RADIOAKTIVE GEBRAUCHSGEGENSTÄNDE IM UNTERRICHT

RADIOACTIVE COMMODITIES FOR TEACHING

Henning von Philipsborn[1], Rudolf Geipel[2]

[1] Radiometrisches Seminar, Universität Regensburg, 93040 Regensburg
[2] 93128 Regenstauf

Zusammenfassung

Radioaktive Gebrauchsgegenstände sind weit verbreitet. In den meisten Fällen beruht ihre Radioaktivität auf kleinen Gehalten natürlicher Radionuklide in den Rohstoffen. Die Strahlenexposition ist fast immer für den Endbenutzer vernachlässigbar klein, jedoch in einigen Fällen vom Hersteller zu beachten. Radioaktive Gebrauchsgegenstände früherer Herstellung sind meist umgangsgenehmigungsfrei und kostengünstig im Vergleich zu Prüfstrahlern mit künstlichen Radionukliden. Deshalb eignen sie sich hervorragend im Unterricht zur Demonstration und Erklärung der Wirkungsweise verschiedenartiger Messgeräte, Strahlenquellen und Schutzmassnahmen.

Summary

Radioactive commodities are widespread. In most cases, their radioactivity is caused by small concentrations of natural radionuclides in the raw materials. Exposure is negligible for the end user in most cases, but should be considered by the producer in some cases. Most radioactive commodities of past production are exempt and low-priced as compared with commercial artificial sources. Hence, radioactive commodities are very suitable in teaching for demonstrating and explaining the functioning of different types of radiation measuring instruments, sources and protection setups.

Einleitung

Gebrauchsgegenstände (im Sinne der Lebensmittelgesetzgebung) sind dazu bestimmt mit Lebensmitteln oder dem menschlichen Körper in Kontakt zu kommen. Für Umgang, Messung und Bewertung radioaktiver Gebrauchsgegenstände sind die folgenden Aspekte zu beachten:
Expositionspfade: Bestrahlung, Inhalation, Ingestion, Kontamination.
Exponierte: Arbeiter bei Abbau/Produktion, Bevölkerung bei Verteilung/Verwendung.
Kenngrößen: Radionuklid, Konzentration, Menge, Medium, Matrix, Bioverfügbarkeit.
Arbeitsschritte: Probennahme, Messung, Bewertung, Umgang, Entsorgung.
Strahlungsarten: Alpha, Beta, Gamma, meist gemischt, da natürliche Zerfallsreihen.

Rein pragmatisch unterscheiden wir 2 Hauptgruppen: technische Produkte und natürliche Materialien. Technische Produkte unterscheiden wir nach dem Hauptradionuklid vierfach: Uran; Radium und Folgeprodukte; Thorium; künstliche Radionuklide. Natürliche Materialien unterscheiden wir dreifach: Einzelobjekte; Massengüter, Rückstände. Für die Verwendung radioaktiver Gebrauchsgegenstände im Unterricht zur Demonstration und Erklärung verschiedenartiger Messinstrumente, Strahlenarten und -quellen sowie Schutzmassnahmen werden erprobte Beispiele gegeben.

1. Technische Produkte mit Uran

Die Färbung von **Glas** und Glasuren durch Uran (chemisches, d.h. radiumfreies) ist dessen erste Verwendung nach seiner Entdeckung durch Klaproth 1789 und lange vor der Entdeckung der Radioaktivität durch Becquerel 1896. Gelbes und grünes Uranglas ist wegen seiner kräftigen Fluoreszenz im Ultraviolett-Anteil des Sonnenlichtes sehr beliebt. Der Urangehalt beträgt 0,1-1,2 Gewichtsprozent Uran. 0,1 % entspricht 12,3 Bq U-238 pro g Glasmasse. Trotz scheinbar hoher "spezifischer Aktivität" (im Sinne der Strahlenschutzverordnung) ist Uranglas völlig ungefährlich, die Herstellung heute aber verboten, um die herstellenden Arbeiter zu schützen.

Glasuren sind glasartige, dünne Überzüge, die **auf keramische Körper** geschmolzen werden, um deren Oberfläche Dichte, Härte, Glätte und Farbe zu verleihen. Mit 10-20 % Uran lassen sich schönste, leuchtend rote, warm orangefarbene, zitronengelbe, hell und dunkelbraune, tiefschwarze, ja auch grüne Glasuren herstellen. Die Farbe der erstarrten Glasurschicht wird bestimmt durch die chemische Zusammensetzung der Glasur, die Art und Menge der färbenden Stoffe, die Brenntemperatur und den Temperaturverlauf, die Ofenatmosphäre (oxidierend oder reduzierend) und die Auftragstärke. Um Arbeiter und Künstler zu schützen, ist die Verwendung von uranhaltigen Glasuren heute verboten. Im Gebrauch ist uranglasierte Keramik nur bei Kontakt mit sauren Lebensmitteln gefährlich, da bei längeren Einwirkung Anlösung und Kontamination eintreten kann. Uranglasierte Wandfliesen sind wegen der erhöhten Ortsdosisleistung im Raum zu vermeiden, wenn sie großflächig (m^2), etwa in Küche oder Bad, angebracht sind. Bei etwaigen Funden ist das Radiometrische Seminar der Universität Regensburg zu benachrichtigen, das eine kostenlose Entfernung und konservatorische Entsorgung durchführt.

Die schwarze **Farbe** von Veduten auf altböhmischem Porzellan enthält Pechblende (mineralisches, d.h. radiumhaltiges Uran). Auf heutigem Porzellan mit Weinlaub und ähnlichem Dekor der Manufakturen Meißen, Rosenthal und Hutschenreuther sind die dünnen schwarzen Striche in und zwischen den grünen Blättern Uranschwarz. Die schönen Farben von beliebten Porzellantieren - Hunde, Rehe u. a. m. - wären wegen des Scharffeuerbrandes bei 1400° C ohne Uran nicht möglich gewesen.

