



## Radon im Unterricht

DENISE JANINE, FEICHTNER  
DENISE.FEICHTNER@STUD.SBG.AC.AT

### Zusammenfassung

Was bewirkt Radon, wie entsteht es und müssen wir uns davor schützen? All diese Fragen werden im Laufe dieses Paper bearbeitet und diskutiert. Es wird ein grundlegender Überblick über das Wesen der Radioaktivität und die Eigenschaften von Nukliden gegeben und im Weiteren auf Radon genauer eingegangen. Die Entstehung des Radons, die damit verbunden Risiken und wie diese Werte gemessen und mit anderen Daten verglichen werden können, wird genauer erläutert. Weiters wird auch auf aktuelle Zahlen der Strahlenbelastung in Österreich eingegangen und ein Einblick zum Strahlenschutz bezüglich Radon gegeben. Schließlich werden noch Rechenaufgaben zum Thema Strahlenbelastung für den Unterricht vorgeschlagen.

### 1 Einleitung

Tschernobyl, Fukushima, Hiroshima und Nagasaki, dies sind Ereignisse die prägend waren. An diese Vorfälle wird hauptsächlich erinnert, wenn die Themen Radioaktivität oder Strahlung angesprochen werden. Jedoch verbergen sich im Alltag auch andere radioaktive Gefahren, die nicht ohne weiteres unterschätzt werden dürfen. Die Rede ist hier von Radon, das sich in unseren Räumen und Wohnungen anreichert und erhebliche gesundheitliche Schäden anrichten kann.

### 2 AHS-Lehrplan Analyse

Sowohl am Ende der Unterstufe, als auch am Ende der Oberstufe werden verwandte Themen angesprochen:

#### 2.1 NMS und AHS-Unterstufe (8. Schulstufe)

In der 4. Klasse Unterstufe bzw. in der Neuen Mittelschule (NMS) sollen Schülerinnen und Schüler ein Verständnis zum radioaktiven Verhalten von Materie erlangen. Dafür sollen Vorgänge in Atomkernen verstanden und im Zuge dessen Einsichten über die Veränderung von Atomkernen aufgrund von Radioaktivität erreicht werden. Daher müssen Schüler und Schülerinnen über die Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung Bescheid wissen. Weiters wird auch der überall auftretende Vorgang des radioaktiven Zerfalls in dieser Schulstufe bearbeitet (vgl. Internet 1, 2019; Internet 2, 2019).

#### 2.2 AHS-Oberstufe (11., 12. Schulstufe)

In den letzten beiden Schulstufen der AHS werden kernphysikalische Grundlagen unterrichtet. Hierbei handelt es sich um den Aufbau und die Stabilität von Kernen, ionisierender Strahlung und der Umgang mit den jeweiligen Quellen (vgl. Internet 2, 2019).

Daraus wird ersichtlich, dass diese Themen in beiden Sekundarstufen einen relevanten Beitrag zum Unterricht liefern sollen.

### 3 Radioaktivität

Anhand des Verhältnisses zwischen Protonen- und Neutronenzahl im Kern wird die Stabilität bzw. die Instabilität eines Nuklids definiert. Ein Kern wird als stabil angesehen, wenn die Anzahl von Nukleonen einen festen Kernverband bildet. Im Verhältnis gesehen existieren viel mehr instabile Nuklide als stabile.

Radioaktivität beschreibt nun die Eigenschaft radioaktiver Nuklide, dass sich instabile Nuklide unter Energieabgabe spontan (ohne äußeres Einwirken) in stabilere Tochternuklide umwandeln. Folglich ändert sich die Kernzusammensetzung. Diese Energieabgabe erfolgt direkt vom Atomkern durch Ionisierender Strahlung. Dieser Vorgang wird auch als radioaktiver Zerfall bezeichnet. Diese Veränderung, mit Ziel ein stabiles Nuklid zu erreichen, kann sowohl direkt als auch über eine Zerfallsreihe erfolgen (vgl. Stolz, 2003).

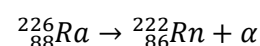
#### 3.1 Strahlungsarten

Abhängig vom Zerfallsprozess wird entweder Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung frei.

- **Alpha-Zerfall**

Hier geschieht eine Kernumwandlung unter Aussendung eines Alpha Teilchens (doppelt positiv geladener Heliumkern). Dadurch verringert sich die Kernladungszahl um zwei Einheiten und die Massenzahl des Nuklids um vier. Dieser Vorgang beschränkt sich hauptsächlich auf schwere Nuklide.

