

# Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht



**Jahrgang 56 • 2003 • Heft 1**

- Es ist vieles zu tun
- Kenntnisse von Studienanfängern
- Sonnenuntergang am Meer
- Spinthariskope
- Darstellung von Kurven
- Quadratur von Rechtecken
- Wettkönig bei „Wetten, Dass ...?“
- BENDFORDs Gesetz
- Optimierung eines Algorithmus
- Omas Küchenweisheiten
- Phagen als Helfer
- Interaktive Bildschirmexperimente
- Bastardstrandhafer
- Kooperatives Lernen

Bildungsverlag  
**EINS**  
Dümmler

# Zur Kenntnis und radiometrischen Charakterisierung von Spinthariskopen

Spinthariskope sind die ersten Strahlungsmessgeräte, welche den Zerfall einzelner Atome durch Wirkung ihrer Fragmente sichtbar machen. Ihr hoher Wert besteht in der Vermittlung des räumlich wie zeitlich stochastischen Charakters des radioaktiven Zerfalls auf dem Weg der direkten Beobachtung. Bauformen von Spinthariskopen werden vorgestellt und radiometrisch charakterisiert. Zugleich wird an die Beteiligung der Szintillationsmethodik zur Aufklärung der körnigen Struktur der Materie erinnert.

»Die Geschichte einer Wissenschaft ist die Wissenschaft selbst.«  
(GOETHE)

## 1 Radioaktive Leuchtmassen – Szintillationen

Die durch Hochtemperatursynthese zugängliche hexagonale Zinksulfid-Modifikation Wurtzit zeigt mit Kupfer- bzw. Silberdotierung (typischerweise rd. 100 ppm) lumineszente Eigenschaften [1]. Sie wird als Sidotblende (T. SIDOT, 1866) bezeichnet [2]. F. GIESEL von der Braunschweiger Chininfabrik empfahl mit Sidotblende beschichteten Leuchtschirme als Detektor für ionisierende Strahlung [3].

1903 beschrieben unabhängig voneinander J. ELSTER und H. GEITEL von der »Großen Schule« in Wolfenbüttel ([4] 27. März) und Sir W. CROOKES ([5] 17. März) das Phänomen, dass derartige 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).

WILLIAM CROOKES stößt auf seine Beobachtung im Zusammenhang mit ausgedehnteren Studien der Emanationen von Radium:

»... the dark surface of the screen scintillates with sparks of light. No two flashes succeed one another on the same spot, but are scattered over the surface, coming and going instantaneously, no movement of translation being seen. The scintillations are somewhat better seen with a pocket lens, magnifying about 20 diameters ...

*Microscopic glass, very thin aluminium foil, and thin mica do not stop the general luminosity of the screen from the X-rays but arrest the scintillations«* [5].

W. CROOKES ist bereits aufgefallen, dass es sich hierbei nicht um die Wirkung einer gasförmigen Emanation handeln kann:

»I could detect no variation in the scintillations when a rapid blast of air was blown between the screen and the radium salt.« [5].

J. ELSTER und H. GEITEL inkorporierten die Strahlungsquelle in den Sidotblenden-Schirm auf sehr originelle Art und Weise, indem sie ihn in einem Raum, der radioaktive Emanation »vom Erdboden« enthielt, über zwei Stunden lang auf negativem Potential von 2000 V hielten. Dabei scheiden sich die durch Rückstoß in der Gasphase mehrfach positiv geladenen Radon-Folgeprodukte der natürlichen  $4n$ - und  $(4n + 2)$ -Zerfallsreihen auf dem Detektor ab [6]. Zu ihren Beobachtungen schreiben sie:

»... gewinnt man, ..., ganz den Eindruck, als schaue man durch ein Teleskop nach einem Sternhaufen, dessen einzelne Sterne aufblitzen, um sofort wieder in dem schwarzen Hintergrunde zu verschwinden« [4].

Weitere Untersuchungen von R. W. WOOD mit Hilfe eines unter der Radiumquelle drehbar gelagerten Sidotblende-Schirms zeigten, dass die Dauer der Szintillationen extrem kurz ist:

»The duration of the flash due to the radium bombardment was determined without difficulty. The rim of a wooden disc, mounted on a shaft of a small electric motor, was coated with zinc sulphide, and the speck of radium supported above it on a needle-point. The bombarded surface was viewed in a dark room with a small lens. The flashes remained sharp even when the motor was running at pretty good rate, but on further increasing the speed they became less distinct, being drawn out into short streaks. It was pretty definitely determined that the duration of the flash was somewhere between 1/15.000 and 1/20.000 of a second.« [7].

