

## Kleines Repetitorium zu ionisierenden Strahlen und ihren Folgen

### Sv, mSv, $\mu$ Sv

Aus Anlass der Folgen von Erdbeben und Tsunami auf japanische Kernkraftwerke haben Fragen um die Auswirkungen ionisierender Strahlen eine unwillkommene Aktualität erhalten.

Da seit der Katastrophe im ukrainischen Tschernobyl, als entsprechende Diskussionen letztmals auf

breiter Front mit vergleichbarer Intensität geführt wurden, 25 Jahre vergangen sind, mag eine Auffrischung des Examenswissens in Strahlenbiologie hilfreich sein.

#### «Radioaktiv» oder «ionisierend»?

Der Volksmund und seine Medien sprechen gerne von «radioaktiver» Strahlung, wo die Wissenschaft den Begriff «ionisierend» vorzieht, der schon auf die molekularen Mechanismen hinweist, die in eine

Schädigung biologischer Strukturen münden können. Radioaktiv sind hingegen gewisse

Atome oder mit ihnen beladene Partikel, wie beispielsweise Uran-238, Thorium-232, Kalium-40, aber auch die radioaktiven Isotope Caesium-137 (Halbwertszeit ca. 30 Jahre) oder Iod-131 (Halbwertszeit ca. 8 Tage), die seinerzeit von Tschernobyl bis in die Schweiz verfrachtet wurden. Ionisie-

rende Strahlen bestehen aus schnell fliegenden subatomaren Teilchen wie Protonen, Neutronen ( $\alpha$ -Strahlen), Heliumkernen sowie Elektronen ( $\beta$ -Strahlen) oder elektromagnetischen Wellenpaketen mit hoher Durchdringungskraft ( $\gamma$ -Strahlen). Diese Strahlen sind so energiereich, dass sie in Molekülen Elektronen herausschlagen (Ionisation), aber auch die Anordnung von Atomen innerhalb des Moleküls verändern können.

#### Verschiedene Begriffe für die Strahlendosis

Die Strahlendosis lässt sich als Energiemenge pro Masse der bestrahlten Materie messen. Eine absorbierte «Energiedosis» von 1 Joule/kg wird als ein Gray (Gy) bezeichnet und findet zur Umschreibung der Intensität einer Strahlentherapie Verwendung. Tumorizide Herddosen beispielsweise können bei geeigneter Fraktionierung bis 80 Gy erreichen.

Für den Strahlenschutz, der zurzeit im Zusammenhang mit Kernkraftwerken besonders interessiert, ist jedoch die «effektive Dosis» als Mass der Wahrscheinlichkeit für eine spätere Krebserkrankung massgeblich. Die effektive Dosis ergibt sich aus unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für den Einfluss der Strahlenart (z.B. 20 für Alphastrahlung oder Neutronen mittlerer Energie, 5 für Protonen, 1 für  $\gamma$ -Strahlen oder Elektronen) auf biologische Strukturen und aus der Empfindlichkeit der getroffenen

Organe (z.B. blutbildende Organe, Schilddrüse, Gonaden). Die effektive Dosis wird in Sievert (Sv) ausgedrückt. Allerdings ist 1 Sv (= 1 Gy bei Ganzkörperbestrahlung mit  $\gamma$ - oder Röntgenstrahlen) eine sehr grosse Einheit, weshalb in der Regel Bruchteile davon massgeblich sind, etwa 1 Millisievert (1 mSv = 0,001 Sv) oder 1 Mikrosievert (1  $\mu$ Sv = 0,000001).

#### Zweierlei Risiken

Hinsichtlich der Auswirkungen ionisierender Strahlen auf die belebte Natur (inkl. Mensch) ist zu unterscheiden zwischen kurzfristigen Effekten, die angesichts ihrer gut charakterisierten Unerbittlichkeit als «deterministische» Auswirkungen bezeichnet werden, und den erst langfristig erkennbar werdenden Effekten, die als «probabilistisch» bezeichnet werden.