Uranmetall. Das natürliche Isotopenverhältnis von Uran beträgt 99,275 % U-238 und 0,720 % U-235. Spaltbares Uran für Kernwaffen enthält ca. 3 % U-235. Bei der Anreicherung fällt die 6-8-fache Menge abgereichertes Uran mit ca. 0,35 % U-235 und 99,65 % U-238 an. Uran hat eine Dichte von 18,8 g/cm^3. Deshalb wird an U-235 abgereichertes Uran (DU, depleted uranium) für Abschirmungen, Ausgleichsgewichte (Flugzeuge, Boote) und panzerbrechende Munition verwendet. Irrig ist die weit verbreitete Meinung, abgereichertes Uran sei wesentlich weniger radioaktiv als Uran im natürlichen Isotopenverhältnis. Richtig ist nur, dass die Gesamtalpha-Aktivität der Uranisotope im abgereicherten Zustand nur etwa 60 % derjenigen im natürlichen Zustand ist. Die Beta- und Gamma-Aktivität von Thorium-234 und Protactinium-234m erreicht wegen der kurzen Halbwertszeiten von 24,1 Tagen bzw. 1,2 Minuten dagegen schon nach 4 Monaten 99% der Aktivität von Uran-238, d.h. die gleiche in beiden Zuständen. Es sind die Aktivitäten von Th-234 und Pa-234m, welche die Gamma-Strahlung der Ortsdosisleistung verursachen. Für Uran als Schwermetall wird die Chemotoxizität unter Umständen kritischer bewertet als die Radiotoxizität.

2. Technische Produkte mit Radium, Radon und Radonfolgeprodukte

Leuchtfarben: Radiumverbindungen als Zusatz zu dotiertem Zinksulfid oder anderen Phosphoren liefern Leuchtfarben, wie sie lange Zeit für Uhrenziffernblätter und Instrumentenanzeiger, z.B. beim Kompass, verwendet wurden. Nach schwersten Gesundheitsschäden bei den Ziffernblatt-Malerinnen durch Inkorporation von Radium wurden radiumhaltige Leuchtfarben verboten. Radium, chemisch dem Calcium ähnlich, wird in die Knochen eingebaut. Beim Umgang mit radiumhaltigen Farben muss eine Kontamination oder gar Inkorporation auf jeden Fall vermieden werden.

Ein historisch interessantes Instrument ist das **Spinthariskop**. Nach guter Adaption der Augen an Dunkelheit sind die Alphastrahlen eines starken Radiumpräparates unter einer Lupe durch einzelne Lichtblitze im Zinksulfid sichtbar. Dies wurde erstmals von Crookes 1903 und gleichzeitig von Giesel, Elster und Geitel beobachtet. Die zeitlich unregelmäßige Abfolge der Szintillationen war die primäre Beobachtung, die zur Erkenntnis des statistischen Charakters des radioaktiven Zerfalls führte.

Radonbecher: Bald nach der Entdeckung der Radioaktivität fand man an mehreren Orten, die schon lange für heilkräftiges Wasser bekannt waren, dass dieses ungewöhnlich hohe Konzentrationen von Radon enthält und man setzte die beiden Eigenschaften in Verbindung. Um radonhaltiges Wasser unabhängig von einer solchen Quelle für Eigengebrauch zum Trinken herzustellen, wurden noch bis in die 60er Jahre so genannte Radon- oder Radiumbecher hergestellt und verkauft. Sie enthalten Radium in nicht wasserlöslicher Form, das in umhüllendes Wasser Radon abgibt. Vom Erwerb in Ebay oder anderswo wird abgeraten, da die ordnungsgemäße Entsorgung kostspielig ist.

Für verschiedene Typen von **Radonbädern** siehe [1] sowie zur therapeutischen Wirksamkeit, biologischen Wirkungsmechanismen und vergleichender Risikobewertung die Schrift "Radon als Heilmittel", 2005, 112 Seiten, erhältlich von RADIZ Schlema oder im Radonbad Sibyllenbad, Neualbenreuth, Landkreis Tirschenreuth, das einen Besuch wert ist. Siehe auch H. von Philipsborn et al., in Strahlenbiologie und Strahlenschutz, 32. Jahrestagung des FS, Kitzingen 2000, Seiten 354-363.

Blitzableiter: In der Westschweiz und Frankreich wurden Blitzableiter eingesetzt, bei denen ein Alphastrahler wie Radium-226 die Luft um die Spitze herum ionisiert, um den Blitz auf die Spitze zu lenken. Ein erhöhte Wirksamkeit wurde nicht nachgewiesen. In der Schweiz wurde von den Behörden eine Rückhol- und Entsorgungsaktion durchgeführt, die für die Hauseigentümer vorbildlich gebührenfrei war.

Luft- und Wasserfilter: In Wasserwerken sammeln sich bei hohem Wasserdurchsatz und über längere Zeit selbst bei niedrigen Konzentrationen (< 100 Bq Radon/L Wasser) erhöhte Aktivitäten der Radonzerfallsprodukte in den Filtern zur Raumlüftung und in Sand-, Kies- und Filterbetten zur Wasseraufbereitung, in letzteren auch Radium, selbst bei nur mBq Ra/L Wasser. Kurzlebiges Blei-214 und Bismuth-214 geben harte Gammastrahlung ab und erhöhen die Ortsdosisleistung in der Nähe der Filter. Bei dem langlebigem Blei-210 (Gammastrahlung nur 46 keV) und den Ra-Isotopen sind Kontaminationen zu vermeiden. Bei der Entsorgung der mit radioaktiven Rückständen belasteten Filter sind die Regelungen der Strahlenschutzverordnung (Kapitel 3 §§ 97f) einzuhalten.

