

Die offizielle Grenzwert-Ideologie für dichtungisierende Strahlung beruht auf längst widerlegten Annahmen

Rolf Bertram

Für die Wirkung radioaktiver Strahlung auf lebende Systeme werden Modelle verwendet, die den tatsächlichen physikalischen und physiologischen Ereignisabläufen der Zerstörung von organischem Gewebe und der Beeinflussung der Stoffwechselfvorgänge nicht oder nicht hinreichend Rechnung tragen. Das gilt insbesondere für Teilchenstrahlung. Zu Gunsten von Plausibilität und bildhafter Vorstellung wird Korpuskularstrahlung als "geschossartige" Schadwirkung im Treffergebiet formuliert. Solche Modellierungen sind unkritisch aus der anorganischen Festkörpertheorie übernommen worden. Eine Übertragung dieser stark vereinfachten Vorstellungen auf hochkomplexe Strukturen und untereinander wechselwirkende Biomolekül-Verbände ist unwissenschaftlich. Die Tatsache, dass in der Spur dichtungisierender Strahlung innerhalb von Milliardstel Sekunden (z.B. allein von einem einzelnen Alphateilchen) Energiebeträge im MeV-Bereich übertragen werden, führt zu einem völlig anderen Bild und damit zu einer anderen Bewertung. Im Interesse des Strahlenschutzes ist eine Korrektur der Grenzwertabschätzung bzw. sogar eine Abschaffung der Grenzwerte ein Gebot der Stunde.

Der Chemismus der Zelle

Eine lebende Zelle ist - reaktionskinetisch betrachtet - ein dynamisches Multikomponenten-System, in dem in Bruchteilen einer Sekunde eine Vielzahl gekoppelter mehrstufiger Reaktionen abläuft. Jede Störung auch nur eines Reaktionsschrittes beeinflusst nicht nur die zugehörige Reaktion sondern wegen der Kopplung automatisch das gesamte Reaktionssystem und damit die eingespielte Eigendynamik im Stoffwechsel einer gesunden Zelle. Versuche, solche dynamischen Systeme zu beschreiben,

scheitern an der Vielzahl der vorhandenen Komponenten, an der Vielfalt möglicher Reaktionen und daran, daß in einer Zelle Phasengemische (flüssig, kolloidal, polymerisiert) und somit Grenzschichten existieren. Homogene und heterogene Reaktionen sind miteinander in fein abgestimmter Weise verwoben. Eine weitere Komplikation folgt aus der Tatsache, daß nebeneinander und quasi simultan Parallel-, Verzweigungs- und Folgereaktionen ablaufen. Eine veränderte Teilreaktion innerhalb einer Reaktionsfolge verändert den gesamten Chemismus (EGGERT 1968). Es ist bekannt, daß selbst bei einfachsten Reaktionen z.B. bei der Radiolyse von Wasser radikalische Primär- und Folgeprodukte in großer Zahl entstehen (HENGLEIN 1961). Der Zellkern nimmt nur ungefähr 10 % des Zellvolumens ein. Zu ca. 80 % besteht eine Zelle aus Wasser.

Diese reaktionsfreudigen Radikale sind in der Regel Ausgangspunkt für neue Reaktionsketten. So ist bekannt, dass z.B. das erzeugte Hydroxylradikal die DNA-Struktur u.a. durch die Bildung von modifizierten Purin- und Pyrimidin-Basen verändert. Zusätz-

Kontakt:

Prof. Dr. rer. nat. Rolf Bertram
em. Leiter des Instituts für Physikalische Chemie und Elektrochemie an der TU Braunschweig
Wiss. Koordinator des IFB-Institut für Forschung und Bildung
(www.ifb-goettingen.de)
Am Klausberge 27,
37075 Göttingen
eMail: bertramrolf@aol.com

