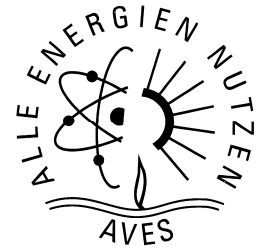


AVES Pfannenstil

Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES)
Regionalgruppe Pfannenstil
c/o Dr. Hans R. Moning AG, Gotthardstrasse 10, 8800 Thalwil
Postkonto 80-10120-3
www.aves-zh.ch



BULLETIN Nr. 62

April 2010

Liebe Leserin, lieber Leser

Kaum eine Bedrohung ist für uns so schwer fassbar wie diejenige, die von radioaktiven Strahlen ausgeht. Risiken, die wir schwer begreifen können, ängstigen uns mehr als Gefahren, die sich in unser auf Erfahrung beruhendes Weltbild einordnen lassen. Es erstaunt deshalb nicht, dass die in der Bevölkerung vorherrschenden Vorstellungen von der Gefährlichkeit radioaktiver Strahlen einer rationalen Betrachtung nicht standhalten.

Es liegt uns fern, die Risiken radioaktiver Strahlen zu verharmlosen. Dies wäre unverantwortlich und zynisch. Es ist jedoch ein zentrales Anliegen der AVES, sich einer Thematik rational und fundiert anzunähern. In diesem Sinne setzen wir uns im vorliegenden Bulletin mit dem Thema "Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen?" auseinander. Dabei kamen uns zwei Voraussetzungen zugute:

1. Die Auswirkungen der Atombomben von Hiroshima und Nagasaki wurden in Japan im Rahmen der aufwändigsten, immer noch laufenden, medizinischen Untersuchung aller Zeiten so gründlich wie möglich untersucht. Die Ergebnisse der umfassenden und fundierten Studien werden auch von kritischen Organisationen wie Greenpeace akzeptiert.
2. Als Autor konnten wir mit Dr. Walter Rüegg einen ausgewiesenen Experten gewinnen. Er ist Kernphysiker mit einem starken Interesse an Strahlenbiologie. W. Rüegg hat 20 Jahre lang an der ETH und am PSI (damals SIN) geforscht. Viele Jahre war er Chefphysiker in der Schweizer Armee und hat sich intensiv mit Nuklearwaffen und Radioaktivität befasst.

AVES Regionalgruppe Pfannenstil
Hans R. Moning

Inhalt

Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen?

Seite 2

Wie gefährlich sind radioaktive Strahlen?

von Dr. Walter Rüegg

Im Spiegel, 28/2008, Seite 28 konnte man lesen: „Stellt man sich eine Minute neben ein Gramm Plutonium, so stirbt man“. Man kann leicht nachweisen, dass die natürliche Untergrundstrahlung wesentlich stärker ist. Wenn die Spiegel-Aussage stimmen würde, müssten wir alle mindestens zweimal pro Minute an der Untergrundstrahlung sterben. Das Risiko wird um viele Milliarden überschätzt, von einem Meteoriten getötet zu werden ist mindestens zehntausendmal wahrscheinlicher. Im Übermass ist alles tödlich, aber bei den radioaktiven Strahlen wird auch die winzigste Menge als extrem gefährlich wahrgenommen. Diese undifferenzierte Angst hat ihren Ursprung wohl in den Ereignissen von Hiroshima und Nagasaki und in einer fragwürdigen Hypothese (LNT), auf die nachfolgend noch eingegangen wird.

Am 6. August 1945 fiel eine Atombombe mit einer Sprengkraft von 16'000 Tonnen TNT auf Hiroshima. Die Wirkung war verheerend: Die Stadt bestand fast ausschliesslich aus leicht zerstör- und brennbaren Holzhäusern. Zudem traf die Explosion die Bevölkerung völlig unvorbereitet. Ein Fliegeralarm wurde wegen der drei einsamen, in grosser Höhe anfliegenden Bomber nicht ausgelöst.

