Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 100 (2009)
Heft: 4

Artikel: Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen?
Autor: Rüegg, Walter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856367

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: 08.01.2026

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

Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen?

Numerische Abschätzung des Risikos

Spätestens seit Tschernobyl ist die radioaktive Strahlung Inbegriff verseuchter Gegenstände und Landschaften. Die Physik und die öffentliche Meinung stimmen hier aber nicht überein, denn jeder Mensch und jeder Kubikmeter Erde enthält von Natur aus Trillionen radioaktiver Atome. Entscheidend ist die Dosis. Wobei sich die Experten streiten, wo der untere Schwellwert liegt, unter dem die radioaktive Strahlung ungefährlich ist. Denn es gibt Städte mit natürlicher Strahlung, die nach den Grenzwerten von Tschernobyl längst evakuiert sein müssten. Trotzdem sind die Bewohner gesund.

Walter Rüegg

Am 6. August 1945 fiel eine Uranbombe mit einer Sprengkraft von 16000 t TNT auf Hiroshima. Die Wirkung war aus zwei Gründen besonders verheerend: Die Stadt bestand fast ausschliesslich aus leicht zerstör- und brennbaren Holzhäusern, und die Explosion traf die Bevölkerung völlig unvorbereitet. Zwar wurde um 7 Uhr ein Fliegeralarm ausgelöst. Als man aber realisierte, dass es sich nur um 3 einsame, in grosser Höhe fliegende Flugzeuge handelte, wurde um 8 Uhr der Alarm aufgehoben. Als die Bombe um 8.15 Uhr explodierte, befanden sich grosse Teile der Bevölkerung leicht bekleidet im Freien.

Die Anzahl Tote, welche die Bombe bis heute insgesamt verursacht hat, wird sich aus verschiedenen Gründen nie genau ermitteln lassen. Die Angaben der Stadtverwaltung, des RERF (Forschungsinstitut in Hiroshima) und der verschiedenen japanischen und amerikanischen Untersuchungen schwanken zwischen weniger als 80000 und 150000. Gemäss der Gesundheitsbehörde von Hiroshima starben 60% der Opfer an Brandwunden (Hitzestrahlung und Feuersturm) und 30% an mechanischen Verletzungen, bei 10% war die Ursache unklar (grösstenteils wohl Opfer der Nuklearstrahlung).

Langzeitwirkungen von Hiroshima

Bereits im September 1945 beschloss die japanische Regierung, die Wirkung der Atombomben auf Hiroshima und Nagasaki so gründlich wie möglich zu untersuchen. Allein die medizinische Gruppe umfasste 1683 Mitglieder, dazu kamen die physikalischen, biologischen, geologischen und chemischen Teams. Die Amerikaner haben ihre eigenen wissenschaftlichen Untersuchungen mit zeitweise über 1000 Mitarbeitenden am 8. September 1945 aufgenommen. Die Resultate dieser Untersuchungen sind alle publiziert worden.

Ohne Zweifel ist dies die aufwendigste medizinische Untersuchung aller Zeiten – und sie dauert heute noch an. Insgesamt dürften mehrere Milliarden Dollar investiert worden sein, und vermutlich wird noch eine weitere Milliarde investiert werden. Heute werden die meisten Untersuchungen von der Radiation Effect Research Foundation (RERF) in Hiroshima und Nagasaki durchgeführt. Qualität und Transparenz dieser Forschungsinstitute sind auf höchstem Niveau, die Resultate und Schlussfolgerungen werden allgemein akzeptiert, auch von kritischen Kreisen. Diese Resultate bilden die Grundlage unserer heutigen Risikoabschätzungen und gesetzlichen Vorschriften (Grenzwerte).

Als erste Langzeitwirkung stellte man ein relativ schnelles Ansteigen der Leukämierate fest (Bild 1), bis zu einem Maximum von etwa 8 zusätzlichen Leukämien pro Jahr. Bei einer knapp tödlichen Strahlendosis war die Wahrscheinlichkeit, später an Leukämie zu erkranken, etwa 3% (Bild 2). Es fällt auf, dass offensichtlich eine Schwelle bei 5% der akut tödlichen Dosis existiert (0,2 Sv). Die Messpunkte schliessen eine leichte Krebsunterdrückung bei kleinen Dosen nicht aus. Bei Tierversuchen mit ähnlich kleinen Dosen wird oft eine Krebsunterdrückung festgestellt.

