

# Die (Hals)kettenreaktion

---

Eine traurig-lustige Geschichte über radioaktive Halsketten mit chinesischem Wunderpulver, die eine behördliche Kettenreaktion in Deutschland und der Schweiz auslösten. Und gleichzeitig eine tiefschürfende Frage aufwerfen: Der Strahlenschutz schützt uns vor den Strahlen, aber wer schützt uns vor dem Strahlenschutz?

Dr. sc. nat. Walter Rüegg  
w.ruegg@soclair.ch

Update 2018-10-06

## Table of Contents

<b>Die (Hals)kettenreaktion .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Zusammenfassung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Wie alles ins Rollen kam .....</b>	<b>2</b>
2.1 Alibaba und die 40 Beamten .....	2
2.2 Das Delikt .....	3
<b>3 Ionen, Strahlen und die Gesundheit.....</b>	<b>5</b>
3.1 Radioaktive Strahlen, die Inkarnation des Bösen? .....	5
3.2 Die radioaktiven Ketten und der Strahlenschutz .....	8
<b>4 Anhang I: Risikoabschätzungen, Risikokommunikation .....</b>	<b>10</b>
4.1 Das Ionenpulver .....	10
4.2 Die radioaktiven Halsketten .....	10
4.3 Das Problem der Risikokommunikation .....	14
<b>5 Anhang II: Kommentar zum BAG-Bericht über Risiken im Niedrigdosisbereich. ...</b>	<b>15</b>
<b>6 Anhang III Schnellkurs über Radioaktivität und Radiobiologie.....</b>	<b>18</b>
6.1 Was ist Radioaktivität? .....	18
6.2 Wie messen wir die Strahlenbelastung? .....	19
6.3 Was wissen wir über die Wirkungen der Radioaktivität? .....	19
6.4 Akute und deterministische Wirkungen der Strahlung .....	21
6.5 Verzögerte Wirkungen der Strahlung .....	21
6.6 LNT und das Problem der kleinen Dosen .....	22
6.7 100 mSv und unsere Sauerstoffatmung .....	24
6.8 Das Leben ist riskant .....	25

# 1 Zusammenfassung

Halsketten, welche, wie sich kürzlich herausstellte, eine erhöhte natürliche Radioaktivität aufweisen, wurden im kleinen Rahmen von S.O. hergestellt und zusammen mit B.Ü vertrieben. Die Ionen, welche die Halsketten erzeugen, sollen die Gesundheit fördern - wissenschaftlich gesehen durchaus möglich. Das Grundmaterial der Halsketten, ein Gesteinspulver, wurde aus China importiert. Anfang 2018 fiel eine solche Sendung auf dem Flughafen von Frankfurt durch erhöhte Strahlung auf. Dies löste sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz eine behördliche Kettenreaktion aus. Das Pulver verletzt die entsprechenden radioaktiven Grenzwerte massiv, obwohl es bei genauerem Hinsehen recht harmlos ist.

Denn vom strahlenden Gesteinspulver muss man über 25 kg essen, um sich (radiotoxisch) umzubringen. Bei Aspirin genügen 10 Gramm, also ist es mindestens 2500-mal toxischer. Und die Halsketten? Trägt man sie Tag und Nacht, so verursachen sie ein deterministisches (akutes) Risiko einer Hautrötung, welches weniger als 3 Sekunden Sonnenexposition pro Monat entspricht. Das Risiko an Hautkrebs zu sterben, liegt im schlimmsten Fall bei 0.00004% (falls die LNT-Hypothese gilt, dies ist aber eher unwahrscheinlich). Das Risiko in der Schweiz ermordet zu werden, ist 10-mal höher.

Art. 8 des Strahlenschutzgesetzes lautet: *«Sämtliche Massnahmen im Strahlenschutz müssen nach dem zugrunde liegenden Risiko abgestuft sein»*. Das von den «radioaktiven» Halsketten ausgehende Risiko kann man mit bestem Wissen und Gewissen gleich Null setzen. Trotzdem verursachten sie einen ordentlichen behördlichen Wirbel, mit Strafanzeigen und Polizeieinsatz, sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz.

## 2 Wie alles ins Rollen kam

### 2.1 Alibaba und die 40 Beamten

Alibaba, der grosse Konkurrent von Amazon, verkauft so ziemlich alles, was es auf dieser Welt zu kaufen gibt. Unter anderem auch ein chinesisches Gesteinspulver, welches negative Ionen produzieren soll<sup>1</sup>. Die Firma Zhongrun Mineral in Hebei, China, stellt dieses Pulver in grösseren Mengen her (man kann auch 100 Tonnen davon bestellen). Es wird für eine Vielzahl von Zwecken angepriesen: *«Painting, ceramic, pendant, textile, water treatment, latex, cosmetic, plastic, glaze, Synthetic fiber, air purification and so on»*.

Frau S.O. stellt in der Schweiz in kleinem Rahmen Produkte her, welche zum Ziel haben, die Gesundheit positiv zu beeinflussen. B.Ü., Life Supporterin, unterstützt sie bei der Vermarktung. Seit etwa 4 Jahren fabriziert S.O. Halsketten, welche das oben genannte Pulver enthalten. Wie sich kürzlich herausstellte, besitzt dieses Pulver eine überdurchschnittlich hohe natürliche

---

<sup>1</sup> [https://www.alibaba.com/product-detail/Negative-ions-powder-INF-CNAS-certificate\\_60491558182.html?spm=a2700.7724838.2017115.122.1424c396kPahLx](https://www.alibaba.com/product-detail/Negative-ions-powder-INF-CNAS-certificate_60491558182.html?spm=a2700.7724838.2017115.122.1424c396kPahLx)

Radioaktivität<sup>1</sup>. Radioaktive Strahlen erzeugen Ionen. Und Ionen können einen positiven Einfluss auf unser Wohlbefinden haben, klinisch einwandfrei nachgewiesen.

S.O. bestellte 2016 erstmalig 25 kg Pulver; dieses wurde per Schiff versandt und problemlos ausgeliefert. Auf Grund der vielen positiven Rückmeldungen von Kettenbenutzern bestellte S.O. Ende 2017 nochmals 25 kg dieses Pulvers; Lieferung von Alibaba diesmal per Luftfracht. Das Pulver wurde durch ein mehrseitiges, chinesisches-englisches Dokument (mit Brief und Siegel) für den Lufttransport freigegeben, es überstand alle Tests und wird als nicht-toxisch und ungefährlich für Besatzung und Passagiere beschrieben (zu Recht, selbst eine Tonne dieses Pulvers würde die Flugzeuginsassen weniger bestrahlen als die kosmische Strahlung).

Das Drama nahm seinen Anfang, als im Januar 2018 die neue Sendung des «Ionenpulvers» am deutschen Zoll in Frankfurt durch eine erhöhte Radioaktivität auffiel und für den Weitertransport gesperrt wurde. Die deutschen Behörden informierten die schweizerischen, da die Sendung an eine Schweizer Adresse gerichtet war. Doch mit einem Schreiben vom 2. Februar 2018 teilte die Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt Frankfurt, Dezernat IV/F 43.3 - Immissionsschutz-Chemie Ost, Strahlenschutz, mit [Zitat]: «...*der Inhalt Ihres Paketes aus China enthält natürliche radioaktive Stoffe. Am Freitag habe ich dem Zoll mitgeteilt, dass in Deutschland der Stoff rechtlich als nicht radioaktiv gilt im Sinne des § 2 Atomgesetz.*» Also Entwarnung? Weit gefehlt.

Nach der Freigabe durch die deutschen Behörden wurde das Paket an die deutsche Lieferadresse von S.O. geschickt. Dort wurde es dann von S.O. abgeholt und bei einem Freund von ihr im Keller zwischengelagert (in Deutschland). S.O. wollte abwarten, ob der Strahlenschutz in der Schweiz das Pulver zulassen würde. Eine Probe übergab sie dem BAG (Bundesamt für Gesundheit, Abteilung für Strahlenschutz) zur Analyse. Bald darauf kamen die deutschen Behörden zum Schluss, dass diese natürliche Radioaktivität doch illegal ist. S.O. hat eine Strafanzeige bekommen, die Polizei wurde eingeschaltet. Die Behörden in der Schweiz haben dasselbe getan.

Alles in allem dürften sich in Deutschland und in der Schweiz bei den Zollämtern, bei den verschiedenen Behörden und bei der Polizei wohl gegen 40 Beamte mit dieser gravierenden Affäre beschäftigt haben.

## 2.2 Das Delikt

Eine genaue Analyse des BAG ergab in der Tat recht hohe Werte von natürlich vorkommenden radioaktiven Substanzen. Vor allem das Radium mit 130 kBq/kg<sup>2</sup> überschreitet die «legale» Konzentration um den Faktor 13'000. Allerdings kommen solche Konzentrationen auch im Boden von dicht bewohnten Gebieten ganz natürlich vor (siehe weiter unten im Abschnitt über Ramsar). Am 13.3.2018 schrieb das BAG an Frau S.O.: «...*Ich bitte Sie daher, mir bis heute Abend mitzuteilen, wo das Paket ist, damit wir den weiteren Umgang regeln und die beste Lösung suchen können. Ansonsten sind auch wir gezwungen, die Polizei einzuschalten*». Mitarbeiter des BAG besuchten

<sup>1</sup> Alles auf dieser Welt ist mehr oder weniger radioaktiv. Gestein enthält im Durchschnitt u.a. etwa 5 g Uran pro m<sup>3</sup>, je nach Ort kann es aber auch ein Vielfaches sein. Auch unser Körper, unsere Nahrung und die Luft sind «natürlich» radioaktiv.

<sup>2</sup> Bq (Becquerel) ist ein Mass der Radioaktivität. 1 Bq bedeutet ein Zerfall pro Sekunde, ein oder mehrere Strahlenteilchen werden dabei ausgesandt. 1 kBq = 1000 Bq. Der menschliche Körper enthält etwa 8 kBq natürliche Aktivität, 1 m<sup>3</sup> Erde im Mittel über 1000 kBq.

hierauf S.O. an ihrem Wohnort, mit Polizeibegleitung (!). Sie konfiszierten alles Radioaktive. S.O. wurde anschliessend 3 Stunden lang auf dem Polizeiposten von Liestal verhört. Ihrem Freund in Deutschland erging es nicht besser.

Es folgte ein längerer Briefwechsel zwischen dem BAG, Frau S.O., ihrer Vertriebspartnerin B.Ü., den deutschen Stellen und allen Kunden von S.O. Die Öffentlichkeit wurde u.a. durch die Zeitschrift «Blick»<sup>1</sup> und später auch durch das BAG informiert. Das BAG schrieb alle Kunden von S.O. an, mit der Warnung, die Halsketten nicht mehr zu tragen und dem BAG zur fachgerechten Entsorgung zu überlassen (immerhin kostenlos, die deutschen Behörden kamen für das Gesteinspulver-Paket auf 20'000 Euro Entsorgungskosten). Unter anderem wurden die Kunden von S.O. über folgendes informiert:

*«...weisen wir darauf hin, ...dass der Schmuck hohe Konzentrationen an natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien enthält, dessen Strahlung schädlich für die Haut ist, wenn der Schmuck oft getragen wird.... Bei der Hautdosis gilt ein Jahresgrenzwert von 50 milliSievert pro Jahr. Eine einzelne Kette weist eine Dosisleistung von ungefähr 10 mikroSievert pro Stunde für die Haut auf. Um die 50 milliSievert pro Jahr zu überschreiten, muss man die Kette daher etwa 5000 Stunden tragen oder anders gerechnet etwa 14 Stunden pro Tag. Es ist also durchaus möglich, dass Grenzwerte überschritten wurden und somit ein Risiko für Hautkrebs besteht.»*

Ein Durcheinander: Die 50 milliSievert pro Jahr (mSv/J)<sup>2</sup> ist eine Organ-Äquivalenzdosis welche den deterministischen Schaden (z.B. Hautrötung) betrifft, und nicht das Hautkrebsrisiko. Für das Hautkrebsrisiko ist die sogenannte effektive Dosis relevant, diese beträgt im Falle einer Halskette 0.005 mSv. Mit 50 mSv wird das Hautkrebsrisiko 10'000-fach überschätzt<sup>3</sup>(!). Abgesehen davon: Ein Grenzwert ist nicht die «Grenze» zwischen einem Schaden und keinem, sondern eine Zahl mit einem willkürlich festgelegten Abstand zu einem Risiko. Vom Grenzwert auf gesundheitliche Folgen zu schliessen, ist unmöglich. Es gibt Grenzwerte, welche millionenfach unter einem ersten feststellbaren (kleinen) negativen Effekt liegen, und es gibt Grenzwerte, welche bereits mitten in der Risikozone liegen.

Was diese vielen «milliSievert» genau mit der Gesundheit anstellen können, d.h. das numerische Risiko oder - noch besser - Vergleiche mit anderen Risiken, wurde vom BAG nicht offengelegt, es ist offenbar ein Staatsgeheimnis. Die Aussage *«...schädlich für die Haut, wenn der Schmuck oft getragen wird...»* lässt es offen, wie schädlich es wirklich ist. Natürlich hatten auch die beiden Frauen keine Ahnung über die Höhe des Risikos und baten mich um eine neutrale Beurteilung. Ich habe zwei Musterketten ausgemessen und kam auf vergleichbare Werte wie das BAG. Dann habe ich mir gestattet, eine kleine Risikorechnung durchzuführen (siehe Anhang I). Das Resultat: Das Risiko ist völlig vernachlässigbar, die Ketten sind harmlos. Drei Sekunden Sonnenschein pro Monat ist für die Haut gefährlicher (mehr über die Risiken siehe Anhang I).

