

# Strahlenschutz

ORGAN DES FACHVERBANDES FÜR STRAHLENSCHUTZ E.V.

# PRAXIS

Zeitschrift für den sicheren Umgang mit ionisierender und nichtionisierender Strahlung



**Gefahrenabwehr im  
nuklearen Notfall?  
Die Einsatztruppe steht  
bereit!**

**Preparedness, 1968  
Roy Lichtenstein**  
Oil and Magna on three  
joined canvases  
304,8 x 548,6 cm  
Solomon R. Guggenheim  
Museum, New York, 69.1885  
© VG Bild-Kunst, Bonn 2009  
(mehr dazu auf S. 52)

**S. 3** Nuklearterrorismus –  
Bedrohung und Schutz

**S. 21** Einsatzkonzepte in CH

**S. 28** Atomic Detectives –  
All about Nuclear Forensics

**S. 37** Dosismessungen um  
schweizerische Kernanlagen

**S. 44** Rutherfords  
„Thoriumkuh“, Teil I

**S. 55** Dirty Tables and  
Dirty Bombs

**S. 57** Ärzteausbildung in CH

**S. 65** IRPA 12 – Bericht vom  
Kongress

**S. 83** Berufsbilder im  
Strahlenschutz VI

**S. 89** FS-Wahlen 2008

**S. 93** AKE: Stellungnahme  
zu ASSE II

# Rutherfords „Thoriumkuh“, Teil 1

## AUTOR

Robert Josef Schwankner

## KOAUTOREN

Bernadett Gmeiner  
Rudolf Laubinger  
Gregor Patzer  
Michael Schmidt  
Jochen Schraufstetter  
Stefanie Tafelmeier  
Florian Welz

## ZUSAMMENFASSUNG

Rutherfords Nuklidgenerator („Thoriumkuh“) war in vielfacher Hinsicht ein Stimulans für die Entwicklung der Transmutationslehre. Die Autoren beschreiben in Teil 1 des Beitrags Bauformen und Nuklidgewinnung, in Teil 2 die praktischen Auswirkungen auf die „Chemie des Unwägbaren“, die Radiochemie. Dem erfahrenen Experimentator werden Anleitungen für eigene Praktikumsexperimente gegeben.

## SUMMARY

### Rutherford's "Thorium Cow"

Rutherford's Nuclide Generator ("Thorium Cow") in many ways was a stimulant for the development of transmutation theory. In Part 1 of this contribution, the authors describe construction shapes and nuclide extraction, in Part 2 the practical implementations on the "Chemistry of the Imponderable", the Radiochemistry. The experienced experimenter will find guidance for his own practical work.

## Bauformen und Nuklidgewinnung

Rutherfords Nuklidgenerator war in vielfacher Hinsicht ein Stimulans für die Entwicklung der Transmutationslehre. In seiner intensiven Verwendung als trägerfreier Tracerzugang für ausgewählte Glieder der 4n-Reihe – insbesondere für  $^{212}\text{Pb}$  (Thorium B) – erwies er sich als Voraussetzung und Motor für die erfolgreiche Entwicklung in der Ultraspurenchemie der Hahn'schen Schule.

Die Autoren wählten bei der Abfassung dieses Beitrags den Zugang zum Leser über die Historie (immerhin sind mehr als drei Nobelpreisträger dabei involviert) und haben den Beitrag so angelegt, dass er gleichzeitig auch Fortbildungscharakter hat. Der Text kann somit auch eine Anleitung für den erfahrenen Experimentator sein, der hier schöne Details darüber finden wird, was man – heute noch – in Praktika mit angenehmen Praktikumsnukliden (Betastrahler und geringe HWZ) und modernen Methoden alles machen kann.

Der erste Teil des Gesamtbildes befasst sich zunächst mit den Bauformen und der Nuklidgewinnung, während im zweiten Teil anhand von Experimenten die „Chemie des Unwägbaren“, die Radiochemie, eingeführt und beschrieben wird.

