

Radioaktivität zum Anfassen – Das Philion-Experimentier-Set

Rudolf Geipel¹
Henning von Philipsborn²

¹ Private Realschule Pindl
Albrecht-Dürer-Str. 11, 93128 Regenstau
rgeipel@t-online.de

² Fachbereich Physik, Universität Regensburg
53053 Regensburg
henning.philipsborn@physik.uni-regensburg.de

Kurzfassung

Das Philion-Experimentier-Set ist eine Zusammenstellung von Gerätschaften, Quellen und Präparaten zur Durchführung grundlegender Versuche der Kernphysik und der Radioaktivität. Die radioaktiven Quellen im Philion-Experimentier-Set liegen weit unter der Freigrenze der Strahlenschutzverordnung, sie sind anzeige- und genehmigungsfrei und können auch von Schülerinnen und Schülern ohne Gefahr in Versuchen benutzt werden. Für das Philion-Experimentier-Set ist kein Strahlenschutz-Fachkunde-Nachweis erforderlich. Mit ihm ist es nicht nur möglich, die bisher an vielen Schulen aufgrund der Abneigung gegen Strahlerstifte fehlenden, didaktisch wichtigen Experimente zur Kernphysik durchzuführen, es vermittelt auch die Kunst und das Verständnis für das Experimentieren mit einfachsten Mitteln. Das Philion-Experimentier-Set ist bei den Autoren erhältlich, Preise auf Anfrage.

1. Das Messinstrument – ein Endfenster-Zählrohr

Das Messinstrument ist nicht im Set enthalten. Es wird ein Geiger-Müller-Endfenster-Zählrohr mit einem großen Durchmesser empfohlen, das für Alpha-, Beta- und Gammastrahlung empfindlich ist. Die Autoren verwenden das Gerät „Inspector“ mit einem Endfensterzählrohr mit einem Durchmesser von 45 mm und einer Einstellung für die Zählrate pro Minute in Schritten von 1 min und 10 min. Einstellungen für die Dosisleistung sind vorhanden, für die schulischen Experimente aber nicht von Bedeutung, denn sie müssen genau beurteilt werden. Die Größe [$\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$] ist eine Rechen- und keine Messgröße, die unter anderem von der Gasfüllung des Zählrohrs, vom gemessenen Nuklid, der Energie der gemessenen Strahlung und von anderen Parametern abhängt, insgesamt also von einem Kalibrierfaktor.

In den Experimenten wird jeweils die Zählrate für verschiedene Messzeiten erfasst. Die Zählrate gibt die Zahl von Ereignissen an, die im Zählrohr stattfinden. Sie ist streng zu unterscheiden von der Zerfallsrate (Aktivität). Beide haben wohl die gleiche Einheit 1 min^{-1} bzw. 1 s^{-1} , aber Zählrate und Zerfallsrate dürfen nicht gleichgesetzt werden, was leider aus Unwissenheit oft geschieht. Messgeräte mit Angabe der Einheit Becquerel sind somit schlicht falsch und ungeeignet. Für die Experimente im Philion-Experimentier-Set werden deshalb Anleitungen gegeben, wie die Messungen von Radon und seinen Folgeprodukten zu beurteilen sind.

Grundlegende Versuche zur Kenntnis des Messgeräts sind zunächst Messungen des Nulleffekts an verschiedenen Orten und zu deren statistischer Verteilung. Über

die Standardmessunsicherheit und die daraus resultierende Beurteilung der Signifikanz von Messungen erhält man auch aussagekräftige experimentelle Bestätigungen für Grundkenntnisse aus der Stochastik des Mathematik-Unterrichts.



Abb. 1: Das Geiger-Müller-Endfenster-Zählrohr Inspector

Hilfreich ist ein Anschluss des Inspectors an einen Computer oder ein Messinterface, um frei wählbare Tor- und Messzeiten zu ermöglichen und die Messergebnisse auf einen Datenträger für eine Auswertung, z.B. in einem Tabellenkalkulationsprogramm, abzuspeichern. Damit sind auch Messungen über mehrere Tage möglich. Ein derartiges Interfacekabel existierte auf der Basis von MS-DOS, ist aber über Pentium-Computer, XP oder Vista nicht mehr nutzbar. Ein entsprechendes

universelles Interface für neue Computer ist in der Entwicklung.