<sup>1</sup> <https://www.blick.ch/news/schweiz/bund-greift-ein-schweizer-firma-verkauft-radioaktiven-schmuck-id8349936.html> (2018-07-20), Schlagzeile: "Bund greift ein – Schweizer Firma verkauft radioaktiven Schmuck!", gewarnt wird vor dem Hautkrebsrisiko.

<sup>2</sup> Mit Sv (Sievert) wird der gesundheitliche Einfluss der Strahlung bemessen. 5 Sv auf einen Schlag sind tödlich, bei etwa 0.1 Sv (=100 mSv) effektiver Dosis registriert man ein erstes, leichtes Ansteigen der Krebsrate (um 1%) im Alter. Bei verteilter Bestrahlung ist der Einfluss geringer, um wieviel ist sehr umstritten.  
1 mSv = 1/1000 Sievert. 1 µSv = 1/1'000'000 Sievert (= mikroSievert).

<sup>3</sup> Siehe Anhang I.

Die Frauen haben es ihren Kunden freigestellt, die Ketten zu behalten (falls sie damit zufrieden sind) oder zurückzuschicken. Viele Kunden haben sich geweigert, die Ketten dem BAG zu übergeben, mit der Begründung, dass die Ketten sehr positiv wirken. Das BAG war gar nicht amused, und reagierte gereizt:

*«Den Aufruf an die Kunden, den Schmuck zu behalten, wird als strafrechtlich relevant beurteilt». Und weiter mit Brief vom 25 Mai 2018: «Wir bitten Sie hiermit erneut, uns sämtlichen radioaktiven Schmuck und sämtliche Pulverreste, die Sie besitzen, zur korrekten Entsorgung zur Abholung zu melden sowie auch Ihre Kunden darüber zu informieren, dass diese den radioaktiven Schmuck ans BAG einsenden müssen. Als Behörde sind wir verpflichtet, mögliche Straftaten oder Vergehen im Strahlenschutz der Bundesanwaltschaft zu melden. Da es sich bei den Strafbestimmungen der Strahlenschutzgesetzgebung um Offizialdelikte handelt, welche von den Strafbehörden von Amtes wegen zu verfolgen sind, empfehlen wir Ihnen dringend, weitere Verletzungen des Strahlenschutzgesetzes zu vermeiden».*

In der ersten Mitteilung an die Kunden wurde eine Rücksendung «empfohlen», jetzt verschärfte sich der Ton, die Ketten müssen zurückgesendet werden.

Eine telefonische Anfrage eines deutschen Kunden beim BAG wurde sehr freundlich und verständnisvoll entgegengenommen. Doch die nachfolgenden Warnungen, man könnte auch Drittpersonen gefährden oder Kinder, wenn man sie hochheben und auf den Arm nehmen würde, gehören in die Kategorie der Warnungen vor Hexen und bösen Geistern. Um dieser grossen Gefahr Nachdruck zu verleihen, wurde zudem mit einem Polizeieinsatz gedroht, mit Kostenfolge. Aber insgesamt tun die Strahlenschutzbeamten nur ihre Pflicht. Bei den Ketten kann man sich zwar streiten, ob Grenzwerte überschritten werden. Die Radioaktivität des Pulvers hingegen überschreitet die geltenden Grenzwerte ganz klar. Das Pulver ist zwar bei genauerem Hinsehen harmlos (siehe meine Abschätzungen im Kapitel 4.1), **das Problem sind die unsinnig tiefen Grenzwerte.**

## 3 Ionen, Strahlen und die Gesundheit

### 3.1 Radioaktive Strahlen, die Inkarnation des Bösen?

Haben Ionen, insbesondere negative, einen positiven Einfluss auf die Gesundheit? Es gibt eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten darüber. Bei hohen Konzentrationen zeigen mehrere Studien eindeutig positive Effekte. Aber wie meistens bei Humanstudien sind nicht alle Resultate konsistent, wie eine gründliche Metaanalyse ergab<sup>1</sup>. Doch gibt es auch Tierstudien, die klare positive Effekte zeigten<sup>2</sup>. Da radioaktive Strahlen die Luft ionisieren, ist es durchaus plausibel, dass auf diesem Wege ein positiver Effekt entsteht.

Die meisten bekannten Kurorte auf dieser Welt glänzen durch eine überdurchschnittlich hohe natürliche Radioaktivität, ein Wirkungspfad für das Wohlbefinden könnte die erhöhte Ionendichte

<sup>1</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3598548/> 2018-07-28)

<sup>2</sup> Dowdall M, De Montigny C. Effect of atmospheric ions on hippocampal pyramidal neuron responsiveness to serotonin. Brain Res. 1985;342(1):103–109. doi: 10.1016/0006-8993(85)91357-5

der Luft sein. Im berühmtesten Kurort des Iran, in Ramsar (Beiname «Behesht roye Zamin», das «Paradies auf Erden»), herrscht die wohl weltweit höchste externe Dosisleistung in einem dicht bewohnten Gebiet (typisch  $10 \mu\text{Sv/h}^1$ , mit Spitzen von über  $100 \mu\text{Sv/h} = > \text{als } 876'000 \mu\text{Sv/J}$ ). Der Grund ist vor allem eine weit überdurchschnittliche Konzentration von (natürlichem) Radium im Boden, Werte von  $350 \text{ kBq/kg}$  wurden gemessen. Negative Wirkungen auf die Gesundheit konnten keine festgestellt werden<sup>2</sup>, im Gegenteil, der Aufenthalt in Ramsar gilt als Jungbrunnen<sup>3</sup>. Das gleiche kann von Guarapari, Brasilien, gesagt werden. Diese Grosstadt mit teilweise mehreren  $\mu\text{Sv/h}$  im Zentrum und bis  $100 \mu\text{Sv/h}$  am beliebtesten Strand der Stadt, trägt den Beinamen «Sidade Saude», die gesunde Stadt. Diese Radioaktivität stammt vorwiegend von Thorium. Im Übrigen findet man auch in den Schweizer Alpen und in Deutschland (Schwarzwald, Erzgebirge) Orte mit vielen  $\mu\text{Sv/h}$ .

Schon bald nach der Entdeckung der Radioaktivität staunte man über die stark erhöhte Radioaktivität an den meisten Kurorten. Im Buch «Das Radium und die Erscheinungen der Radioaktivität» von Dr. Hugo Kauffmann, erschienen 1910, wundert sich der Autor (Seite 83): «*Es muss doch mehr als ein Spiel des blinden Zufalls walten, wenn hochberühmte Quellen wie etwa das Gasteiner Wasser, das so gut wie chemisch rein ist<sup>4</sup> und darum eigentlich keine spezifische Wirkung ausüben sollte, wenn solche Quellen durch einen geradezu auffallend hohen Emanationswert glänzen.*». Mit «Emanation» wurden die radioaktiven «Ausdünstungen» von Radium (bzw. Uran oder Thorium als Ausgangsmaterial) bezeichnet, heute sagt man Radon dazu. Inzwischen hat man die positiven gesundheitlichen Wirkungen von radioaktiven Kuren durch klinische Studien nach allen Regeln der Kunst (prospektive, randomisierte Doppelblind-Studien) einwandfrei bestätigt<sup>5</sup>. Dogmatisch jeden gesundheitlichen Nutzen von kleinen Dosen zu negieren, ist sehr gewagt, entspricht aber dem Zeitgeist und dem Glaubensbekenntnis gewisser politischer Parteien und Interessensverbände.

Zitat BAG: «*Der wissenschaftliche Konsens ist so, dass bereits geringe Dosen einen Beitrag zur Erhöhung der Krebswahrscheinlichkeit leisten*». Stimmt hinten und vorne nicht. Ganz im Gegenteil, an wissenschaftlichen Konferenzen über die Wirkung von kleinen Dosen wird heftig darüber gestritten. Auf der einen Seite sind vorwiegend Vertreter der Strahlenschutzbehörden und Epidemiologen, auf der anderen Seite vorwiegend Mediziner und Radiobiologen. Es gibt eine grosse Anzahl wissenschaftlicher Publikationen, welche bei kleinen verteilten Dosen keinen oder einen positiven Effekt auf die Gesundheit zeigen<sup>6</sup>, vergleichbar gute Studien mit negativen Effekten sind rar. Humanstudien sind immer mit vielen Unsicherheiten verbunden, Tierstudien sind viel kontrollierbarer. Und bei Tierstudien kommen positive Resultate, bzw. krasse Abweichungen von LNT, regelmässig vor. Die LNT-Hypothese (**L**inear, **N**o **T**hreshold) besagt, dass

<sup>1</sup>  $\mu\text{Sv/h}$  ist die stündlich erhaltene Dosis (Dosisrate oder Dosisleistung) in Millionstel Sievert. Die durchschnittliche natürliche Hintergrundstrahlung beträgt etwa  $0.1 \mu\text{Sv/h}$ .

<sup>2</sup> Health Phys. 82(1):87–93; 2002, und andere Untersuchungen

<sup>3</sup> Persönliche Interviews mit Iranern. Besonders Teheraner aus besseren Kreisen kuren öfters in Ramsar, sie haben aber keine Ahnung von der erhöhten Radioaktivität. Der Schah von Persien hatte dort seinen Sommerpalast.

<sup>4</sup> In der Tat: Das Wasser des Zürichsees hat wesentlich mehr Mineralien als dasjenige von Gastein.

<sup>5</sup> Rheumatol Int. 2005 Apr;25(3):205-10. Epub 2003 Dec 12. Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases--review and meta-analysis of controlled clinical trials.

<sup>6</sup> Ein guter Übersichtsartikel: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20585438> oder <http://deregulatetheatom.com/reference/radiation/remedy-for-radiation-fear-discard-the-politicized-science/> (2018-08-20)

die negativen Wirkungen der Strahlung linear mit der Dosis zunehmen, d.h. doppelte Dosis gleich doppeltes Risiko. Zudem gebe es keine untere Grenze (no threshold), d.h. selbst die winzigste Dosis erzeugt ein (winziges) Risiko. Die wissenschaftlichen Gremien sind gespalten. Das gewichtigste Gremium, das UNSCEAR<sup>1</sup>, anerkennt positive Effekte von kleinen Dosen, diese koexistieren mit negativen Resultaten. Zudem wird festgehalten, dass unter 100 mSv keine negativen Effekte nachgewiesen werden können: *“...changes in the occurrence of delayed health effects have not been confirmed, given the statistical and other uncertainties”*. Die einflussreiche «National Academy of Science» (USA), findet, dass der Strahlenschutz auf der LNT-Hypothese basieren soll<sup>2</sup>. Auf der anderen Seite kommt die altehrwürdige französische «Académie des Sciences», zusammen mit der «Académie nationale de Médecine» in einer gründlichen Studie (600 Seiten) zum Schluss, dass kleine Dosen gesundheitlich positiv wirken können<sup>3</sup>, die LNT-Hypothese wird klar verworfen.

Gemäss der LNT-Hypothese ist auch die kleinste Dosis schädlich. Diese Aussage mutiert schnell zur Meinung, dass auch die kleinste Dosis tödlich ist. Jedenfalls ist dies die vorherrschende Ansicht in der Bevölkerung<sup>4</sup>, ganz ungeachtet der Tatsache, dass unser Körper sekundlich von etwa 20'000 (!) Strahlenteilchen getroffen wird (kann an Kurorten oder im Flugzeug bis gegen 1 Million steigen). Die Risikokommunikation mit LNT hat dazu beigetragen, dass wir im Zeitalter einer extremen Strahlenphobie leben. Heute werden radioaktive Strahlen, selbst in kleinsten Dosen, mehr gefürchtet als sehr starke Gifte. Die aktuellen, unglaublich tiefen Grenz- und Regulierungswerte tragen dieser Phobie Rechnung.

Im Gegensatz zu den wissenschaftlichen Gremien haben sich die nationalen und internationalen Strahlenschutzbehörden und -verbände (ICRP) auf die LNT-Hypothese festgelegt. Hier besteht tatsächlich ein Konsens. Mit LNT ist die Regulierung sehr einfach. **Zudem ist LNT ein Blankoscheck für beliebig tiefe Grenz- und Regulierungswerte («die kleinste Dosis ist schädlich») und damit auch für beliebig ausufernde Bürokratie.** Und so kommt es, dass die gesetzlich zulässige Dosis für die Bevölkerung auf 1 mSv pro Jahr gesunken ist, weit unterhalb der natürlichen Strahlung (durchschnittlich mehrere mSv pro Jahr, in gewissen Gebieten bis über 100 mSv/J). Die natürliche Untergrundstrahlung ist vom Grenzwert ausgenommen<sup>5</sup> (unlogisch). Das BAG konnte mir auch nicht sagen, warum der Grenzwert gerade 1 mSv beträgt und nicht 0.5 mSv oder 5 mSv. Noch krasser ist der «Regulierungswert» von 10 µSv/J. Droht eine Strahlungs-dosis über diesem Wert zu liegen, tritt das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung in Aktion, mit Androhung von Strafen (auch in anderen Ländern, man hat sich abgesprochen). 10 µSv ist eine winzige Strahlendosis, sie wird von der natürlichen Strahlung bereits nach wenigen Tagen überschritten - und bei einem Flug nach Übersee um ein Mehrfaches überboten.