Die durch die Strahlung verursachten soliden Tumore erreichen erst Jahrzehnte später ihr Maximum. Bild 1 zeigt die Anzahl Krebstote pro Jahr, welche die Bestrahlung unter den Überlebenden verursacht hat. Heute dürften in Hiroshima um die 30 Überlebende pro Jahr vorzeitig sterben, im Mittel etwa 4 Monate früher als Unbestrahlte. Insgesamt werden die Spätfolgen in Hiroshima zwischen 1000 und 1500 Opfer fordern, etwa 1–1,5% aller Überlebenden. Im Klartext heisst das, dass 98,5–99% der Überlebenden eine normale Lebensspanne haben und sich von den Bewohnern einer anderen japanischen Stadt nicht unterscheiden. Die Forscher sind sich einig, dass der Lebensstil (Rauchen, Ernährung usw.) einen wesentlich grösseren Einfluss auf die Gesundheit der Überleben-

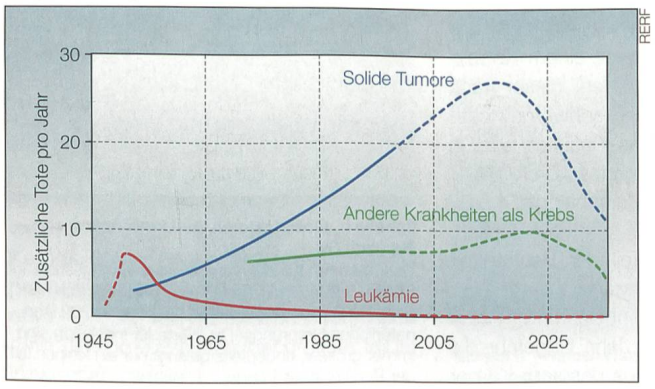


Bild 1 Strahlungsbedingte Todesfälle in Japan.
Anzahl strahlungsbedingter Todesfälle pro Jahr unter den etwa 120000 untersuchten Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki [10].

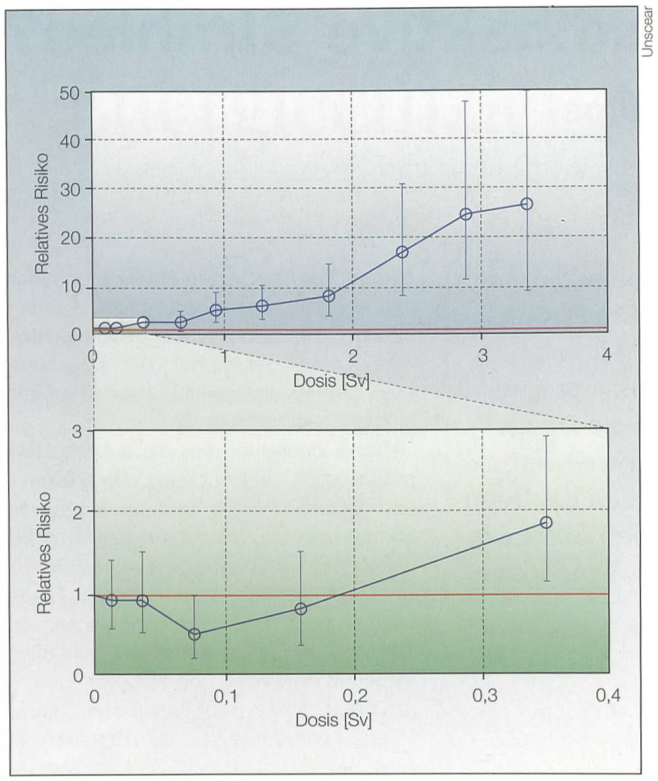


Bild 2 Relatives Risiko durch Strahlung
Todesfälle durch Leukämien, die durch die Strahlung ausgelöst wurden (relatives Risiko). 4,5 Sv ist die durchschnittliche tödliche Dosis. Die normale Leukämierate ohne Strahlung liegt beim relativen Risiko von 1 (horizontale, gestrichelte Linie). Bei 3 Sv ist das Risiko rund 30-mal grösser, die (absolute) Leukämiewahrscheinlichkeit beträgt hier 3% [11].

den hat als die Bestrahlung durch die Bombe.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Strahlenkrankheiten heilen in den meisten Fällen nach einigen Tagen oder Wochen (bei Dosen unterhalb der tödlichen). Die Symptome einer mittelschweren Strahlenkrankheit sind vergleichbar mit denjenigen einer starken Chemotherapie. Eine starke einmalige Bestrahlung (Strahlenschock) erhöht die Wahrscheinlichkeit, im Alter an Krebs zu sterben, pro Sv (22% der tödlichen Dosis) um etwa 11%, die Lebensdauer verkürzt sich um durchschnittlich 1,3 Jahre. Bis zum Ausbruch der Krankheit zeigen sich kaum gesundheitliche Unterschiede zu den Unbestrahlten.

Unter den rund 80000 Nachkommen von bestrahlten Eltern wurden weder eine Erhöhung von genetischen Schäden (Missbildungen, Mutationen) noch sonstige negative Gesundheitseffekte gefunden. Hingegen kann eine starke Bestrahlung zwischen der 8. und 15. Schwangerschaftswoche zu geistigen Entwicklungsstörungen (z.B. reduzierter IQ) führen [1, 2].

Biologische Wirkungen

Der Begriff «radioaktive Strahlen» ist zunächst einmal eine sprachliche Entgleisung: Radio kommt von lateinisch radiare, das bedeutet «strahlen». Die Strahlen können also nicht radioaktiv sein; die Kerne, die die Strahlen aussenden, sind es. Die korrekte Bezeichnung wäre «Kernstrahlen» oder allgemeiner «ionisierende Strahlen». Der Begriff der radioaktiven Strahlen hat sich aber durchgesetzt.