Abstract

To explain the effect of radioactive radiations to living systems models are used which does not sufficiently correspond with the really physical and physiological mechanisms of destroying the tissues of organisms and the influences on processes of metabolism. That is especially true for the particle radiations. In order to gain plausibility and picturesque imaginations the corpuscular radiation is described as a ballistic damage in the region of the direct hit. Modelling like that are uncritically taken from the inorganic solid state theory. The transfer of those very simpliflicated imaginations on highly complex structures and interacting biomolecule-clusters is not scientific. Regarding the fact that the trace of energy by dense ionizing radiation happens in a billionth of a second (e. g. from a single alphaparticle) transfers amounts of energy in the range of MeV leads to total different pictures and must result in other evaluations. In the interest of the protection from radioactive damages the dictates of the moments is to correct the limiting values for ionizing radiations - if we even should not cancel them at all.

keywords: *ionization track, recoil track, thermal neutron, thermal neutron activation, radiative capture, radiobiological action, nuclear reactions, neutron-gamma reaction, internal radiation*

lich treten strahlenkatalytische Effekte an den Phasengrenzen auf, über deren Reaktionsmechanismen kaum Erkenntnisse vorliegen. Die genannten Prozesse sind wegen der Unüberschaubarkeit und der schnellen zeitlichen Veränderungen in ihrer Gesamtheit weder erfassbar noch realitätsnah modellierbar.

Strahlenbiologie der Zelle

Trotz jahrzehntelanger aufwendiger Forschung ist es bisher nicht gelungen, den tatsächlichen Mechanismus der Strahlenschädigung aufzuklären. Fest steht, daß durch ionisierende Strahlung hochreaktive freie Radikale erzeugt werden (REXER & WUCKEL 1965), die auf vielfache Weise lebenswichtige biomolekulare Prozesse beeinflussen. Eine der bekanntesten Bestrahlungsnachwirkung ist die Veränderung prozesssteuernder Hormone und Enzyme.

Das wohl wichtigste Biomolekül für die identische Reduplikation der Organismen ist die DNA, in der die genetische Information hochspezifisch und unverwechselbar gespeichert wird. Es handelt sich dabei um eine hochmolekulare Substanz mit einem Molgewicht bis zu 100 Mio. Lebende subzelluläre Strukturen sind in einem stationären Gleichgewicht. Jede stoffliche oder energetische Veränderung kann die Stationarität (z.B. den geregelten Stoffwechsel) empfindlich stören.

1. Es ist lange bekannt, dass die Mutabilität der DNA und damit die der Gene durch ionisierende Strahlung in charakteristischer Weise gesteigert wird. Deformierte Gene führen in der Regel zu massiven Störungen des zellulären Stoffwechsels und zur Schädigung des Erbgutes. Bereits vor mehr als 50 Jahren ist der Nachweis erbracht worden, daß DNA-Moleküle

bei Bestrahlung in Fragmente zerfallen. Dieser Befund hat u.a. zur Entwicklung der „biologischen Dosimetrie“ geführt (GOODHEAD et al. 1997).

Gegenwärtig stellt die Erfassung und Bewertung einer **unkontrollierten** Veränderung des Erbguts ein unlösbares Problem dar. Das gilt insbesondere für Langzeitbestrahlung im Low-Level-Bereich, die bei radioaktiver Verseuchung durch freigesetzte Radionuklide unvermeidbar ist. Die Inkorporation bereits eines einzigen Alphateilchens kann schwere, irreversible Zellkernschädigungen hervorrufen.

