

III.18

Natur und Technik

Biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung

Nach einer Idee von Dr. Kerstin Reinecke



© RAABE 2024

© iStock/Getty Images Plus/jsolie

Diese Einheit wirft neben den physikalischen Fakten auch die Frage nach der gesellschaftlichen Verantwortung im Umgang mit Radioaktivität auf. Anhand des Beispiels der jungen Frauen, die von Beginn des 1. Weltkriegs an bis in die späten 1920er-Jahre hinein in Fabriken die Zifferblätter und Zeiger der selbstleuchtenden Uhren bemalt haben, erarbeitet sich Ihre Klasse die biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	9/10
Dauer:	14–16 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	Bewertungskompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz
Thematische Bereiche:	Kernphysik, Eigenschaften und biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung, gesellschaftliche und arbeitsschutztechnische Relevanz, Entstehung radioaktiver Strahlung, Halbwertszeit, Hintergrundstrahlung, Kernzerfälle, Nuklidkarte
Medien:	Tablets, Filme, Experimentiermaterialien, Internet, Taschenrechner

Didaktisch-methodische Hinweise

Voraussetzungen der Lerngruppe

Die Lernenden sollten sich bereits mit dem Teilchenmodell und dem Kern-Hülle-Modell auseinandergesetzt haben. Auch sollten das Konzept der Energie und der Energietransport durch die Elektronen bekannt sein. Dies hilft, die Natur der α - und β -Strahlung zu verstehen.

Aufbau der Unterrichtseinheit

Neben den schrecklichen gesundheitlichen Auswirkungen, die diese Arbeiterinnen in Folge der Aufnahme von Radium erlitten, zeigt die Geschichte auch zunächst die Faszination für das Leuchten der radioaktiven Farbe, die nicht nur diese Frauen ergriffen hatte. Die Faszination der ganzen westlichen Gesellschaften für die wissenschaftlichen Erkenntnisse um die radioaktiven Stoffe wird sichtbar. Auch steckt in der Geschichte der Uhrenmalerinnen der Kampf um bessere, gesündere Bedingungen am Arbeitsplatz und der Kampf um Entschädigungen für die erlittenen Gesundheitsschäden. Das Schicksal der Arbeiterinnen kann die Schülerinnen und Schüler berühren und ihnen eröffnen, dass wissenschaftlicher Fortschritt Eingang in die Gesellschaft findet, neue Produkte entstehen und dass der Fortschritt auch Schattenseiten birgt. Hier kann die Geschichte von Wissenschaft und dem Einfluss auf die Menschen nachvollzogen und gleichzeitig Faktenwissen über Kernphysik vermittelt werden. Dies geschieht zusammen mit dem für die Jugendlichen vielleicht mehr bewegenden Aspekt, wie die Gefährlichkeit der radioaktiven Strahlung aufgrund ihrer biologischen Wirkung einzuschätzen ist. Und die Lernenden können begreifen, dass man zunächst die Eigenschaften der Strahlung kennen muss, also grundlegende physikalische Kenntnisse benötigt, um die Wirkung radioaktiver Strahlung einschätzen zu können. Es wird damit auch ein Einstieg in den Bereich der Technikfolgenabschätzung angeboten, der leider bei der Einführung neuer Techniken in den Markt oft immer noch sehr vernachlässigt wird.

Kognitive Aktivierung

Die Vorgehensweisen dienen dabei möglichst der nach der Hattie-Studie vorgeschlagenen kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler. Demnach soll das Denken als Aktivität im Mittelpunkt stehen, das konzeptuelle Verstehen und nicht nur das bloße Nachmachen von Abläufen. Dabei kommt es darauf an, anregende Fragestellungen zu finden. Daher werden in beiden Teilen der Sequenz zunächst Forscherfragen gestellt. Diese Forscherfragen formulieren die Lernenden aus Textquellen heraus selbst. Es erfolgt im Unterrichtsgespräch eine Lenkung der Auswahl durch Fragestellungen und eine gemeinsame abschließende Formulierung. Auch wird für jede Erarbeitungsphase darauf geachtet, dass die Schülerinnen und Schüler eine möglichst hohe Eigenaktivität zeigen müssen und sich mit den Inhalten gedanklich auseinandersetzen.