### Z = 90 Thorium

J. J. Berzelius benannte Thorium nach dem skandinavischen Gott Thor. Er sah in ihm fälschlicherweise ein einer Falun-Erde zugrunde liegendes neues Metall; 1828 entdeckte er schließlich im Thorit der norwegischen Insel Lövön tatsächlich das erste Thoriummineral.

1898, im „annus mirabilis“ der Frühgeschichte der Radioaktivität, in welchem die Entdeckung von Z = 84 Polonium und Z = 88 Radium erfolgte, wurde unabhängig voneinander durch

G. C. Schmidt, Erlangen (Publikation vom 1.4.), und M. Curie, Paris (Publikation vom 12.4.), die Ionisationswirkung von Thorium und seinen Verbindungen auf umgebende Luft beschrieben. Für Marie Curie waren diese Phänomene mit den relativ hohen Atomgewichten – in Analogie zu Z = 92 Uran – verknüpft und sie schlug die Bezeichnung „radioaktive Elemente“ dafür vor.

**Marie Curie:  
„Radioaktive  
Elemente“**



Abb. 1: Ernest Rutherford (1871–1937). Als er 1908 als 37-jähriger den Nobelpreis für Chemie zugesprochen bekam, stellte er belustigt fest: „Ich dachte eigentlich ich sei Physiker“.

Die zunächst unter Anleitung von Sir W. Ramsay (1852–1916, Nobelpreis für Chemie für das Jahr 1904) ausgeführte Analyse ceylonesischen Thorianits durch den Postdoktoranden und organischen Chemiker O. Hahn (1879–1968; Nobelpreis für Chemie für das Jahr 1944) führte 1905 und 1907 zur Entdeckung von zwei neuen Alphastrahlern hoher spezifischer Aktivität in der Thorium-(4n-)Zerfallsreihe, welche sich von der Gewinnung her

betrachtet als wohlfeile Radiumersatzstoffe erweisen sollten:  $^{228}\text{Ra}$ : Mesothor (1) und  $^{228}\text{Th}$ : Radiothor.

### Thoriumemanation

1898 wandte sich der 27-jährige Ernest Rutherford (\*1871 in Brightwater bei Nelson/Neuseeland, †1937 in Cambridge), eben erfolgreich in der Beschreibung der Alpha- und Betaemission von Uranoxidpräparaten („Becquerel-Strahlung“), im Sommer als Benjamin zu einem der beiden Macdonald-Professoren für Physik an der McGill University in Montreal berufen, dem radiometrischen Studium von Thoriumverbindungen zu. Er arbeitete dort bis 1907; den Nobelpreis für Chemie erhielt er 1908 für diese Arbeiten (Abb. 1).

Gemeinsam mit einem weiteren Newcomer an dieser Hochschule, dem Elektroingenieur R. B. Owens (1870–1940), schlug er sich mit Thoriumoxidpräparaten herum [1], welche die Eigenschaft zeigten, dass so scheinbar irrelevante Einflussfaktoren wie das Öffnen einer Tür drastische Änderungen in der Ionisationswirkung umgebender Luft hervorriefen.

