

Radioaktivität

Entdeckung, Messung, Anwendung

Robert Josef Schwankner

Elemente aus der Frühgeschichte der Radioaktivität

Wenn man einen Geburtstag feiert, ist die Frage: Ist er rund und stimmt er eigentlich auch? Rund ist der Geburtstag, ob er stimmt, ob es wirklich die Entdeckung der Radioaktivität war oder ob es da Vorläufer gibt zur Entdeckung dieses Phänomens, darauf will ich in dem Vortrag etwas näher eingehen. Auf alle Fälle ist die Geschichte, mit der wir uns heute beschäftigen, mit der wir uns sicher noch sehr viel länger beschäftigen müssen, die Geschichte der Freisetzung sehr, sehr hoher Energien pro Atomumsatz, wesentlich älter.

Bild 1, das das Amtszimmer des Konservators für Chemie des Deutschen Museums zierte, zeigt MARTIN HEINRICH KLAPROTH (1743 bis 1817), den Entdecker des Urans, zeitweilig Inhaber der Simonischen Apotheke zu Berlin. KLAPROTH hat 1789¹, wenn Sie so wollen, das Uran in unseren Breitengraden „wiederentdeckt“. Er war zudem der erste, der das Uran auch technisch bewußt angewendet hat, etwa um Glasflüsse oder Porzellan einzufärben. Zwischen dieser Wiederentdeckung – ich sage bewußt Wiederentdeckung – und der sogenannten Entdeckung der Radioaktivität 1896, fast den Tag genau vor hundert Jahren, sind 850 Veröffentlichungen über das Element Uran, seine technische Verwendung und sein Vorkommen entstanden² und das zu einer Zeit, in der das „publish-or-perish-Prinzip“ unserer Tage noch nicht gegolten hat und die Zahl der Naturforscher und Naturwissenschaftler deutlich kleiner war als heute.

Man hat sich also mit Uran beschäftigt, und ich möchte Ihnen in Bild 2 ein spektakuläres Beispiel zeigen, das durchaus in der Diskussion der Geschichte der Naturwissenschaften ist. Wir vermuten nämlich, daß vielleicht die früheste Verwendung von Uran auch nicht in das Jahr 1789 fällt, sondern daß das erste dokumentierte Beispiel einer frühen Uranverwendung ein Mosaik einer spät-römischen Villa am Kap Posilipo oberhalb des Hafens von Neapel ist. Die Blaufärbung des Mosaiks ist noch einfach zu erklären mit vier Massenprozent Kobalt der Glasur, aber das Grün und das helle Grün neben dem frühchristlichen Symbol der Taube, dieses

Grün führt man zurück auf eine frühe Verwendung von Uranerden, von Uranmineralien zur Anfärbung dieser Glasflüsse. Es gibt klassisch-chemische Analysen aus dem Jahr 1912 von J. J. MANLEY, und es gibt Resultate aus dem Jahr 1948 von E. R. CALEY⁵, die eindeutig nachweisen, daß wir hier nicht die wenigen ppm Uran indizieren, die in mineralischen Matrices allgegenwärtig sind, sondern daß man in diesem Glasfluß eine bewußte Anreicherung des Urangehaltes im Prozentbereich in Kauf genommen hat, um das Glas eindeutig einfärben zu können. Im Jahr 1967 hat F. KIRCHHEIMER diese Analysen dann auch noch einmal röntgenfluoreszenzanalytisch durchführen lassen und Bestätigung erfahren. Leider sind in den Wirren des Krieges, aber auch in den Wirren von Museumsdepots in Oxford die Originalbelegstücke verlorengegangen, so daß wir derzeit keine aktuelleren Analysendaten vorweisen können.

In Joachimsthal in Böhmen hat man Uran erst spät bewußt abgebaut. Zunächst hat man dort ab dem 16. Jahrhundert Silber- und Bleibergbau betrieben – wir werden am Ende des Vortrags noch einmal darauf zurückkommen. Erst ab Mitte des letzten Jahrhunderts, infolge der Entdeckung KLAPROTHS, hat man Uran systematisch gewonnen, nachdem das Silber zur Neige gegangen war. Man suchte ein Ersatzprodukt, man wollte die Leute dieser Bergbauregion weiterbeschäftigen, ein Thema, wie wir es heute in der Politik im größeren Stile auch noch vor uns haben. Eines der Produkte etwa aus dem Jahr 1870 aus der k. k. Uranfabrik Joachimsthal sehen Sie in Bild 3, „*Halb-Kilogramm Pakete*“ von „*Uranoxidnatron*“, die nun von dort hinausgingen in die ganze Welt. Man erkennt Preismedaillen, die dieses Produkt gewonnen hat, und in Bild 4 ist ein Auszug aus dem Musterbuch jener Tage der Uranfarbenfabrik wiedergegeben. Mit glasierten Porzellanfarbtäfelchen zogen die Vertreter dieses Unternehmens hinaus zu den sogenannten Arkanisten, den Farbbereitern der Glas- und Porzellanmanufakturen, um verschiedene Formen von Urangelb, Uranoxidhydraten, Uranoxidkali und dergleichen mehr, verschiedene Farbstufen von Uranoxiden feilzubieten.



Bild 1: Martin Heinrich Klaproth (1743 bis 1817), Ölgemälde nicht vor 1811 (Photo: Deutsches Museum, München)



Bild 2: Antikes Glasmosaik von Cap Posilipo (Neapel), 79 a. D.³; Urangehalt des opaken, blaßgrünen Glases ~ 1,5 Massenprozent UO_2



Bild 3: Von der k. k. Uranfarbenfabrik zu Joachimsthal geliefertes Paket „Urangelb“ („Uranoxidnatron“²)

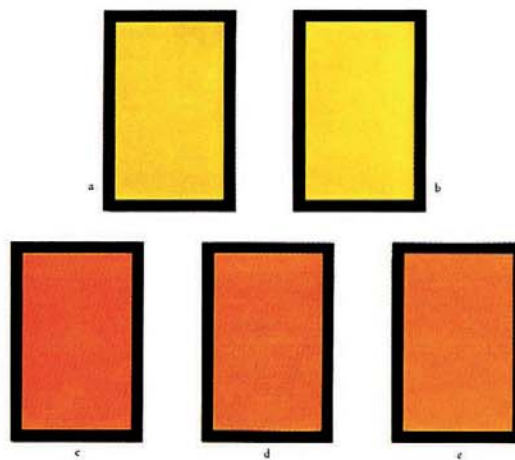


Bild 4: Farbmuster² der k. k. Uranfarbenfabrik zu Joachimsthal (vor 1880)
 a Urangelb licht, b Uranoxid-Hydrat, c Uranoxidkali hochorange,
 d Uranoxidnatron hochorange, e Urangelb licht orangefarbig

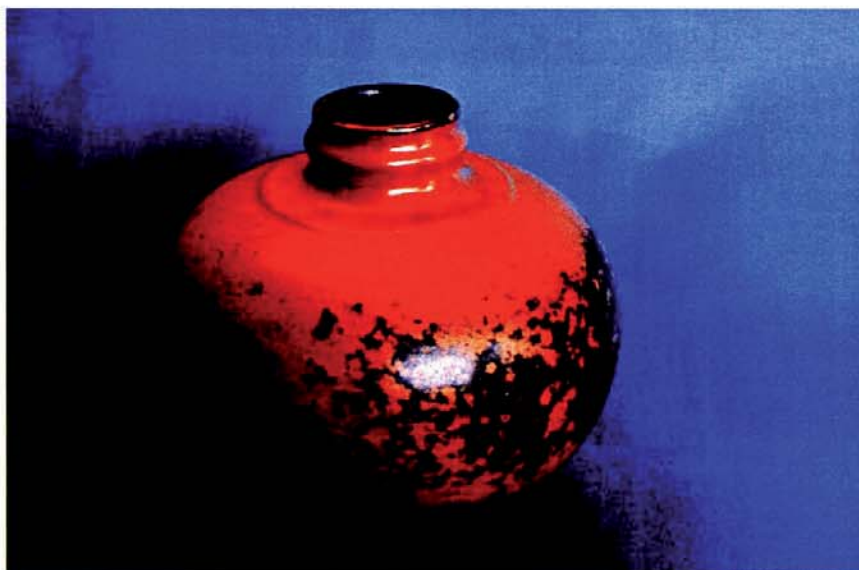


Bild 5: Dekorkeramik mit Urantri- und Urandioxidstufen Rot-/Schwarz-Glasur (Reduktionsbrand). (Photo: G. Lieckfeld)



Bild 6a: Obtschale ($\phi = 25$ cm) u. a. mit Uranrot glasiert

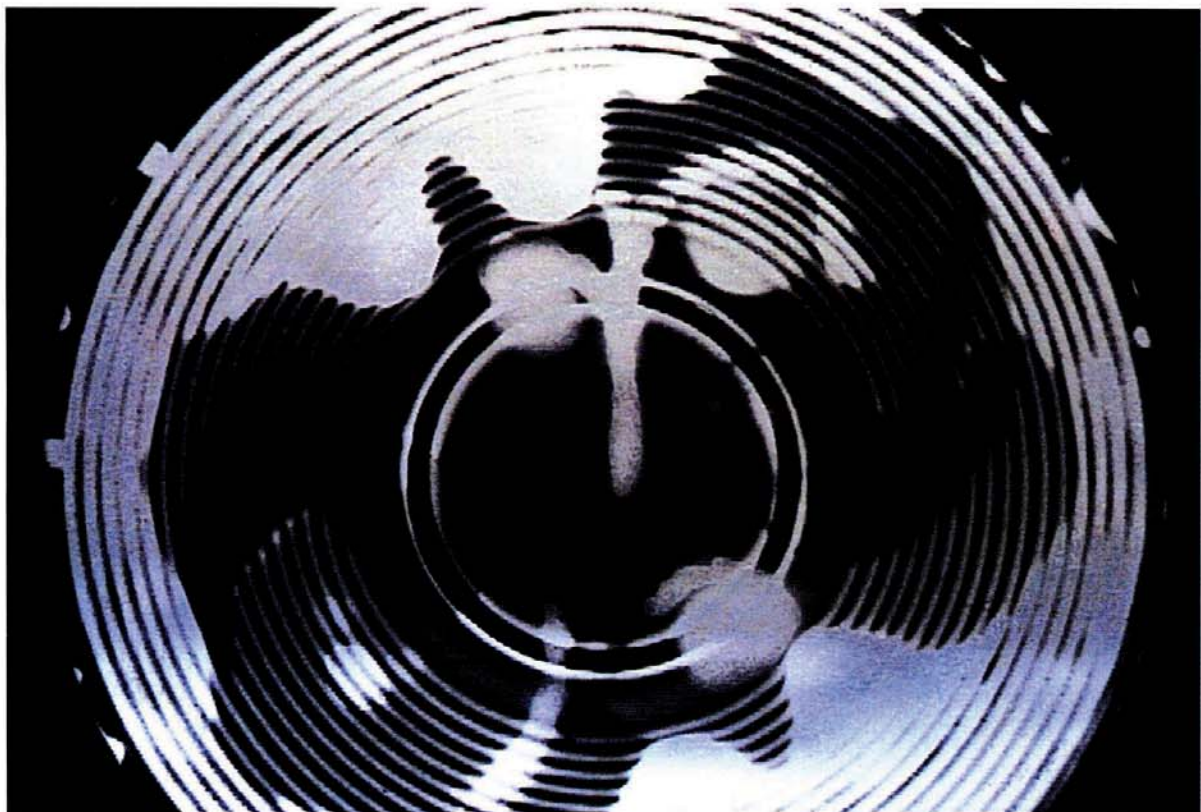


Bild 6b: Röntgenaufnahme der Obtschale (40 kV). Die uranglasierten Bezirke zeigen intensive Schwermetallabsorption. (Aufnahme: G. Lieckfeld, Verfasser)

