

Becquerel - der Betrug mit Zahlen

„Strahlungswerte auf den Normalpegel zurückgegangen“, so hieß es bereits sechs Wochen nach der Katastrophe von Tschernobyl. Entwarnung also?

Allzu leicht sind wir – trotz erwachtem Misstrauen – bereit, uns von Zahlen einwickeln zu lassen. Etwa nach der Devise: 100 Becquerel sind gewiss weniger bedrohlich als 5000. Aber was z. B. für Schulen – in Mark ausgedrückt – stimmt, gilt für Radioaktivität noch lange nicht.

Zu der Verführung durch die bloßen Zahlenvergleiche kommt eine andere hinzu: Genaue Angaben erwecken immer noch den Anschein der Objektivität, sowohl hinsichtlich der Messung wie auch bzgl. der Aussage. Auch hier trügt der Schein, besonders dann, wenn die Medien oder Politiker nur den passenden Teil der Informationen an die Öffentlichkeit geben.

Becquerel und andere Maßeinheiten. Sich im radioaktiven Maßeinheiten-Dschungel zurechtzufinden, ist nicht nur für den Laien schwierig. Das hängt damit zusammen, dass sich die Maßeinheiten auf ganz unterschiedliche Größen beziehen – z.B. auf Strahlungsintensität, aufgenommene Dosis, wirksame Dosis usw. Sie können nicht durch einfache Verfahren ineinander umgerechnet werden. Der Zusammenhang zwischen Strahlungsintensität und wirksamer Dosis ist ebenso schwierig, wie der zwischen dem Betrag, den man in einer Kneipe ausgibt, und dem resultierenden Alkoholgehalt im Blut.

Die naheliegendste Frage ist die nach der Menge der ausgesandten Strahlung, genauer nach der Anzahl der radioaktiven Zerfälle in der Sekunde, also nach der Aktivität.

Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) gemessen.

1 Bq bedeutet, dass in jeder Sekunde ein Zerfall stattfindet.

Sinnvolle Angaben sind z.B.:

- Anzahl der Zerfälle pro 1 m³ (Bq/ m³)
- Anzahl der Zerfälle pro 1 kg Nahrung (Bq/ kg)
- Anzahl der Zerfälle pro 1 m Boden (Bq/ m²)

Die Angaben der Aktivität alleine liefert allerdings keine Information über die Art der Strahlung oder über die Menge der freigesetzten Energie - und ebenso wenig über die mögliche Gefährdung.

Das Wichtigste aber ist: Die Angabe der Aktivität alleine stellt noch nicht einmal ein Maß für die Menge des vorhandenen radioaktiven Materials dar!

1000 Bq bedeutet, dass pro Sekunde 1000 Atome einen Schritt in der radioaktiven Zerfallsreihe gegangen sind und dass dabei irgendwelche Strahlung (!) emittiert worden ist. Von welcher „Qualität“ die ausgesandte Strahlung ist und wie lange sie andauern wird, darüber sagt diese Angabe nichts!

Wieder ein Vergleich: Wir stehen vor einem Wasserbehälter mit einem Leck am unteren Ende. Wir sehen zwar, dass ein dünner Wasserstrahl herauskommt, aber woraus können wir schließen, wie lange das Wasser fließen wird, wenn es keinen Füllstandsanzeiger gibt?

Nämlich ist es bei der Aktivität: Wie lange eine Probe strahlt, hängt davon ab, um welchen radioaktiven Stoff es sich handelt. Denn jedes Radionuklid besitzt eine charakteristische Halbwertszeit, und die kann von Element zu Element sehr unterschiedlich sein.

Element	Symbol	Halbwertszeit
Jod-131	^{131}J	8,04 Tage
Strontium-90	^{90}Sr	28,5 Jahre
Cäsium-137	^{137}Cs	30,1 Jahre
Plutonium	^{239}Pu	24 390 Jahre

Die Halbwertszeit ist die Zeit, nach der die Hälfte einer vorhandenen Masse eines radioaktiven Elementes zerfallen ist.

Mit anderen Worten: Nach einer Halbwertszeit ist die Hälfte, nach zwei Halbwertszeiten ein Viertel, nach drei Halbwertszeiten ein Achtel usw. der ursprünglichen Masse eines radioaktiven Elementes noch vorhanden. In dem Maße, wie sich die Masse des vorhandenen radioaktiven Elementes verringert, verringert sich auch die ausgesandte Strahlung.

1000 Bq - verursacht durch ^{131}J mit einer Halbwertszeit von 8 Tagen bedeutet: Nach 8 Tagen ist nur noch die Hälfte des radioaktiven ^{131}J vorhanden, die Aktivität ist auf einen Wert von 500 Bq zurückgegangen.

- Während dieser 8 Tage fanden in jeder Sekunde im Mittel ca. 700 Zerfälle statt.

