

Radioaktivität – einige Fakten

Dr. rer. nat. Bernd Hüttner

Auf den Seiten der Bundesregierung findet man folgende Aussage:

Merkel: «Ich habe für mich eine neue Bewertung vorgenommen», sagte die studierte Physikerin. Es gehe um die Verlässlichkeit von Risikoannahmen und Wahrscheinlichkeitsanalysen. „Fukushima hat meine Haltung zur Kernenergie verändert.“¹

Sekundiert wird sie von dem neuen Umweltminister in Baden -Württemberg, Franz Untersteller:

„25 Jahre liegen zwischen dem ersten atomaren Supergau in Tschernobyl und dem zweiten Supergau im japanischen Fukushima.“



Erhellendes hat auch die Bundestagsabgeordnete und atompolitische Sprecherin der Grünen, Sylvia Kotting-Uhl, beizutragen. In einem Interview sagte sie:



„Wir haben außerhalb der Schutzzone gemessen, weil es dort eine breite Schneise von Fukushima-Daiichi aus Richtung Nord-Westen gibt, die stark kontaminiert ist. Wir waren an einem Ort, an dem noch ungefähr zehn Prozent der Menschen leben. Es sieht aber nicht so aus, als wären die Verbliebenen schon am Packen, sondern sie verrichten ganz normal ihren Alltag. Wir haben dort elf Mikrosievert gemessen, unter einem Abflussrohr sogar 500. Wenn ein Mensch ein Jahr lang dort leben würde (unter dem Abflussrohr?), käme er auf eine Jahresdosis von 89mSv. Das ist mehr als das Vierfache der Grenzwertdosis, der ein

¹ http://www.bundesregierung.de/nn_1264/Content/DE/Rede/2011/06/2011-06-20-bkin-jahreskonferenz-rat-nachhaltige-entwicklung.html

Arbeiter in Atomkraftwerken ausgesetzt sein darf.“ Nach ihrer Meinung beträgt der Grenzwert wohl 20mSv.

Auf den Punkt bringt es infamerweise der Umweltminister:

„Das war eine Gelegenheit, und wir haben zugegriffen“, sagte Röttgen.²

Machen wir ein kurzes Zwischenfazit.

Frau Merkel hat neue fundamentale physikalische Erkenntnisse gewonnen. Deren Wert betrachten wir gleich.

Für den Grünen Untersteller sind Tschernobyl und Fukushima gleich, Dies beweist entweder völlige Unkenntnis oder totale Volksverdummung.

Seine Parteifreundin hat revolutionäre Messungen durch- und wundersame Rechnungen ausgeführt, denn weder $11\mu\text{Sv}$, $500\mu\text{Sv}$ noch $511/2\mu\text{Sv}$ ergibt pro Jahr 89mSv .

Der Tod von 25000-27000 Opfern, primär durch den Tsunami verursacht, war für Röttgen die herbeigesehnte Gelegenheit. Man liest förmlich zwischen den Zeilen, mit ein paar Nukleartoten wäre dies noch besser gewesen.

Bevor wir uns den physikalischen Aspekten zuwenden, sei zum Anfang an eine Aussage von Paracelsus erinnert.

Nach Paracelsus ist jeder Stoff ein Gift für den Körper, es kommt nur auf die Dosis an.

Auf den folgenden Seiten 3 bis zum Kasten auf Seite 6 werden physikalische Grundlagen betrachtet. Wer will kann diese erst einmal überspringen und sie später lesen.

Die wenigen englischen Passagen stammen aus dem Buch „Radiation and Reason“ von Prof. Wade Allison. Er lehrt seit mehr als 40 Jahren medizinische und Strahlenphysik an der Universität von Oxford in England.

