Bestrahlung? Verstrahlung? Erhöhte Radioaktivität? Fakten zur Strahlung aus nuklearmedizinischer Sicht.

geschrieben von Dr.dr. Roland Rödel | 30. April 2011

Die medizinische Beurteilung des Strahlenrisikos

In den Meldungen über die havarierten Kernkraftwerke bei Fukushima werden gehäuft Begriffe wie **„verstrahlt“**, **„erhöhte Strahlung“** oder **„erhöhte Strahlenwerte“** genannt, wobei selten auf die strahlenbiologische Bedeutung dieser Meldungen hingewiesen wird. Bedingt durch fehlende Informationen kann die Bevölkerung ein gesundheitliches Risiko nicht abschätzen und es liegt nahe, dass aufgrund der Angst und der Unwissenheit vor radioaktiver Strahlung in einzelnen Bevölkerungsschichten die Verunsicherungen steigen.

Strahlung ist der Transport oder die Ausbreitung von Energie durch den Raum. Die radioaktive Strahlung entsteht beim Zerfall bestimmter Atomkerne (Radionuklide), wobei sie in Form von Teilchen (z. B. Alpha- oder Betastrahlung) oder elektromagnetische Wellen (Gammastrahlung) in die Umwelt gelangt. Die Reichweite der Teilchenstrahlung ist gering, für Alphastrahlung beträgt sie wenige Zentimeter in der Luft und liegt unter ein Zehntel Millimeter in Materie, für Betastrahlung beträgt sie einige Meter in der Luft und liegt unter einem Zentimeter in Materie. Die Reichweite der Gammastrahlung ist theoretisch unendlich. Die Intensität der Gamma-Strahlung nimmt jedoch nach dem Abstandsquadratgesetz ab (doppelter Abstand bedeutet ¼ der Intensität). Die abgestrahlte Energie und das Zerfallstempo der Radionuklide gehorchen nuklidspezifisch bestimmten physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die Einheit für den radioaktiven Zerfall ist Becquerel (Bq), 1 Bq entspricht einem radioaktiven Zerfall eines bestimmten Atomskerns pro Sekunde. In der deutschen Strahlenschutzverordnung wird durch die Freigrenzen für jedes Radionuklid penibel festgelegt, bis zu wie viel Bq pro Quadratzentimeter oder Bq pro Gramm die Abgabe der Radionuklide an die Umwelt unbedenklich ist (z. B. 5 Bq pro Liter für das radioaktive Iod-131 in Abwässer). Für Lebensmittel werden analog Grenzwerte in Bq pro Kilogramm definiert (z. B. 600 Bq Cs-137 pro Kilogramm für Wildfleisch), die als gesundheitlich unbedenklich angesehen werden. Wir Menschen selbst sind wandelnde Strahlenquellen, in jedem von uns finden durchschnittlich 9000 radioaktive Zerfälle pro Sekunde statt. Auch die Umwelt ist seit Milliarden von Jahren durch die Entstehungsgeschichte radioaktiv, bedingt durch Strahlung aus dem Weltall und der Erdoberfläche. Aus der alleinigen Angabe einer Zerfallshäufigkeit in Bq lässt sich nur bedingt ein strahlenbiologisches Ausmaß ermitteln.

Der Begriff **ionisierende Strahlung** beschreibt die Eigenschaft der Strahlung, dass der Energiegehalt der Strahlung ausreicht, um Atome ionisieren zu können, d. h. dass Elektronen aus der Atomhülle abgetrennt werden. Da Materie und alles Leben aus Atomen aufgebaut sind, die unter Mitwirkung der Hüllenelektronen komplexe Moleküle bilden, können durch die ionisierten Atome die Moleküle auseinanderbrechen mit fatalen Folgen für die biologischen und physiologischen Abläufe. Je nach Schäden, bedingt durch ionisierten Atome oder Moleküle, kann dies in den Zellen, Proteinen, Molekülen, Enzymen und der DNA zu Funktionsstörungen, Mutationen bis hin zum Tod des Individuums führen. Durch die Evolution haben sich in uns Menschen allerdings raffinierte Reparaturmechanismen von Strahlenschäden entwickelt, so dass zusammen mit bestehenden Erholungskapazitäten die Strahlenexposition der Umwelt uns nur in extrem geringem Umfang gesundheitliche Probleme bereitet. Es wird sogar diskutiert, ob eine geringe Strahlenexposition bei den beruflich strahlenexponierten Personen zu einer Stimulation des Immunsystem führt, die eine gering erhöhte Lebenserwartung der beruflich strahlenexponierten Personen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung bedingt.

