

# Die Geowissenschaften

Forschung und Praxis

Organ der Alfred-Wegener-Stiftung

6/'92



*Stereogrammetrie und Umweltschutz  
Die Frühgeschichte des Radiums  
Rohstoffvorkommen in Venezuela*

Robert J. Schwankner,  
Alexander Brummeisl,  
Gerolf Lieckfeld,  
Peter Schöffl und  
Antonie Schöpf

# Die Frühgeschichte des Radiums – Teil II

Teil I dieses Beitrags wurde in Heft 6, Juni 1992, veröffentlicht.

## 5 Frühe Radiumapplikation in der Heilkunde

*„Es ist ja leider der Fall, und auch bei der Anwendung des Radiums zu Heilzwecken nicht zum erstenmal, daß es teilweise zum Gegenstand geschäftlicher Spekulationen geworden ist, daß solche Präparate zu über Gebühr hohen Preisen abgegeben werden, bzw. die versprochene Wirksamkeit auch nicht annähernd haben. Überdies gehört zu einer sachgemäßen Anwendung eine sehr reiche Erfahrung, wie sie nur wenige haben, und wenn eine solche nicht vorhanden ist, kann der Erfolg der Behandlung, die meistens naturgemäß sehr teuer ist, entweder ganz ausbleiben, oder es können zu dem alten Leiden noch neue infolge unrichtiger Behandlung hinzukommen“ [27].*

Die objektive wie subjektive Strahlenwirkung von Radium und seiner Emanation sind seit langem bekannt; auch heute wird es noch in wenigen Spezialfällen in der Radioonkologie genutzt. Zum einen war auffällig, daß in Joachimsthal, in welchem ja seit dem 16. Jahrhundert Erzbergbau betrieben wurde, im Gegensatz zu anderen Standorten die hölzernen Grubenstützen jahrzehntelang keinen Holzschwamm ansetzten und andererseits von Schimmelbefall weitgehend verschont blieben [7, 27, 39]. Eine heilkräftige Wirkung wurde sodann den Rückständen der Uranfarbenaufbereitung – kleine damit gefüllte Leder-säckchen wurden in der Volksmedizin von Rheuma- und Gichtkranken angewendet – ebenso zugeschrieben wie den dort in der Umgebung abfließenden Stollenwässern – lange vor der Entdeckung des Radiums und der Errichtung entsprechender balneologischer Einrichtungen [7, 39].

Die ersten Beobachtungen nicht-stochastischer Strahlenschäden wurden beim Umgang mit makroskopischen Radiumpräparaten (wägbare Mengen) von den Element-Entdeckern gemacht. P. Curie ließ so zum Bei-

spiel ein „mittelaktives Präparat“ über zehn Stunden hinweg auf seinem Oberarm liegen, worauf sofort Erythembildung eintrat, gefolgt von nekrotischer Zersetzung der Epidermis, eine Wundheilung trat nur zögerlich unter Narbenbildung innerhalb von 4 Monaten ein. In einer Reihe weiterer Selbstversuche zeigte es sich, daß das Produkt aus angewandter Radiummenge und Expositionszeit („mg-Element-Stunde“) in enger Beziehung zur Intensität und Latenzzeit der genannten Effekte und ihrer Abheildauer steht, was zu folgendem praktischem Ratschlag von Herrn J. Danne, dem Privatassistenten von P. Curie, Anlaß gab [13, 17, 20]:

*„Die vorstehenden Ergebnisse weisen darauf hin, daß man ein Radiumsalz nicht anders als in ein sehr dickes Bleiblech eingewickelt längere Zeit bei sich tragen soll“ [13].*

Von bemerkenswerten Veränderungen an den Fingern der mit wägbaren Radiumpräparaten (im radiogenetischen Gleichgewicht mit seinen Folgeprodukten) hantierenden Personen berichten aus eigener Erfahrung St. Meyer und E. Schweidler:

*„Als typisches Beispiel, wie es sich besonders beim Umfüllen von Emanations-satten (sic!) Präparaten zeigt, ... Nach etwa einer Woche trat Rötung, Blutaustritt unter der Haut, dann Blasenbildung, wie bei starken Verbrennungen auf. Hemmung des Wachstums der Fingernägel und Verhornung der entfernteren Partien um den Nagel sind Begleiterscheinungen [sog. „Radiumklaue“; Anm. d. V.]. Der sehr schmerzhafteste Verlauf, der auch an die Folgeerscheinungen bei Erfrierungen erinnert, beansprucht einige Wochen bis Monate ... Es verbleiben ... unangenehme Narben, die stellenweise Verhärtungen mit immer wieder punktweise auftretenden Blutungen unter der Haut aufweisen... Einwirkungen auf die Blutzusammensetzung wurden im Wiener Radiuminstitut an mit starken Präparaten beschäftigten Forschern festgestellt; ...“ [20].*

Systematischere Studien der Wirkung auf biologische Systeme schlossen sich an. Biolo-

gisch-botanische Untersuchungen ergeben so zum Beispiel Wachstumshemmung an Pilzen, Retardierung des Wurzelwachstums und des Knospens sowie das Vergilben von Blättern. Eine Reizdüngungshypothese durch den Radium- und Urangehalt des Bodens wurde von J. Stolaska angenommen und im Hinblick auf die Aufarbeitung von Rückständen der Uran- und Radiumgewinnung als „radioaktive Dünger“ – von M(aurice) Curie durchaus im industriellen Rahmen diskutiert [24, 40].

Zoologisch-biologische Studien zeigten eine abtötende Wirkung auf bestimmte Mikroorganismen sowie eine komplexe Beeinflussung höher organisierter Lebensformen. Allerdings wurde auch eine Reihe von phantastisch anmutenden Interpretationen, etwa bei der Deutung radiuminduzierter Radiolyse-Effekte in Gelatine als „spontane Urzeugung“, vorgenommen, eine Tatsache, welche dann direkt in klassische Science-Fiction-Romane – so etwa in Hans Dominiks „Lebensstrahlen“ (1938) [41] – Eingang fand.

*„Der Enthusiasmus ging so weit, daß die durch Pasteur endgültig der Vergessenheit geweihte Lehre von der Generatio spontanea wieder zum Leben zu erwachen drohte... Burke fand nämlich, daß wenn man in ein Reagenzglas mit steriler Gelatine ein 2,5 mg Radiumbromid oder Radiumchlorid enthaltendes Röhrchen bringt, nach Verlauf einer gewissen Zeit es zur Bildung von Oberflächenveränderungen an der Gelatine zu kommen pflegt. Diese Veränderungen, ... sprach Burke als Mikroorganismen an und benannte dieselben sogar als ‚Radioben‘.“ [42].*

Die humanmedizinischen Anwendungen des Radiums und seiner Emanation, welche hier vor allem hinsichtlich ihrer ersten Versuche vorgestellt werden sollen, erfolgte u. a. bei der Therapie von: Ekzemen, Herpes, Lupus usw., bei Tumoren, Karzinomen, Sarkomen, Gelenkrheumatismus, Gicht, Ischias... [20, 39, 42–45] (Abbildung 5). Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen der Bestrah-



6a



lungs- und der Inkorporationstherapie. Zur äußerlichen Bestrahlung kamen u. a. sogenannte „Lackpräparate“ zur Anwendung, welche auch einige Prozent der Alpha-Strahlung austreten ließen. Diese wurden durch Aufschlänmen feinsten Radiumsulfat-Pulvers in Alkohol und Auftrag der Suspension auf das Trägermaterial hergestellt. Eine weitere Fixierung – v. a. um eine Schmierkontamination zu vermeiden – wurde durch Eintrag in eine Zubereitung aus Kopal, Bernstein und Leinöl hergestellt.