Diese Strahlen haben eine Energie, die tausend- bis millionenfach grösser ist als die Energie, die ein Molekül zusammenhält. Entsprechend zerstörerisch können sie wirken, egal ob natürlichen oder künstlichen Ursprungs. Die Strahlendosis wird vom Physiker zunächst in Energieeinheiten angegeben, 1 Gray (Gy) bedeutet, dass in 1 kg Gewebe eine Strahlenenergie von 1 Joule (J) absorbiert wurde. Bei Röntgen- oder Gammastrahlen (elektromagnetische Strahlen) und bei Betastrahlen (schnelle Elektronen) beträgt die Dosis, bei der 50% der Bestrahlten nicht überleben, rund 4,5 Gy. Meist bezeichnet man diese Dosis, etwas ungenau, als tödliche Dosis. Die korrekte Bezeichnung wäre «semi-letale Dosis», LD50.

Je nach Strahlenart wirkt aber 1 Gy unterschiedlich und muss mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden; dieser kann bis 20 betragen (bei den schwergewichtigen Alphastrahlen). Das Resultat wird in Sievert (Sv) angegeben, dies ist die biologisch wirksame Dosis. Auch hier gilt: 4,5 Sv auf einmal sind in 50% der Fälle tödlich. Ab 1–2 Sv wird ein Teil der Bestrahlten vorübergehend strahlenkrank.

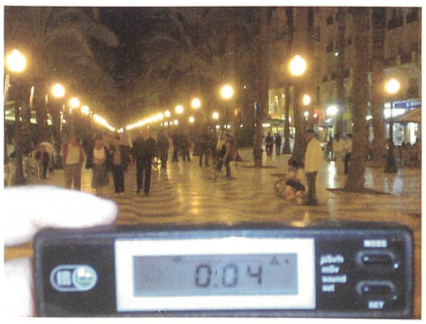
Die natürliche Strahlenbelastung beträgt im Mittel 2,5 mSv pro Jahr. Ungefähr die Hälfte davon stammt aus unserem Körper (interne Bestrahlung), der Rest kommt aus dem Kosmos und vom Boden (externe Bestrahlung). Unser Körper wird jede Sekunde von mehreren 10000 Strahlenteilchen natürlichen Ursprungs durchbohrt. Die Schadensbilanz: Mehrere 100 Millionen defekter Biomoleküle (u.a. DNA) pro Sekunde. Für den Körper sind diese Schäden eine Bagatelle, denn die Anzahl defekter Biomoleküle, die ganz natürlich aufgrund chemischer Prozesse in unseren Zellen entstehen, ist um viele Zehnerpotenzen grösser. Diese Schäden werden unter anderem verursacht durch freie Radikale. Dies sind aggressive Moleküle, die bei der Sauerstoffatmung in unseren Zellen in grossen Mengen (einige Millionen pro Sekunde und Zelle) erzeugt werden. Auch die radioaktive Strahlung erzeugt freie Radikale. Auf diesem Wege verursacht sie die meisten Schäden. Bei sehr hohen Strahlendosen werden Zellen dadurch richtiggehend vergiftet und sterben ab.

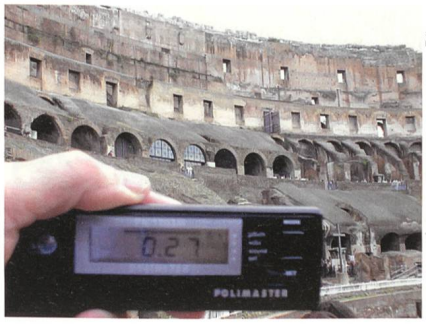
Das Leben hat sich seit Jahrmilliarden auf solche Schäden eingestellt. Unsere Zellen lassen ununterbrochen Teile ihres Inhalts durch das Immunsystem kontrollieren. Werden Anomalitäten entdeckt, wird die Zelle zum Tode verurteilt und durch eine neue ersetzt. Einer noch rigoroseren Kontrolle muss sich die DNA unterziehen, der Sitz der Bau- und Betriebsanleitung der Zelle. Spezielle Moleküle kontrollieren sie fortlaufend. Wird ein Fehler entdeckt, veranlassen die Kontrolleure die Produktion von spezialisierten Reparaturrobotern, grossen Biomolekülen. Man kennt inzwischen weit über 100 verschiedene Reparaturmoleküle. Man schätzt, dass etwa 10% aller Gene in Reparatur- und Abwehrmechanismen involviert sind.