Als Beispiel kann hier Radium angeführt werden:



### • Beta-Zerfall

Beim Beta-Zerfall unterscheidet man in einem Beta-Minus und einem Beta-Plus Zerfall:

#### 1. $\beta^-$ Zerfall

Der Kern wird unter Aussendung eines Elektrons umgewandelt. Da Elektronen im Kern jedoch nicht vorhanden sind, spaltet sich ein Neutron in ein Proton und ein Elektron. Die Massenzahl bleibt dadurch konstant, ausschließlich die Ordnungszahl wird um eine Einheit erhöht. Diese Zerfallsart ist besonders typisch für Kerne oberhalb der Stabilitätszone von Nukliden.

#### 2. $\beta^+$ Zerfall

Durch Aussendung eines Positrons aus dem Kern wird dieser verändert. Hierbei wird ein Proton in ein Neutron und ein Positron gespalten. Auch hier bleibt die Massenzahl konstant, lediglich die Kernladungszahl wird um eine Einheit verringert. Dieser Zerfall kommt hauptsächlich bei Kernen unterhalb der Stabilitätszone vor.

### • Gamma-Zerfall

Hier wird ein energiereiches Photon aus dem Kern ausgesendet. Im Vergleich zu den anderen Zerfallsarten wird hier kein Teilchen emittiert, sondern elektromagnetische Strahlung. Diese Art von Zerfall kommt bei fast allen radioaktiven Elementen vor.

(vgl. Stolz, 2003)

### 3.2 Aktivität

Die Anzahl der Kernumwandlungen pro Zeiteinheit eines radioaktiven Stoffes wird durch die Aktivität angegeben. Sie beschreibt Zerfallsraten, wobei keine Informationen über die Strahlungsart mitgeliefert werden. Dafür muss das jeweilige Radionuklid bekannt sein.

Die Aktivität wird durch die Einheit Becquerel angegeben. Sie definiert sich als 1 Zerfall pro Sekunde:  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$  (vgl. Geipel und Von Philipsborn, 2006).

### 3.3 Halbwertszeit

Die Halbwertszeit  $\tau$  ist durch das Zerfallsgesetz

$$N_t = N_0 \cdot e^{-kt} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$A_t = A_0 \cdot e^{-kt} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit der Aktivität  $A$  verknüpft. Das Zerfallsgesetz hat dieselbe Form sowohl für die Nuklidzahl  $N$ , als auch für die Aktivität  $A$ .  $N$  steht für die Anzahl von Atomkernen eines Radionuklids und  $k$  für die Zerfallskonstante.

Die Halbwertszeit  $\tau$  eines Nuklids ist die Zeit, in der sich die Menge und somit auch die Aktivität

auf die Hälfte der ursprünglichen Menge verringert.

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} = \frac{1}{2} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$\frac{A_t}{A_0} = e^{-kt} = \frac{1}{2} \quad (\text{Gl. 4})$$

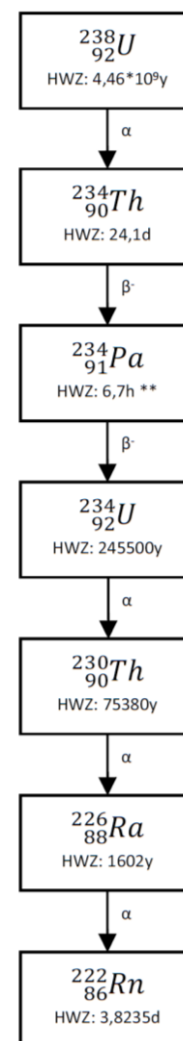
(vgl. Geipel und Von Philipsborn, 2006).

## 4 Radon

In den nächsten Punkten wird auf Radon und den damit verbunden Themen genauer eingegangen.

### 4.1 Herkunft

Radon ist ein radioaktives Edelgas, das natürlich in der Natur vorkommt. Es entsteht als Zwischenprodukt durch den radioaktiven Zerfall aus Uran, das sowohl im Boden, in Gesteinen als auch in Baumaterialien vorkommt. Dadurch wird Radon ständig und überall aus dem direkten Alpha-Zerfall aus Radium gebildet (vgl. Internet 3, 2019).