<sup>1</sup> UNSCEAR, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Periodische Berichte an die UN-Generalversammlung. Übersicht (2018-08-10):* [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation Effects and sources-2016Radiation - Effects and Sources.pdq.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation%20Effects%20and%20sources-2016Radiation%20-%20Effects%20and%20Sources.pdq.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<sup>2</sup> [http://books.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=1](http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=1) (2018-08-10)

<sup>3</sup> <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.126.1681&rep=rep1&type=pdf> (2018-08-09)

<sup>4</sup> Gemäss einer ETH-Umfrage (2013) sind 80% der Befragten der Meinung, dass jede beliebige Dosis Radioaktivität für Menschen tödlich ist [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/chair-of-sociology-dam/documents/research/risikostudie/Risikostudie\\_VortragScientifica\\_01092013.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/chair-of-sociology-dam/documents/research/risikostudie/Risikostudie_VortragScientifica_01092013.pdf) (2018-08-08)

<sup>5</sup> Ausnahme: Radon versucht man zu regulieren

Sehr interessant ist auch, wie das BAG (über den Bundesrat) die Gefährlichkeit kleinster Dosen begründet, siehe Anhang II.

### 3.2 Die radioaktiven Ketten und der Strahlenschutz

Halsketten mit etwas erhöhter Radioaktivität ionisieren die umgebende Luft. Es ist durchaus plausibel, dass sie dadurch einen gesundheitlich positiven Effekt produzieren können (ganz abgesehen vom Placeboeffekt). Es gibt hunderte von esoterischen Produkten, wie Kupferbänder, Magnete, Steine, Amulette, geheimnisvolle Kästchen mit einem Stück Draht darin, und vieles mehr. So wird z.B. ein sogenannter «Bioscan»-Sensor verkauft, gewürzt mit wissenschaftlichem Geschwafel (Skalarwellen, Standardquantenwerte...). Zu 100% ein reiner, bewusster Betrug<sup>1</sup>. Diese Produkte können sich im Gegensatz zu den «radioaktiven» Halsketten auf keinen auch nur halbwegs plausiblen physikalischen, chemischen oder biologischen Wirkungsmechanismus berufen, dürfen aber frei verkauft werden.

Die von S.O. hergestellten Halsketten enthalten einige Gramm Pulver eines Gesteins mit einer erhöhten natürlichen Radioaktivität, vergleichbar mit der Erde von Ramsar. Solche Halsketten sind kein Schmuck, sie werden angepriesen als ein Mittel um Gesundheit und Wohlbefinden zu erhöhen. Wenn sie noch hübsch aussehen ist dies ein netter Nebeneffekt. In Anbetracht des völlig vernachlässigbaren Risikos, welches von der Bestrahlung ausgeht, überwiegen ganz klar die Vorteile, und sei es nur der Placeboeffekt (siehe die Risikoabschätzung im Anhang I). Die Halsketten dürften deshalb spielend die Rechtfertigung einer Bestrahlung (Strahlenschutzgesetz Art.8 und Verordnung Art. 3) erfüllen, siehe Figur 1. Doch so einfach geht es nicht, das Gesetz enthält noch viele andere Hürden.

#### - Art. 8 Rechtfertigung der Strahlenexposition

Eine Tätigkeit, bei der Menschen oder die Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind (Strahlenexposition), darf nur ausgeübt werden, wenn sie sich mit den damit verbundenen Vorteilen und Gefahren rechtfertigen lässt.

#### - Art. 3 Rechtfertigung

Eine Tätigkeit ist im Sinne von Artikel 8 StSG gerechtfertigt, wenn:

- a. die mit ihr verbundenen Vorteile die strahlungsbedingten Nachteile deutlich überwiegen; und
- b. gesamthaft für Mensch und Umwelt keine vorteilhaftere Alternative ohne oder mit geringerer Strahlenexposition zur Verfügung steht.

**Figur 1 Rechtfertigung einer Bestrahlung im Strahlenschutzgesetz (Art.8) und in der Verordnung (Art. 3)**

Ganz unabhängig von der Rechtfertigung muss auch auf die Verhältnismässigkeit der Massnahmen geachtet werden, siehe Figur 2.

<sup>1</sup> <https://youtu.be/RG-fhh-ZOZI>

-  **Art. 8 Nach Risiko abgestufte Vorgehensweise**

Sämtliche Massnahmen im Strahlenschutz müssen nach dem zugrunde liegenden Risiko abgestuft sein.

**Figur 2 Verhältnismässigkeit der Strahlenschutzmassnahmen**

**1.3.1 Bund**

Die neu eingeführte Philosophie der "nach Risiko abgestuften Vorgehensweise" im Bewilligungswesen und der Aufsicht bewirkt eine Fokussierung auf die hohen Risiken. Die Ressourcen auf Behördenseite können so gezielt dort eingesetzt werden, wo das Gefährdungspotenzial für Patientinnen und Patienten, für Personal, Mensch und Umwelt gross ist. Neu werden allerdings mehr Betriebe der Bewilligungspflicht unterstellt z.B. Betriebe mit radonexponierten Arbeitsplätzen oder Betriebe, in denen mit natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM) umgegangen wird. Die Aufsicht über diese Betriebe und

**Art. 8 Nach Risiko abgestufte Vorgehensweise**

Sowohl die IAEA BSS als auch die Euratom BSS legen grosses Gewicht auf die nach Risiko abgestufte Vorgehensweise. Nach diesem Prinzip richten sich das Bewilligungsverfahren und die Aufsichtspraxis. Gemäss Euratom BSS sollen sich die aufsichtsrechtlichen Kontrollen einerseits nach Umfang und Wahrscheinlichkeit einer Exposition richten, andererseits entsprechend der Wahrscheinlichkeit, dass durch eine aufsichtsrechtliche Kontrolle die Expositionen verringert oder die Sicherheit der Einrichtungen erhöht werden können.

**Figur 3 Philosophie der "nach Risiko abgestuften Vorgehensweise"**

Im «Erläuternden Bericht zur Totalrevision der Strahlenschutzverordnung» (83 Seiten lang, ist anscheinend recht erklärungsbedürftig) wird mehrfach darauf hingewiesen, dass bei den Massnahmen des Strahlenschutzes auf die Verhältnismässigkeit geachtet werden muss. Insbesondere soll man sich auf die hohen Risiken konzentrieren (siehe Figur 3).

Geht von den Halsketten ein hohes Risiko aus? Im schlimmsten Fall ist das deterministische Risiko gleich einer Sonnenexposition von 3 Sekunden pro Monat. Es ist über 10-mal wahrscheinlicher, in der Schweiz einem Mord zum Opfer zu fallen, als (im schlimmsten Fall und falls LNT angenommen wird) an Krebs zu sterben, verursacht durch das ständige Tragen der Kette. Das Risiko, welches von den Halsketten ausgeht, kann man mit gutem Gewissen gleich Null setzen. Wo ist hier das grosse Risiko, bzw. die Rechtfertigung der behördlichen Überaktivität? Die Herstellerin der Halsketten wurde dadurch in eine finanzielle Notlage getrieben.

## 4 Anhang I: Risikoabschätzungen, Risikokommunikation

### 4.1 Das Ionenpulver

Zitat BAG: «Angenommen schon nur 5 g dieses Pulvers gelangt über die Atemwege oder den Mund in ihren Körper, würden Sie eine gesetzlich zulässige Jahresdosis von 1 mSv überschreiten<sup>1</sup>.»

Gemäss BAG erzeugen also 5 g des Ionenpulvers, bei Einnahme, eine Dosis von 1 mSv, also 1/5000 einer tödlichen Einmaldosis von 5 Sv. Somit muss man 25 kg des Pulvers essen, um sich radiotoxisch ins Jenseits zu befördern<sup>2</sup>. Nicht das Mittel der Wahl, um den Erbonkel zu vergiften. Mit 0.1 g Arsen geht es schneller und sicherer, zur Not genügen auch 10 Gramm Aspirin. Aspirin ist mindestens 2'500-mal toxischer als die Radioaktivität des Ionenpulvers. Sogar Kochsalz ist viel giftiger, 300 g auf einmal dürften einen Menschen umbringen. Wie steht es mit dem Krebsrisiko? 1 mSv (5 g) erzeugen gemäss den LNT-Risikofaktoren ein theoretisches Krebsrisiko von 0.005%, völlig unmessbar, spekulativ und vernachlässigbar. Isst man die ganzen 25 kg (guten Appetit!), so erhöht sich das Krebsrisiko um 25% (sehr theoretisch, denn lange vorher stirbt man wohl an chemischen Effekten). Aber selbst wenn man die «Chemie» überlebt: Gemäss den Erfahrungen mit den Radiummalerinnen in der Uhrenindustrie (durch viele Tierversuche bestätigt) dürfte sogar die Einnahme der Radioaktivität in den 25 kg des Pulver das Krebsrisiko nicht erhöhen<sup>3</sup>. Trotzdem: Die Konzentration von natürlichen radioaktiven Stoffen im Gesteinspulver verletzt die heutigen Grenzwerte ganz massiv. Und das Pulver muss als Gefahrgut transportiert werden, eine Ladung Aspirin, extrem viel toxischer, aber nicht.

### 4.2 Die radioaktiven Halsketten

Die Ketten enthalten 5-10 g des «hochgefährlichen» Ionenpulvers, und strahlen deshalb mit bis zu ca. 10  $\mu\text{Sv/h}$ , gemessen bei direktem Kontakt mit einem Strahlenmessgerät. Meine alte Lieblingssuhr (läuft heute noch) strahlt etwas mehr (ca. 14  $\mu\text{Sv/h}$ ), siehe Figur 4. Zum Vergleich: Die natürliche Hintergrundstrahlung beträgt im Weltmittel um die 0.1  $\mu\text{Sv/h}$ , variiert in bewohnten Gebieten zwischen 0.04  $\mu\text{Sv/h}$  und mehr als 100  $\mu\text{Sv/h}$ .

---

<sup>1</sup> Da die radioaktiven Substanzen im Gesteinspulver eingeschlossen sind, ist es unklar, ob während der Verweilzeit im Magen-Darm-Trakt grössere Mengen davon absorbiert werden. Denn mit Gesteinspulver kann unser Körper nichts anfangen, gut möglich, dass fast alles in 2-3 Tagen unverdaut den natürlichen Weg nach aussen findet.

<sup>2</sup> In Wirklichkeit muss man noch viel mehr davon einnehmen, die Strahlung wird nur sehr langsam abgegeben und wirkt dadurch viel schwächer. Zudem gilt es die vorgehende Fussnote zu berücksichtigen. Im Klartext: Mit diesem Pulver dürfte es unmöglich sein, jemanden radiotoxisch umzubringen.

<sup>3</sup> Bei Radium zeigt sich eine recht hohe Schwelle für eine Krebsinduktion. Diese liegt bei ca. 3 MBq Inkorporation, d.h. die ganzen 25 kg mit 130 kBq/kg dürften betreffend Radium radiotoxisch harmlos sein ([http://www.rerowland.com/Dial\\_Painters.pdf](http://www.rerowland.com/Dial_Painters.pdf) 2018-08-15). Siehe auch O. Raabe, Health Physics 98: 515-536, 2010 und weitere Arbeiten.



**Figur 4** Das Corpus Delicti, eine der strahlenden Halsketten, strahlt mit 8.77  $\mu\text{Sv/h}$ . Rechts: Meine alte Tissot «Seastar», getragen ca. 1955-1970, strahlt mit 14.5  $\mu\text{Sv/h}$ .

Die Strahlung der Kette wirkt praktisch nur lokal. Bereits in einem Abstand von 20 cm unterscheidet sich die Strahlung einer solchen Halskette kaum noch von der natürlichen.

Die Strahlenschutzverordnung regelt die maximal erlaubte Dosis, siehe Figur 5.

- **2. Kapitel: Exposition der Bevölkerung**
- **Art. 22 Dosisgrenzwerte für Personen aus der Bevölkerung**

<sup>1</sup> Die effektive Dosis darf den Grenzwert von 1 mSv pro Kalenderjahr nicht überschreiten.

<sup>2</sup> Die Organ-Äquivalentdosis darf die folgenden Grenzwerte nicht überschreiten:

- a. für die Augenlinse: 15 mSv pro Kalenderjahr;
- b. für die Haut: 50 mSv pro Kalenderjahr.

**Figur 5** Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung. Die effektive Dosis betrifft das Krebsrisiko, die Äquivalentdosis das deterministische Risiko.

Bei einer Dosisrate von 10  $\mu\text{Sv/h}$  ergibt sich rein rechnerisch eine Jahresdosis von 86 mSv. Realistischer sind 50 mSv (falls die Kette 60% der Zeit getragen wird). Werden damit nicht die Grenzwerte von 1 mSv/J und 50 mSv/J verletzt? So einfach ist es nicht. Denn die gemessenen 10  $\mu\text{Sv/h}$  sind nicht die Organ-Äquivalentdosis und schon gar nicht die effektive Ganzkörper-Dosis (siehe die entsprechenden Definitionen und Berechnungen weiter unten). Im Prinzip misst man die lokale Energiedosisrate in  $\mu\text{Gy/h}^1$  (bei Gamma-Strahlung kann man auch  $\mu\text{Sv/h}$  angeben).