Die Reparaturen der DNA sind aber nicht immer fehlerfrei. Mit den Jahren akkumulieren sich die Fehler. Gemäss vorherrschender Meinung ist dieser Prozess verantwort-

Isotop	*Alter 0–1 J.*	*Alter >17 J.*
K40	6,2E-08	6,2E-09
Sr90	2,3E-07	2,8E-08
Cs137	2,1E-08	1,3E-08
Po210	2,6E-05	1,2E-06
Th232	4,6E-06	2,3E-07
U238	3,4E-07	4,5E-08
Pu239	4,2E-06	2,5E-07

Tabelle I Dosisfaktoren zur Umrechnung von Bq nach Sv.
Dosisfaktoren für zwei Altersklassen für Ingestion, in Sv/Bq. Sr90, Cs137 und Pu239 sind künstlich hergestellte Radionuklide, K40, U238 und Th232 sind natürlichen Ursprungs. Die Werte für Inhalation sind immer grösser, anderseits gelangt nur ein kleiner Teil der Partikel in die Lunge.





Rüegg

Bild 3 Natürliche Strahlung in Europa.
In Alicante, Spanien, ist die natürliche Umweltstrahlung besonders klein, etwa 0,04 µSv/h, in Rom hingegen ist sie mit 0,27 µSv/h (Kollosseum) überdurchschnittlich hoch (Messgenauigkeit ±20%).

lich für das Ansteigen der Krebsrate im alternden Organismus. Damit ein Tumor entsteht und bösartig wird (metastasiert), muss eine grössere Anzahl Stellen auf der DNA Fehler aufweisen. Dieser Prozess dauert in der Regel viele Jahrzehnte. Eine hohe Strahlendosis kann diesen Prozess beschleunigen, bei 50% der tödlichen Dosis um 1 bis 2 Jahre. Rauchen, Fehlernährung und Bewegungsmangel können den Krebsprozess noch stärker beschleunigen.

Natürliche und künstliche Radioaktivität

Die Erde entstand vor 4,567 Milliarden Jahren. Woher wir das so genau wissen? Zur Hauptsache aus dem Zerfall von langlebigen radioaktiven Isotopen wie Uran-238. Diese Substanzen wurden in gigantischen Sternexplosionen «erbrütet», aus deren Trümmern entstand unser Sonnensystem. Tabelle I zeigt die wichtigsten noch existierenden primordialen (ursprünglichen) radioaktiven Isotope. Ebenfalls aufgeführt sind einige der wichtigsten künstlich erzeugten Isotope.

Die Menge einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) gemessen, 1 Bq bedeutet 1 Zerfall pro Sekunde. Ein menschlicher Körper beherbergt etwa 9000 Bq, d.h., in unserem Körper zerfallen in jeder Sekunde etwa 9000 Kerne. Die Radioaktivität unseres Körpers ist natürlichen Ursprungs, zur Hauptsache Kalium-40, Kohlenstoff-14 (von der kosmischen Strahlung erzeugt) und verschiedene Uran- und Thoriumisotope sowie deren Zerfallsprodukte.

In 1 m^3 Erde findet man im Durchschnitt 4 g Uran und 15 g Thorium, insgesamt mehrere Millionen Bq. Die gesamte Erde hat eine Radioaktivität von schätzungsweise $3 \cdot 10^{27}$ Bq, millionenmal mehr, als alle Kernreaktoren dieser Welt zusammen je produzieren können. Tschernobyl setzte etwa 10^{19} Bq frei, davon sind heute noch rund 10^{16} Bq vorhanden (der grösste Teil ist inzwischen zerfallen).

Aufgrund der Radioaktivität der Erde ist buchstäblich alles radioaktiv: Der Teller, aus dem wir essen, alle unsere Nahrungsmittel, die Luft, die wir einatmen, und auch der Punkt am Ende dieses Satzes. Und jede einzelne unserer Körperzellen beherbergt, grob geschätzt, etwa 1 Million radioaktiver Atome.

Die radioaktiven Elemente in der Erde sind nicht gleichmässig verteilt. Es gibt Gebiete mit nur wenig Radioaktivität, z.B. Alicante (Spanien, Bild 3). Die natürliche Strahlendosis beträgt hier 0,04 µSv/h, ungefähr die Hälfte des Durchschnittswerts im schweizerischen Mittelland und in grossen Teilen Europas. In Rom hingegen erreicht die Strahlung teilweise 50% der Evakuationsdosis[1)] von Tschernobyl. Gebiete mit ähnlich hohen Dosen gibt es in den Alpen und im Tessin. Noch höhere Dosen misst man in Orvieto (Süditalien), im Erzgebirge und in vielen anderen Gegenden auf dieser Welt.

Der Rekordhalter dieser High-Rad-Gebiete dürfte die Stadt Ramsar im Iran sein (Bild 4), ein Kurort und eine der beliebtesten Feriendestinationen am Kaspischen Meer. Die durchschnittlichen Dosen liegen hier um 10 µ Sv/h, mehr als das 15-Fache der Evakuationsdosis von Tschernobyl. Viele Einwohner erhalten im Laufe ihres Lebens eine Dosis, die über der Tödlichen liegt. Die verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen fanden keine negativen Effekte auf die Gesundheit. Weder ist die Krebsrate erhöht, noch gibt es Hinweise auf mehr genetische Schäden (Chromosomenaberrationen) oder Missgeburten. Das gleiche gilt für die vielen anderen High-Rad-Gebiete.