Die Bombe tötete gleich auf vier Arten: Die extreme Hitzestrahlung führte selbst in einer Entfernung von über 2 km vom Nullpunkt zu tödlichen Verbrennungen. Die Druckwelle brachte die fragilen Holzhäuser in einem Umkreis bis etwa 2 km zum Einsturz und verursachte noch in einem Abstand von 3 km beträchtliche Schäden. Der nachfolgende Feuersturm besorgte den Rest (völlige Zerstörung innerhalb eines Radius von 2 km). Die Nuklearstrahlung hatte die kleinste Reichweite. Sie wirkte für Menschen im Freien bis etwa 1 km tödlich. Gemäss den Untersuchungen der Stadtverwaltung, des RERF (Forschungsinstitut in Hiroshima) und der verschiedenen japanischen und amerikanischen Forschungsgruppen beträgt die Zahl der Toten, welche die Bombe bis heute insgesamt verursacht hat, zwischen 80'000 und 150'000. Japanischen Angaben zufolge starben 60 Prozent der Opfer an den Brandwunden (Hitzestrahlung und Feuersturm) und 30 Prozent an mechanischen Verletzungen, bei 10 Prozent war die Ursache unklar (grösstenteils wohl Opfer der Nuklearstrahlung). Diese Angaben stimmen weitgehend mit vielen anderen Untersuchungen überein. Die nukleare Strahlung der Bombe war also für höchstens 10 Prozent der Opfer verantwortlich. Wie steht es aber um die Langzeitwirkungen?

Langzeitwirkungen von Hiroshima und Nagasaki

Wenige Wochen nach den Explosionen nahmen sowohl die Japaner als auch die Amerikaner und Briten äusserst gründliche wissenschaftliche Untersuchungen auf. Ohne Zweifel sind dies die aufwändigsten medizinischen Untersuchungen aller Zeiten – und sie dauern heute noch an. Etwa 120'000 Überlebende wurden lebenslänglich intensiv untersucht. Insgesamt dürften mehrere Milliarden Dollar investiert worden sein und vermutlich wird noch eine weitere Milliarde investiert werden. Heute ist die Radiation Effect Research Foundation (RERF) in Hiroshima und Nagasaki federführend [1]. Integrität und Qualität sind auf höchstem Niveau, die Resultate werden allgemein akzeptiert. Sie bilden die Grundlage unserer heutigen Risikoabschätzungen und gesetzlichen Vorschriften (Grenzwerte).

Die meisten Todesfälle (über 90 Prozent) waren innerhalb der ersten 24 Stunden zu beklagen. Nach etwa zwei Monaten sank die Rate auf praktisch normale Werte ab. Etwa zwei bis drei Jahre später bemerkte man aber in der Gruppe der stark Bestrahlten (etwa 50'000) ein Ansteigen der Leukämien bis zu einem Maximum von etwa acht zusätzlichen Fällen pro Jahr. Dies

geht aus dem Verlauf der Zahl der Krebstoten pro Jahr hervor, welche die Bestrahlung unter den Überlebenden verursacht hat (Bild 1). Bis heute sind insgesamt etwa 200 bestrahlte Überlebende an Leukämien gestorben - etwa doppelt so viele wie erwartet. Es fällt auf, dass offensichtlich eine Schwelle bei 4 bis 5 Prozent der akut tödlichen Dosis existiert (0.2 Sv, Bild 2). Die Messpunkte schliessen eine leichte Krebsunterdrückung bei kleinen Dosen nicht aus. Ähnliche Effekte sind bei Tierversuchen beobachtet worden.