Um die Wirkung der ionisierenden Strahlung auf die Umwelt abschätzen zu können, wurden Dosisbegriffe eingeführt, indem die Abgabe der Strahlungsenergie an die Materie erfasst wird. Neben der alleinigen Bewertung der Energieabgabe (Einheit Gray, Gy) wurde für strahlenbiologische Auswirkungen die Äquivalentdosis (Einheit Sievert, Sv) eingeführt, indem die Strahlenart (Alpha, Beta- oder Gammastrahlung) hinsichtlich ihrer biologischer Wirksamkeit berücksichtigt wird. Für die strahlenbiologischen Auswirkungen am Menschen wird speziell die sog. effektive Dosis (Einheit ebenfalls Sievert, Sv) herangezogen, in dem die Energieabgabe in Abhängigkeit der Strahlenart und des strahlenexponierten Körpergewebes in komplexen Rechenverfahren ermittelt wird. Mit entsprechenden Messgeräten (Dosimeter) kann die effektive Dosis auch direkt grob abgeschätzt werden. Über die effektive Dosis lässt sich das Ausmaß eines Körperschadens sowie ein statistisches Risiko ermitteln, Krebs zu bekommen und an dessen Folgen zu sterben. Die Wahrscheinlichkeit für Tod durch bösartige Neubildung nach Strahlenexposition beträgt 5 % pro Sv oder 0,005 % pro mSv, d. h. erhalten 100 000 Personen eine effektive Dosis von 1 mSv, so werden statistisch gesehen dadurch fünf Personen irgendwann an Krebs erkranken und daran sterben.

Die natürliche Strahlenexposition mit ihren Quellen im Weltall und der Erdkruste sowie die Eigenstrahlung des Menschen ergibt für jeden von uns eine natürlich bedingte, regional unterschiedliche effektive Dosis von ca. 2 – 3 mSv pro Jahr. Im Tabakrauch sind die Alphastrahler Blei-210 und Polonium-210 enthalten, die bei einem täglichen Konsum von einer Schachtel pro Tag zu einer jährlichen, internen Strahlenexposition mit einer effektiven Dosis von 10 mSv führen. Weitere typische Beispiele für Strahlenexpositionen in unserer Zivilisation zeigt Tab. 1.

Exposition	**effektive Dosis [mSv]**
Flug innerhalb Europa, pro Flug	0,002 – 0,02
Flug transkontinental, pro Flug	0,02 – 0,1
Flugpersonal, pro Jahr	2 – 5
2 Wochen Hochgebirge (2000 m)	0,02
Anteil der Tschernobyl-Katastrophe in Deutschland pro Jahr	0,02
Schilddrüsenszintigramm (Nuklearmedizin)	0,7
Röntgenaufnahme Brustkorb	0,1
Computertomografie Brustkorb	10
obere Grenze für beruflich strahlenexponierte Personen pro Jahr	20
Berufslebensdosis für beruflich strahlenexponierte Personen	400

Tab. 1: effektive Dosis bei verschiedenen Strahlenexpositionen

Höhere effektive Dosen wurden in Deutschland für Rettungsdienste als Dosisrichtwerte festgelegt, die das Einsatzrisiko in ein zum Einsatzerfolg vertretbares Risiko setzen:

- 15 mSv zum Schutz von Sachwerten,

- 100 mSv zur Abwehr von Gefahren für Menschen und zur Verhinderung einer wesentlichen Schadensausweitung sowie

- 250 mSv zur Rettung von Menschenleben.

In der Medizin werden zur Behandlung von Gewebeveränderungen, speziell von bösartigen Tumoren, gezielt Strahlen eingesetzt. Bei der Strahlentherapie wird das erkrankte Gewebe von außen mit hohen Herddosen (Dosis für das Tumorgewebe) bis zu 70 Gy bestrahlt, wobei die effektive, auf den ganzen Körper bezogene Dosis bis zu 1 Sv betragen kann. In der Nuklearmedizin wird z. B. bei der Radiojodtherapie das zu behandelnde Gewebe körperintern mit dem radioaktiven J-131 mit einigen 100 Gy bestrahlt mit einer effektiven Dosis von einigen 100 mSv. Die Ergebnisse europäischer Sammelstatistiken zeigen, dass das Risiko für strahleninduzierten Krebs – wenn überhaupt – gering erhöht ist.

Den zu diskutierenden langfristigen Folgen einer Strahlenexposition stehen die Akutfolgen gegenüber, die unmittelbar nach Strahlenexposition auftreten können (Tab. 2).