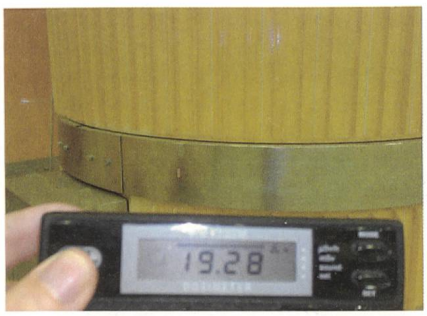
Risikoberechnungen: Die LNT-Hypothese

Bei Kleindosen, besonders wenn sie über einen längeren Zeitraum verteilt werden (chronische Bestrahlung), ist der Einfluss auf die menschliche Gesundheit so winzig, dass er in den normalen Gesundheitsvariationen untergeht. Die heute praktizierte Lösung dieses Problems ist die LNT-Hypothese (Linear No Threshold). Hier nimmt man an, dass das Langzeitrisiko (Krebs) linear mit der Dosis abnimmt (d.h. halbe Dosis gleich halbes Risiko) und auch keinen Schwellenwert (No Threshold) hat. Dies würde bedeuten, dass auch die winzigste Dosis ein Risiko verursacht. Da das Risiko bei hohen Dosen gut bekannt ist, kann man es mithilfe der LNT-Hypothese auch für beliebig kleine Dosen ausrechnen. Die Forscher, die Behörden und die Umweltverbände streiten sich seit Jahrzehnten, ob die LNT-Hypothese gerechtfertigt ist oder nicht, ob sie über- oder untertreibt.

Wie berechnet man nun mithilfe der LNT-Hypothese die Gefahr, die von einer radioaktiven Substanz ausgeht, z.B. von radioaktiven Abfällen? Eine radioaktive Substanz kann einen Körper entweder von aussen bestrahlen oder, falls inkorporiert, von innen wirken. Dieser letztere Fall ist bei den meisten Szenarien der schlimmste, zudem wir-

Isotop (Radionuklid)	*Halbwertszeit*	*α-Energie [MeV]*	*β-Energie [MeV]*	*γ-Energie [MeV]*	*Vorkommen im Boden [mg/kg]*	*Ursprung*
Tritium (H-3)	12,3 Jahre		0,0186			nat. + künst.
Kohlenstoff-14	5730 Jahre		0,155			nat. + künst.
Kalium-40	1,3 Mia. Jahre		1,3	1,46	2,5	natürlich
Strontium-90	29 Jahre		0,55			künstlich
Iod-131	8 Tage		0,97			künstlich
Cäsium-137	30 Jahre		0,51	0,66		künstlich
Polonium-210	138 Tage	5,3			$2 \cdot 10^{-10}$	nat. + künst.
Radon-222	4 Tage	5,5			$4 \cdot 10^{-13}$	natürlich
Thorium-232	14 Mia. Jahre	4,1			9,6	natürlich
Uran-328	4,5 Mia. Jahre	4,3			2,7	natürlich
Plutonium-239	24 000 Jahre	5,2				künstlich

Tabelle II Halbwertszeit, Energie (nur die häufigste) und Vorkommen einiger wichtiger natürlicher und künstlicher Radioisotope.



Rüegg/Ecolo

Bild 4 Vergleich Zwischenlager und Ramsar.
Links: Dosismessung im Zwilag, vor einem Behälter mit hochradioaktiven Abfällen. 30 min Aufenthalt an dieser Stelle (19 µSv/h) entspricht bezüglich des Risikos dem Rauchen einer Zigarette. Rechts: Im Schlafzimmer dieses Kindes in Ramsar herrscht eine Strahlendosis von 28 µSv/h [12].

ken viele radioaktive Substanzen, vor allem die gefürchteten Alphastrahler, nur von innerhalb des Körpers. Die Frage ist also, wie viele Sievert (Sv, bestimmt das Risiko) eine bestimmte Menge inkorporierter Radionuklide (gemessen in Bq) verursacht. Im Prinzip braucht man «nur» einen Umrechnungsfaktor, der aus den Bq die Sv berechnet. Diesen gibt es tatsächlich, man nennt ihn Dosisfaktor (oder Dosiskoeffizient). Man findet die Dosisfaktoren als gigantisches Tabellenwerk (1882 Seiten) im Internet [3]. Die Tabellen wurden von der International Commission on Radiological Protection (ICRP) aufgestellt. Sie basieren auf einer gewaltigen Menge Daten und Berechnungen aus mehreren Jahrzehnten Forschung. Tabelle II enthält für ein paar übliche Radionuklide die Dosisfaktoren.

Kennt man also die inkorporierte Menge (in Bq), so erhält man durch Multiplikation mit dem Dosisfaktor die Sv. Das Risiko kann somit abgeschätzt werden: 4,5 Sv Schockdosis sind in 50% der Fälle tödlich, pro Sv (verteilte Dosis) erhöht sich die Krebswahrscheinlichkeit im Alter um 5%. Die Lebensdauerverkürzung beträgt 8 Monate/Sv oder 6 h/mSv. Eine ausführliche und ausgewogene Arbeit (mit Greenpeace-Mitarbeit) betreffend der Folgen von inkorporierten Radionukliden ist der Cerrie-Bericht [4], aber auch die UNO-Berichte sind eine gute Quelle für mehr Informationen [2].

