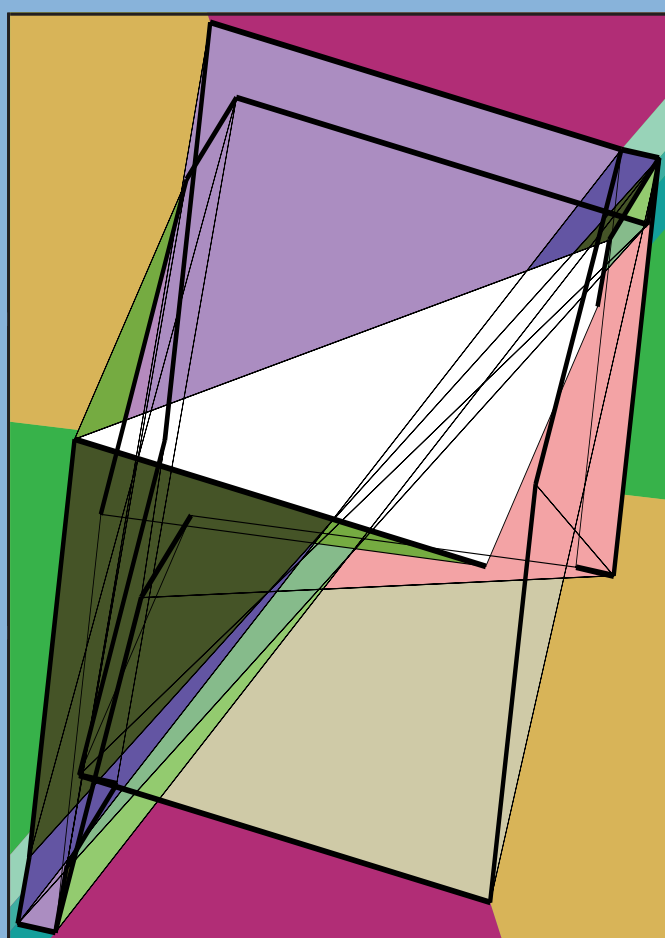


Strahlenschutz PRAXIS

ORGAN DES FACHVERBANDES FÜR STRAHLENSCHUTZ E.V.

Zeitschrift für den sicheren Umgang mit ionisierender und nichtionisierender Strahlung



Strahlung – Arzt – Patient
Eine vielschichtige emotionale
Beziehung (mehr auf S. 6)

Manfred Mohr
aus der space.color-Werkphase
2003

**S. 3 Strahlung
in der Medizin**

**S. 33 Strahlenschutz
bei Schwangeren**

**S. 38 Schweiz: Brenn-
element-Transporte**

**S. 43 Einzelatome im Blick:
Das Spinthariskop**

**S. 50 Sweden: Radiation
Protection Goes East**

**S. 56 United Kingdom:
Nuclear Weapons Tests**

**S. 57 ICRP:
Breite Diskussion**

**S. 61 How to Make
a Health Physicist**

**S. 63 Alles über
Exo-Elektronen**

Desintegration von Einzelatomen im Blick: Das Spinthariskop

AUTOR

Robert Josef Schwankner

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird die Entwicklung der Szintillationsmethode zum Strahlungsnachweis über ein Jahrhundert geschildert. Im Besonderen werden die Rolle und die Leistungsfähigkeit des Spinthariskops beschrieben und durch zahlreiche Abbildungen anschaulich gemacht.

SUMMARY

Looking at the Disintegration of Single Atoms: The Spintharoscope

The development of the scintillation method for radiation detection over a century is described. In particular, the role and the performance of the Spintharoscope is demonstrated and made apparent by numerous illustrations.

Anwendung der Szintillationsmethode

Den Auftakt und nachfolgend wiedergegebenen Abschluss zum „szintillierenden“ Frühjahr 1903 machte Sir William Crookes mit der Mitteilung „Certain Properties of the Emanations of Radium“ in den *Chemical News* vom 22. Mai:

„It seems probable that in these phenomena we are actually witnessing the bombardment of the screen by the positive atoms hurled off by radium with a velocity of the order of that light: each scintillation rendering visible an impact on the screen, and becoming apparent only by the enormous extent of lateral disturbance produced by its impact. Just as individual drops of rain fall-