**Abb. 1** – Zerfallsreihe von Uran-238. (Geipel und Von Philipsborn, 2006)

Durch den weiteren Zerfallsprozess entstehen jedoch keine Edelgase, sondern Schwermetalle. Wichtig für den Strahlenschutz sind folgende kurzlebigen Tochternuklide: Polonium-214, Polonium-218, Blei-214 und Wismut-214. Letztendlich wird das stabile Nuklid Blei-206 gebildet (siehe Anhang).

Radon besitzt eine relativ lange Halbwertszeit von  $\tau = 3,825 d$ , im Gegensatz zu den anderen Tochternukliden, wodurch das Edelgas durch Diffusion und Konvektion vom Erd- oder Baumaterial an die Luft gelangen kann (vgl. Strahlenschutzkommission, 2002).

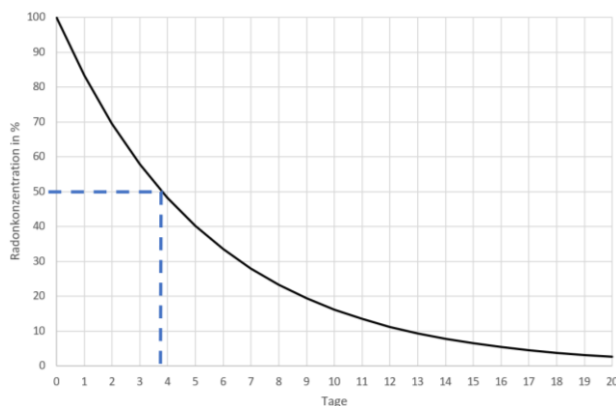


Abb. 2 – Halbwertszeit von Radon-222.

#### 4.2 Radon in der Luft

Radon kann – wie bereits erwähnt – an die Luft diffundieren, wodurch es sich damit vermischt. Im Freien verflüchtigt sich das Edelgas und kommt daher in der Außenluft nur in geringen Konzentrationen vor. Mit der Konzentration ist hier die Aktivitätskonzentration von radioaktiven Stoffen gemeint. Dieser Wert hängt von verschiedenen Parametern wie dem Radiumgehalt im Boden, der Bodenbeschaffenheit an jenem Ort und den aktuellen meteorologischen Bedingungen ab.

In Wohnungen bzw. Häusern hingegen, kann die Radonkonzentration zu einem gesundheitlich relevanten Problem werden. Hier reichert sich Radon innerhalb geschlossener Räume an und es kann zu erhöhten Radon- und Radonzerfallsproduktkonzentrationen führen. Dies geschieht hauptsächlich aufgrund einer geringen Luftwechselrate, der durch einfaches Stoßlüften entgegengewirkt werden kann. Da sich Radon nach oben hin immer mehr verflüchtigt, ist in den bodennahen Geschossen meist eine höhere Konzentration als in den oberen Geschossen zu messen. Die gebildeten Tochternuklide lagern sich hauptsächlich an Aerosolen an und nur ein geringer Teil bleibt als unangelagerter Teil in der Luft zurück.

Die Anlagerung geschieht sowohl durch Diffusion und Konvektion, als auch durch den Kamineffekt. Ein Haus oder Gebäude funktioniert, vor allem in den kalten Monaten des Jahres, wie eine Saugglocke. Innerhalb des Gebäudes herrscht ein geringer Unterdruck, der die Bodenluft und dadurch auch das Radon in das Haus saugt. Weitere Probleme könnten ein hoher Urangehalt im Boden, große Luftdurchlässigkeit des Bodens bzw. Abdichtungen zwischen Haus und Boden sein (vgl. Internet 3, 2019; Strahlenschutzkommission, 2002; Internet 4).

#### 4.3 Gesundheit und Risiken

Radon wird mit der Luft inhaliert und gelangt dadurch in unsere Atemwege, wodurch auch die Folgeprodukte in unseren Körper eindringen. Das Edelgas wird rasch wieder ausgeatmet, jedoch bleiben die Tochternuklide an den feuchten Atemwegen haften. Dort werden die oberen Zellschichten der Lungenbläschen geschädigt, da durch den radioaktiven Zerfall energiereiche Alpha-Strahlung kontinuierlich frei wird. Dies verursacht längerfristig ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko (vgl. Internet 3, 2019; Internet 5, 2018).