6b

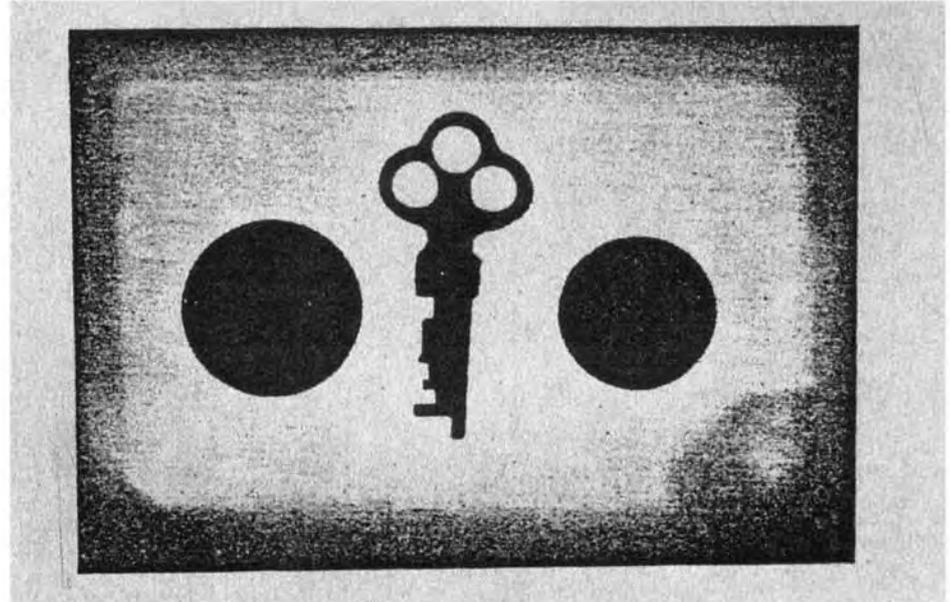


Abb. 5. „Aegros Radium sanat, caducos rehabilitat“ steht als Motto am Beginn dieser 1941 erschienenen Schrift, welche sich mit dem Radium-Bäderwesen befaßt [39].

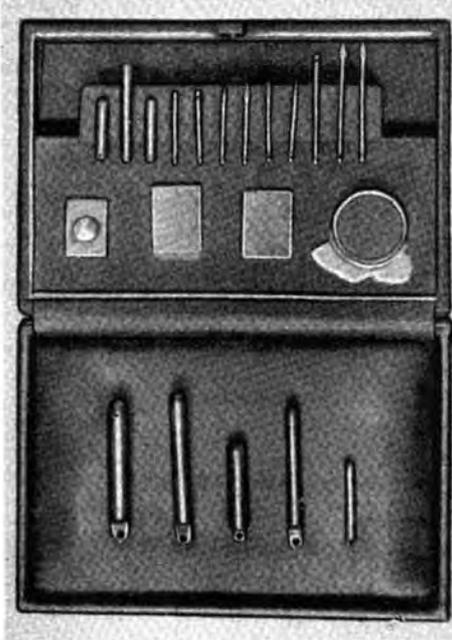
Abb. 6. a: Radiumkompressen (15 cm x 25 cm; 0,1–10 mg Radiumelement) erfreuten sich allgemeiner Beliebtheit zu „trockenen radioaktiven Umschlägen“. Folgende biologische Wirkungen werden geltend gemacht: „Aktivierung der Gewebe, Beschleunigung des Stoffwechsels, innerhalb desselben Verstärkung der Durchblutung, des Zuflusses der Lymphe und der Leukozyten, schmerzstillende und sedative Wirkung auf die Nervenendigungen, resorptionsfördernde und entzündungshemmende Wirkung“ [39]; b: Radiographie ausgeführt mit einer Radiumkompressen; Aufnahme: P. Schöffel aus [39].

Weitere Medien als Träger von Flächenpräparaten waren Textilgewebe. Aus dem staatlichen Radiumunternehmen in Joachimsthal stammen insbesondere radioaktive Kompressen, welche „zur bequemen und zweckmäßigen Applikation kleiner Dosen von Radium auf die erkrankten Stellen“ dienen (Abbildung 6). Die Kompressen waren bezüglich ihrer Abmessungen standardisiert (15 cm x 20 cm), die Konfektion bezog sich auf den Radiumgehalt, welcher zwischen 0,1 ... 10 mg (Radiumelement) variierte, womit sich be-

quem Radiographien aufnehmen ließen (Abbildung 6). Die entsprechende Werbe-/Applikationsbroschüre (Abbildung 6a) zeigt eine Reihe von Fertigungsschritten der Kompressen, welche überwiegend von Frauen vorwiegend ohne Kontaminationsschutz ausgeführt wurden. Neben den flächenhaften Präparaten, welche u. a. auch die Alpha-Strahlung des Radiums zu applizieren gestatteten – allerdings in der bewußten Inkaufnahme von Patientenkontaminationen – wurden auch metallische kontaminationsfreie Radium-Flächenträger, -kapseln und -röhrchen (sog. „Tuben“) in der Kontakttherapie eingesetzt (Abbildung 7a). Sie waren bald so konstruiert, daß keine Hohlräume verblieben und somit die Abstrahlungscharakteristik nicht durch ihre Lage im Raum beeinflusst wurde; bei Nichtgebrauch wurden sie in Bleitresoren aufbewahrt.

Die Eindringtiefen wurden über Variation der Strahlenqualität (Anteil der Beta-Strahlung) durch vorgeschaltete oder übergeschobene Filter gewählt, wobei für die Bestrahlung entzündlicher Prozesse „meist Radiumpräparate von rund 10-mg-Element Gehalt ... für böseartige Neubildungen solche von 40–100-mg-Element Gehalt“ zur Anwendung kamen [39]. Für intratumorale Kontaktbestrahlungen wurde die „Spickmethode“ entwickelt, die darin besteht, daß in den „Krankheitsherd“ sogenannte Radiumnadeln eingestochen werden, welche dort bis zu einer Woche verbleiben. Über den Aufbau derartiger Nadeln gibt M. Heiner vom Radiumbad Joachimsthal ebenso Auskunft, wie eine umfangreiche Firmenschrift des seinerzeit größten Ra-