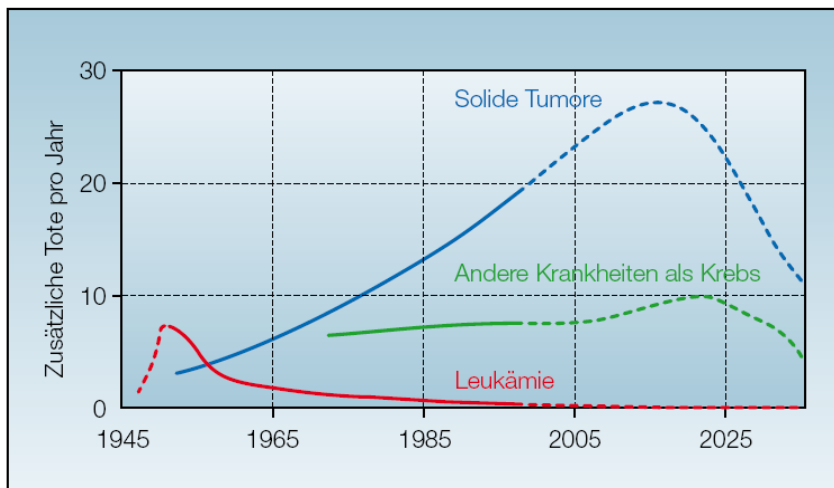


Bild 1

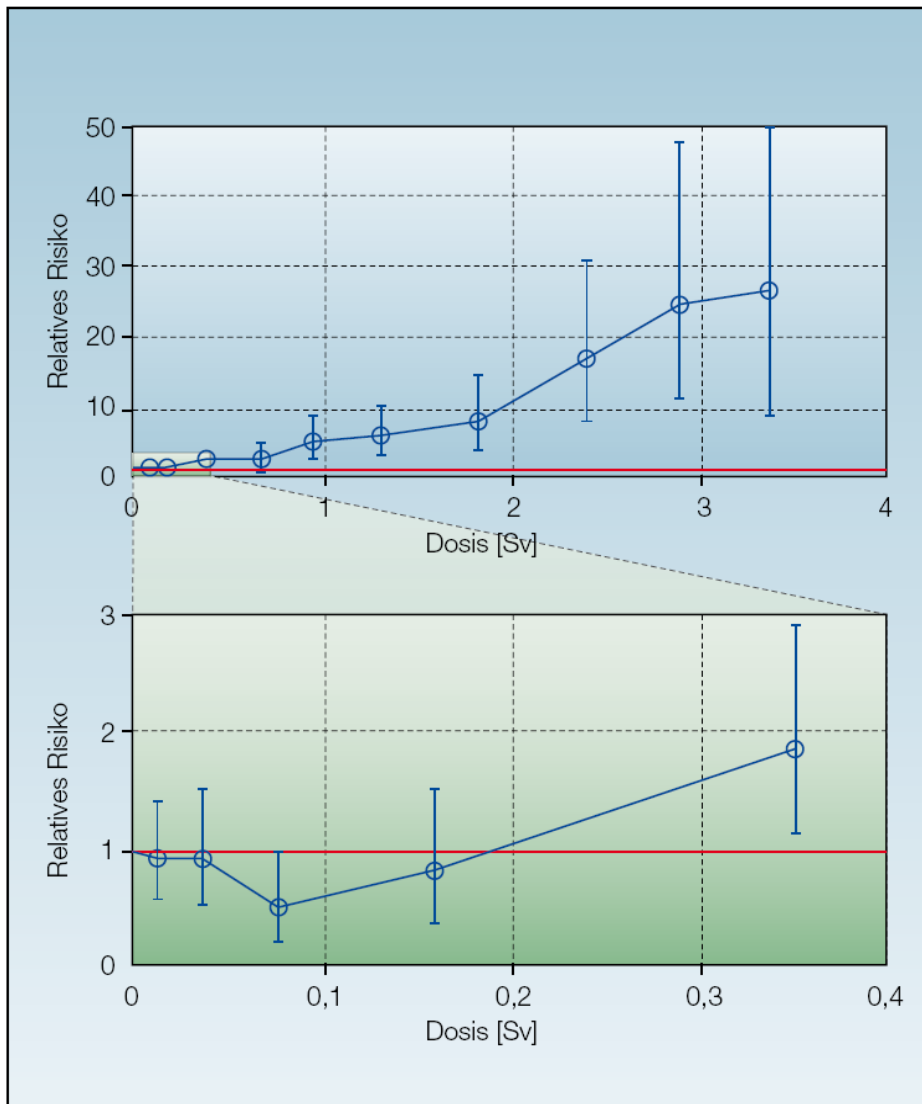
Strahlungsbedingte Todesfälle in Japan.