Fächerübergreifender Ausbau

Diese Einheit bietet auch die Möglichkeit zum fächerübergreifenden Ausbau. So wird auf den Einbau des Radiums in das Hydroxylapatit des Knochens eingegangen, was einen Ausflug in die Chemie erlaubt. Somatische Schäden und die Entstehung von Tumoren führen zur Biologie.

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Tx = Infotext, Sv = Schülerversuch, Lv = Lehrerversuch

1.–2. Stunde

Thema: Leuchtende Uhren und die „Radium Girls“

M 1 (Ab, Tx) Die „Radium Girls“

3.–4. Stunde

Thema: Radium als Bestandteil der Leuchtfarbe und grundlegende Eigenschaften radioaktiver Strahlung

M 2 (Ab) Was leuchtet in der Farbe?

Benötigt: Digitales Endgerät oder Laptop, Internetzugang



M 3 (Ab) Eigenschaften radioaktiver Strahlung

Benötigt: Digitales Endgerät oder Laptop, Internetzugang
 Aufbau einer Elektronenstrahlröhre

5.–6. Stunde

Thema: Vergleich der Eigenschaften von Radium und Calcium und Einbau von Radium in den Knochen

M 4 (Ab, Sv) Eigenschaften von Calcium

Benötigt: Calcium in Körner- oder Pulverform 
 Reagenzglas
 Bunsenbrenner
 Petrischalen
 Calciumcarbonat
 Magnesiastäbchen
 destilliertes Wasser
 verdünnte Salzsäure (1 mol/l) 

M 5 (Ab) Vergleich der Eigenschaften von Calcium und Radium

M 6 (Ab) Einbau von Radium in den Knochen



7.–8. Stunde**Thema:** Die biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung**M 7 (Ab, Tx)** Die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung – ein Lernplakat erstellen**Benötigt:** Digitales Endgerät oder Laptop, Internetzugang
 Alternativ Materialien für ein Lernplakat**9.–12. Stunde****Thema:** Radon aus den Uhren und weitere Gefahren**M 8 (Ab, Tx)** Wie gefährlich sind die Uhren?**M 9 (Ab, Tx)** Aufbau des Kerns und die Kernzerfälle**M 10 (Ab, Tx)** Die Nuklidkarte**Benötigt:** Digitales Endgerät oder Laptop, Internetzugang
 Lehrbuch oder Formelsammlung mit Nuklidkarte**M 11 (Ab)** Das Geiger-Müller-Zählrohr**M 12 (Ab, Sv)** Die Nullrate**Benötigt:** Inspector oder Geiger-Müller-Zählrohr
 Digitales Endgerät**M 13 (Ab, Tx)** Quantitative Messung der Strahlung**13.–14. Stunde****Thema:** Wie lange strahlen die Uhren noch? – Halbwertszeit und Zerfallsgesetz**M 14 (Sv)** Würfelversuch**Benötigt:** Pro Gruppe 100 Würfel
 Vorlage**15.–16. Stunde****Thema:** Die fünf „A´s“ und der Schutz der Arbeiterinnen**M 15 (Ab, Sv)** Die fünf A's**Benötigt:** Inspector in Aufsteller
 Auernetze von Mekruphy oder Kaliumnitratdünger oder Pottasche
 Lineal
 Etwa 5 cm x 3 cm große Platten aus Aluminium, Pappe, Papier
 Eventuell Halterungen für die Platten (z. B. von Mekruphy)

Minimalplan

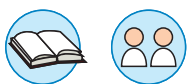
Alle Versuche mit schwach radioaktiven Präparaten und Messgeräten sind abhängig von den unterrichtlichen Möglichkeiten. Hier werden jeweils Arbeitsblätter mit Bildern und Versuchsergebnissen angeboten. Alternativ lassen sich auch Filme dazu online finden.

