Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 16

Artikel: Ionisierende Strahlen, ihr Pegel und ihre Wirkung auf den Menschen

Autor: Lerch, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915592

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ionisierende Strahlen, ihr Pegel und ihre Wirkung auf den Menschen

Von *P. Lerch*

Einleitung

Die mit Radioaktivität und ionisierender Strahlung zusammenhängenden Probleme sind, im Gegensatz zu anderen Umweltschutzaspekten, grösstenteils klar definiert. Grund dazu ist die Notwendigkeit, den Ablauf eines allfälligen nuklearen Konflikts zu beherrschen, sowie die Forschungserfahrung eines halben Jahrhunderts. Es stehen gesicherte wissenschaftliche Grundlagen zur Verfügung, und zwar, wenn auch einzelne Punkte noch nicht völlig geklärt sind, mit einem Grad von Vertrauenswürdigkeit, der weit höher ist als für andere Wissensgebiete, denen die Öffentlichkeit mit weniger Misstrauen gegenübersteht.

Der menschliche Organismus hat leider kein Sinnesorgan zur Wahrnehmung ionisierender Strahlung, die nur mittels hochentwickelter technischer Instrumente festgestellt werden kann. Überdies ist die Wirkung ionisierender Strahlen nur ausnahmsweise sofort, meistens aber erst nach einigen Stunden oder gar Jahren erkennbar: Das gibt ihnen einen für Laien geheimnisvollen Charakter, was jedoch im Interesse sachlicher Auseinandersetzung unbedingt behoben werden muss.

Wirkung der Radioaktivität und der ionisierenden Strahlen

Radioaktivität tritt auf beim Zerfall instabiler Kerne, wobei neben stabilen Kernen energiereiche Strahlen mit hohem Durchdringungsvermögen entstehen, die die Materie tiefgreifend verändern können. Getroffene Moleküle werden angeregt oder sogar ionisiert (daher die Bezeichnung); die meisten solchen Moleküle werden dabei zerstört, wobei ihre Fragmente mit der sie umgebenden Materie intensiv reagieren.

Gemäss einem ersten Gesetz der Radiobiologie sind lebende Organismen für ionisierende Strahlen um so empfindlicher, je komplexer sie sind: Der Mensch und die Säugetiere zeigen die höchste Strahlenempfindlichkeit. Gemäss einem weiteren Gesetz sind von den Geweben und Organen eines Lebewesens jene am empfindlichsten, die die höchste Zellteilungsrate haben. Beim Menschen sind dies die Haut, die Schleimhäute des Verdauungskanals, die blut- und lymphenbildenden Organe sowie die Geschlechtsorgane.

Deshalb ist die totale Bestrahlung eines Einzelwesens gefährlicher als diejenige eines Teiles des Organismus allein; deshalb können die Gliederextremitäten wesentlich grössere Strahlenmengen ertragen als der Rumpf mit den strahlenempfindlichsten Organen.

Überdies existierten die ionisierenden Strahlen, wie wir noch sehen werden, auf unserer Erde lange bevor das erste Leben auftrat. Die Entwicklung der Arten und die Entstehung des Menschen erfolgten unter ihrer Einwirkung; deshalb sind die lebenden Zellen imstande, sich gegen die Strahlen zu schützen, wie sie es getan haben gegen andere physikalische Einflüsse. Ionisierende Strahlen stellen also nur dann eine wirkliche Gefahr dar, wenn die erhaltene Dosis diejenige der natürlichen Umweltstrahlung allzusehr übersteigt.

Noch einige allgemeine Regeln zum besseren Verständnis der Wirkungen ionisierender Strahlen: Es gibt kein Symptom, das für ionisierende Strahlen spezifisch ist, d. h. nur durch sie verursacht werden kann. Hingegen sind der Allgemeinzustand des bestrahlten Lebewesens und das Gesamtbild der festgestellten Symptome charakteristisch: Es gibt ein Syndrom «Strahlenkrankheit».

Beim menschlichen Organismus sind dreierlei Wirkungen zu unterscheiden. Die *letalen Wirkungen* sind die Folge der Zerstörung einer gewissen Zahl Zellen; bei intensiver Bestrahlung können sie starke, engbegrenzte Folgen zeigen, wie z. B. Hautverbrennungen oder Veränderungen des Blutbildes. Bei schwacher, aber länger dauernder Bestrahlung können chronische Folgen die Lebenserwartung kürzen und die Lebenskraft vermindern. Die *krebsbildenden Wirkungen* führen zu wilden Zellwucherungen in Organen oder Geweben; Voraussetzung ist im allgemeinen, dass die Strahlendosen, denen der betreffende Körper ausgesetzt ist, wesentlich grösser sind als die Dosis, die den Tod des Individuums durch letale Wirkung verursachen würde, falls dieses während kurzer Zeit einer Ganzkörperbestrahlung ausgesetzt worden wäre. Diese beiden Wirkungskategorien betreffen ausschliesslich das bestrahlte Subjekt.