Ein faszinierender Rückblick über 100 Jahre Szintillation

Spinthariskope sind die ersten Strahlungsmessgeräte, welche den Zerfall einzelner Atome durch Wirkung ihrer Fragmente sichtbar machen. Der ihnen zugrunde liegende Szintillationseffekt spielte einerseits eine tragende Rolle bei der Aufklärung der körnigen Struktur der Materie, andererseits besteht sein hoher Wert bis dato in der Vermittlung des räumlich wie zeitlich stochastischen Charakters des radioaktiven Zerfalls auf dem Weg der direkten Beobachtung.

ing on a still pool are not seen as such, but by reason of the splash they make on impact, and the ripples and waves they produce in ever-widening circles ...

I propose to call this little instrument the ‚Spintharoscope‘, from the Greek word $\sigma\pi\upsilon\theta\alpha\rho\iota\varsigma$, a scintillation.“ [1] Szintillationsschirme wurden schon kurz nach ihrer Entdeckung systematisch zur quantitativen Radiometrie herangezogen. Wesentliche Beispiele sind die Untersuchungen von H. Geiger, E. Marsden und E. Rutherford (1909–1913) bei den Streuexperimenten zur Charakterisierung der Atomstruktur (Streuexperimente der Rutherford’schen Schule).

Die ersten gelungenen künstlichen Element-Transmutationen, etwa von Luftstickstoff durch α -Beschluss gemäß $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$ und die Detektion der hierbei freigesetzten Protonen mit Hilfe eines Szintillationsschirms, waren 1919 ein Höhepunkt von Rutherfords Wirken an der Universität Manchester (1907–1919) [3].

Ein Meisterstück der Experimentierkunst unter quantitativer Anwendung der Szintillationsmethode legten noch 1924 H. Geiger und A. Werner vor, die so die Zahl der von ^{226}Ra ausgesandten α -Teilchen in Absolutbestimmung ermittelten [4].

Nicht unerwähnt soll die Beschwierlichkeit bleiben, unter welcher derar-



Abb. 1a: Spinthariskop in Tubus-Bauform; so vorgestellt von F. Soddy in seinen 1908 gehaltenen Experimentalvorlesungen „Die Natur des Radiums“ [2].

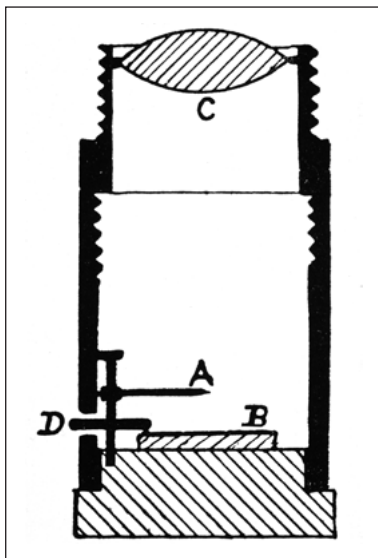


Abb. 1b: Schnittzeichnung aus [2]; man beachte die kontrollierte räumliche Trennung von Alpha-Quelle (A) und Leuchtschirm (B).

tige Untersuchungen visueller Detektion ausgeführt wurden [5].

„Nicht alle Beobachter eignen sich zu Szintillationszählungen; eine gewisse Subjektivität ist nicht zu vermeiden. Man ermüdet ziemlich rasch, zuweilen treten auch (besonders bei ganz lichtschwachen Szintillationen) subjektive Erscheinungen, Halluzinationen, störend auf. Normale Augen, gute Dunkeladaption, ausgeruh-