3. Technische Produkte mit Thorium

Glühstrümpfe (auch Auerstrumpf genannt) für Gasbrenner und Gasleuchten (Camping-Artikel) enthalten in das Gewebe imprägniert Thoriumnitrat, das durch Abbrennen zu Thoriumoxid wird. Letzteres (Schmelzpunkt 3220° C) verbessert die Leuchtkraft der Flamme und verleiht dem verglühten Gewebe die notwendige mechanische Stabilität. Thorierte Glühstrümpfe sind heute aus dem Verkehr genommen, sie enthielten unter Umständen zudem das hochtoxische Beryllium.

Eine verbesserte Zündfähigkeit haben **Schweißelektroden** aus Wolfram mit 0,1 - 4,2 % Thorium. Schweißarbeiten sind unter einem Abzug durchzuführen. Ein älterer Mechaniker der Physik-Werkstatt der Universität Regensburg erzählte mir, als ich Elektrodenreststücke zur Vorführung erbat, dass sein Lehrmeister vor 30 Jahren, als es noch keine Vorschriften gab, den Lehrlingen sagte, "mit Wolframelektroden schweißen ist nichts für euch Junge, Gefährliches mache nur ich selbst". Ein vorbildlich verantwortungsvoller Meister!

Thorierte Wolfram-**Glühkathoden (**beheizte Kathoden, negativ geladene Elektroden) in Elektronenröhren erlauben hohe Betriebstemperaturen mit Abgabe schneller Elektronen bei verringerter Austrittsarbeit. Beschäftigte der Lampenindustrie, die thorierte Bauteile herstellen oder verarbeiten, werden vom Strahlenschutz überwacht, zum Teil mit Ausscheidungsanalysen.

Gewisse im Flugzeugbau (Motorengehäuse) verwendete Magnesiumlegierungen enthalten bis 3 % Thorium, das die mechanischen Eigenschaften verbessert. Die Aktivität frisch hergestellter thoriumhaltiger **Legierungen** ist anfangs sehr klein und steigt über die Jahre. Dies versteht sich aus den Halbwertszeiten von Th-232 (14,1 Ga) und seiner Zerfallsprodukte Ra-228 (5,75 a), Ac-228 (6,1 h) und Th-228 (1,9 a).

Thoriumfluorid-**Dünnschichten** dienen zur optischen und mechanischen Vergütung von optischen Bauelementen (Linsen und Spiegeln) aus Glas und auch aus Germanium, letztere von Nachtsicht-Infrarotgeräten, z.B. aus ausgemusterten NATO-Panzern.

Was die Natur durch Nachbarschaft im Periodensystem der chemischen Elemente miteinander vermählt hat (Ce und Th stehen im Periodensystem untereinander), kann der Mensch nur schwer trennen. So ist das Cer-Mineral Monazit $CePO_4$ stets thoriumhaltig, so auch chemisches Ceroxid und gewisse mit diesem gelb gefärbte ältere **Gläser** (Ziergläser), aus der Zeit vor 1950, als die chemische Trennung unvollständig war. Gläser mit bis 28 % Thoriumoxid-Gläser wurden zeitweise für Kamera-Linsen (Kodak) verwendet.

Thorotrast war ein 1929-1950 in der Röntgendiagnostik, speziell der Angiographie (Darstellung der Blut- und Lymphgefäße) verwendetes Kontrastmittel, eine 25 % kolloidale Lösung von Thoriumoxid. Weltweit erhielten es mehrere Zehntausend Patienten. Strahlenschäden der Betroffenen sind Gegenstand mehrere internationaler Langzeit-Studien. Thorium wird in der Leber, Milz und Knochenmark abgelagert.

4. Technische Produkte mit künstlichen Radionukliden

In **Rauch- und Feuermeldern** verändern eindringende Brandgase den Gleichgewichtszustand eines Spannungsteilers, bestehend aus 2 Ionisationskammern (Mess- und Vergleichskammer). Die Luft in den Kammern wird durch eine radioaktive Quelle ionisiert. Früher waren es 72 µCi (2,66 MBq) Americium-241 (Halbwertszeit 433 a). Diese können bei nicht ordnungsgemäßer Entsorgung im Bauschutt ein Problem darstellen. Später genügten 0,8 µCi (30 kBq) und heute 0,075 µCi (2,8 kBq) Am-241, eine Reduktion um den Faktor 1000.

Betalights (Traser) enthalten Tritium, H-3, bei neuerer Bauart mit einem Leuchtstoff eingeschlossen in kleinsten Borsilikatglas-Kügelchen. H-3, Halbwertszeit 12 a, ist ein Betastrahler mit maximaler Energie von 19 keV. Der Verkauf ist in Deutschland beschränkt. Bei älteren Uhren mit Plastikgehäuse und ohne Einschluss von Tritium in Borsilikatglas gibt es Ausdiffusion. Betalights werden als Angellichter verwendet.

Ionisatoren, Antistatika, verwenden Alphastrahler, meist Am-241, zur Ionisation der Luft, z. B. in der Umgebung von schnell laufenden Bändern aus isolierenden Materialien, um deren elektrostatische Aufladung mit Funkenschlag und Brandgefahr zu verhindern.

Thermoelektrische Generatoren und Radionuklidbatterien nutzen die beim spontanen radioaktiven Zerfall entstehende Wärme im thermoelektrischen Effekt (Seebeck-Effekt). Als Wärmespender dient Sr-90 in Strontiumkeramik. Leistungsstarke Generatoren etwa in Raumsonden verwenden Plutonium-238. Wie schon geschehen, stellen beim Absturz derart ausgerüsteter Sonden oder gar Satelliten die Bruchstücke und die Flächenkontamination durch Verdampfung eine Gefahr dar. Es bestehen Suchprogramme für Flug- und Fahrzeuge mit empfindlichen Strahlungsdetektoren.