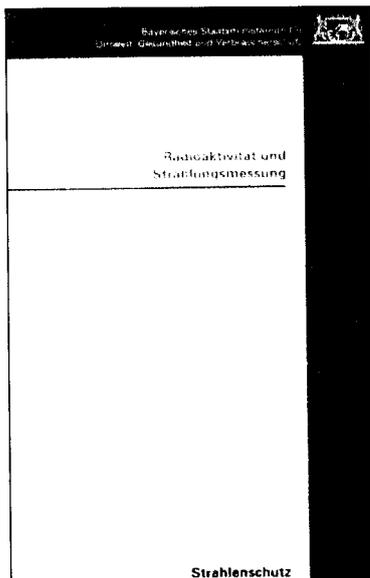


Abb. 2: Die „blaue Schrift“
„Radioaktivität und Strahlungsmessung“

Zur Vertiefung der Kenntnisse und für weitergehendes Hintergrundwissen gibt es die Schrift „Radioaktivität und Strahlungsmessung“ der beiden Autoren Henning und Geipel, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit und dort kostenlos erhältlich. In den Anleitungen zum Philion-Experimentier-Set finden sich Querverweise zu dieser Schrift.

Messinstrumente sind in Zeiten einer fortschreitenden Digitalisierung mit hohen Produktionsraten leicht verfügbar und meist kostengünstig. So wie die Messung mit einem Fieberthermometer aber noch nicht die Qualifikation für einen Arzt ausmacht, bedeutet eine Messung mit einem Geiger-Müller-Zählrohr noch nicht gesicherte Kenntnisse über Radioaktivität und ihre Eigenschaften. Gerade hier wird deutlich, dass zu einem Experiment drei Schritte gehören:

1. Auswahl, Sammeln und Aufbereiten der Proben,
 2. Messung der Proben mit einem geeigneten Instrument unter Berücksichtigung der Geometrie von Probe und Instrument sowie von weiteren Faktoren und
 3. Beurteilung der Messergebnisse.
- Das nach didaktischen Gesichtspunkten aufgebaute Philion-Experimentier-Set berücksichtigt diese „Trinität“.

2. Die Strahlenquelle Uranglasknopf – höhere Zählraten, Abstand und Abschirmung

Im Set ist ein Uranglasknopf mit der zugehörigen Halterung enthalten, dazu passend die entsprechende Halterung für das Messgerät, so dass der Knopf in der Höhe direkt vor dem Endfenster liegt. Der Knopf aus chryso- soprogrünem Uranglas ist mit einem gammaspektro-

metrischen Aktivitäts-Zertifikat versehen und besitzt etwa 200 Bq U-238. Er liegt damit deutlich unter der Freigrenze von 10 000 Bq für U-238+, erlaubt aber dennoch Messungen höherer Zählraten und ihrer statistischen Streuung. Über ein laminiertes Millimeterpapier können bestimmte Abstände von Knopf und Messgerät eingestellt werden. Damit kann die Zählrate in Abhängigkeit vom Abstand gemessen werden. Verschiedene Absorberplatten ermöglichen nicht nur Abschirmversuche, sondern auch Differenzmessungen zur Ermittlung der Strahlungsarten.