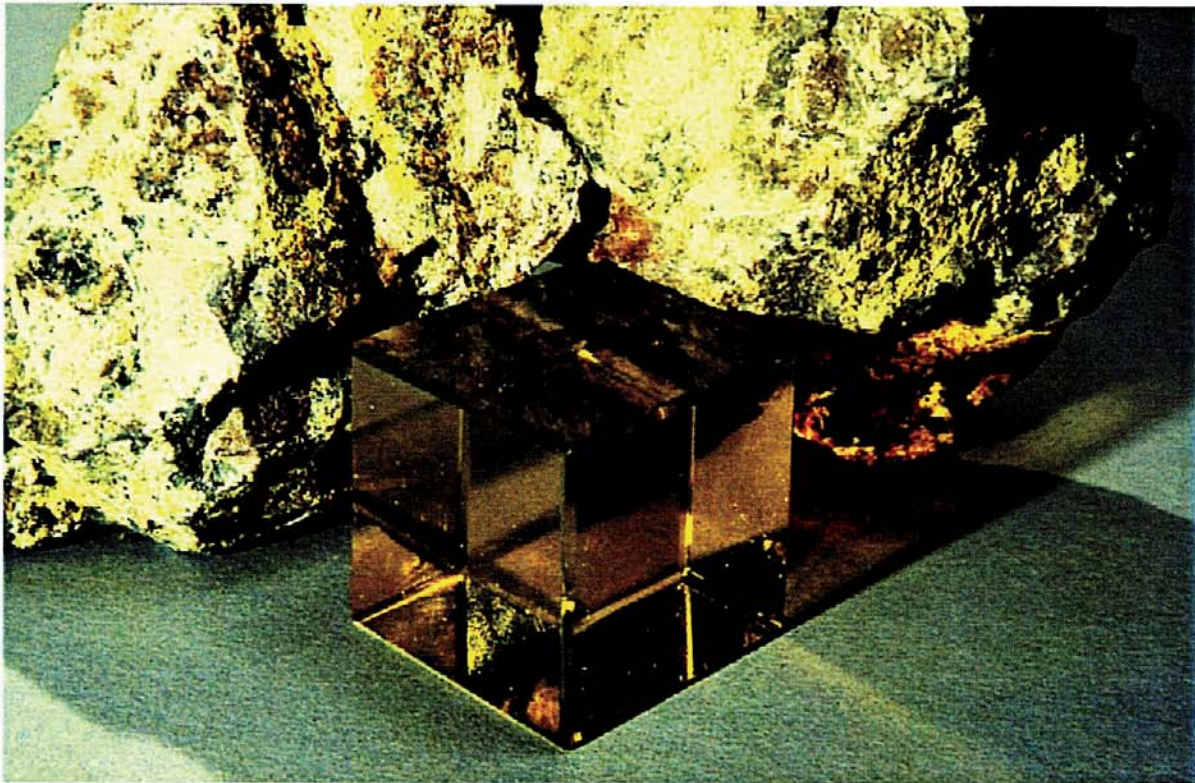


Bild 7a: Stufe des sekundären Uranminerals Autunit (Autun, Frankreich); im Vordergrund ein Uranglaswürfel aus einem physikalischen Kabinett (~ 0,6 Massenprozent Urangehalt¹⁰)

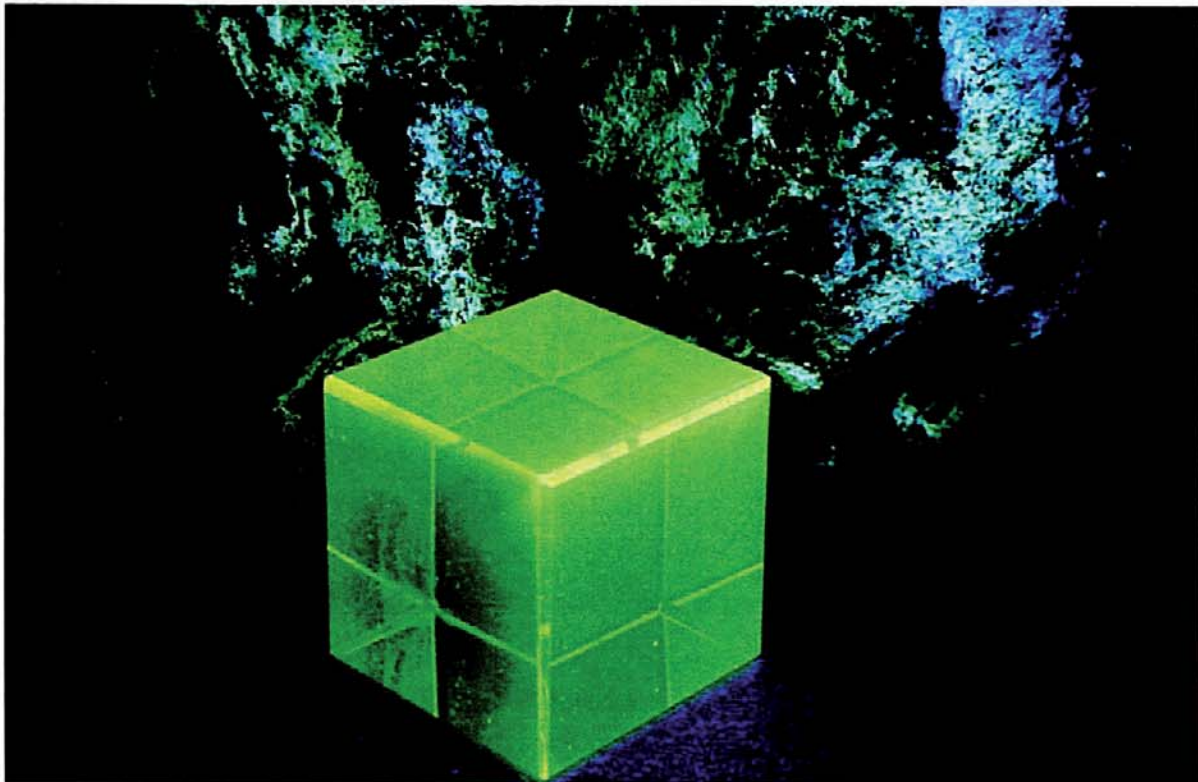


Bild 7b: UV(A)-stimulierte Fluoreszenz der Objekte (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Verfasser)



Bild 8a, b: Konfektschale in Form eines Blütenkelches aus Uranglas – wie die folgenden Objekte – im Normal- und UV(A)-Licht aufgenommen (Photo: G. Lieckfeld)



Bild 9a, b: Farbpalette von dichroitischen gelb-braunen Urangläsern (Photo: G. Lieckfeld)

Uran war ein Stoff der technischen Chemie, es war ein Produkt der Erzraffination⁶, und man sieht in Bild 5, daß durchaus auch modernere Dekorkeramik mit Uran glasiert ist. Die Vasenglasur enthält sogar zwei Oxidationsstufen des Urans, das Urantrioxid macht den roten Farbauftrag, das Urandioxid, durch partiellen Reduktionsbrand vertieft, sehen Sie an den „geschwärzten“ Stellen. Ein besonders schönes Beispiel zeigt Bild 6a. Diese Obstschale aus Süditalien ist sowohl mit Uranoxid als auch mit Kobaltoxid glasiert, man unterscheidet wieder die orangefarbenen Bereiche, und wenn man das ganze nun mit Röntgenstrahlung bei 40 kV durchleuchtet (s. Bild 6b), dann erkennt man unschwer die Schwermetallabsorption in den Bereichen der Präsenz von Absorbern hoher Ordnungszahlen, dort wo wir einen Uranfarbauftrag vorfinden.

In den folgenden Bilderpaaren ist aufgezeigt, wie man Uran des weiteren verwendet und angewendet hat. Bild 7a zeigt das Mineral Autunit, wie es in Burgund in Frankreich vorkommt, in der Nähe der Stadt Autun am locus classicus. Man erkennt, daß hier ein Sekundäruranmineral mit einer gelben Salzkruste an der Oberfläche vorliegt. Gleichzeitig abgebildet ist ein Uranglaswürfel etwa mit 0,6 Massenprozent Urangehalt. An Bild 7b ist belegbar, warum derartige Gegenstände gerne fabriziert wurden. Im Sonnenlicht, natürlich auch im physikalischen Kabinett, unter UV-Licht, haben wir eine wunderschöne Fluoreszenz des Uranylkatons zu erwarten. Bild 8a zeigt Biedermeier-Glas, Bild 8b dasselbe Exponat noch einmal im UV-Licht aufgenommen. So etwas hat sich auf der Kaffeetafel wohl prächtig ausgenommen, draußen im Freien, wenn man bei Sonnenschein so etwas verwendet hat – mit zwei Massenprozent Uran. Am Bilderpaar 9a, b ist erkenntlich – man war durchaus nicht nur auf grüne Uran-Farbtöne festgelegt, das ist nun mal relativ selten, aber doch vorgekommen – mit Selen und Uran gefärbtes dichroitisches Glas, und man nimmt hier ebenfalls die Uranylfluoreszenz^{6 bis 8} war. Hier ist es schon kritischer, wenn man mit solchen Dingen umgeht, denn Milchsäure z. B. löst durchaus Uran auch aus diesen Matrices bereits etwas an. Das Bilderpaar 10a, b gibt Uranglasflaschen wieder. Man hat Uran als Lichtschutzglas verwendet⁹. Das photochemisch aktive Licht, die Blaukomponente des Tageslichts, wurde mit solchem Flaschenglas aus-

gefiltert. Man hat auf diese Weise bestimmte Medikamente, aber auch andere Substanzen vor diesem photochemisch wirksamen Licht bewahrt. Ja, man hat sogar in photographischen Ateliers die Rotlichtlampen aus Uranglas gefertigt und hat auf diese Weise den störenden Blauanteil herausgefiltert.

Nun kann ich natürlich als Münchner Ihnen typisch bayerische Trinkgefäße, wie im Bilderpaar 11a, b geboten, nicht vorenthalten. Auch hier spielt Uran eine Rolle, in diesem Fall beträgt der Massenanteil des Urans sogar über 0,4 %.

Wenn Sie über Jahrmärkte streifen und wenn Sie aktiv Wissenschaftsgeschichte erleben wollen, dann nehmen Sie einen Hand-Geigerzähler mit oder eine kleine UV-Lampe, und Sie können an vielen Dingen, die Sie dort achtlos für Pfennigbeträge erhalten, sehen, daß Sie es hier mit Uran zu tun haben^{10, 11}. Eines der schönsten Dinge, die ich gefunden habe, ist der Mantelknopf in Bild 12a. Er ist mit Urantrioxid glasiert, ein Keramikmantelknopf. Leider mußte ich den ganzen Trenchcoat dazukaufen, den Knopf allein bekam ich nicht, und Sie sehen in Bild 12b, in diesem Fall zeigt sich keine Fluoreszenz, die Grün-Fluoreszenz ist eben nicht allein ein Hinweis, daß wir es hier mit Radioaktivität in Alltags-Gegenständen zu tun haben. Bei den weiteren Objekten dieser kleinen Sammlung handelt es sich um Bijouterie-Waren aus Uranglas.

Nun werden Sie mich fragen: Was alles hat das zu tun mit ANTOINE HENRI BECQUEREL, 1852 bis 1908? Was hat all das mit der Entdeckung der Radioaktivität zu tun? Diesen Nachweis muß ich Ihnen jetzt erbringen. HENRI BECQUEREL war in dritter Generation bereits Inhaber eines Lehrstuhls, der uns aus heutiger Sicht als wünschenswert erscheinen würde, den Lehrstuhl am Naturgeschichtlichen Museum im „Jardin des Plantes“ in Paris. BECQUEREL war vertraut mit den aktuellen physikalischen Entwicklungen seiner Zeit. Er war Mitglied der Akademie, konnte somit jede Woche dort vortragen und war sicher, daß seine Dinge, die er vortrug, zehn Tage später bereits gedruckt weltweit erscheinen würden. Das Bilderpaar 13 zeigt Ihnen HENRI BECQUEREL in zwei Lebensabschnitten.



Bild 10a, b: Uran-Apothekerglas (Urangehalt ~ 0,4 Massenprozent⁹) als Beispiel für den Einsatz des Uranylchromophors zum Lichtschutz.^{6 bis 9}
(Aufnahmen: P. Schöffl, Verfasser)



Bild 11a, b: Bierseidel aus Uranglas (Photo: G. Lieckfeld)



Bild 12a, b: Mit Urantrioxid glasierter Mantelknopf inmitten von Bijouterie-Waren aus Uranglas (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Verfasser)

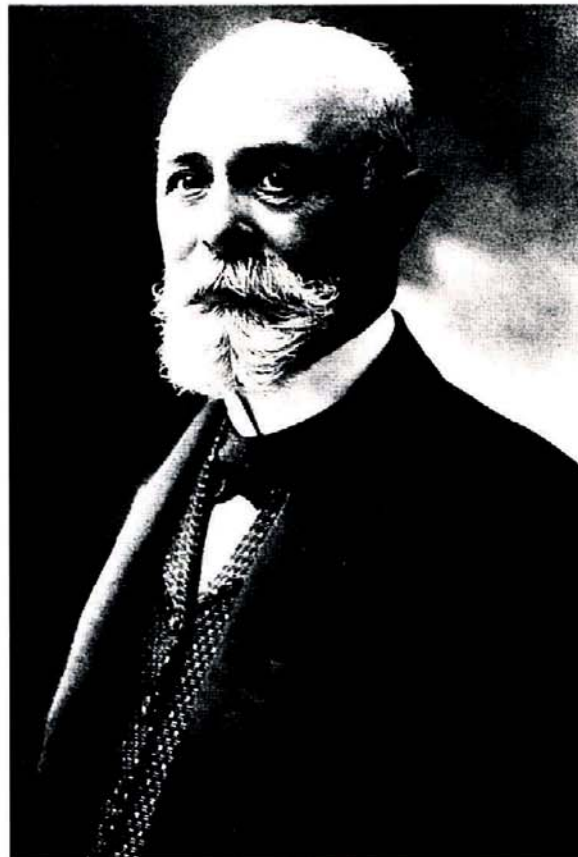


Bild 13a, b: Antoine Henri Becquerel: * Paris 15.12.1852, † Le Croisic 25.8.1908
(Photo: Deutsches Museum, München)

Im Bild 14 sehen Sie, womit man sich in den naturwissenschaftlichen Kabinetten im ausgehenden 19. Jahrhundert beschäftigte, mit der Physik der Gasentladung, Dinge, die durchaus in Ihrer Schönheit, in Ihrer Lichtschönheit konkurrieren können mit Uransalzen. Man hat in diese Gasentladungen auch verschiedene Gegenstände zusätzlich eingebracht. Und nun ist aufgefallen, daß, wenn man sich mit solchen Entladungslampen beschäftigt, es in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung Druck-Bereiche gibt – wenn, wie wir heute wissen, Elektronenstrahlung auf Glas auftrifft –, wo wir eine gelblich-grünliche Fluoreszenz in den Röhren wahrnehmen. Und diese Fluoreszenz, die dem oberflächlichen Betrachter vielleicht auch an die Uranfluoreszenz erinnert, dieses Phänomen hat nun unerwartet zur Entdeckung der Röntgenstrahlen geführt. Sie sehen im Bilderpaar 15a, b eine Hochspannungsquelle, eine der schon fortgeschritteneren Röntgenröhren und die „berühmte“ Hand, die hier nun auf der Plattenkassette liegt, und eine Hand, die nach einem Schrotschuß zur medizinischen Untersuchung gekommen ist. Dies war ein eindrucksvolles Beispiel dafür, was man mit diesen X-Strahlen, diesen unbekanntem Strahlen, anfangen konnte.