Die Übertragung der Energie ionisierender Strahlung

Die Primärakte der Energieübertragung für verschiedenen Strahlenarten sind ganz unterschiedlich. Strahlungsenergie wird nicht in beliebig kleinen Mengen übertragen. Bei der Wellenstrahlung (Röntgen, Gamma) ist die kleinste Einheit ein Quant. Bei Korpuskularstrahlung (Alpha, Beta, Neutronen) können durch ein einziges Teilchen bis zu 10 MeV übertragen werden. Energiereiche Teilchen der Korpuskularstrahlung dringen mehr oder weniger tief in organisches Gewebe ein. Bei der Passage durch ein Ensemble von Biomolekülen wird deren Energie gequantelt auf die Molekülorbitale und/oder auf die Atomkerne übertragen ("elastische Stöße"). Die Elektronen aus den Orbitalen werden dadurch in der Regel angeregt oder verlassen unter Ionisierung der Molekel ihren ursprünglichen Platz ("primäre Ionisation"). Diese "freien" in der Regel energiereichen Elektronen sind ihrerseits in der Lage, benachbarte Moleküle und Atome zu ionisieren ("sekundäre Ionisation"). Im Falle vielatomiger Moleküle (z.B. DNA) kann die Ionisierungsenergie auch innerhalb eines Moleküls verbleiben unter Bildung von Ionisationskaskaden ("Auger-Explosionen"). Dieser Prozess ist so schnell (10^{-15} sec), daß eine Energiedissipation (etwa in Form von Wärme) auf benachbarte Zellbereiche nicht stattfindet (KRIEGER 1998). Die Folge ist eine weitgehende Zerstörung der Struktur des Biomoleküls unter Bildung von auseinanderstrebenden geladenen Bruchstücken, die auf ihrem Weg ebenfalls ionisierend und/oder radikalbildend wirken.

Auch bei Neutronenstrahlung wird die Gewebeschädigung schließlich vorrangig durch Ionisierung und Radikalbildung verursacht.

Die Primärprozesse der Energieübertragung sind jedoch ganz anders als bei der Einstrahlung geladener Teilchen (Alpha, Elektronen, Protonen):

Neutronen können ohne Energieverlust tief in Materie eindringen. Als ungeladene Teilchen werden sie erst dann abgelenkt und gestoppt, wenn sie mit den Atomkernen kollidieren. Für Neutronen ist kompakte Materie bis auf die Atomkernvolumina ein leerer Raum. Trifft ein Neutron auf einen Kern, so erfolgt Ablenkung aus der ursprünglichen Bahn und Bremsung dadurch, daß ein Teil der Energie auf den getroffenen Kern übertragen wird. Das abgebremste Neutron kann auf seinem neuen Weg wiederum unter Energieverlust auf einen weiteren Kern treffen usw.. Erst wenn es praktisch zur Ruhe gekommen ist, ist das "thermische Neutron" zu sogenannten "kernchemischen Reaktionen" befähigt (s. weiter unten).

Die getroffenen Kerne werden in der Regel unter Abstreifung ihrer Elektronenhülle als geladene Teilchen ("Rückstoßkerne") aus dem Molekülverband herausgeschlagen und hinterlassen eine Bahn ("tracks") hoher Ionisationsdichte.

Rückstoßkerne und deren Folgewirkungen treten auch beim radioaktiven Zerfall auf - ein viel zu wenig beachteter Effekt bei inkorporierten Radionukliden und eingeatmeten radioaktiv strahlenden Teilchen ("hot particles") (LIESER 1990).

Kernchemie

In der Regel sind die Zerfallsprodukte auch wieder radioaktiv oder/und verändern ihren Elementarcharakter (H-3 zu He-3, C-14 zu N-14, P-32 zu S-32, S-35 zu Cl-35 usw.).

Da Umwandlungen von körpereigenen Nukliden durch Kernreaktionen erhebliche Veränderungen in Organismen hervorrufen können, soll an Hand relevanter Beispiele gezeigt werden, wie solche Prozesse durch absorbierte Neutronenstrahlung verursacht werden: Durch sogenannte (n, gamma)-Reaktionen ("Aktivierung") werden nichtradioaktive Isotope zu Radioisotope:

- Natrium (Na-23) wird zu Radionatrium (Na-24),
- Chlor (Cl-35) kann in einer n/gamma-Reaktion zu Radiochlor (Cl-36), in einer n/proton Reaktion zu Radioschwefel (S-35) und in einer n/alpha Reaktion zu Radiophosphor (P-32),
- Schwefel (S-34) wird zu Radioschwefel (S-35),
- Eisen (Fe-54) wird zu Radioeisen (Fe-55) (Eisen eingebaut in Schlüsselenzyme katalysiert und steuert wichtige biologische Reaktionen: Zellwachstum, Atmungskette etc).