Aktivität – Zerfälle pro Sekunde gemessen in Bequerel $1\text{Bq}=1\text{Zerfall/s}$
Energiedosis D ist absorbierte Energie pro Masse in Gray $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$
Äquivalentdosis ist die vom Körper aufgenommene Energiedosis durch ionisierende Strahlung multipliziert mit einem Qualitätsfaktor, welcher der relativen biologischen Wirksamkeit der jeweiligen Strahlungsarten Rechnung trägt.
 $H = Q \cdot D$ gemessen in Sievert $1\text{Sv}=1\text{J/kg}$
Qualitätsfaktor $Q=1$ für γ - und β -Strahlung, 5 für langsame und 10 für schnelle Neutronen, 10 für α -Strahlung

² <http://www.tagesspiegel.de/politik/merkel-einsichten-die-ich-heute-teile/4306078.html>

Eindringtiefe und Wechselwirkung von α -Strahlung mit Materie

Ein α -Teilchen ist ein zweifach ionisiertes He-Atom, welches auf seinem Weg eine Ionisierung von anderen Atomen bewirkt. Die Reichweite ist ziemlich gering, wie der nachstehenden Tabelle entnommen werden kann, deshalb ist es leicht abzuschirmen, aber mögliche Sekundärstrahlung muss beachtet werden.

Energie der Alpha-Teilchen in MeV	Reichweite der Alpha-Strahlung in		
	Luft	Muskelgewebe	Aluminium
1	0,3 cm	4 μm	2 μm
3	1,6 cm	16 μm	11 μm
4	2,5 cm	31 μm	16 μm
6	4,6 cm	56 μm	30 μm
8	7,4 cm	91 μm	48 μm
10	10,6 cm	130 μm	67 μm

Eindringtiefe und Wechselwirkung von β -Strahlung mit Materie

Ein β -Strahler emittiert Elektronen, die bei einer Kernspaltung freigesetzt werden. Deren Wechselwirkung mit Materie ist kleiner als die von α -Strahlung und folglich ist die Anzahl der erzeugten Ionenpaare pro Länge geringer und die Reichweite größer.

Teilchen-Energie in MeV	Reichweite in		
	Luft	Körpergewebe	Aluminium
0,01	3 mm	0,0025 mm	0,009 mm
0,1	0,1 m	0,16 mm	0,05 mm
0,5	1,2 m	1,87 mm	0,6 mm
1	3,06 m	4,75 mm	1,52 mm
2	7,10 m	11,1 mm	4,08 mm
5	19 m	27,8 mm	9,9 mm
10	39 m	60,8 mm	19,2 mm
20	78 m	123 mm	39 mm

Eindringtiefe und Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie

Die γ -Strahlung besteht aus hochenergetischen Photonen, die durch Absorption ein oder mehrere Elektronen aus einem Atomverband lösen können (Photoef-

fekt). Auf Grund der Energie geschieht dies bevorzugt für die inneren Niveaus. Dieser Prozess dominiert bei relativ geringen Energien.

Bei mittleren Energien überwiegt die Comptonstreuung, bei der das Photon ein Elektron entfernt und seine Richtung ändert.

Bei hohen Energien ($E > 1.022\text{MeV}$) tritt Paarbildung auf, bei der ein Elektron-Positronpaar gebildet wird. Hierzu ist minimal eine Energie von 1.022MeV notwendig. Die restliche Energie geht in die kinetische Energie der Teilchen über. Die Eindringtiefe ist material- und energieabhängig, wie die folgende Tabelle der Halbwertsschichten, die Hälfte der Strahlung wird absorbiert, zeigt.

Material	Materialdicke in cm bei einer Energie der Gamma-Strahlung von [MeV]					
	0,1	0,5	1	5	10	100
Wasser Halbwertschicht	4,15	7,18	9,85	23,1	31,6	40,2
Beton Halbwertschicht	1,75	3,41	4,66	10,3	12	12,5
Eisen Halbwertschicht	0,257	1,06	1,47	2,82	3,02	2,1
Blei Halbwertschicht	0,0118	0,422	0,893	1,43	1,21	0,642

Eindringtiefe und Wechselwirkung von Neutronen mit Materie

Die Wechselwirkung von Neutronen mit Materie erfolgt entweder durch elastische und inelastische Stöße oder durch das Einfangen eines Neutrons im Kern. Beim elastischen Stoß bleibt für die Stoßpartner die Gesamtenergie erhalten. Der „ruhende“ Atomkern kann dabei aber soviel Energie erhalten, dass er den Atomverband verlässt und dabei andere Atome ionisiert.