Die ersten Beobachtungen durch RÖNTGEN erfolgten am 8. November 1895. Am 28. Dezember 1895 erschien seine berühmte Veröffentlichung in den Sitzungsberichten der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg¹². Und nun nähern wir uns dem Zirkel, die Schlange beißt sich in den Schwanz. Am 20. Januar 1896 trägt u. a. HENRI POINCARÉ, Mitglied der Akademie, im Beisein BECQUERELS über RÖNTGENS phantastische Entdeckung vor. BECQUEREL fragt nach: Wie ist die Röhre beschaffen? Wie sieht es mit der Gasentladung aus? Es wird ihm mitgeteilt: Man vermute, daß dort, wo das Glas lebhaft grünlich fluoresziert, diese neue, unbekannte Strahlung austritt. BECQUEREL erinnert sich seiner Fluoreszenz- und Phosphoreszenzstudien – schon in dritter Generation der Familie übrigens – insbesondere auch an Uranylsalzen. Am 24. Februar 1896 legt er bereits seine erste Veröffentlichung vor, einen Monat nach POINCARÉS Mitteilung, mit dem Titel „*Sur les radiations émises par phosphorescence*“. BECQUEREL griff nach einem Uranyl-kristall als einem der ersten Untersuchungsgegenstände. Zeitge-

nossen vor ihm haben durchaus bereits andere Körper untersucht. Calciumsulfid z. B. wurde so ebenfalls verdächtigt, unsichtbare Strahlung auszusenden.

Nun, wenige Tage nach dieser ersten Mitteilung in den Comptes rendus am 24. Februar 1896, nämlich am 26. und 27.2.1896, an dem darauffolgenden Mittwoch und Donnerstag, wollte er seine Experimente erweitern. Er nahm seine klassische Versuchsanordnung, eine Photoplatte, eingewickelt in schwarzes Papier, und packte darauf Kaliumuranylsulfat-Lamellen. Das ganze trug er hinaus in den Sonnenschein. Er erwartete, daß die Sonne das Uran stimuliere zur Phosphoreszenz und man eben auch eine begleitende unsichtbare, durchdringende Strahlung (wie X-Strahlung) auf diese Weise erregen und nachweisen könnte. Allerdings, das Wetter war dieses Mal schlecht und die „Insolation“, wie er das ganze nannte, funktionierte nicht an diesen Tagen. Er fuhr übers Land und entwickelte am 1. März 1896 die Platten trotzdem. Sie waren ebenfalls geschwärzt, geschwärzt, so wie es auch Röntgen beschrieben hatte, ohne daß es einer Insolation bedurft hätte. Bereits am 2. März 1896 – von solchen Publikationsfristen träumen wir heute – schrieb er darüber für die Comptes rendus: *„Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents“*. Die Uranylsalze waren jetzt in den Mittelpunkt seines Interesses gerückt.

Im Bilderpaar 16a, b sehen Sie die ersten Aufnahmen, die ersten Autoradiographien oder genauer schon Radiographien aus diesen Tagen im Februar/März 1896, jedesmal erzeugt mit Hilfe von Uranylsulfat-Kristallen. In Bild 16b erkennen Sie, daß ein Objekt zwischen-geschoben worden ist, ein Aluminiummedaillon, und man kann mit etwas Phantasie auch ein Kreuz erkennen, das man gleichfalls eingelegt hat. In Bild 17b sehen Sie eine moderne Autoradiographie – über Geschmack läßt sich bekanntlich streiten – aber Sie erkennen schon, hier handelt es sich um Urantrioxid-Glasurbezirke auf der gezeigten Vase. Die Vase (Bild 17a) wurde mit einem photographischen Film umfassen, und ich glaube, man kann deutlich wahrnehmen, daß dies keine Röntgenaufnahme, sondern eine Selbstabbildung der Radioaktivität auf der Oberfläche des Untersuchungsobjektes ist.

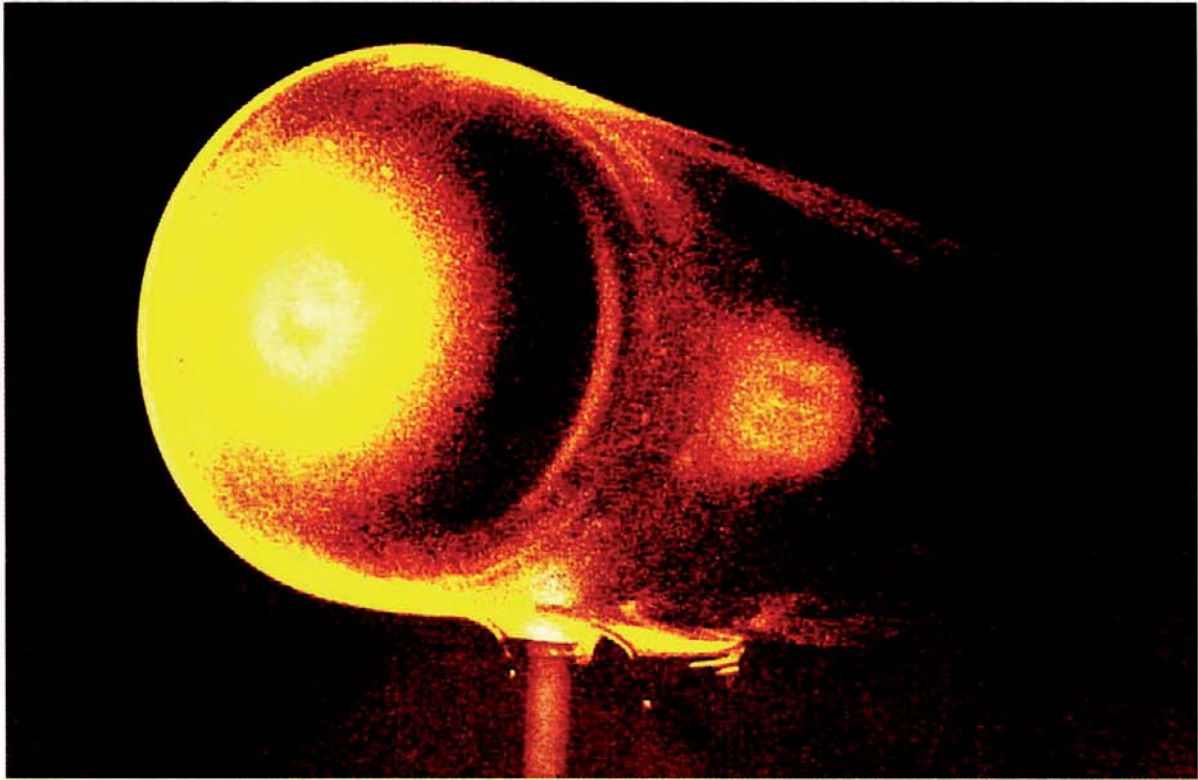


Bild 14: Gasentladung in besonders gut ausgepumpten Crookeschen Röhren führt zu lebhafter gelb-grüner Glasfluoreszenz (Photo: Deutsches Museum, München)

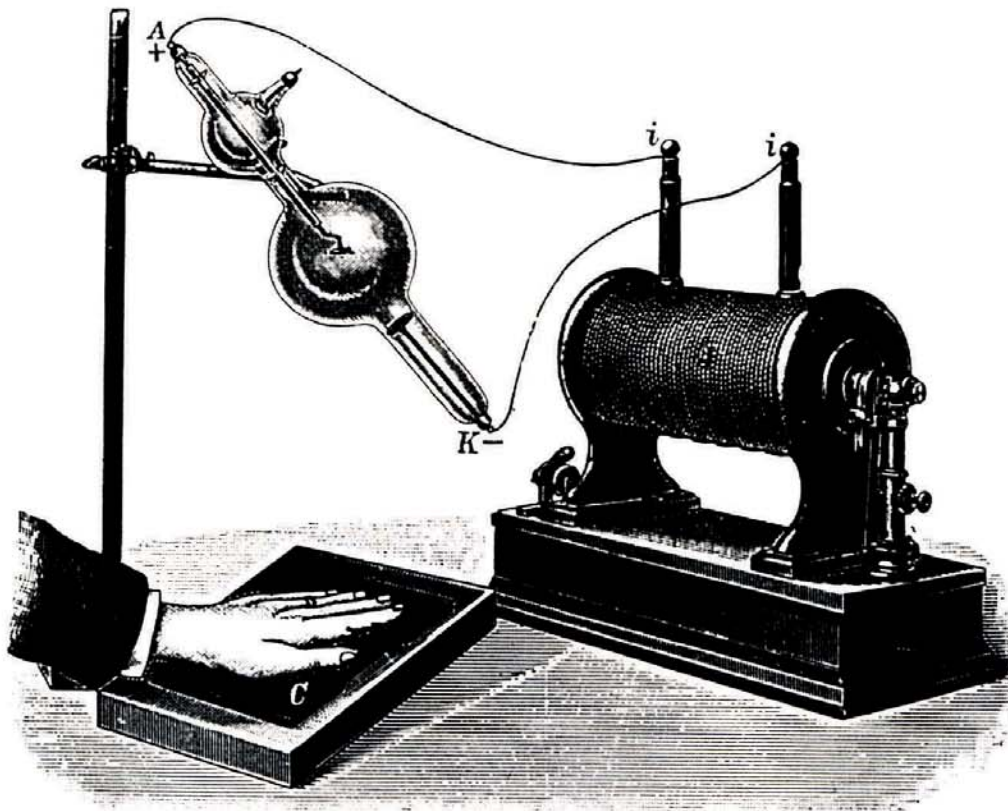


Bild 15a: Früher Aufbau zur medizinischen Anwendung von X(Röntgen)-Strahlung
(Photo: Deutsches Museum, München)



Bild 15b: Im Gegensatz zur Anwendung einer Wund-Sonde zum Aufspüren von Bleischrot garantiert die diagnostische Anwendung von X-Strahlung Schmerzfreiheit und Vollständigkeit bei der Untersuchung
(Photo: Deutsches Museum, München)

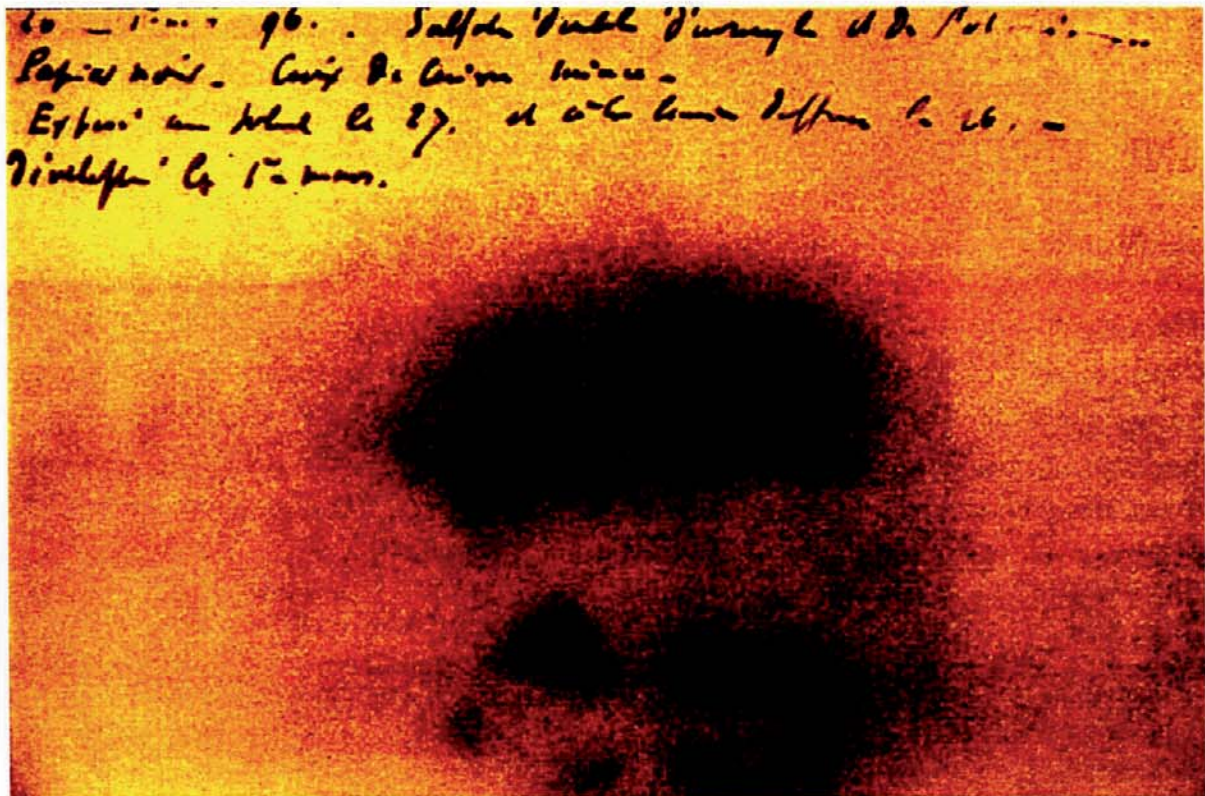


Bild 16a: Eine der ersten Autoradiographien von H. Becquerel
(Photo: Deutsches Museum, München)