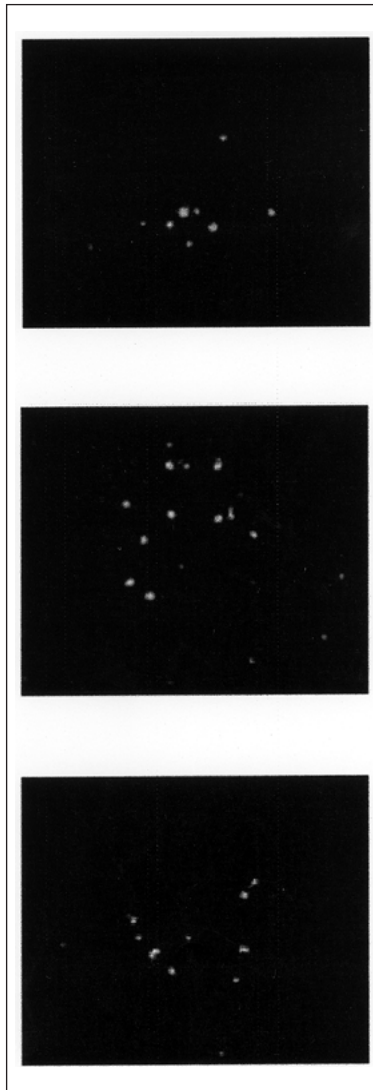


Abb. 2a: Aufzeichnung der Szintillationen in Zeitabständen von 20 Millisekunden zur Demonstration des räumlich wie zeitlich stochastischen Charakters des radioaktiven Zerfalls (Aufnahmen: G. Lieckfeld, Neuherberg, mit einer nicht im Handel erhältlichen Restlichtkamera); damit ist man nicht länger auf die subjektive Beobachtung angewiesen.

ter Zustand sind erforderlich; Nikotin, Alkohol, „Kater“ und dgl. sind schädlich. ... Es sollen zahlreiche Beobachter in kurzen Intervallen ($\frac{1}{2}$ bis höchstens 1 Minute) abwechseln und nicht länger als 1–2 Stunden pro Woche zählen. Subjektive Schwankungen kann man durch Simultanzählungen zweier Beobachter zu eliminieren trachten.“[5]

Es nimmt nicht wunder, dass unter diesen Arbeitsbedingungen intensiv

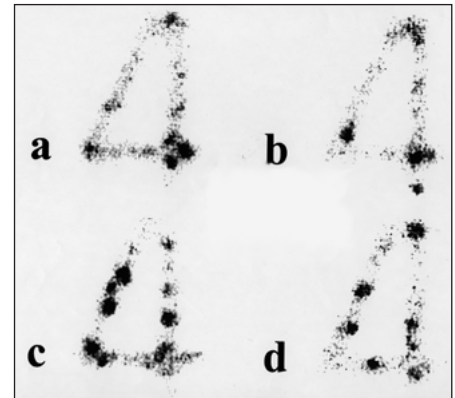


Abb. 2b: Mit Hilfe des Einsatzes von Restlichtverstärkern gelingt es, das räumlich wie zeitlich stochastische Verhalten des radioaktiven Zerfalls durch die lokal auftretenden Szintillationen in der weitgehend gleichmäßig aufgetragenen ^{226}Ra -haltigen Leuchtmasse (hier die Leuchtziffer eines Weckers; vgl. Abb. 4) sichtbar zu machen. Die wiedergegebene Bildsequenz ist von G. Feis und G. Lieckfeld im zeitlichen Abstand von je 40 ms aufgezeichnet worden.

nach weiteren Registriermethoden gesucht wurde, was einerseits zum Bau des Geiger'schen Spitzenzählers (1913) und der Weiterentwicklung zum Geiger-Müller-Zählrohr (1928) führte, andererseits in der Bereitstellung des ersten Szintillationszählers durch I. Broser und H. Kallmann im Mai 1947 gipfelte [6] sowie die Entwicklung von Organoszintillatoren auf den Plan rief [7].

Radiolumineszente Leuchtmassen – Szintillationen

Die durch Hochtemperatursynthese zugängliche hexagonale Zinksulfid-Modifikation Wurtzit zeigt mit Kupfer- bzw. Silberdotierung (typischerweise rd. 100 ppm) lumineszente Eigenschaften. Sie wird als Sidotblende (T. Sidot, 1866) bezeichnet [8]. F. Giesel von der Braunschweiger Chininfabrik empfahl mit Sidotblende bestrichene Leuchtschirme als Detektoren für ionisierende Strahlung [9].