7a



7b

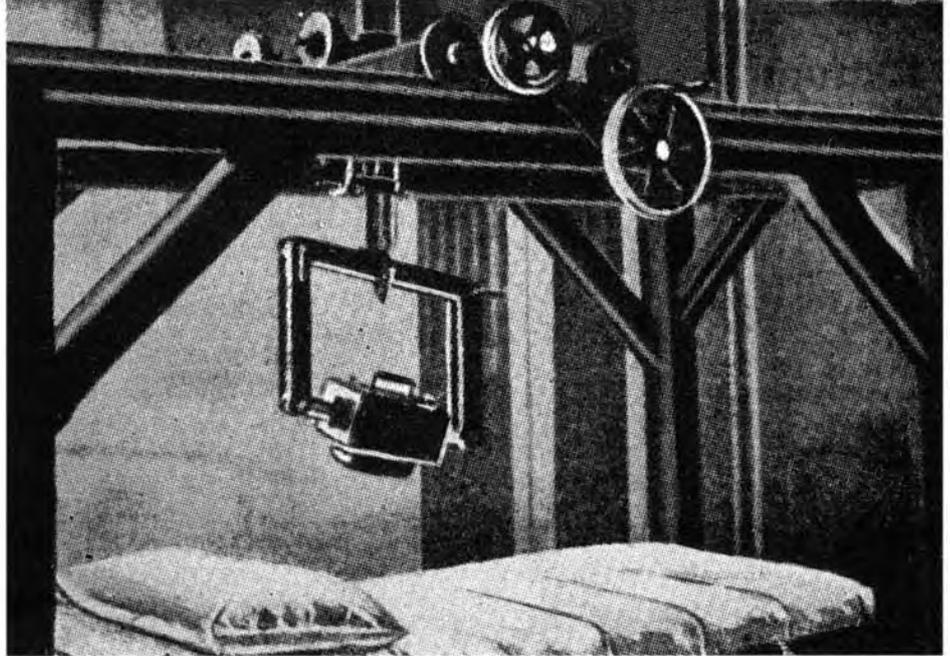


Abb. 7. a: Radiumpräparate in Form von Metallhohlkörpern für die Kontakttherapie bösartiger Neubildungen in einem vermutlich mit Blei armierten Aufbewahrungsbehälter. „Mit Vorliebe werden für solche Kontaktbestrahlungen die Radiumpräparate in Form der Röhrchen („Tuben“) benutzt, da sie sich erstens allseitig gut und gleichmäßig filtern, zweitens gut in innere Körperöffnungen wie Nase, Mund, Speiseröhre, Harnröhre, Mastdarm usw. einführen und drittens mehrere Tuben hintereinander in der Längsrichtung oder nebeneinander gereiht zu einem nach Bedarf größeren Strahlenkörper vereinigen lassen“ [39]; Aufnahme: P. Schöffl, aus [39]. b: „Telecurie“-Therapie (Fernbestrahlung mit mehreren Gramm „emanationsstatem“ Radium). „Diese Apparatur auch Radiumkanone verzichtet prinzipiell auf Anwendung weicher Strahlen und arbeitet therapeutisch nur mit harten, tiefdringenden Gamma-Strahlen. Ihre Konstruktion und Anwendungsart entspricht der Röntgentherapie; ... [sie ist] so angebracht, daß ihr Strahlenkegel in beliebiger Richtung eingestellt werden kann“ [39]; Aufnahme: P. Schöffl aus [39].

diumproduzenten auf dem Kontinent, der in Brüssel ansässigen „Union Minière Du Haut Katanga“ [46]; über Radium-Dosimetrie berichtet W. Minder [63].

Fernbestrahlungen, d. h. die Quelle befindet sich in 20–60 cm Höhe über der Körperoberfläche des Patienten, wurden im Rahmen der „Telecurie“-Therapie mit der harten Gamma-Strahlung von 2–5 g Radiumelement, welches in massiver Bleiabschirmung mit Fenster („Radiumkanone“) eingearbeitet war, ausgeführt (Abbildung 7b). Die „Telecurie“-Therapie brachte Aufschwung in die Radiumproduktion, wobei auch eingestanden werden muß, daß sich an ihren Einsatz in der Krebsbehandlung bei der allgemeinen Bevölkerung oft übertriebene Hoffnungen knüpften. Abgelöst wurde Radium als Gamma-Quelle sukzessiv durch vergleichbar billiges  $^{60}\text{Co}$ Kobalt. Letzteres war seit den frühen 50er Jahren durch Neutronenaktivierung zugänglich. Mit die erste „Kobalt-Kanone“ wurde von H. E. Johns zusammen mit J. MacKay entworfen, konstruiert und 1951 in der kanadischen Krebs-Klinik in Saskatoon aufgestellt, wo sie bis Anfang der 70er Jahre erfolgreich in Betrieb war. Der Candu-Reaktor in Chalk River, Ontario, war zunächst der einzige Atomreaktor weltweit, welcher  $^{60}\text{Co}$ Kobalt-Quellen mit den gewünschten medizinischen Spezifikationen lieferte, was Kanada in der Entwicklung der Gamma-Therapie einen Entwicklungsvorsprung sicherte und dabei den wesentlichen Rückgang der Radiumproduktion einläutete [47].

Die bislang besprochenen Ansätze der Radium-Therapie beschränkten sich auf die Bestrahlungssituation. Anders verhält es sich bei der balneologischen Anwendung sowie bei Trink- und Injektionskuren. Bei der Beurteilung der mit diesen Applikationen verknüpften Inkorporationen sind sowohl die physikalische wie die biologische Halbwertszeit der jeweiligen Nuklide ( $^{226}\text{Ra}$ Radium,  $^{222}\text{Rn}$ Radon und Folgeprodukte) hinzuzuziehen wie die Strahlenempfindlichkeit des Zielorgans (Knochengewebe, -mineral; Lunge; Haut). Die Tatsache, daß Radon in Wasser physikalisch löslich ist, wird bei der Anwendung radioaktiver Heilquellen [48] in dreierlei Weise genutzt.

In Voll- und Teilbädern verbringt der Patient 15–30 Minuten in körperwarmem radonhaltigen Wasser. Dabei wird im wesentlichen eine Beta-Hautdosis der Radon-Folgeprodukte wirksam. Das aus dem Badewasser exhalierende Radon kann dabei, ebenso wie seine nachgebildeten Folgeprodukte, zu einer Alpha-Exposition des Lungenepithels führen. In der Anwendungsweise als Trinkkur können die Radontöchter in inneren Organsystemen Wirkungen entfalten. Die dritte Form der Anwendung von radioaktiven Quellwässern betrifft sogenannte Quelleninhalatorien. Hierbei inhaliert der Patient oder eine Patientengruppe – je nach technischer Auslegung der Therapieeinrichtung – Radon oder auch seine teilweise an Aerosole festgelegten Folgeprodukte. Im feuchten Inhalatorium geschieht dies durch Zerstäuben des Quellwas-

sers, in der „trockenen Version“ dagegen wird das Radon in einem sogenannten „Windkessel“ ausgetrieben und dann dem Inhalationsbereich zugeführt.