Des Weiteren wurde erkannt, dass sich für entsprechende Untersuchungen transparente Schirme mit dünner gleichförmiger Schicht von im Bindemittel Rizinus- bzw. Terpentinöl angeteigter Sidotblende eignen. Weder Calciumwolframat noch »Barium-Platin-Cyanür« (Bariumtetracyanoplatinat(II),  $[\text{BaPt}(\text{CN})_4]$ ) lieferten befriedigend helle Blitze; bald wurde auch vermerkt, dass  $\alpha$ -Teilchen im Vergleich mit Protonen und  $\beta$ -Teilchen besonders intensive, gut lokalisierbare Szintillationen erzeugen.

F. GIESEL entwickelte in der Folge die ersten radioaktiven Leuchtmassen für den Handel und legte damit in Braunschweig einen Grundstein zu einem vielseitigen Industriezweig [8–10]. Die Fa. Junghans bringt z. B. 1907 die erste Weckeruhr und 1911 eine Taschenuhr mit Radium-Leuchtzifferblatt heraus. In einem Katalog aus dem Jahr 1907 heißt es zu der neuartigen Uhr: »Die Haltbarkeit der Leuchtfähigkeit ist unbegrenzt« [9], eine Aussage, welche sich in der Folgezeit durchaus nicht bestätigte, da Leuchtmassen auf Zinksulfidbasis sich unter der primären und sekundären Strahlenwirkung je nach Radiumgehalt langsam zersetzen [10].

## 2 Spinthariskope und ihre radiometrische Charakterisierung

In einer zweiten Mitteilung »Certain Properties of the Emanations of Radium« vom 22. Mai 1903 nimmt WILLIAM CROOKES Bezug auf den Apollo-Hymnus der sog. Homerischen Gesänge und führt damit sein »funkenwerfendes« »Spinthariskope« wie folgt ein:

»A convenient way to show these scintillations is to fit the blende screen at the end of a brass tube with a speck of radium salt in front of it and about a millimetre off, and to have a lens at the other end. Focussing, which must be accurately effected to see the best effects, is done by drawing the lens tube in or out. I propose to call this little instrument the

»Spinthariskope«, from the Greek word  $\sigma\pi\iota\nu\theta\alpha\rho\iota\varsigma$ , a scintillation« [11].

Die Beobachtung des räumlich wie zeitlich stochastischen Charakters des radioaktiven Zerfalls erfolgt mit Spinthariskopen in ihren verschiedenen Bauformen (z. B. Abb. 1a, 2a, b) mit dunkeladaptiertem Auge [12]. Inzwischen gelang es, unter Anwendung einer extrem lichtempfindlichen Kamera [13], wie sie im militärischen Bereich Anwendung findet, diese Erscheinung auf Datenträger aufzuzeichnen und somit simultan einem größeren Kreis in Form einer Videosequenz zugänglich zu machen (Abb. 1b).



Abb. 1a. Handelsübliches Spinthariskop; Bauform A: Zylindrisch mit verstellbarem Tubus; geöffnet, links mit Blick auf die mit  $^{226}\text{Ra}$ Radium dotierte ZnS(Cu)-Schicht ( $T_{1/2}$   $^{226}\text{Ra}$ Radium = 1600 a); die autoradiolumineszente Leuchtmasse ist geringfügig mit  $^{232}\text{Th}$ Thorium und Folgeprodukten kontaminiert.



Abb. 1b. 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.