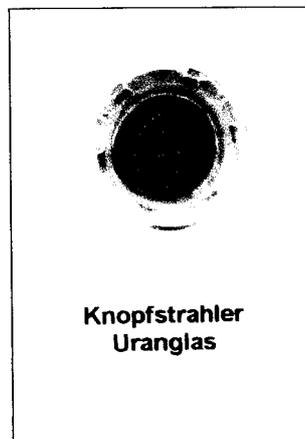


Abb. 3: Knopfstrahler

3. Die Hilfsinstrumente Probenplatten mit Kleb- folie – Erstellen eigener radioaktiver Quellen

Eine der vielfältigen Möglichkeiten des Philion-Experimentier-Sets besteht darin, aus der natürlichen Umweltradioaktivität ungefährliche Quellen selbst herzustellen und diese dann zu untersuchen. Dazu sind Probenplatten aus Polystyrol enthalten, die die Größe des Inspectors mit einer Öffnung passend zum Endfenster aufweisen. Die Platten sind 2 oder 4 mm dick. Von beiden Seiten kann man radongasdichte, durchsichtige Folie gegen die kreisrunde Öffnung kleben und zwischen die Folien bestimmte Mengen Kaliumchlorid zur Kalibrierung oder körnige Aktivkohle, die mit Rn-222 beladen wurde, einbetten. Geometrie des Endfensters und der Probe sind aufeinander abgestimmt.

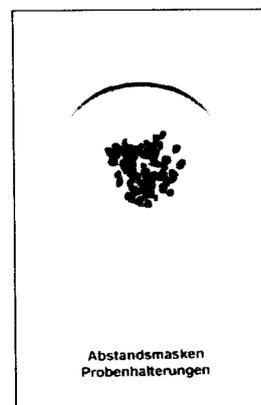


Abb. 4: Probenhalterung mit beladener körniger Aktivkohle eingebettet in radongasdichte Folien

4. Die Hilfsinstrumente Philion-Platten mit Reibholz – Sammeln mithilfe von Reibungselektrizität

Eine Philion-Platte mit 7 cm x 13 cm x 1 mm (10 Stück enthalten) wird nach Messung der Nullrate durch Reibung mit einem Buchenholz auf $-20\,000\text{ V}$ (ungefährlich) aufgeladen und zur Exposition auf 4 Kunststoffstäbe, die in eine Bodenplatte gesteckt sind, gelegt. Die Platte sammelt aus der Umgebungsluft (Raumluft oder Außenluft) die Radonzerfallsprodukte. Die Zählrate kann in Abhängigkeit von der Expositionszeit bestimmt werden. Mithilfe der Abschirmung durch Papier lassen sich Alpha- und Betastrahler unterscheiden. Damit ist ein einfacher Nachweis der Elementumwandlung möglich. Die Messung des zeitlichen Verlaufs der Zählrate führt zu Aussagen über die Halbwertszeit.