Beim inelastischen Stoß erfolgt eine Anregung des Kerns und eine Abbremsung des Neutrons. Durch Relaxation geht der Kern später wieder in den Grundzustand, wobei ein γ -Quant ausgestrahlt wird.

Die Abbremsung ist dann am größten, wenn die Stoßpartner gleiche Massen haben. Deshalb wird in den meisten AKW Wasser als Moderator verwendet.

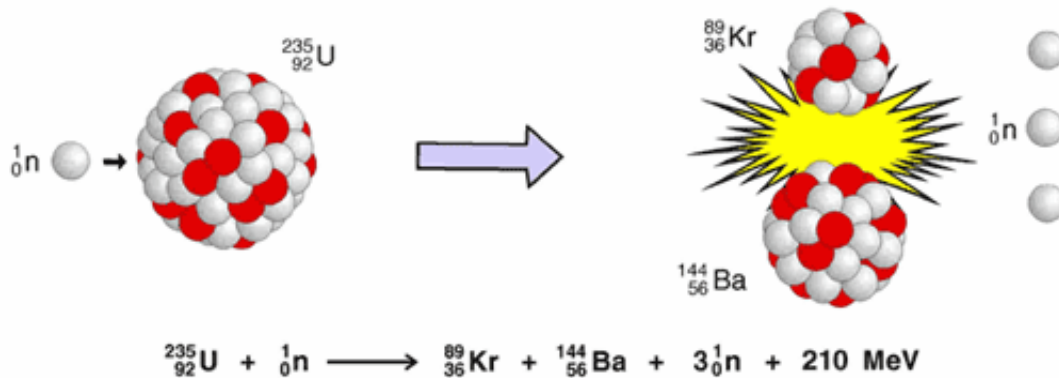
Als elektrisch neutrale Teilchen dringen Neutronen tief in Materie ein - viele Zentimeter in den typischen technischen Strukturmaterialien.

Als freie Teilchen sind Neutronen allerdings aufgrund der schwachen Wechselwirkung nicht stabil und zerfallen in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino mit einer Halbwertszeit von ca. 890 s.

Kernspaltung

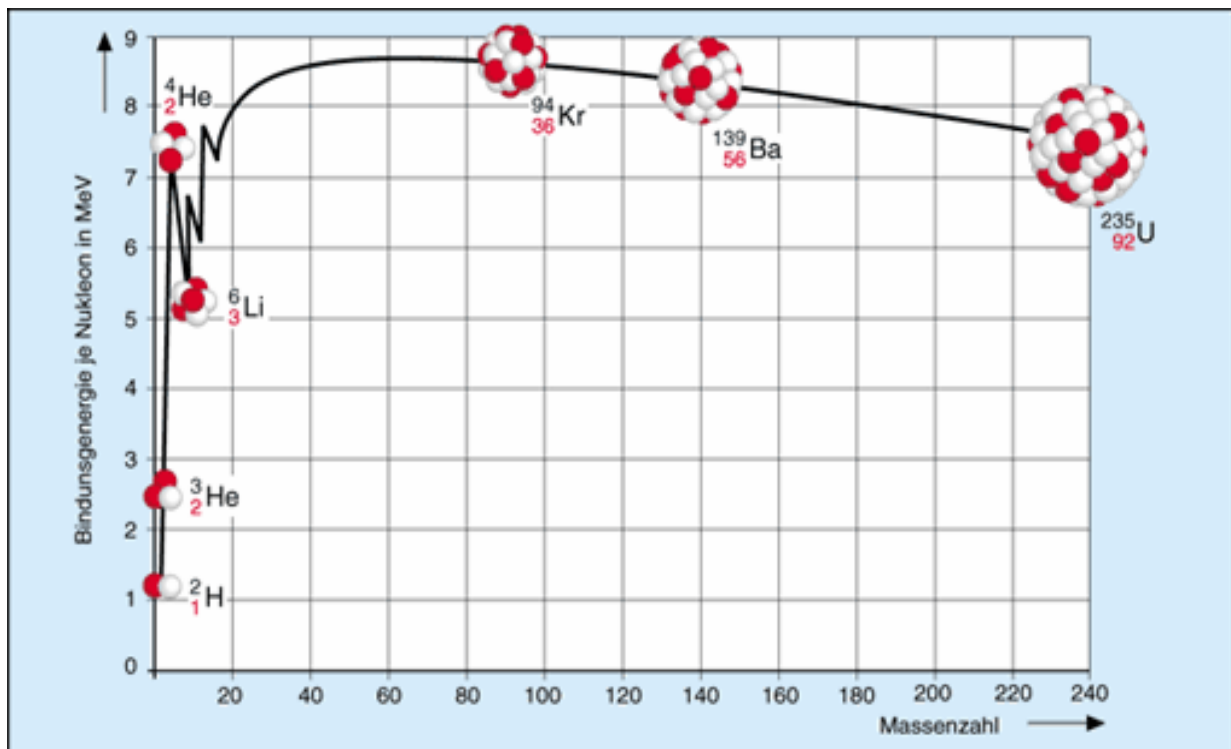
Wir beschränken uns hier auf die Kernspaltung von ^{235}U , weil dies das wichtigste Reaktormaterial ist. Bei der Kernspaltung von Uran-235 wird durch Einfan-