<sup>1</sup> Mit Gy (Gray) wird die physikalische Energieabgabe der Strahlung pro kg Gewebe angegeben. Je nach Strahlenart wirkt aber 1 Gy unterschiedlich. Multipliziert man die Energiedosis in Gy mit dem sogenannten Wichtungsfaktor W (berücksichtigt die Strahlenart) erhält man die Äquivalentdosis, den eigentlichen biologische Schaden, dieser wird in Sv gemessen. Bei Beta- oder Gammastrahlen ist  $W = 1$  (1 Gy = 1 Sv), bei Alphastrahlen aber 20.  $1 \mu\text{Gy} = 1/1'000'000 \text{ Gy}$ . Die Dosisrate ist die Dosis pro Zeiteinheit.

Es ist üblich, zwischen einer deterministischen (meist akuten) Reaktion, und einer stochastischen oder zufälligen Reaktion (meist Krebs) zu unterscheiden. Beginnen wir mit dem deterministischen, kurzfristig auftretenden Risiko; der Grenzwert von 50 mSv/J Hautdosis bezieht sich darauf. Beim deterministischen Risiko geht es in unserem Fall um die Vermeidung einer Hautschädigung. Die harmloseste Variante ist eine leichte, vorübergehende Hautrötung, vergleichbar mit einem leichten Sonnenbrand; verschwindet nach einigen Tagen vollständig und ohne Folgen. Eine solche erste Hautreaktion beobachtet man ab etwa 2-3 Sv Schockdosis. Bei verteilter Bestrahlung kann man die Grenze, ganz konservativ gerechnet, bei 5 Sv/J ansetzen (vermutlich eher bei 30 Sv pro Jahr, gemäss den Erfahrungen aus der Radioonkologie). 50 mSv gegen 5 Sv ist 1:100 oder 1%.

Nach etwa 30 Min. starker Sonneneinstrahlung auf eine durchschnittlich empfindliche, weisse Haut verursacht die UV-Strahlung (die langwellige Schwester der Gamma-Strahlung<sup>1</sup>), auch eine leichte Hautrötung. 30 min. entsprechen 1800 Sekunden. Der Grenzwert von 50 mSv pro Jahr (= 1% einer Dosis mit ersten leichten Hautrötungen) entspricht also einer Sonneneinstrahlung von 18 Sekunden Dauer (für ein ganzes Jahr!). Wenn das BAG die Sonnenexposition gleich regulieren würde wie die radioaktiven Strahlen, müsste es folgenden «**Sonnengrenzwert**» erlassen:

**Die effektive Dauer der Sonnenexposition darf den Grenzwert von 18 Sekunden pro Kalenderjahr nicht überschreiten. Dieser Grenzwert gilt ab 1 cm<sup>2</sup> Haut.**

Wir müssten dann alle - Kinder, Frauen und Männer – wohl mit einer Vollverschleierung des ganzen Körpers, herumlaufen.

Kommen wir zur Berechnung der effektiven Hautdosis gemäss dem Strahlenschutzgesetz. Die effektive Dosis ist für das Krebsrisiko relevant. Zunächst berechnen wir die Organ-Äquivalentdosis. Diese ist gemäss Definition (Seite 121 des Strahlenschutzgesetzes, siehe Figur 6) die „mittlere“ Energiedosis des betreffenden Organs, in diesem Falle die Haut mit ca. 20'000 cm<sup>2</sup>. Wenn nur ein Teil (z.B. 200 cm<sup>2</sup>) der Haut (=20'000 cm<sup>2</sup>) von einer Kette mit einer Energiedosis 50 mGy (lokal) bestrahlt werden, erhält man als „mittlere“ Hautdosis  $50 \text{ mGy} \cdot 200 / 20'000 = 0.5 \text{ mSv}$  (1 Gy = 1 Sv bei Gamma- und Betastrahlung). Diese Dosis ist weit weg von dem 50 mSv-Grenzwert, also kein Problem. Es sei denn, man interpretiert den Organ-Äquivalentdosis-Grenzwert auch lokal, d.h. man mittelt nicht über die ganze Haut, sondern nur über einen kleinen Teil. Das BAG verweist in einem Schreiben an mich auf die Publikation ICRP 103<sup>2</sup>, hier steht geschrieben, dass der Grenzwert der Haut für eine lokale Dosis auf 1 cm<sup>2</sup> Fläche zu verstehen ist. Allerdings ist diese Publikation eine Empfehlung, will man die 1 cm<sup>2</sup>-Interpretation übernehmen, sollte man dies im Strahlenschutzgesetz auch so formulieren<sup>3</sup>. Mittelt man über 1 cm<sup>2</sup>, so könnte man im schlimmsten Fall (man trägt die Kette Tag und Nacht ein ganzes Jahr lang) auf etwa 86 mSv kommen (realistisch sind eher 50 mSv). Dies würde dann immerhin einer Sonnenexposition von gegen 3 Sekunden pro Monat entsprechen, schlimm!

<sup>1</sup> Die Gamma-Strahlen dominieren im Falle der Halsketten. Alpha-Strahlen sind nur relevant, wenn man die Ketten isst.

<sup>2</sup> [http://www.icrp.org/docs/P103\\_German.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_German.pdf) Seite 94. Download 2018-08-09)

<sup>3</sup> In einem solchen Fall müsste der Begriff der Organ-Äquivalentdosis entsprechend geändert werden (ist dann nicht mehr die «mittlere» Energiedosis).

## 1 Dosisgrößen

### 1.1 Energiedosis $D$ (absorbed dose)

Grundlegende Dosisgrösse, definiert durch die Beziehung

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

wobei  $d\bar{\epsilon}$  die mittlere Energie ist, die durch ionisierende Strahlung auf die Materie der Masse  $dm$  übertragen wird. Die SI-Einheit der Energiedosis ist das Joule durch Kilogramm (J/kg). Ihr besonderer Name ist Gray (Gy).

### 1.2 Organ-Energiedosis $D_T$ (mean absorbed dose in a tissue or organ)

Die Energiedosis  $D_T$ , gemittelt über das Gewebe oder Organ T, die gegeben ist durch

$$D_T = \frac{\epsilon_T}{m_T}$$

wobei  $\epsilon_T$  die mittlere Energie ist, die auf ein Gewebe oder Organ T übertragen wird, und  $m_T$  die Masse dieses Gewebes oder Organs.

### 1.3 Organ-Äquivalentdosis $H_T$ (equivalent dose)

Dosis in einem Gewebe oder Organ T gegeben durch:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

wobei  $D_{T,R}$  die mittlere Energiedosis durch die Strahlung R in einem Gewebe oder Organ T und  $w_R$  der Strahlungs-Wichtungsfaktor ist. Da  $w_R$  dimensionslos ist, ist die Einheit für die Organ-Äquivalentdosis die gleiche wie für die Energiedosis, das J/kg. Ihr besonderer Name ist Sievert (Sv).

**Figur 6 Definitionen der Doseinheiten gemäss Strahlenschutzgesetz<sup>1</sup>**

Zurück zur Abschätzung des Krebsrisikos. Wir gehen von 0.5 mSv Organ-Äquivalentdosis aus (Halsketten werden 60% der Zeit getragen). Um die effektive Dosis zu erhalten, müssen wir noch mit dem Wichtungsfaktor der Haut, 0.01, multiplizieren<sup>2</sup>, man erhält **5  $\mu$ Sv/J. Das Risiko an Krebs zu sterben wäre ca. 0.000025 %** (mit den üblichen 5%/Sv und unter Annahme von LNT). Das Risiko einer Krebsdiagnose (Inzidenz) beträgt etwa das Doppelte, also 0.00005%. Trägt man die Kette ununterbrochen Tag und Nacht müssen diese Werte mit 1.7 multipliziert werden. Das BAG hat mir schriftlich den Segen zu diesen Abschätzungen gegeben (nachdem sie zuerst fälschlicherweise die 50 mSv Organ-Äquivalentdosis mit dem Krebsrisiko verbunden hat, siehe Seite 4).

Zusammengefasst kann man feststellen, dass die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung durch das Tragen einer solchen Kette nicht verletzt werden. Es sei denn, man trägt die Kette Tag und Nacht und besteht gleichzeitig auf der 1 cm<sup>2</sup>-Interpretation.

<sup>1</sup> <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20163016/index.html>

<sup>2</sup> Der Wichtungsfaktor berücksichtigt die Krebsempfindlichkeit eines Organs. Es ist nicht eindeutig bewiesen, dass ionisierende Strahlung einen tödlichen Hautkrebs verursachen kann, siehe UNSCEAR [http://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR\\_2006\\_Annex-A-CORR.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR_2006_Annex-A-CORR.pdf), Seite 83 ff. Der Wichtungsfaktor von 0.01 für die Haut ist eine vorsichtige Schätzung.

### 4.3 Das Problem der Risikokommunikation

Zitat BAG: «...Allerdings wird durch eine Langzeitbelastung durch das Tragen dieser Schmuckstücke das Risiko von Hautkrebs (Sarkom) ungerechtfertigt erhöht». Was heisst hier «ungerechtfertigt»? Warum sind 5  $\mu\text{Sv}/\text{J}$  ungerechtfertigt? Wie kommuniziert man ein Strahlen-Risiko von 5  $\mu\text{Sv}/\text{J}$ ? Praktisch niemand kann mit  $\mu\text{Sv}$ ,  $\text{mSv}$ ,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ,  $\text{kBq}/\text{kg}$  oder ähnlichem etwas anfangen. Wer versucht, Risiken mit Grenzwerten zu «erklären» oder zu vergleichen, betreibt, bewusst oder unbewusst, eine Verschleierungstaktik. Meine bescheidene Meinung dazu:

**Die einzig vernünftige und verständliche Risikokommunikation beruht auf Vergleichen mit anderen Risiken, vorzugsweise mit bekannten Alltagsrisiken.**

Was bedeutet nun eine Dosis von 5  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$ ? Interessant ist zunächst ein Vergleich mit anderen Dosen:

1. An meinem Wohnort in Endingen messe ich eine natürliche externe Dosisrate von 0.12  $\mu\text{Sv}/\text{Stunde}$ , an meinem Arbeitsort in Turgi, wenige km entfernt, beträgt sie 0.06  $\mu\text{Sv}/\text{Stunde}$ . Der Unterschied beträgt etwa 500  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$ . Die eingangs erwähnten 5  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$  oder auch 10  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$  sind demgegenüber völlig vernachlässigbar. Die natürliche externe Dosisrate schwankt von Ort zu Ort, im Wesentlichen reflektiert sie den Gehalt von Uran, Thorium und einigen anderen natürlich radioaktiven Substanzen im Untergrund und im Baumaterial des Hauses. Ein Teil der natürlichen Dosisrate stammt von der kosmischen Strahlung.
2. Die kosmische Strahlung nimmt pro km Höhe um etwa 400  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$  zu, also um etwa 0.4  $\mu\text{Sv}/\text{m}$ . Dies bedeutet, dass ein Bewohner im vierten Stock eines Wohnblocks (12 m höher als im Erdgeschoss) eine zusätzliche Strahlung von 5  $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$  erhält. Daraus ein «ungerechtfertigtes» Risiko abzuleiten, ist wohl absurd.
3. Die durchschnittliche natürliche effektive Dosis (interne und externe), welche ein Bewohner der Schweiz innerhalb eines Jahres erhält beträgt gemäss BAG etwas über 4000  $\mu\text{Sv}$  (mit grossen örtlichen Schwankungen). 5  $\mu\text{Sv}$  sind demgegenüber völlig irrelevant.
4. Paranüsse enthalten ca. 40 Bq Ra-226 pro  $\text{kg}^1$ , ergibt 0.5  $\mu\text{Sv}/\text{Paranuss}$ . Isst man jeden Monat eine Paranuss ergibt sich eine Dosis von 6  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr. Ein «ungerechtfertigtes» Risiko? Insgesamt nehmen wir durch die Nahrung viele natürlich radioaktive Substanzen auf, diese bestrahlen uns mit einer Jahresdosis von mehreren Hundert  $\mu\text{Sv}$ .

Kommen wir zum Krebsrisiko von 0.000025%. Wie vergleicht sich das Krebsrisiko mit anderen Risiken des Lebens in der Schweiz?

1. In der Schweiz ermordet zu werden ist mit Sicherheit ein extrem kleines, vernachlässigbares Risiko. Aber immer noch über 10-mal höher als ein Krebstodesfall, ausgelöst durch das ständige Tragen einer radioaktiven Halskette. Zudem ist dieses Krebsrisiko rein spekulativ, rechnerisch mit der LNT-Hypothese ermittelt. Das Mordrisiko hingegen beruht auf real existierenden Leichen.

---

<sup>1</sup> Gemäss dem deutschen Bundesamt für Strahlenschutz, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/radioaktivitaet-nahrung/radioaktivitaet-nahrung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/lebensmittel/radioaktivitaet-nahrung/radioaktivitaet-nahrung_node.html) . Das Gesteinspulver ist ab 10 Bq/kg illegal, Paranüsse haben 40 Bq/kg und werden erst noch gegessen (das Pulver, bzw. die Halsketten, normalerweise nicht).

2. Beim Gehen auf einer ebenen Fläche kann man stürzen und sich z.B. den Hals brechen. Dieses Risiko ist etwa 100-mal grösser als das Krebsrisiko einer Halskette (berechnet aus Angaben des Bundesamtes für Statistik).
3. Zu ertrinken, ist etwa 20-mal wahrscheinlicher. Ist Baden demnach ein ungerechtfertigtes Risiko und ist zu verbieten?
4. Das Feinstaub-Risiko wird extrem unterschätzt. Das Risiko, durch Feinstaub umzukommen, ist etwa 1000-mal höher als das Halskettenrisiko. Winzige Änderungen beim Lüften, beim Ausgehen, oder selbst bei der Anzahl Zimmerpflanzen, haben einen viel stärkeren Einfluss als eine Halskette.