Die Einheit ist in zwei Teile gegliedert. Auf Wunsch kann auch nur der erste Teil zur biologischen Wirkung genutzt werden und die fachlichen Kompetenzen, die durch den zweiten Teil (Wie gefährlich sind die Uhren heute noch?) abgedeckt werden, alternativ erarbeitet werden. Dann sollte lediglich **M 15** „Die fünf A's und der Schutz der Arbeiterinnen“ aufgegriffen werden, um den ersten Teil zu den „Radium Girls“ abzuschließen. Das Material **M 15** kann auch ohne die Kenntnisse aus den Materialien **M 8** bis **M 14** eingesetzt werden.

Die Versuche zu den Eigenschaften des Calciums können bei Zeitmangel ausgelassen werden, hier kann die reine Textarbeit stattfinden.

VORSCHAU

M 1



Die „Radium Girls“

Für Katherine Schaub, 14, wurde ein Traum wahr. Aufgeregt begann sie im Februar 1917 ihren ersten Arbeitstag bei der US Radium Corporation. Die Firma hatte ihren Sitz in der 3rd Street in Newark (US-Bundesstaat New Jersey) und eine weitere Niederlassung in der Stadt Orange. Was Schaub nicht ahnte: Sie und ihre Kolleginnen hatten einen verhängnisvollen Fehler begangen. „Radium Girls“ wurden die Arbeiterinnen genannt; stolz sprachen



Foto: Daily Herald Archive/Getty Images

sie davon, dass sie im „Atelier“ tätig waren. Dass ihr neuer Job etwas Besonderes, ja Geheimnisvolles war, merkte Katherine Schaub auch, als sie an diesem 1. Februar 1917 in der Dämmerung heimging: Ein goldener Schimmer umgab das Mädchen in der Dunkelheit, ihre Haare schienen zu leuchten. Schaub's Aufgabe im „Atelier“ war es, mit einer selbstleuchtenden Farbe Zifferblätter zu bemalen. Von Uhren, ebenso von Flugzeuginstrumenten, deren Ziffern nachts leuchten mussten. Jede Arbeiterin mischte ihre eigene Farbe an. In einen Tiegel gab sie Wasser, Gummi Arabicum, Zinksulfid und dazu eine besondere Substanz: Radium. Auf geradezu mystische Weise entstand eine grün-weiße, hell leuchtende Farbe. Der Effekt war atemberaubend.

Die Farbe enthielt nur geringe Spuren Radium. Aber die Partikel setzten sich überall fest, auf den Arbeitsplatten, in den Haaren, der Kleidung. Von der Straße aus bemerkten Passanten, dass ein goldener Schein die Frauen in dem Raum umgab, wo sie die Zifferblätter prüften. „Sie sahen wie Engel aus einer anderen Welt aus“, berichtete einer.

Die britische Autorin Kate Moore hat für ihr Buch „The Radium Girls“ monatelang Briefe der Frauen, Gerichtsakten, Tagebücher und Zeitungsartikel zusammengetragen und mit vielen ihrer Verwandten gesprochen. Herausgekommen ist eine einzigartig detaillierte Chronik des Radium-Skandals.

Radium als Potenzmittel

1898 hatten Marie und Pierre Curie das Element Radium entdeckt. Bald schon galt es als „größte Entdeckung der Geschichte“ – und als teuerste Substanz der Welt. Aus einer Tonne Erz gewann man in einem mühsamen Verfahren gut fünf Milligramm Radium. Ein einziges Gramm kostete nach heutigem Wert rund 2,2 Millionen US-Dollar. Eine regelrechte Gier nach dem „flüssigen Sonnenschein“ setzte ein.

Ganz ähnlich wie in den frühen Jahren nach Entdeckung der Röntgenstrahlung ahnte man noch nichts von den gefährlichen Nebenwirkungen. Radium galt – nicht nur in den USA – als lebensretend und gesundheitsfördernd, es schien für alles gut: als Medikament gegen Gicht, Verstopfung oder Heuschnupfen, sogar als Potenzmittel.

