

## Was ist eigentlich ein Becquerel ?

... und was ist ein Mikrosievert ?

### Radioaktivität und Becquerel

Radioaktivität ist ein Vorgang, bei dem ein Atomkern "zerfällt", z.B. indem er auseinanderbricht oder seine Bestandteile verändert, und dabei energiereiche Strahlung abgibt. Dies geschieht zufällig und "spontan", d.h. es geschieht ohne äußeren Anlass und ohne dass ein solcher Zerfall vermieden werden kann. Die Anzahl solcher spontanen radioaktiven Zerfälle, die pro Sekunde in einem beliebigen Stückchen Material stattfinden, wird mit der Einheit **Becquerel (Bq)** angegeben. Mit Becquerel wird also gekennzeichnet, wie "radioaktiv" ein Stoff ist, es ist ein Maß für seine **Aktivität**. Wenn beispielsweise für ein Lebensmittel 125 Bq/kg angegeben wird, dann heißt das, dass in einem Kilogramm dieses Lebensmittels in jeder Sekunde 125 radioaktive Zerfälle stattfinden (in 200g finden 25 Zerfälle pro Sekunde statt usw.). Mit der Angabe in Becquerel wird noch keine Aussage darüber gemacht, welches Element (bzw. welches Isotop) innerhalb des betrachteten Materials dabei zerfällt.

Die Aktivität eines Materials kann man messen. Das bekannteste Messgerät dafür ist der Geiger-Zähler, der häufig auch akustische Signale abgeben kann: Jedes "Klicken" eines Geiger-Zählers ist ein registriertes Zerfallsereignis.

Radioaktive Stoffe werden in Atomkraftwerken (physikalisch eigentlich besser: Kernkraftwerke) durch Kernumwandlungsprozesse künstlich erzeugt. Aber auch in der Natur kommen in vielfältiger Weise radioaktive Stoffe mit teilweise erheblichen Aktivitäten vor. Mehr noch: es gibt in der Natur praktisch keinen Stoff, kein Material, keine Atemluft, kein Lebensmittel, was frei von Radioaktivität wäre.

Einige Beispiele für typische (grobe) Aktivitätswerte aus unserer natürlichen Lebensumgebung sind :

- im menschlichen Körper : 10.000 Bq
- in Nahrungsmitteln : 100 Bq/kg
- in Wasser : 10 Bq/L
- in der Luft : 50 Bq/m<sup>3</sup>
- auf dem Boden : 1000 Bq/m<sup>2</sup>

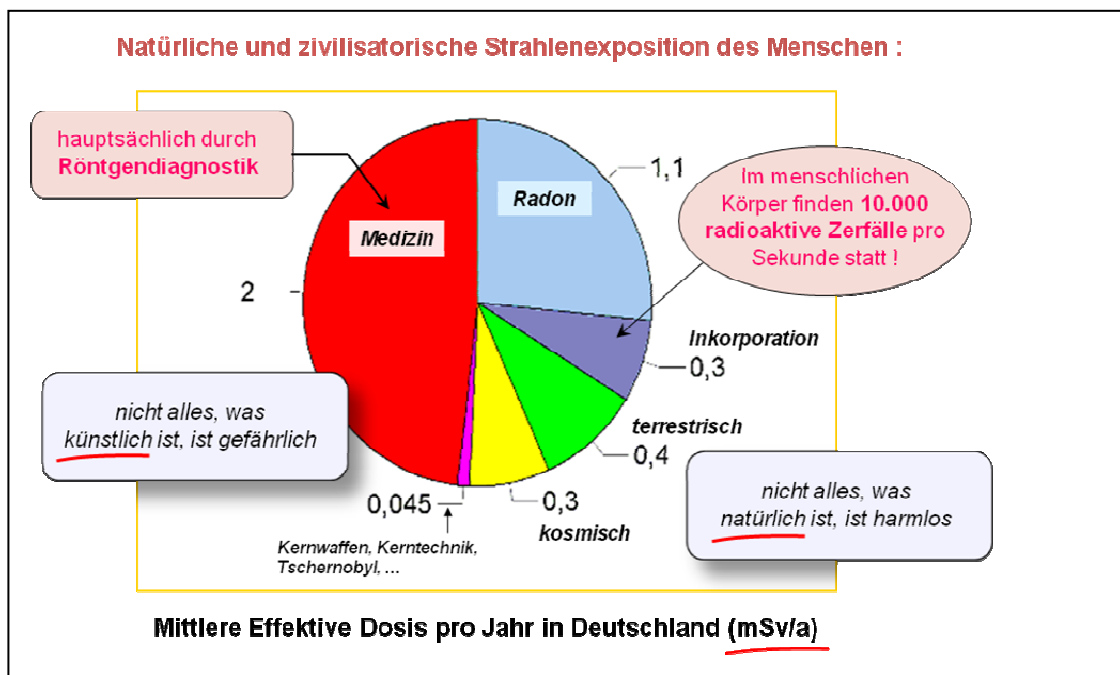
Oder ein Beispiel aus der Medizin : für ein diagnostisches Szintigramm (ein Bild z.B. der Schilddrüse oder des Skeletts) werden Aktivitäten in der Größenordnung 500 MBq (500 Millionen Becquerel) eingesetzt.