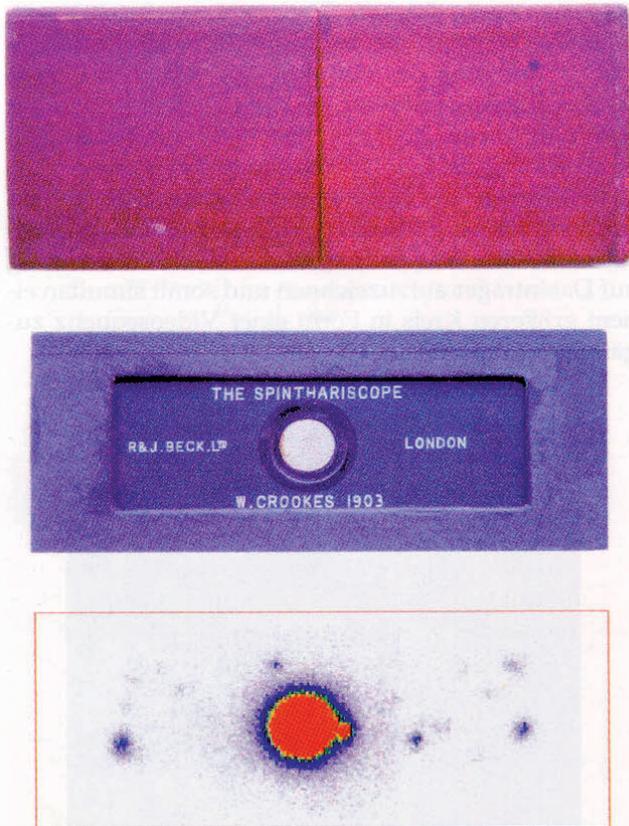


Abb. 2a Spinthariskop; Bauform B: Objektträger mit  $^{226}\text{Ra}$ Radium-Leuchtschirm zur mikroskopischen Betrachtung (inkl. Aufbewahrungsbox). Mit Hilfe digitaler Autoradiografie wurden die  $^{226}\text{Ra}$ Radium-Aktivitätsverteilung sowie vereinzelt aufgefundene Kontaminations-Spots aufgezeichnet.

Die Beobachtung des radioaktiven Zerfalls mit Hilfe von Spinthariskopen wurde kurz nach seiner Entdeckung so populär, dass die Geräte in vielen Bauformen von Optikern feilgeboten wurden. Ihre Lebensdauer war durch Einfluss von »Atmosphärien« bzw.  $\alpha$ -Radiolyse des Bindemittels auf die Zinksulfid-Leuchtmass beschränkt [10].



Abb. 2b. Spinthariskop; Bauform C: »Glew's Scintilloscope«; zwischen gläserne Objektträger eingefügte, mit pulverisierter Pechblende verriebene bzw. mit  $^{226}\text{Ra}$ Radium und  $^{210}\text{Po}$ Polonium dotierte Leuchtmass und beigepackte Beobachtungslupe inkl. Abstandshalter (London, Portobello Market, Medical Antiques Shop)

Der österreichische Positivist E. MACH (1838–1916), der in konsequenter Verfolgung eines Phänomenalismus eine Unterscheidung zwischen Wahrnehmung und Wahrgenommenen als nicht sinnvoll ansah, hat sich entsprechend polemisch mit der Atomtheorie und ihren Protagonisten auseinander gesetzt. Seine Reaktion auf die Demonstration des Spinthariskops beschrieb St. MEYER, Vorstand des Wiener Radiuminstituts: »Bekanntlich hatte er sich geradezu fanatisch gegen die Einführung von »Bildern« als Realitäten in der Physik gewehrt. Wenn jemand von den Atomistikern, die damals in Ludwig Boltzmann in Wien ihren Führer hatten, vor ihm von Atomen sprach, fuhr er meist mit der Frage dazwischen: »Habns eins gsehn?« 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« ...« [14].

Objekt	U-238 als Pa-234m (Bq)	Ra-226 (Bq)	Pb-214 (Bq)	Gleichgewicht (%)	Quellstärke Rn-222 (Atome pro Sek.)	OFDL Nettowerte ( $\mu\text{Svh}^{-1}$ )
Spinthariskop unzerlegt	n.n.	1260	450	35	800	0,15
Objektträger	n.n.	7140	5400	75	1500	3,60
Pitchblende-Screen I	80	80	90	100	20	0,10
Radium-Screen I	n.n.	3950	3200	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.

Tab. 1. Nukleardaten der radiometrischen Charakterisierung der Spinthariskope (Abb. 1a, 2a) und der Präparate von »Glew's Scintilloscopes I, II« (Abb. 2b, 3), erhoben mit HPGe-Gammaspektrometrie und Exhalationsuntersuchungen im Emanationscontainer mit dreidimensionaler Ionisationskammer (vgl. Abb. 4). Der radiogenetische Gleichgewichtswert setzt die Aktivität des Mutternuklids  $^{226}\text{Ra}$ Radium mit dem Folgeprodukt  $^{214}\text{Pb}$ Blei in Beziehung. Die Werte der  $\gamma$ -Oberflächendosisleistung wurden mittels eines kalibrierten Szintillometers (Automess 6134) erhoben.