Die deterministischen Folgen wie Organschäden oder Verbrennungen der Haut nehmen proportional zur Dosis zu, für Langzeitauswirkungen wie Krebserkrankungen bei den Betroffenen oder genetische Missbildungen bei ihren Nachkommen gilt hingegen, dass sich die Eintretenswahrscheinlichkeit proportional zur Dosis verhält.

#### Wieviel radioaktive Strahlung hält der einzelne Mensch aus?

Der Mensch wie die ihn umgebende Natur hat sich unter stetem Einfluss natürlicher Radioaktivitätsquellen entwickelt und kann daher ihren Strahlen effektive Reparaturmechanismen entgegenseetzen. Die Schweiz gehört zu den Ländern mit relativ hoher natürlicher Strahlenbelastung (durchschnittl. ca. 3 mSv/Jahr). Hinzu kommt eine Strahlenbelastung aus künstlichen Quellen (Medizin, Technik, KKW), insgesamt soll die Durchschnittsbelastung bei 5 mSv pro Jahr liegen. Nebenbei: Eine Röntgenaufnahme schlägt mit 0,3 bis 0,6 mSv zu Buche. Da die kosmische Strahlung mit steigender Höhe stärker ins Gewicht fällt, ist Flugpersonal typischerweise einer um 5 mSv stärkeren Belastung pro Jahr ausgesetzt.

Laut Schweizerischer Strahlenschutzverordnung dürfen medizinisches Personal sowie Beschäftigte in Kernkraftwerken und nukleartechnischen Betrieben einer Belastung von 20 mSv pro Jahr ausgesetzt werden (*Kasten*). Derzeit haben die japanischen Kontroll-



#### Kasten:

Über 6000 mSv innert kurzer Zeit: kein Überleben

Ab 5000 mSv innert kurzer Zeit: Organschäden, Blutungen – meist tödlich

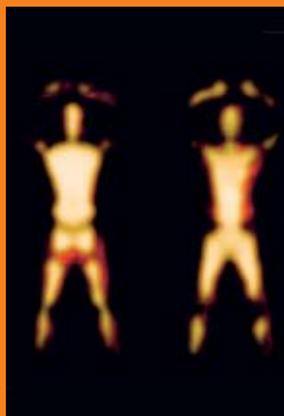
100 mSv innert kurzer Zeit: akute Strahlenkrankheit

500 mSv: Symptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen bereits nach wenigen Stunden möglich

100 mSv: Wahrscheinlichkeit für Krebserkrankungen steigt («gefährlicher Grenzwert»)

20 mSv: Jährlicher Grenzwert für Beschäftigte in Medizin und Nukleartechnik

5 mSv: Durchschnittliche Belastung der Schweizer Wohnbevölkerung (inkl. künstliche Strahlenbelastung)



behörden für die im Notfalleinsatz im Kernkraftwerk Fukushima 1 Arbeitenden den Grenzwert von vormalig schon hohen 100 mSv sogar auf 350 mSv hinaufgesetzt. Zum Vergleich: Um Tschernobyl herum wurde die Bevölkerung seinerzeit umgesiedelt, wenn eine Belastung von 350 mSv erreicht war. Einzeldosen oder Kurzzeitbelastungen ab 5000 mSv führen bei einer Mehrheit der Betroffenen zu Organschäden und Blutungen, noch höhere Dosen führen gesetzmässig innert weniger Wochen zum Tod.

#### Was bedeutet eine erhöhte Strahlendosis für ein ganzes Volk?

Die zuverlässigsten Schätzungen zum Langzeitrisiko nach exzessiver Strahlenbelastung stammen aus Japan, aus einer epidemiologischen Studie an gros-

sen Zahlen, die die Folgen der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki im August 1945 untersucht. Als Faustregel gilt demnach: eine kumulierte Dosis von 1 Sv erhöht das strahlenbedingte Krebsrisiko um 5 bis 10 Prozent. Wie das (kernkraftfreundliche) Forum für Medizin und Energie vorrechnet, bedeutet dies, dass für 50 000 Personen, die beispielsweise je eine Dosis von 0,2 Sv aufgenommen haben, mit einer Erhöhung des Krebsrisikos um 1 bis 2 Prozent zu rechnen sei. Das wären dann 500 bis 1000 zusätzliche Krebsfälle unter diesen Menschen. Dasselbe Gremium gibt aber auch zu bedenken, dass es keine Dosischwelle gibt, unterhalb derer man ganz sicher sein kann, dass keine zusätzlichen Krebserkrankungen entstehen.