Zigaretten und Äpfel statt Sievert

Bei einer Dosisangabe in Milli- oder Mikrosievert ist das Risiko nicht anschaulich fassbar. Dafür gibt es bessere Masseinheiten, z.B. Zigaretten. Wendet man LNT auf Zigaretten an, so stellt bereits eine einzige Zigarette ein (winzig kleines) Risiko dar. Ein starker Raucher konsumiert innert 50 Jahren etwa 365 000 Zigaretten (1 Päckchen pro Tag). Rechnet man mit einer Lebensdauerreduktion von 7 Jahren, so erhält man pro Zigarette einen Anteil von 10 min.

Also gilt betreffend Risiko: 1 mSv = 40 Zigaretten = 6 h weniger Lebenserwartung

Gemäss LNT kann ein einziges Strahlenteilchen (oder Russteilchen) – zur falschen Zeit am falschen Ort – einen Krebs auslösen. Konsequenterweise kann dann auch ein einziges «gutes» Molekül, z.B. ein Radikalfänger – zur richtigen Zeit am richtigen Ort – einen Krebs verhindern. Gemüse und Früchte reduzieren Krebsrate und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Nimmt man an, dass beim Konsum von 0,5 kg pro Tag, 80 Jahre lang, die Lebenserwartung um 5 Jahre verlängert wird, so kann man leicht ausrechnen, dass 1 kg mit 3 h daran beteiligt ist. Verspeist man also einen Apfel, erhält man einen Bonus von 30 min auf sein Leben. Es gilt:

1 mSv = 40 Zigaretten = 6 h weniger Lebenserwartung = –12 Äpfel

Das Minus vor den 12 Äpfeln bedeutet, dass damit das Risiko von 1 mSv aufgehoben werden kann. 1 mSv ist übrigens die behördlich zugelassene Jahresdosis.

Mit diesen Anleitungen und «Einheiten» kann man interessante Vergleiche anstellen. In der NZZ vom 7. Januar 2009 konnte man lesen, dass das Kantonslabor Basel-Stadt österreichischen Waldhonig beanstanden musste. Das Problem: 23,7 Bq/kg Cs-137 (aus Tschernobyl), mehr als das Doppelte der schweizerischen Toleranzdosis. Risikomässig entspricht diese Menge dem Rauchen von 0,012 Zigaretten. Ein Dauerkonsum von 1 kg verseuchtem Honig pro Woche ist so gefährlich wie eine Zigarette alle 20 Monate. Alle 5 Jahre ein Apfel hebt das Risiko (theoretisch, gemäss LNT) wieder auf. Das Risiko, durch einen Meteoriten umzukommen, ist wesentlich grösser.

Ein anderes Beispiel: 2004 wurde enthüllt, dass Teile der Mirage radioaktiv sind. Bundesrat und Parlament mussten sich mit deren Endlagerung beschäftigen [5]. Die Fakten: Pro Flugzeug hat es 4 kg (16,4 Mio. Bq) radioaktives Thorium, als Bestandteil (3%) einer Magnesiumlegierung. Im Extremfall würde man mit 3,8 Sv belastet (20% Krebswahrscheinlichkeit). Allerdings nur theoretisch, denn dazu müsste man über 130 kg dieser Legierung essen. Bereits nach einigen 100 g wäre man aber chemisch vergiftet. Fazit: Mit der Radioaktivität einer Mirage kann man kaum jemanden umbringen.

Im Sommer 2008 wurde bekannt, dass im KKW Leibstadt 4 Arbeiter radioaktive Stoffe eingeatmet haben [6]. Die maximal aufgenommene Dosis war kleiner als 1 mSv, entspricht also risikomässig dem Rauchen von knapp 2 Päckchen Zigaretten. 2 kg Früchte oder Gemüse heben dieses Risiko wieder auf (rein statistisch unter Anwendung von LNT).

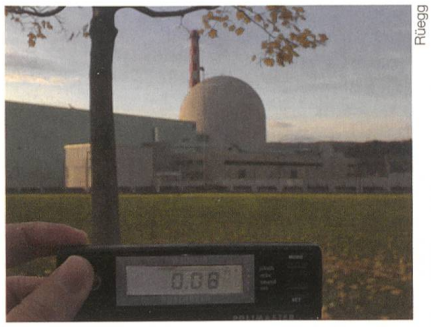
Es gibt viele weitere Beispiele für Abschätzungen dieser Art, besonders bei den radioaktiven Abfällen. Aber dies würde den Rahmen dieses Artikels sprengen.