Für ambulante Trinkkuren wurden Radium-Emanationsapparate entwickelt [39, 49, 50], sie enthalten ein emanierendes Radiumpräparat. Von oben her wird das Gerät mit Wasser beschickt und fest verschlossen. Nach 24 Stunden wird das nunmehr radonhaltige Wasser (100–500 ml) abgelassen und sofort getrunken (Abbildung 8). Die Tatsache, daß die Dichtheit derartiger konservatorischer Objekte bezüglich unkontrollierter Freisetzung der Emanation ( $^{222}\text{Rn}$ Radon) sehr zu wünschen übrig lassen und damit strahlenhygienische Probleme aufwerfen kann, läßt sich eindrucksvoll gammaspektroskopisch mit der relativ geringen hinterbleibenden Radon-Folgeprodukt-Aktivität im Emanatorium belegen (Abbildung 8c).

Besonders kritisch wurden schon bald nach ihrer Einführung die Injektion von wasserlöslichen (Radiumchlorid) und schwerlöslichen (Radiumsulfat) Radiumsalzen betrachtet. Neben der unerwünschten Bildung „lokaler Radiumdepots“ ist dabei generell mit dem metabolischen Einbau des „knochensuchenden“ Radiumkations und Spätschäden zu rechnen. „...hört ja die Strahlung beim eingespritzten Radium nie auf. Deshalb ist man praktisch vom Radiumspritzen wieder ganz abgegangen und da, wo man doch aus bestimmten Gründen die Form der Injektion bevorzugen will, verwendet man sterile Radonlösungen, bei denen die Gefahr von Strahlendauerwirkung und Schädigung (geeignete Dosierung vorausgesetzt) überhaupt nicht [sic!] existiert“ [39].

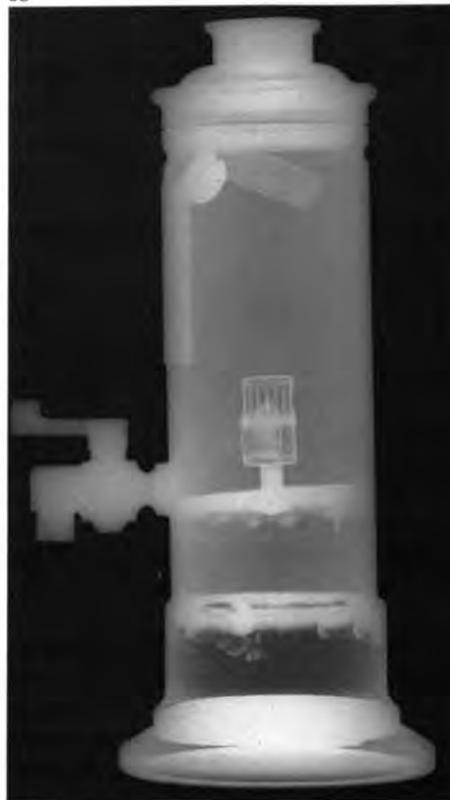
Den Glauben an eine gesundheitsfördernde Wirkung von Radiumingestion belegen noch in den 30er Jahren patentierte Verfahren wie etwa zur „Herstellung radioaktiver zuckerhaltiger Lebensmittel“ [51]. Der Vollständigkeit halber seien hier noch radonhaltige Salben erwähnt, welche aus dem Bereich der Dermatologie stammen; von ihrer angestrebten allgemeinen Verwendung als Kosmetika ist aus heutiger Sicht sicher abzuraten.

Zum Abschluß dieses kurzen Exkurses in die frühen Tage der Radium-/Radiotherapie sei noch eine zusammenfassende Bemerkung zur Radiumtherapie von M. Heiner, Joachimsthal, zitiert: „Leider kommt dies [Unterdosierung] in der Anwendung der Radiumtherapie nicht

8a



8b



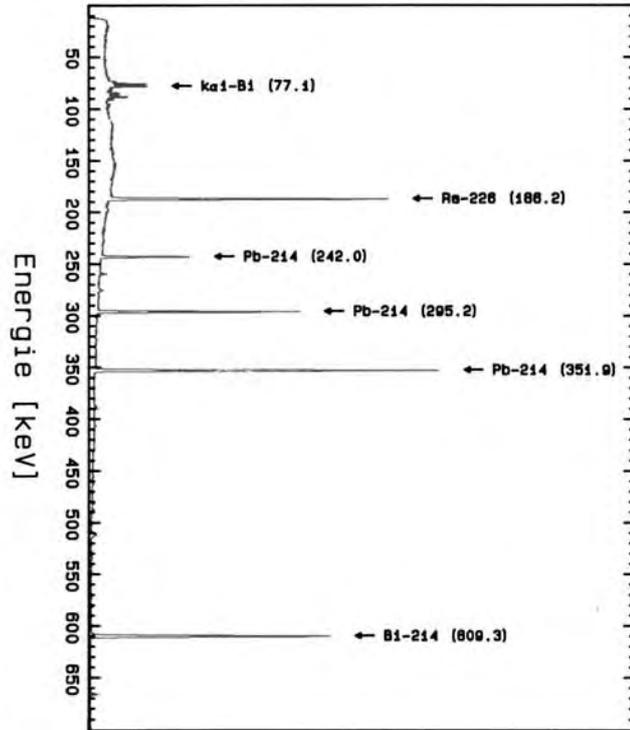
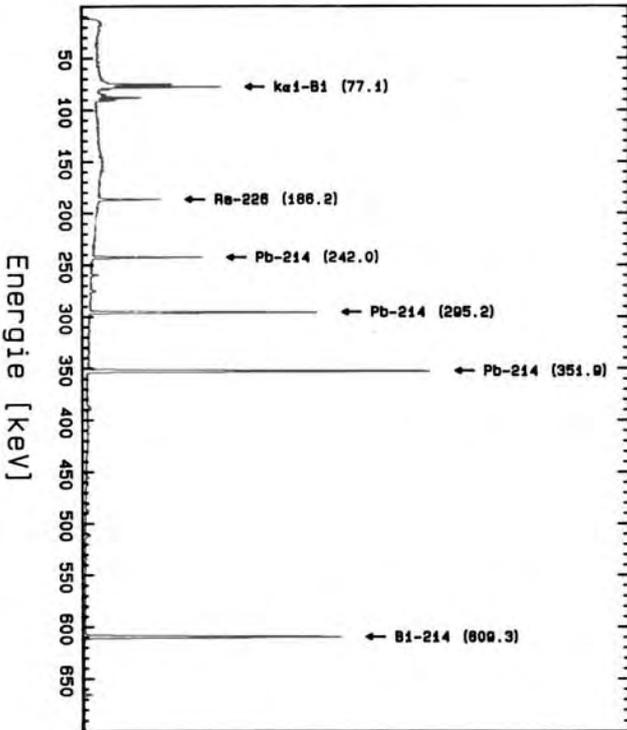
so selten vor und ist entweder in der Angst vor eventueller Radiumschädigung oder in der mangelhaften Kenntnis über die nötige Dosierung oder in zu kurz dauernder Behandlung begründet. Von solchen Fällen hört man dann, daß schon eine Radiumkur gemacht wurde, aber auch, daß Radium ganz erfolglos war. Es ist klar, daß sowohl durch solche als auch durch überbehandelte Fälle, bei denen die Reizschwelle wesentlich überschritten