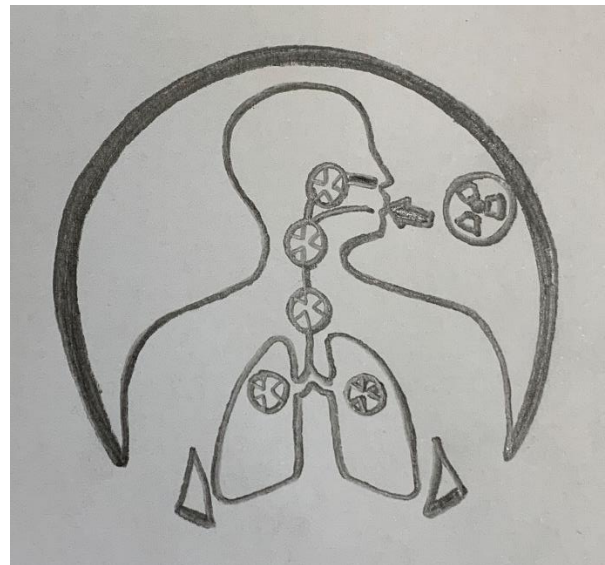


Abb. 3 – Inhalation von Radon-222.

Durch Radonstudien in zahlreichen Ländern wurde bekannt, dass etwa 10 % aller Lungenkrebsfälle auf Radon und seine Tochternuklide beruhen. Nach dem Rauchen ist dies also die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs. Auch können sich jene zwei Faktoren gegenseitig verstärken, wodurch bei gleicher Radonkonzentration für Raucher ein ca. 25-mal höheres Lungenkrebsrisiko erschließt, wie für Nichtraucher. Es gibt jedoch einige Kurorte, die Radon als Therapiemittel einsetzen. Hier führen Radonkuren

zu signifikanten Verbesserungen des allgemeinen Zustandes bei Patienten mit rheumatischer Erkrankung. Jedoch müssen diese Verbesserungen mit den Nachteilen abgewogen werden. Die Patienten erleben durch die Behandlung Schmerzlinderungen und daher einen geringeren Medikamentenverbrauch, jedoch setzen sie sich und ihren Körper einer stark erhöhten Radonkonzentration aus, was zum Nachteil eine Erhöhung des Lungenkrebsrisikos mit sich zieht (vgl. Internet 6, 2015).

#### 4.4 Warum Radon und nicht Folgeprodukte messen?

Es stellt sich die Frage, warum die Radonkonzentration und nicht jene der Folgeprodukte gemessen wird, da diese schlussendlich die gesundheitlichen Schäden hervorrufen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Radonkonzentrationen viel leichter und schneller gemessen werden können als jene der Tochternuklide. Dadurch, dass sich Radon im Gleichgewicht mit seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) befindet, ist es zulässig anstelle der Konzentration der Folgeprodukte jene des Radons zu messen (vgl. Strahlenschutzkommission, 2002).

#### 4.5 Messsysteme

Radon kann mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Für die jeweilige Auswahl sind folgende Kriterien verantwortlich: gewünschter Messzeitraum, Genauigkeit und welche Werte, ob stündliche oder Mittelwerte, gemessen werden sollen.

Daraus ergeben sich folgende drei Messsysteme.

- **Kurzzeitmessung**

Diese Messmethode ist vor allem dann geeignet, wenn die momentane Radonkonzentration an einem Ort gemessen werden soll. Diese Informationen bieten lediglich eine Übersicht, aber keine genauen Aufzeichnungen (Lüftungsverhalten, Zeitpunkte mit erhöhten Werten, ...). Daher eignet sich die Kurzzeitmessung nicht für Mittelwerte.

- **Zeitauflösende Messung**

Bei der zeitauflösenden Messung, wird hingegen über einen selbst gewählten Zeitraum mit beliebigen Intervallen gemessen. Dadurch können tageszeitliche Schwankungen in den Messwerten erkannt werden, da die Daten als zeitlicher Verlauf dargestellt werden. Dafür werden jedoch aktive elektronische Messgeräte mit einem (internen) Datenspeicher benötigt, die meist aufwendiger ist.



Abb. 4 – Alpha-Guard. Zeitauflösendes Messgerät.

- **Integrierende Messung**

Bei integrierenden Messungen wird ein Mittelwert über den gesamten Messzeitraum geliefert. Für diese Messungen werden passive Geräte eingesetzt, Messdaten werden an einer anderen Stelle ausgewertet. Dabei muss beachtet werden, dass diese Messgeräte während des Transports von der Messung bis zur Auswertung keiner Exposition ausgesetzt sind.