- Daraus lässt sich auf die Ausgangsmenge des ^{131}J schließen:

8 Tage = $8 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ Sekunden = 691.200 Sekunden. Bei im Mittel 700 Zerfällen pro Sekunde ergibt dies $\cong 484$ Mio. Zerfälle.

- Da dies der Hälfte der vorhandenen radioaktiven Atome entspricht, waren zu Beginn $2 \cdot 484 \cdot 10^6 \cong 10^9$ Atome ^{131}J vorhanden.

1000 Bq - verursacht durch ^{137}Cs mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren bedeutet hingegen:

- im Mittel ebenfalls 700 Bq - aber über die ersten 30 Jahre,

- insgesamt also $(30 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 700$ Zerfälle $\cong 6,6 \cdot 10^{11}$ - oder, multipliziert mit 2, für den Zerfallsbeginn $1,3 \times 10^{12}$ Atome ^{137}Cs .

Entsprechendes gilt für ^{90}Sr .

Mit anderen Worten: Rührt eine gemessene Aktivität von Cs 137 her, so handelt es sich um 1000 mal mehr radioaktive Atome, als wenn die gleiche Aktivität auf Jod 131 zurückzuführen wäre. Was dieser Unterschied bedeutet, wird sichtbar, wenn man beide Proben nach einem Jahr betrachtet: Das Jod 131 ist vollständig verschwunden und strahlt nicht mehr, die Aktivität (und Menge) des Cs 137 ist praktisch gleichgeblieben.

Σ Bq	für ^{131}J	für ^{137}Cs
In der ersten Woche	ca. $5 \cdot 10^8$	ca. $6 \cdot 10^8$
in der ersten Woche des folgenden Jahres	$\cong 0$	ca. $6 \cdot 10^8$

In unserem Wasser-Behälter-Modell entspricht demnach das Cs 137 mit einer großen Halbwertszeit einem hohen Füllstand, das Jod-131 einem niedrigen Wasserpegel. Im ersten Fall fließt der Wasserstrahl lange Zeit mit gleicher Intensität, im zweiten wird er bald dünner und versiegt recht schnell.

Noch krasser sind die Verhältnisse beim langlebigen ^{239}Pu . Wegen dessen Halbwertszeit von 24 400 Jahren entspricht 1 Bq - verursacht durch Plutonium - $(24\,400 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 0,7 \times 2 \cong 10^{12}$ Atomen ^{239}Pu .

D.h. erst die 10^6 fache Anzahl ^{239}Pu -Atome bewirkt die gleiche Anfangsstrahlung, wie eine bestimmte Anzahl ^{131}J -Atome!

Dafür hält die Plutonium-Strahlung für jeden von Menschen vorstellbaren Zeitraum an, und Plutonium ist zudem das stärkste bekannte Zellgift, aggressiver als jedes bekannte Schwermetall, besonders, wenn es aus Aerosolen mit der Atmung aufgenommen wird.

Becquerel - ohne Angabe des radioaktiven Stoffes, der die Strahlung verursacht - ist demnach kein nützliches Maß.

Zwei Beispiele

Zum Schluss noch ein kleiner Abstecher in unsere Wirklichkeit nach Tschernobyl. So dramatisch die ersten Nachrichten über Untersuchungen von Luft, Boden, Milch und Gemüse klangen, so wenig gibt es jetzt Grund zur Beruhigung. Zwei Beispiele:

Der Salat in Nordhessen wies Anfang Mai 86 eine radioaktive Belastung bis zu 5000 Bq pro kg (verursacht durch Jod 131) auf. Vorn langlebigen Strontium kam „nur“ hundertmal weniger als vorn Cs 137 aus Tschernobyl zu uns, entsprechend „niedrig“ sind die Belastungswerte: Im Juni 86 wurden z.B. bestimmte Gemüsesorten mit etwa 1 Bq (verursacht durch Sr 90) festgestellt. Also doch Entwarnung? Mitnichten:

Unterstellt, jemand hätte im Mai 1 kg (!) des Jod-verseuchten Salats gegessen, und weiter unterstellt, 75% des radioaktiven Materials wären in den Körper aufgenommen (3750 Bq) und wieder um zu 90% (ca.3400 Bq) in der Schilddrüse angereichert worden, so ergibt sich folgendes Bild:

Da einmal aufgenommenes Jod bereits nach 4 Tagen zur Hälfte wieder ausgeschieden wird (biologische Halbwertszeit) ergibt sich eine effektive Halbwertszeit von knapp 3 Tagen (nach: Produkt aus biologischer und physikalischer HWZ dividiert durch die Summe der Halbwertszeiten = effektive Halbwertszeit).

Seine Schilddrüse wäre bis zur endgültigen Ausscheidung etwa 1,2 Milliarden radioaktiven Zerfällen ausgesetzt gewesen ($3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2400 \cdot 2$). Zudem hätte er einem solchen Risiko – falls eine rechtzeitige Warnung durch die zuständigen Behörden stattgefunden hätte – weitgehend ausweichen können.