Die Bauformen von Spinthariskopen sind vielfältig (Abb. 1a, 2a, b). Sie unterscheiden sich bzgl. der Anordnung von  $\alpha$ -Quelle und Leuchtschirm, welche entweder räumlich getrennt oder in Form von autoradiolumineszenter Sidotblende eingesetzt werden. Die Beobachtungslupe ist dabei integriert (Abb. 1a) oder getrennt von den Leuchtschirmen beige packt, etwa bei Glew's Scintilloscope (Abb. 2b). Auch Varianten für den Einsatz im Auflichtmikroskop wurden entwickelt (Abb. 2a). Die  $^{226}\text{Ra}$ Radiumaktivität variiert in den hier untersuchten radiolumineszenten Leuchtschirmen zwischen 80 und 4000 Becquerel (alle radiometrischen Daten siehe Tab. 1). Im Falle des Objektträger-Spinthariskops weist das hier räumlich von der Leuchtmasse durch Luftspalt getrennte Deckglas als  $\alpha$ -Quelle eine Radium-Aktivität von rd. 7000 Bq auf. Die ermittelten  $\gamma$ -Oberflächendosisleistungen variieren entsprechend. Sowohl gammaspektrometrisch, also durch radiometrische Ermittlung des Nuklidvektors, wie auch durch direkte Gasphasen-Exhalationsuntersuchung mit Hilfe einer Ionisationskammer kann die  $^{222}\text{Rn}$ Radon-Quellstärke der Objekte ermittelt werden. Spinthariskope sollten also so aufbewahrt werden, dass  $^{222}\text{Rn}$ Radon ungehindert entweichen kann. Grundsätzlich ist auch die Möglichkeit einer Hautkontamination beim ungeschützten Umgang zu berücksichtigen; eine Gerätekontamination ist z. B. in Abbildung 2a mit Hilfe digitaler Autoradiografie belegt.

Durch Vergleich der  $^{226}\text{Ra}$ Radium- mit der  $^{214}\text{Pb}$ Blei-Aktivität ist der radiogenetische Gleichgewichtswert jedes Untersuchungsobjektes 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 Autoradiografie aufgezeichnet werden kann (z. B. Abb. 3b), hat ihren Grund im Herstellungsverfahren. Hier variieren Schichtdicken der autoradiolumineszenten Leuchtmassen, außerdem ist das Auftropfen von radiumhaltigen Lösungen im Zuge des Herstellungsprozesses nachweisbar.

### 3 Anwendungen

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 (Streuexperiment der Rutherford'schen Schule) [15].

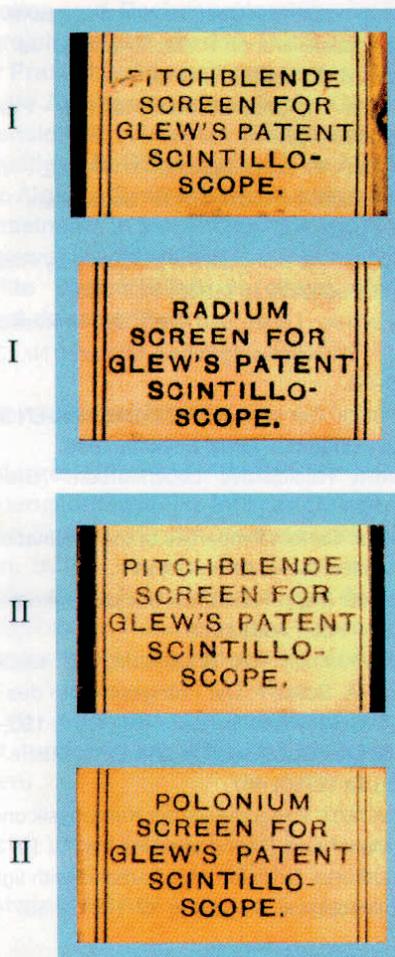


Abb. 3a. Einseitig aufgebrachte Etiketten auf Präparaten für »Glew's Scintilloscope«: Objekt I, gefunden in Oxford (GB), Flohmarkt; Objekt II vgl. Abb. 2b.