## 5 Anhang II: Kommentar zum BAG-Bericht über Risiken im Niedrigdosisbereich.

Die Vorgeschichte: Das Postulat 08.3475, eingereicht am 17.9.2008 von Nationalrat Fehr Hans-Jürg, hat folgenden Inhalt: *“Der Bundesrat lässt von einer von der Atomwirtschaft und vom PSI unabhängigen Institution wissenschaftlich untersuchen, welche Auswirkungen die Emission von Niedrigstrahlen aus Atomkraftwerken auf Menschen, Tiere und Pflanzen in der Umgebung der schweizerischen AKW hat“.*

10 Jahre später kam eine Antwort vom Bundesrat. Eigentlich kam die Antwort vom BAG, der arme Bundesrat hat, wie 99.99...% der Menschen, keine Ahnung vom Thema. Muss er auch nicht, da er aber die Chef-Beamten wählt, hat er auch eine gewisse Verantwortung für deren Aktionen. Der Titel der Antwort: *«Kenntnisstand betreffend Risiken ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich<sup>1</sup>. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats, Fehr Hans-Jürg vom 17. September 2008».* Herr Fehr ist unterdessen schon längst in Pension, ich glaube aber nicht, dass dieser Bericht ihn zufriedengestellt hätte.

In den ersten 8 Seiten des total 28 Seiten langen Berichtes wird teilweise lehrbuchartig auf die Wirkungen von Strahlen eingegangen. Die nächsten paar Seiten fassen vor allem die Resultate der Untersuchungen von Hiroshima und Nagasaki zusammen. Die neueste Arbeit wird zwar erwähnt<sup>2</sup>, nicht aber, dass diese eine mittlerweile stark reduziert Krebswahrscheinlichkeit zeigt (die Inzidenzrate liegt teilweise unter der «offiziellen» Mortalitätsrate<sup>3</sup>) und dass die Resultate bei den Männern stark von LNT abweichen (praktisch kein Risiko unter ca. 500 mSv). Ebenfalls nicht erwähnt werden positive Effekte. Jahrzehntelang zeigen die bestrahlten Überlebenden im unteren Dosisbereich eine kleinere Mortalität als die Unbestrahlten (unter ca. 500 mSv, Seite 239 in der Arbeit von Ozasa et al.). Seite 11 und 12 behandelt unter anderem die eigentliche Frage des

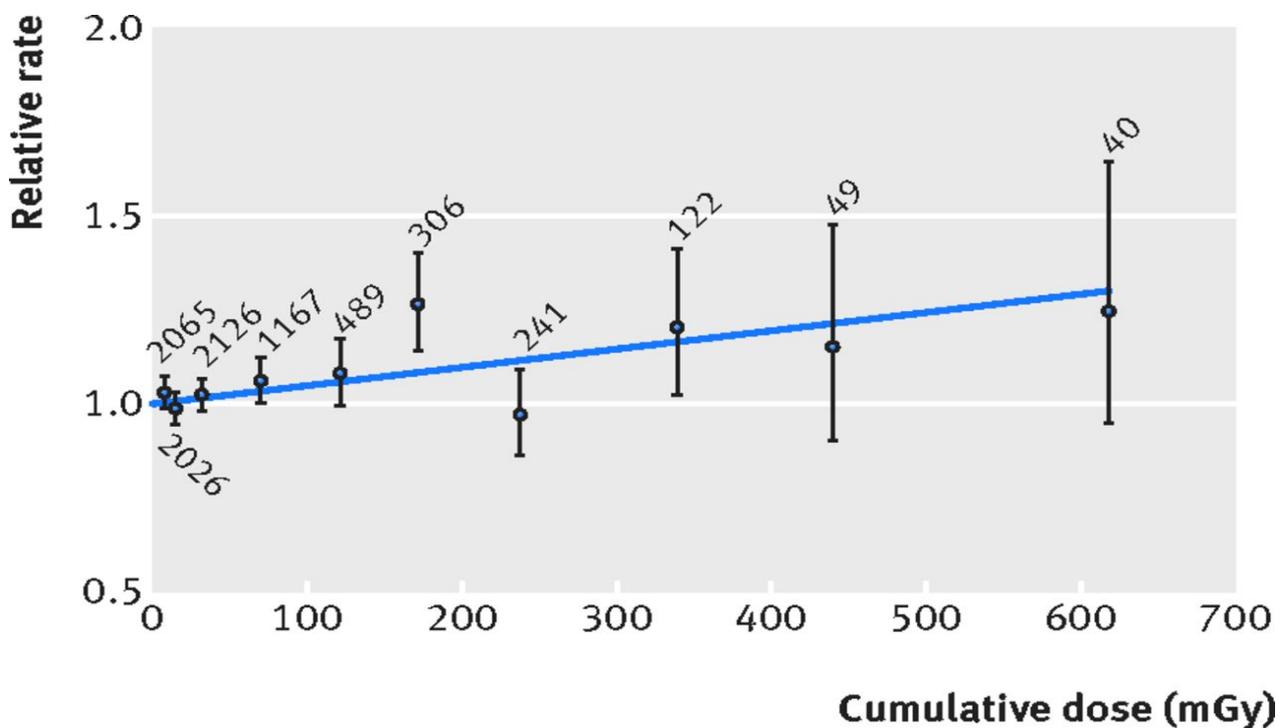
<sup>1</sup> <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/risiken-ionisierender-niedrigstrahlung.html> (2018-08-12)

<sup>2</sup> E. J. Grant et al. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958–2009, Radiation Research 187(5):513-537. 2017 doi: <http://dx.doi.org/10.1667/RR14492.1>

<sup>3</sup> Die aktuellen Mortalitätsraten stammen aus: Ozasa et al., [https://www.ref.or.jp/library/rr\\_e/rr1104.pdf](https://www.ref.or.jp/library/rr_e/rr1104.pdf). Man berücksichtigte alle Todesfälle bis 2003.

Postulates, beschränkt sich aber auf Kinderleukämien um Kernkraftwerke. In den Seiten 13 und 14 werden andere Studien besprochen, welche (schwache) Hinweise auf ein erhöhtes Risiko andeuten. Unter anderem wird auch das Radon-Risiko erörtert. Im Anhang, Seite 25-28, werden weitere Studien besprochen. In den Seiten 15 bis 17 wird über Risikoabschätzungen berichtet, mehrfach wird auf die INWORKS-Studie verwiesen (siehe weiter unten). Alles in allem ein schönes Beispiel von «Cherry-Picking», eine Sammlung von Resultaten, welche LNT unterstützen, bzw. deren Fehler so gross sind, dass sie LNT auch einschliessen. Viele hochwertige Arbeiten welche sich gegen LNT aussprechen, werden nicht erwähnt. Tierstudien zeigen oft klare Schwellen oder positive Effekte, in krasser Abweichung von LNT. Tierstudien wurden aber konsequent ausgeklammert, schade, denn diese leiden nicht unter den vielen Unsicherheiten und Fehlern von Humanstudien.

Als Kronzeugin für die Gültigkeit von LNT, vor allem auch bei Dosen unter 100 mSv, wird die INWORKS-Studie<sup>1</sup> zitiert (Kapitel 6.2 und Anhang). Da diese Studie als so wichtig deklariert wird, gehe ich etwas ausführlicher darauf ein. Das nachfolgende Bild zeigt das Gesamtergebnis:



**Figur 7 Zusammenfassung der Resultate der Untersuchungen von Kernkraftmitarbeitern aus USA, Frankreich und England. Relative Rate = 1.5 bedeutet 50% mehr Krebsfälle als «normal».**

Das zusätzliche relative Krebsrisiko wird mit etwa +0.5/Gy angegeben (zusätzlich zum «normalen» Krebsrisiko, Relative rate ist 1.5). Allerdings ist die Unsicherheit recht gross, siehe auch die Balken in Figur 7 (zeigen das 90%-Konfidenzintervall an). Diese Arbeit zeigt folgende Schwächen und

<sup>1</sup> D.B. Richardson et al., Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the UK and the United States (INWORKS), BMJ 2015.  
<https://www.bmj.com/content/351/bmj.h5359> (2018-08-10)

Widersprüche (wird ebenfalls von anderen Fachleuten bemängelt, auch in wissenschaftlichen Publikationen):

1. Bei einem zusätzlichen Krebsmortalitätsrisiko von 0.5/Gy (oder 50%/Gy) sterben also bei einer typischen «natürlichen» Krebstodesrate von 25% etwa 12.5%/Gy (oder pro Sv bei Gamma oder Beta-Strahlung) Personen zusätzlich. Populationen wie in Ramsar, mit einer Lebensdosis von 5-10 Sv (ohne Radon) und mehr, müssten somit alle an Krebs sterben. Tun sie aber nicht, die Krebsrate ist nicht erhöht.
2. Das gefundene relative Krebsmortalitätsrisiko von 0.5/Gy steht im starken Widerspruch zur neusten Zahl aus Hiroshima-Nagasaki<sup>1</sup> (Männer: Krebsinzidenz 0.2/Gy, Krebsmortalität dürfte um 0.1/Gy sein, und dies erst noch bei einer Schockdosis).
3. Die Kohorte ist recht inhomogen. Vieles wurde kaum (oder nur indirekt) berücksichtigt (Rauchen, Alter, sozio-ökonomischer Status, andere zusätzliche Bestrahlungen ausserhalb Kraftwerk). Dies führt zu einer erheblichen Unsicherheit, bzw. zu grossen Fehler.
4. Kritisch dürfte das Auslassen einer Alterskorrektur sein. Die Gruppe mit Dosen über 300 mGy dürfte praktisch ausschliesslich aus den 40er und 50er Jahren des letzten Jahrhunderts stammen (vielleicht noch aus den frühen 60ern). Zu dieser Zeit war die Krebsmortalität massiv höher als heute (>50%)<sup>2</sup>. Die Werte für diese Gruppe sind entsprechend zu hoch.

Wenn man die INWORKS-Studie mit z.B. den Untersuchungen der Radiummalerinnen<sup>3</sup> vergleicht, muss man feststellen, dass letztere in einer anderen Liga spielen: Die recht homogene Kohorte, eine gute Dosimetrie und Statistik und vor allem das empirische Modell, mit deckungsgleichen Resultaten aus vielen hochwertigen Tierversuchen, ergeben robuste und überzeugende Resultate. Und diese weisen auf ein völliges Versagen der LNT-Hypothese hin. Sehr störend, dass diese (wie auch andere recht aussagekräftige) Studien nicht erwähnt werden.

Im Übrigen finde ich es eine Unsitte, sich auf Krebs als Todesursache zu konzentrieren. Alle obigen Zahlen (wie auch diejenigen von Hiroshima-Nagasaki) beruhen auf den Angaben der Todesursache. Was aber, wenn die Strahlung die Herz-Kreislauf-Krankheiten etwas senkt? Die Hiroshima-Nagasaki-Kohorte zeigte solche Effekte. Dann steigt automatisch die Anzahl an Krebs Verstorbenen. In der Nagasaki-Kohorte leben die bestrahlten Überlebenden länger als die nicht-bestrahlten<sup>4</sup>. Wenn schon Krebs, sollte man die altersstandardisierte Mortalitätsrate<sup>5</sup> angeben.

---

<sup>1</sup> E. J. Grant et al. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958–2009, Radiation Research 187(5):513-537. 2017 doi: <http://dx.doi.org/10.1667/RR14492.1>

<sup>2</sup> Der Unterschied zwischen 1990 und 2014 beträgt bereits 50% (Altersstandardisierte Krebsrate) <http://www.nicer.org/de/statistiken-atlas/krebsmortalitaet/>

<sup>3</sup> O. Raabe, Health Physics 98: 515-536, 2010 und “Toward Improved Ionizing Radiation Safety Standards”, Health Physics Journal 101: 84-93, July 2011

<sup>4</sup> Acta Med. Nagasaki 36:199-205, Mortality of Atomic Bomb Survivors in Nagasaki, Mariko MINE, Yutaka OKUMURA and Masao KISHIKAWA.

<sup>5</sup> Diese gibt an, wieviele Krebstodesfälle in einer bestimmten Altersklasse, z.B. zwischen 70 und 80 Jahren, pro 100'000 Bewohner, vorkommen. Andere Normierungen kommen auch vor.

Was wirklich zählt ist die Lebensdauer. Und diese scheint sich selbst bei den stark bestrahlten Überlebenden von Hiroshima-Nagasaki nur wenig zu ändern<sup>1</sup>.