1903 beschrieben unabhängig voneinander J. Elster und H. Geitel von der „Großen Schule“ in Wolfenbüttel ([10], 27. März) und Sir W. Crookes ([11], eingereicht 17., vorgetragen 19. März) das Phänomen, dass derar-



Abb. 3a: Spinthariskop auf der Basis von ^{210}Pb für den Schulunterricht, produziert in der PGH Feinwerktechnik Leipzig C1, vertrieben vom staatl. Kontor für Unterrichtsmittel und Schulmöbel, Leipzig

tige Leuchtschirme bei näherer Beobachtung mit Hilfe einer Lupe distinktes Aufblitzen aufweisen, was dem unbewaffneten Auge als fortwährendes Aufleuchten erscheint. Dieses scharf lokalisierte Phänomen wird in der Folgezeit als Szintillation (lat. scintilla, Funke) bezeichnet, die auf Crookes zurückgehenden Instrumente zur Beobachtung der Szintillationen heißen seither Spinthariskope („Funkenbetrachter“, aus dem Griechischen); siehe Abb. 1 und 2. Die Gymnasialprofessoren J. Elster und H. Geitel, die noch vor dem „Funkenbetrachter“ W. Crookes über Szintillationen gestolpert waren, wurden zuerst aus der Presse informiert. „In einer englischen Tageszeitung (Westminster Gazette vom 20. März 1903) wurde vor einigen Tagen ein Bericht über eine am 19. März der Royal Society von Herrn Crookes vorgelegte Abhandlung, betitelt: ‚The Emanations of Radium‘, bekannt gegeben, die sich auf die durch die Emanation radioaktiver Substanzen auf einem Schirme von Sidot-Blende erzeugte eigentümliche Art von Phosphoreszenz bezieht. Wir haben die von Crookes beschriebene Erscheinung schon vor einiger Zeit bei Gelegenheit von Versuchen bemerkt, ...

Betrachtet man einen in dieser Weise leuchtenden Schirm durch eine Lupe, so bemerkt man, dass das Flimmern des Schirmes durch ein Gewimmel diskreter leuchtender Pünktchen bewirkt wird, von denen jedes nur momentan aufblitzt. Bei Betrachtung der leuchtenden Fläche mittels eines Vergrößerungsglases gewinnt man, wie es auch in der Schilderung des Crookes'schen Versuches ausgesprochen ist, ganz den Eindruck, als schäue man durch ein Teleskop nach einem Sternenhaufen, dessen einzelne Sterne aufblitzen, um sofort wieder in dem schwarzen Hintergrunde zu verschwinden.“ [10] Der Weg zum „funkenwerfenden“ „Spinthariskop“ war von W. Crookes aufgezeichnet und in den Proceedings der Royal Society niedergelegt worden, wobei es sich dabei u. a. um den ersten Nachweis einer Hautkontamination durch Alpha-Strahler mittels Festkörperdetektor handelte: „A beam of X-rays from an active tube was passed through a hole in a lead plate on to a blende screen. A luminous spot was produced on the screen, but I could detect no scintillations, only a smooth uniform phosphorescence. A piece of Radium salt brought near gave the scintillations as



Abb. 3b: Wie [12] ausweist, ist das in Abb. 3a gezeigte Spinthariskop von der flächendeckenden Entsorgung erfasst.

usual superposed on the fainter phosphorescence caused by the X-rays, and they were not interfered within any degree by the presence of X-rays falling on the same spot. During these experiments the fingers soon become soiled with radium (!), and produce phosphorescence when brought near the screen. On turning the lens to the, apparently, uniformly lighted edge of the screen close to the finger, the scintillations are seen to be closer and more numerous; what to the naked eye appears like a uniform ‚milky way‘, under the lens is a multitude of stellar points, flashing over the whole surface. A clean finger does not show any effect, but a touch with a soiled finger is sufficient to confer on it the property. Washing the fingers stops their action.“ [11] Des Weiteren wurde erkannt, dass sich für entsprechende Untersuchungen transparente Schirme mit dünner gleichförmiger Schicht von im Bindemittel Rizinus- bzw. Terpenöl angeteigter Sidotblende eignen. Weder Calciumwolframat noch „Barium-Platin-Cyanür“ (Bariumtetracyanoplatinat(II) $[\text{BaPt}(\text{CN})_4]$) lieferten befriedigend helle Blitze; bald

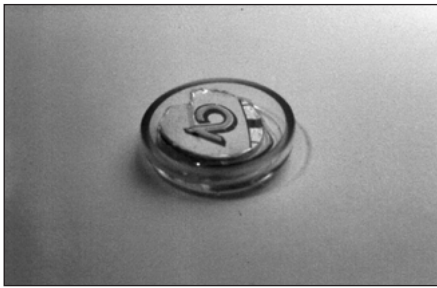


Abb. 4: Radiolumineszente Leuchtziffern von Weckeruhren (im vorliegenden Fall mit einer ^{226}Ra -Aktivität von 220 Bq) eignen sich zum Studium der korpuskularen Gammastrahlungs- und Lichtemissionen im Sinne Crookes'scher „Emanationen“ (vgl. [1, 11]).