Moderne Forschung

Ganz grob kann man die Forschung über die biologische Wirkung von Strahlen in zwei Kategorien einteilen: Man kann einerseits bestrahlte Lebewesen studieren (Krebsrate, Lebensdauer und andere klinische Symptome). Dies wurde beispielsweise mit den Hiroshima-Überlebenden gemacht und mit Millionen Labortieren. Anderseits kann man auf molekularer Ebene Effekte an Zellen untersuchen (z.B. DNA-Schäden). Die Resultate und Schlussfolgerungen aus diesen beiden Kategorien sind aber oft widersprüchlich.

Werden bestrahlte Zellen mit molekularbiologischen Methoden untersucht, findet man eine Fülle von meist negativen Effekten (z.B. DNA-Schäden, genomische Instabilitäten, Hypersensivitäten). Allerdings ist die Auswirkung auf den Gesamtorganismus umstritten.

Werden hingegen lebende Organismen bestrahlt, ist die Situation die folgende: Bei grossen Einmaldosen sind die Effekte



Rüegg

Bild 5 Strahlendosis beim KKW Leibstadt.
Im schweizerischen Mittelland liegt die natürliche Strahlendosis zwischen 0,06 und 0,12 µSv/h.

(akute Wirkungen, Mutationen, Krebs) klar und unbestritten. Bei kleinen Dosen, kleiner als 2% der tödlichen, gehen die Wirkungen immer mehr in den natürlichen gesundheitlichen Variationen unter. Noch schwieriger ist die Situation bei chronischen Dosen, die Wirkungen sind hier noch kleiner. Und um die Verwirrung zu steigern: Bei Tierversuchen zeigen sich im unteren Dosisbereich überraschende Effekte: Bestrahlte Tiere leben oft länger und gesünder als unbestrahlte.

Bei Menschen kann man aus einer Vielzahl von gewollten und ungewollten Bestrahlungen versuchen, Rückschlüsse zu ziehen. So geben Hiroshima und Nagasaki Auskunft über die Wirkung von einmaligen Schockdosen. Und Hunderttausende von Berufsleuten (Mediziner, Nuklearbeiter, Flugpersonal, Uranminenarbeiter ...) wurden mit meist kleinen Dosen bestrahlt. Es gibt unzählige Studien darüber, und diese sind alles andere als eindeutig. Manche ergeben positive Effekte (weniger Krebs, längeres Leben), andere keine oder negative Effekte. Das gleiche Durcheinander zeigen Studien betreffend Radon und diejenigen von medizinisch Bestrahlten (zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken). Bei Tschernobyl ist die Situation die gleiche: Bei hohen Dosen (Feuerwehrleute in den ersten Tagen, Jodbelastungen bei Kindern) sind klar negative Effekte sichtbar, bei kleinen Dosen zeigt sich die ganze Bandbreite von positiven bis zu negativen Effekten. Bei der Wirkung der Umweltstrahlung scheint es mehrheitlich Hinweise auf keine oder auf positive Effekte zu geben.

Die Forscher, die wissenschaftlichen Gremien und die Behörden sind sich nicht einig. Die französische Académie des Sciences zusammen mit der Académie nationale de Médecine kommt nach einer umfassenden Analyse zum Schluss, dass unter 0,1 Sv (2% der tödlichen Dosis) keine negativen Effekte sichtbar sind [7]. LNT sei bei kleinen Dosen falsch, diese könnten im Gegenteil nützlich sein, also das Leben verlängern.

Auf der anderen Seite kommt die amerikanische National Academy of Science mit ihrer Strahlenschutzkommission BEIR zum Schluss, dass an LNT festgehalten werden sollte [8]. Den gleichen Schluss zieht die International Commission on Radiological Protection (ICRP [9]). Die United Nation Scientific Comittee on the Effects of Atomic Radiation (Unscear [2]) akzeptiert die Existenz von positiven Effekten bei kleinen Dosen, empfiehlt aber (aus praktischen Gründen) trotzdem LNT.

Jährlich werden mehrere internationale Konferenzen über die Wirkung von kleinen Strahlendosen durchgeführt. Die Mehrzahl der Forscher verwirft LNT, und es werden relativ viele Arbeiten über positive Effekte präsentiert.

Die Gesundheits- und Umweltschutzbehörden sind hingegen nicht zuletzt aus praktischen Gründen ausnahmslos für LNT: Ohne diese Hypothese würde die Gesetzgebung (Festlegung der Grenzwerte) zu einem Albtraum. Und man befindet sich auf der sicheren Seite (zumindest dann, wenn keine positiven Effekte existieren).

Die Situation ist nicht sehr befriedigend. Je nachdem, welche Art von Arbeiten man berücksichtigt, kann man beweisen, dass kleine Dosen schädlich, harmlos oder nützlich sind. Offenbar verstehen wir die molekularbiologischen Mechanismen und die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Ebenen (Biomoleküle, Zelle, Gewebe, Organ, ganzer Organismus) noch nicht genügend. Nur eines ist klar: Winzig kleine Dosen führen auch bei pessimistischen Annahmen nur zu winzig kleinen Risiken.