Neben letalen und krebsbildenden Wirkungen können ionisierende Strahlen auch Mutationen in einzelnen Zellen auslösen. Diese Veränderungen des Zellkernproteins zeigen sich in Form verschiedenartiger Missbildungen; entweder können sich die betroffenen Zellen nicht mehr teilen oder sie nehmen andere Eigenschaften an, die mehr oder weniger wichtige Rückwirkungen auf die Eigenschaften des Organs oder des Gewebes haben, dessen Bestandteil sie bilden und die sich weitervererben. Für das bestrahlte Subjekt haben solche Wirkungen von *Gen-Mutationen* meistens einen negativen Effekt, oder sie können seine Lebenserwartung kürzen. Sie sind dann besonders wichtig bei der Bestrahlung der Geschlechtsorgane; dann treffen die Wirkungen der Gen-Mutationen nicht nur das bestrahlte Subjekt, sondern auch seine Nachkommen.

Solche Vererbungsschäden betreffen weniger das Individuum als vielmehr das Kollektiv. Weil sie oft irreversibel sind und auch durch schwache Strahlungsdosen verursacht werden können, erheischen sie höchste Aufmerksamkeit. Da Vererbungsschäden die schwerwiegendsten Folgen ionisierender Strahlung darstellen, muss der Strahlungspegel so niedrig wie nur möglich gehalten werden. Gen-Mutationen können aber, was zu beachten ist, nicht nur allein durch ionisierende Strahlen, sondern auch durch verschiedene chemische Substanzen verursacht werden.

Zulässige Maximaldosen

Um einen wirksamen Strahlenschutz zu gewährleisten, muss man somit die zulässigen Maximaldosen kennen. Nicht für alle biologischen Strahlenwirkungen gibt es jedoch einen eindeutigen Schwellenwert. Deshalb sind die Risiken der Strahlendosen mit jenen Risiken zu vergleichen, die jedermann als normal betrachtet. So ist zum Beispiel die Verminderung der Lebenserwartung, die mit dem Autofahren oder mit der Gewohnheit, täglich einige Zigaretten zu rauchen verknüpft ist, in Beziehung zu setzen mit jener Verminderung, die sich als Folge einer medizinischen Röntgenbestrahlung ergibt.

Zurzeit beträgt für Menschen, die in ihrem Beruf ionisierender Strahlung ausgesetzt sind, die zulässige Gesamtdosis 5 rem/Jahr (bei Ganzkörperbestrahlung), wobei die Totaldosis nie einen Wert überschreiten darf, der dem fünffachen Alter abzüglich 18 Jahre entspricht. Die Einheit «rem» ist für Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlen praktisch gleich der Einheit «rad», welche der Aufnahme einer Energie von 0,01 Joule je Kilo Körpergewicht entspricht; für Neutronen- und Alphastrahlen ist ein bis zu zehnfacher Faktor anzuwenden.

Was die Einheiten betrifft, darf man nicht die Einheiten der aufgenommenen Strahlendosis – die die Wirkung der Strahlung auf die Materie ausdrücken – mit den Quantitätseinheiten der Radioaktivität verwechseln, welche die Anzahl radioaktiver Atome angeben, die während einer bestimmten Zeit zerfallen (1 Curie = 37 Milliarden Zerfälle pro Sekunde). Um eine dieser Grössen mit der andern zu vergleichen, müssen alle physikalischen und geometrischen Bedingungen der Bestrahlung bekannt sein, was selten der Fall ist.

Die Dosis von 5 rem ist für den einzelnen Menschen wirklich niedrig und ist ein viel kleineres Risiko als jenes, das Menschen bei der Ausübung anderer Berufe auf sich nehmen. Für die ganze Bevölkerung hingegen wäre dieselbe Dosis jedoch zu gross, weil die mutagenen Wirkungen zu berücksichtigen sind. Die Zahl der den ionisierenden Strahlen beruflich ausgesetzten Personen ist und soll sehr klein bleiben im Verhältnis zur Gemeinschaft; so wird auch ihr Beitrag zur genetischen Belastung infolge mutagener Wirkungen im Verhältnis zu der Gesamtheit der Bevölkerung sehr klein bleiben.