(vgl. Strahlenschutzkommission, 2002)



Abb. 5 – Integrierendes Messgerät der AGES Linz.

#### 4.6 Radonpotentialklassen

Für eine Übersicht des Radonrisikos in Österreich wurde der Begriff Radonpotential abgeleitet. Dieser Wert charakterisiert ein Gebiet bezüglich seiner Radongefährdung. Dies wird anhand von drei Radonpotentialklassen 1, 2 und 3 angegeben.



In Gebieten bzw. Gemeinden mit Radonpotenzialklasse 1 wird die Gefährdung durch Radon relativ gering eingeschätzt. Hingegen in den Klassen 2 und 3 steigt das Risiko durch Radon jeweils an.

Diese Klasseneinteilungen wurden aufgrund der Ergebnisse des österreichischen nationalen Radonprojektes (ÖNRAP) zwischen 1991 und 2002 eingeordnet. Dafür wurden 20000 Radonmessungen in österreichischen Haushalten per Zufallsprinzip durchgeführt.

Zu beachten ist jedoch, dass diese Messwerte nur erwartete Mittelwerte darstellen und innerhalb eines Hauses oder einer Gemeinde, aufgrund anderer Verhältnisse (Bauweise, ...), schwanken können (Internet 7, 2018).

## 5 Strahlungsbelastung in Österreich

Radon macht mit  $1,6 \text{ mSv}$  ca. 35 % der durchschnittlichen, jährlichen Strahlenbelastung in Österreich aus (vgl. Stangl, 2018). Um Strahlungsquellen miteinander vergleichen zu können müssen folgende Werte ineinander umwandelbar sein.

### • Energiedosis

Dies ist ein Maß für die aufgenommene Strahlungsmenge je Masseneinheit im Körper über einen bestimmten Belastungszeitraum hinweg. Jedoch gibt diese Größe keine Auskunft über etwaige Auswirkungen im Körper an. Die Energiedosis  $D$  wird durch die Einheit  $1 \text{ Gray}$  beschrieben.

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (\text{Gl. 5})$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

### • Äquivalentdosis

Mithilfe der Äquivalentdosis  $H$  wird die Strahlenexposition im Körper angegeben. Dies bezieht daher nicht nur die absorbierte Energie mit ein, sondern auch die Art der ionisierenden Strahlung. Daher besteht für die biologische Wirkung ein Unterschied welche Strahlung in unserem Körper freigesetzt wird.

	Qualitätsfaktor $Q$
Alpha-Strahlung	20
Beta- und Gamma-Strahlung	1

**Tab. 1** – Qualitätsfaktoren. Qualitätsfaktoren in Abhängigkeit der Strahlungsart. (nach Geipel und Von Philipsborn, 2006).

Es wird ein Qualitätsfaktor  $Q$  mit der Energiedosis  $D$  multipliziert. Die Äquivalentdosis  $H$  wird in der Einheit  $1 \text{ Sievert}$  angegeben.

$$H = D \cdot Q \quad (\text{Gl. 6})$$

$$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Dies bedeutet, dass  $1 \text{ Gy}$  Beta- oder Gammastrahlung auch  $1 \text{ Sv}$  entspricht. Jedoch gilt bei  $1 \text{ Gy}$  Alphastrahlung, dass hier die biologische Wirksamkeit deutlich höher ist mit  $20 \text{ Sv}$ .

### • Effektive Dosis

Um nun auf einzelne Organe genauer eingehen zu können, wird die effektive Dosis  $E$  benötigt. Hier spielen die unterschiedlichen Organe eine entscheidende Rolle, da bei ihnen unterschiedliche biologische Risiken bestehen. Daher wird die Äquivalentdosis  $H$  mit einem Wichtungsfaktor  $w$ , der vom jeweiligen Organ abhängig ist, multipliziert.