gen eines Neutrons der Urankern zur Spaltung angeregt. Dabei entstehen im Allgemeinen zwei - seltener drei - Spaltprodukte, zwei bis drei Neutronen und Energie. Dies ist schematisch in der folgenden Graphik dargestellt.



${}^{235}\text{U}$ hat eine natürliche Halbwertszeit von 703,8 Mio. Jahre. Es steht am Beginn der Uran-Actinium-Reihe und tritt mit einem Anteil von etwa 0,7 % in natürlichem Uranvorkommen.

Die Spaltung erfolgt, weil die Bindungsenergie für die Nukleonen in den Spaltprodukten größer als im Uran ist.



Energie wird bei dem Prozess freigesetzt, weil es einen Massendefekt gibt ($\Delta E = \Delta m \cdot c^2$). Je größer der Massendefekt ist, desto stabiler ist der Atomkern, da mehr Energie zu seiner Zerlegung aufgewendet werden muss. Die dabei frei

werdende Energie ist gegenüber chemischen Prozessen, die durch Elektronenaustausch erfolgen, um Größenordnungen höher.

Die Energie bei der Spaltung eines Atoms teilt sich folgendermaßen auf:

Energieart / Strahlungsart	Durchschnittliche Energie
Kinetische Energie der Spaltfragmente	167 MeV
Prompte Gammastrahlung	6 MeV
kinetische Energie der Neutronen	5 MeV
Elektronen aus Spaltfragment-Betazerfall	8 MeV
Gammastrahlung aus Spaltfragmenten	6 MeV
Antineutrinos aus Spaltfragment-Betazerfall	12 MeV
Gesamtenergie pro Spaltung	204 MeV

Bei der Spaltung von einem Kilogramm ^{235}U wird somit eine nutzbare (abzüglich der Neutrinos, die extremst selten eine Wechselwirkung mit Materie zeigen) Energie von rund 21 Millionen kWh freigesetzt. Dies entspricht einer Verbrennungsenergie von 2600 Tonnen kg Steinkohle (1 Steinkohleeinheit = 7000kcal pro kg). Eine Tonne Steinkohle kostete im 4. Quartal 2010 rund 93€, was für 2600t rund eine viertel Million ergibt. Der Preis pro kg Uran betrug ungefähr 120\$, was annähernd den Preis einer Tonne Steinkohle entspricht.