### Dosis und Sievert

Die Angabe der Radioaktivität in Bq gibt zunächst nur wenig Information über deren "Gefährlichkeit". Die biologisch-medizinische Wirkung ist vielmehr davon abhängig, um welche Art von radioaktiven Zerfall es sich handelt, welche Strahlung dabei ausgesendet wird, in welcher Form sie auf den Organismus einwirkt, ob sie beispielsweise mit der Atemluft eingeatmet wird oder mit Nahrungsmitteln aufgenommen wird, von außen einwirkt und vieles mehr. Um all dieses mit zu berücksichtigen, gibt es den Begriff der **Dosis**. Die hauptsächliche Wirkung von Strahlung, vor der wir uns schützen wollen, ist die Möglichkeit, dass durch Strahlenexposition eine Krebserkrankung ausgelöst werden kann. Im Strahlenschutz wird dieser Zusammenhang mit der so genannten "Effektiven Dosis" beschrieben (häufig auch einfach mit Dosis gleichgesetzt). Die Maßeinheit für die Dosis ist

das **Sievert (Sv)** und die entsprechenden Untereinheiten Millisievert (mSv), Mikrosievert ( $\mu\text{Sv}$ ) usw. Ein Sievert ist eine sehr große Dosis, so dass wir es im Strahlenschutz meistens mit mSv oder  $\mu\text{Sv}$  zu tun haben.

Durch die verschiedensten Strahlenquellen sind wir im Alltag stets und überall einer gewissen Dosis ausgesetzt. Für Deutschland kann man grob sagen, dass etwa die Hälfte der jährlichen Strahlenexposition aus natürlichen Prozessen stammt (etwa 2 mSv pro Jahr) und die andere Hälfte aus künstlichen Quellen, nämlich fast ausschließlich Röntgenstrahlung aus der medizinischen Diagnostik (siehe Bild 1).



In Deutschland werden jährlich etwa 150 Millionen Röntgenuntersuchungen durchgeführt (also im Durchschnitt etwa 2 Untersuchungen pro Jahr pro Person). Eine konventionelle Röntgenuntersuchung ist mit einer Dosis von etwa 0,1 bis 1 mSv verbunden. Eine CT-Untersuchung (CT ist auch Röntgenstrahlung) erzeugt eine Dosis von etwa 10 mSv (also grob etwa 50-mal mehr als eine konventionelle Röntgenuntersuchung). Insgesamt bedeutet dies eine durchschnittliche jährliche Dosis von etwa 2 mSv pro Person aus der medizinischen Diagnostik (Bild 1).

Den größten Teil der natürlichen Dosis (etwa 1,1 mSv pro Jahr) erhalten wir aus Zerfallsprozessen des Radons, eines radioaktiven Elements, das sich überall natürlicherweise in der Atemluft befindet (in Wohnungen etwa 50 Bq pro Kubikmeter Atemluft). Etwa 0,3 mSv pro Jahr stammt aus Zerfallsprozessen in unserem eigenen Körper (mit ca. 10.000 Bq). Jeweils etwa ebenso viel sind äußere Expositionen durch Strahlung aus dem Weltraum und aus dem Erdinneren. Übrigens stammt etwa 50% der Erdwärme aus radioaktiven Zerfällen in der Erdkruste (Geothermie ist also zum großen Teil "Atomkraft").