„Manchmal glaube ich, dass ich die Funken in meiner Anatomie spüren kann“, sagte ein damaliger Benutzer. Verkauft wurden auch radiumbenetzte Herrenunterhosen und Büstenhalter. Lebensmitteläden verkauften radiumhaltige Butter, Apotheken radiumhaltiges Wasser, das zu ungeahnter Vitalität verhelfen sollte – empfohlene Tagesdosis fünf bis sieben Gläser.

Was leuchtet in der Farbe?

M 2

Die Zifferblattmalerinnen mussten sich die Leuchtfarbe zum Bemalen der Uhren selbst anrühren. Das radiumhaltige Pulver musste mit verschiedenen Stoffen versetzt werden, um eine malbare Farbe zu erhalten. Dies barg die zusätzliche Gefahr, Radium einzuatmen.



© Arma95/wikimedia.org

The Power of Radium at Your Disposal

Twenty-three years ago radium was unknown. Today, thanks to constant laboratory work, the power of this most unusual of elements is at your disposal. Through the medium of Undark, radium serves you safely and surely.

Does Undark really contain radium? Most assuredly. It is radium, combined in exactly the proper manner with zinc sulphide, which gives Undark its ability to shine continuously in the dark.

Manufacturers have been quick to recognize the value of Undark. They apply it to the dials of watches and clocks, to electric push buttons, to the buckles of bed room slippers, to house numbers, flashlights, compasses, gasoline gauges, autometers and many other articles which you frequently wish to see in the dark.

The next time you fumble for a lighting switch, bark your shins on furniture, wonder vainly what time it is because of the dark—remember Undark. *It shines in the dark.* Dealers can supply you with Undarked articles.

For interesting little folder telling of the production of radium and the uses of Undark address

RADIUM LUMINOUS MATERIAL CORPORATION
58 PINE STREET NEW YORK CITY
Factories: Orange, N. J. Mines: Colorado and Utah

UNDARK
Radium Luminous Material
Shines in the Dark

To Manufacturers

The number of manufactured articles to which Undark will add increased usefulness is manifold. From a sales standpoint, it has many obvious advantages. We gladly answer inquiries from manufacturers and, when it seems advisable, will carry on experimental work for them. Undark may be applied either at your plant, or at our own.

The application of Undark is simple. It is furnished as a powder, which is mixed with an adhesive. The paste thus formed is painted on with a brush. It adheres firmly to any surface.

Autor unbekannt, bearbeitet von Struthious Bandersnatch © wikimedia.org (gemeinfrei)

Aufgaben

1. Recherchiere die Zusammensetzung radioaktiver Leuchtfarbe.
2. Beschreibe, welcher Bestandteil leuchtet und welcher Bestandteil die Energie für das Leuchten liefert.



Einbau von Radium in den Knochen

M 6



Knochen ist ein Gewebe, das unter anderem Hydroxylapatit enthält. Die Knochensubstanz bildet die Hauptmasse des Knochens. Sie erhält ihre große Festigkeit durch den Kalkgehalt, der bis zu 70 % ihres Gewichtes betragen kann. Die Knochensubstanz tritt hauptsächlich in zwei Formen auf: der *Substantia compacta* und der *Substantia spongiosa* (schwammartige Substanz).

Die *Substantia compacta* (kompakte Substanz) ist eine harte, weißliche Masse, die in erster Linie einen dicken Mantel um den Markraum der langen Röhrenknochen (zum Beispiel den Oberschenkel- oder Oberarmknochen) bildet. Die spongiöse oder „schwammartige“ Knochensubstanz hingegen besteht aus feinen, zarten Bälkchen, die man in kurzen, platten Knochen (beispielsweise den Wirbelkörpern) findet. Die Knochensubstanz besteht aus Knochenzellen (Osteozyten). Diese sind durch Zellfortsätze miteinander verbunden. Mithilfe von Knochenbildungszellen (Osteoblasten) wird neuer Knochen aufgebaut. Der Abbau des Knochengewebes wird von den sogenannten Osteoklasten durchgeführt.