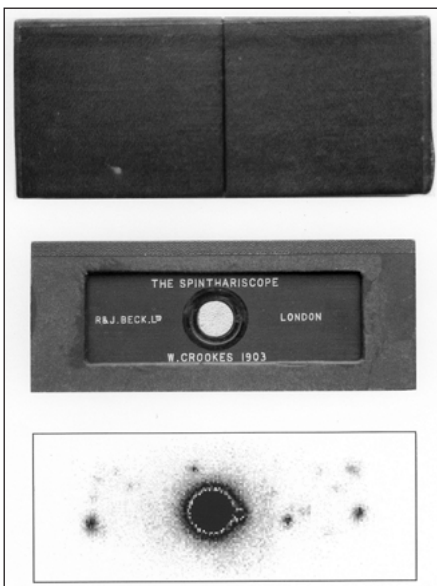


Abb. 5: Spinthariskop; Bauform: Objektträger mit ^{226}Ra -Leuchtschirm zur mikroskopischen Betrachtung (inkl. Aufbewahrungsbox; das Science Museum, London [GB] verfügt über vier derartige von William Crookes selbst gefertigte Objekte, gestiftet von Marie Curie). Mit Hilfe digitaler Autoradiographie wurden die ^{226}Ra -Aktivitätsverteilung sowie vereinzelt aufgefundene Kontaminationsspotspots aufgezeichnet.

wurde auch vermerkt, dass α -Teilchen im Vergleich mit Protonen und β -Teilchen besonders intensive, gut lokalisierbare Szintillationen erzeugen; mit Röntgenstrahlung konnten jedoch weiterhin keine erhalten werden [5]. Das in Abb. 3 wiedergegebene Spinthariskop betrieben mit ^{210}Pb (Aktivität im Freigrenzenbereich) war in der ehemaligen DDR für Unterrichtszwecke weit verbreitet. Es erscheint u.a. sogar mit eigener Rubrik in der „Kostenverordnung der Landessammelstelle für radioaktive Abfälle des Lan-



Abb. 6a: Spinthariskop; Bauform: „Glew's Scintilloscope“; zwischen gläserne Objektträger eingefügte, mit pulverisierter Pechblende verriebene bzw. mit ^{226}Ra und ^{210}Po dotierte Leuchtmasse sowie beige packte Beobachtungslupe inkl. Abstandshalter (London, Portobello Market, Medical Antiques Shop)

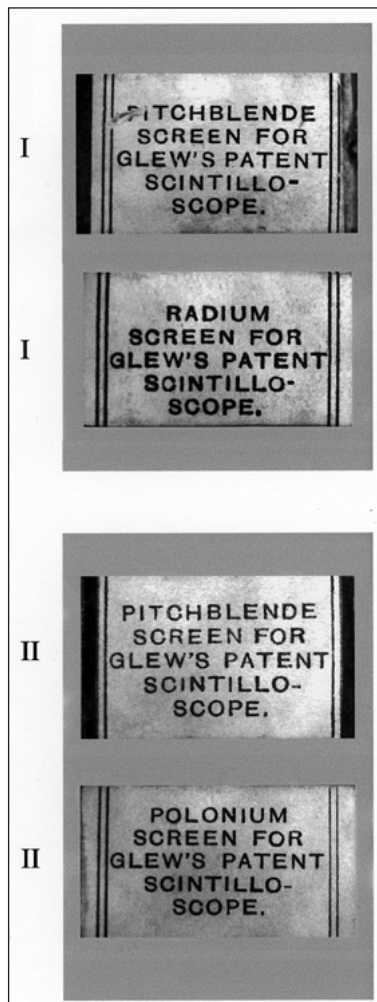


Abb. 6b: Einseitig aufgebrachte Etiketten auf Präparaten für „Glew's Scintilloscope“: Objekt I, gefunden in Oxford (GB), Flohmarkt; Objekt II vgl. Abb. 6a

des Mecklenburg-Vorpommern vom 9. November 2000“ [12]. F. Giesel entwickelte in der Folge die ersten radioaktiven Leuchtmassen für