Starter für Leuchtstofflampen verwenden Krypton-85 haltiges Füllgas. Nach einem Infoblatt des Zentralverbandes Elektrotechnik und Elektronikindustrie 01/2002 ist seit August 2001 die Aktivitätsgrenze 10 kBq/Stück und der Grenzwert der Dosisleistung 1 mSv/h in 10 cm Abstand.

Als radioaktive Gebrauchsgegenstände, allerdings nur für einen begrenzten Personenkreis, können auch die **Prüf- und Kalibrierstrahler** für Strahlungsmessgeräte gelten. Die Freigrenzen für anzeigefreien bzw. genehmigungsfreien Umgang sind durch die Strahlenschutzverordnung von 2001 gesenkt worden. In Schulen führt dies oft dazu, dass mit Radioaktivität überhaupt nicht mehr experimentiert wird, sicher keine wünschenswerte Entwicklung. Der **Experimentierkoffer** Philion des Radiometrischen Seminars der Universität Regensburg ist eine Problemlösung.

Der Strahlenschutzverordnung unterliegen radioaktive Quellen als **Nutzstrahler** zur kontinuierlichen berührungslosen Messung der Dicke laufender, heißer Bänder (Glas, Metall, Kunststoff); zur Messung der Füllstandshöhe von Behältern von außen und der Feuchte von Rohstoffen; zur Grobstrukturanalyse (Radiographie) z.B. von Schweißnähten; zur medizinischen Diagnostik und Therapie; zur Sterilisation von Operationsbestecken u.a.m. Dafür übliche Strahler sind Cobalt-60, Iridium-192 und Cäsium-137 mit Aktivitäten bis kCi. International und in der Technik auch in Deutschland ist der Gebrauch von Curie (1 Ci = $37 \cdot 10^9$ Bq = 37 GBq) noch üblich.

5. Natürliche radioaktive Materialien - Einzelobjekte

Radioaktive **Minerale** sind keine eigentlichen Gebrauchsgegenstände, auch wenn sie von zahlreichen Freunden der Mineralogie und Sammlern wegen ihrer oft schönen Farben und ausgeprägten Kristallformen geschätzt werden. Zu Gebrauchsgegenständen gehören aber Minerale als **Edelsteine,** die aus drei Gründen radioaktiv sein können: 1. mit Th oder Uran als konstitutives Element. 2. mit U oder Th als akzessorisches Element. 3. ohne U oder Th, doch radioaktiv durch aktivierende Bestrahlung. Zur 1. Gruppe gehört Ekanit, ein seltenes Ca-Th-Silikat, $Ca_2Th[Si_4O_{10}]_2$, das in grünlicher, klar durchsichtiger Form mit hoher Brechzahl, geschliffen gesammelt wird. Zur 2. Gruppe gehört Zirkon, zur 3. Gruppe gehören gewisse Edelsteine.

Zirkon, Zirkoniumsilikat $ZrSiO_4$, ist wenn klar durchsichtig, leicht grün, gelb, braunrot gefärbt, wegen seiner hohen Härte, Brechzahl und Dispersion, im Brilliantschliff ein beliebter Edelstein. Zirkon enthält wegen der gleicher Wertigkeit 4+ und nahezu gleichem Ionenradius von Zirkonium und Uran fast immer Uran. Dieses liegt im Zirkon im radioaktiven Gleichgewicht mit seinen Folgeprodukten vor, insbesondere Ra-226 und dem hart gammastrahlenden Blei-214 und Bismuth-214. Die Tiefenpersonendosis eines Zirkons kann somit hoch sein. Für Fingerringe sollten nur nicht- oder schwach strahlende Steine verwendet werden, letztere auf metallischer Unterlage (Silber).

Zur Verbesserung ihrer Farbqualität werden zahlreiche uran- und thoriumfreie Edel- und Halbedelsteine bestrahlt. So wird farbloser Bergkristall SiO_2 durch einige kGy Gammastrahlung zum Rauchquarz, Morion. Viele von Esoterikern geschätzte "Heilsteine", von "Mutter Natur mit Heilenergie geladen" sind solche mit Kernstrahlung präparierten Steine, die allerdings nicht radioaktiv sind. Die Gammaenergie von Co-60 und Cs-137 reicht nicht zur **Aktivierung.** Künstlicher Radioisotope können allerdings durch Bestrahlung mit Neutronen entstehen, wenn aktivierbare Isotope auch nur in Spuren enthalten sind, was oft der Fall ist.

Goldwaschsand ist radioaktiv durch die Schwerminerale Zirkon und Monazit $CePO_4$. **Kaolin**, Hauptmineral Kaolinit $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$, enthält als Verwitterungsprodukt von Granit immer Spuren von Zirkon und Monazit. Mit einer hochempfindlichen Alphasonde kann im Papier Radioaktivität wegen des Füllstoffs Kaolin nachgewiesen werden, insbesondere in Glanzpapier. Auch **Katzenspreu** aus saugfähigen Tonmineralen, insbesondere Montmorillonit, ist je nach Provenienz aus gleichem Grund schwach radioaktiv (eigene Messungen). So auch Luvos, orale "Heilerde", ein Löss. In China wurden in Erdwohnungen im Löss hohe Thoronkonzentrationen gemessen.

Fossilien sind oft schwach radioaktiv, syngenetisch durch Einlagerung von Uran schon bei der Knochenbildung der Tiere, so bei Haifischzähnen in sedimentären Phosphaten, oder epigenetisch in einem eiszeitlichen Wisentknochen. Dessen Kohlenstoffgehalt bringt im Grundwasser gelöstes 6-wertiges Uran durch Reduktion 4-wertiges unlösliches Uran zur Fällung und Ein- oder Anlagerung im Knochen.