Anzahl strahlungsbedingter Todesfälle pro Jahr unter den etwa 120'000 untersuchten Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki [1]

(Quelle: Bulletin SEV/AES 4/2009)

Leukämien sind seltene Erkrankungen, von denen je nach Typ, Ort und Zeit nur ein kleiner Bruchteil eines Prozents der Bevölkerung betroffen ist. Deshalb liegt selbst bei fast 30-facher Vergrößerung des Risikos (in der Nähe der tödlichen Dosis) der Prozentsatz der Bestrahlten, die an Leukämie sterben werden, bei "nur" etwa 3 Prozent. Diese Zahl berücksichtigt zudem nicht, dass heute 70 bis 80 Prozent aller Leukämien heilbar sind, d. h., statt 3 Prozent dürften bei guter medizinischer Betreuung in westlichen Industriestaaten bei einer hohen Dosis von 3 Sv nicht mehr als etwa 1 Prozent sterben.

Strahlenbedingte Leukämien brechen nach einer relativ kurzen Latenzzeit aus, im Mittel nach etwa acht Jahren. Allerdings führt selbst eine praktisch tödliche Strahlendosis relativ selten zu einer Leukämieerkrankung (in ca. 3 Prozent der Fälle). Bei den soliden Tumoren ist es hingegen umgekehrt: Bis zur ersten Diagnose vergehen mehrere Jahrzehnte. Die Wahrscheinlichkeit, infolge Bestrahlung mit einer Dosis, die der halben tödlichen Dosis entspricht, an einem soliden Tumor zu sterben, liegt bei 20 bis 30 Prozent. Heute dürften in Hiroshima etwa 30 Überlebende pro Jahr vorzeitig sterben (verglichen mit knapp 5'000 „normalen“ Todesfällen). Im Mittel haben die Bestrahlten eine etwa 4 Monate kürzere Lebenserwartung als die Unbestrahlten. Alle wissenschaftlichen Untersuchungen zeigen konsistent, dass es sonst praktisch keine gesundheitlichen Unterschiede zwischen Bestrahlten und Unbestrahlten gibt. Insgesamt werden die Spätfolgen in Hiroshima zwischen 1'000 und 1'500 zu früh Verstorbene fordern, etwa 1 bis 1,5 Prozent aller Überlebenden. Die Forscher sind sich einig, dass der Lebensstil (Rauchen, Ernährung, Bewegung usw.) einen sehr viel grösseren Einfluss auf die Gesundheit der Überlebenden hat als die Bestrahlung durch die Bombe. Es steht ebenfalls fest, dass die durch die Bombenexplosion verursachten „konventionellen“ Verletzungen zu wesentlich gravierenderen Langzeitfolgen (wie lebenslanger Invalidität) führten als die Nuklearstrahlung.

**Bild 2****Relatives¹ Risiko durch Strahlung**

Todesfälle durch Leukämien, die durch die Strahlung ausgelöst wurden (relatives Risiko).

Anmerkung: Die untere Hälfte der Grafik zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des Dosis-Bereichs 0 bis 0.4 Sv.

(Quelle: Bulletin SEV/AES 4/2009)

Und wie steht es um die Erbschäden? Unter den rund 80'000 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 der 15. Schwangerschaftswoche zu geistigen Entwicklungsstörungen (z.B. reduzierter IQ) führen [1].

Biologische Wirkungen

Radioaktiven Strahlen entstehen, wenn instabile Atomkerne überschüssige Energie loswerden oder eine nicht stabile Zusammensetzung korrigieren. Die Strahlen haben eine Energie, die tausend- bis millionenfach grösser ist als die Energie, die ein Molekül zusammenhält.

¹ Die absolute Wahrscheinlichkeit sagt aus, wie gross das Risiko ist zu erkranken. Sie wird meist in Prozent angegeben. Kennt man dieses Risiko, so beschreibt das relative Risiko, um welchen Faktor sich das Risiko durch den Einfluss der Bestrahlung vergrößert (Bei einem relativen Risiko von 10 ist das Krankheitsrisiko 10-mal grösser als ohne durch die Bombe verursachte Bestrahlung). Die "normale" Leukämierate ohne Strahlung liegt beim relativen Risiko von 1 (rote horizontale Linie in Bild 2).