	Wichtungsfaktor $w$
Lunge, rotes Knochenmark	0,12
Brust	0,15
Schilddrüse, Knochenoberfläche	0,03

**Tab. 2** – Wichtungsfaktoren. Wichtungsfaktoren in Abhängigkeit des jeweiligen Organs. (nach Geipel und Von Philipsborn, 2006).

$$E = H \cdot w \quad (\text{Gl. 7})$$

$$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Zu berücksichtigen ist, dass sich alle Wichtungsfaktoren zur Summe 1 ergeben (vgl. Geipel und Von Philipsborn, 2006)

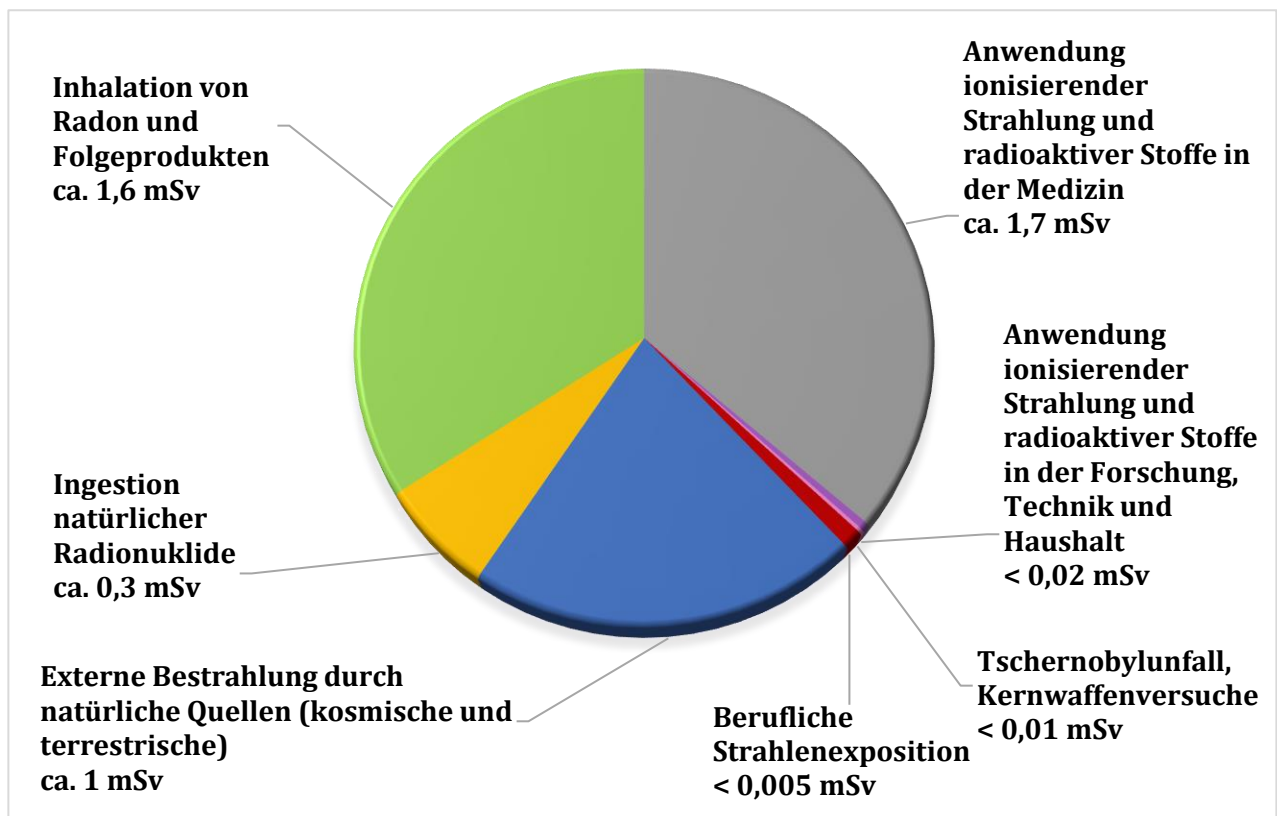
## 5.1 Strahlenbelastung durch Radon

Da die effektive Dosis von Radon nicht direkt messbar ist, im Gegensatz zur Radonkonzentration und der Aufenthaltsdauer, die ein Mensch dieser ausgesetzt ist, wird ein Dosiskonversionskoeffizient benötigt. Dieser liefert das Ergebnis, dass  $1 \text{ mSv}$  in etwa  $60 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$  entspricht (vgl. Internet 4).