Abb. 8. a: Patentierter Radium-Emanationsapparat (Emanatorium) aus den frühen 30er Jahren. Die von der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt an einem derartigen Apparat ausgeführten Messungen, welche als Zertifikat in das Werbematerial eingedrückt sind, belegen einen Emanationsgehalt des 24 h exponierten Wassers (100–500 ml) von  $\sim 4 \mu\text{Ci}$ . „Diese Apparate sind Kaffeemaschinen vergleichbar konstruiert; ... Gegenüber der Bequemlichkeit und Dauerhaftigkeit haben diese Radonapparate den Nachteil der Anschaffungskosten (das Radium muß ja bezahlt werden...)“ [39]; Aufnahme: G. Lieckfeld. b: Röntgenaufnahme (120 kV; 125 mAs) des in Abbildung 8a abgebildeten Emanatoriums ( $h = 17,5 \text{ cm}$ ,  $\varnothing = 5,5 \text{ cm}$ ,  $m = 975 \text{ g}$ ); Oberflächendosisleistung:  $25 \mu\text{Sv/h}$ ; Aufnahme: G. Lieckfeld. c: Zerstörungsfreie vergleichende Gammaspektroskopie (lineare Intensitätsskalierung des funktionsfähigen Emanatoriums; vgl. Abbildung 8a; Gammaspektrum oben:  $t_M = 600 \text{ s}$ ) und einer Radioröhre, welche zur Beeinflussung der Glühemission produktionsbedingt  $^{226}\text{Ra}$ Radium enthält (unten:  $t_M = 750 \text{ s}$ ), belegt das strahlenhygienische Potential derartiger konservatorischer Objekte eindrucksvoll. Im Gegensatz zum abgeschmolzenen Glaskörper der Röhre, welche eine effektive Diffusionsbarriere für die  $^{226}\text{Ra}$ Radium-Tochter  $^{222}\text{Rn}$ Radon (Emanation) darstellt, tritt die Emanation offenkundig aus dem verschlossenen (noch original verplombten) Emanatorium beständig aus. Die beobachtete Intensitätsverschiebung der betreffenden Gammalinien der Radon-Folgeprodukte ( $^{214}\text{Pb}$ Blei,  $^{214}\text{Bi}$ Wismut) kann nur auf Exhalation beim Emanatorium zurückgeführt werden; Spektren aufgenommen von: P. Schöffl, R. J. Schwankner.

8c

counts (a.u.)

counts (a.u.)



wurde, die Radiumtherapie in Mißkredit gebracht wird. . .“ [39].

## 6 Radiumleuchtfarben

Schon kurz nach ihrer Entdeckung wurde festgestellt, daß radioaktive Präparate im Stande sind, eine Reihe von Substanzen und Mineralien in ihrer Umgebung zur Lumineszenz im sichtbaren Bereich anzuregen. H. Becquerel und F. Giesel wiesen so bereits 1899 darauf hin [52], daß sich dafür insbesondere „aktiviertes“ Zinksulfid eignet. Unter diesem – auch ‚Sidotsche Blende‘ genannt – versteht man Zinksulfid, welchem Spuren von Kupfer (1 : 10 000) beigemischt ist [21]. Als besonders effektiv zur Erregung geeigneter dotierter Zinksulfids erwies sich (ebenso wie beim Naturdiamant) Alphastrahlung. J. Elster, H. Geitel sowie W. Crookes berichteten 1903 unabhängig voneinander, daß beim Betrachten derartiger Lumineszenzerscheinungen mit Hilfe einer Lupe sich dieselben „als aus einzelnen distinkten Lichtblitzen zusammengesetzt“ erweisen, welche als Szintillationen bezeichnet werden [20]. Konstruiert nach W. Crookes kamen sogenannte Spinthariskope in den Handel (Abbildung 9a), bei welchen entweder ein Alpha-Präparat vor einem Zink-

sulfid-Schirm montiert ist oder dasselbe innig mit der Sidotschen Blende vermischt wird. In beiden Fällen sorgt eine eingebaute Lupe dafür, daß man nach hinreichender Dunkeladaptation des Auges (10–20 min. in völliger Dunkelheit) die einzelnen Lichtblitze unterscheiden kann (dieses Verfahren zur Detektion einzelner Alpha-Teilchen wandten E. Rutherford und Mitarbeiter später (1911) bei ihren bekannten, o. g. Streuexperimenten an).

Mit Hilfe einer extrem empfindlichen Restlichtkamera ist es uns kürzlich gelungen, die räumlich wie zeitlich statistische Verteilung dieser Lichtblitze aufzuzeichnen (Abbildung 9b). Diese Erscheinung belegt zum einen eindrucksvoll den stochastischen Charakter des radioaktiven Zerfalls, zum anderen tut sich damit unmittelbar ein Blick in den Mikrokosmos auf. Jedes im Testkörper wirksam gewordene (absorbierte) Alpha-Teilchen, welches kinetische Energien im MeV-Bereich trägt, kann in Folge des 3,8 eV-Bandabstands des II/VI-Halbleiters Zinksulfid einige  $10^5$ – $10^6$  Elektronen/Defektelektronen-Paare erzeugen, welche lokal radiativ rekombinieren, was als Szintillation zu beobachten ist [53]. Im Nachlaß des Vorstands des Wiener Radium-Institutes St. Meyer fanden sich nachfol-

gende Zeilen, die belegen, welchen ungeheuren Eindruck die Begegnung mit diesem Phänomen auf den Physiker und Philosophen Ernst Mach machte:

„Bekanntlich hatte er sich geradezu fanatisch gegen die Einführung von „Bildern“ als Realitäten in der Physik gewehrt. Wenn jemand von den Atomistern, die damals in Ludwig Boltzmann in Wien ihren Führer hatten, vor ihm von Atomen sprach, fuhr er meist mit der Frage dazwischen: „Habns eines geshn?“ Bis dahin mußte man schweigen. Nun war es mit einem Male anders geworden. Es bleibt mir eine der ergreifendsten Erinnerungen, als Mach nach der Vorführung des Spinthariskopes nicht etwa kleine starrköpfige Einwände macht, sondern schlicht erklärte: „Nun glaube ich an die Existenz der Atome“. . .“ [54].