Entsprechend zerstörerisch können sie wirken, egal ob natürlichen oder künstlichen Ursprungs. Die Strahlendosis wird in Energieeinheiten angegeben, 1 Gray (Gy) bedeutet, dass in einem kg Gewebe eine Strahlenenergie von 1 Joule (1 Ws) absorbiert wurde. Bei Röntgen- oder Gamma-Strahlen (elektromagnetische Strahlen) und bei Betastrahlen (schnelle Elektronen) beträgt die Dosis, bei der 50 Prozent 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 Alpha-Strahlen). Das Resultat wird in Sievert (Sv) angegeben, dies ist die biologisch wirksame Dosis. Auch hier gilt: 4,5 Sv auf einmal sind in 50 Prozent der Fälle tödlich. Ab 1 bis 2 Sv wird ein Teil der Bestrahlten vorübergehend strahlenkrank.

Ist jedes einzelne Strahlenteilchen schädlich? Wohl kaum, denn unser Körper wird jede Sekunde von mehreren Zehntausend Strahlenteilchen natürlichen Ursprungs durchbohrt. Etwa die Hälfte stammt aus radioaktiven Stoffen in unserem eigenen Körper und der Rest vom Boden und aus dem Kosmos. Die Schadensbilanz: Mehrere 100 Millionen (!) defekter Biomoleküle (u.a. DNA) pro Sekunde. Trotzdem ist dies kein Grund zur Panik, denn die Anzahl defekter Biomoleküle, die ganz natürlich aufgrund chemischer Prozesse in unseren Zellen entstehen, ist millionenfach grösser. Diese Schäden werden unter anderem durch freie Radikale verursacht. Dies sind aggressive Moleküle, die bei der Sauerstoffatmung in unseren Zellen in grossen Mengen (bis zu einigen Millionen pro Sekunde und Zelle) erzeugt werden. Auch die radioaktive Strahlung erzeugt freie Radikale (etwa 150'000 pro Gy und Zelle). Auf diesem Wege verursacht sie die meisten Schäden. Bei sehr hohen Strahlendosen werden Zellen dadurch richtiggehend vergiftet, sterben ab und werden (meistens) durch eine neue ersetzt. Aber auch ohne zusätzliche Strahlung ersetzt unser Körper gegen eine Million schadhafter Zellen pro Sekunde.

Das Leben hat sich seit Jahrtausenden auf Schadensbekämpfung eingestellt. Unsere Zellen lassen ununterbrochen Teile ihres Inhaltes 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, dem Sitz der Bau- und Betriebsanleitung der Zelle. Spezielle Kontroll-Moleküle „wandern“ ständig entlang der DNA. Wird ein Fehler entdeckt, wird er entweder durch herbeigerufene, hochkomplexe Enzyme repariert oder die Zelle beschliesst (zum Wohle des Gesamtorganismus), Selbstmord zu begehen. Man kennt inzwischen weit über Hundert verschiedene Reparaturenzyme. Man schätzt, dass etwa 10 Prozent aller Gene in Reparatur- und Abwehrmechanismen involviert sind.

Die Reparaturen sind aber nicht immer fehlerfrei. Mit den Jahren akkumulieren sich die Fehler. Gemäss vorherrschender Meinung ist dieser Prozess verantwortlich für das starke 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 ihn beschleunigen, bei 50 Prozent der tödlichen Dosis um 1 bis 2 Jahre. Rauchen, Fehlernährung und Bewegungsmangel können den Krebsprozess noch fördern.

Natürliche und künstliche Radioaktivität

Unsere Welt besteht aus über 90 verschiedenen Elementen, etwa 1/3 (!) davon besitzt natürlich vorkommende radioaktive Isotope (vor etwa 5 Milliarden Jahren in Supernovae entstanden, zum Teil auch durch die kosmische Strahlung erzeugt). Wenig bekannt ist, dass auch Elemente wie Tellur (wird z. B. in modernen Solarzellen benutzt) zu 2/3 aus extrem langlebigen radioaktiven Isotopen bestehen. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten noch existierenden primordialen (ur-

sprünglichen) radioaktiven Isotope. Ebenfalls aufgeführt sind einige der wichtigsten künstlich erzeugten Isotope.