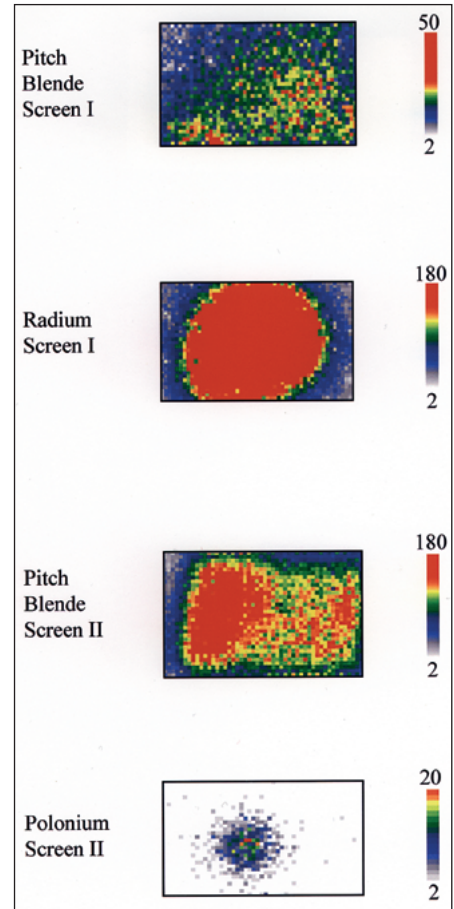


Abb. 6c: Aktivitätsverteilung in Präparaten für „Glew's Scintilloscope“ (vgl. Abb. 6a, b), aufgenommen mit digitaler Autoradiographie (Canberra Packard, Instant Imager). Im Falle des Polonium Screen ($T_{1/2}^{210}\text{Po} = 138,4 \text{ d}$) ist eine in Folge niedrigerer Zerfallskonstante länger anhaltende Kontamination mit ^{226}Ra detektierbar. Die bei den weiteren Präparaten (Leuchtmassen) festgestellten Inhomogenitäten in der Aktivitätsverteilung sind herstellungsbedingt: Schichtdicke; Auftropfen einer ^{226}Ra -Salz-haltigen Lösung.

den Handel und legte damit in Braunschweig einen Grundstein zu einem vielseitigen Industriezweig [8, 10]. Die Firma Junghans bringt so z.B. 1907 die erste Weckeruhr und 1911 eine Taschenuhr mit Radium-Leuchtzifferblatt heraus (vgl. Abb. 4).

Frühe Bauformen und Aktivitätsinventar von Spinthariskopen

Die Beobachtung des räumlich wie zeitlich stochastischen Charakters des radioaktiven Zerfalls erfolgt mit Spinthariskopen und dunkeladaptiertem Auge: „Alpha-Strahlung sichtbar gemacht – ein Erlebnis für jedermann!“ [15].

Objekt	^{238}U als $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (Bq)	^{226}Ra (Bq)	^{214}Pb (Bq)	Gleich- gewicht (%)	Quellstärke ^{222}Rn (Atome s^{-1})	OFDL Nettowerte ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
Spinthariskop unzerlegt	n.n.	1.260	450	35	800	0,15
Objektträger Beck	n.n.	7.140	5.400	75	1.500	3,60
Pitchblende-Screen I	80	80	90	100	20	0,10
Radium-Screen I	n.n.	3.950	3.200	80	690	2,40
Pitchblende-Screen II	540	510	500	100	n.n.	0,30
Polonium-Screen II	n.n.	10	10	100	n.n.	n.n.

Tabelle 1: Nukleardaten der radiometrischen Charakterisierung ausgewählter Spinthariskope (vgl. auch Abb. 5, 6) und der Präparate von „Glew's Scintilloscopes I, II“ (Abb. 6a–c), erhoben mit HPGe-Gammaspektrometrie und Exhalationsuntersuchungen im Emanationscontainer mit dreidimensionaler Ionisationskammer. Der radiogenetische Gleichgewichtswert setzt die Aktivität des Mutternuklids ^{226}Ra mit der des Folgeproduktes ^{214}Pb in Beziehung. Die Werte der γ -Oberflächendosisleistung wurden mittels eines kalibrierten „Szin- tillometers“ (Automess 6134) erhoben [13].