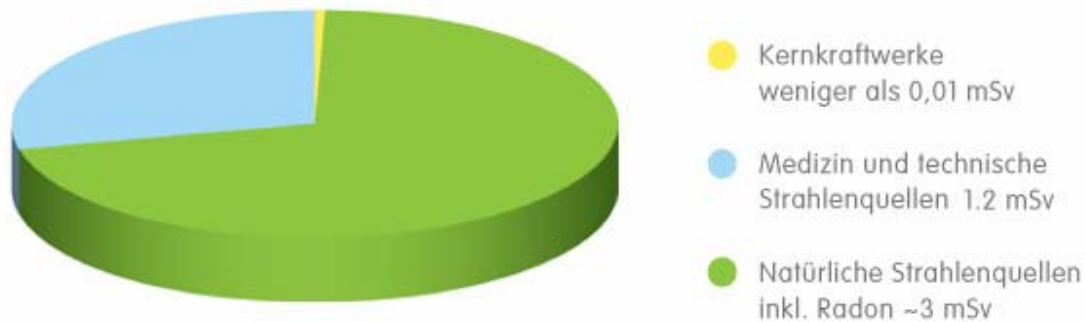
Nach einer amerikanischen Studie gibt ein 1GW Kohlekraftwerk pro Jahr bis zu 5.2t Uran und 12.8t Thorium an die Umwelt ab.³ In Ungarn zeigten Messungen in der Umgebung von KKW eine bis zu fünfmal über den natürlichen Anteil liegende Konzentration von den Radionukliden ^{238}U , ^{226}Rn , ^{232}Th , ^{137}Cs und ^{40}K .⁴ Dies übersteigt die Belastungen in der Nähe von Kernkraftwerken um ein Vielfaches, wie durch die nächste Abbildung für die Schweiz demonstriert wird.

³ A Gabbard ORNL Review 26 (1993) 3 and 4

⁴ Papp et al. – J. of environmental radioactivity 59 (2002) 191

Durchschnittliche jährliche Strahlendosis pro Person

In Millisievert (mSv)



Quelle: Bundesamt für Gesundheit

Trotzdem demonstrieren die Grünen gegen AKW wegen der Radioaktivität aber nicht gegen KKW, obwohl sie doch generell gegen Radioaktivität sind. Die KKW werden von ihnen verteufelt wegen des Ausstoßes des lebenswichtigen CO₂, aber nicht wegen der radioaktiven Materialien. Logik ist offensichtlich kein Bestandteil grüner Politik.

Obwohl die Kernenergie billig und zuverlässig ist, steigt Deutschland komplett und unumkehrbar, die Welt wundert sich und die Zukunft wird darüber lachen, aus. Begründet wird dies stets mit Tschernobyl und als Anlass dient Fukushima.

In Japan gab es bis heute keinen Strahlentoten und vermutlich auch keinen bedrohlich Verstrahlten. Der letzte UN-Bericht („The Chernobyl Forum“) zu Tschernobyl stammt vom Februar 2011. In ihm steht:

„Some of the reactor staff and emergency workers received, on 26 April 1986, high doses of external gamma radiation estimated to vary from 2 to 20 Gy, and as a result 28 of them died within first four months from radiation and thermal burns, and another 19 died over the years up to 2004.“

GREENPEACE macht aus 47 Opfern 90000 Tote. Soviel zu deren Glaubwürdigkeit.

Die Dosis und die Mortalität der in Tschernobyl eingesetzten Arbeiter sind in der folgenden Graphik abgebildet. Man beachte, dass ein nichtlinearer Zusammenhang besteht und dass ganz klar ein Schwellwertverhalten vorliegt. Von den

140 Verstrahlten mit einer Dosis kleiner 2000mSv starb keiner und von den 55, die eine Dosis zwischen 2000 und 4000mSv erhalten haben, überlebten 54.