## 6 Anhang III

### Schnellkurs über Radioaktivität und Radiobiologie

#### 6.1 Was ist Radioaktivität?

Wir bestehen aus Atomen, wie alles um uns herum. Im Innern jedes Atoms befindet sich der Atomkern, ein winziger Massepunkt, bestehend aus Neutronen und Protonen. Die meisten Atomkerne sind stabil. Es gibt aber Kerne, welche bei ihrer Entstehung ein Zuviel an Energie erhalten haben, oder zu schwer sind oder ein falsches Verhältnis von Neutronen zu Protonen aufweisen. Solche Kerne sind «radioaktiv»; durch Aussenden von Energie (Gamma-Quanten) oder von Elektronen (Beta-Teilchen) oder Kernmaterie (Alpha-Teilchen) verwandeln sie sich in stabile Kerne. Dieser Umwandlungsprozess wird, etwas ungenau, «Kernzerfall» genannt. Sehr instabile Kerne können in einem winzigen Sekundenbruchteil zerfallen, «fast» stabile hingegen (z.B. Uran) überlegen es sich viele Milliarden Jahre lang ob sie überhaupt zerfallen sollen (d.h. sie sind viele Milliarden Jahre lang stabil und strahlen nicht). Ein Maß für die Zerfallswahrscheinlichkeit ist die **Halbwertszeit**. Dies ist die Zeitspanne, nach welcher die Hälfte einer Menge betrachteter Kerne zerfallen ist, nach einer weiteren Halbwertszeit ist die Hälfte der Hälfte zerfallen, usw. Dies bedeutet, dass die betrachtete Menge immer weniger strahlt. Nach Zehn Halbwertszeiten ist praktisch alles abgeklungen, mehr als 99.9% aller Kerne sind dann stabil. Und die Strahlenintensität ist auf weniger als 1/1000 gesunken. Die Forderung nach vollständigem Abklingen (z.B. bei radioaktiven Abfällen) ist nicht unbedingt sinnvoll, wir sind von Natur aus ständig einer relativ starken Strahlung ausgesetzt.

Die Anzahl Kerne, welche in einer Menge pro Sekunde zerfallen, wird **Aktivität** genannt, gemessen in Bq (Becquerel, Anzahl Zerfälle pro Sekunde). Alles um uns herum ist etwas radioaktiv. In der Natur kommen rund 60 radioaktive Substanzen vor. Die langlebigen Substanzen existieren seit der Entstehung der Erde, die kurzlebigen werden durch die kosmische Strahlung fortlaufend neu erzeugt. Fast alle wichtigen Elemente unseres Körpers (C, H, P, S, Na, K, Cl) strahlen von Natur aus. Deshalb besitzt unser Körper etwa 8000 Bq natürlicher Aktivität, durch die Nahrung aufgenommen. In einem m<sup>3</sup> Erde findet man im Mittel u.a. 5 Gramm Uran. Zusammen mit allen anderen radioaktiven Elementen beträgt die Aktivität von einem m<sup>3</sup> Erde über eine Million Bq. Dies ist der Hauptgrund für die natürliche Untergrundstrahlung.

Eine Preisfrage. Wir schlucken 100 Atome, was ist gefährlicher: Plutonium-239-Atome (Halbwertszeit 24'000 Jahre) oder Iod-131-Atome (Halbwertszeit 8 Tage)? Inert wenigen Wochen wirken alle 100 Iod-Zerfälle auf uns ein. Bei den Plutonium-Atomen findet aber nur alle paar 100 Jahre ein Zerfall statt - vernachlässigbar. Es gilt:

---

<sup>1</sup> "Longevity of Atomic-bomb Survivors" by Cologne and Preston. The Lancet (volume 356, pages 303–7; July 22, 2000). Und eigene Analysen mit den 2016-Datensätzen des RERF, Hiroshima, mit freundlicher Genehmigung vom RERF.

**Je länger die Halbwertszeit, desto seltener (schwächer) ist die Strahlung.**

Für uns Menschen am gefährlichsten sind Kerne mit Halbwertszeiten von einigen Jahren oder Jahrzehnten (z.B. Cs-137 oder Sr-90 mit je ca. 30 Jahre).

## 6.2 Wie messen wir die Strahlenbelastung?

Radioaktive Strahlen wirken durch ihre Energieabgabe im Gewebe. Diese Abgabe kann als Energie pro kg (J/kg), abgekürzt Gy (Gray), angegeben werden; dies ist die sogenannte **Energiedosis**. Je nach Strahlenart wirkt aber 1 Gy unterschiedlich. Dies wird mit dem sogenannten **Strahlungs-Wichtungsfaktor**  $W$  berücksichtigt. Multipliziert man die Gy damit, erhält man die **Äquivalentdosis** (in Sievert, Sv), dies ist ein Mass für die unmittelbare biologische Wirkung. Bei Beta- oder Gammastrahlen ist  $W = 1$  (d.h. 1 Gy = 1 Sv), bei Alphastrahlen ist aber  $W = 20$ . Die schweren Alpha-Teilchen wirken zerstörerischer, dafür ist ihre Reichweite sehr klein (sie werden bereits durch die oberste Hautschicht gestoppt, d.h. sie wirken nur bei Einnahme). Die Untereinheiten sind: 1 mGy = 1/1'000 Gy und 1  $\mu$ Gy = 1/1'000'000 Gy, dito bei Sv.

Die Äquivalentdosis beschreibt den unmittelbaren Schaden. Die verschiedenen Gewebearten sind aber unterschiedlich empfindlich (vor allem betreffend Krebs). So ist z.B. die Haut viel weniger empfindlich als die inneren Organe. Dies wird mit einem weiteren Korrekturfaktor, dem **Gewebe-Wichtungsfaktor**, berücksichtigt. Multipliziert man die Äquivalentdosis damit, erhält man die **effektive Dosis** des betreffenden Organs, die Einheit ist - etwas verwirrend - auch Sv. Bei einer Ganzkörperbestrahlung mit Gamma- oder Betastrahlung ist der gesamte Gewebe-Wichtungsfaktor = 1, d.h. die Äquivalentdosis ist in diesem Fall gleich der effektiven Dosis.

Komplizierter ist die Berechnung der effektiven Dosis bei der Einnahme von radioaktiven Substanzen. Denn dann muss die „Aufenthaltsdauer“ der inkorporierten radioaktiven Substanz ebenso berücksichtigt werden wie die Verteilung im Körper. Gewisse Substanzen bleiben jahrzehntelang im Körper (z.B. Strontium, Radium), andere werden innert wenigen Wochen oder Monaten ausgeschieden (z.B. Cäsium) und wiederum andere werden praktisch nicht aufgenommen (z.B. alle Edelgase, glasförmige Substanzen oder Plutonium bei Ingestion).

Eine weitere wichtige Grösse ist die Dosisrate, die Dosis pro Zeiteinheit. Beispiel: Die durchschnittliche Untergrundstrahlung aus dem Boden und dem Weltraum beträgt etwa 0.1  $\mu$ Sv/Stunde, abgekürzt  $\mu$ Sv/h. Je nach Ort (beziehungsweise Gehalt von Uran, Thorium und anderen strahlenden Substanzen im Boden) variiert diese natürliche Strahlung in bewohnten Gebieten zwischen 0.04  $\mu$ Sv/h und über 100  $\mu$ Sv/h.

Radioaktive Strahlen kann man, wie viele andere Gifte und gefährliche Mikroorganismen auch, weder riechen noch fühlen noch sehen. Einen „Vorteil“ haben sie aber: Man kann selbst winzige Dosen sehr leicht messen. Einfache Warngeräte gibt es bereits für unter 100\$, ab ca. 200\$ erhält man schon so empfindliche Geräte, dass man damit die natürliche Umweltstrahlung genau messen kann. Eine so einfache Überwachung ist bei den meisten anderen Giftstoffen unmöglich.

## 6.3 Was wissen wir über die Wirkungen der Radioaktivität?

Es gibt keine chemischen oder physikalischen Einwirkungen auf Lebewesen, die auch nur annähernd so gut erforscht wurden wie die radioaktiven Strahlen; in den letzten 120 Jahren wurden dafür viele Milliarden ausgegeben. Praktisch jede Hochschule und jedes Universitätsklinikum ist oder war daran beteiligt. Bei hohen und mittleren Dosen sind sich die

Experten über die Wirkungen einig. Die Hauptwissensquelle, zumindest bei Schockdosen, stellen die ausserordentlich gründlichen Untersuchungen der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki dar. Bei zeitlich verteilten Dosen sind die Auswirkungen sehr viel schwieriger zu erforschen, der Grund dafür liegt in der relativ kleinen Wirkung der Strahlen. Selbst bei akkumulierten Dosen, welche einer tödlichen Einmaldosis entsprechen, beobachtet man oft keine Wirkung. Die wohl beste Wissensquelle bei jahrzehntelanger Einwirkung stellen die Analysen der Radiummalerinnen<sup>1</sup> dar, zusammen mit Tierexperimenten, welche die Resultate bestätigten. Allerdings widersprechen diese Resultate der gängigen LNT-Doktrin (mehr darüber siehe im Kapitel über LNT), sie werden deshalb oft ignoriert. Ebenfalls ignoriert wird der gute Gesundheitszustand der Bewohner von Ramsar, Iran. Auch in diesem Fall liegen die akkumulierten Dosen oft über einer tödlichen Einmaldosis. LNT-Anhänger orientieren sich lieber an den Unmengen von anderen Humanstudien, praktisch ausnahmslos mit recht grossen Fehlern und vielen Widersprüchen (siehe Anhang II).

Besonders bei kleinen Dosen ortet man gerne Probleme; immer wieder wird behauptet, dass man zu wenig darüber wisse. Die Aussage ist nicht korrekt. Man weiss mit Bestimmtheit, dass die Risiken von kleinen Dosen (kleiner als etwa 1/100 der tödlichen Dosis) im Vergleich zu den anderen Risiken unseres Lebens bedeutungslos sind. Wenn dem nicht so wäre, hätte man dies im Laufe der letzten 120 Jahre schon längst erkannt. Man vergisst, dass es bei allen Einwirkungen, egal ob physikalisch, chemisch oder radioaktiv, eine untere Dosis-Grenze gibt, darunter werden die gesundheitlichen Auswirkungen unmessbar klein. Dies gilt z.B. auch für Wein:

Für einen Durchschnittsmenschen sind 3-4 Liter Wein, an einem Abend getrunken, lebensbedrohend. Was aber bewirkt ein Tropfen Wein, verteilt auf einen Monat? Eine sinnlose Frage? Gar nicht, denn ein Tropfen Wein pro Monat entspricht dem heutigen Grenzwert der Strahlendosis (1 mSv/J), in beiden Fällen handelt es sich um 1/60'000 einer tödlichen Dosis pro Monat. Die Folgen eines Tropfen Wein pro Monat, oder 1/30 Tropfen pro Tag, sind natürlich völlig unmessbar<sup>2</sup>, ebenso wie diejenigen von 1 mSv/J. Noch erstaunlicher: Ab 10 µSv/J muss man eine Bewilligung beantragen, diese Dosis entspricht einem Tropfen Wein alle 8 Jahre (!).

Unsere heutigen Grenz- und Regulierungswerte liegen extrem tief, man versucht damit winzigste, völlig unmessbare, rein hypothetische Risiken zu eliminieren. Als Begründung dient einerseits das Vorsorgeprinzip<sup>3</sup>. Und andererseits eine gewagte Hypothese, LNT. Diese besagt, dass auch die allerwinzigste Dosis schädlich ist (mehr darüber im Kapitel über LNT). Soll man sich überhaupt um hypothetische Risiken, die viel zu klein sind, um beobachtet zu werden, kümmern? Da heute eine Null-Risiko-Mentalität herrscht, lautet die Antwort: Ja. Diese Haltung mag auf den ersten Blick vernünftig erscheinen. Man sollte aber nicht überreagieren: Es macht keinen Sinn, Grenzwerte für ein einzelnes Risiko extrem viel tiefer zu setzen als für alle anderen Risiken. Wir setzen dann falsche Prioritäten, verschwenden sehr grosse Geldsummen (viele Milliarden von Franken, Dollar und Euro pro Jahr) und lenken von viel wichtigeren Risiken ab.

---

<sup>1</sup> O. Raabe, Health Physics 98: 515-536, 2010 und viele weitere Arbeiten. Die Radiummalerinnen haben in den 20er-Jahren des letzten Jahrhunderts sehr hohe Dosen Radium inkorporiert.

<sup>2</sup> Auch schon deshalb, weil wir mit der täglichen Nahrung sehr viel mehr Alkohol einnehmen (Brot hat 0.1% bis 1% Alkohol, reife Früchte noch mehr).

<sup>3</sup> Vereinfacht formuliert lautet das Vorsorgeprinzip: Wenn man nicht beweisen kann, dass etwas unschädlich ist, muss man es verbieten. Nur: Unter einer bestimmten Dosis kann man gar nichts beweisen.

## 6.4 Akute und deterministische Wirkungen der Strahlung

Radioaktive Strahlen haben nicht grundlegend andere gesundheitliche Folgen als „normale“ Giftstoffe. Hohe Einmaldosen (Ganzkörper-Schockdosen) über 1 Sv bewirken eine akute Erkrankung (Strahlenkrankheit). Deren Symptome sind denjenigen einer starken Chemotherapie mit Zytostatika sehr ähnlich. Dies ist kein Zufall, denn in beiden Fällen werden vorwiegend die sich schnell teilenden Epithelzellen<sup>1</sup> und die Blutstammzellen im Knochenmark angegriffen. Die Folgen: Haarausfall und schwere Magen-Darm-Probleme; Immunsystem und Blutgerinnung leiden und können versagen. Bei einer sehr hohen, aber nicht tödlichen Schockdosis folgt nach der Erholung von der akuten Phase (typisch einige Wochen) praktisch immer eine lange, völlig normale Lebensphase. Die wichtigste Ausnahme: Bei hohen Dosen kann innert wenigen Jahren eine Leukämie oder ein Schilddrüesentumor ausbrechen. Bei einer Dosis knapp unter der tödlichen Schockdosis sind weniger als 3% der Bestrahlten davon betroffen. Glück im Unglück: Im Gegensatz zu den „Alterskrebsen“ können Schilddrüesentumore und Leukämien in der Mehrzahl der Fälle geheilt werden. Hohe Strahlendosen können auch die Wahrscheinlichkeit für Linsentrübungen (Katarakte, grauer Star) erhöhen. Und die Haut kann auch schwer leiden: Sehr hohe Hautdosen führen zu üblen Verbrennungen und Narbenbildungen. Dafür reduzieren hohe Strahlendosen die Wahrscheinlichkeit von grünem Star (Glaukom)<sup>2</sup>.