Durch Aktivierung - vorzugsweise durch (n, gamma)-Reaktionen - werden Strahlungsquellen im Organismus gebildet, gewissermaßen implantiert. Zusammen mit den durch die Elementverwandlung veränderten chemischen Eigenschaften können schwerwiegende biologische und physiologische Fehlsteuerungen ausgelöst werden. Sehr reaktiv sind Stickstoff-, Kalium-, Calcium- und Natriumatome, die alle in den Körperzellen in großer Zahl vorhanden sind. Viele Schwermetalle bilden in der Regel Komplexe mit Biomolekülen. Metalle wie Eisen, Nickel, Kupfer oder Zink übernehmen in biologischen Systemen wesentliche Funktionen. Eisen z.B. eingebettet in die Proteinhülle des Hämoglobins hat die Aufgabe, den lebensnotwendigen Sauerstoff über die Lunge zu den Körperzellen zu transportieren.

Die Hälfte aller Enzyme sind metallhaltige Proteine. Diese sogenannten Metalloenzyme enthalten in ihrem aktiven Zentrum Metallatome, die in die umgebenden Proteinhülle so eingelagert sind, dass sie hocheffizient vielfältige biochemische Reaktionen katalysieren. Ein strahlenverursachter Metabolismus in diesen organischen Metallverbindungen (z.B. durch Wandel des metallischen Elements) kann infolge Aktivitätsverlust schwere Schädigungen des Enzymsystems und der Zellmembran nach sich ziehen (FRUNDER 1988).

Ein radiogener Metabolismus ist auch an Spurenelementen sowie körperfremden Metallatomen möglich, die in Zahnfüllungen und Prothesen, als Quecksilberamalgame, Edelstahl- und Goldlegierungen vorkommen. Auch Schwermetallablagerungen durch Umweltverseuchung können bei der Neutronenaktivierung eine Rolle spielen. In einer von Neutronen getroffenen Körperzelle kommt während und nach der Neutronenbestrahlung ein unüberschaubares Gemisch ionisierender Strahlen zur Wirkung.

Die Einschätzung der Schädigung von Neutronenstrahlung ist völlig antiquiert. Sie beruht auf Erkenntnissen von vor dreißig Jahren. Ursprünglich aus Fakten und Überlegungen über anorganische Materialien - vorzugsweise Metalle - stammend, ist eine unkritische Übertragung auf lebende Systeme erfolgt, die den tatsächlichen Ereignisabläufen in keiner Weise gerecht wird.

Obwohl bereits vor 50 Jahren die hochdifferenzierte Struktur körpereigener Proteine und anderer wichtiger Biomoleküle sowie deren Bedeutung und Architektur bekannt war, berücksichtigt der offizielle Strahlenschutz diese Fakten nicht. Bei der Festlegung der Strahlenstandards wird davon ausgegangen, dass das Targetvolumen aus einer weitgehend homogenen Masse besteht, in der die chemischen Elemente gleichmäßig vermischt vorliegen. Die unterschiedlichen Strahlenwirkungen am Ort der primären Energieübertragung nämlich in den Zellen-Organellen oder gar in den verschiedenen Teilbereichen eines Biomoleküls werden nicht beachtet. Die Ergebnisse von Experimenten an Phantomen, Zellkulturen und totem Gewebe sagen über die Strahlenschäden in lebenden komplexen Strukturen kaum etwas aus.