Fango war ursprünglich in Italien der Name für den (radioaktiven) Schlamm gewisser Quellen. In der Physikalischen Therapie wird heute für Wärmepackungen als Fango ein fein gemahlenes vulkanisches Gestein mit hoher Wärmekapazität verwendet, so ein Phonolit vom Kaiserstuhl, dessen schwache, ungefährliche Radioaktivität vom Mineral Götzenit, einem uranhaltigen Ti-Zr-Silikat stammt (eigene Messungen).

6. Natürlich radioaktive Materialien - Massengüter

Die Radioaktivität, falls vorhanden, von Kohle, Schwarzschiefer, Phosphorit beruht auf einer **chemischen Einzigartigkeit von Uran**. Dessen beide Wertigkeitsstufen 4^+ und 6^+ unterscheiden sich in ihrer Löslichkeit in Wasser. Unlöslich ist 4-wertiges Uran, so in primären Uranmineralen Pechblende UO_2-U_3O_8, Brannerit $(U,Th,Ca,Y,Ce)(Ti,Fe)_2O_6$ und Coffinit $U[SiO_4]$. Löslich ist 6-wertiges Uran, so in sekundären Uranmineralen Autunit u.a. mit der Uranylgruppe $[UO_2]^{2+}$, siehe bei Granit. Eine Oxidation und Mobilisierung findet durch sauerstoffhaltige Wässer statt, eine Reduktion und Fixierung durch kohlenstoffhaltige Materialien, etwa organischen, d.h. pflanzlichen oder tierischen Ursprunges, so Kohle, Schwarzschiefer, Phosphorit.

Der Urangehalt von **Kohle** ist sehr unterschiedlich, schwach etwa in einer Probe von Peissenberg, Oberbayern, einem Brikett aus Mitteldeutschland, sehr stark in einer Probe von Freital bei Dresden. Ein Durchsatz großer Massen auch mit kleinen Konzentrationen ergibt in konzentrierenden Reststoffen wie Asche und Flugstaub (siehe Ziffer 7) hohe Aktivitäten bzw. großflächige Kontaminationen.

Schwarzschiefer wurde in Schweden im 19. Jahrhundert wegen seines Schwefelgehaltes zur Alaungewinnung für die Gerberei abgebaut, dann auch zur Ölgewinnung geröstet, und um 1960 bei Ranstadt kurzzeitig für Uran abgebaut. Die mitteldeutschen Schwarzschiefer von Ronneburg wurden dafür bis 1990 abgebaut. Die Rückstände der Ölschieferröstung dienten in Schweden von 1920-1970 zur Gewinnung eines Leichtbausteins (Ytong). Dessen Radiumgehalt und Porosität ist der Grund, dass 10 % der Häuser in Schweden ein Radonproblem haben, ein echtes, mit Konzentrationen über 500 Bq/m^3 und Ortsdosisleistung ODL von 500 nSv/h. Der Beitrag von Radon zur ODL ist nach eigenen Messungen ca. 1 nSv/h pro 100 Bq/m^3.

Beim chemischen Aufschluss von **Phosphorit** mit Schwefelsäure zur Herstellung von Düngemitteln geht Radium (im Phosphorit im radioaktiven Gleichgewicht mit Uran) in den Gips (**Phosphogips),** einem Material für Innenausbau.

Schlackensteine aus Mansfelder Kupferschlacke verdanken ihre Radioaktivität der Tatsache, dass die Kupfererzminerale an Schwarzschiefer (siehe oben) gebunden sind, und bei der Verhüttung die meisten Radionuklide in die Schlacke gehen.

Granit verdankt seine Radioaktivität dem Kali-Feldspat Orthoklas $K[AlSi_3O_8]$ mit K-40, den akzessorischen Schwermineralen und den sekundären Uranmineralen, diese oft durch Fluoreszenz erkennbar, z. B. die gelben Minerale Autunit $Ca[UO_2/PO_4]_2 \cdot$ 10-12 H_2O und Uranocircit $Ba[UO_2/PO_4]_2 \cdot$8-10 H_2O, nicht jedoch der grüne Torbernit $Cu[UO_2/PO_4]_2 \cdot$10-12 H_2O. Ein roter finnischer Granit, Handelsname Balmoral, beliebt für Küchentischplatten, ist deutlich thoriumhaltig, aber ungefährlich.

Die Zirkoniumminerale Zirkon $ZrSiO_4$ und Baddeleyit ZrO_2 mit Uran sind als **Zirkonsande** wegen ihrer hohen Dichte von 4,6 und 5,7 g/cm^3 (Vergleich Quarz SiO_2 2,6 g/cm^3), ihrer guten Wärmeleitfähigkeit, sowie ihrer chemischen und mechanischen Stabilität unverzichtbare Rohstoffe der Feuerfestindustrie und finden Verwendung als Gießereisande für Schreckguss. Zirkonmehl (feinstgemahlener Zirkonsand) ist Trübungsmittel für schön weiß glänzende Fliesen-Glasur, deren Radioaktivität mit einem Geiger-Müller-Zähler gerade noch messbar ist.

7. Natürlich radioaktive Materialien - Rückstände

Die eingangs gegebene Definition von Gebrauchsgegenständen als Gegenstände, mit denen ein Kontakt mit oder eine Einwirkung auf Menschen nicht ausgeschlossen werden kann, sondern sogar zum normalen beruflichen Umfeld gehören kann, gilt auch für eine Reihe von Rückständen. Eine Gefährdung durch Radioaktivität ist aber durch Grundregeln des allgemeines Arbeitsschutzes vermeidbar, nur in wenigen Fällen ist unter Umständen der Strahlenschutz gefordert.