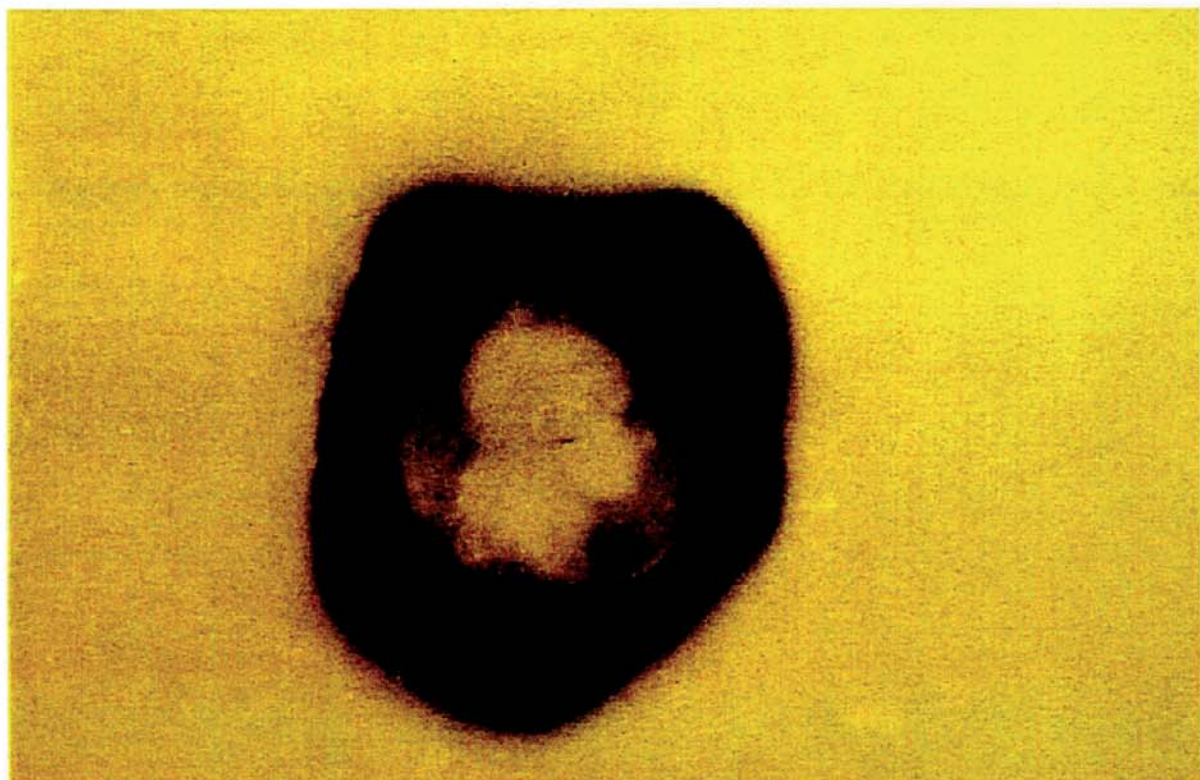


Bild 16b: Radiographie eines Aluminium-Medaillons durch H. Becquerel
(Photo: Deutsches Museum, München)

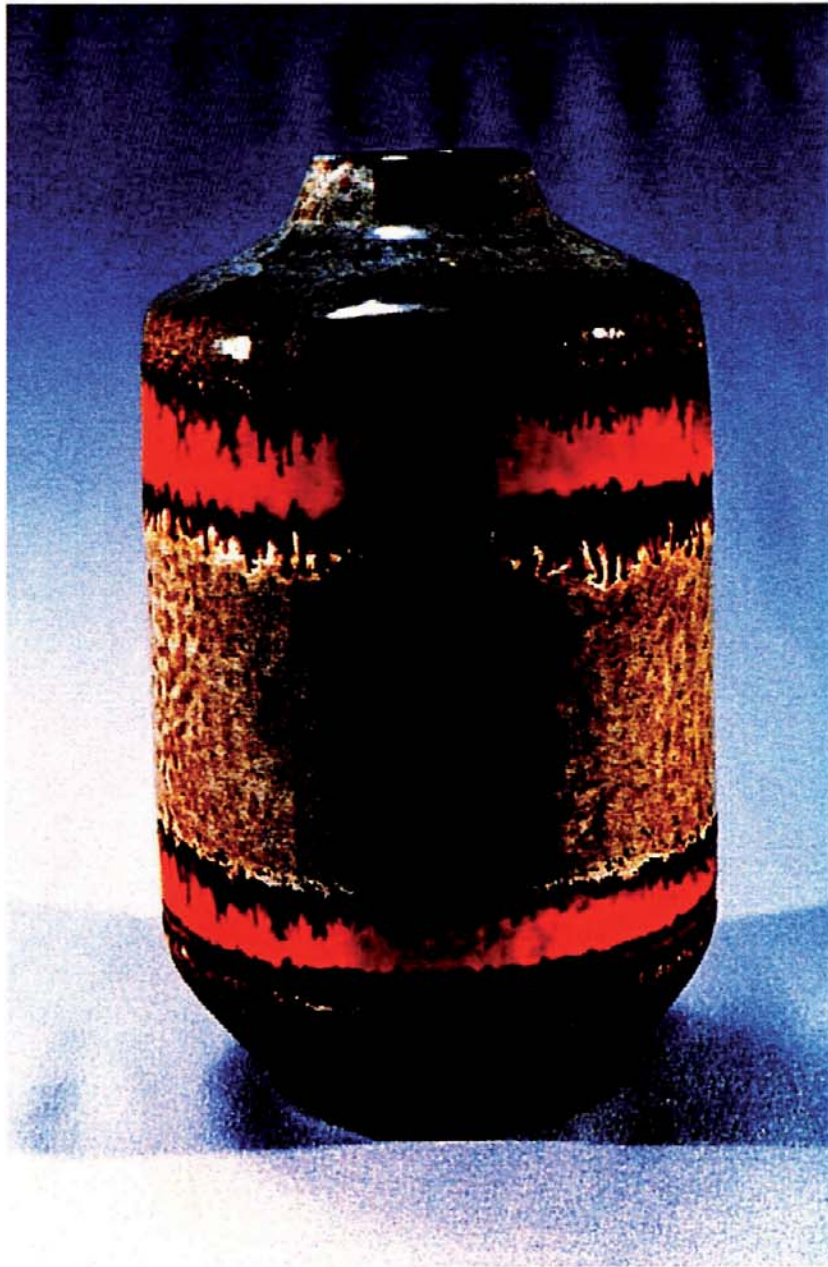


Bild 17a: Mit UO_3 -glasierte Vase

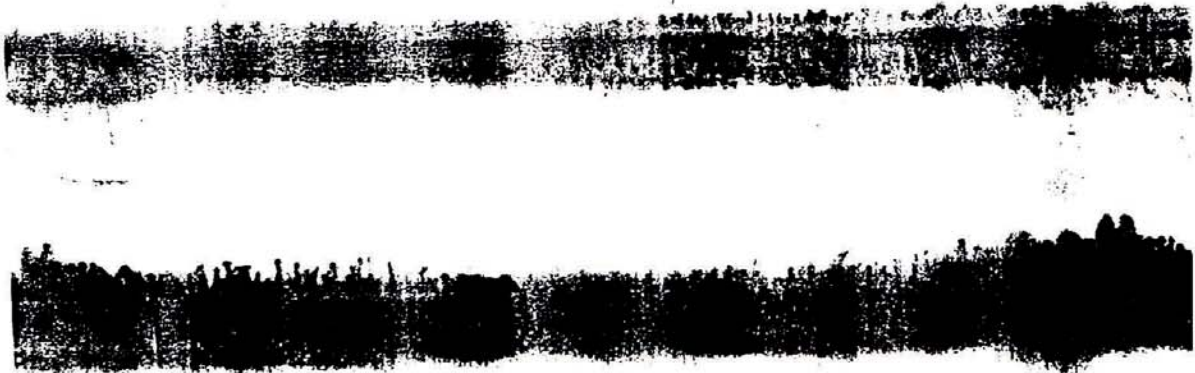


Bild 17b: Autoradiographie der „Uranbebanderung“ ($t_{\text{exp}} = 52 \text{ h}$; Film: Kodak X-Omat S 1596) (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Verfasser)

Die Entdeckung der Radioaktivität geht zweifellos auf HENRI BECQUEREL zurück, vor allem die Verknüpfung mit dem Element Uran. Dennoch war schon zu Ende des letzten Jahrhunderts in Vergessenheit geraten, daß es durchaus Vorläufer gab, die der Entdeckung äußerst nahe gekommen sind. So hat etwa der Neffe des Entdeckers der Photographie, NIEPCE DE SAINT-VICTOR bereits um 1858 folgendes beschrieben: Wenn man eine spezielle Photochemikalie – und das war Uranylнитrat – heranzieht, mit ihrer wässrigen Lösung Kartonblätter bestreicht und dieselben auf photographische Emulsionen legt, so wird die Zeichnung übertragen. Ja, er beschreibt sogar, man könne die Information übertragen, bis drei Zentimeter durch Luft hindurch. Oberhalb drei Zentimeter erreichte die Alphastrahlung wohl nicht mehr die photographische Emulsion. Schon 1884 wird zusammenfassend auf diese „*curieuses expériences*“ hingewiesen, aber auch da zündete der Gedanke und der Funke noch nicht.

1895 – kurz vor BECQUERELS Entdeckung – wird von einem Prospecteur, der in Colorado (USA) nach Carnotit, einem Uranvanadat, suchte, beschrieben, daß bei Lagerung mehrerer Kilogramm dieses Minerals im Zelt neben photographischen Platten dieselben geschwärzt werden.

Sie sehen, Entdeckungen liegen irgendwie auch in der Luft². Es ist sicher zu früh, Theorien über die Entdeckungen als solche zu machen, aber es schmälert, glaube ich, die große Leistung des einzelnen nicht, wenn wir erkennen, daß er nicht Alleinexponent ist, sondern sich eben in seinem zeitlichen Umfeld bewegt.

Wir machen jetzt einen Sprung, einen Sprung hin zu jenem Element, das noch sehr viel deutlicher als das Uran die weiteren Geschicke der aufkeimenden Kernphysik, des Strahlenschutzes, bestimmt hat: Das Element Radium, dem ersten natürlichen Radioelement hoher spezifischer Aktivität, von welchem man wägbare Quantitäten gewinnen konnte, war das neue Stimulanz der Entwicklung¹³. Aus der „Fluoreszenz-Forschung“ war die Luft raus, würde man heute im Laborjargon sagen.

In Bild 18 erleben Sie die Wirkung von 0,1 Gramm Radiumbromid aus dem Jahr 1906, das Bromid, so wie es seinerzeit GIESEL hier in Braunschweig zur Anreicherung im Zuge der fraktionierten Kristallisation eingeführt hat. Die Bromidfraktion ist in einem Reagenzglas eingeschlossen, das über die lichtdicht verpackte photographische Emulsion in normaler Schreibgeschwindigkeit geführt wird. Dies zeigt Ihnen nicht nur die hohe Dosisleistung an den Fingerspitzen damaliger Forscher, sondern Sie zeigt Ihnen auf alle Fälle an im positiven Sinn, daß es damals opportun war, sich mit „Radiumschreiben“ zu beschäftigen.

