

Helmut Abel

Wie gefährlich ist Radioaktivität? – Problematik des Strahlenrisikos –

Vorbemerkungen:

Radioaktivität ist zum Symbol für hochgiftig geworden. Kontakt mit Radioaktivität wird als höchste Krebsgefahr empfunden. Dieses Empfinden hat sich im Verlaufe von Jahrzehnten zu einer psychischen Epidemie entwickelt. Nicht nur Politiker, auch Wissenschaftler förderten diese Entwicklung aus unterschiedlichen Gründen (Profilierungssucht, Einwerbung von Forschungsfördermitteln). Sachkenntnis ist in der Öffentlichkeit nicht verbreitet, aber jeder hat eine Meinung. Sie wird hartnäckig verteidigt, Abweichendes der Fälschung bezichtigt.

Um das Entstehen dieser epidemischen Furcht vor Radioaktivität verstehen zu können, sei der historische Hintergrund betrachtet. Er schließt die Einführung von „Grenzwerten“ und ihre Begründungen ein, Epidemiologie und Molekularbiologie und schließt ab mit den Auswirkungen auf die Folgen von Tschernobyl.

1. Grenzwerte.

In den ersten zwei Jahrzehnten nach Entdeckung der Röntgenstrahlung und der Radioaktivität (1895/96) häuften sich Berichte über strahleninduzierte Erkrankungen bei Ärzten und Röntgentechnikern an Krebs und Leukämie. Auf dem 2. Internationalen Röntgenkongress 1928 in Stockholm wurden Schutzmaßnahmen empfohlen und aus Umfragen über Arbeitsweisen und beobachtete gesundheitliche Schäden abgeleitete so genannte **Toleranzdosen** diskutiert. Aus dem damaligen Mangel an einheitlicher physikalischer Messtechnik wurde die Toleranzdosis an Hautreaktionen (Hautrötung) orientiert. Die Wahl des Begriffs Toleranzdosis schien nicht abwegig, weil durch die Entdeckung der natürlichen Radioaktivität in Boden, Luft und Wasser sowie der kosmischen Strahlung jeder Mensch einer dauernden Exposition ionisierender Strahlung ausgesetzt ist, natürlicherweise und unvermeidlich.

Die Empfehlungen von Schutzmaßnahmen und die Beachtung von zunächst nur qualitativ definierten Toleranzdosen hatten bereits einen durchschlagenden Erfolg. Nur noch sehr vereinzelt wurden berufsbedingte Strahlenkrankungen registriert.

Durch die inzwischen entwickelte Messtechnik war es möglich geworden, die berufsbedingten Expositionen an Arbeitsplätzen einheitlich und vergleichbar zu registrieren. Außerdem konnte für den Warnwert ‚Hautrötung‘ ein ungefährer Expositionswert bestimmt werden; nach heute geltender Maßeinheit mit 2 mSv pro Tag. 1934 wurde dieser Wert als ‚Grenzwert‘ international empfohlen. Aus Mangel an tiefer gehenden Erkenntnissen über Strahlenschäden wurde er nicht als Toleranzdosis bezeichnet, sondern als **maximal zulässige Dosis**.

Die nun mögliche messtechnische Kontrolle der individuellen berufsbedingten Expositionen ergab, dass 2 mSv pro Tag an allen Arbeitsplätzen stets weit unterschritten blieb. Es war folglich problemlos möglich, einen kleineren Grenzwert zu wählen, 1 mSv pro Tag. Weil es nicht gelang, Beziehungen zwischen Grenzwert und Krebserkrankungsrate zu erkennen, wurde gleichzeitig empfohlen, ihn nicht mehr als ‚maximal zulässig‘ zu benennen, sondern darauf zu orientieren, die berufsbedingten Expositionen **so niedrig wie möglich** zu halten. In den folgenden Jahrzehnten zeigte sich, dass immer kleinere Grenzwerte gewählt werden konnten, weil sie stets problemlos einhaltbar waren. Zu keiner Zeit konnten jedoch Beziehungen zwischen den Grenzwerten und Krebsrisiken quantifiziert werden.

Inzwischen war man hinsichtlich der Messungen naturbedingter Strahleneinwirkungen zu sehr genauen Werten gelangt. Weltweit schwanken die naturbedingten Strahleneinwirkungen von etwa 2 mSv pro Jahr bis zu einigen 10 mSv pro Jahr. Obleich auch hier durch epidemiologische Studien keine Widerspiegelungen dieser Schwankungen in Krankheitsbildern gefunden werden konnten, wurde 1990 der Grenzwert (umgerechnet) auf etwa 0,1 mSv pro Tag festgelegt. Auch dieser Wert erwies sich als problemlos einhaltbar. Die Nähe zu den Werten der natürlichen Strahlenexpositionen führte nun jedoch dazu, die Formulierung ‚so niedrig wie möglich‘ durch **so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar** zu ersetzen.