Mit dem Spinthariskop war der Vorläufer der heute weit verbreiteten Szintillationsdetektoren geboren, wobei man sich über den Mechanismus keineswegs im klaren war. Erst Untersuchungen hinsichtlich der extremen Kürze der Szintillationen (etwa R. W. Wood 1905:  $< 1/20\,000$  s) führten von der ursprünglichen Annahme weg, „daß die Szintillationen durch eine mechanische Zerstörung der Kristalle unter dem Einfluß des Bombarde-

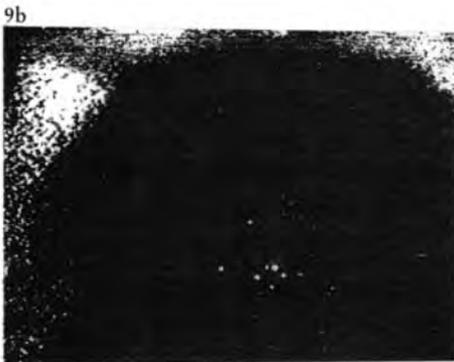


Abb. 9. a: Spinthariskop mit variablem ( $\varnothing = 2,3$  cm,  $l = 4,3$  cm) und fixiertem ( $\varnothing = 2,2$  cm,  $l = 6,6$  cm) optischen Tubus; Aufbewahrungsbehältnisse für Spinthariskope (jeweils v. l. n. r.); radiometrische Daten vgl. die Tabelle in Teil I, Aufnahme: P. Schöffl. b: Szintillationen, aufgezeichnet bei geöffnetem Spinthariskop (abgenommener Tubus, vgl. Abbildung 9a) mittels einer – im VIS-Bereich – extrem empfindlichen Restlichtkamera. Die dargestellte Bildsequenz wurde in Sekundenabständen aufgenommen; es zeigt sich zeitlich wie räumlich der statistische Charakter des radioaktiven Zerfalls (deutlich sichtbar im oberen Bildteil ist der Rand der Spinthariskop-Röhre); Aufnahmen (Videoprints): G. Lieckfeld.

ments der  $\alpha$ -Teilchen bedingt seien und sie also als eine Art Tribolumineszenz ansab. . .“ [52].

Das Phänomen war kurz nach seiner Entdeckung so populär, daß Spinthariskope bei vielen Optikern feilgeboten wurden (Abbildungen 9a, 10). Abgesehen davon, daß derartige Objekte eine nicht zu vernachlässigende Gamma-Oberflächendosisleistung aufweisen können (vgl. die Tabelle in Teil I), stellen sie darüber hinaus eine potentielle Alpha-Kontaminations- sowie Radonquelle dar. F. Giesel brachte 1906 durch die Braunschweiger Chininfabrik Buchler & Comp. Leuchtmassen (besonders für die Uhrenfabrik „Junghans“) in den Handel. Leuchtfarben wurden durch den Gehalt in Gramm aktiver Substanz/cm<sup>2</sup> leuchtender Fläche charakterisiert. Sie kamen zum Beispiel in Schichtdicken von 0,1–0,2

mm zum Einsatz, wobei eine „Wiedergewinnung des Ra . . . dabei leider ganz ausgeschlossen ist. . ., da die winzigen Mengen, welche sich auf Leuchtubren u. ä. finden, niemals an eine Zentrale zurückströmen. . .“ [52].

Die Leuchtstärke nimmt bei frischen Präparaten – wegen des Nachwachsens radiogenetischer Töchter – zunächst noch zu, längerfristig jedoch ab. Letzteres Phänomen geht auf eine Reihe von strahleninduzierten Effekten zurück: „. . . die vereinzelt auf eine Zerstörung des Zinksulfids durch das Bombardement der Alpha-Teilchen . . . zum Teil aber auch auf einen Einfluß der Atmosphärien und chemischen Einwirkung des Bindemittels zurückgeführt wird“ [52]. Das Emissionsspektrum von Leuchtmassen auf der ZnS-Basis wird als kontinuierlich zwischen 425–592 nm, mit einem Maximum bei 515 nm, angegeben. Neben der Buchlerschen Chininfabrik hat insbesondere die Deutsche Gasglühlicht (Auer-)Gesellschaft Leuchtmassen in den Handel gebracht, wobei insbesondere im Zuge des Weltkrieges 1914/18 der Bedarf stieg:

„Für die ganze Kriegsdauer wird man danach etwa einen Verbrauch von 20 g annehmen können, welche restlos verloren sind, da die meisten Instrumente und Geräte . . . während des Krieges zerstört worden sind. . . Noch größer war der Verbrauch bei unseren Gegnern, so wurden die englischen Truppen bei nächtlichen Unternehmungen mit kleinen rechteckigen, selbstleuchtend gemachten Tuchstückchen in der Nackengegend versehen, um den Anschluß aufrecht erhalten zu können. . .“ [55].

Die Verwendung der Leuchtfarben erfolgte in breiter Form etwa zur Markierung von Schaltern, Klingelknöpfen, Türschlossern, wengleich Hoffnungen „selbstleuchtender“ Tunnels sowie „Radium-Leuchttürme“ und dergleichen sich nicht erfüllt haben:

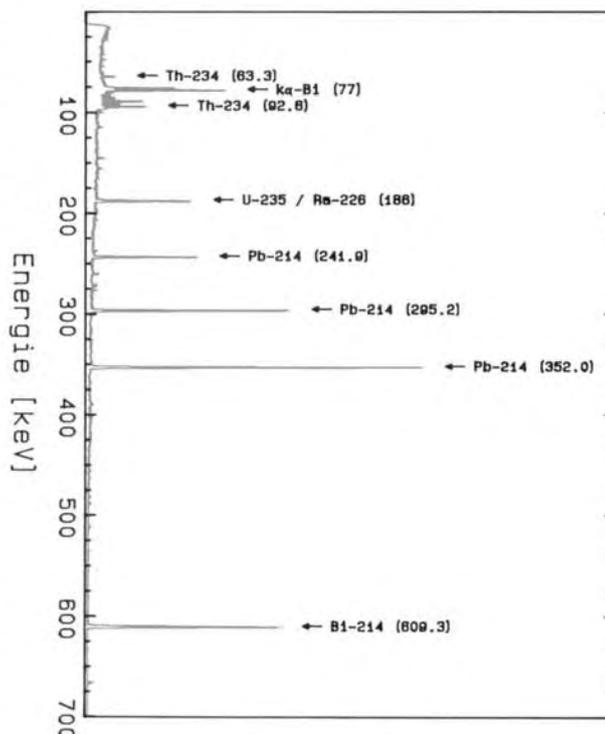
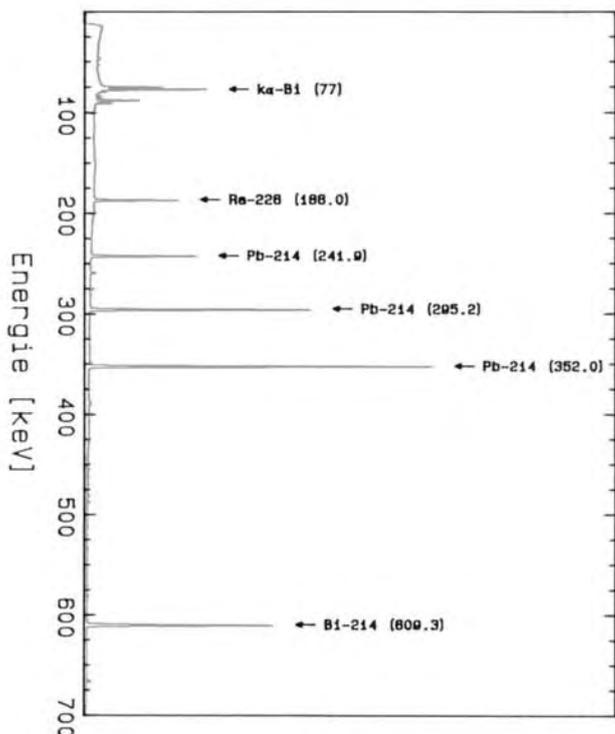
„. . . das scheiterte, . . ., auch an den hohen Kosten, die zur erzielten Wirkung in keinem Verhältnis stehen. Soviel bekannt, ist dieses Verfahren nur an einer Stelle einmal ausgeführt worden: die Radium-Heil-Gesellschaft hat die Wände des Kellerraumes, in welchem die Säcke mit der Joachimstaler Pechblende liegen, mit Zinksulfid austreichen lassen, das unter der Wirkung, der von dieser abgegebenen Em [Emanation = Radon, sic!] und ihrer Zerfallsprodukte für das Dunkel adaptierte Auge genügend leuchtet, um die Umrisse von Personen und Gegenständen erkennen zu können“ [52].