Strahlenchemische Prozesse (radiochemistry)

Im Katastrophenfall treten unkontrollierbar und simultan locker- und dichtionisierende Strahlenarten auf. Die Auswirkungen von Mischstrahlung auf biochemische Reaktionen und biomolekulare Strukturveränderungen sind gegenwärtig völlig unklar. Zweifellos gibt es aber auch hier komplizierte Synergismen. Durch einfache Addition der Einzelwirkungen kann die Gesamtwirkung jedenfalls nicht erfasst werden. Der Grad der Ionisierung in lebendem Gewebe hängt nicht nur von der Energie der Korpuskularstrahlung, sondern in hohem Maße von der Struktur, den chemischen Eigenschaften und den Wechselwirkungen der Strukturelemente ab. Die unterschiedlichen Ionisierungsprozesse lösen auch unterschiedliche Reaktionen aus, so daß die strahlenchemisch entstandenen Produkte (Radikale) ebenfalls sehr verschieden sind (KÖHNLEIN et. al. 1990)

Mit der Nahrung und der Atmung aufgenommen stellen vor allem die Radioisotope von Wasserstoff (H-3), Kohlenstoff (C-14) und andere Isotope körpereigener Elemente eine große Gefahr dar. Von der Immunabwehr nicht erkannt, fungieren sie als "natürliche" Bausteine der Biomoleküle. Über lange Zeit im Körper befindliche "artfremde" Radionuklide können sich in bestimmten Organen ansammeln (z.B. Sr-90 in der Knochensubstanz) und dort bevorzugt ihre gewebescheidende Wirkung entfalten. Die physiologischen, histologischen und cytologischen Folgewirkungen sind im Einzelnen wenig, ihr Zusammenwirken überhaupt nicht erforscht.

Amtlicher Strahlenschutz

Die erwähnten kernchemischen und strahlenchemischen Prozesse sowie die molekularbiologischen Vorgänge werden im amtlichen Strahlenschutz nicht oder nur stark vereinfacht berücksichtigt. Auf den Unzulänglichkeiten bisheriger Modelle beruht u.a. die Strahlenschutzverordnung bei der Festlegung von

Resümee

Grenzwerten. Ausgedrückt in den Dosisseinheiten Sievert (Sv) oder Gray (Gy) sind daher diese Werte höchst fragwürdig. Die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) ist bei der Festlegung der Grenzwerte und der Bewertung der unterschiedlichen Strahlenarten von Modellen ausgegangen, die dem heutigen Stand von Wissenschaft widersprechen (LENGFELDER et. al. 1988). Am fragwürdigsten ist die Verwendung des RBW (relative biologische Wirksamkeit), ein Faktor, um den sich die Energiedosen der verschiedenen Strahlenarten, die die gleiche biologische Schädigung hervorrufen, unterscheiden sollen. Suggestiert wird damit, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Energiedosis und der Äquivalentdosis gibt. Aber genau das ist nicht der Fall! Die relative biologische Wirksamkeit ist abhängig von der Dosis, der Dosisleistung, dem biologischen Targetvolumen und dessen zeitlich wechselnder Struktur. So schwanken die publizierten Werte für die als RBW ausgedrückte Strahlenempfindlichkeit denn auch zwischen 20 und mehr als 500. Die deutsche Gesetzgebung verwendet noch immer - seit 1973 unverändert - den Faktor 10. Die Verleugnung der jüngeren Erkenntnisse von Radiologen, Strahlenbiologen und Medizinphysikern gehört zur Geschichte des amtlichen Strahlenschutzes (DERSEE et. al. 2002) Das findet Niederschlag in einer Reihe von abgeleiteten Grenzmarken z. B. den sogenannten "Freigrenzen" in der Strahlenschutzverordnung. Durch diesen Wert (ausgedrückt in Bq) wird die schädliche Wirkung von Radioaktivität gewissermaßen wegdefiniert.

Solange die multiplen Wirk-Mechanismen ionisierender Strahlung auf organisierte lebende Zellverbände nicht aufgeklärt sind, solange es dafür keine verlässlichen strahlenbiologischen und biophysikalische Modelle gibt, solange die Fülle der zellzyklusbestimmenden Parameter unter Bestrahlung unbekannt ist, solange die zeitliche und räumliche Dosisverteilung in den stark divergierenden lebenden Gewebereichen nicht ermittelbar ist, können die zur Zeit verwendeten Grenzwerte kein Maß für individuelle gesundheitliche Beeinträchtigungen sein.