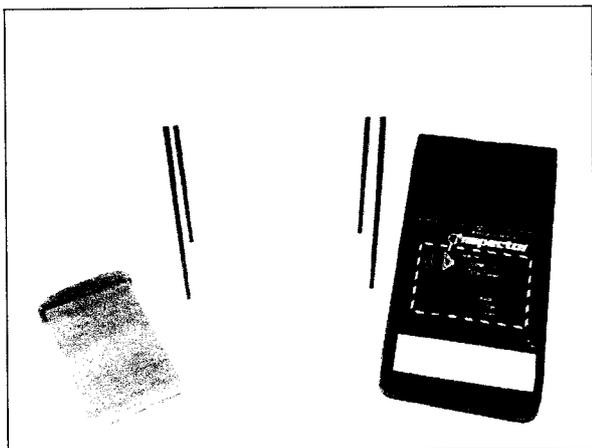


Abb. 5: Philion-Platte auf Ständer mit Reibe Brett

5. Die Radonquelle HB-Erde – Adsorption von Radon an Aktivkohle und Desorption in Alkohol

20 g HB-Erde aus der Oberpfalz befinden sich in einer bruchsicheren PET-Preform. Die Erde ist mit einer Polyethylensiebkappe, die zur Aufnahme von körniger Aktivkohle oder von Kohlekompressen dient, staubsicher verschlossen. Die Quelle ist mit einem gamma-spektrometrischen Aktivitäts-Zertifikat versehen und weist etwa 500 Bq Uran-238-sec im radioaktiven Gleichgewicht auf. Sie liegt damit ebenfalls deutlich unter der Freigrenze von $1\,000\text{ Bq}$ für U-238-sec. Entnimmt man der Preform körnige Aktivkohle nach 1 Stunde, kann man den Aufbau der Radonzerfallsprodukte zeitabhängig in einer Aufbaukurve messen. Körnige Aktivkohle zwischen zwei radongasdichten Folien eingeschlossen dient zur zeitabhängigen Messung des Radonzerfalls und zur Bestimmung der Halbwertszeit von Radon. Gemessen wird dabei nicht die Alphastrahlung von Radon, die die Folie nicht durchdringen kann, sondern die Beta- und Gammastrahlung der Folgeprodukte. Die abklingende Aktivität dieser Strahler wird durch den Zerfall von Rn-222 verursacht. Da kein Radon mehr nachgeliefert wird, ist die abklingende Aktivität dieser Strahler ein Maß für den Zerfall von Radon.



Abb. 6: HB-Erde in PET-Preform

Eine beladene Kohlekomprette zerfällt nicht in Alkohol (wohl aber in Wasser). Das Radon desorbiert; es entsteht radonhaltiger Alkohol, von den Autoren als Radonol bezeichnet. Radonol kann nach Bildung der Folgeprodukte zu Wischtest auf verschiedenen Unterlagen benutzt werden. Es sind Differenzmessungen Untergrund – Wischtest-Läppchen möglich.



Abb. 7: Siebeinsatz mit körniger Aktivkohle in PET-Preform

6. Die Hilfsinstrumente Glasfaserfilter, Wasser und Radonol – Untersuchung von Radonfolgeprodukten

Leitungswasser aus unterschiedlichen geologischen Untergründen, z.B. Jurakalk, Gneis oder Granit, Brunnenwasser, geschmolzener Schnee, Regenwasser nach einer längeren Trockenzeit oder das mithilfe der HB-Erde hergestellte Radonol werden in einem Büchner-Trichter aus Porzellan durch ein Glasfaserfilter filtriert. Das Filter hat in etwa die Größe des Geiger-Müller-Endfensters. Das nasse Filter wird auf einer Heizplatte vollständig getrocknet, da sonst die Selbstabsorption des nassen Filters die Zählrate stark mindert. Im Filter werden Radonfolgeprodukte zu mehr als 95% adsorbiert. Die verschiedenen Zählraten werden zeitabhängig gemessen; es ergeben sich Zerfallskurven.

Für stärker strahlende Filter wird die Zählrate gemessen, anschließend wird das Filter auf das im Set enthaltene Wolfram-Blech gelegt und die Zählrate erneut gemessen.

sen. Die Ausbeute steigt durch Rückstreuung der Elektronen um etwa 20%.

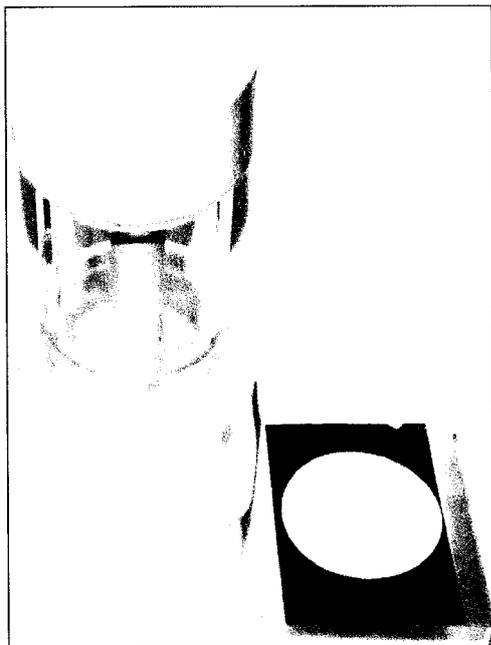


Abb. 8: Büchner-Trichter mit Glasfaserfilter

8. Hilfen und Anregungen – das Experimentier-Handbuch und die Daten-CD

In einem Experimentier-Handbuch finden sich Beschreibungen aller wichtigen Versuche nebst den zugehörigen Tabellenvordrucken zum Messen sowie Verweisen auf die Schrift „Radioaktivität und Strahlungsmessung“. Diese Dateien liegen auf einer Daten-CD auch als Word-File vor und können somit individuellen Gegebenheiten angepasst werden. Zu den beschriebenen Versuchen finden sich noch viele Anregungen zu weitergehenden Experimenten, z.B. das Sammeln von Radonfolgeprodukten aus der Luft mithilfe eines Auto-Staubsaugers und eines Glasfaserfilters.