Effektive Dosis [Sv]	Bezeichnung	Symptomatik	klinische Folgen
bis 0,25	stochastische Schäden	keine	keine
0,25	Schwellendosis	keine	kurzzeitige Blutbild-veränderungen
1	subletale Dosis	Unwohlsein, Übel-keit, Erbrechen	baldige Erholung
5	mittelletale Dosis	Übelkeit, Durch-fälle, Blutungen	50 % Todesfälle in wenigen Wochen
7	letale Dosis	Erbrechen, Blutungen, Fieber, Kräfteverfall	100 % Todesfälle in wenigen Tagen

Tab. 2: Vereinfachte Angaben zu akuten Dosiswirkungsbeziehungen.

Solche Dosen sind akut nur für das Einsatzpersonal denkbar, die unmittelbar vor Ort nahe der havarierten Reaktoren notfallmäßig größere Ausmaße der Schäden verhindern sollen.

Für die Bevölkerung im Umkreis der Reaktoren lässt sich eine gesundheitsgefährdende Auswirkung abschätzen, wenn Messwerte für die effektiven Dosen, z. B. µSv pro Stunde, zur Verfügung stehen, über die sich im zeitlichen Verlauf bedenkliche effektive Dosen anhäufen können. Anhand solcher Messgrößen lässt sich dann die Weite einer notwendigen Evakuierungszone abschätzen. Als Beispiel ergibt sich aus dem gemeldeten Messwert von 0,8 µSv/h (effektive Dosis?) in Minamisoma am Rand der 20 km-Fukushima-Sperrzone eine geschätzte effektive Jahresdosisleistung von ca. 7 mSv (0,8 x 24 x 365) pro Jahr. Das ist ca. das 2,5-fache der natürlichen Strahlenexposition in Deutschland. Zum Vergleich: der obere Grenzwert der effektiven Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen ist nach Strahlenschutzverordnung bzw. Röntgenverordnung mit 20 mSv pro Jahr (siehe Tab. 1) festgelegt. Dieser Grenzwert, gesundheitlich noch unbedenklich, wird allerdings extrem selten erreicht, im Mittel liegt die effektive Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland bei ca. 3 mSv pro Jahr zusätzlich zur natürlichen Strahlenexposition. Man kann also abschätzen, dass ein Einwohner in Minamisoma etwa genauso strahlenexponiert ist wie ein Radiologe oder Nuklearmediziner in Deutschland, die keine schlechtere Lebenserwatung haben im Vergleich zur Gesamtbevölkerung.

Lancierte Begriffe wie „verstrahlt“ oder „erhöhte Strahlung“ sind in den Meldungen nicht hilfreich. Entweder es liegt eine Kontamination des Materials oder von Menschen vor, also eine Verunreinigung mit

Radionukliden (Angabe in Bq/ cm^2 oder Bq/g), oder es besteht für die Bevölkerung eine externe Strahlenexposition (meistens Gammastrahlung, da die Reichweite der Teilchenstrahlung sehr gering ist). Eine Inkorporation liegt vor, wenn Radionuklide in den Körper gelangt sind (z. B. über Atemweg oder Nahrung). Die Bezeichnung „verstrahlt“ besagt gar nichts. Nur über die effektive Dosis lässt sich ein statistisches, gesundheitsgefährdendes Risiko aufgrund einer Strahlenexposition abschätzen. Bei der gegenwärtigen Fukushimakatastrophe erfolgen in den Medien selten Angaben über die effektive Dosis. In den Fällen, in denen Angaben wie µSv oder µSv/h vorliegen, muss spekuliert werden, ob die effektive Dosis oder Äquivalentdosis bzw. –leistung gemeint ist. Es wäre hilfreich, wenn zumindest bei den Meldungen Vergleiche angestellt würden im Sinne von z. B. „dieser Messwert entspricht das x-fache der natürlichen Strahlenexposition“ oder „entspricht der Strahlenexposition einer Computertomografie“ mit dem darüber hinaus notwendigen Hinweis, ob die angegebene Strahlenexposition als (un)bedenklich angesehen werden kann.

Japan liegt weit weg. Über den Verdünnungseffekt in der Atmosphäre ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich aufgrund der Fukushimakatastrophe für uns in Deutschland irgendwelche akute oder langfristige Auswirkungen auf die Gesundheit ergeben, als extrem gering anzusehen. Auch die Auswirkungen aus der näher gelegenen Tschernobylkatastrophe (siehe Tab. 1) gehen nach nun mehr 25 Jahren in den statistischen Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition unter.

Dr. med. Dr. rer. nat Roland Rödel für EIKE

Dr. Rödel arbeitet als Nuklearmediziner an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Bonn