Bei einer tödlichen Ganzkörper-Schockdosis (5 Sv und mehr) sterben die meisten blutbildenden Stammzellen im Knochenmark, dadurch werden die Blutbestandteile nicht mehr erneuert. Kurzfristig fehlen vor allem Immunzellen und Blutplättchen. Man stirbt meistens an einer Infektion oder an inneren Blutungen. Eine Dosis von 5 Sv, verteilt auf mehrere Jahrzehnte, scheint hingegen keine negativen Folgen zu haben.

Wie steht es mit den Gefahren einer Bestrahlung während der Schwangerschaft? Bei den Atombombenopfern zeigte sich, dass eine starke Bestrahlung (mehr als einige 100 mSv) die spätere geistige Entwicklung der Kinder beeinträchtigt (kleinerer IQ). Zudem wurde über ein vermehrtes Auftreten von Fällen mit überschüssigen Fingern oder Zehen berichtet. Die meisten dieser Beobachtungen beschränkten sich auf den Fall einer Bestrahlung zwischen der 8. und der 15. Schwangerschaftswoche. Hohe Dosen führten auch zu einem Anstieg der Aborte. Alle diese Effekte sind auch bei anderen Einwirkungen auf den Fetus zu beobachten (ungesunder Lebenswandel der Schwangeren, Stress, Umwelteinflüsse). Es besteht kein Zweifel, dass gewisse chemische Substanzen sehr viel fruchtschädigender wirken als radioaktive Strahlen. Das scheinbar harmlose Schlafmittel «Contergan», welches von 1957 bis 1961 vertrieben wurde, hatte katastrophale Wirkungen auf den Fetus. Diese Substanz verursachte 5'000-10'000 schwere Missbildungen und eine unbekannte Zahl von Totgeburten.

## 6.5 Verzögerte Wirkungen der Strahlung

Eine starke radioaktive Bestrahlung zeigt leider auch Langzeitwirkungen: Im Alter kann eine Krebserkrankung früher ausbrechen als bei Unbestrahlten. Auch in dieser Beziehung

---

<sup>1</sup> Epithelzellen bedecken alle inneren und äußeren Körperoberflächen, Beispiele: Hautzellen, Darmzellen. Bei einer Strahlenkrankheit oder einer Chemotherapie leiden primär der Magen-Darm-Trakt und die Haarwurzeln.

<sup>2</sup> Dies zeigt sich auch bei Tierstudien: <https://www.medpagetoday.com/LabNotes/LabNotes/31798> (2018-08-30)

unterscheiden sich die radioaktiven Strahlen nicht von den vielen anderen krebserregenden (genauer gesagt: krebefördernden) Einwirkungen, wie z.B. Tabakrauch, Feinstaub, viele chemische Substanzen oder hoher Fleischkonsum. Die Langzeitwirkungen kann man als Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu sterben, quantifizieren. Da eine allfällige Erkrankung erst nach vielen Jahrzehnten auftritt, ist es aussagekräftiger, die Anzahl verlorener Lebensjahre anzugeben. Beim Tabakrauch ist dies auch üblich, ein starker Raucher muss mit einem Lebensdauerungsverlust von 5-10 Jahre rechnen.

Bei Schockdosen (Einmaldosen) zeigen sich ab etwa 0.1 Sv (100 mSv) erste Langzeiteffekte (leicht erhöhte Krebsrate im Alter). Bei einer Bestrahlung von 1 Sv beobachtet man bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki etwa 10% mehr Krebserkrankungen im Alter, bzw. eine dadurch verursachte mittlere Verkürzung der Lebensspanne um etwa 1.4 Jahre. Allerdings sind die Fehler recht gross, neuere Daten ergeben kleinere Werte. Vor allem scheint sich die Lebensspanne bis über 1 Sv nicht nennenswert zu verkürzen.

Bei einer zeitlich verteilten Dosis rechnet man, recht willkürlich und sehr umstritten, mit 8 Monaten Lebensdauerungsverlust. Tatsache ist, dass selbst bei 10 Sv (als Schockdosis 100% tödlich), verteilt über viele Jahrzehnte, weder eine Erhöhung der Krebsrate noch eine Lebensdauerreduktion beobachtet werden kann (Ramsar-Bewohner, Radiummalerinnen, Tierversuche).

Ein weit verbreiteter Irrglaube ist, dass jede Strahlendosis früher oder später zu Krebs führt. Doch selbst bei einer nahezu tödlichen Schockdosis (3-4 Sv) erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, im Alter an einem Krebsfall zu sterben „nur“ um ca. 25% (Erfahrungen von Hiroshima/Nagasaki). Im Klartest bedeutet dies, dass 75% der lebensgefährlich stark Bestrahlten nach der Erholungsphase von der Strahlenkrankheit ein normales Leben vor sich haben und nicht an einem durch die Strahlung bedingten Krebs sterben.

Bis etwa 1960 galt die grösste Sorge den Genschäden, bzw. den dadurch verursachten Missbildungen der nachfolgenden Generationen. Als dann bekannt wurde, dass die Nachkommen der stark bestrahlten Atombombenopfer völlig gesund waren, verlagerten sich die Ängste in Richtung Krebs. In der Tat konnte bis heute beim Menschen keine Erhöhung der Missbildungsrate beobachtet werden, auch nicht bei sehr hohen Dosen (Nachkommen der Atombombenopfer und der stark bestrahlten, strahlenkranken Liquidatoren von Tschernobyl). Trotzdem wurde der Grenzwert von der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 150 mSv/J (1950) auf 1 mSv/J (1991) abgesenkt. Das Dilemma: Die Menschen werden durchschnittlich mit etwa 3 mSv/J aus natürlichen Quellen bestrahlt, mit Spitzen bis gegen 1 Sv/J, ohne sichtbare negative Folgen. In der Schweiz beträgt der Durchschnittswert etwa 4.5 mSv/J, mit Spitzen über 100 mSv/J (in den Alpen). Die Fachleute sind sich einig, dass kein Unterschied zwischen „natürlichen“ und „künstlichen“ Strahlen besteht, es sind genau die gleichen Strahlen. Sehr fragwürdig erscheinen auch die Evakuationsempfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP), und anderer Gremien im Falle einer Nuklearkatastrophe. Wendet man diese auf die natürliche Strahlung an, so müsste man allein in Europa Millionen von Menschen umgehend evakuieren, unter anderem auch die meisten Bewohner der Alpen.

## 6.6 LNT und das Problem der kleinen Dosen

Bei hohen Schockdosen sind die Effekte eindeutig sichtbar, gut verstanden und allgemein akzeptiert. Die wissenschaftlichen Gremien, allen voran die UNSCEAR, sind sich aber auch einig, dass unter 100-200 mSv keine negativen Effekte mehr sichtbar sind. Aus praktischen Gründen und wegen dem Vorsorgeprinzip wird heute im Strahlenschutz die LNT-Hypothese (Linear, No Threshold) angewendet: Es gibt keine Schwelle (Threshold) und die (nicht nachweisbaren)

Wirkungen von Kleindosen werden linear aus hohen Dosen errechnet. Der Schaden (oder das Risiko einer Erkrankung) ist somit streng proportional zur Dosis, d.h. halbe Dosis gleich halber Schaden. Auch die winzigste Dosis könnte gemäss dieser Hypothese einen Krebsfall auslösen (mit einer winzigen Wahrscheinlichkeit). Alle Gesundheits- und Strahlenschutzbehörden (inkl. WHO) vertreten LNT. In weiten Kreisen wird aber verdrängt, dass LNT eine unbeweisbare Arbeitshypothese ist, zwar heftig verteidigt (ICRP<sup>1</sup>), aber auch heftig kritisiert<sup>2</sup>. Die Medien und die Öffentlichkeit sind der festen Meinung, dass es wissenschaftlich bewiesen ist, dass auch die aller kleinste Dosis schädlich ist. Und eine Mehrheit ist sogar überzeugt, dass jede Dosis, ob gross oder klein, tödlich ist<sup>3</sup>.

Warum sind die Wirkungen von kleinen Dosen so schwierig zu erforschen? Dies hat einerseits damit zu tun, dass die Wirkungen sehr klein sind. Und andererseits kämpft man mit zwei grossen Problemen:

1. Die Symptome sind nicht spezifisch, d.h. alle der Strahlung zugeschriebenen Krankheiten (zur Hauptsache verschiedene Krebsarten) kommen auch „natürlich“ vor, sie unterscheiden sich nicht von den „normalen“ Krankheiten. Die „natürliche“ Krebsrate beträgt im Durchschnitt etwa 40%, 25% sterben daran. Diese Raten sind aber sehr grossen örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. Selbst in der kleinen Schweiz variiert die Krebstodesrate von Kanton zu Kanton bis zu 30% (Männer, Frauen bis zu 20%)<sup>4</sup>. Zeitlich sind die Änderungen noch grösser: Vor 20 Jahren waren die Krebsraten um 50% höher (Männer, Frauen um 30%). Bei solchen starken Schwankungen ist es praktisch unmöglich, beim Menschen die Wirkungen von kleinen Strahlendosen zu studieren.
2. Die Latenzzeiten betragen durchschnittlich viele Jahrzehnte, nach einer so langen Zeitspanne ist es äusserst schwierig, alle anderen Einflüsse auf die Krebsrate zu berücksichtigen.

Diese beiden Probleme führen dazu, dass die meisten Human-Studien über kleine Strahlendosen keine eindeutigen Resultate zeigen. Zehntausende von Forschungsarbeiten wurden darüber veröffentlicht, durch eine geschickte Auswahl kann jede gewünschte Aussage „belegt“ werden: Kleinstdosen sind ab 0 mSv schädlich, LNT ist gültig, Dosen um 100 mSv sind gesundheitsfördernd oder Dosen bis 1 Sv/J sind ohne gesundheitliche Folgen.

Tierexperimente sind aussagekräftiger, man kann Tiere, z.B. Labormäuse, unter streng identischen Bedingungen halten und studieren. Bestrahlt man unter solchen kontrollierten Bedingungen einen Teil der Tiere und vergleicht sie mit den Unbestrahlten kann man recht zuverlässige Resultate erhalten. Dabei zeigen sich oft positive Effekte von kleinen Strahlendosen (längeres Leben, weniger Krebs). Mittlerweile versteht man die Mechanismen, welche zu solchen positiven Effekten

---

<sup>1</sup> ICRP: International Commission on Radiological Protection, die Fachvereinigung der Strahlenschutzbeamten. Sehr für LNT: [http://books.nap.edu/openbook.php?record\\_id=11340&page=1](http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11340&page=1) (2018-08-10)

<sup>2</sup> <https://link.springer.com/article/10.1007/s13752-016-0244-4> (2018-02-10), eines von vielen Beispielen, mit Review von extremen Kernenergiegegner. Auch interessant: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3834742/> (2018-04-30).

<sup>3</sup> Gemäss einer ETH-Umfrage (2013) sind 80% der Befragten der Meinung, dass jede beliebige Dosis Radioaktivität für Menschen tödlich ist [https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/chair-of-sociology-dam/documents/research/risikostudie/Risikostudie\\_VortragScientifica\\_01092013.pdf](https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/chair-of-sociology-dam/documents/research/risikostudie/Risikostudie_VortragScientifica_01092013.pdf) (2018-08-08)

<sup>4</sup> <http://www.nicer.org/NicerReportFiles2017/DE/report/atlas.html?&geog=1> (2018-09-04)

führen, recht gut<sup>1</sup>. Viele namhaften Radiobiologen und Nuklearmediziner sind heute überzeugt, dass kleine Dosen eher nützen als schaden.

## 6.7 100 mSv und unsere Sauerstoffatmung

Um ein Gefühl für den möglichen Schaden einer radioaktiven Bestrahlung zu bekommen, ist eine kleine Modell-Rechnung hilfreich. Wir gehen vom 100-fachen des Grenzwertes von 1 mSv/J aus. Dies ist eine Dosis von 0.1 Sv = 100 mSv (= 0.1 J Energie pro kg) aus, geliefert von Gammastrahlen mit je 660 keV<sup>2</sup> Energie. Die Energiedosis von 0.1 Sv geteilt durch die Energie eines einzelnen Gammaquants ergibt die Anzahl Gammaquanten pro kg, in unserem Fall erhalten wir ungefähr 1000 Milliarden. Dies ist ganz grob auch die Anzahl Zellen in einem kg Gewebe. Also entfällt pro Zelle etwa ein Gammaquant, beunruhigend.

Und es kommt noch schlimmer: Jedes im Gewebe absorbierte Gammaquant übergibt seine Energie einem Elektron (identisch mit einem Beta-Teilchen). Dieses wird zum Geschoss und durchquert rund 250 Zellen bis es zur Ruhe kommt. Und erzeugt dabei in jeder dieser Zellen 100-200 freie Radikale (ROS<sup>3</sup>). Insgesamt wird also jede Zelle von etwa 250 Elektronen durchbohrt. Die produzierten ROS beschädigen auch die DNA, unter anderem verursachen sie 1 – 10 der gefürchteten Doppelstrangbrüche<sup>4</sup>.