„A slow current of air, which quickly removes the emanation as it appears,

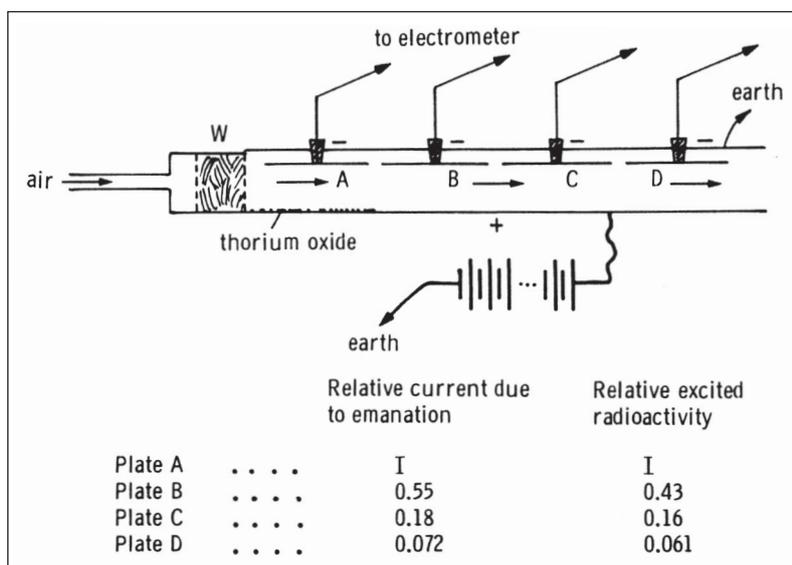


Abb. 2: Versuch zur Aufklärung „erregter Aktivität“ (elektrostatische Gasphasen-deposition) in der Umgebung von Thoriumverbindungen [2]



Abb. 3: Wappen von Lord Rutherford of Nelson (Coat of Arms, 1931). Ein frühes Beispiel radiochemischer Heraldik: Die enthaltenen Exponentialkurven des Zerfalls und der Rückbildung im Zuge der Abtrennung eines Tochternuklids erscheinen als degenähnliche Strukturelemente. Motto: „primordia quaerere rerum“ – „Suchen nach dem Ursprung der Dinge“. Der Kiwi und der Maori-Krieger beziehen sich auf die neuseeländische Heimat wie auch seinen Geburtsort Nelson. Hermes Trismegistos vertritt die klassische Alchemie, die durch Rutherford's „Newer Alchemy“ erneuert wurde.

also diminishes the power of producing radioactivity. The amount of induced radiation is greater in closed than in open vessels, on account of the disturbance of air-currents in the latter case.” [2]

In einer Reihe trickreicher Experimente, die Rutherford als den Experimentalphysiker des kommenden Jahrhunderts auswies, gelang es, den gasförmigen Charakter derselben aufzuklären (Abb. 2) und als „Minuten-Tochteraktivität“ ( $T_{1/2}(^{220}\text{Rn}) = 55,6 \text{ s}$ ) nach Exhalationsabtrennung aus Festkörperpräparaten aufzudecken.

Ein Thema, das Rutherford Zeit seines Lebens in vielen Varianten verfolgte und das er schließlich bei seiner Ernennung zum Baron in sein Wappen integrieren ließ: das säkulare radiogenetische Mutter-Tochter-Gleichgewicht als ein frühes Beispiel radiochemischer Heraldik (Abb. 3). Nach der Ernennung

## Exhalations-abtrennung aus Festkörperpräparaten

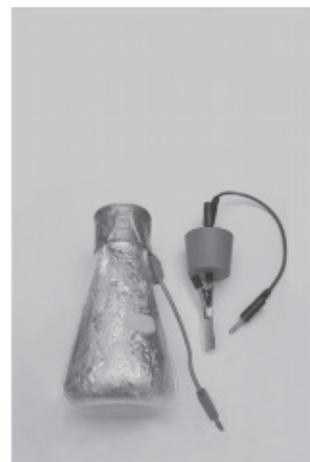
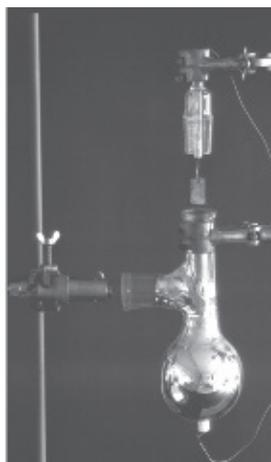
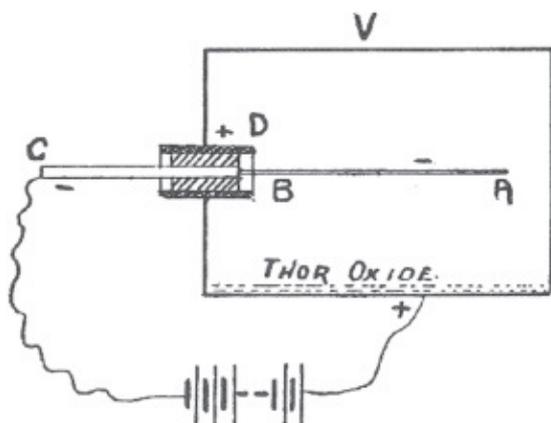