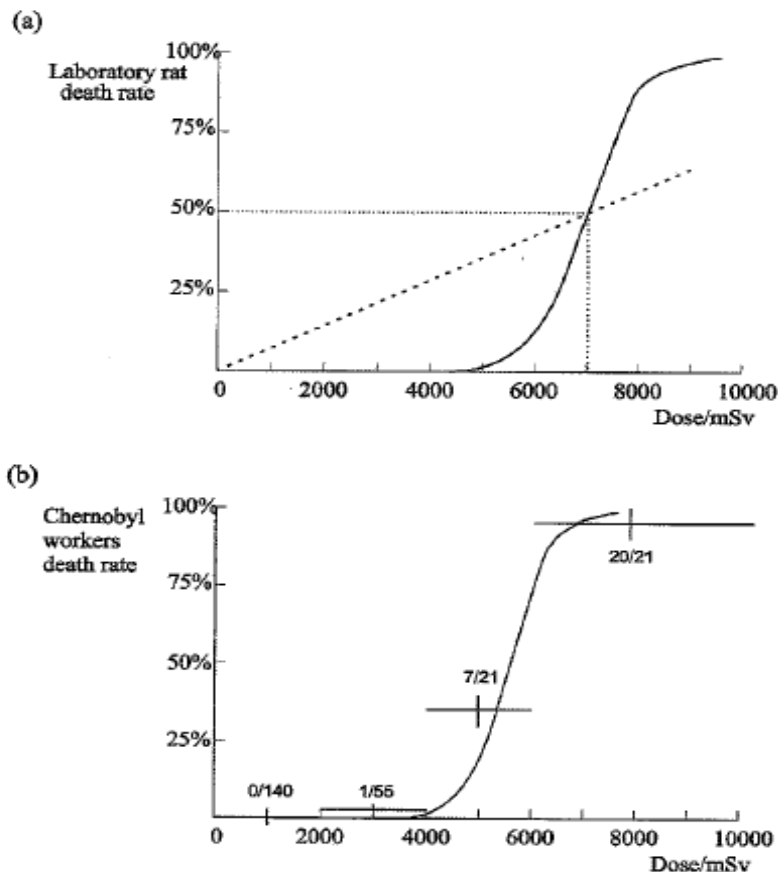


Figure 9 (a) The observed mortality of laboratory rats for different radiation doses (solid curve) compared with LNT (dashed line). The vertical and horizontal dotted lines are solely to guide the eye. (After Henriksen and Maillie [16].) (b) The mortality of Chernobyl workers (crosses) in four dose bands compared with the mortality of the rats, as in (a) but scaled to a slightly lower dose.

Wir erinnern uns an die grüne atompolitische Sprecherin, die von dramatischen $11\mu\text{Sv}$ (5 Größenordnungen kleiner!) bzw. $500\mu\text{Sv}$ unter einem Rohr berichtet. Wie sie allerdings daraus 89mSv pro Jahr errechnet, bleibt ihr Geheimnis. Ohne Angabe, was die Strahlung verursacht (Jod hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen, was bedeutet, dass es relativ viel Energie (Sv) in kurzer Zeit von sich gibt, während Cs mit 30 Jahren wenig über lange Zeiten emittiert), ist die Aussage Null und Nichtig.

Dies wird auch deutlich, wenn man sich die Strahlendosis für die Ukraine und Weißrussland ansieht. Im UN-Bericht steht dazu:

„Doses that could only be estimated some time after they occurred by careful evaluation of all available information were 17mSv on average to Ukrainian evacuees, with doses to individuals ranging from 0.1 to 380mSv. The average dose to Belarusian evacuees was 31mSv, with the highest average dose in two villages being about 300mSv.”

Es sei hier erwähnt, dass die Dosen niedriger sind, als die natürliche in vielen bekannten Gebieten in der Welt (China, Indien Iran, Brasilien). In Bad Gastein (Deutschland), z.B., beträgt die natürliche in der Ortsmitte 20-80mSv. Für das Personal der Badebetriebe ist der Wert noch deutlich höher. Ob den grünen Kur- und Badegästen dies schon einmal aufgefallen ist?

Weiterhin wird festgehalten:

“Because of the generally low doses received, however, there of any measurable effect of Chernobyl radiation exposures general population except for childhood thyroid cancer, since gland were received by children in contaminated areas.”

“For the 1152 thyroid cancer cases diagnosed among children in Belarus during 1986–2002 and treated, the survival rate was 98.8%. Eight patients (0.7%) died due to progression of the thyroid cancer, and 6 children (0.5%) died from other causes.”

Es ist zu vermuten, dass auch diese Kinder hätten gerettet werden können, wenn erstens die Russen ihre Nachbarn informiert und diese den Betroffenen rechtzeitig Jodtabletten gegeben hätten. Die Tabletten hätten die Inkorporation des radioaktiven Jods in die Schilddrüse verhindert. Da sie aber zu spät verabreicht wurden, bewirkten sie das Gegenteil, denn nun wurde das Ausscheiden vermindert.