Für die Gesamtbevölkerung gilt, dass die zulässige Maximaldosis (aus sämtlichen künstlichen Strahlenquellen) für jeden Einzelnen niemals den Pegel der natürlichen Umweltstrahlung erreichen darf, was etwa 100 mrem (Millirem) pro Jahr entspricht. Ausnahmsweise in begrenzten Zonen mit ständiger Überwachung (Spitäler, Nuklearzentren usw.), darf die Maximaldosis 500 mrem/Jahr erreichen, sofern sie nur kleine Gruppen der Bevölkerung betrifft.

Natürlicher Strahlungspegel

Die natürliche Strahlung hat verschiedene Ursachen:

1. *Kosmische Strahlung:* Die im interstellaren Vakuum vorhandenen Partikel werden im elektromagnetischen Feld der Erde beschleunigt und dringen mit hoher Energie in die Atmosphäre ein. Es handelt sich vor allem um Protonen (94 %) und einige leichte Atomkerne; die Sekundärstrahlung infolge von Reaktionen mit Bestandteilen der Atmosphäre umfasst Nukleonen, Mesonen und Elektronen. Die Stärke der Strahlung wird durch die Lufthülle der Erde zunehmend geschwächt, so dass die von der Bevölkerung empfangene Dosis hauptsächlich von der Höhe über dem Meeresspiegel abhängt:

Höhe über Meer (m)	0	200	400	800	1200	1600	2000	2400
Dosis (mrem/Jahr)	30	32	36	45	54	67	80	95

In grösseren Höhen verdoppelt sich praktisch die Dosis alle 1500 m. Die Dosis hängt weniger ab von der Breite; sie variiert wenig mit der Zeit, ausser bei heftigen Sonneneruptionen.

2. *Radiokativität der Erde:* Seit der Entstehung der Erde vor etwa 5 Milliarden Jahren haben die meisten Radionukleide Zeit gehabt, praktisch völlig zu zerfallen; einige mit einer ziemlich langen Halbwertzeit sind jedoch heute noch vorhanden, wie:

^{238}U	(Halbwertzeit $4{,}5 \cdot 10^9$ Jahre)	und seine Zerfallsprodukte
^{232}Th	(Halbwertzeit $1{,}4 \cdot 10^{10}$ Jahre	und seine Zerfallsprodukte
^{40}K	(Halbwertzeit $1{,}2 \cdot 10^9$ Jahre)	(und andere: ^{87}Rb, ^{138}La, ^{176}Lu)

So bildet der Boden eine Strahlungsquelle; dabei überwiegen die Gammastrahlen, die das grösste Durchdringungsvermögen haben. Die Radioaktivität des Bodens variiert beträchtlich je nach seiner Beschaffenheit; sie ist stark über Granitgestein (Alpen) und schwächer über Sedimentgestein (Jura, Voralpen und Mittelland).

3. *Radioaktivität der Luft:* Unter den Spaltprodukten des Urans und des Thoriums findet sich stets gasförmiges Element (Z = 86), Emanation genannt, von dem ein Teil aus dem Boden strömt und die Luft verunreinigt; seine Zerfallsprodukte sind auch radioaktiv und bleiben, obwohl in festem Zustand, lange in der Atmosphäre, wo sie radioaktive Aerosole bilden. Die kosmische Strahlung aktiviert ebenfalls die Luft, wobei die Nuklide ^{3}H, ^{7}Be und ^{14}C als radioaktive Aerosole entstehen.

4. *Radioaktivität des Organismus:* Pflanzen und Tiere nehmen im Boden und in der Atmosphäre vorhandene Nukliden mit ihrer Nahrung auf; sie enthalten immer ein wenig Radioaktivität, die der Mensch wiederum durch seine Nahrung aufnimmt. Deshalb enthält der menschliche Organismus immer eine gewisse Radioaktivität, die besonders vom Kalium-40 und vom Kohlenstoff-14 stammt. Zusammenfassend gibt folgende Tabelle annähernde Mittelwerte des natürlichen Strahlungspegels in der Schweiz:

Kosmische Strahlung (30 bis 100 mrem/Jahr)	40 mrem/Jahr
Radioaktivität des Bodens (75 bis 150 mrem/Jahr)	90 mrem/Jahr
Radioaktivität des Organismus	20 mrem/Jahr
Total	150 mrem/Jahr

Künstliche Strahlenbelastung

Die künstliche Strahlenbelastung der Bevölkerung rührt gegenwärtig hauptsächlich von der Verwendung ionisierender Strahlen für medizinische Diagnosen her, d. h. vor allem von Röntgendurchleuchtungen und -aufnahmen, aber auch von Untersuchungen mittels Radioisotopen und Szintigraphie. Diese Bestrahlung der Patienten entspricht 15 bis 20 %, ja sogar (je nach der Gegend) 30 % der natürlichen