Abb. 4: Erste Bauform [1, 2] (links) sowie Sonderbauform (Mitte), geöffnet (mit direkter GMZ-Überwachung der deponierten Aktivität), und rechts aktuelle Praktikumsversion einer Rutherford'schen „Thoriumkuh“ [4-6]

kabelte er als erstes an seine Mutter: "Now Lord Rutherford. More your honour than mine. Ernest" [3, 4].

### Bauformen der „Thoriumkuh“

Es zeigte sich besonders, dass die Gasphasendeposition aus Thoriumemanation insbesondere auf Kathoden erfolgte und dort nur zu oberflächlicher – durchweg nicht gewichtsauffälliger – Deposition führte.

"It will be observed that radioactivity is produced on the plates some distance away from the thorium oxide, and is roughly proportional to the emanation-current at the plate. We

**Rutherford's "Thorium Cow"**

"All the compounds of thorium examined have the power of causing radioactivity in substances. The oxide, however, gives far the largest effects, and has consequently been used in most of the experiments."

**Ernest Rutherford, 1900**

may conclude from this experiment that the radioactivity is, in some way, due to the 'emanation', or to something that accompanies it, but is not caused by the direct action of a radiation from thorium oxide ... The amount of radiation from an active

surface is always lessened by mechanical actions, such as rubbing the surface with a cloth or fine sand-paper. In order to completely remove the radioactivity, it is necessary to remove the surface-layer by long scouring with sand- or emery-paper." [2]

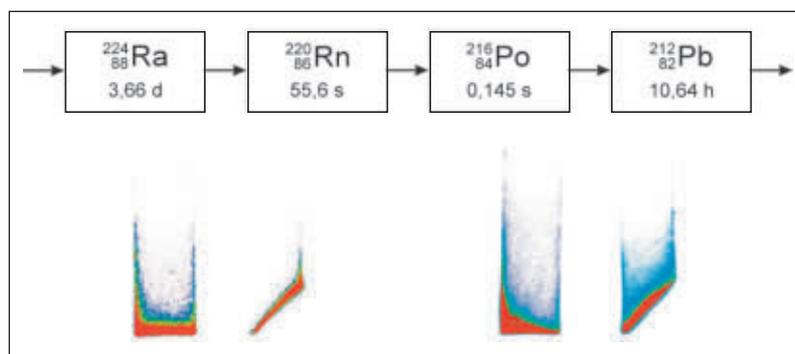


Abb. 5: Oben: relevanter Ausschnitt der 4n-Zerfallsreihe mit Angabe der Halbwertszeiten; die in kurzer Folge durch Alphaemission entstehenden Rückstoßkerne übernehmen je rd. 2% der Umwandlungsenergie mit der Folge der Bildung eines hochgeladenen Kations in der Gasphase. Unten: MWPC- (links) und RPL-Autoradiographien (rechts) von durch Einhängen in eine „Thoriumkuh“ sättigungsexponierten Platinkathoden; eine davon abgeschrägt (U = -900 V; b = 13, l = 40, d = 0,3 [mm]). Die quantitative Auswertung ergibt, dass in dem der Emanationsquelle Thoriumdioxid zugewandten, unteren Drittel der Platinelektroden im Bereich hoher Feldstärken jeweils bis zu 80% der <sup>212</sup>Pb-Sättigungsaktivität (typischerweise rund 2 kBq) elektrodeponiert sind.

In der Folge kristallisierten sich verschiedene Bauformen der „Thoriumkuh“ heraus, die es gestatten, eine bequeme Nuklidtrennung durch Gasphasendeposition zu ermöglichen, wobei herausnehmbare Platinkathoden noch heute Verwendung finden (Abb. 4).