10c

counts (a.u.)

counts (a.u.)



Das Hauptanwendungsgebiet jedoch war und ist die Illumination etwa bei Leuchtröhren, Leuchtvisieren und Zielmarken an Schusswaffen sowie die Sichtbarmachung der Zeigerstellung vieler Instrumente (Kompaß, Höhenmesser, Manometer. . .). Auch in medizinischen Geräten, etwa in Adaptometern zur Prüfung der Dunkelempfindlichkeit des Auges wurden Radium-Leuchtmassen einge-

setzt. Allerdings hatte man neben der radiolumineszenten Wirkung der Alpha-Strahlung ständig mit der Radon-Exhalation der Leuchtfarben zu rechnen. Versiegelte man zum Beispiel aus diesem Grund die Geräte, so stieg der Beta-/Gamma-Pegel der Radontöchter beträchtlich an (vgl. dazu auch Abbildung 8c). In Abbildung 11a ist in diesem Zusammenhang die Beta-/Gamma-Autora-

diographie des Radium-Ziffernblattes (und der Zeiger) eines Weckers nach 75-stündiger Exposition wiedergegeben. Die breite Verwendung war es auch, welche nachhaltiges Umdenken beim Umgang mit offenen radioaktiven Präparaten in strahlenhygienischer Hinsicht herbeiführte. So wurde bereits 1924 über gesundheitliche Effekte beim geweremäßigen Umgang mit radiumhaltigen

11a



11b



Abb. 10. a: Glew's Patent Scintilloscope (nach F. H. Glew, ~ 1910). Der optische Tubus ist dergestalt in die mit Samt ausgeschlagene Schachtel mit eingearbeitet, daß er zum Zwecke der Schärferegulierung und des Probenwechsels verschoben bzw. herausgenommen werden kann; Aufnahme: P. Schöffl. b: Typische Leuchtschirme für Glew's Scintilloscope; sie bestehen jeweils aus zwei zusammengeklebten Glasplättchen (2,6 cm x 1,5 cm x 0,2 cm), von welchen jeweils eines einseitig etikettiert ist, wobei die Leuchtmasse sandwichartig dazwischen eingeschlossen ist; radiometrische Daten vgl. die Tabelle in Teil I; Aufnahme: P. Schöffl. c: Gamma-Spektren (lineare Intensitätsskalierung) der beiden in Abbildung 10b wiedergegebenen Leuchtschirme von Glew's Scintilloscope; – oben: Pitchblende Screen, – unten: Radium Screen; (beide  $t_M = 6000$  s; Daten bzgl. Spektrometer und Objektradiometrie vgl. Abbildung 1b bzw. Tabelle in Teil I); Bemerkenswert ist die gute Abtrennung (hoher Trennfaktor) der aktiven Komponente des untersuchten Radium-Leuchtschirms, da ausschließlich die Gamma-Linien der  $^{226}\text{Ra}$ Radium-Folgeprodukte und keine  $^{235}\text{U}$ Uran- bzw.  $^{234}\text{Th}$ Thorium-Linien – wie beim Pechblende-Leuchtschirm (oben) – vorliegen; Spektren aufgenommen von P. Schöffl.

Abb. 11. a: Autoradiogramm eines Radium-Ziffernblatts (Wecker, Fa. Diehl, aufgenommen inklusive Zeiger; Oberflächen-dosisleistung 1,85  $\mu\text{Sv/h}$ ; schrittweise optimierte Expositionszeit: 75 h; Objekt aufgepreßt auf Filmverpackung: Ready Pack – Kodak X-Omat MA); aufgenommen von P. Schöffl, M. Steiner, G. Lieckfeld. b: Cartoon einer New Yorker Zeitung aus den 20er Jahren, welches auf die Tragödie der Ziffernblattmalerinnen beim ungeschützten Umgang mit Radium-Isotopen [56–61] aufmerksam machen wollte. Es war Teil einer Zeitungskampagne, welche zu einer intensiven Diskussion über die Arbeitsbedingungen beim Umgang mit offenen radioaktiven Präparaten führte. Über die Dimensionen des hauptsächlich betroffenen Personen-Kollektivs gibt nachstehendes Zitat Aufschluß: „Between four and five thousand girls in this country and in Europe have been employed from time to time in dial painting ... Among the employees examined by us a number have been engaged in this work for a period from six to nine years“ [58]; Abbildung aus [60].

Leuchtfarben in den Ziffernblatt-Ateliers (z. B. United States Radium Corporation, New Jersey) berichtet [20, 56, 57].

Das sogenannte Kollektiv der Ziffernblattmalerinnen war auf mehreren Expositionspfaden der Strahleneinwirkung ausgesetzt. Zum einen wurden durch die geübte Praxis des „Anspitzens“ der feinen Haarpinsel mit dem Mund laufend kleine Mengen an Radioisotopen (insbesondere Alphastrahler) in Form schwerlöslicher chemischer Verbindungen ingestiert, welche sowohl zu lokalen Effekten (nekrotische Erscheinungen im Kieferknochen [56] komplexer Ätiologie [58]), aber auch systemischen Erscheinungen wie der Veränderung des Blutbildes führten. Als Spätschäden wurde eine statistisch signifikante Erhöhung von Knochentumoren sowie Tu-

moren in Nebenhöhlenbereich indiziert [61]. Eine weitere Belastung stellt die Inhalation von Leuchtmasse-Staub sowie die Direktbestrahlung dar. Bei Personen mit hoher Inkorporation konnte so zum Beispiel die Exhalation von Radon mit der Atemluft ebenso beobachtet werden wie der pathologische Radiumgehalt ganzer Organsysteme.

Durch das Auslegen von „Zahnfilmen“ im Arbeitsbereich sowie die systematische Untersuchung auf primäre und sekundäre Flächenkontaminationen (Arbeitsstische, -geräte, Schuhe, Kleidung, Unterkleidung, Haut...) wurden Wege der Verschleppung derselben aufgezeigt und konnten im Sinne fortschreitenden strahlenhygienischen Bewußtseins am Arbeitsplatz abgestellt werden [59]. Die Praxis des Pinselanspitzens im Mund wurde schließlich aufgegeben, nicht zuletzt als Folge einer Kampagne in der Presse (Abbildung 11b), welche über die Grenzen der Vereinigten Staaten hinaus breite Diskussion entfachte und so den Weg zum strahlenhygienischen Konzept einer maximalen Körperbürde für Alpha-Emitter ebnete [57].