**Eine Dosis von 0.1 Sv (=100 mSv) erzeugt in jeder Zelle bis zu 40'000 toxische ROS, diese verursachen viele DNA-Schäden, unter anderem auch 1 – 10 DSB (Doppelstrangbrüche).**

In Anbetracht des grossen Schadens in jeder Zelle sollten wir eigentlich bei einer solchen Dosis umgehend tot umfallen. Doch die Erfahrung zeigt, dass wir eine solche Bestrahlung nicht einmal bemerken, auch klinisch ist nichts Auffälliges festzustellen.

Des Rätsels Lösung liegt in der Tatsache verborgen, dass wir atmen. Unsere Zellen benötigen Energie, viel Energie. Sie «verbrennen» zu diesen Zweck Nährstoffe, am liebsten Zucker. Jede Zelle benötigt dazu pro Sekunde mehrere Millionen (!) Sauerstoffmoleküle. Bei dieser «Verbrennung» entstehen auch Giftstoffe, primär in Form von 1'000 bis 10'000 freie Radikale (ROS) pro Sekunde. Die ROS schädigen auch die DNA, neben vielen «einfachen» Fehlern muss man auch mit mehreren Doppelstrangbrüchen (DSB) pro Tag rechnen<sup>5</sup>. Die einfachen DNA-Schäden (z.B. ein Einzelstrangbruch) werden innert wenigen Minuten repariert, aber für einen DSB benötigt die

<sup>1</sup> Eine gute wissenschaftliche Zusammenfassung findet man hier: <http://www.energie-fakten.de/pdf/hormesis.pdf>

<sup>2</sup> eV ist eine Energieeinheit, 1 eV = 1.6 x 10<sup>-19</sup> J, 1 keV = 1'000 eV. 660 keV ist die Energie eines Gammaquants von Cäsium-137, dem wichtigsten Nuklid von Tschernobyl oder Fukushima.

<sup>3</sup> ROS: Reactiv Oxygen Species, freie Sauerstoffradikale. Dies sind aggressive, toxische Moleküle welche Biomoleküle in einer Zelle schädigen können. Die Produktion von ROS ist der wichtigste Schadensmechanismus bei Gamma- und Beta-Strahlen.

<sup>4</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2709554/> (2018-08-20). Ein Doppelstrangbruch (DSB) zerreisst die DNA in zwei Teile. Bei fehlerhafter Korrektur, bei Versagen der zellinternen Selbstmordkontrolle und wenn das Immunsystem die Zelle nicht aus dem Verkehr zieht, könnte sie zu einer Krebszelle mutieren. Aber nur ein winziger Bruchteil der DNA-Schäden sind gefährlich: Der Bruch müsste an einer «heiklen» Stelle sein, und möglichst in einer Stammzelle.

<sup>5</sup> Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effect of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. Pollycove M, Feinendegen LE. *Hum Exp Toxicol.* 2003 Jun; 22(6):290-306; discussion 307, 315-7, 319-23 und <https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/1423/file/Alt.pdf> Seite 3 (2018-08-31) oder: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2605959/> (2018-08-20)

Zelle bis zu mehreren Stunden. In jeder Zelle ist deshalb praktisch immer ein natürlich entstandener DSB vorhanden (neben Tausenden einfacheren DNA-Fehlern). Unsere Zellen funktionieren nicht wie ein kompliziertes Uhrwerk, in welchem ein kleiner Fehler zum Stillstand führt. In unseren Zellen wimmelt es nur so von Fehlern (nicht nur in der DNA), wir sind eine einzige, gigantische Reparaturwerkstatt.

**Die Sauerstoffatmung in einer Zelle produziert in jeder Sekunde 1'000-10'000 aggressive ROS. Dadurch entstehen in jeder Zelle mehrere Zehntausend DNA-Schäden pro Tag, darunter rund 10 Doppelstrangbrüche.**

Eine Bestrahlung mit 100 mSv, verteilt auf ein Jahr, realisieren unsere Zellen schwerlich, die natürliche Schadensrate ist sehr viel höher. 100 mSv/J produzieren etwa alle 10 Minuten ein zusätzliches ROS-Molekül in jeder Zelle. In der gleichen Zeit produziert die Sauerstoffatmung rund eine Million davon, mit starken Schwankungen (beim Sport kann unsere ROS-Produktion um das 10-fache steigen). 100 mSv/J erzeugen zudem alle paar Monate einen zusätzlichen DSB, vernachlässigbar gegenüber den etwa 1000 natürlich produzierten DSB in dieser Zeitspanne (ebenfalls starken Schwankungen unterworfen). Zugegeben, dies sind sehr einfache Modellrechnungen. Aber selbst wenn sie um ein oder zwei Grössenordnungen falsch wären, kann man sich kaum der Schlussfolgerung entziehen, dass 100 mSv pro Jahr harmlos sind. Mittlerweile sind aber die Grenzwerte in unserer Angstgesellschaft von durchaus vernünftigen 150 mSv/J (1950) auf 1 mSv/J gesunken, eindeutig zu viel des Guten.

100 mSv als Schockdosis, innert weniger Sekunden oder Minuten erhalten, könnte schon eher einen Effekt haben. Dann wird nämlich für kurze Zeit die ROS-Konzentration merklich angehoben, und die paar zusätzlichen DSB könnten die Reparaturmechanismen in seltenen Fällen überfordern<sup>1</sup>. In der Tat: Bei den Überlebenden von Hiroshima/Nagasaki (Schockdosis von einer Sekunde Dauer) lassen die Studien (nicht alle) ab 100 mSv auf eine leichte Krebsratenzunahme im Alter schliessen.

## 6.8 Das Leben ist riskant

Um das Risiko einer Strahlen- oder Giftdosis abzuschätzen, ist ein Vergleich mit dem Grenzwert völlig nutzlos. Grenzwerte stellen nicht etwa die «Grenze» zwischen einem Schaden und keinem dar. Grenzwerte können millionenfach unter einem ersten Schaden liegen, oder auch bereits in der Risikozone liegen. Viel sinnvoller ist es, Strahlenrisiken mit anderen Risiken des Lebens zu vergleichen. Ohne solche Vergleiche kann man ein Risiko nicht einordnen und Prioritäten setzen. Die nachfolgende Aufstellung zeigt einige Beispiele von Langzeitrisiken. Angegeben ist der Einfluss auf die Lebensdauer (vor allem durch Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen). Ein positives Vorzeichen bedeutet eine Verlängerung der durchschnittlichen Lebensdauer. Die ersten vier Beispiele basieren auf vielen epidemiologischen Daten. Fukushima habe ich als Vergleich aufgeführt. Die nächsten drei Beispiele (Rauchen, Früchte, Sport) basieren auf der linearen Extrapolation von hohen «Dosen», d.h. ich haben LNT angenommen. Man kann abschätzen, wie viele Zigaretten ein Raucher in seinem Leben konsumiert und, zusammen mit der Lebensdauerreduktion von 5-10 Jahren, den Beitrag einer einzigen Zigarette berechnen. Bei den Früchten (der Apfel ist nur ein Beispiel) und beim Sport bin ich gleich vorgegangen, ich habe einen

---

<sup>1</sup> Allerdings: Damit eine Zelle die Waffen streckt, müssen etwa 50 DSB vorhanden sein.

Mittelwert aus vielen Studien für die Berechnung benutzt. Die Zahlen sollten nicht allzu ernst genommen werden, sie geben nur die Grössenordnung an (falls man an LNT glaubt). Immerhin zeigen sie, dass z.B. eine kleine Änderung der körperlichen Tätigkeit einen sehr viel grösseren Einfluss auf die Gesundheit haben kann, als selbst eine hohe Strahlendosis. In Klammern ist die Strahlendosis mit der gleichen gesundheitlichen Langzeitwirkung (Lebensdauer) aufgeführt. Die heute gesetzlich erlaubte Strahlendosis ist 1 mSv pro Jahr.

■ Sozioökonomischer Status (max/min):	-10 Jahre	(>10 Sv)
■ Rauchen	-7 Jahre	(>10 Sv)
■ Schwere Wirtschaftskrise:	-0.5 bis -5 Jahre	(=0.5 Sv bis 4 Sv)
■ Unglücksfälle	-1 Jahr	(=1.4 Sv)
■ Feinstaub, 40 µg/m <sup>3</sup> PM10, dauernd:	-1 Jahr	(=1.4 Sv)
■ Fukushima, no-entry zone, Lebensdosis	-3 Monate	(=0.4 Sv)
■ Eine Zigarette rauchen:	-10 min	(=30 µSv)
■ Ein Apfel essen:	+30 min	(=0.1 mSv)
■ Eine Stunde Sport:	+5 Stunden	(=1 mSv)

Der Lebensstandard (sozioökonomischer Status) hat einen sehr starken Einfluss auf die Gesundheit. Die allerunterste soziale Schicht muss mit etwa 10 Jahren weniger Lebenserwartung rechnen verglichen mit der obersten. Sinkt der Lebensstandard auf Grund einer langen und schweren Wirtschaftskrise, wie etwa beim Kollaps der Sowjetunion oder in Griechenland<sup>1</sup>, so ist dies ebenso gefährlich wie eine sehr starke Bestrahlung. In beiden Fällen nimmt die durchschnittliche Lebenserwartung ab, vor allem auf Grund von Krebserkrankungen und Herz-Kreislauf-Krankheiten.

Feinstaub ist der von der Öffentlichkeit am meisten unterschätzte Umwelteinfluss. Die aufgeführten 40 µg/m<sup>3</sup> werden im Zentrum von verkehrsreichen Grossstädten oft überschritten. Der Grenzwert (Schweiz) liegt bei 20 µg/m<sup>3</sup>, der Schwellenwert<sup>2</sup> (Wert, bei welchem erste negative Effekte einwandfrei gefunden werden) liegt um 10 µg/m<sup>3</sup>. In anderen Ländern gelten teilweise höhere Grenzwerte. In der Schweiz muss man im Mittelland mit Durchschnittswerten von zwischen 10 und 20 µg/m<sup>3</sup> Feinstaub rechnen, längs den Verkehrsachsen und in den Städten sind es aber deutlich mehr: In Zürich werden 94% der Bevölkerung einer Schadstoffdosis von über 20 µg/m<sup>3</sup> ausgesetzt<sup>3</sup>. In Deutschland ist die Situation teilweise noch schlimmer. Diese Verschmutzungen haben eine Verkürzung der Lebensdauer um etwa ein halbes Jahr zur Folge, bzw. verursachen etwa 3000-4000 Todesfälle pro Jahr (in der Schweiz, gemäss Angaben des Bundesamtes für Umweltschutz). Eine Radioaktivitäts-Dosis von etwa 1 Sv (!) hätte ähnliche Auswirkungen. In der Evakuationszone von Fukushima wird eine Dosis von 1 Sv nur an einigen

<sup>1</sup> In Russland sank die Lebenserwartung der Männer von etwa 69 auf unter 65, Millionen starben vorzeitig. Und in Griechenland sank sie um etwa ein halbes Jahr, entsprechend einer Bestrahlung des ganzen Volkes von 0.4 Sv (wie in der Kernzone von Fukushima).

<sup>2</sup> Dies ist doch sehr bemerkenswert. Der Grenzwert beim Feinstaub liegt ganz klar im Gebiet mit einwandfrei beobachteten Schäden (sowohl akute Schäden als auch Langzeitschäden). Bei den radioaktiven Strahlen ist er ein winziger Bruchteil davon.

<sup>3</sup> NZZ vom 18.10.2013

wenigen Hot-Spots erreicht. Der Mittelwert bei einem lebenslangen Aufenthalt in der Kernzone (no-entry zone) beträgt 300-400 mSv, evakuiert wurde ab etwa 50 mSv (umgerechnet auf die Lebensdosis). Die überraschende Schlussfolgerung:

**Die Luftbelastung in Europa und ganz besonders in den Städten ist ein grösseres Gesundheitsrisiko als die Strahlenbelastung in der Evakuationszone von Fukushima.**

Die noch brisantere Schlussfolgerung: Fliehen die Bewohner der Fukushima-Evakuationszone nach Tokyo, kommen sie vom Regen in die Traufe. Die Luftverschmutzung in solchen Grossstädten ist gesundheitsmässig wesentlich schlimmer als die Strahlung in der Evakuationszone von Fukushima<sup>1</sup>. Auf diesen frappierenden Umstand wurde schon 2007 in einer wissenschaftlichen Arbeit von einem der führenden Umweltwissenschaftler hingewiesen<sup>2</sup>.

Ich erwarte von einer Behörde, die sich für die Gesundheit oder die Sicherheit der Bevölkerung verantwortlich ist, eine sachliche Risikokommunikation, mit guten Vergleichen. Eine Kommunikation mit Grenzwerten ist nicht sinnvoll, sie führt nur zu einer Desorientierung der Gesellschaft.

---

<sup>1</sup> Ein ausgezeichneter wissenschaftlicher Artikel: Model calculated global, regional and megacity premature mortality due to air pollution. J. Lelieveld et al. <http://www.atmos-chem-phys.net/13/7023/2013/acp-13-7023-2013.pdf>. In Tokyo sterben jährlich über 13'000 Menschen als Folge der schlechten Luftqualität.

<sup>2</sup> <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/7/49>. Jim T Smith. Are passive smoking, air pollution and obesity a greater mortality risk than major radiation incidents? BMC Public Health 2007, 7:49, 3 April 2007. Diese Arbeit bezieht sich auf die Situation von Tschernoby.