HB❖

## Mit elektronisch bearbeiteter Lieblingsmusik gegen Tinnitus

«Auf dem subjektiven Empfindungsniveau nimmt der Tinnituspatient einen ›Phantomklang‹ wahr. Auf dem neurophysiologischen Niveau unterliegt dieser Phantomwahrnehmung ein zentraler, hauptsächlich kortikaler Reorganisationsprozess», erklärte Prof. Christof Pantev, Direktor des Instituts für Biomagnetismus und Biosignalanalyse der Universität Münster, kürzlich auf der 55. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und funktionelle Bildgebung (DGKN) in Münster. Der Wissenschaftler geht davon aus, dass der Verlust der sogenannten lateralen Inhibition hierbei eine Rolle spielt. Es handelt sich dabei um ein Schaltprinzip im Gehirn, bei dem aktivierte Nervenzellen benachbarte Nervenzellen hemmen. Eine neuartige Musiktherapie versucht nun, die fehlgeschalteten Nervenzellen gezielt zu beruhigen. Zunächst wählt jeder Patient aus seiner Musiksammlung 10 bis 20 CD mit seiner Lieblingsmusik aus. «Am Computer passen wir die Musik dann individuell an: Wir filtern genau die Frequenz aus der Musik heraus, die

der jeweiligen Tinnitusfrequenz des Patienten entspricht», erklärte Pantev. Der auf diese Weise bearbeiteten Musik, die sich unverändert anhört, lauschten die Teilnehmer einer Studie jeden Tag für ein bis zwei Stunden. In zwei Kontrollgruppen hörten die Patienten Musik, bei der eine zufällig ausgewählte Frequenz unterdrückt oder die Musik gar nicht bearbeitet wurde. Nach zwölf Monaten hatte sich die Tinnituslautstärke bei den Patienten, die die um ihre Tinnitus-Frequenz bereinigte Musik hörten, im Durchschnitt um 25 Prozent vermindert. Die Ohrgeräusche wurden als weniger lästig eingestuft. Zudem schränkten sie die Lebensqualität in geringerem Masse ein. In der Magnetoenzephalografie fiel die Hirnreaktion auf Töne mit der Tinnitusfrequenz auch schwächer aus. Bei den beiden Kontrollgruppen zeigten sich keine Veränderungen.

HB❖

Literatur: Okamoto H, Stracke H, Stoll W, Pantev C: Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity. Proc Natl Acad Sci U S A. 2010 Jan 19;107(3):1207-10.

## Was sonst noch geschah

### 1. Internationaler Frauentag



Am 19. März 1911 demonstrieren rund 1 Million Frauen (und einige Männer) in Dänemark, dem Deutschen Reich, Österreich-Ungarn und der Schweiz am 1. Internationalen Frauentag, der von Clara Zetkin (Foto) und anderen engagierten Frauen ins Leben gerufen worden war. Hauptforderung war das Wahlrecht für Frauen. Während dieses Recht in den meisten europäischen Ländern dann nicht mehr allzu lange auf sich warten liess, wurde das Frauenwahlrecht in der Schweiz erst 1971 auf Bundesebene eingeführt.

### Chirurginnen in den USA



Während in Europa ums Frauenwahlrecht gekämpft wird, werden an der neu eröffneten Frauen-Universität in Pennsylvania Medizinstudentinnen ausgebildet.

### Geboren im März 1911

In Zamora, Zentralmexiko, kommt am 20. März 1911 der spätere Nobelpreisträger Alfonso García Robles (1911–1991) zur Welt. Der mexika-



nische Diplomat und Politiker setzte sich für die Abrüstung ein und bekam dafür 1982 zusammen mit der Schwedin Alva Myrdal den Friedensnobelpreis. RBO❖