Die Zahl der möglichen zukünftigen Strahlentoten durch Tschernobyl wird durch die UN auf 4000 beziffert. Da aber in den betroffenen Gebieten in den nächsten 70 Jahren rund 650 Millionen an natürlichen Krebs sterben werden⁵, können nur grüne Rechenkünstler diese statistisch herausfiltern.

Aber selbst diese relativ kleine Zahl von potentiellen Opfern, einer auf 162500 (0.006‰) natürlichen Krebsopfern, könnte noch zu groß sein, wenn man die Er-

⁵ PSI Energiespiegel Nr. 13 (2005)

fahrungen, die durch Hiroshima und Nagasaki gesammelt wurden, ins Kalkül zieht.

Die folgende Tabelle zeigt die Krebstoten durch die Bombenabwürfe verglichen mit einer Bevölkerungsgruppe, die den Einwohnern der beiden Städte entspricht, aber nicht von der Strahlung betroffen wurde. Die erste Spalte gibt die Dosis wieder, die die einzelnen Gruppen der Überlebenden der Abwürfe erhalten haben. Die dritte Spalte beinhaltet die an Krebs gestorben in Hiroshima und Nagasaki, während die 4., die an Krebs gestorbenen in der nicht betroffenen Region enthält. Der gesamte Unterschied beträgt 480 oder rund 0.5% der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki starben infolge der Strahlung an Krebs.⁶

Table 5 Mortality from solid cancers between 1950 and 2000 among the survivors of Hiroshima and Nagasaki with measured doses, from Preston et al [19, Table 3].

Dose range (millisievert)	Survivors	Survivor deaths		Extra risk per 1,000
		actual	expected	
<5	38,507	4,270	4,282	-2.0 to 1.4
5 to 100	29,960	3,387	3,313	0.0 to 3.5
100 to 200	5,949	732	691	3.5 to 12.5
200 to 500	6,380	815	736	9 to 18
500 to 1,000	3,426	483	378	25 to 37
1,000 to 2,000	1,764	326	191	63 to 83
>2,000	625	114	56	72 to 108
All	86,611	10,127	9,647	5.0 to 5.2

Im vergangenen Jahrhundert waren Uhren deren Ziffern nachts leuchteten in Mode. Die Luminosität wurde hierbei durch α -Strahlung emittierendes Radium erzeugt. Gefährlich wurde dies für die Ziffernblattmaler deshalb, weil sie den Pinsel mit dem Mund anspitzten. Dadurch gelang das Radium in den Körper, wo es sich in den Knochen ablagerte und in dem die komplette Energie absorbiert wurde. Untersuchungen zeigten nun, dass von den 191 Arbeitern, die mehr als 10Gy (100Sv, D=10) im Laufe ihres Arbeitslebens akkumulierten 46 an Kno-

⁶ D L Preston et al. –Radiation Research 162 (2004) 377-389

chenkrebs starben. Jedoch unter den 1339 Arbeitern, die weniger als 10 Gy erhielten, gab es keinen Fall von Knochenkrebs.

Ein vielleicht noch erstaunlicheres Ergebnis fand man für eine große Anzahl von Beschäftigten (174541), die in diversen Berufen einer erhöhten Strahlendosis von 24.9mSv im Mittel über der normalen pro Jahr, ausgesetzt waren. Die Sterblichkeitsrate an Krebs betrug unter diesen 81-84% (!) gegenüber der vergleichbaren Bevölkerung. Also, Strahlung kann sogar gesund sein. Viele Heilbäder beruhen auf dem Effekt, siehe Bad Gastein, Bad Karlsbad (Karoly Vary) etc.

Wie kann man dies verstehen? Es kommt eben immer auf die Dosis an. Strahlung an sich führt nicht zu irreparablen Schäden. Leben hat sich in einer strahlenden Umgebung entwickelt und daran angepasst. Die Natur hat Reparaturmethoden entwickelt, welche ganz effektiv sind, falls nicht kritische Schwellwerte überschritten werden und genügend Reparaturzeit zur Verfügung steht. Deshalb kann ein „Training“ durch unterkritische Bestrahlung zu einer Erhöhung des Schwellwertes führen.