### Hintergrundstrahlung und $\mu\text{Sv/h}$

Benutzt man ein **Dosimeter** (Achtung: Ein Geiger-Zähler zählt nur die Zerfälle, ist also kein Dosimeter), so misst man in der Regel die Strahlung, die von außen auf das Dosimeter einwirkt. Die hauptsächlichsten Komponenten hiervon sind die terrestrische und die kosmische Strahlung (siehe

Bild 1) mit insgesamt etwa 0,7 mSv pro Jahr. Diese Komponenten variieren stark mit der geographischen Lage (terrestrisch) und mit der Höhe (kosmisch), so dass auch 100% Abweichung hiervon und sogar noch mehr als durchaus normal gelten. Hohe Werte findet man beispielsweise im Schwarzwald, im Bayrischen Wald oder in den Alpen.

Die Ablesezeit "ein Jahr" ist für ein Dosimeter aber oftmals zu lang, so dass die Dosis oft in Einheiten pro Stunde (z.B.  $\mu\text{Sv/h}$ ) angezeigt wird. Rechnet man 0,7 mSv/a um, so erhält man 0,08  $\mu\text{Sv/h}$ , also etwa 0,1  $\mu\text{Sv}$  pro Stunde als so genannte "natürliche Hintergrundstrahlung". Ist ein Bewohner des Schwarzwalds einer natürlichen Hintergrundstrahlung von beispielsweise 0,2  $\mu\text{Sv/h}$  (also dem 2,5-fachen) ausgesetzt, so führt dies zu einer jährlichen Dosis von etwa 2 mSv aus äußerer Strahlenexposition und zu einer gesamten Dosis (also plus Medizin, Radon, Inkorporation) von etwa 5,5 mSv pro Jahr. Damit ist seine jährliche Strahlenexposition um etwa 20% höher als der deutsche Mittelwert.

Ein anderes Beispiel ist eine erhöhte Hintergrundstrahlung im Flugzeug aufgrund der Flughöhe. Dies spielt im Strahlenschutz für das fliegende Personal eine große Rolle, das daher auch zu den "beruflich strahlenexponierten" Personengruppen gerechnet wird. Im Flugzeug kann durchaus eine Dosis von 5  $\mu\text{Sv}$  pro Stunde erreicht werden. Ein 10-stündiger Flug eines Passagiers führt demnach zu einer zusätzlichen Dosis von 50  $\mu\text{Sv}$ , eine 600-stündige Jahresflugzeit für das Personal ergibt eine Dosis von immerhin 3 mSv pro Jahr.

Der Strahlenschutz hat ein waches Auge auf alles, was zu einer Erhöhung der Strahlenexposition führt – aus welchen Quellen auch immer. Eine vermeidbare Erhöhung ohne zusätzlichen Nutzen (z.B. bei medizinischen Anwendungen) wird er nicht akzeptieren. Dennoch muss festgehalten werden, dass sich selbst Verdopplungen (oder sogar noch mehr) der Hintergrundstrahlung immer noch im Rahmen dessen bewegen, was auch natürlicherweise vorkommt.

### Strahlung und Strahlenrisiko

Ziel der Strahlenforschung in den letzten Jahrzehnten war es und ist es noch, den Zusammenhang aufzuklären, zwischen der Dosis und der Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken oder daran zu sterben. Somit ist die Strahlenwirkung also das "Krebsrisiko" und der Zusammenhang ist das **Strahlenrisiko**. Inzwischen ist ein solcher Umrechnungsfaktor zwischen Dosis und Risiko (Fachbegriff: Risikoeffizient) ermittelt worden, der international anerkannt ist und weitgehend einhellig von den Strahlenforschern verwendet wird. Dieser Umrechnungsfaktor lautet : 5% pro Sv. Um jedoch ganz sicher zu gehen und um vielleicht noch bestehende Unsicherheiten mit einzuschließen, wird im Folgenden mit einem Umrechnungsfaktor von 10% pro Sv operiert.

Was bedeutet dieser "Umrechnungsfaktor" ?