Aus der zunehmend breiteren Anwendung von Strahlungsquellen, in der Medizin, der Forschung und der Industrie, einschließlich der Kernenergieindustrie, folgte die Notwendigkeit der Festlegung von Grenzwerten für die Strahlenexposition der Bevölkerung. Da es keinen Hinweis auf Krebsrisiken im beruflichen Dosis-Grenzwertbereich gab, wurden sie stets etwa um einen Faktor 10 niedriger als für berufsbedingt mit Strahlung umgehende Personen

festgelegt. Gegenwärtig liegt er mit 1 mSv pro Jahr unter den Werten der naturbedingten Strahlenexpositionen. D.h., dass die Bevölkerung schon natürlicherweise eine höhere als dem gegenwärtigen Bevölkerungs-Grenzwert entsprechende Strahlenexposition erfährt.

So verantwortungsbewusst der Wandel von **Toleranzdosis** über **maximal zulässig, so niedrig wie möglich** bis zu **so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar** erscheinen mag, Verwirrungen in der Öffentlichkeit konnten nicht ausbleiben.

2. Epidemiologie

Dass Strahlenexpositionen zu Krebserkrankungen führen können, hatte sich, wie schon erwähnt, in der Pionierzeit der Röntgendiagnostik gezeigt und war der Anlass für die Wahl von Grenzwerten. Epidemiologische Studien konnten jedoch für die Expositionsbereiche der Grenzwerte keine erhöhten Krebsrisiken sicher belegen. Als quälende Frage blieb, wie ein Risikoanstieg oberhalb der Grenzwerte verlaufen könnte. Weil Grenzwerte gesetzlich festliegen, nicht überschritten werden dürfen, schien diese Ungewissheit nicht behebbar.

Es gab jedoch eine dramatische Überschreitung, eine gewollte, 1945, in Hiroshima/Nagasaki.

Durch Feuer, Hitze- und Druckwellen stürzten spontan Wohnhäuser und Fabriken ein. Weit über hunderttausend Menschen fielen dem zum Opfer. Hinzu kamen einige tausend Todesopfer infolge extrem blitzartiger Strahlenexpositionen (bis 50.000 mSv). All das war voraussehbar und gewollt, so unvorstellbar es klingt.

Von den Überlebenden konnten etwa 80.000 Menschen in epidemiologischen Studien erfasst werden. Mit größter Sorgfalt wurden dosimetrische und klinische Daten über Jahrzehnte hinweg analysiert und versucht, eine Beziehung zwischen den erlittenen Strahlenexpositionen und den dadurch bedingten erhöhten Krebssterblichkeiten zu erkennen.

Die Studien ergaben bei Gruppen von Überlebenden mit Expositionen über 100 mSv zweifelsfreie Hinweise auf erhöhte Krebssterblichkeitsraten, zunehmend mit den Expositionswerten. Bei der größten Gruppe der Überlebenden (über 20.000 Personen umfassend), die Expositionen unter 100 mSv erfahren hatte, ergaben sich im Vergleich zur allgemeinen japanischen Bevölkerung keine sicheren Hinweise auf erhöhte Krebssterberaten. Wie der Übergang von Werten unter 100 mSv zu höheren Werten verläuft, war jedoch wiederum nicht sicher zu erkennen. Man entschloss sich für eine lineare Extrapolation vom Bereich sicher erkennbarer Risikozunahme bis zum Expositionswert Null herunter. Dies ergab die Beziehung 5% pro 1000 mSv. Sie besagt, dass bei 100

mit 1.000 mSv bestrahlten Personen (unter den Bedingungen in Hiroshima/Nagasaki) 5 strahlenbedingt an Krebs gestorben sein könnten. Daraus errechneten sich für den Bereich unter 100 mSv Krebssterberaten, die über den registrierten Raten lagen, mit der Realität also unvereinbar waren. Die Internationale Strahlenschutzkommission warnte deshalb und warnt auch heute noch davor, diese Beziehung als allgemein anwendbar für Prognosen zu werten. Doch erstmalig war eine Beziehung zwischen Dosis und Krebs formuliert. Sie wurde zum Spielball für Voraussagen über strahleninduzierbare Krebssterberaten, einschließlich den Krebsbeitrag der naturbedingten Strahlenexpositionen, der Röntgendiagnostik und der zu erwartenden Krebserkrankungen infolge der Tschernobyl-Katastrophe. Bevor betreffend Tschernobyl auf die Kluft zwischen derartigen Prognosen und den Realitäten hingewiesen werden soll, sei kurz auf Einsichten der Molekularbiologie zur Krebsentstehung eingegangen.