Bild 19 zeigt einen Klassiker radiometrischer Meßtechnik. Frau CURIE, die Doktorandin von Herrn BECQUEREL, hatte Ihren Schwager JACQUES CURIE, den Mitentdecker der Piezoelektrizität, dazu gewinnen können, gemeinsam mit ihrem Mann eine Meßapparatur zu konzipieren, um von der schwer bewertbaren autoradiographischen Schwärzungsuntersuchung wegzukommen zu etwas Quantifizierbarerem – zur Luftionisation, wie wir heute sagen würden – in der Umgebung radioaktiver Stoffe. Dieses Exponat steht im Deutschen Museum in München, es ist eine von Frau CURIE autorisierte Originalnachbildung, die ihr OSKAR VON MILLER mit seinem forderndem Charme entlockt hat, mit der, wie sie an ihn auf eine Visitenkarte schreibt, „*dès le début de nos recherches sur la radioactivité*“ gearbeitet wurde. Eine Kondensatorkammer ist mit einer belastbaren Quarzlamelle verbunden, wo man so Ladung definiert erzeugte durch Auflegen von Gewichtstücken. Mit Quadrantenelektrometern konnte man einmal in der einen Schaltung den Ladungsabfluß, in der anderen sogar den Stromfluß kompensierend, ablesen, den radioaktive Körper erzeugten, die in das Kondensatorplattenpaar eingeführt wurden^{14, 15}. Man hat damals alle möglichen und unmöglichen Stoffe in dieser Apparatur untersucht. Weißer Phosphor, der durch Luftoxidation im Dunkeln grünlich leuchtet, der phosphorus mirabilis der Jahrmärkte des Mittelalters, wurde hier eingeführt. Auch er wurde von Frau CURIE verdächtigt, radioaktiv zu sein¹⁶ – er war es nicht.

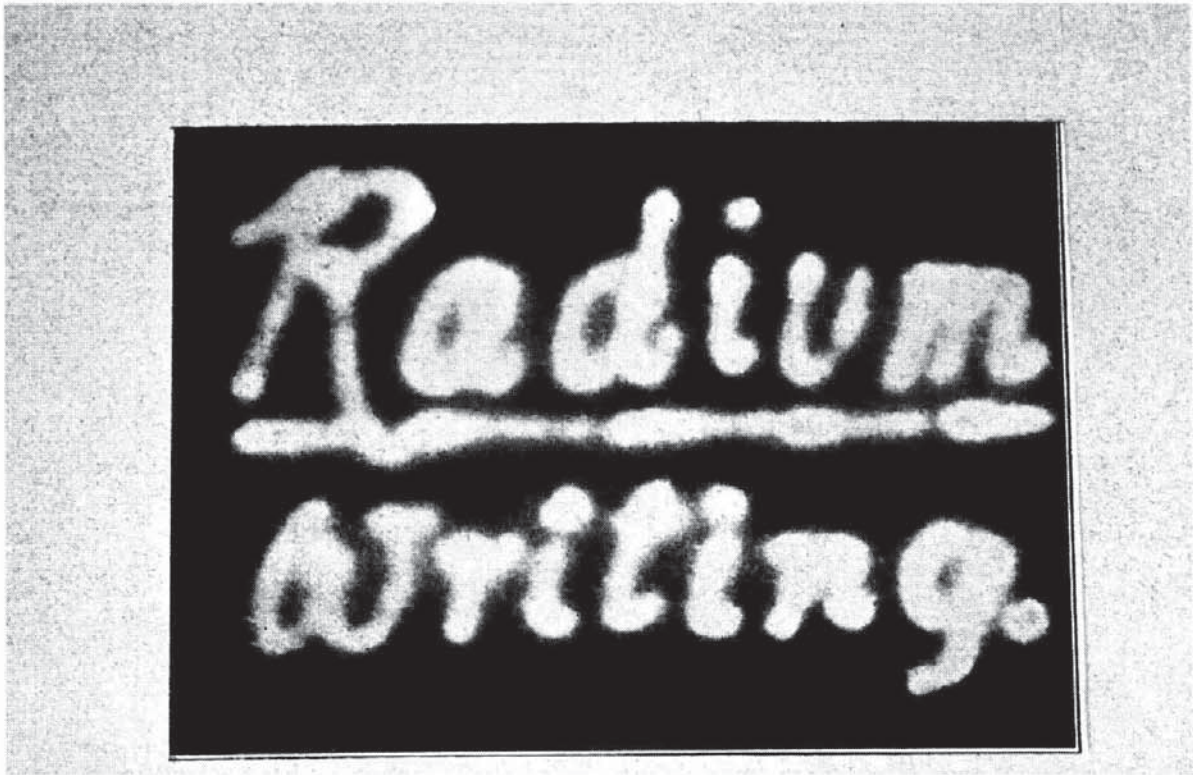


Bild 18: Radium-Radiographie. Ein Element „schreibt“ seinen Namen; von R. Hill Crombie aus dem Jahre 1906 (Archiv: Verfasser)

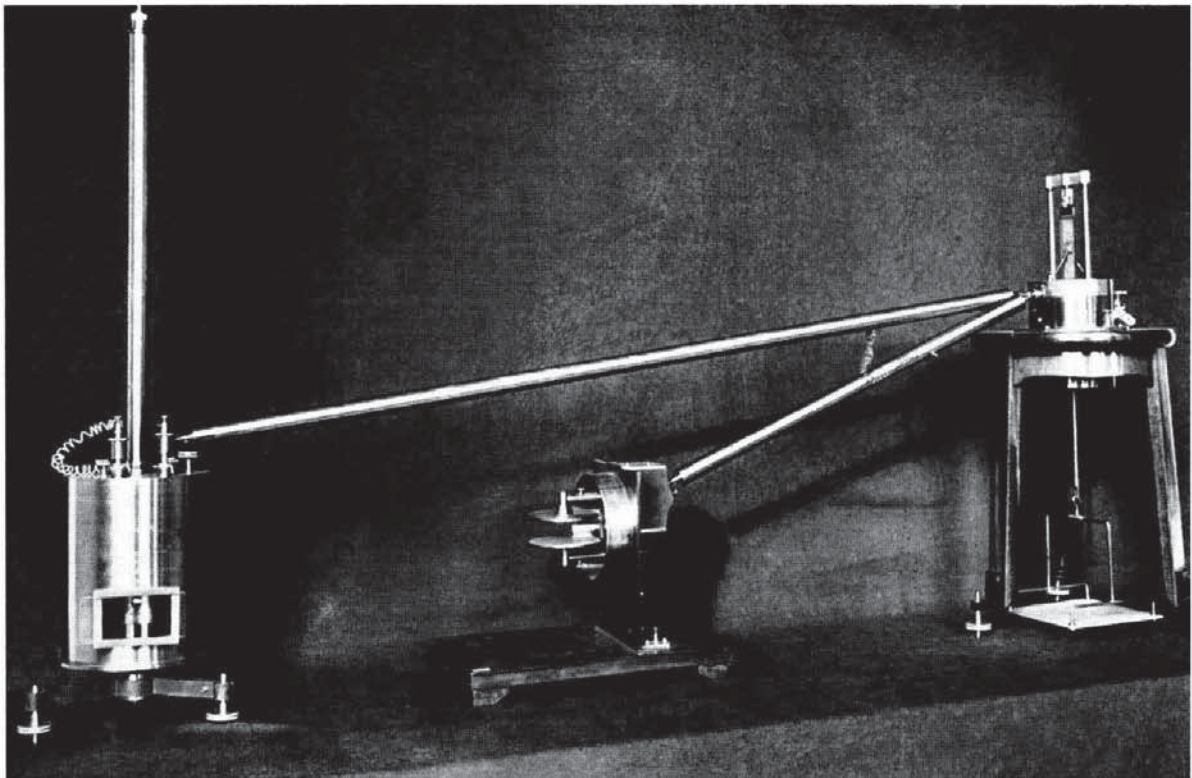


Bild 19: Electromètre Curie. Von Frau Curie autorisiertes Exponat der kernphysikalischen Sammlungen des Deutschen Museums, München (Photo: Deutsches Museum, München)

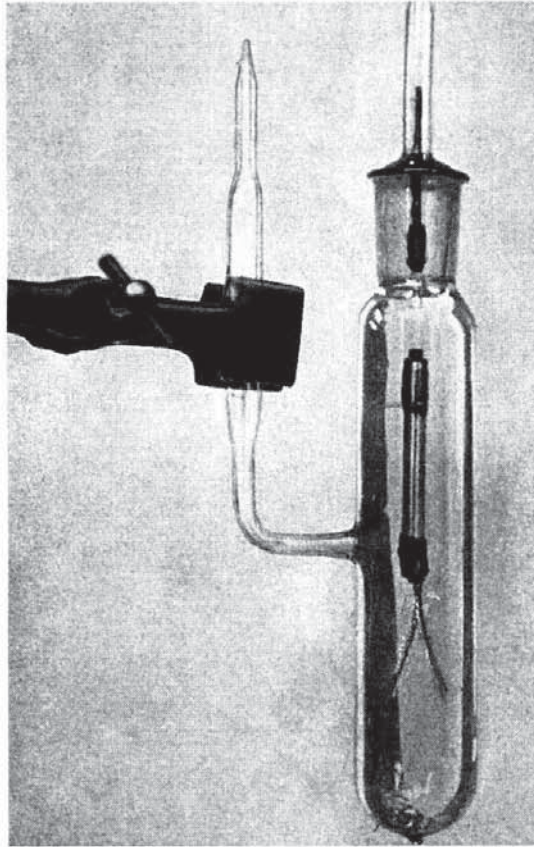


Bild 20: Radiumuhr nach R. J. Strutt dem späteren Lord Rayleigh (reproduziert aus ²⁰)

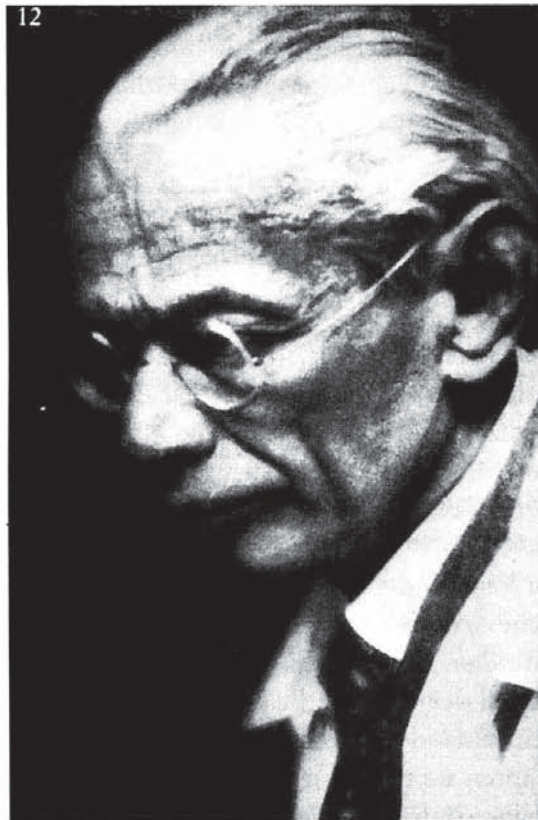


Bild 21: O. Hönigschmid (1878 bis 1945), Doyen der chemischen Atomgewichtsbestimmung in seinen späteren Jahren (Photo: Deutsches Museum, München)

Noch aus dem Jahre 1904 sollte uns folgendes Zitat von Frau CURIE nachdenklich stimmen: „Wir haben die Radioaktivität des Urans zur Mittags- und Mitternachtszeit untersucht, von dem Gedanken ausgehend, daß die hypothetische Primärstrahlung ihre Quelle in der Sonne habe und beim Durchgang durch die Erde teilweise absorbiert werde. Der Versuch ergab keinen Unterschied beider Messungen“¹⁷. Mit diesem CURIE-Elektrometer wurden die grundlegenden und fundamentalen Erkenntnisse über den eigentlichen Elementarprozeß der Radioaktivität gewonnen.

Und hiermit blenden wir wieder auf Joachimsthal, in dem seit 1516 Silber abgebaut worden war und 1855 die k. k. Uranfarbenfabrik gegründet wurde, um die Farbkraft des Urans, seine stahlveredelnden Eigenschaften, seine photographischen und chemischen Wirkungen anzuwenden. PIERRE CURIE wendet sich an Prof. EDUARD SUESS, den Ordinarius für Geologie der Universität zu Wien, der seit 1898 Präsident der Österreichischen Akademie der Wissenschaften ist, und man ist so generös im k. k. Ackerbau-Ministerium, diesen verrückten Franzosen 20 Tonnen des Haldenmaterials aus St. Joachimsthal zu überlassen¹³. Warum das Haldenmaterial? Frau CURIE hatte mit ihrer Apparatur festgestellt, daß Uranminerale wesentlich stärkere Elektrometereffekte zeitigen als das Uran selbst, wenn man es dort in gleicher Quantität einführt. Sie vermutete ein neues, verborgenes, intensiv strahlendes Element. Sie konnte durch Vorversuche der klassischen chemischen Analytik zeigen, daß es sich sicher im Sulfatniederschlag – heute wissen wir als Radiumsulfat – der Uranerzaufbereitung finden würde, die ja u. a. mit Schwefelsäure vorgenommen wurde. Jahrelang hatte man das bei der Laugung hinterbleibende Material in einen Bach gekippt, im Hinblick auf die Erschöpfung der Silbererzgänge hatte man nun trotzdem eine große Halde angelegt. Vielleicht wollte man noch weiter aufarbeiten, und diese beiden verrückten Franzosen kamen gerade recht. Wer weiß, was die finden, vielleicht können wir aus dieser Halde noch einmal etwas machen¹³. Man hat Ihnen von diesem Material geschickt, und Sie wissen, daß nun in einem einzigen Jahr – 1898 – insgesamt drei neue Elemente unter Mitwirkung von Frau CURIE, und in zwei Fällen sogar durch ihre Federführung, aus dem Haldenmaterial aufgefunden wurden.