Krebs ist eine weit verbreitete Erkrankungsform und eine häufige Todesursache. Im Mittel hat jeder Europäer (gleiches gilt auch für andere Industrienationen) ein Krebs-Erkrankungsrisiko von etwa 40% und ein Krebs-Todesrisiko von etwa 25%. D.h. mehr als jeder 3. von uns erkrankt im Laufe seines Lebens an Krebs und jeder 4. stirbt daran. Dies nennt man manchmal auch das "Hintergrundrisiko". Ist eine Person nun zusätzlich einem Krebs-Risikofaktor ausgesetzt, wie z.B. Rauchen oder Strahlung, so erhöht sich ihr Krebsrisiko um einen bestimmten Prozentanteil. Für einen durchschnittlichen Raucher steigt beispielsweise die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu sterben, von 25% auf über 30%.

In Bezug auf Strahlung ist die Risikoerhöhung von der Dosis abhängig. Genau diese wird durch den Umrechnungsfaktor angegeben. 10% pro Sv bedeutet also eine Krebs-Risikoerhöhung von 25% auf 35%, wenn eine Person eine (extrem hohe) Dosis von 1 Sv erhalten hat. Für 100 mSv steigt das Krebsrisiko um 1% von 25% auf 26%, für 10 mSv (z.B. ein CT) von 25% auf 25,1% usw.

Diese Umrechnungen sind die eigentliche Grundlage für die Bewertung von Strahlenrisiken bei gegebenen, erwarteten oder vermuteten Dosiswerten. Ebenso erfolgt auf dieser Grundlage die allgemeine Festlegung von Grenzwerten sowie spezielle Strahlenschutzmaßnahmen. Es muss betont werden, dass diese Werte und diese Verfahren unumstritten sind und dass Strahlenforscher und Strahlenschützer international erstaunlich einheitlich zu den gleichen Schlussfolgerungen und Bewertungen kommen, auch wenn diese in den Medien in dieser Form nicht immer ihren Niederschlag finden.

### Aktivität, Dosis und Risiko

In der Praxis liegt häufig die Situation vor, dass ein bestimmtes radioaktives Isotop betrachtet wird, seine Aktivität bestimmt werden muss und die Dosis und das Strahlenrisiko für die betroffenen Menschen abgeschätzt werden müssen. Ist beispielsweise radioaktives Cäsium (z.B.  $^{137}\text{Cs}$ ) in die Umwelt gelangt, so sind solche Bestimmungen absolut unerlässlich. Die Aktivitäten sind in der Regel gut zu bestimmen (z.B. mit Geiger-Zählern). Es ergeben sich je nach Situation Angaben in Bq pro Kubikmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) Luft, Bq pro Kubikmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) Erde, Bq pro Quadratmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) Erdoberfläche, Bq pro Kilogramm ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) Lebensmittel usw. Je nachdem welcher Einwirkungspfad betrachtet wird (Einatmen, Aufnahme mit Lebensmitteln, äußere Exposition usw.), kann daraus die resultierende Dosis ausgerechnet werden. Solche Rechnungen liegen für eine Vielzahl von radioaktiven Stoffen und Einwirkungspfaden in dicken Tabellenwerken vor.

Ein Beispiel hieraus ist : In der aktuellen Diskussion spielen so genannte Hotspots eine Rolle. Dies sind lokal eng begrenzte kleine Flächen (wenige  $\text{cm}^2$ ) mit z.T. extrem hohen Aktivitäten. Sei beispielsweise ein solcher Hotspot mit einer Cs-Aktivität von 100.000 Bq gefunden worden, so kann umgerechnet werden, dass dies in einem Abstand (in einer Höhe) von 5 cm zu einer Dosis von 4  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  führt (bei Dosis pro Zeit spricht man auch von einer "Dosisleistung"). In einem Abstand (in einer Höhe) von 1 m führt jedoch die gleiche Aktivität nur noch zu einer Dosisleistung von 0,01  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , also zu einem zehntel der Hintergrundstrahlung !

Oder ein anderes Beispiel : Sei ein Lebensmittel (z.B. Fleisch) mit einer Cäsium-Aktivität belastet, die gerade dem Grenzwert entspricht, nämlich 500  $\text{Bq}/\text{kg}$ , wie groß ist das damit verbundene Krebsrisiko für eine durchschnittliche Person, die eine Mahlzeit (oder eine beliebige andere Menge) davon verzehrt ?