3. Molekularbiologie.

In den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts war eines der zentralen Themen in der Genetik die Erforschung der Ursachen spontaner Mutationen. Weder über das Gen noch über den Mechanismus der Mutation gab es konkrete Vorstellungen.

Der US-amerikanische Genetiker H. J. Muller (späterer Nobelpreisträger) entdeckte (1927/28), dass Röntgenstrahlen vererbare Mutationen induzieren können. Besonders bemerkenswert war, dass dies für alle bekannten Typen spontaner Mutationen galt. Das ließ die Vermutung nahe liegend erscheinen, in der naturbedingten ionisierenden Strahlung die Ursache der spontanen Mutationen zu sehen. Doch diese Vermutung wurde schon wenige Jahre später von Muller selbst und unabhängig von ihm zeitgleich auch in Deutschland von N. W. Timofeeff-Ressovsky und Boris Rajewski auf zwei Wegen widerlegt. Durch wirksame Abschirmungen der kosmischen Strahlung, unterschiedliche Intensitäten der Strahlung realisierend, konnte gezeigt werden, dass die spontane Mutationsrate völlig unabhängig ist von der Intensität der kosmischen Strahlung. Im Einklang damit ergab eine einfache Rechnung unter der bewusst überschätzenden Annahme, dass jede Ionisation im biologischen Objekt eine Mutation bewirkt, dass die naturbedingte ionisierende Strahlung 1.000 mal zu schwach ist, um die spontane Mutationsrate bewirken zu können. Geschlossen wurde daraus, spontane Mutationen müssen ihre Ursache in den genetischen Strukturen selbst haben.

Diese Überlegungen mündeten in den wegweisenden Vorstellungen, dass Gene periodisch geordnete riesige Atomverbände sind und spontane Mutatio-

nen auf atomaren Umlagerungen von Atomen infolge natürlicher thermodynamischer Schwankungen der Bindungsenergien im Atomverband sowie auf intrazellulären biochemischen Prozessen beruhen. Erstmals waren damit Anfangs der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts Vorstellungen über die atomare Grundstruktur der Gene formuliert worden, die in den fünfziger Jahren eine glänzende Bestätigung bei der Strukturaufklärung der DNS als dem Gerüst der Gene fanden.

Heute wissen wir, dass im Zellkern einer menschlichen Zelle von einigen μm Durchmesser die DNS gestreckt eine Länge von fast einem Meter erreicht. Das bedingt ein starkes Verdrillen der DNS im Zellkern und damit eine hohe Empfindlichkeit. Natürliche thermodynamische Schwankungen der Bindungsenergien innerhalb des Atomverbandes können Strukturstörungen bewirken. Nach aktuellen Schätzungen entstehen in der DNS einer menschlichen Zelle spontan, d.h. ohne jede äußere Einwirkung, stündlich etwa 10.000 Strukturstörungen, darunter Brüche in den Strängen der DNS und fehlerhafte Bindungen von Atomen untereinander. Wie bei so hoher spontaner Störungsrate im genetischen Apparat der Zellen diese ihre Funktionen aufrechterhalten und teilungsfähig bleiben können, blieb lange Zeit ein Rätsel. Erst mit der Entdeckung, dass in der DNS auch Informationen gespeichert sind, die der eigenen Kontrolle auf Intaktheit aller Informationen und auch der intrazellulären Reparatur erkannter Störungen dienen, löste sich dieses Rätsel auf. Die DNS ist im Zellkern in einer Vielzahl von Untereinheiten (1.000-2.000) organisiert, von der jede für sich autonom Störungen erkennen und reparieren kann. Eine Störung löst ein Signal aus, auf beiden Seiten der Störung wird die DNS enzymatisch abgebaut und ein neu synthetisierter Abschnitt wieder eingebunden. Ein geradezu sophistischer Vorgang, der innerhalb von Minuten abläuft.

Im Vergleich zur spontanen Störungsrate in der DNS von stündlich 10.000 entsteht naturbedingt strahleninduziert in hunderten von Stunden eine DNS-Störung. Das bedeutet, dass häufig neben einer strahleninduzierten Störung in einem DNS-Abschnitt gleichzeitig eng benachbart spontan entstandene DNS-Störungen liegen können, die bei der signalisierten Reparatur der strahleninduzierten Störung mit aufgehoben werden. Strahleninduzierte DNS-Störungen, solange sie vergleichsweise zu den spontanen Störungen selten auftreten, tragen also mithin über ihre Reparatur zur Begrenzung der spontanen Störungsrate bei. Diese Balance gilt auch noch im Grenzwert-Expositionsbereich und lässt verstehen, dass sich kein Krebsrisiko epidemiologisch hat belegen lassen.