Es war zunächst die Radioaktivität des Thoriums im April 1898, die sowohl von G. C. SCHMIDT in Erlangen wie auch von Frau CURIE nachgewiesen wurde, die Ordnungszahl 90 war nun belegt mit dem Phänomen Radioaktivität^{18, 19}. Dann im Juli 1898, das Element Polonium, als Sulfidniederschlag das 84. Element. Und hier erst führt Frau CURIE den Begriff „radioaktiv“ ein. Sie geht über von dem Begriff „*rayons uraniques*“ auf den Begriff „*rayons de Becquerel*“, eine Hommage an ihren Doktorvater, und im Dezember desselben Jahres schließlich die Veröffentlichung über das Element 86 Radium: „*Sur une nouvelle substance radioactive contenue dans la pechblende*“; „*fortement radioactive*“ war sogar dazu gefügt.

Das neue Stimulanz der weiteren Entwicklung war jetzt das Radium. Man hatte populäre Vorlesungen gehalten, 1908 etwa den Vorlesungszyklus von FREDERIC SODDY „*Über die Natur des Radiums, sechs Vorlesungen für populäres Publikum*“, an der Universität Glasgow im Jahre 1908²⁰. Und lassen Sie mich Ihnen ein einziges der wunderschönen Experimente zeigen, die durchaus erinnern an die Zusammenstellung von MICHAEL FARADAY „*Die Naturgeschichte einer Kerze*“, einem anderen berühmten Vorlesungszyklus der Naturgeschichte. R. J. STRUTT, der spätere LORD RAYLEIGH, hat eine Radiumuhr gebaut, die in Bild 20 gezeigt ist. Man hat darin einen Schatz – 100 mg Radiumsalz – eingearbeitet in ein Quarzröhrchen mit Elektrometer. Durch die Abstrahlung von Ladung lud sich dieses System auf. Berühren die Goldplättchen die Wandung des Gefäßes, so fallen sie zusammen. Das Gerät funktionierte über fünf Jahre hinweg mit einer Periodendauer von 3 min^{-1} . Bild 20 ist die Originalaufnahme der Radiumuhr, welche SODDY in seinen Vorlesungszyklus aufgenommen hat.

Wie gesagt, das Stimulanz der weiteren Entwicklung war Radium. Bild 21 zeigt OTTO HÖNIGSCHMID von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, einen der großen Atomgewichtsbestimmer der damaligen Zeit, und in Bild 22a sehen Sie – und da kippen wir schon ein wenig auch in die Ambivalenz des Themas Radioaktivität, in den Übergang zum Strahlenschutz –, fünf Gramm Radiumbromid (mit einer Aktivität von 3 Curie oder 110 Gigabecquerel, wie wir heute sagen würden) – im eigenen Licht leuchtend. FRIEDRICH

GIESEL legte sinngemäß nieder: Wenn man Radium auf die Rückseite des entblößten Hauptes hält, dann evoziert man neurophysiologische Signale, und selbst Blinde haben „Seheindrücke“. Auch durch die geschlossenen Augenlider hindurch ist dieses Präparat zu „sehen“. O. HÖNIGSCHMID wies durch genaue chemische Atomgewichtsbestimmung nach, daß exakt dreimal die Masse eines Heliumkerns fehlt vom Uran zum Radium und fünfmal dieselbe vom Radium zu Blei. Dies war im Jahre 1933, und Sie sehen in Bild 22b die F-Zentren-Bildung, die hier durch dieses Präparat erzeugt worden ist in den entsprechenden Apparaturen, die HÖNIGSCHMID und Mitarbeiter verwendet haben²¹. Lange Jahre haben wir dieselben in Süddeutschland gehütet in einem großen deutschen Museum, aber durch die Strahlenschutz-wut einer untergeordneten Verwaltungsangestellten sind sie überantwortet worden in eines der vielen, vielen Fässer, die nun leider nicht mehr der PTB unterstehen, sonst hätte ich Sie als Historiker dringend gebeten, selbige herauszuholen und sie dem Publikum – vielleicht in Plexiglas eingegossen – zur weiteren Betrachtung zur Verfügung zu stellen.

Ich habe gestern eines der Hönigschmid'schen Originalpräparate gesehen, die Sie hier im Haus haben. – Sie verwalten hier das Becquerel und das Curie. HÖNIGSCHMID hat damals das Atomgewicht mit chemischen Methoden bestimmt zu 226,05^{21, 22}. IUPAC-Werte zur Zeit liegen bei 226,025, recht viel besser konnte man es wohl chemisch analytisch seinerzeit nicht treffen.

Nun, das chemische Element Radium zerfällt, und das war eine große Auseinandersetzung zwischen RUTHERFORD und LORD KELVIN etwa, simultan in zwei weitere Elemente, in Helium und in die sogenannte Emanation, Radon, wie wir heute sagen würden. Ein sogenanntes Element, der Gruppe der Erdalkalien angehörend, wandelt sich spontan um in zwei neue Stoffe, das war Alchemie! LORD KELVIN titelte sinngemäß in den Londoner Gazetten: Radium ist eine Verbindung von Blei mit RUTHERFORDS Dummheit.

Wir kehren hierher nach Braunschweig zurück. FRIEDRICH GIESEL war es und die beiden Gymnasialprofessoren JULIUS ELSTER und HANS GEITEL, die genauso wie der Engländer WILLIAM CROOKES zum ersten Mal darauf hinwiesen, daß man die Energie, die hier frei

wird, nutzen kann durch Vermischung einer Radiumverbindung mit Zinksulfid (Sidotsche Blende), einem II/VI-Halbleiter. Damit war ein mächtiges Werkzeug geschaffen. Man konnte zum ersten Mal im atomaren Bereich distinkte Ereignisse beobachten, Szintillationen genannt. Zunächst aber natürlich gab es auch den kommerziellen Aspekt, die vielfache Verwendung von Leuchtfarben in der damaligen Zeit, außerdem eine mobile alpha-strahlende Quelle, das Radon. So hat die Radium-Heilgesellschaft die Wände des Kellerraums, in welchem die Säcke mit Uranerz lagen, mit Zinksulfid austreichen lassen, das unter der Wirkung der von ersterem abgegebenen Radonemanation genügend leuchtete, um die Umrisse von Personen und Gegenständen erkennen zu können, sofern man nicht ein Fenster öffnete¹³. In einem Medical Antiques-Shop in Oxford habe ich vor einigen Jahren für 3 £ ein solches Gerät erworben (Bild 23), und es hat mich an GIESEL denken lassen, Herr BUCHLER. *Glews scintilloscope*, bestehend aus einer kleinen Lupe, einer zinksulfidhaltigen *Pitchblende Screen* und einer *Radium Screen*, um die einzelnen Lichtblitze bei jedem Zerfall beobachten zu können. Im Nachlaß von STEFAN MEYER, Direktor des Wiener Radiuminstituts, findet sich der Hinweis, daß ERNST MACH – der große positivistische Kritiker der Atomtheorie – eines Tages ein kleines Gerät (Szintilloskop, Spinthariskop), ein früher Szintillationszähler, sagen wir heute, vorgeführt wurde. Es war bekannt, daß die Atomistiker um LUDWIG BOLTZMANN unter ERNST MACH sehr zu leiden gehabt hatten. Er hat immer darauf bestanden und in den Kolloquien gesagt: „*Habns eins gsehn*“ [von Ihren Atomen]. Nun war es mit einem Mal anders geworden. „*Es bleibt mir eine der ergreifendsten Erinnerungen*“, schreibt STEFAN MEYER, „*als Mach nach der Vorführung des Spinthariskops nicht etwa starrköpfige Einwände machte, sondern schlicht erklärte: Nun glaube ich an die Existenz der Atome*“²³.

Bild 24 zeigt eines dieser Spinthariskope. Die Alphastrahlung trifft auf das Zinksulfid, man „sieht“ – mit einer Restlichtkamara aufgenommen – Lichtblitze, die den einzelnen Zerfällen mit einer Freisetzung von jeweils einigen Megaelektronenvolt Energie vor Ort entsprechen. Sie nehmen unmittelbar den statistischen Charakter der Radioaktivität, räumlich und zeitlich (Bild 25), im stochastischen Auftreten der punktförmigen Szintillationen wahr¹³.



Bild 22a: Fünf Gramm Radiumbromid (entsprechend einer Aktivität von **drei Curie** (110 GBq) im eigenen Lichte leuchtend²¹



Bild 22b: F-Zentrenbildung durch Einlagerung von hochaktiven Radiumpräparaten²¹
(Photo: Deutsches Museum, München)

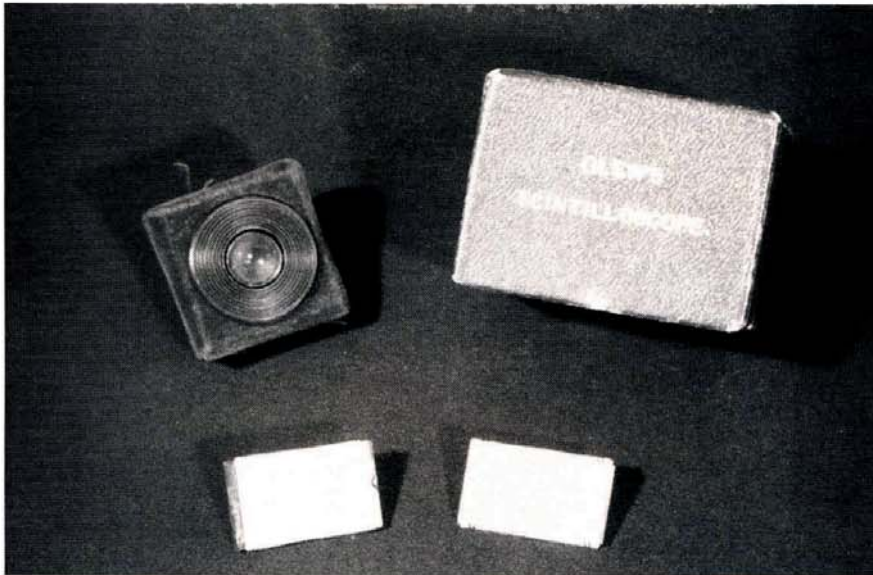


Bild 23a: Glews Scintilloscope (Aufnahme: P. Schöffl, Verfasser)

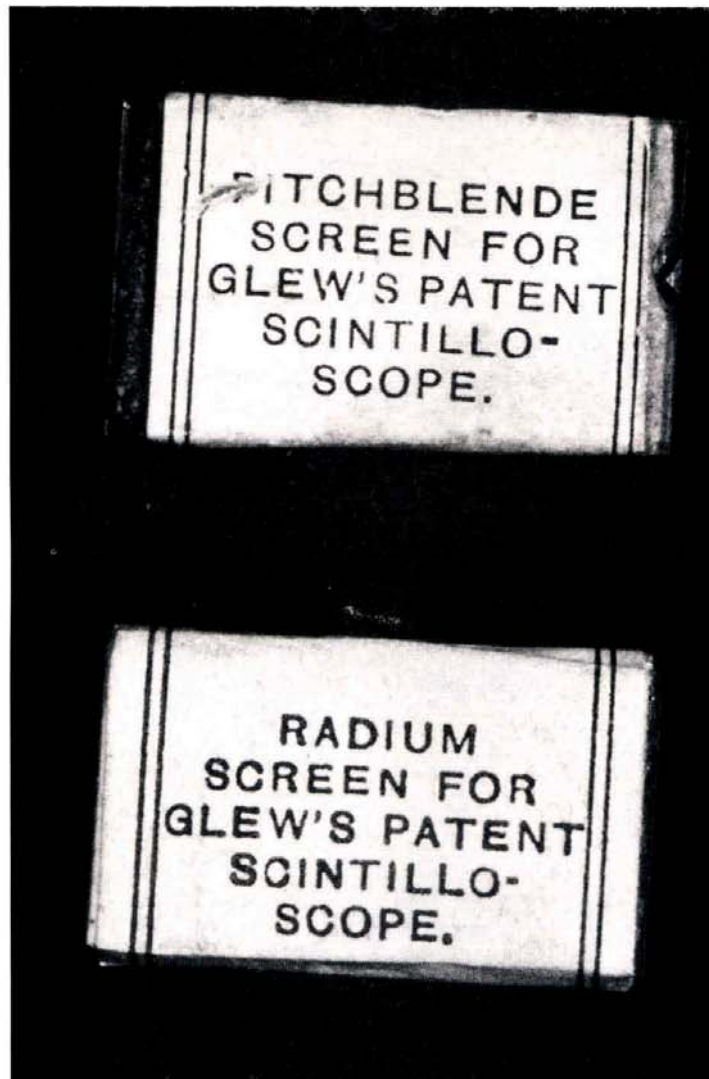


Bild 23b: Pitchblende Screen ($A(\text{Ra-226}) = 80 \text{ Bq}$)^{10,13}; Radium Screen ($A(\text{Ra-226}) = 4000 \text{ Bq}$)^{10,13} (Aufnahmen: P. Schöffl, Verfasser)