Für Cäsium gilt für diesen Fall eine Umrechnung von einer Aktivität zu einer Dosis von 0,02  $\mu\text{Sv}$  pro Bq. Der Verzehr von einer Mahlzeit mit 200 g Fleisch, also 100 Bq, führt also zu einer Dosis von 2  $\mu\text{Sv}$ . Auf einen ähnlichen Wert kommt man beispielsweise auch, wenn man die zusätzliche Dosis ausrechnet, die eine Person erhält, wenn sie 20 Stunden lang in Freiburg lebt statt in Hamburg. Würde eine Person ein ganzes Jahr lang nur Fleisch mit dieser Aktivitäts-Obergrenze verzehren (etwa 30kg/a), so würde sich daraus eine Dosis von 0,3 mSv ergeben (im Vergleich zu 4 mSv durchschnittliche Gesamt-Exposition für Deutschland, siehe Bild 1).

Das mit 2  $\mu\text{Sv}$  verbundene Risiko ermittelt man mit Hilfe des oben bereits erläuterten Umrechnungsfaktors 10% pro Sv: Für eine Person, die einer zusätzlichen Dosis von 2  $\mu\text{Sv}$  ausgesetzt ist, steigt deren Krebsrisiko von 25% auf 25,00002%. Man kann leicht einsehen, dass es sich hierbei lediglich um illustrierende Rechnungen handelt; in der Realität sind Dosiswerte in dieser Größenordnung absolut zu vernachlässigen.

Im Zusammenhang mit der Berichterstattung über die Fukushima-Katastrophe geraten solche Überlegungen leicht in den Hintergrund. Zahlreiche Beispiele von Berichten zeigen auf, wie suggestiv selbst seriöse Medien und Agenturen mit dem Thema "Strahlung" umgehen. Strahlenforscher sehen diese Entwicklung mit großer Sorge. Strahlung und Strahlenfolgen, vor allem das durch Strahlung erhöhte Risiko für Krebserkrankungen, werden von den meisten Menschen vor allem mit der Kernenergie (Atomkraftwerke) in Verbindung gebracht. Doch deren Anteil an der

Strahlung, die auf uns insgesamt einwirkt, beträgt weniger als ein halbes Promille (einschließlich aller Reaktorunfälle). Stattdessen kommt etwa die Hälfte aus der Medizin und die andere Hälfte ist natürlichen Ursprungs (Bild 1). Fehleinschätzungen bezüglich der Strahlenrisiken und falsche oder fehlende Vergleiche wirken sich also auch und vor allem auf die medizinischen Anwendungen (vor allem Röntgenuntersuchungen) und auf unsere natürliche Umgebung einschließlich unseres eigenen Körpers aus.

Radioaktivität und Strahlung sind ein Bestandteil unserer natürlichen und zivilisatorischen Umgebung, dem wir nicht ausweichen können. Wenn wir uns vor der schädlicher Wirkung schützen wollen, müssen wir anerkennen, dass nicht jede künstliche Strahlung von vornherein gefährlich und nicht jede natürliche Strahlung von vornherein harmlos ist. Der Strahlenschutz muss sich darum kümmern, dass –bei künstlicher Strahlung– der Nutzen einer Anwendung stets größer ist als das damit verbundene Risiko, und dass –bei natürlicher Strahlung– die Kosten einer Reduzierung ökonomisch und sozial vertretbar bleiben.

In der Phase unmittelbar nach den Katastrophenereignissen in Japan war eine ausgewogene, unverzerrte Darstellung in der medialen Umwelt realistisch wohl kaum zu erwarten. Differenzierte Fachbeiträge waren in dieser Phase in den Medien wenig gefragt. Die Folge hiervon ist aber, dass in der allgemeinen Bevölkerung eine erhebliche Fehleinschätzung besteht, was und wie hoch Strahlenwirkungen eigentlich tatsächlich sind. Es wird in der Zukunft die Aufgabe der Strahlenforscher sein, diese aus der Balance geratene Beurteilung wieder zurechtzurücken – unabhängig vom Pro und Contra der Atomenergienutzung.