Wenig bekannt ist, dass auch die Gewinnung von **Erdöl** und **Erdgas** mit Freisetzung von Radioaktivität und dessen Konzentrierung an gewissen Arbeitspunkten verbunden ist. So ist das mit Erdöl und Erdgas an die Oberfläche gebrachte so genannte Förderwasser oft barium- und sulfatarm und dann radiumhaltig. Bei Kontakt mit Betriebswasser, normalerweise barium- und sulfathaltig, fällt Radium in Rohrverkrustungen aus. Bei zu starker Verengung der Rohre müssen diese ersetzt werden. Beim Rückführen der Rohre in den Schmelzofen geht Radium in die **Schlacke** und Blei-210 in den **Flugstaub**. Die eventuell radioaktiven Rückstände bei der Kohleverbrennung wurden schon unter Ziffer 6 erwähnt.

Auch **Wasserrohre** können radiumhaltige Verkrustungen aufweisen. Wasser aus einer solchen Rohrleitung, das nach mehrtägiger Nichtbenutzung des Wasserhahns eigentlich "radon-tot" sein sollte, hat dann eine höhere Radonkonzentration als frisches, nicht abgestandenes Wasser. Radioaktive Rückstände bei der Wasseraufbereitung (Luft und Wasserfilter) wurden schon unter Ziffer 2 erwähnt.

Bei der Aufbereitung von Kaolin für die Porzellanindustrie werden Schwerminerale, da sie die Weiße stören, soweit möglich durch Elektro- und Magnetscheider abgetrennt und in der **Magnetscheiderwolle** konzentriert. Dies hat schon dazu geführt, dass solche Stahlwolle am Schrottplatz wegen Radioaktivität zurückgewiesen wurde.

Das Aluminiumerz Bauxit ist ein Gemenge verschiedener Aluminiumminerale und aluminiumhaltiger Tonminerale, durch dreiwertiges Eisen meist rötlich bis gelb gefärbt. Wegen der großen Adsorptionsoberflächen der Tonminerale können ansehnliche Gehalte von Thorium und Uran gebunden sein. Diese sind dann im Rückstand des Erzaufschlusses, im so genannten **Rotschlamm** konzentriert (200 Bq/kg Ra-224, 120 Bq/kg Ra-226). Die Eisenoxide verleihen ihm tiefes schönes Rot. Rotschlamm ist somit ein idealer Zuschlagstoff für die Ziegelherstellung. Im Inneren von Ziegelhäusern wurde schon die vierfach erhöhte Gamma-Ortsdosisleistung im Vergleich zu außen gemessen. Aus dicht gebrannten Ziegeln entweicht aber kaum Radon, bzw. Thoron. Rotschlamm diente auch zur Rotfärbung von Sportplätzen.

Ein Rückstand und Gebrauchsgegenstand besonderer Art ist der **Hausputz** einiger verfallender und auch renovierter Häuser im heutigen Radonbad Jachymov, der alten ehemaligen Bergbaustadt St. Joachimsthal. In den sandarmen Gegend nutzte man im 19. Jahrhundert die radiumhaltigen Rückstände der Uranfarbenfabrik als Zuschlag im Hausputz. Aus diesen Rückständen gewann Marie Curie das von ihr entdeckte Element Radium. Eine Untersuchung des Putzes zeigt, dass der Urangehalt sehr niedrig ist, der Radiumgehalt deutlich höher. Das Uran wurde für die Uranfarbenherstellung extrahiert.

Demonstrationen und Erklärungen im Unterricht

Einige der beschriebenen radioaktiven Gebrauchsgegenstände sind hervorragend geeignet zur Demonstration und Erklärung der Funktionsweise verschiedenartiger Strahlungsmessgeräte, Strahlenarten und -quellen sowie Schutzmassnahmen. In Vorträgen verwenden wir die Messgeräte "RadEye PRD" und "Inspector", siehe Abbildungen für nähere Angaben.

Detektoren mit Gasfüllung wie Geiger-Müller-Zähler und Proportionalzähler und Detektoren aus Festkörpern wie Natriumjodid und Plastik haben für verschiedene Strahlenarten und Strahlenenergien (Messproben) ganz unterschiedliche Effizienz. Liefert das Messgerät eine Angabe der Zählrate [ips] und eine Angabe der Dosisrate [µSv/h], so erhält man als Quotient der zeitlichen Mittelwerte der beiden Größen einer Probe den Kalibrierfaktor k des Gerätes für diese Probe. Die durch Messungen unserer Objekte erhaltenen Werte in der Tabelle 1 offenbaren: Beim "Amateurgerät" Inspector ist k ein fest eingestellter, konstanter Faktor und die "Dosisrate" ist nur mit viel Erfahrung und Vorkenntnis zu genießen. Beim neuen "Profigerät" Radeye PRD mit optimierter Energiekompensation ist k, wie physikalisch begründet und zu erwarten, stark abhängig von der Strahlenenergie der verschiedenartigen Messproben. Dies führt zu vernünftigen Werten für die Dosisrate wie der Vergleich mit einem älteren, doch mit neuestem bayerischem Eichschein versehenem Gerät Szintomat zeigt.

Auch das unterschiedliche Verhalten von Strahlenarten (Gegenständen) gegenüber Abschirmungen oder Abstandsänderungen bei vergleichenden Messungen mit verschiedenen Gerätetypen sind erkenntnisreich. Natürliche Gegenstände mit Radium in emanierender Matrix eignen sich für Experimente mit Radon und Radonfolgeprodukten in Luft, Wasser oder adsorbiert an Aktivkohle[4]. Uranglasierte Fliesen und andere flache radioaktive Gebrauchsgegenstände liefern schöne Autoradiographien und demonstrieren den hohen Wert der Ortsauflösung dieser klassischen Nachweismethode. So wurden 1986 "Heiße Teilchen" im Chernobyl Fallout [5].in Bayern erstmals mit Filmmaterial eines kristallographischen Röntgenlabors nachgewiesen.