## 5.2 Natürliche Strahlenexposition in Österreich

Fast dreiviertel der durchschnittlichen Strahlenbelastung der Menschen, liegen der kosmischen Strahlung und natürlich vorkommender radio-

aktiver Stoffe zugrunde. Den größten Anteil liefert dafür Radon, das in der Atemluft enthalten ist. Da natürliche radioaktive Stoffe mit langen Halbwertszeiten so gut wie überall in unseren Lebensraum vorkommen, werden auch ständig deren Zerfallsprodukte neu gebildet. Dieses Vorkommen ist jedoch von lokalen geologischen Situationen abhängig. Höhenabhängig ist hingegen die Intensität der kosmischen Strahlung, da diese durch die Erdatmosphäre geschwächt wird. Die Intensität steigt mit zunehmender Seehöhe. Die Aufteilung der durchschnittlichen jährlichen Strahlenbelastung von ca.  $4,6 \text{ mSv}$  (im Jahr 2016/17) pro Person in Österreich wird in der nachfolgenden Grafik dargestellt (vgl. Stangl, 2018).



**Abb. 6** – Durchschnittliche effektive Dosis pro Person pro Jahr in Österreich von ca.  $4,6 \text{ mSv}$ . (vgl. Stangl, 2018).

## 6 Strahlenschutz

Durch die natürlich auftretende und die zusätzlich zivilisatorische Exposition steigt das Maß der ionisierenden Strahlung an und schädigt die Menschen und deren Umwelt. Dafür wurden Grenzwerte für die Dosis bestimmt, um Schädigungen entgegenzuwirken. Der Strahlenschutz ist für verschiedenste Bereiche wie Umweltüberwachung, Radonschutz, Lebensmittelkontrolle und Notfallplanung zuständig. Es sollten

dadurch sämtliche Messstellen in Österreich, für jeden auftretenden Notfall vorbereitet sein (Internet 8; Internet 10).

### 6.1 Strahlenfrühwarnsystem

Innerhalb Österreichs gibt es insgesamt 111 Stationen, die stündliche Mittelwerte zur Ortsdosisleistung liefern. Dadurch können erhöhte Werte sofort erkannt werden, woraus sich ein Strahlenfrühwarnsystem ergibt. Die Ortsdosisleistung beschreibt die externe Strahlung die auf uns Menschen wirkt und ist vom jeweiligen Ort abhängig. In Österreich ergibt sich dadurch eine Spannweite von 70 bis  $200 \frac{\text{nSv}}{\text{h}}$  (Nanosievert pro Stunde). Kurzzeitige Schwankungen oder Erhöhungen können beispielsweise durch starke Regenfälle ausgelöst werden (Internet 9, 2019).

### 6.2 Richtlinie Radon

Laut der EU-Richtlinie sind Radonkonzentrationen Obergrenzen gesetzt. Diese besagt, dass maximal  $300 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$  Radonkonzentration in den Räumen gemessen werden dürfen, da ansonsten bauliche Maßnahmen ergriffen werden müssen (Internet 11, 2014).

## 7 Radon im Unterricht

Um jene Inhalte nun im Unterricht bearbeiten zu können, wurde folgendes Arbeitsblatt entwickelt. Hier sollen Schülerinnen und Schüler die Zusammenhänge zwischen den Strahlungsquellen und den damit verbundenen Begriffen kennen und mit diesen umgehen können.

Weiters wird verlangt, dass sich Schülerinnen und Schüler die spezifische Aktivität bzw. Radonkonzentration anhand von bereits gelerntem herleiten können.

### Strahlungsbelastung – Umrechnungen

- ① Bestimme die effektive Dosis  $E$ , derer die a) Lunge b) Schilddrüse bei 0,1 Gy Alpha-Strahlung ausgesetzt ist. Die effektive Dosis  $E$  sollte in  $mSv$  angegeben werden.

$$D = 0,1 \text{ Gy}$$

$$H = D \cdot w = 0,1 \text{ Gy} \cdot 20 = 2 \text{ Sv}$$

a) Lunge

$$E = H \cdot w = 2 \text{ Sv} \cdot 0,12 = 0,24 \text{ Sv} = \mathbf{240 \text{ mSv}}$$

b) Schilddrüse

$$E = H \cdot w = 2 \text{ Sv} \cdot 0,03 = 0,06 \text{ Sv} = \mathbf{60 \text{ mSv}}$$

- ② Die Brust ist einer effektiven Dosis  $E = 0,3 \text{ mSv}$  ausgesetzt. Bestimme die Energiedosis  $D$  für a) Alpha-Strahlung b) Beta-Strahlung c) Gamma-Strahlung.