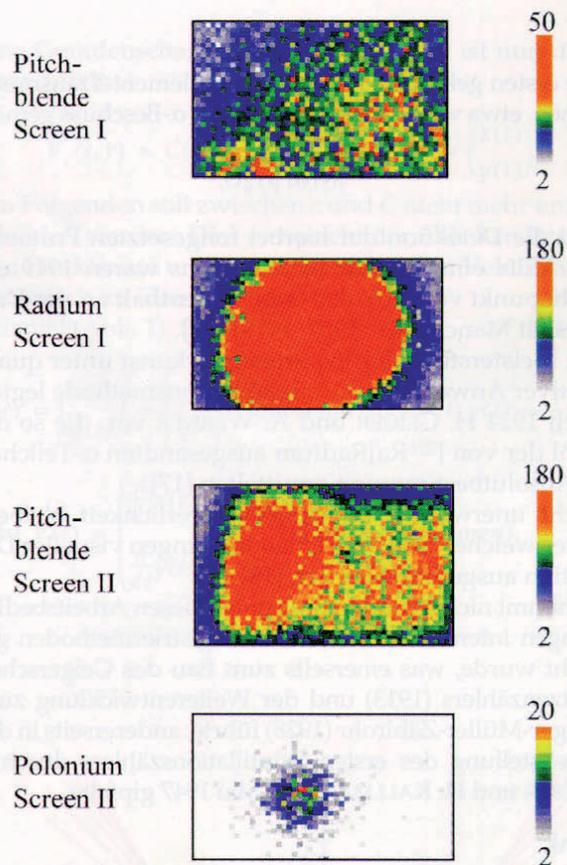


Abb. 3b. Aktivitätsverteilung in Präparaten für »Glew's Scintilloscope« (vgl. Abb. 3a), aufgenommen mit digitaler Autoradiografie. Im Falle des Polonium Screen ( $T_{1/2}$   $^{210}\text{Po}$  Polonium = 138,4 d) ist eine länger anhaltende Kontamination mit  $^{226}\text{Ra}$ Radium detektierbar. Die bei den weiteren Präparaten (Leuchtmassen) festgestellten Inhomogenitäten in der Aktivitätsverteilung sind herstellungsbedingt: Schichtdicke; Auftropfen einer  $^{226}\text{Ra}$ Radiumsalzhaltigen Lösung.

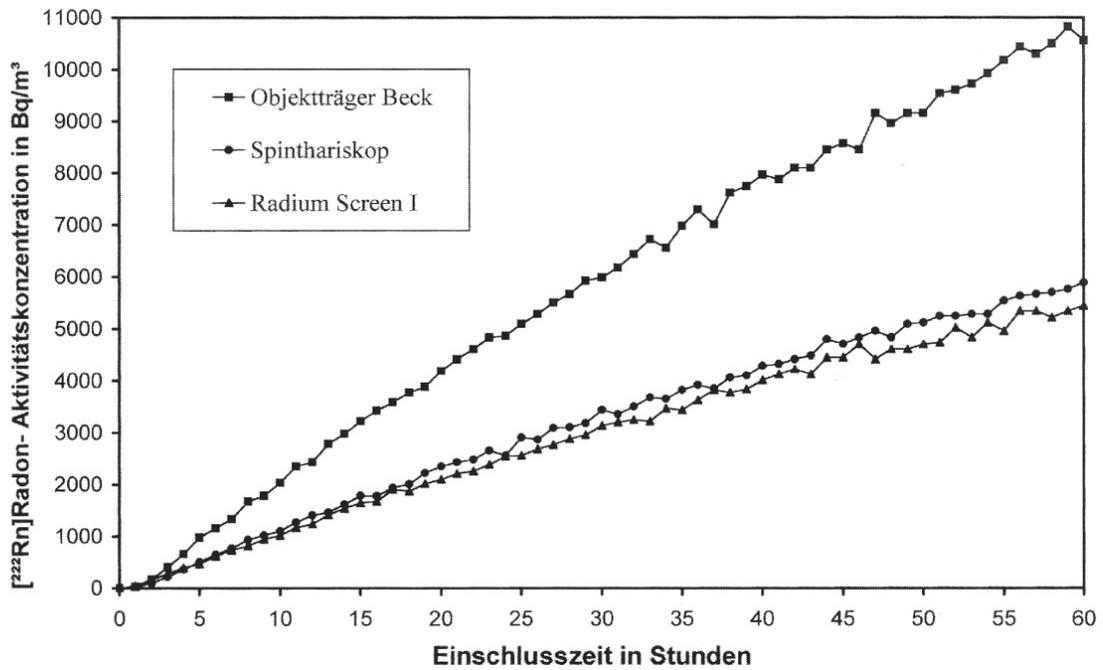
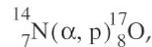


Abb. 4. Zeitserien der  $^{222}\text{Rn}$ Radon-Exhalation der Spinthariskope aus den Abbildungen 1a und 2a sowie des Radium Screen von »Glew's Scintilloscope I« (Abb. 3a,b).  $^{222}\text{Rn}$ Radon-Quellstärken erhoben mit dreidimensionaler Ionisationskammer (Alpha-GUARD PQ 2000, Fa. Genitron (FFM)) in einem Emanationscontainer ( $V = 50\text{ l}$ ) aus Edelstahl (vgl. Tab. 1).