Abb. 9: Daten-CD

Darüber hinaus finden sich auf der Daten-CD auch Bezugsnachweise für die weitergehenden Versuche und das Verbrauchsmaterial, viele Bilder im JPG-Format, z.B. zu Uranglas, Uranglasuren, Pechblende-Schwarzumdrucken, radioaktiven Mineralien und Quellen, zur Geschichte der Radioaktivität und zu Fundstellen. Folien im Word-Format zu wichtigen Themen können direkt im Unterricht eingesetzt werden. Didaktische Hinweise, z.B. zum Stationenlernen, Datenblätter, Power-Point-Vorträge, Exkursionsberichte und Veröffentlichungen der Autoren liefern Hintergrundwissen und Anregungen für den Unterricht.

9. Der Inhalt des Philion-Experimentier-Sets

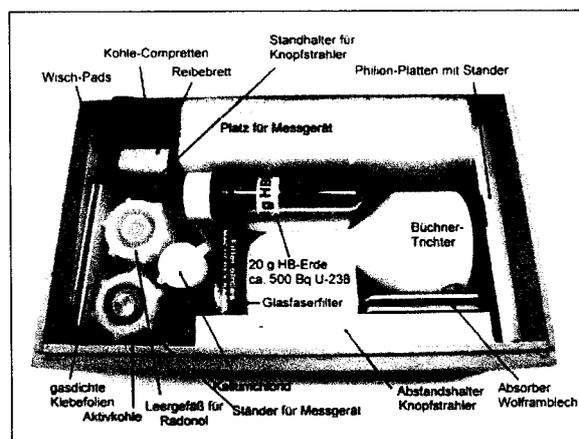


Abb. 10: Philion-Experimentier-Set

- **10 Philion-Platten 13 cm x 7 cm x 1 mm** zum Sammeln von Radon-Folgeprodukten aus der Luft, **Grundplatte** und **4 Standstäbe, Reibebrettchen**
- **Büchner-Trichter Porzellan 55 mm**
- **25 Glasfaserfilter MN85/90** zum Sammeln von Radonfolgeprodukten aus Wasser und Ethanol, **leere Flasche für Radonol**
- **10 Wischtest-Läppchen**
- **20 g HB-Erde** zertifiziert etwa 500 Bq U-238sec, fest umschlossene Rn-222-Quelle etwa 200 Bq
- **Uranglasknopf** zertifiziert etwa 200 Bq U-238, fest umschlossen in Halterung
- **25 g Kaliumchlorid** (etwa 400 Bq K-40)
- **Standhalter für Messgerät Inspector**
- **25 g Aktivkohle körnig** (Rn-222-Speicher)
- **10 Kohlekompretten für Radonol**
- **25 Stück gasdichte Klebfolie 8 cm x 8 cm**
- **Nagel zum Abheben der Folienrückseite**
- **2 Proben-/Abstandsmasken 2 mm**

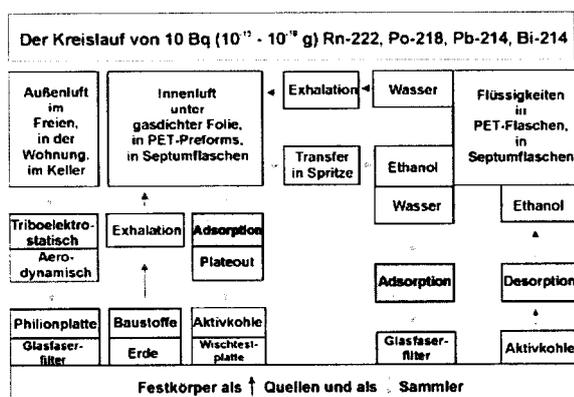
- **2 Proben-/Abstandsmasken 4 mm**
- **Wolframblech 0,1 mm**
zur Rückstreuung von Betastrahlung
- **Aluminium-Absorber 1 mm**
- **Bleigummi Gleichwert 1 mm**