Befüllt man bei Rekonstruktion einen Erlenmeyerkolben (250 ml, Weithals) mit 35 Gramm Thoriumdioxid, so kann man innerhalb von 72 Stunden ( $U_{\text{Kath}} = -900 \text{ V}$ ) eine <sup>212</sup>Pb-Deposition von typischerweise 2 kBq erhalten. 65–80% der Gesamtaktivität befindet sich dabei auf dem unteren Drittel der Platinkathode ( $A_{\text{Pt}} = 500 \text{ mm}^2$ ), also vorzugsweise in Bereichen hoher Feldstärken (Kanten, Spitzen) deponiert,

wie MWPC- und RPL-Autoradiografien belegen (Abb. 5).

Je nach Trocknungszustand des eingesetzten Thoriumdioxids variiert die Abscheidungsaktivität zwischen 1,3 und 6,5 kBq; Resultate eines typischen Experimentes unter schrittweiser Wasserzugabe (Deionat in „Thoriumkuh“ gemäß Abb. 4, rechts) sind in Abb. 6 wiedergegeben.

Mit derartigen Studien lassen sich auch Nanowägsamkeiten in emanierenden Festkörpern untersuchen: Emanierverfahren.

Die sich in den 110 Jahren ihres Einsatzes parallel zur schrittweisen Aufklärung der natürlichen Thorium-(4n-) Zerfallsreihe (Abb. 7) entwickelnde prinzipielle Bauform der Rutherford'schen „Thoriumkuh“ zur bequemen Präparation des Radiotracers

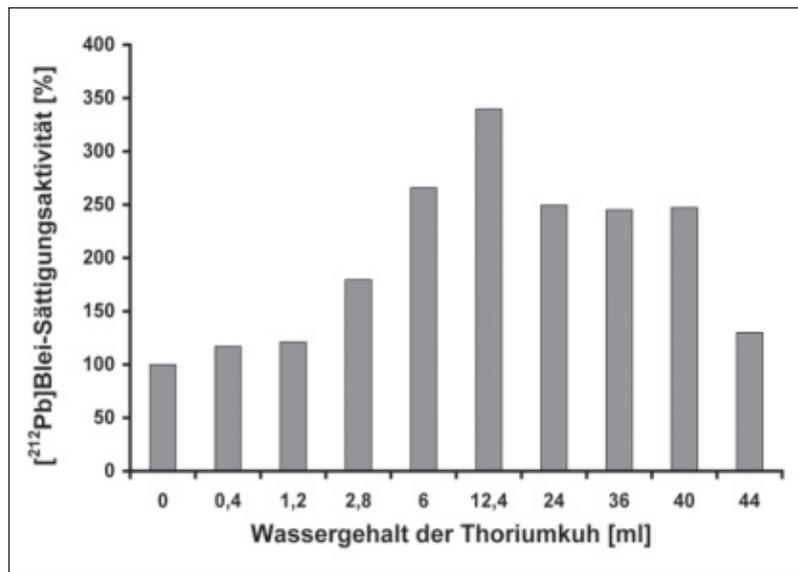


Abb. 6: Sättigungsaktivitäten in % des in dieser Anordnung erreichbaren Maximalwertes einer „Thoriumkuh“ ( $m(\text{ThO}_2) = 34,6 \text{ g}$ ; vgl. Abb. 4 (rechts)) nach Zugabe entsprechender Wassermengen, bezogen auf die Absolutaktivität der Platinelektrode ohne Wasserzugabe; zwischen den einzelnen Messreihen vergingen zur Einstellung des radio-genetischen Gleichgewichts jeweils rund 80 Stunden [6].