Die ersten gelungenen künstlichen Element-Transmutationen, etwa von Luftstickstoff durch  $\alpha$ -Beschuss gemäß



und die Detektion der hierbei freigesetzten Protonen mit Hilfe eines Szintillationsschirms waren 1919 ein Höhepunkt von RUTHERFORDS Aufenthalt an der Universität Manchester (1907–1919) [16].

Ein Meisterstück der Experimentierkunst unter quantitativer Anwendung der Szintillationsmethode legten noch 1924 H. GEIGER und A. WERNER vor, die so die Zahl der von  $^{226}\text{Ra}$ Radium ausgesandten  $\alpha$ -Teilchen in Absolutbestimmung ermittelten [17].

Nicht unerwähnt soll die Beschwerlichkeit bleiben, unter welcher derartige Untersuchungen visueller Detektion ausgeführt wurden [18].

Es nimmt nicht wunder, dass unter diesen Arbeitsbedingungen intensiv nach weiteren Registriermethoden gesucht wurde, was einerseits zum Bau des Geigerschen 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.

#### Dank

Die Autoren schulden Dank für tatkräftige Unterstützung: Frau Dr. THERESIA WITTEMAN, Herrn Dipl.-Ing. GEROLF LIECKFELD und Herrn Dipl.-Ing. MARTIN THALER.

#### Literatur

[1] K. A. HOFMANN – U. R. HOFMANN: Anorganische Chemie. – Braunschweig: Vieweg 1945.  
 [2] H. RUPP: Die Leuchtmassen und ihre Verwendung. – Berlin: Bornträger 1937.

[3] O. HAHN: Friedrich Giesel. – Phys. Z. **29** (1928) 353–357.  
 [4] J. ELSTER – H. GEITEL: Über die durch radioaktive Emanation erregte szintillierende Phosphoreszenz der Sidot-Blende. – Phys. Z. **4** (1903) 439–440.  
 [5] W. CROOKES: The Emanations of Radium. – Proc. Roy. Soc. **71** (1903) 405–408.  
 [6] M. EISWIRTH – R. SCHWANKNER – F. WEIGEL – V. WISNEVSKY: Electrostatic Radionuclide Separation. – J. chem. educ. **59** (1982) 608–611.  
 [7] R. W. WOOD: The Scintillations produced by Radium. – Philosophical Magazine **10** (1905) 427–430.  
 [8] S. LOEWENTHAL: Leben und Werk des Professor Dr. FRITZ GIESEL. – Braunschweigisches Magazin Nr. 3, Mai/Juni 1930, 35–38.  
 [9] J. BRAUNBECK: Der strahlende Doppeladler – Nukleares aus Österreich-Ungarn. – Graz: Leykam 1996.  
 [10] G. BERNDT: Radioaktive Leuchtfarben. – Braunschweig: Vieweg 1920.  
 [11] W. Crookes: Certain Properties of the Emanations of Radium. – Chemical News **87** (1903) 241.  
 [12] A. FRIEDRICH (Hg.): Handbuch der experimentellen Schulphysik 10. – Köln: Aulis 1969.  
 [13] R. J. SCHWANKNER – A. BRUMMEISL – G. LIECKFELD – P. SCHÖFFL – A. SCHÖPF: Die Frühgeschichte des Radiums – Teil II. – Die Geowissenschaften **10** (1992) 190–198.  
 [14] S. MEYER: Das Spinthariskop und Ernst Mach. – Z. Naturforschung **5a** (1950) 407.  
 [15] E. BODENSTEDT: Experimente der Kernphysik und ihre Deutung I. – Mannheim: Bibliografisches Institut 1972.  
 [16] E. RUTHERFORD: Collision of  $\alpha$  Particles with light Atoms I; IV. – Philosophical Magazine **17** (1919) 537–561; 581–587.  
 [17] H. GEIGER – A. WERNER: Die Zahl der vom Radium ausgesandten  $\alpha$ -Teilchen. I. Teil, Szintillationszählungen. – Z. f. Physik **21** (1924) 187–203.