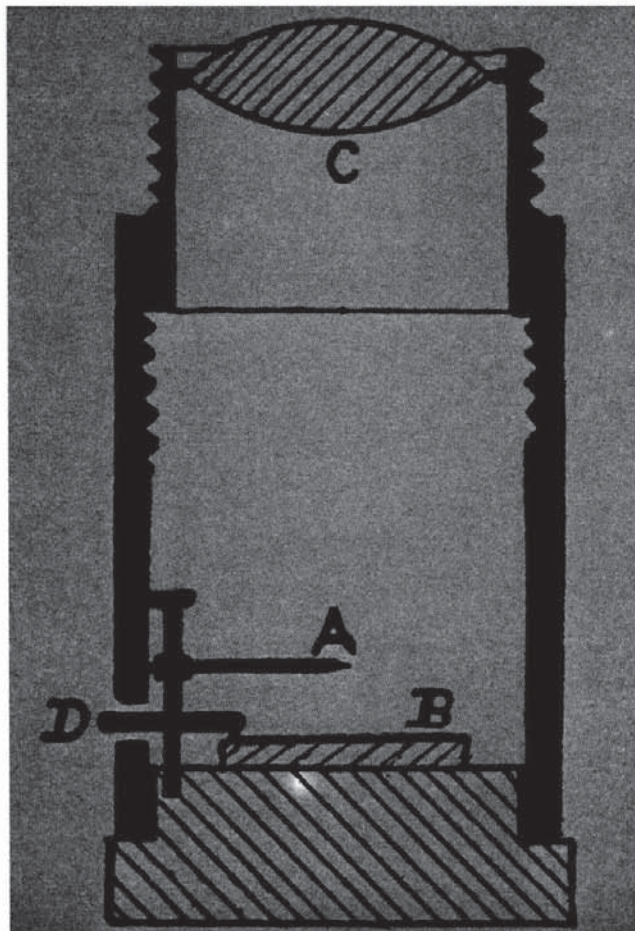


Bild 24: Aufbau eines Spintariskops aus F. Soddy: *Die Natur des Radiums*²⁰
 A: Nadel bestrichen mit Radiumsalzlösung B: Zinksulfid-Leuchtschirm

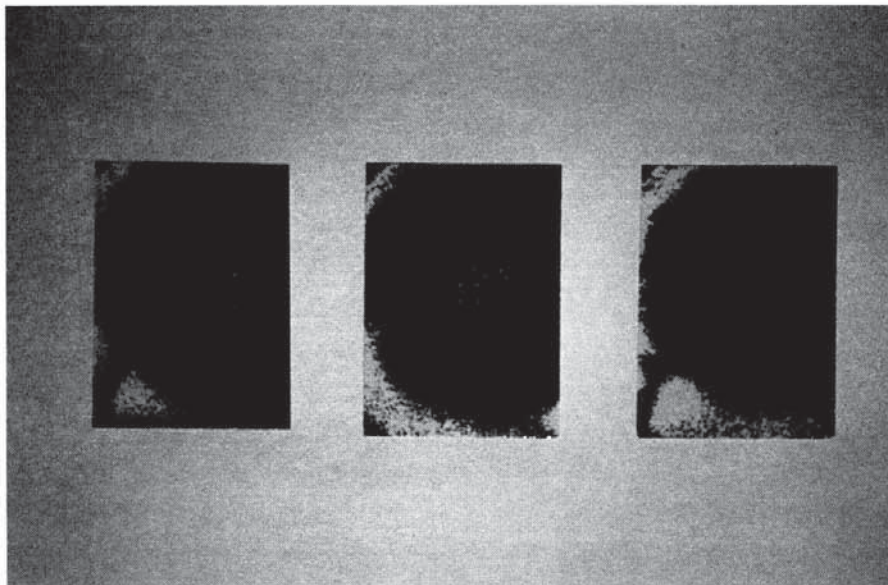


Bild 25: Spintariskop-Aufnahmen bei abgenommenem Tubus unter Zuhilfenahme einer Restlichtkamera. Die Sequenz wurde (v. l. n. r.) in Sekundenabständen aufgenommen und demonstriert eindrucksvoll – zeitlich wie räumlich – den stochastischen Charakter des radioaktiven Zerfalls¹³.
 (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Verfasser)



Bild 26a, b: Marie Curie (* Warschau 1867, † Sancellemoz (CH) 1934); Pierre Curie (* Paris 1859, † ebd. 1906) (Photo: Deutsches Museum, München)

Bild 26 zeigt das Ehepaar CURIE, das sich große Verdienste erworben hat um die Charakterisierung und Darstellung des Radiums, auch der frühen Lehre von der Radioaktivität, und zusammen mit BECQUEREL 1903 den Nobelpreis für Physik erhielt. 1911 wurde zudem Frau CURIE ungeteilt der Nobelpreis für Chemie verliehen. Bild 26b zeigt MARIE CURIE mit ihren Töchtern EVE und IRÈNE. IRÈNE CURIE entdeckte später zusammen mit Ihrem Mann FRÉDÉRIC JOLIOT die sogenannte „künstliche Radioaktivität“.

Nun ist es aber an der Zeit, ein wenig nachdenklich zu werden. Ich sagte Ihnen, diese frühen Entdeckungen der Radioaktivität waren auch ein Stimulanz für den Strahlenschutz bis in unsere Tage hinein. Und so schreibt am 25. Mai 1928 ein Journalist aus New Jersey an Frau CURIE: *„In Orange, New Jersey, gibt es fünf Frauen, die allmählich an Radiumbrand sterben. Zwölf Frauen sind bereits verstorben. Diese Frauen waren, ..., in einer Fabrik angestellt, wo sie Leuchtzifferblätter für Armbanduhr und Wecker bemalten.die Frauen wurden gelehrt, die Farbpinsel in den Mund zu nehmen und sie mit den Lippen anzuspitzen.... fünf sterben jetzt einen schrecklichen und schmerzhaften Tod. Ich frage mich, ob Sie bei Ihrer bewunderungswürdigen Arbeit irgendetwas entdeckt haben, was diesen Frauen helfen könnte“*²⁴. Bild 27 (s. S. 36) zeigt ein Cartoon als Teil einer Pressekampagne der damaligen Zeit. Sie sehen das Farbenatelier, wo die jungen Damen nun sowohl das Mesothorium wie das Radium-226 auf Uhrenziffern und -zeiger aufgetragen haben. Es handelt sich hier, wenn Sie so wollen, um einen der ersten gewerbe- und arbeitsmedizinischen Problemfälle, die dokumentiert sind. Hier wurde Radium inkorporiert, eingebaut in die Knochen. Und so traurig es für uns ist, es ist das erste dokumentierte Beispiel für die Inkorporation von High-LET-Strahlern, wie wir heute sagen, von Alpha-Aktivitäten in den Körper. Diese schrecklichen Erfahrungen haben sehr dazu beigetragen, den Strahlenschutz gerade im Umgang mit Alphastrahlern äußerst diszipliniert in den Folgejahren zu gestalten bis hin zu den heutigen Verordnungen, die wir haben.

Sorglos geht der Mensch oft um mit neuen Dingen. Bild 28 dokumentiert ein Patentverfahren zur Herstellung „radioaktiver, zuckerhaltiger Lebensmittel“. Oder, um nur aus den vielen Kuriosa der damaligen Zeit des Deutschen Museums ein weiteres zu erwähnen,

„radioaktive Zahncreme“ in Bild 29 für strahlenden Gebrauch. Nirgendwo wird Ernst und Ambivalenz deutlicher als hier: Radium als „natürliches Strahlenheilmittel“²⁶.

Radium gibt ein radioaktives Gas, die Emanation, ab. RUTHERFORD klärt die Sache auf: Trennt man das Gas vom Festkörper, dann zerfällt die Emanation. Im gleichen Maße steigt die Aktivität wieder in der Probe an (vgl. Bild 30a). Und ERNEST RUTHERFORD, der sich inzwischen als zukünftiger LORD NELSON sein Wappen aussuchen durfte, hat in dem in Bild 30b gezeigten Wappen zwei Kurvenzüge gewählt. Das sind keine Degen, in diesen Kurven steckt vielmehr Radiogenetik, die Mutter-Tochter-Trennung des Radiums vom Radon.

Ein Beispiel für eine heute in vielen technik- und medizingeschichtlichen Museen dokumentierte Anwendung zeigt Bild 31a, b. Es handelt sich hier um ein sogenanntes „Emanatorium für die Heimkur“^{13, 28}, eine Röntgenaufnahme zeigt die Emanationsquellen. Aus diesen Emanatorien werden mit etwa 100 ml eingefülltem Wasser – wie die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in begleitenden Werbebroschüren zitiert wird – wie bei Kaffeemaschinen innerhalb von 24 Stunden bis zu 4 mCi (150 kBq) Radon abgezapft für die elegante Heimkur, wie es dort heißt.

Noch heute verwenden wir – allerdings nach wie vor ohne objektiven Wirkungsnachweis – Radon im Bereich der Balneologie. Sie sehen in Bild 32 radioaktives Heilwasser aus einem bayerischen Staatsbad.

Die Strahlenhygiene und die Diskussion der Auswirkungen der kumulierten Lungenexposition mit Radon und seinen aerosolgetragenen Folgeprodukten ist heute ein wichtiges Betätigungsfeld im angewandten Strahlenschutz, auch in der PTB. Die Langzeitexposition der Beschäftigten in solchen Bädern, die am Arbeitsplatz inkorporieren, gilt es zu beachten. Also geht es primär nicht um die nur temporär anwesenden Kurgäste. Es geht aber auch generell um die Exposition in Innenräumen, die maßvolle Regularien erfordern. Die frühen Hinweise zur Strahlenbiologie der Lunge übrigens, und auch hier schließt sich wieder der Kreis, gehen bereits auf kei-

nen geringeren als AGRICOLA zurück, der 1527 bis 1533 Stadtarzt in Joachimsthal war und dem die „endemische Lungensucht“ der Bergarbeiter dort aufgefallen war. Er nannte sie „den gewöhnlichen Würgeengel alter und schwerkgeprüfter Bergleute“. Die Alpha-, Beta- Exposition der Lunge ist ein Beschäftigungsthema aus den frühen Tagen des Strahlenschutzes, das uns heute in unseren Wohnräumen, in unseren Innenräumen hier einholt.

Klasse 53 a.

Ausgegeben am 25. Februar 1932.



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT.
PATENTSCHRIFT N^o 127016.

DR. GEORG SENFTNER IN BERLIN.

Verfahren zur Herstellung radioaktiver zuckerhaltiger Lebensmittel.

Angemeldet am 14. April 1930; Priorität der Anmeldung im Deutschen Reiche vom 8. Oktober 1929 beansprucht.
Beginn der Patentdauer: 15. Oktober 1931.

Radioaktive zuckerhaltige Lebensmittel sind an sich bekannt. Für ihre Herstellung ist man im allgemeinen so vorgegangen, daß man die üblichen Bestandteile des Lebensmittels mit einem Radiumsalz vermischt hat. So hat man beispielsweise ein radioaktives Pulver hergestellt, das neben Eiweißstoffen Milchzucker, Weizenstärke, Kakaopulver und ein Radiumsalz enthält, indem man die einzelnen Bestandteile, darunter auch das Radiumsalz, in trockenem Zustande miteinander vermischt hat. Andererseits hat man auch schon vorgeschlagen, Thoriumemanation in gasförmigem Zustande in oder auf eine Flüssigkeit zu leiten oder zu blasen, die entweder das betreffende Lebensmittel bildet oder mit ihm nachträglich vereinigt werden soll. Dabei bleibt die Thoriumemanation aber einfach in freiem Zustande als Beimischung in der Masse enthalten, und es besteht daher die Gefahr, daß sie beim Lagern, namentlich aber auch beim Warmwerden und Erhitzen, schnell wieder ausgetrieben und das Präparat dadurch wieder inaktiv wird. Dabei kommt auch noch sehr nachteilig in Betracht, daß Thoriumemanation bekanntlich nur eine Halbwertszeit von noch nicht einer Stunde besitzt, so daß auch aus diesem Grunde die Aktivität der so hergestellten Präparate schnell abklingen muß.

Man hat andererseits auch schon vorgeschlagen, haltbare radioaktive Präparate dadurch herzustellen, daß man radioaktive Stoffe enthaltendes Wasser vorher entwässerte, mit Kristallwasser kristallisierende Substanzen zusetzt und so von diesen Substanzen als Kristallwasser aufnehmen läßt. Über die Art der hierbei verwendeten kristallwasserhaltigen Substanzen war jedoch Näheres nicht angegeben.