Radioaktivität in der Öffentlichkeit

In der Öffentlichkeit ist jedes radioaktive Atom eines zu viel. Nicht ganz einfach bei der Tatsache, dass unser Körper Trillionen davon beherbergt. Politiker vermeiden numerische Risikoabschätzungen oder Vergleiche mit anderen Giftstoffen. Die Folge: Die Diskussionen werden vorwiegend auf der emotionalen Ebene statt auf der sachlichen geführt. Zugegeben, alle numerischen Abschätzungen sind mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Aber selbst wenn die Risiken 10-mal grösser wären, die Schlussfolgerung bleibt die gleiche: Die Gefahren werden übertrieben, die Grenzwerte unverhältnismässig tief angesetzt. Wer daran zweifelt, sollte die Diskussion zumindest auf einer vernünftigen numerischen Ebene führen – wozu dieser Artikel einige Anregungen bietet.

Referenzen

[1] www.rerf.jp
[2] www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_1.html
[3] www.bfs.de/de/bfs/recht/dosis.html
[4] www.cerrie.org/pdfs/cerrie_report_e-book.pdf
[5] www.parlament.ch/D/Suche/Seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20041115
[6] www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=21057
[7] www.radscihealth.org/rsh/Papers/FrenchAcadsFinal07_04_05.pdf
[8] http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=1
[9] www.icrp.org
[10] www.rerf.or.jp/general/research_e/longevify.html
[11] www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_1.html: UNSCEAR-07-82087_Report_Annex_A_2006_Web.pdf
[12] www.taishitsu.or.jp/radiation/ramsar-e.html

Angaben zum Autor

Dr. ***Walter Rüegg*** ist Kernphysiker mit einer starken Neigung zur Strahlenbiologie. Er hat 20 Jahre lang an der ETH und am PSI (damals SIN) geforscht, später in der ABB (Elektronik und Sensorik). Er war viele Jahre lang Chefphysiker in der Schweizer Armee und hat sich intensiv mit Nuklearwaffen und Radioaktivität befasst. Seit 2006 unabhängig.

Walter Rüegg, 5304 Endingen, w.ruegg@soclair.ch

[1] Evakuationskriterium in Tschernobyl war 350 mSv Lebensdosis.

Résumé

Dans quelle mesure le rayonnement est-il dangereux?

Evaluation numérique du risque. C'est au plus tard depuis Tchernobyl que le rayonnement radioactif est devenu synonyme d'objets et paysages contaminés. Mais la physique et l'opinion publique ne concordent pas en la matière, car tout être humain, tout mètre cube de terre contient par nature des trillions d'atomes radioactifs. L'important, c'est la dose. Etant entendu que les experts ne sont pas d'accord pour fixer la valeur limite en dessous de laquelle le rayonnement radioactif est inoffensif. Car il y a des villes où le rayonnement naturel est tel que, d'après les valeurs limites de Tchernobyl, elles devraient être évacuées depuis longtemps. Et pourtant, les habitants se portent bien.

darwin21

future technology professionals

Wir motivieren Jung-Innovatoren.

In der Nachwuchsförderungs-Bewegung darwin21 erhalten begabte junge Vordenker Gelegenheit, ihre Kreativität schon heute zu beweisen.

www.darwin21.org

Presenting Partner:

Endress+Hauser
People for Process Automation

Hosting Partner:

mch messe schweiz

go. automation technology

Patronat:

swissT.net swiss technology network

electrosuisse

Supplying Partner:

Distrelec

knürr environments for electronics

PHOENIX CONTACT INSPIRING INNOVATIONS

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Technik

Supporter:

Baumer

Rexroth Bosch Group

ifm electronic – close to you! www.ifm-electronic.ch

SIEMENS

SMC

Teams:

- **Babel**
  Hochschule Luzern – Technik & Architektur
  Phoenix Contact AG
- **Bacchus**
  Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg
  Hochschule für Technik und Architektur Freiburg
  Saia-Burgess Controls AG
- **Bajazzo**
  Berner Fachhochschule Technik und Informatik
  Beckhoff Automation AG
- **Balbo**
  HFTbiel – Höhere Fachschule für Technik Biel
  Siemens Schweiz AG
- **Balu**
  Berufsakademie Karlsruhe
  Endress+Hauser Flowtec AG
- **Ben Hur**
  Gewerblich-industrielle BERUFSFACHSCHULE LIESTAL
  Endress+Hauser Flowtec AG
- **Berni**
  MSW Winterthur
  SMC Pneumatik AG
- **Big Boss**
  SUPSI
  KUKA Roboter Schweiz AG
  STEMMER IMAGING AG
- **Billy Boy**
  AVIL, BBZ, Wibilea
  Weidmüller Schweiz AG
- **Bodo**
  Höhere Fachschule für Technik des Kantons Solothurn HFT-SO
  Distrelec – Bereich der Dätwiler Schweiz AG
- **Borex**
  HSR – Hochschule für Tech Rapperswil, IMA
  Bosch Rexroth Schweiz AG
- **Bruce**
  FHNW - Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Automation
  Sick AG
- **Buster**
  FHNW - Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Automation
  ifm electronic ag

Eine Produkton von www.eins1.ch