

Natürliche und künstliche Radioaktivität

Bernd Laquai

5.8.2014, Update 17.2.2017

Wenn man die Halbwertszeiten der natürlichen Radionuklide und die von technisch erzeugten näher betrachtet, wird schnell offensichtlich, dass ein Unterschied von vielen Größenordnungen zwischen der natürlichen Radioaktivität und der technisch erzeugten Radioaktivität besteht. Die Radioaktivität in der Natur stammt zum größten Teil von Radionukliden aus der Entstehungszeit der Erde vor vielen Milliarden Jahren und nur zu einem sehr kleinen Teil aus den laufend erzeugten Folgeprodukten der kosmischen Höhenstrahlung in der Atmosphäre (z.B. dem Kohlenstoff C-14).

Das Kalium-40 ist eines der wenigen Radionuklide, das die erdgeschichtliche Entstehung bisher überlebt hat, weil es eine Halbwertszeit von $1.277 \cdot 10^9$ Jahren hat. Es ist zu 0.0117% im natürlichen Kalium enthalten, so dass 1g natürliches Kalium eine Radioaktivität von 30 Bq aufweist. Man kann diese Aktivität in Lebensmitteln und im menschlichen Körper (ca. 100 Bq/kg) leicht nachweisen. Mit Hilfe von Dosiskoeffizienten (bzw. Dosiskonversionsfaktoren) kann man aus der Aktivität bzw. der Zerfallsrate in der Einheit Becquerel die vergleichbare biologische Wirkung einer ionisierenden Strahlung eines Radionuklids in der Einheit Sievert (Sv) berechnen. Der Dosisleistungskoeffizient für die effektive Körperdosis bei Verschlucken von K-40 beträgt $6.2 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq für einen Erwachsenen > 17 Jahre, so dass 1g natürliches Kalium in der Nahrung bei der Aufnahme über die Verdauung (Ingestion) zu einer effektiven Körperdosis von etwa $0.2 \mu\text{Sv}$ führt. Dabei ist die biologische Halbwertszeit (Kalium wird z.B. vom menschlichen Stoffwechsel reguliert) und die Empfindlichkeit der unterschiedlichen Körpergewebe und Organe berücksichtigt. Das Kalium in geringen Mengen (mg) ist lebensnotwendig für Menschen und für Tiere, da es an der Reizleitung der Nerven beteiligt ist. Daher hat sich auch die Natur bei den Organismen mit dem Immunsystemen auf die schwache Radioaktivität entsprechend eingestellt.

Auch das Uran-238 hat die Entstehungszeit der Erde „überlebt“. Es hat eine Halbwertszeit von $4.468 \cdot 10^9$ Jahren. Wenn ein Uranerz beispielsweise 1% des U-238 Isotops enthält, dann entspricht dem eine Aktivität von 12477 Bq/g dieses Isotops. Der Dosisleistungskoeffizient für U-238 wird mit $4.5 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq angegeben, so dass das Verschlucken eines Gramms diesen Uranerzes zu einer Körperdosis von $560 \mu\text{Sv}$ führt, also Etliches mehr als beim Kalium. Dies liegt unter anderem daran, dass das Uran viel länger im Körper verbleibt und auch kein Stoffwechsel-Mechanismus dafür existiert. Die Strahlungsdosis von $560 \mu\text{Sv}$ ist dabei noch nicht direkt lebensbedrohlich, das ist bei dieser Menge eher die chemische Giftigkeit des Urans, das ähnlich wie Quecksilber ein sehr giftiges Schwermetall ist. Die chemische Toxizität (letale Dosis LD50) von gelöstem Uran liegt für Laborratten bei ca. 100-200mg/kg Körpergewicht.

Für kerntechnische Zwecke wird das natürliche Uran aus dem Erz herausgelöst und das Uran Isotop U-235 welches nur mit 0.7% im natürlichen Uran enthalten ist, dafür aber spaltbar ist, gegenüber dem natürlichen Isotopenverhältnis auf 3-5% angereichert. Aber selbst das Uran-235 hat, da es noch natürlich vorkommt, eine Halbwertszeit von immerhin rund 700 Millionen Jahren. Die beim Zerfall des natürlichen Uran freigesetzte Strahlungsenergie ist also ebenfalls über einen gewaltigen Zeitraum verteilt.