<sup>212</sup>Pb (T<sub>1/2</sub> = 10,64 h) erscheint schon in der zweiten Veröffentlichung zum Thema [1]:

“If thorium oxide is placed in a closed vessel connected to earth, the sides of the vessel and any solid bodies near,

whether conductors or insulators, become radio-active. If, in addition, the surface of the thorium oxide is

Halbwertszeit t <sub>1/2</sub>	Isotope Zerfall Verzweigung, %	α-Zerfall Energie, MeV (Intensität, %)**	β-Zerfall Energie, MeV (Intensität, %)**	γ-Emission Energie, keV (Intensität, %)*
1.405*10 <sup>10</sup> y	<sup>232</sup> <sub>90</sub> Th 100 ↓ α	α: 4.0123 (78.2) α: 3.9472 (21.7)		γ: 63.813 ( 0.263) γ: 140.86 ( 0.021)
5.75 y	<sup>228</sup> <sub>88</sub> Ra 100 ↓ β		β: 0.0396 (40) β: 0.01328 (30)	γ: 13.52 ( 1.6) γ: 16.24 ( 0.72)
6.15 h	<sup>228</sup> <sub>89</sub> Ac 100 ↓ β		β: 1.158 (29.9) β: 1.731 (11.66) β: 2.069 ( 8.) β: 0.596 ( 8.0) β: 1.004 ( 5.92) β: 0.974 ( 5.1)	γ: 911.20 (25.8) γ: 968.97 (15.8) γ: 338.32 (11.27) γ: 964.77 ( 4.99) γ: 463.00 ( 4.40) γ: 794.95 ( 4.25)
1.9131 y	<sup>228</sup> <sub>90</sub> Th 100 ↓ α	α: 5.4232 (72.2) α: 5.3404 (27.2) α: 5.221 (0.420)		γ: 84.37 ( 1.22) γ: 215.98 ( 0.254) γ: 131.61 ( 0.131)
3.66 d	<sup>224</sup> <sub>88</sub> Ra 100 ↓ α	α: 5.6854 (94.92) α: 5.4486 ( 5.06)		γ: 240.99 ( 4.10) γ: 292.70 ( 0.0062)
55.6 s	<sup>220</sup> <sub>86</sub> Rn 100 ↓ α	α: 6.2881 (99.89) α: 5.747 ( 0.114)		γ: 549.76 ( 0.114)
0.145 s	<sup>216</sup> <sub>84</sub> Po 100 ↓ α	α: 6.7783 (100)		γ: 804.9 ( 0.0019)
10.64 h	<sup>212</sup> <sub>82</sub> Pb 100 ↓ β		β: 0.335 (82.5) β: 0.574 (12.3) β: 0.159 ( 5.17)	γ: 238.63 (43.3) γ: 300.09 ( 3.28) γ: 115.18 ( 0.592)
60.55 m	<sup>212</sup> <sub>83</sub> Bi 35.94 ↓ α    64.06 ↓ β	α: 6.0508 (69.91) α: 6.0899 (27.12)	β: 2.248 (86.57) β: 1.521 ( 6.81)	γ: 39.86 (1.06) γ: 288.07 ( 0.337) γ: 727.33 ( 6.58) γ: 1620.50 ( 1.49)
3.053 m 0.298 μs	<sup>208</sup> <sub>81</sub> Tl <sup>212</sup> <sub>84</sub> Po 100 ↓ β    100 ↓ α	α: 8.785 (100)	β: 1.80 (48.7) β: 1.29 (24.5) β: 1.52 (21.8) β: 1.04 ( 3.9)	keine γ-Emission beob. γ: 2614.53 (35.64/99.16) γ: 583.19 (30.4/84.5) γ: 510.77 ( 8.13/22.6) γ: 860.56 ( 4.465/12.42)
stable	<sup>208</sup> <sub>82</sub> Pb		Ref.: Ende '06	Version: 4.2, Februar 2007

\*γ-Emission: absolute Intensität pro 100 Zerfälle im Gleichgewicht; \*\*α-, β-Zerfall: Intensität pro 100 Zerfälle

blau: Edelgas, zyan: γ-Referenzlinien, rot: langlebige Isotope, grün: Isotope im Gleichgewicht, Achtung

Abb. 7: 4n-Zerfallsreihe nach W. Wahl [7]

covered with paper or thin aluminium-foil, the side of the paper away from the oxide becomes radio-active. When no electromotive forces are acting, the amount of radioactivity in a given time

## Aufklärung der Thorium- (4n-)Zerfalls- reihe

per unit area is greater the nearer the body to the thorium oxide.