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 Milliarden J.		1.3	1.46	2.5	natürlich
Strontium-90	29 Jahre		0.55			künstlich
Iod-131	8 Tage		0.19			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 Milliarden J.	4.1			9.6	natürlich
Uran-238	4.5 Milliarden J.	4.3			2.7	natürlich
Plutonium-239	24'000 Jahre	5.2				künstlich

Tabelle 1

Halbwertszeiten, Energien (nur die häufigste) und Vorkommen einiger wichtiger natürlicher und künstlicher Radioisotope

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) gemessen, 1 Bq bedeutet einen Zerfall pro Sekunde. Im menschlichen Körper misst man rund 9'000 Bq natürlichen Ursprungs (vor allem K-40, C-14 und verschiedene Uran- und Thoriumisotope sowie deren Zerfallsprodukte).

Als unserer Erde entstand, war die Materie extrem radioaktiv (etwa 1 Milliarde Bq/kg). Heute findet man im Durchschnitt immer noch mehrere Millionen (!) Bq in einem Kubikmeter Erde (und auch 4 g Uran und 15 g Thorium). Und in einem Kubikkilometer Meerwasser hat es die gewaltige Menge von etwa $1.2 \cdot 10^{13}$ Bq, daran ist Uran mit etwa 3.3 Tonnen/km³ beteiligt. Die gesamte Erde hat eine Radioaktivität von schätzungsweise $3 \cdot 10^{27}$ Bq, millionenmal mehr als alle Kernreaktoren dieser Welt je an radioaktiven Abfällen produzieren können. Tschernobyl setzte etwa 10^{19} Bq frei. Der grösste Teil ist inzwischen zerfallen, heute sind nur noch rund 10^{16} Bq vorhanden.

Alles ist „natürlich“ 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 eine 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 $0,04 \mu\text{Sv/h}$, ungefähr die Hälfte des Durchschnittswertes im schweizerischen Mittelland und in grossen Teilen Europas. In Rom hingegen (Bild 3) erreicht die Strahlung teilweise 50 Prozent der Evakuationsdosis von Tschernobyl (350 mSv Lebensdosis). 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.



Bild 3

In Alicante, Spanien, ist die natürliche Umweltstrahlung besonders klein, etwa $0,04 \mu\text{Sv/h}$.



In Rom hingegen ist sie überdurchschnittlich hoch (im Kolosseum $0,27 \mu\text{Sv/h}$)

Der Rekordhalter dieser „High Rad“ Gebiete dürfte die Stadt Ramsar im Iran sein, ein beliebter Kurort am Kaspischen Meer. Die durchschnittlichen Dosen liegen hier um $10 \mu\text{Sv/h}$, 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 (Chromosomenabberationen) oder Missgeburten. Das gleiche gilt für die vielen anderen High Rad Gebiete.

Problematische Risikoberechnung bei kleinen Dosen: die LNT-Hypothese

Drei Liter Wein an einem Abend bringen einen durchschnittlichen Menschen in Lebensgefahr. Was aber bewirkt ein einziger, winziger Tropfen, ist er auch schädlich? Eine dumme Frage? Nein, überhaupt nicht: Viele „amtliche“ Grenzwerte liegen im Verhältnis noch viel tiefer. Als Rechtfertigung wird angenommen, dass wenn 1'000 Menschen je einem Tausendstel einer tödlichen Dosis ausgesetzt sind, genau ein Todesopfer resultiert. Dies ist die Grundidee der LNT-Hypothese. (Linear No Threshold): Man nimmt an, dass das Langzeit-Risiko (Krebs) linear mit der Dosis abnimmt (d.h. halbe Dosis gleich halbes Risiko) und auch keinen Schwellenwert (No Threshold) hat. Diese Hypothese hat zur Folge, dass auch die winzigste Dosis ein (winziges) Risiko verursacht.

Das Problem mit LNT: Die Gültigkeit dieser Hypothese ist bei Dosen unterhalb von einigen Prozenten der tödlichen nicht beweisbar. Der Grund dafür ist einfach: Die Wirkungen sind dann so klein und/oder so selten, dass sie von den normalen Gesundheitsvariationen (bzw. den anderen Todesursachen) völlig überdeckt werden. Die Forscher, die Behörden und die Umweltverbände streiten sich seit Jahrzehnten, ob die LNT-Hypothese gerechtfertigt ist oder nicht, ob sie über- oder untertreibt.