Nicht ausweichen kann man aber der Nahrungsmittelaufnahme überhaupt. Und: die Belastung durch die langlebigen Radionuklide wird uns zeitlebens begleiten. Strontium etwa bleibt vorzugsweise in den oberen Bodenschichten und wird an Stelle von Calcium in alle Pflanzen und in der Folge ins Fleisch der Tiere eingebaut (und zwar 10 mal mehr, als Cäsium). Auch im menschlichen Körper ersetzt das Strontium das Calcium, es setzt sich in den Knochen fest, ebenso in den Zähnen, und wird praktisch nie wieder ausgeschieden.

Isst unser Jemand nun jede Woche ein Kilo Gemüse, das mit 1 Bq/kg durch Strontium 90 belastet ist, und, wiederum unterstellt, alles Strontium würde vom Körper aufgenommen, er hätte bereits nach einer Woche

$(7 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,7 \cdot 2) = \text{ca. } 900.000$ radioaktive Zerfälle im Körper erlebt, nach der zweiten Woche 2,7 Millionen, nach einem Jahr ca. 1,1 Milliarden usw.

Diese Rechnereien bedürfen jedoch einiger Korrekturen.

Über die tatsächliche Belastung durch Strontium 90 liegen derzeit kaum Ergebnisse vor (was hauptsächlich damit zusammenhängt, dass die Bestimmung der Strontium-90-Menge außerordentlich schwierig und aufwendig ist). Dann ist natürlich nicht nur im Gemüse mit Strontium zu rechnen, sondern auch in allen anderen Nahrungsmitteln, jedoch – je nach Calcium-Gehalt – in unterschiedlichen Mengen.

Auf der anderen Seite ist die Annahme falsch, dass alles Strontium aus der Nahrung in den Körper aufgenommen wird. (Die Angaben schwanken zwischen 6 Promille (!) und wesentlich höheren. Bei Fischen wurde inzwischen eine Anreicherung gegenüber dem Strontium-Gehalt in ihrer Nahrung bis zum 20.000-fachen gefunden). Die bevorzugte Anreicherung in den Knochen steigert aber die Gefährdung erheblich: Neben einfachen Störungen der Blutbildung im Knochenmark gilt es als sicher, dass Strontium 90 Leukämie auslösen kann.

Bei aller Rechnerei darf man eines nicht vergessen: Weder das Messen noch die (notwendige) Bewertung der Ergebnisse macht die radioaktive Belastung geringer. Um beim Bild mit dem Wasserbehälter zu bleiben: Das ausgeflossene Wasser kann man nicht zurückpumpen – es hat sich längst im Boden und in der Umwelt verteilt. Löcher im Tank aber kann man stopfen – und Kernkraftwerke abschalten, und sofort bitte!

Zum Weiterrechnen:

1. Wie groß ist die Menge Plutonium 239 in Gramm, die eine zahlenmäßig gleiche Aktivität entwickelt wie 1 Gramm Jod 131?

(239 g Pu oder 131 g J bestehen aus jeweils 6×10^{23} Atomen) Welches der beiden Radionuklide lässt sich demnach leichter nachweisen?

2. Wie hoch wäre der Kegel eines Berges mit 45° Böschungswinkel, der bei der Zwischenlagerung der radioaktiv verseuchten oberen 5 cm des Bodens der Bundesrepublik entstehen würde? (Fläche der BRD: ca. 250.000 km²), Korrigiere die Höhe des Berges für den Fall, dass nur die landwirtschaftlich genutzte Fläche „entsorgt“ würde! (Anteil der Nutzungsfläche ca. 50 %)

3. Der Anteil des Atomstroms beträgt ca.40% vor zehn Jahren erst 5%. Um wieviel müsste die Kilowattstunde teurer sein, wenn die staatlich finanzierten Forschungsaufwendungen für die Kerntechnologie auf diesen Zeitraum umgelegt würden. Erkundige Dich nach Gesamtenergie-Verbrauch und den staatlichen Forschungsaufwendungen.

Hinweis

Eine ausführliche Darstellung zum Risiko Kernkraft findet sich:

- A. Kremer, L. Stäudel: Risiko Kernkraft. Sozmat-Materialien für den Unterricht Band 22, Marburg 1986 (72 Seiten, 12,50 DM)

Weitere für den Unterricht verwertbare Literatur:

- Fraktion Gesundheit (Hrsg.): Tschernobyl - eine vorläufige Einschätzung der gesundheitlichen Schäden, Berlin 1986 (64 S., Bezug: 1000 Berlin 15, Knesebeckstraße 55)
- IFEU-Bericht Nr. 43: Die Folge von Tschernobyl, Heidelberg 1986, (61 S., erhältlich gegen Einsendung eines frankierten B5-Umschlags und 5 DM in Briefmarken. Im Sand 5, 6900 Heidelberg)
- Deutsches Institut für Fernstudien Tübingen (Hrsg.): Atom- und Kernphysik -Band 4: Kernenergie Tübingen 1986 (193 S, ca. 5 DM)