With electromotive forces acting, the substance to which the radioactivity is due appears to travel along the lines of force from the + to the –

charged body. It is thus possible to concentrate the radioactivity on small plates or fine wires by placing them in a closed metal vessel connected to earth and charging them –.” [1]

Die u. a. von der Curie’schen Schule zu diesem Zeitpunkt noch vertretenen Anschauung, dass die Bereiche natürliche und induzierte Radioaktivität ihre Ursache in einer Art Phosphoreszenz hätten, wird schon 1900 von Ernest Rutherford mit gebührender Vorsicht behandelt: “The hypothesis that the radiation is a kind of phosphorescence will not explain the results observed, since substances are made radioactive outside the incidence of the radiation, and the radioactivity can be concentrated on the – electrode” [1]. ■

### STICHWORTE

Radiochemie, Thorium, Thoriumemanation, Thoriumzerfallsreihe

### LITERATUR

- [1] Rutherford, E.: Radioactivity Produced in Substances by the Action of Thorium Compounds. Phil. Mag., 5, 49, 1900, S. 161–192.  
 [2] Rutherford, E.: A Radio-active Substance Emitted from Thorium Compounds. Phil. Mag., 5, 49, 1900, S. 1–14.  
 [3] Eve, A. S.: Rutherford. University Press, Cambridge 1939.  
 [4] Schwankner, R. J./Laubinger, R./Dorner, J./Gmeiner, B./Patzner, G./Schmidt, M.: Aus der Frühgeschichte der Radiochemie – Ausgewählte Objekte konservatorischer Radiometrie. Fachverband für

Strahlenschutz. Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz, FS-06-141-T, 2006, S. 52–83.

[5] Schwankner, R. J./Eiswirth, M./Weigel, F./Wishnevsky, V.: Electrostatic Radionuclide Separation. Journal of Chemical Education, 59, 1982, S. 608–611.

[6] Schwankner, R. J.: Nuklidgeneratoren I: Die Thoriumkuh. MNU, 35, 1982, S. 385–390.

[7] Wahl, W.:  $\alpha\beta\gamma$ -Table. Radionuclide-Handbook. Version 4.1, Februar 2007, D-83722 Schliersee.

### AUTOR



#### Robert Josef Schwankner

Prof. Dr. Robert Josef Schwankner, Dipl.-Chem., war nach der Diplomarbeit in Neutronenaktivierungsanalytik (FRM) und Dissertation in Katalyse- und Oberflächenchemie bei Gerhard Ertl (Chemienobelpreis 2007) 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 und Geschichte der Naturwissenschaften; er hat hierzu eine Reihe von Veröffentlichungen vorgelegt.

### KOAUTOREN

**Bernadett Gmeiner**, Studium der Physikalischen Technik an der HM, 2005 Diplom, Mitarbeiterin am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), Garching.

**Rudolf Laubinger**, Studium der Umwelttechnik an der HM, 1995 Diplom, heute Laborbetriebsleiter Radiometrische Laboratorien an der HM.

**Michael Schmidt**, Studium der Medizintechnik an der HM, 2003 Diplom, derzeit im Masterstudiengang Mikro- und Nanotechnik, Mitarbeiter des Forschungsreaktors München II (FRM II) der TU München (TUM).

**Stefanie Tafelmeier, Gregor Patzer, Jochen Schraufstetter, Florian Welz**, Studierende der Physikalischen Technik, HM.

### ANSCHRIFT DER AUTOREN

Prof. Dr. R. J. Schwankner  
 Hochschule München, Radiometrisches Seminar  
 Karlstraße 6, D-80333 München  
 Tel./Fax: ++49/89/12 65 26 08  
 E-Mail: robertjosefchwankner@web.de  
 laubinger@hm.edu