Besonders umstritten ist die LNT-Hypothese bei kleinen, chronischen (fortwährenden) Bestrahlungen, wie z.B. der natürlichen Untergrundstrahlung. Diese verursacht Lebensdosen von einigen Prozenten der tödlichen, in Gebieten mit hoher Bodenradioaktivität auch wesentlich mehr. Klare negative Effekte sind nicht sichtbar, im Gegenteil. Tierversuche zeigen konsistent, dass chronische Dosen schwächer wirken als Schockdosen, doch wie zuverlässig lassen sich Tierversuche auf Menschen übertragen? Schwierig ist auch die Risikoschätzung bei Aufnahme von radioaktiven Substanzen in den Körper (Inkorporation). Mehr darüber findet man in der ausführlichen (in Zusammenarbeit mit Greenpeace ausgeführten) Cerrie-Studie [7].

Risikokommunikation mit anschaulichen Vergleichen

Ausser einigen wenigen Fachleuten kann niemand etwas mit Dosisangaben in Milli- oder Mikrosievert anfangen. Aber man kann diese Einheiten „umrechnen“, z.B. in Zigaretten. Wendet man LNT auf Zigaretten an, so stellt bereits eine einzige Zigarette ein Risiko dar. Ein starker Raucher konsumiert innert 50 Jahren etwa 365'000 Zigaretten (1 Päckchen pro Tag). Die meisten Statistiken zeigen eine Lebensdauerreduktion von 5-10 Jahren. Nimmt man 7 Jahre, so erhält man pro Zigarette einen Anteil von 10 Minuten. Vor allem aus den Untersuchungen an den Atombombenüberlebenden ist bekannt, dass eine hohe Strahlungsdosis die Lebenserwartung verkürzt, umgerechnet auf 1 mSv um etwa 6 Stunden.

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

Die LNT-Hypothese nimmt an, dass ein einziges Strahlenteilchen (oder Russteilchen) – zur falschen Zeit am falschen Ort – viele Jahre später einen Krebs auslösen kann. 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-Kreislaufkrankungen. 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 Stunden daran beteiligt ist. Verspeist man also einen Apfel, erhält man einen Bonus von 30 Minuten auf sein Leben. Es gilt:

1 mSv = 40 Zigaretten = 6 Std. 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 „Einheiten“ (und den Anleitungen in SEV/Rüegg [8]) lassen sich viele interessante Vergleiche anstellen. In der NZZ vom 7. Januar 2008 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. Konsumiert man für den Rest seines Lebens jede Woche 1 kg „verseuchten“ Honigs, so ist dies so gefährlich wie eine Zigarette alle 20 Monate. Alle 5 Jahre ein Apfel hebt das Risiko (theoretisch, gemäss LNT) wieder auf.

Was wissen wir wirklich?

Schon eine einfache Bakterienzelle ist noch lange nicht in allen Details „verstanden“. Der Grund: Sie weist eine Komplexität auf, die jeden Supercomputer alt aussehen lässt. Unsere Körperzellen sind noch tausendmal grösser und komplexer, und wir haben etwa 70'000'000'000'000 davon. Das grösste Wunder: Wir können spielend in jeder Sekunde Milliarden und Abermilliarden defekter Moleküle verkraften und Millionen Zellen ersetzen. Es ist (fast) hoffnungslos, in einem solchen hyperkomplexen und gleichzeitig hyperstabilen System die biologische Wirkung von Strahlen genau verstehen zu wollen. Und die Probleme potenzieren sich durch die Tatsache, dass keine zwei Menschen genau gleich reagieren (von den Unterschieden Tier/Mensch ganz zu schweigen).

Immerhin kann man feststellen, dass keine andere chemische oder physikalische Einwirkung auf den Organismus derart gründlich untersucht worden ist. Milliarden von Dollar wurden (und werden immer noch) investiert, Zehntausende von Forschungsarbeiten sind publiziert worden. 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 viele andere klinische Symptome). Dies wurde beispielsweise mit den Hiroshima-Überlebenden gemacht und mit Millionen Labortieren. Andererseits 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, Hypersensibilitäten, Bystandereffekte). Allerdings ist die Auswirkung auf den Gesamtorganismus umstritten. Mehr Aussagekraft haben die Untersuchungen an lebenden Organismen, die Situation ist hier die folgende: Bei grossen Einmaldosen sind die Effekte (akute Wirkungen, Mutationen, Krebs) klar und unbestritten. Bei kleinen Dosen, kleiner als etwa 2 Prozent 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, Hormesis genannt: Bestrahlte Tiere leben oft länger und gesünder als unbestrahlte.