Einer linearen Extrapolation von Risikowerten bis herunter zum Expositionswert Null widerspricht auch eine weitere molekularbiologische Einsicht. Seit langem schon ist bekannt, dass zwei charakteristische Merkmale Krebszel-

len auszeichnen. Während gesunde Zellen nur eine begrenzte Anzahl von Zellteilungen erleben, sind Krebszellen ‚unsterblich‘, sie teilen sich unbegrenzt weiter. Sich teilende gesunde Zellen signalisieren sich bei Erreichen von Kontakten mit Nachbarzellen Teilungsstopp, Krebszellen signalisieren sich dies nicht. Diese Merkmale weisen darauf hin, dass im Informationsspeicher der Krebszellen ganze Texte verändert oder verloren gegangen sein müssen. Das erfordert Mutationen in mehreren Genen und widerspricht gleichfalls der Annahme einer linearen Beziehung zwischen Dosis und Krebsinduktion bis zu beliebig kleinen Dosiswerten, also der Behauptung, jede noch so geringe Strahlenexposition erhöhe das Krebsrisiko. Nun zur Kluft zwischen Prognosen und Realität bezüglich Tschernobyl.

4. Tschernobyl.

Eine klinische Diagnose ‚Krebs‘ löst Ängste und Verzweiflung aus; eine Voraussage ‚Krebs‘ gleichfalls. Für Ukrainer, Russen und Weissrussen wurden zigtausende Krebserkrankungen, massenhafte Fehl- und Mißgeburten auf der Grundlage pseudowissenschaftlicher Beziehungen zwischen Strahlenexpositionen und Krebs vorausgesagt. Alle Medien griffen begierig diese Horrorszenarien auf. 20 Jahre sind seit der Katastrophe vergangen und diese Horror-Voraussagen haben sich nicht bestätigt.

In einem aus Russland vorliegenden Bericht heißt es:

Die Resultate epidemiologischer Studien zeigen, dass in der am stärksten kontaminierten Region Bryansk die Leukämie-Erkrankungsrate nicht höher ist als im Lande allgemein.

Bei soliden Tumoren wurde ebenfalls kein sicherer Hinweis auf erhöhte Raten registriert. Weil die Latenzperiode solider Tumore 10 Jahre und mehr beträgt, werden diese epidemiologischen Studien fortgeführt.

Bei kindlichen Schilddrüsenkrebserkrankungen war eine erhöhte Rate als statistisch sicher registriert worden.

Im Bericht der UN heißt es:

Mythen und Fehlauffassungen in Bezug auf die Strahlungsgefahr haben zu einem „lähmenden Fatalismus“ bei den Einwohnern der betroffenen Gebiete geführt.

Die Folgen von Tschernobyl sind für die psychische Gesundheit der Einwohner als „das größte öffentliche Gesundheitsproblem, das vom Unfall verursacht wurde, zu benennen“. Die Angst vor den gesundheitlichen Folgen der Strahlung zeigt keinerlei Abnahme.

Mehr als 350.000 Menschen sind von den am stärksten verseuchten Gebieten umgesiedelt worden, davon 116.000 sofort nach dem Unfall. Selbst wenn

die Menschen Entschädigungen für ihre Verluste, freie Unterkunft und die Wahl des Ortes ihrer Wiederansiedlung freigestellt bekamen, war die Erfahrung für sie traumatisch und hat viele arbeitslos gemacht und sie mit dem Glauben zurückgelassen, dass sie keinen Platz in der Gesellschaft haben.

Untersuchungen zeigen, dass diejenigen, die dort geblieben oder in ihre Häuser zurückgekehrt sind, mit den Nachwirkungen besser fertig wurden als jene, die umgesiedelt wurden. Spannungen zwischen den Neuansiedlern und den alten Einwohnern in den Umsiedlungsorten trugen auch zur Ächtung bei, der sich die Neuankömmlinge ausgesetzt fühlten.

Schlusswort.

Tschernobyl war eine Katastrophe, die hunderttausenden Menschen extremes Leid gebracht hat. Die beiden zitierten Berichte über die realen Folgen 20 Jahre danach besagen nicht, es sei „nicht so schlimm gewesen“. Gegenwärtig sind weltweit über 400 Kernenergieanlagen in Betrieb, wahrscheinlich noch Jahrzehnte und es könnten mehr werden. Die Risiken sind nicht als harmlos zu bewerten. Sie werden aber durch organisierte Ängste vervielfacht. Tschernobyl steht für ein Versagen von Politik und Wissenschaft.