Inzwischen gelang es, Szintillationen von Spinthariskopen oder von radiolumineszenten Leuchtziffern (Abb. 1, 4) unter Anwendung einer extrem lichtempfindlichen Kamera, wie sie im militärischen Bereich Anwendung fin-

det, bzw. mittels zweier hintereinander geschalteter Restlichtverstärker [2, 13, 14] auf Datenträger aufzuzeichnen und somit einem größeren Kreis in Form einer Videosequenz zugänglich zu machen (Abb. 2a, b).

Die Beobachtung des radioaktiven Zerfalls mit Hilfe von Spinthariskopen wurde kurz nach seiner Entdeckung so populär, dass die Geräte in vielen Bauformen von Optikern angeboten wurden. Ihre Lebensdau-

er war allerdings durch Einfluss von „Atmosphärien“ bzw. α -Radiolyse des Bindemittels auf die Zinksulfid-Leuchtmasse beschränkt [5].

Die Bauformen von Spinthariskopen sind vielfältig (Abb. 1, 3, 5, 6). Sie unterscheiden sich bzgl. der Anordnung von Quelle und Leuchtschirm, welche entweder räumlich getrennt oder in Form von autoradiolumineszenter Sidotblende eingesetzt werden. Die Beobachtungslupe ist dabei integriert (Abb. 1, 3) oder getrennt von den Leuchtschirmen beige packt, etwa bei Glew's Scintilloscope (Abb. 6). Auch Varianten für den Einsatz im Auflichtmikroskop wurden entwickelt (Abb. 5). Die ^{226}Ra -Aktivität variiert in den hier untersuchten radiolumineszenten Leuchtschirmen zwischen 80 und 4.000 Becquerel (vgl. Tabelle 1); die gleichfalls untersuchte radiolumineszente Leuchtziffer „4“ repräsentiert eine ^{226}Ra -Aktivität von rund 200 Becquerel [14].

Im Falle des Objektträger-Spinthariskops weist das hier räumlich von der Leuchtmasse durch Luftspalt getrennte Deckglas als α -Quelle eine Radium-Aktivität von rund 7.000 Bq auf. Die ermittelten γ -Oberflächendosisleistungen variieren entsprechend. Sowohl gammaspektrometrisch, also durch radiometrische Ermittlung des Nuklidvektors, wie auch durch direkte Gasphasen-Exhalationsuntersuchung mit Hilfe einer dreidimensionalen Ionisationskammer (Alphaguard PQ 2000) kann die ^{222}Rn -Quellstärke der Objekte ermittelt werden.

Spinthariskope sollten also so aufbewahrt werden, dass ^{222}Rn ungehindert entweichen kann. Grundsätzlich ist auch die Möglichkeit einer Hautkontamination etwa mit ^{226}Ra beim ungeschützten Umgang mit konservatorischen Objekten zu berücksichtigen; eine Gerätekontamination ist z.B. in Abb. 5 mit Hilfe digitaler Autoradiographie belegt.

Durch Vergleich der ^{226}Ra - mit der ^{214}Pb -Aktivität ist der radiogenetische Gleichgewichtswert von Untersuchungsobjekten ermittelbar. Er nimmt z.B. Werte zwischen 35 und nahe 100 % an, d.h. im zweiten Fall, es erfolgt praktisch keine Exhalation aus der Pechblende-Matrix. Die Variation der flächenhaften Aktivitätsverteilung, wie sie mit Hilfe digitaler Autoradiographie aufgezeichnet werden kann (z.B. Abb. 6c), hat ihren Grund im Herstellungsverfahren. Hier variieren Schichtdicken der autoradiolumineszenten Leuchtmassen, außerdem ist das Auftropfen von radiumhaltigen Lösungen im Zuge des Herstellungsprozesses nachweisbar. Es bleibt zu hoffen, dass das auf uns überkommene Spinthariskop über seinen 100. Geburtstag hinaus Interesse an dem faszinierenden Phänomen „Alpha-Radioaktivität“ bewahren hilft, eine Aufmerksamkeit, die es verdient.