$$E = 0,3 \text{ mSv}$$

$$E = H \cdot w \Leftrightarrow H = \frac{E}{w}$$

a) Alpha-Strahlung

$$H = \frac{E}{w} = \frac{0,3 \text{ mSv}}{0,15} = 2 \text{ mSv}$$

$$H = D \cdot Q \Leftrightarrow D = \frac{H}{Q}$$

$$D = \frac{2 \text{ mSv}}{20} = \mathbf{0,1 \text{ Gy}}$$

b) Beta-Strahlung

$$D = \frac{2 \text{ mSv}}{10} = \mathbf{0,05 \text{ Gy}}$$

c) Gamma-Strahlung

$$D = \frac{2 \text{ mSv}}{10} = \mathbf{0,05 \text{ Gy}}$$

### Spezifische Aktivität

- ③ Berechne die spezifische Aktivität bzw. die Konzentration von Radon.

$$A_{\text{spez.}} = \frac{A(t)}{m(t)} = \frac{\ln(2)}{\tau} \cdot \frac{m(t)}{m_0} \cdot \frac{1}{m(t)} = \frac{\ln(2)}{\tau} \cdot \frac{1}{m_0}$$

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$A_{\text{spez.}} = \frac{\ln(2)}{\tau} \cdot \frac{N_A}{M} = \frac{\ln(2)}{330480 \text{ s}} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23}}{222 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \mathbf{5,69 \cdot 10^{15} \frac{Bq}{g}}$$

## 8 Zusammenfassung

Radon sollte nicht unterschätzt bzw. ignoriert werden. Es stellt unter bestimmten Voraussetzungen längerfristige, gesundheitliche Schäden für unseren Körper dar. Dieser möglichen Gefahr am leichtesten entgegenzuwirken, sollten Räume, die sich im bodennahen Bereich befinden, gut abgedichtet und auch luftdurchflutet (Stoßlüften) werden.

Die Schülerinnen und Schüler sollten ein tieferes Verständnis zum Thema Radioaktivität und im speziellen zu Radon erhalten. Ein weiteres Ziel wäre, dass sie dieses Wissen auch im Alltag – bei Berichterstattungen – anwenden können und jene kritisch hinterfragen können.

## 9 Anhang

Im Anhang befindet sich die vollständige Zerfallskette von Uran-238.

## 10 Literatur

- Geipel, R. & Von Philipsborn, H. (2006). Radioaktivität und Strahlungsmessung. 8. Überarbeitete Auflage.
- Internet 1. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2019). AHS Lehrplan. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (14.02.2019)
- Internet 2. Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (2019). NMS Lehrplan. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007850#header> (07.04.2019).
- Internet 3. AGES-Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (2019). Radon. <https://www.ages.at/themen/strahlenschutz/radon/> (14.02.2019)
- Internet 4. Bundesministerium für Gesundheit und Frauen. Radonbelastung in Österreich. <http://www.noef.gv.at/noef/Gesundheitsvorsorge-Forschung/radoninformation1.pdf> (16.02.2019)
- Internet 5. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2018). [https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/radon/radon\\_gesundheit.html](https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/radon/radon_gesundheit.html) (14.02.2019)
- Internet 6. Ministerium für ein lebenswertes Österreich (2015). Radon in Österreich Vorkommen-Wirkung-Schutz. [https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:0b263881-9681-4adf-853a-240d565704b5/40\\_Radon\\_Broschuere.pdf](https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:0b263881-9681-4adf-853a-240d565704b5/40_Radon_Broschuere.pdf) (14.02.2019)
- Internet 7. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2018). Radonrisiko in Österreich. <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/radon/radonpotenzial.html> (16.02.2019)
- Internet 8. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus. Strahlenschutz. <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/strahlenschutz.html> (16.02.2019)
- Internet 9. Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus. Strahlenfrühwarnsystem (2019). [https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/strahlen-warn-system/messwerte\\_aktuell.html](https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/strahlen-warn-system/messwerte_aktuell.html) (16.02.2019)
- Internet 10. AGES Linz. Geschäftsfeld Strahlenschutz. <https://www.ages.at/ages/geschaeftsfelder/strahlenschutz/> (16.02.2019)
- Internet 11. Europäische Union (2014). Richtlinien. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=DE> (16.02.2019)
- Stangl K. (2018). Das Österreichische Strahlenfrühwarnsystem Jahresbericht 2016/2017. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Strahlenschutz.
- Stolz, W. (2003). Radioaktivität Grundlagen – Messung – Anwendung. 4. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden: Teubner Verlag.
- Strahlenschutzkommission (2002). Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. Band 47.