Plutonium-239 entsteht dagegen nur auf künstliche Weise bei Kernreaktionen. Es hat ganz im Gegensatz zu den natürlichen Radionukliden eine Halbwertszeit von lediglich 24110 Jahren. Auch wenn diese Zahl im Vergleich zu unserer Zeitrechnung immer noch groß klingt, ist das um ein Vielfaches kürzer als beim Kalium oder Uran. Daher weist ein 1g Plutonium auch eine gewaltig höhere Aktivität von $2.297 \cdot 10^9$ Bq/g oder kurz 2.3 Giga-Bq auf. Der Dosisleistungskoeffizient liegt bei $2.5 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq. Damit ergibt sich für 1g Plutonium bei Verschlucken die ziemlich theoretische Zahl von 574Sv . Theoretisch deswegen, weil für den Menschen eine Dosis von 5 Sv bereits in 50% der Fälle tödlich ist. Für das Einatmen eines Plutonium-Aerosols gilt sogar ein Dosisleistungskoeffizient von $1.6 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq, so dass sich theoretisch 36753 Sv als Körperdosisleistung ergeben würden. Damit wäre die letale Dosis schon bei etwa 136µg Pu-239 erreicht.

Das Cäsium 137, welches es bei der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl zur allgemeinen Bekanntheit gebracht hat, hat eine noch viel kürzere Halbwertszeit von 30 Jahren und bringt es daher auf „stolze“ $3.22 \cdot 10^{12}$ Bq/g. Eine so hohe Radioaktivität, wie sie kaum vorstellbar ist. Der Dosisleistungskoeffizient ist allerdings etwas geringer als der des Plutonium und liegt bei $1.3 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq. Damit könnte man nun einem Gramm Cs-137 die theoretische Körperdosis von 41867Sv für das Verschlucken zuordnen, was einer letalen Dosis von 119µg entspricht. In der Sperrzone um das havarierte Kraftwerk von Tschernobyl finden sich auch heute immer noch sogenannte „Hot Spots“, die von kleinsten Krümeln von Cs-137 mit extrem hoher Aktivität herrühren, die bei der Explosion weit verstreut wurden und auch 26 Jahre nach der Katastrophe noch nicht völlig zerfallen sind und daher sehr lokal eine ungewöhnlich hohe Strahlungsenergie freisetzen.

Man kann also ganz direkt und einfach an der Halbwertszeit erkennen, worin der gigantische Unterschied zwischen den „gesunden“ kaliumhaltigen Bananen aus der Natur und den hochgefährlichen kerntechnisch hergestellten Radionukliden liegt. Die Halbwertszeiten der natürlichen Radionuklide liegen im Bereich von Milliarden Jahren, während die Halbwertszeiten der kerntechnisch erzeugten Radionuklide bis herunter in den Sekundenbereich gehen. Dementsprechend höher (einige Milliarden mal höher) ist die Zerfallsaktivität und damit die freigesetzte ionisierende Strahlungsenergie. Diese hohe ionisierende Strahlungsenergie, welche in sehr kurzer Zeit freigesetzt wird, ist die Ursache für die unvorstellbar hohe Radio-Toxizität, die auch jede Art an chemischer Toxizität in den Schatten stellt. Deswegen erreicht man auch mit Kernstrahlung, meist aus künstlich hergestellten Cobalt-60 Quellen (Halbwertszeit 5 Jahre), eine wirklich absolute Desinfektion und Sterilisation von allen denkbaren

Keimen, sowie die vollständige Abtötung jeglicher Form des zellulären Lebens, was industriell durchaus genutzt wird. So werden zum Beispiel wertvolle Papierdokumente zur Desinfektion intensiv mit Beta- und Gammastrahlung bestrahlt, bevor sie für sehr lange Zeit ins Archiv gelegt werden, weil sie dort sonst eventuell verschimmeln würden.

Es gibt also auf der einen Seite kaum eine effizientere Methode Leben zu vernichten als mit kerntechnisch hergestellten Radionukliden kurzer Halbwertszeit. Auf der anderen Seite aber ist Leben gar nicht denkbar ohne die auf natürliche Weise radioaktiven Kalium-Mineralstoffen in der Nahrung.

Zur Berechnung der effektiven Körperdosis und für die entsprechenden Dosiskoeffizienten der entsprechenden Radionuklide, siehe www.bfs.de Suchbegriff „Dosiskoeffizienten“, bzw. direkt:

<http://www.bfs.de/de/bfs/recht/dosis.html>