Nachweise

DERSEE, Th., DIEKMANN, H., KÖHNLEIN, W., KUNI, H., LENGFELDER, E. PFLUGBEIL, S., SCHMITZ-FEUERHAKE, I (2002): Brustkrebsfrüherkennung Ja, Reihenuntersuchung mit Mammographie Nein! - Abschied vom Wunschenken, Nachdenken über neue Strategien, Bericht des Otto Hug Strahleninstituts Nr. 23, ISSN 0941-0791.
 EGGERT, J. (1968): Lehrbuch der Physikalischen Chemie, (S. Hirzel Verlag) Stuttgart.
 FRUNDER, H. (1988): Physiologische Chemie, (VEB Verlag) Berlin.
 GOODHEAD, D. T., O'NEIL, P., MENZEL, H. G. (Ed.) (1997): Microdosimetry - An Interdisciplinary Approach, The Royal Soc. of Chemistry, ISBN 0-85404-737-9, Cambridge.
 HENGLEIN, A., SCHNABEL, W., WENDENBURG J. (1961): Einführung in die Strahlenchemie, (Akad. Verlag) Berlin.
 KÖHNLEIN, W., KUNI, H., SCHMITZ-FEUERHAKE, I. (Hrsg) (1990): Niedrigdosis-Strahlung und Gesundheit, (Springer Verlag) Berlin, N.Y., London.
 KRIEGER, H. (1998): Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, (B. G. Teubner) Stuttgart.
 LENGFELDER, E. u.a. (1988): Strahlenwirkung - Strahlenrisiko, (H. Hugendubel Verlag) München.
 LIESER, K. H. (1990): Einführung in die Kernchemie, (VCH) Weinheim, New York, Cambridge.
 REXER, E., WUCKEL, L. (1965): Chemische Veränderungen von Stoffen durch energiereiche Strahlung, (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie) Leipzig.

Anzeige

DAS grüne BRANCHENBUCH
Nordrhein-Westfalen

- Gesund Essen & Trinken**
Regional und ökologisch
- Bauen & Wohnen**
Natürlich und komfortabel
- Zukunft der Energie**
Vorfahrt für erneuerbare Energien
- Gesundheit, Kinder, Kosmetik, Naturtextilien ...**

Mit Sonderteil Nachhaltig Wirtschaften

BUCHTIPP

Die neue Ausgabe des grünen Branchenbuches für Nordrhein-Westfalen enthält mehr als 4000 Adressen, die Ihnen helfen, Ihr Leben gesund und umweltgerecht zu gestalten - für mehr Lebensqualität mit nachhaltig erzeugten Produkten und Dienstleistungen aus der Region, die die Umwelt schonen. Der Branchenteil führt Sie von A bis Z durch das Spektrum ökologischer Produkte und Dienstleistungen mit vielen zusätzlichen Infos und Tipps. Diesmal mit 62 Seiten Sonderteil „Nachhaltig Wirtschaften in Deutschland - Unternehmen sichern Zukunft“. Weitere aktuelle Regionalausgaben s. unten

176 Seiten, ISBN 3-932309-23-5, 3,00 €

GUTSCHEIN

Bitte gewünschte Ausgabe(n) ankreuzen, mit Ihrer Adresse und € 1,45 Porto pro Buch an uns senden.

Hamburg/Schleswig-Holstein Berlin/Brandenburg
 Nordrhein-Westfalen Niedersachsen/Bremen

Verlag Das grüne Branchenbuch
 Lasbeker Str. 9 • 22967 Tremsbüttel • Tel. 04532-21402
 Fax: 04532-22077 • www.die-gruene-suchmaschine.de
 service@die-gruene-suchmaschine.de