Tatsächlich kam man schrittweise auch von der Verwendung der ausgesprochen radiotoxischen alphastrahlenden Radium- und Thorium-Isotope zur Herstellung von Leuchtmasse ab, als die Beta-Strahler  $^3\text{H}$ Tritium sowie  $^{147}\text{Pm}$ Promethium [62] im Zuge fortschreitender Isotopen- und Kerntechnik verfügbar wurden. Radium als potentiell allgegenwärtiger Uran-Begleiter, dessen Aktivitätskonzentration bei bergbaulichen Altlasten heute ebenso unsere ungeteilte Aufmerksamkeit verdient wie seine Rolle als Mutternuklid der mobilen Radonisotope, hat darüber hinaus – wohl als Folge der langen öffentlichen Beschäftigung mit diesem Radioelement – detektierbare Spuren bis hinein in die jüngste belletristische amerikanische Literatur, so etwa M. Chabons, „The Mysteries of Pittsburgh“ (1987), hinterlassen:

„Ich lachte. Arthur blickte auf und lächelte radiumstrahlend weiß, ein irgendwie anmutiges, altmodisches, reiches und trauriges Lächeln, wie ein Relikt aus jener fernen Zeit, als Radium noch unser Freund war“ [64].

#### Danksagung

Die meßtechnischen Grundlagen dieser Arbeit wurden im Rahmen von Diplomarbeiten im Studiengang „Physikalische Technik“ der Fachhochschule München erstellt. Die Autoren schulden Dank für Unterstützung in Rat und Tat: J. Günthner (Traunwalchen); Prof.

Dr. C. Keller, KfK (Karlsruhe); J. Kraller, BRK (Traunstein); Dipl.-Chem. D. Lienert (München); Dr. W. Löster, GSF-Forschungszentrum (Neuherberg); Prof. Dr. H. v. Philipsborn, Radiometrisches Seminar der Universität (Regensburg); Prof. Dr. H. Schmier (München); M. Steiner, BRK-Radiometrie (Traunreut); Prof. Dr. J. Vogl, Umweltministerium (München); Dr. H. Zeising, Landesamt für Umweltschutz (München) sowie insbesondere dem Fonds der Chemischen Industrie (Frankfurt).

## Literatur (Teil II)

- [39] M. Heiner: Radium – das natürliche Strahlenheilmittel. Leipzig: J. J. Arnd (vormals O. Gmelin), 1941.
- [40] M(aurice) Curie: Le Radium et les Radio-Éléments. Paris: J.-B. Baillière, 1925.
- [41] H. Dominik: Lebensstrahlen. Berlin: Scherl, 1938.
- [42] E. S. London: Das Radium in der Biologie und Medizin. Leipzig: Akad. Verlagsges., 1911.
- [43] P. Lazarus: Handbuch der Radium-Biologie und Therapie – einschließlich der anderen Radioaktiven Elemente. Wiesbaden: J. F. Bergmann, 1913.
- [44] F. Dessauer: Radium, Mesothorium und harte X-Strahlung und die Grundlagen ihrer medizinischen Anwendung. Leipzig: O. Nemnich, 1914.
- [45] S. Lipliawsky, H. Lungwitz: Die Radioelemente in der Heilkunde – Handbuch der Biologie, Pharmakologie und Klinik des Radiums, Mesothoriums, Thorium X, Aktiniums und der Emanationen. Berlin: Adler, 1913.
- [46] Union Minière du Haut Katanga (Département Radium): Radium. Herstellung – Allgemeine Eigenschaften – Seine Anwendung in der Strahlentherapie – Apparate. Tournai: Casterman (o. J.)
- [47] W. O. Kupsch: From Erzgebirge to Cluff Lake – A Scientific Journey Through Time. *Musk-Ox* (23) (1978) 3–87.
- [48] A. Gockel: Die Radioaktivität von Boden und Qellen. Braunschweig: F. Vieweg, 1914.
- [49] E. R. Landa, C. L. Miller, R. F. Brich: Radioactive and Nonradioactive Solutes in Drinking Water from Rn-Charging Devices; *Health Physics* 54 (1988) 99–106.
- [50] R. De Wit, T. De Roo: Description on an Antique Radium-Goblet; A Dangerous Curiosity; *Medical History* 18 (1974) 299–303.
- [51] G. Senftner: Verfahren zur Herstellung radioaktiver zuckerhaltiger Lebensmittel, Österreichisches Patent Nr. 127016 vom 25. Februar 1932.
- [52] G. Berndt: Radioaktive Leuchtfarben. Braunschweig: F. Vieweg, 1920.
- [53] R. J. Schwankner, M. Eiswirth, H. Venghaus: Luminescent Processes Elucidated by Simple Experiments on ZnS; *J. Chem. Educ.* 59 (1982) 608–611.
- [54] St. Meyer: Das Spinthariskop und Ernst Mach; *Z. Naturforsch.* 5a (1950) 407–407.
- [55] G. Berndt: Radiumverschwendung; *Chem.-Ztg.* 45 (1921) 505–506.
- [56] W. B. Castle, K. R. Drinker, C. K. Drinker: Necrosis of the Jaw in Workers Employed in Applying a Luminous Paint Containing Radium; *J. Industr. Hygiene* 7 (1925) 371–382.
- [57] R. J. Cloutier: Florence Kelley and the Radium Dial Painters; *Health Physics* 39 (1980) 711–716.
- [58] F. B. Flinn: Radioactive Material and Industrial Hazard; *J. Am. Med. Assoc.* 87 (1926) 2087–2081.
- [59] H. S. Martland, Ph. Conlon, J. P. Knaf: Some Unrecognized Dangers in the Use and Handling of Radioactive Substances; *J. Am. Med. Assoc.* 85 (1925) 1769–1776.
- [60] H. L. Hardy: Beryllium Poisoning – Lessons in Control of Man-made Disease; *New Engl. J. Med.* 273 (1965) 1188–1199.
- [61] Ch. W. Mays: Alpha-Particle Induced Cancer in Humans; *Health Physics* 55 (1988) 637–652.
- [62] E. J. Wheelwright (Hrsg.): Promethium Technology. Hindsdale, Ill.: ANS., 1973.
- [63] W. Minder: Radium-Dosimetrie. Wien: J. Springer, 1941.
- [64] M. Chabon: Die Geheimnisse von Pittsburgh. Köln: Kiepenheuer & Witsch, 1988.

---

### Anschriften:

Prof. Dr. Robert J. Schwankner, Fachhochschule München, Fachbereich 06/Technischer Umweltschutz, Lothstraße 34, W-8000 München 2.

AOM (FH) Alexander Brummeisl, Radiometrisches Labor des BRK, Banaterstraße 2a, W-8225 Traunreut.

Dipl.-Ing. (FH) Gerolf Lieckfeld, Ortsstraße 7, W-8069 Badershausen.

Dipl.-Ing. (FH) Peter Schöffl, Spitzwegstraße 54c, W-8012 Ottobrunn.

Dipl.-Ing. (FH) Antonie Schöpf, Philipp-Foltz-Straße 27, W-8000 München 83.