Dank

Der Autor schuldet Dank für tatkräftige Unterstützung durch das Radiometrische Seminar der Fachhochschule München, insbesondere den Diplom-

Ingenieuren M. Eigenstetter, G. Feis, R. Laubinger, F. Vilser, Th. Wagner sowie G. Lieckfeld von der GSF mbH, Neuherberg und A. Saupe, Potsdam; A. Frank, St. Lawrence, Jersey (GB). ■

STICHWORTE

Spinthariskop, Strahlungsnachweis, Szintillation

LITERATUR

- [1] Crookes, W.: Certain Properties of the Emanations of Radium. *Chemical News*, 87, 1903, 241.
- [2] Soddy, F.: Die Natur des Radiums. Herausgegeben und bearbeitet in Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Bd. 289 von Schwankner, R. J., Harri Deutsch, Frankfurt/M. 2002.
- [3] Rutherford, E.: Collision of α -Particles with light Atoms I, IV. *Philosophical Magazine*, 17, 1919, 537–561; 581–587.
- [4] Geiger, H./Werner, A.: Die Zahl der vom Radium ausgesandten α -Teilchen. I. Teil, Szintillationszählungen. *Z. f. Physik*, 21, 1924, 187–203.
- [5] Meyer, St./Schweidler, E.: Radioaktivität. Teubner, Leipzig/Berlin 1927.
- [6] Broser, I.: Fünfzig Jahre Szintillationszähler. *Phys. Bl.*, 54, 1998, 935–937.
- [7] Niese, S.: Die Entdeckung organischer Szintillatoren vor 50 Jahren durch H. Kallmann und L. Herforth. *StrahlenschutzPRAXIS*, 5, 1/1999, 46–47.
- [8] Hofmann, K. A./Hofmann, U. R.: Anorganische Chemie. Vieweg, Braunschweig 1945.
- [9] Fricke, R. G. A.: Friedrich Oskar Giesel. AF Verlag, Wolfenbüttel 2001.
- [10] Elster, J./Geitel, H.: Über die durch radioaktive Emanation erregte szintillierende Phosphoreszenz der Sidot-Blende. *Phys. Z.*, 4, 1903, 439–440.
- [11] Crookes, W.: The Emanations of Radium. *Proc. Roy. Soc.*, 71, 1903, 405–408.
- [12] Kostenverordnung der Landessammelstelle für radioaktive Abfälle des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LSS-KostVO MV). *GVOBl. M-V.*, 2000, 544 ff.
- [13] Schwankner, R. J./Laubinger, R./Eigenstetter, M./Rohmann, A./Vilser, F.: Zur Kenntnis und radiometrischen Charakterisierung von Spinthariskopen. *MNU*, 56, 2003, 16–21.
- [14] Schwankner, R. J./Rohmann, A./Feis, G./Laubinger, R./Dorner, J./Eigenstetter, M./Hafner, M./Vilser, F.: Radiumhaltige Leuchtfarben. *Praxis der Naturwissenschaften (Biologie)*, 51, 2002, 20–22.
- [15] Aures, R.: Alpha-Strahlung sichtbar gemacht – ein Erlebnis für jedermann! *StrahlenschutzPRAXIS*, 8, 1/2002, 55.

Die vollständige Liste

Landessammelstellen

Ein besonderer Service für unserer Leser:

Auf S. 86 in diesem Heft finden Sie eine vollständige Liste aller Landessammelstellen für schwach- und mittelaktive radioaktive Stoffe. Spart mühsame Einzelsuche im Internet!

Schriftleitung

**AUTOR**

Prof. Dr. rer. nat. Robert Josef Schwankner, geb. 1958, Dipl.-Chem., Fachhochschule München, Fachgebiet Umweltchemie – Radioökologie, war nach der Diplomarbeit in Neutronenaktivierungsanalytik (FRM) und der Dissertation in angewandter Physikalischer Chemie

zunächst als Konservator Leiter der Abteilung Chemie des Deutschen Museums und Referent für Strahlenschutz im Bayerischen Umweltministerium. Seit 1977 beschäftigt er sich mit fachwissenschaftlichen und auch didaktischen Arbeiten auf dem Grenzgebiet von angewandter Chemie, Radioaktivität sowie Geschichte der Naturwissenschaften; er hat hierzu eine Reihe von

Veröffentlichungen, darunter bisher sieben Lehrbücher, vorgelegt.

ANSCHRIFT DES AUTORS

Fachhochschule München
Radiometrisches Seminar
Karlstr. 6
D-80333 München