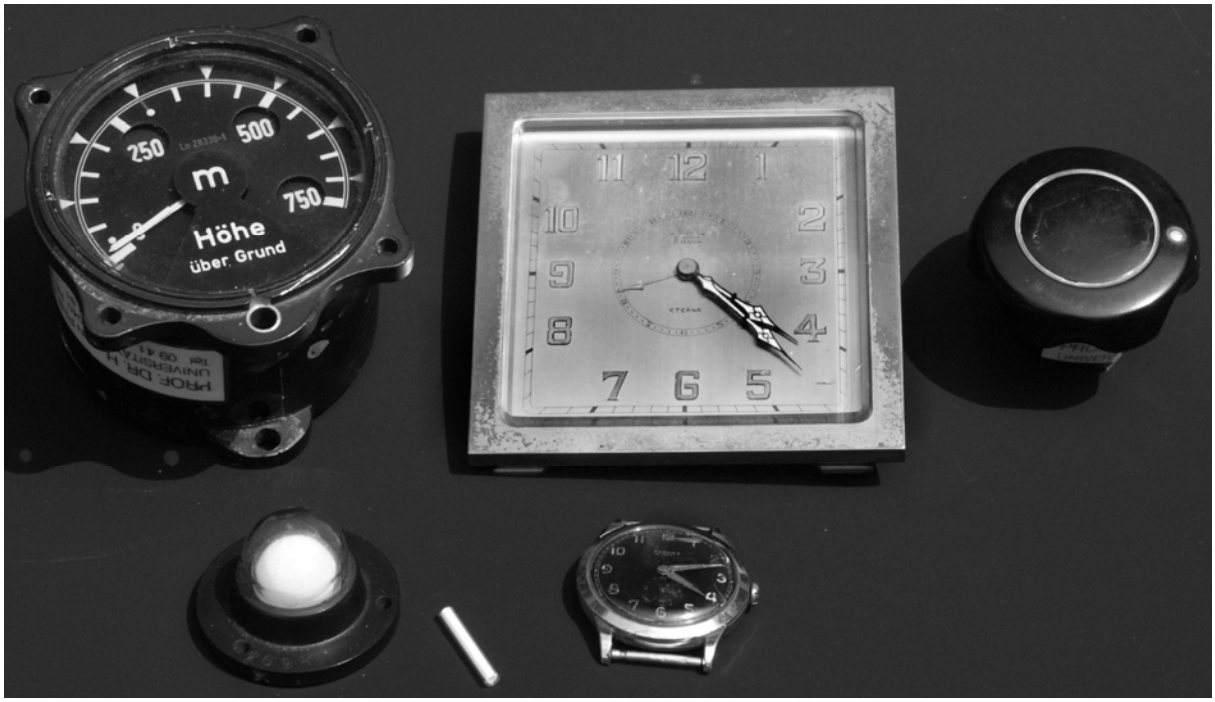
Literatur

[1] H. von Philipsborn, R. Geipel: Radioaktivität und Strahlungsmessung, 8. Auflage, 2006. Bayerisches Staatsministerium Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.
[2] H. von Philipsborn, R. Geipel: Uranfarben Urangläser Uranglasuren - radiometrisch, technisch, historisch. 159 Seiten, 287 farbige Abbildungen. Schriftenreihe Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern Theuern, Band 46, 2005.
[3] R. Hochleitner, H. von Philipsborn, K. L. Weiner, K. Rapp: Minerale - Bestimmen nach äußeren Kennzeichen. Schweizerbart. Stuttgart 1996.
[4] H. von Philipsborn, R. Geipel: Neuartige Schul- und Demonstrationsexperimente zur Radioaktivität. Physikalische Blätter 55 (1999) 67-69.
[5] H. von Philipsborn, F. Steinhäusler: Hot Particles from the Chernoybl Fallout. Schriftenreihe Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern Theuern, Band 16, 1988.
[6]: Anthropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden. Bayerisches Staatsministerium Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. 1991 - 1995.
[7] P. Frame, W. Kolb: Living with radiation. Syntec, 3rd printing 2004.
[8] Oak Ridge National Laboratory: Systematic radiological assessment of exemptions for source and by-product materials. NUREG-1717, Washington 2001.