Bei Menschen kann man aus einer Vielzahl von Bestrahlungen versuchen, Rückschlüsse zu ziehen. So geben Hiroshima und Nagasaki Auskunft über die Wirkung von einmaligen Schockdosen. Hunderttausende von Berufsleuten (Radiologen, Nukleararbeiter, Flugpersonal, Uranminenarbeiter, Leuchtziffernmalerinnen usw.) wurden bestrahlt. Es gibt ungezählte Studien darüber, und die sind alles andere als eindeutig. Manche ergeben positive Effekte (weniger Krebs, längeres Leben), andere keine oder negative Effekte, manche scheinen LNT zu bestätigen, andere wiederum nicht. Das gleiche Durcheinander zeigen Studien betreffend Radon und

diejenigen von medizinisch Bestrahlten. Bei Tschernobyl ist die Situation die gleiche: Bei hohen Dosen (Feuerwehrlente in den ersten Tagen, Iod-Belastungen 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 Gesundheits- und Umweltschutzbehörden sind 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 Umweltschutzverbände sind diskussionslos für LNT, damit lässt sich „beweisen“ dass auch kleinste Dosen schädlich sind.

Die amerikanische National Academy of Science mit ihrer Strahlenschutzkommission BEIR kommt ebenfalls zum Schluss (mit einigen Vorbehalten), dass an LNT festgehalten werden sollte [4]. Den gleichen Schluss zieht die International Commission on Radiological Protection (ICRP [5]). Die United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR [2]) akzeptiert die Existenz von positiven Effekten bei kleinen Dosen, empfiehlt aber (vorsichtshalber mit Vorbehalten) trotzdem LNT.

Auf der anderen Seite kommt die altehrwürdige französische Académie des Sciences zusammen mit der Académie Nationale de Médecine nach einer umfassenden Analyse zum Schluss, dass unter 0,1 Sv (2 Prozent der tödlichen Dosis) keine negativen Effekte sichtbar sind [3]. LNT sei bei kleinen Dosen falsch, diese könnten im Gegenteil nützlich sein, also das Leben verlängern.

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

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. Nur eines ist völlig klar (und wird meistens verdrängt): Kleinste Dosen führen auch bei pessimistischen Annahmen nur zu so winzigen (und erst noch hypothetischen) Risiken, dass wir sie getrost vergessen können.

In der Öffentlichkeit gilt jedes radioaktive Atom als eines zuviel. Nicht ganz einfach angesichts der Tatsache, dass unser Körper Trillionen davon beherbergt. Die Diskussionen werden vorwiegend auf der emotionalen Ebene statt auf der sachlichen geführt. Die Folge: Die Gefahren werden extrem überschätzt, die Grenzwerte unverhältnismässig tief angesetzt. Wir konzentrieren uns auf hypothetische Mikrorisiken und geben dafür Milliarden aus.

Referenzen

- [1] [www. rerf.jp](http://www.rerf.jp)
- [2] www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_1.html
- [3] www.radscihealth.org/rsh/Papers/FrenchAcadsFinal07_04_05.pdf
- [4] http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=1
- [5] www.icrp.org
- [6] www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_1.html: UNSCEAR-07-82087_Report_Annex_A_2006_Web.pdf.
- [7] www.cerrie.org/pdfs/cerrie_report_e-book.pdf
- [8] W. Rüegg, Bulletin SEV/AES 4/2009 / <http://www.electrosuisse.ch/display.cfm/id/127833>

Angaben zum Autor

Dr. Walter Rüegg ist Kernphysiker mit einem starken Interesse an 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 ist er als unabhängiger Berater tätig.

Walter Rüegg
Sonnmattstrasse 7
CH 5304 Endingen
w.ruegg@soclair.ch



Eine Fülle von Informationen über energiepolitische und energietechnische Themen finden Sie im Archiv auf der Website der AVES Regionalgruppe Pfannenstil unter:

www.aves-zh.ch