Die vorliegende Erfindung macht nun von diesem an sich bekannten Vorschlag Gebrauch für die Herstellung haltbarer radioaktiver zuckerhaltiger Lebensmittel. Dabei wird aber nicht irgendein beliebiger, mit Kristallwasser kristallisierbarer Fremdkörper als Träger der radioaktiven Substanz verwendet, sondern es kommt gemäß der Erfindung darauf an, die radioaktive Substanz hier an Zucker zu binden, der ohnehin für die Herstellung des Lebensmittels nötig ist, und zu diesem Zwecke an Stelle des sonst allgemein benutzten, ohne Kristallwasser kristallisierenden Rohrzuckers eine solche Zuckerart zu verwenden, die mit Kristallwasser kristallisiert, z. B. Milchzucker, Traubenzucker, oder auch Kristallwasser enthaltende Zuckerverbindungen, z. B. Calciummonosaccharat. So gelingt es, den radioaktiven Stoff dem Lebensmittel einzuverleiben und an einen der Bestandteile des letzteren zu binden, ohne daß es nötig wäre, irgendeinen Fremdbestandteil, abgesehen von der radioaktiven Substanz selbst, in das Lebensmittel hineinzubringen. Demgemäß besteht das Wesen des vorliegenden Verfahrens in der Hauptsache darin, daß man den gebräuchlichen Ausgangsmaterialien für die Herstellung zuckerhaltiger Lebensmittel, gegebenenfalls im Gemisch mit gewöhnlichem Zucker, kristallwasserhaltigen Zucker zusetzt, der aus radioaktivem Wasser kristallisiert ist, und die Verarbeitung dann in der sonst für die Herstellung des betreffenden Lebensmittels üblichen Weise vornimmt. So gelingt es, zuckerhaltige Nahrungsmittel herzustellen, welche die radioaktive Substanz in gebundenem Zustande enthalten und daher ihre Radioaktivität dauernd und im wesentlichen unvermindert beibehalten.

Die Erfindung ist anwendbar auf die Herstellung der verschiedenartigsten, radioaktiven, zuckerhaltigen Lebensmittel, insbesondere auf die Herstellung von radioaktiver Schokolade, radioaktiver Zuckerwaren der verschiedensten Art, wie Bonbons aller Art, Dragees, Fondants, Marzipanwaren, Pralinen u. dgl. mehr. Allgemein gesprochen ist das Verfahren anwendbar auf alle solche zuckerhaltigen Produkte, bei deren Herstellung keine Zerstörung oder Austrreibung des radioaktiven Stoffes, etwa infolge Anwendung zu hoher Temperaturen od. dgl., zu befürchten ist. Soweit man für die Herstellung solche

Bild 28: Patentschrift über „Verfahren zur Herstellung radioaktiver zuckerhaltiger Lebensmittel“



Bild 27: Cartoon einer New Yorker Zeitung aus den 20er Jahren, welches auf die Tragödie der Ziffernblattmalerinnen beim ungeschützten Umgang mit Radioisotopen aufmerksam machen wollte^{25, 13}



Bild 29: Werbung für „radioaktive Zahncreme“ (Photo: G. Lieckfeld)

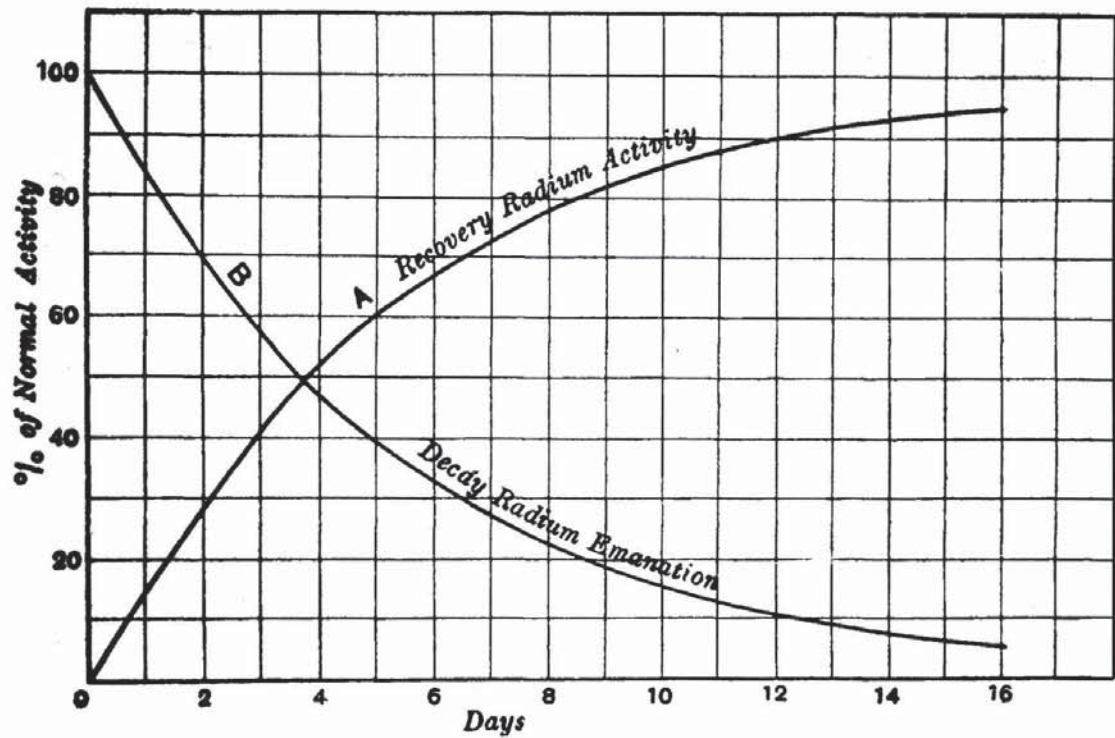


Bild 30a: Nachwachsen der Radium-Emanation nach erfolgter Mutter-/Tochter-Trennung bei $t = 0$



Bild30b: Das – von ihm selbst ausgewählte – Wappen von Lord Ernest Rutherford of Nelson, ein seltenes Beispiel radiochemischer Heraldik (aus ²⁷)

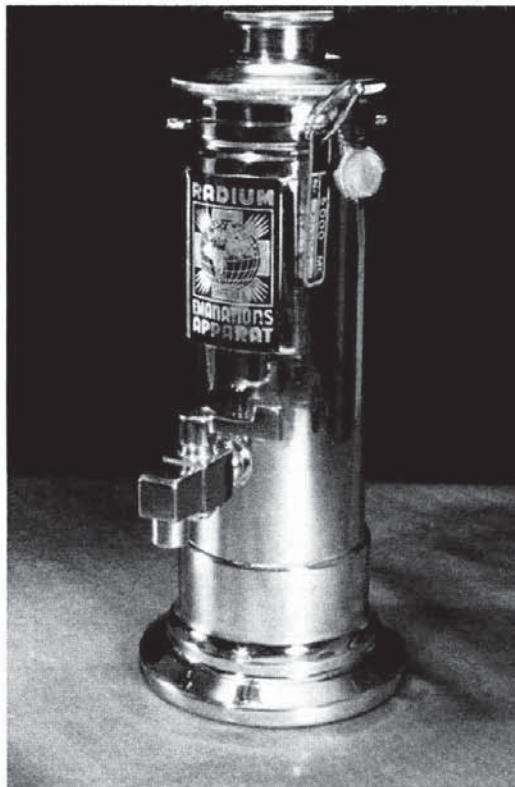


Bild 31a: Radium-Emanationsapparat (Emanatorium) aus den frühen 30er Jahren^{13, 28},
Gamma-Oberflächendosisleistung = 25 $\mu\text{Sv/h}$

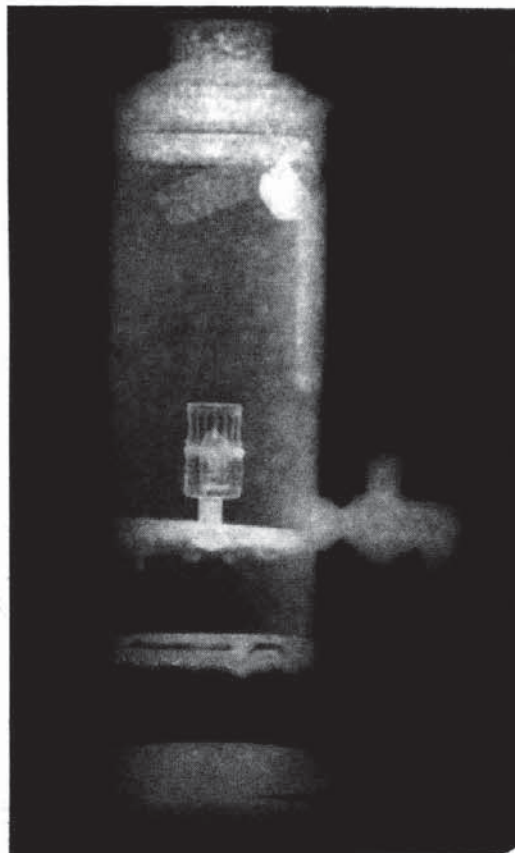


Bild 31b: Röntgenaufnahme (120 kV; 125 mAs) des Emanatoriums, deutlich erkennbar
die Emanationsquelle (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Verfasser)



Bild 32: Typisches Abfüllungsgebilde für radioaktives Heilwasser aus Bayern (Aufnahme: J. Martin, Erlangen)

Literatur

- 1 M. H. KLAPROTH: Chemische Untersuchung des Uranits einer neuentdeckten metallischen Substanz. *Crell's Annalen* 12 (1789) 387–403
- 2 F. KIRCHHEIMER: *Das Uran und seine Geschichte*. Stuttgart: E. Schweizerbart 1963.
- 3 R. T. GÜNTHER: A Mural Glass Mosaic from the Imperial Roman Villa near Naples. *Archeologia*, II. 13 (1912) 99–105
- 4 J. J. MANLEY: Analysis of Green and Blue Glass from the Posilipan Mosaic. *Archeologia*, II. 13 (1912) 106–108
- 5 E. R. CALEY: The Earliest known Use of Material containing Uranium. *Isis* 38 (1948) 190–193
- 6 R. J. SCHWANKNER, G. LIECKFELD, D. LIENERT: Die Frühgeschichte des Urans. *Die Geowissenschaften* 7 (1989) 215–224
- 7 R. J. SCHWANKNER, G. LIECKFELD, A. SCHÖPF, P. SCHÖFFL, M. STEINER: Zur Farbkraft von Uranverbindungen. Teil II. Uranglas/Fluoreszenz des Uranyl(VI)-ions. *MNU* 45 (1992) 88–98
- 8 R. J. SCHWANKNER, G. LIECKFELD, D. LIENERT: Zur Farbkraft von Uranverbindungen. Teil I. Urankeramik/Uranoxidstufen (UO_x ; $x = 2...3$). *MNU* 44 (1991) 25–32
- 9 O. RIST, R. J. SCHWANKNER: Uran-Lichtschutzglas. *Praxis (Physik)* 3/44 (1995) 23–24
- 10 P. SCHÖFFL: Beitrag zur radiometrischen Charakterisierung von radioaktiven Alltagsgegenständen. Diplomarbeit FH München: München 1992
- 11 W. NEUWIRTH: *Farbenglas I*. Wien: Selbstverlag 1993
- 12 J. LEMMERICH: *100 Jahre Röntgenstrahlen*. Würzburg: Universität 1995
- 13 R. J. SCHWANKNER, A. BRUMMEISL, G. LIECKFELD, P. SCHÖFFL, A. SCHÖPF: Die Frühgeschichte des Radiums Teil I/II. *Die Geowissenschaften* 10 (1992) 160–167 und 190–198
- 14 A. BRACHNER, G. HARTL, S. HLADKY: *Atom-, Kern- Elementarteilchenphysik, Ausstellungskatalog*. München: Deutsches Museum 1987
- 15 Deutsches Museum: *Der historische Teil der Abteilung Kernphysik. Abhandlungen und Berichte* 28 Heft 3 (1960) 21–32
- 16 M. CURIE: Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. *Comptes rendue* 126 (1898) 1101–1103
- 17 M. CURIE: *Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen*. Braunschweig: Vieweg 1904
- 18 M. E. WEEKS: *Discovery of the elements*. Easton (Pa): Mack Comp. 1960

- 19 R. J. SCHWANKNER, A. BRUMMEISL, CH. FEIGL, P. SCHÖFFL: Frühe Verwendungsgeschichte von Thorium. *Die Geowissenschaften* 12 (1994) 66–73
- 20 F. SODDY: *Die Natur des Radiums*. Leipzig, Vieweg 1909
- 21 R. J. SCHWANKNER: Otto Hönigschmid (1878-1945). *Chemie in unserer Zeit* 15 (1981) 163–174
- 22 O. HÖNIGSCHMID, R. SACHTLEBEN: Revision des Atomgewichts des Radiums. *Z. Anorg. All. Chemie* 221 (1934) 65–82
- 23 ST. MAYER: Das Spinthariskop und Ernst Mach. *Z. Naturforschung* 5a (1950) 407–408
- 24 R. REID: *Marie Curie*. Düsseldorf – Köln: Diederichs Verlag 1980
- 25 H. L. HARDY: Lessons in Control of man-made Disease. *New Engl. J. Med.* 237 (1965) 1188–1199
- 26 M. HEINER: *Radium das natürliche Strahlenheilmittel*. Leipzig: J. J. Arnd Verlag 1941
- 27 R. J. SCHWANKNER, V. WISHNEVSKY, M. EISWIRTH: The ^{234m}Pa Generator – Aspects of Milking the „ ^{234}Th Cow“. *J. Chem. Educ.* 62 (1985) 623–626
- 28 R. DEWIT, T. DEROO: Description of an Antique Radium-Goblet; A Dangerous Curiosity. *Medical History* 18 (1974) 299–303