Quelle: https://www.kinderkrebsinfo.de/erkrankungen/weitere_solide_tumoren/osteosarkom/knochenaufbau_und_funktion/aufbau_der_knochen/index_ger.html

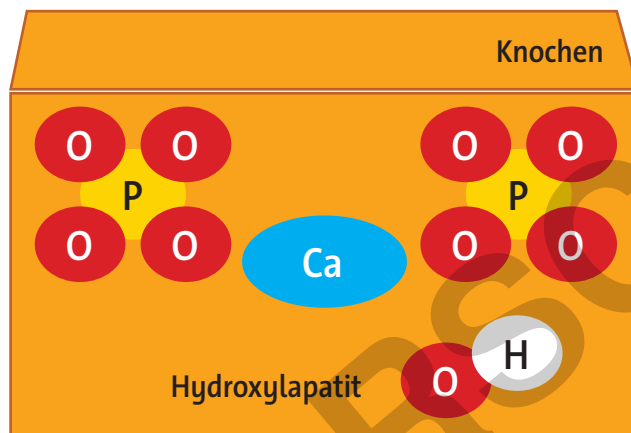


Abbildung: Kerstin Reinecke

Hydroxylapatit: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

Aufgabe

Erläutere anhand der Eigenschaften von Radium und Calcium, wieso Radium anstelle des Calciums in den Knochen eingebaut wird.

Radioaktive Zerfälle – der Würfelversuch

M 14



Radioaktive Zerfälle erfolgen zufällig. Daher kann man Würfeln als Modellversuch für den radioaktiven Zerfall einsetzen. Dabei entspricht jeder gewürfelte „Sechser“ dem Zerfall eines Kerns.

Benötigt: Pro Gruppe 100 Würfel
 Vorlage

Durchführung: **Würfelt** in der Gruppe portionsweise mit den 100 Würfeln. **Legt** alle „Sechser“ übereinander in die erste Spalte auf der Vorlage (erster Wurf). **Würfelt** nun mit den übrigen Würfeln ein zweites Mal. **Legt** alle „Sechser“ übereinander in die zweite Spalte der Vorlage (zweiter Wurf). **Verfährt** so immer weiter, bis alle Würfel verbraucht sind oder Ihr fünfzehn Würfelspalten erhalten habt.

Kennzeichnet nun mit einem Bleistift die Höhe der Würfelspalten entlang der Kante des obersten Würfels. Nun könnt Ihr alle Würfel in den Vorrat zurücklegen.

Legt eine Ausgleichskurve entlang der Markierungen der Würfelspaltenhöhen.

Beschreibt den Verlauf der Kurve.

Ermittelt, nach wie vielen Würfeln sich die Anzahl an „Sechsern“ jeweils halbiert hat.

Stellt eine Gesetzmäßigkeit für die Anzahl der Kerne nach einer bestimmten Zeit **auf**.

Aufgaben

- Berechne**, wie viele Kerne von Ra-226 nach 100 Jahren noch vorhanden sind, wenn zu Beginn 2000 Kerne da sind.
- Bestimme**, nach wie vielen Halbwertszeiten weniger als $\frac{1}{200}$ der Ausgangsmenge eines radioaktiven Stoffes vorhanden sind. Bestimme, nach wie vielen Jahren weniger als $\frac{1}{200}$ des Radium-226 vorhanden ist.
- Berechne**, nach welcher Zeit mehr als 99 % des Rn-222 zerfallen sind.
- Die Zählrate einer Uhr mit radioaktivem Zifferblatt beträgt $1000 \frac{\text{Imp}}{\text{min}}$. In einem 50 m^3 großen Wohnraum ergibt das unter Zuhilfenahme von Umrechnungsfaktoren eine Äquivalentdosisleistung von $0,301 \text{ mSv pro Jahr}$. **Beurteile**, wie groß die Gefahr ist, die von den Uhren mit den radioaktiven Zifferblättern heute noch ausgeht. Nutze dazu deine Erkenntnisse aus den Arbeitsmaterialien **M 8, M 9, M 10, M 11, M 12, M 13** und **M 14**.