Abbildungen zum vorhergehenden Text

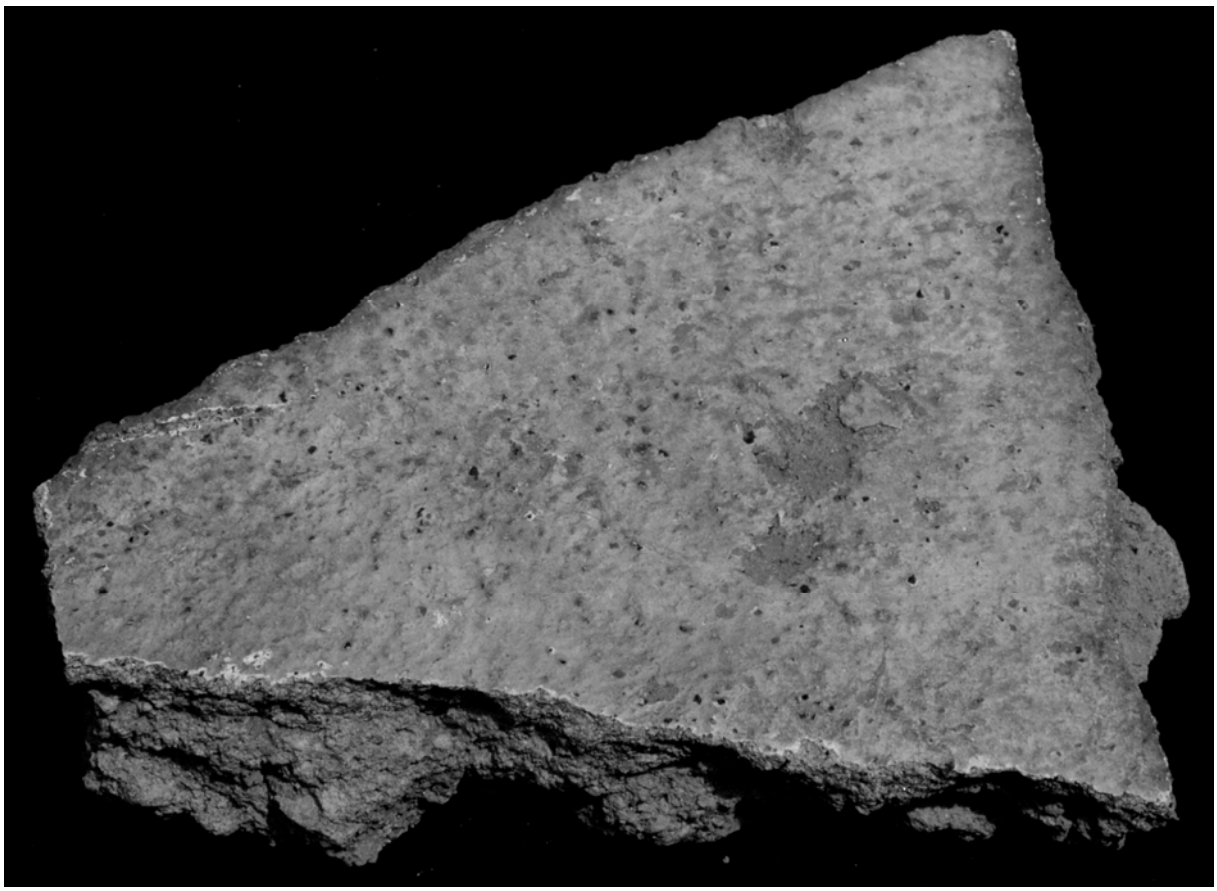
(nicht in der Reihenfolge des Textes)

Glühstrümpfe und Schweißelektroden



Instrumente, Uhrenziffernblätter, Einstellungsknöpfe, Betalight

Luvos Heilerde



Hausputz Jachymov/Tschechien (früheres St. Joachimsthal)

Messung des Hausputzes mit Szintillationszähler Radeye PRD (NaI-Kristall) und Endfensterzählrohr Inspector

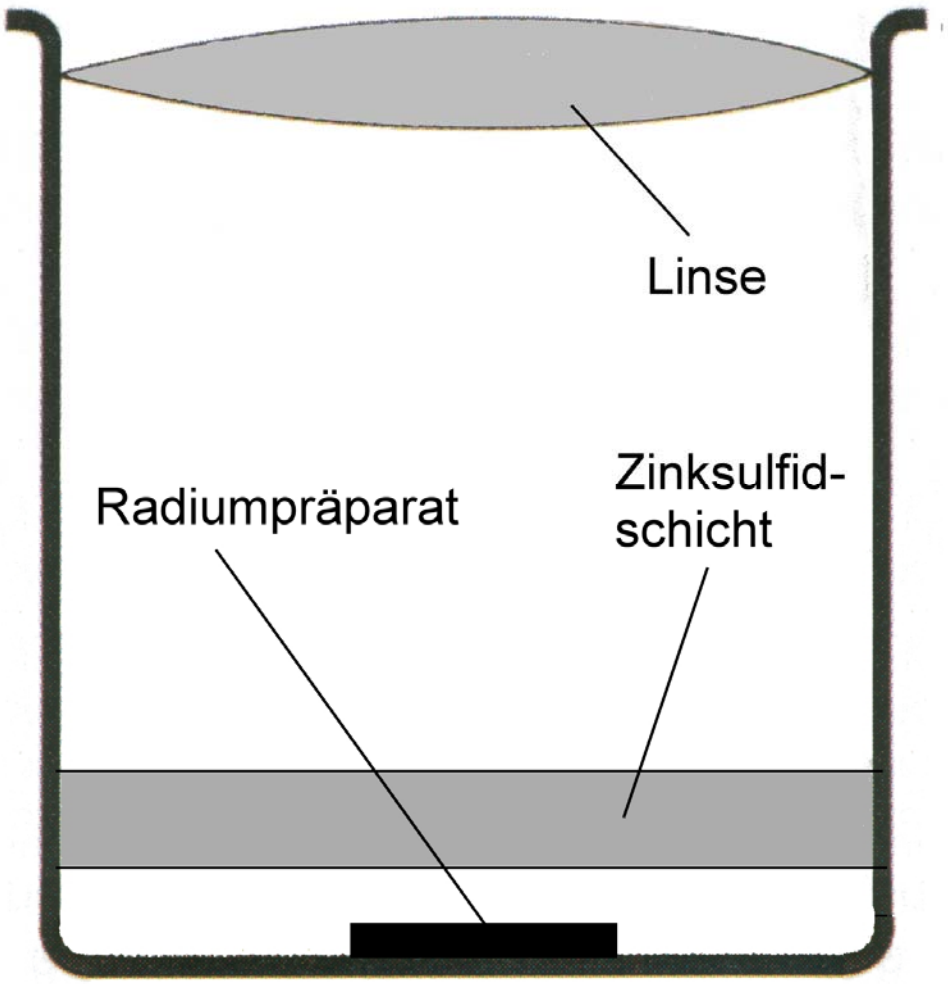
Radiumbecher

Radiumbecher

Rauchmelder

Schwarzumdruck mit Pechblende(Uranoxid)-Farbe

Spinthariskop



Spinthariskop – Schema