-level Exposures; Changchun/China 1993, S. 48

Abbildungen:

Abb. 1: Lungenkrebsmortalität der männlichen Bevölkerung in 1601 Bezirken der USA als Funktion der Radonkonzentration in Gebäuden nach Korrektur für das Rauchverhalten im Vergleich mit den nach ICRP zu erwartenden Werten (die Resultate für Frauen sind analog) (2).

Abb. 2: Relatives Lungenkrebsrisiko als Funktion äußerer Strahlenexposition mit Röntgen- und Gamma-Strahlung im Vergleich mit den ICRP-Erwartungswerten (4).

Abb. 3 : Lungenkrebsrate als Funktion der Lungendosis durch inhaliertes Plutoniumoxid bei russischen Nukleararbeitern (5).

Abb. 4: Mortalitätsrisiko durch Leukämie unter den Hiroshima/Nagasaki-Überlebenden (7).

Abb. 5: Dosis-Effekt-Beziehung für radium-induzierten Knochenkrebs beim Menschen (oben) und bei Hunden (unten) (18)

Abb. 6: Schematische Darstellung der Überlagerung von Strahlenschäden mit der Aktivierung von Defensivmechanismen im Bereich kleinerer Strahlendosen (6).

Abb. 7: Überlebensraten von Mäusen nach Bestrahlung mit 7.4 Gy Röntgenstrahlung hoher Dosisleistung ohne Vorbestrahlung (untere Kurve) und bei Bestrahlung zwei Wochen nach einer Vorbestrahlung mit 0.5 Gy (8).