Verbrauchsmaterial kann aus den üblichen Quellen nachbestellt werden, Hinweise liegen bei. Weitere Philion-Platten zur Arbeit in Gruppen können leicht selbst hergestellt werden.

10. Zusammenfassung

Das Philion-Experimentier-Set bietet ungefährliche Quellen weit unter der Freigrenze und leicht einsetzbare Hilfsinstrumente zur Durchführung der wichtigsten grundlegenden Experimente in der Kernphysik/Radioaktivität. Es ist in der Praxis erprobt und auf einen effizienten Unterricht sowohl zur Demonstration als auch zur Arbeit in Schülergruppen abgestimmt. Viele Anregungen zu weitergehenden Versuchen lassen vielfältige Einsatzmöglichkeiten mit weiteren Experimenten offen. Die Herstellung von und die Beschäftigung mit Quellen aus der natürlichen Umweltradioaktivität vermitteln Grundwissen über die Radioaktivität und ihre Eigenschaften und sind Voraussetzung für den sachlichen Umgang mit einem sensiblen Themenbereich. Das Philion-Experimentier-Set ist sowohl im Unterricht weiterführender und beruflicher Schulen bis hin zu Leistungskursen, in den Praktika und Vorlesungen an den Hochschulen als auch in der Strahlenschutz-ausbildung effizient einsetzbar. Radon als seltenstes Element ist dennoch überall vorhanden und liefert anzeige- und genehmigungsfreie Quellen, die keines Strahlenschutz-Fachkunde-Nachweises bedürfen und damit Strahlenschutzbeauftragte an den Schulen überflüssig machen. Das Philion-Experimentier-Set stellt als angenehmen Nebeneffekt somit auch eine nicht unerhebliche Einsparmöglichkeit dar.

Die gesamten Möglichkeiten des Einsatzes von Radon im Unterricht zeigt die Synopse des Radonkreislaufs.



Literatur

- [1] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: Radioaktivität und Strahlungsmessung. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 244 S., 8. Auflage 2006, kostenlos zu beziehen über www.stmugv.bayern.de.
- [2] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: Uranfarben, Urangläser, Uranglasuren – radiometrisch, technisch, historisch. Band 46 der Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern, 2005.
- [3] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: Teaching Radon in the Living Environment – School Experiments with Air, Liquids, and Solids, Posterpräsentation, Workshop Radon in the Living Environment organized by the European Commission, Athen 1999
- [4] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: School Experiments with Radon and Radon Decay Products in Air, Liquids, and Solids, Posterpräsentation, International Conference Radiation Protection: What are the Future Training Needs, Saclay 1999
- [5] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: Neuartige Schul- und Demonstrationsexperimente zur Radioaktivität. Physikalische Blätter 55 (1999) 67-69.
- [6] Geipel, Rudolf/Philipsborn, Henning von: Natürliche Radionuklide in Gebrauchsgegenständen am Beispiel Urangläser und Uranglasuren, Strahlenschutzpraxis, 7. Jahrgang 2001, Heft 1/2001
- [7] Philipsborn, Henning von/Geipel, Rudolf: Radioaktive Gebrauchsgegenstände im Unterricht, Strahlenschutzaspekte bei natürlicher Radioaktivität, 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Dresden 2006, Tagungsband S. 84 – 97.
- [8] Geipel, Rudolf: Schul- und Praktikumsversuche mit natürlicher Radioaktivität, Strahlenschutzpraxis, 13. Jahrgang 2007, Teil 1, Heft 1/2007, Teil 2, Strahlenschutzpraxis 2/2007.