So ein Mechanismus ist in der Physik wohlbekannt und firmiert dort unter den Namen optisches Härten. Dabei wird der Zerstörschwellwert von optischen Materialien gegenüber Laserstrahlung durch gezieltes, vielfaches Bestrahlen mit unterkritischer Laserstrahlung gegenüber unbehandelten Proben erhöht.

So wie der Schwellwert für optische Strahlung stark zwischen den verschiedenen Materialien variiert, gibt es in der Natur auch keinen einheitlichen Wert bezüglich der radioaktiven Strahlung. Die Dosis, bei der nach kurzzeitiger Ganzkörperbestrahlung 50% der Individuen innerhalb von 30 Tagen sterben beträgt für den Mensch 7Sv, für den Hamster 9Gy, für die Schnecke 200Gy und für die Amöbe 1000Gy.⁷

Selbst diese hohen Dosen sind keine Absolutwerte. In der Chemotherapie werden häufig viel höhere Dosen eingesetzt um das Leben der Patienten zu retten und nicht um sie umzubringen. Herr W. (ich habe dies vorliegen, möchte aber die Anonymität wahren) erhielt z.B. vor 2 Jahren 44Gy ins Gesicht und erfreut sich bester Gesundheit. 44Gy, dieser Wert ist 4 Millionen Mal höher als die von der grünen Expertin gemessene und als dramatisch empfundene Dosis von Fukushima. Es wäre sicher hilfreicher gewesen, wenn sie statt auf Steuerkosten nach Fukushima zu jetten, man denke nur an den CO₂-Ausstoß, eine Strahlenklinik in Deutschland besucht hätte.

⁷ [http://www-user.tu-chemnitz.de/~mhie/Kerne Elementarteilchen/KP_ET_10.pdf](http://www-user.tu-chemnitz.de/~mhie/Kerne_Elementarteilchen/KP_ET_10.pdf)

Ziehen wir ein Fazit:

Der Mensch hat kein Organ zur Wahrnehmung von radioaktiver Strahlung. Deshalb hat er Jahrtausende furchtlos mit ihr Leben können. Nach deren Entdeckung durch die Curies, den Bau und Einsatz von Atombomben und der politisch gewollten Verknüpfung von atomaren Waffen und AKW hat sich dies grundlegend geändert. Dies ist aber ein politisches und kein physikalisches Problem.

Fukushima hat keine neuen physikalischen Erkenntnisse gebracht. Es hat aber bewiesen, dass ein AKW unbeschädigt ein Erdbeben der Stärke 9 überstehen kann, obwohl es „nur“ für eine Stärke von 8.2 konzipiert war. Das Problem war der Tsunami, der zu dem Ausfall der elektrischen Versorgung führte, und die Knallgasexplosion, welche durch den Einsatz elektrischer Rekombinatoren verursacht wurde. In deutschen AKW werden autarke Rekombinatoren eingesetzt. Übrigens hat die Bundesregierung gerade eine Gefährdung der unterirdischen CO₂-Speicherung durch Erdbeben in Deutschland ausgeschlossen.⁸ Aber für oberirdische AKW besteht sie. Frau Merkels Logik wird wohl immer grüner.

Eine Verteufelung der Radioaktivität per se ist wider die Natur. Radioaktivität gibt es überall und zwar mit einer ganz großen Bandbreite. Mehr noch, Radioaktivität kann in milden Dosen, die aber ein Vielfaches der angeblichen grünen Grenzwerte betragen, gesundheitsfördernd sein, wie Heilbäder seit Jahrhunderten bezeugen.

Aber auch in sehr hohen Dosen, wie sie in der Krebsbekämpfung verwendet werden, kann sie lebensrettend eingesetzt werden.

Der unmotivierte Ausstieg aus der Kernenergie ist wissenschaftlich nicht begründbar und volkswirtschaftlich ein Desaster.

⁸ Deutscher Bundestag Drucksache 17/6149