Strahlenbelastung. Die in der Therapie angewandten ionisierenden Strahlen (Röntgenstrahlen, Kobaltbombe, Betatron, Radium, nichtverkapselte Radionuklide) tragen nur in wesentlich schwächerem Mass zur künstlichen Strahlenbelastung bei. Zweite Ursache künstlicher Strahlenbelastung: Der «fallout» von Kernwaffenversuchen in der Stratosphäre, der Luft, Boden, Oberflächen, Gewässer und dadurch die Lebensmittelketten mit Radionukliden kontaminiert, welche schlussendlich dem menschlichen Organismus einverleibt werden. Die dadurch entstehende externe Strahlung hebt das Niveau der natürlichen Strahlung um 5 bis 10 %.

Die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch andere Anwendungen der Radioaktivität (Leuchtzifferblätter, Fernsehempfänger) ist kleiner als ein Prozent des natürlichen Strahlenpegels.

Der Beitrag zur Strahlenbelastung der Bevölkerung, der von höheren Dosen bei beruflich bestrahlten Personen herrührt, stellt ebenfalls weniger als 1 % des natürlichen Strahlenpegels dar.

Der Anteil der Kernreaktoren an der gesamten Strahlenbelastung lässt sich auf Grund der Annahme errechnen, dass die Gesamtleistung aller auf der Welt gebauten Kernkraftwerke kurzfristig (1978 bis 1980) rund 100 GWe und auf längere Frist (1990 bis 2000) rund 1000 GWe erreichen dürfte, wobei nicht nur der Kraftwerkbetrieb, sondern auch die Wiederaufbereitung der Kernbrennstoffe, die Überwachung von ausser Betrieb gesetzten Anlagen, die Aufbereitung und Lagerung von Atommüll sowie der Transport von Spaltprodukten und Atommüll zu berücksichtigen sind wie auch die Umweltbelastung durch radioaktive Erdgase, Tritium und Halogene, ferner die radioaktiven Abwässer, welche die Oberflächengewässer verunreinigen. Die Edelgase sind eine der hauptsächlichsten Ursachen der Strahlenbelastung; sie könnte vermutlich noch vermindert werden. Auch die Re-Konzentration von radioaktivem Jod im Organismus, als Endpunkt der Lebensmittelkette, muss aufmerksam überwacht werden und liesse sich durch bessere Filtration weiter reduzieren.

Unter den jetzt angewandten Sicherheitsvorkehrungen wird nur für eine sehr kleine Zahl von Berufsleuten eine Erhöhung der Strahlenbelastung (um höchstens 10 %) bemerkbar sein. Für den Grossteil der Bevölkerung wird die zusätzliche Strahlenbelastung in der nächsten Zukunft wesentlich unter 1 % des natürlichen Pegels liegen; auch in fernerer Zukunft dürfte sie, selbst ohne Berücksichtigung einer weiteren Verbesserung der Schutzmassnahmen, die Grössenordnung von einigen Prozenten des natürlichen Pegels nicht überschreiten.

Die folgende Tabelle fasst die Ursachen der Strahlenbelastung der Bevölkerung zusammen und erlaubt einen Vergleich; es handelt sich um angenährte Mittelwerte unter Berücksichtigung der Verhältnisse unseres Landes:

Natürliche Strahlung	150 mrem/Jahr
Röntgendiagnose und -medizin	25 mrem/Jahr
Radioaktiver «fallout»	10 mrem/Jahr
Berufsbedingte Strahlenbelastung (auf die Gesamtbevölkerung umgerechnet)	<1 mrem/Jahr
Kernkraftwerke	<1 mrem/Jahr
Total	185 mrem/Jahr

(Künstliche Erhöhung des natürlichen Pegels: <25 %)

Schlussfolgerung

Der Betrieb von Leistungs-Kernreaktoren zur Erzeugung elektrischer Energie wird, wenn er wie bis anhin sorgfältig überwacht wird, den Pegel der natürlichen Strahlenbelastung nicht in beunruhigender Weise erhöhen. Diese Erhöhung sollte nicht grösser sein als einige Prozente und muss selbstverständlich so niedrig wie möglich gehalten werden. Sie wird jedoch mindestens zehn- bis zwanzigmal kleiner sein als die Erhöhung durch andere Anwendungen ionisierender Strahlen und der Radioaktivität, insbesondere auf medizinischem Gebiet.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *P. Lerch*, Direktor des Institutes für Elektrochemie und Radiochemie an der ETH-Lausanne, Vizepräsident der eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz, Lausanne.