

## Neuartige Schalexperimente zur Radioaktivität

erschieden in  
Physikalische Blätter

Henning von Philipsborn, Rudolf Geipel

Naturwissenschaftliche Vorstellungen von Materie und Energie sowie von Raum und Zeit sind geprägt von Erkenntnissen aus dem Studium der Radioaktivität. Deshalb ist die Radioaktivität von grundlegender Bedeutung und Interesse; sie sollte im Schulunterricht unbedingt mit Experimenten behandelt werden. Leider ist dies immer weniger der Fall. Ein Grund hierfür ist, dass die zum Experimentieren geeigneten, käuflichen Präparate bisher künstliche Radionuklide sind, deren Handhabung heute von vielen Lehrern als problematisch angesehen wird.

Im folgenden wird beschrieben, wie mit ganz einfachen Mitteln und auf einfachste Weise innerhalb einer Schulstunde oder -woche radioaktive Präparate hergestellt werden können, die für grundlegende Experimente geeignet sind. Die Präparate sind völlig unproblematisch, da sie von niedriger Aktivität sind und nur kurzlebige natürliche Radionuklide enthalten.

Die primären Quellen für unsere radioaktiven Präparate sind die Umgebungsluft, Leitungswasser und natürliche Feststoffe wie Granit und Erde, die alle Radon und ihre Zerfallsprodukte bzw. geringe Mengen von Uran und Radium enthalten. Die hergestellten Präparate enthalten nur Rn-222 (Halbwertszeit  $T = 92$  h), Po-218 ( $T = 3$  min), Pb-214 ( $T = 27$  min) und Bi-214 ( $T = 20$  min). Damit sind alle drei Strahlenarten Alpha, Beta und Gamma repräsentiert.

Das Neuartige sind konzentrierende Sammelverfahren für Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte, die zu flächigen Präparaten führen, für welche es seit kurzem einen preiswerten flächigen Strahlungsdetektor gibt. Damit können die wesentlichen Eigenschaften der Radioaktivität wie auch Prinzipien des analytischen Arbeitens experimentell vorgeführt, erklärt und verstanden werden.

Unser erstes Verfahren zur Herstellung eines radioaktiven Präparates mit den gewünschten Eigenschaften beruht auf mehreren Verbesserungen eines alten Sammel- und Meßverfahrens. Schon Rutherford beobachtete, dass ein auf negative Hochspannung gelegter Draht in der Umgebungsluft radioaktiv wird, was er durch Entladung eines Elektrometers nachwies. Durch die Rückstoßenergie beim Alphazerfall von Rn-222 verliert Po-218 Elektronen. Das entstehende, elektrisch positive Po-218-Ion wird vom negativen Draht gesammelt. Als Schulversuch wurde bisher empfohlen, eine nicht ungefährliche Spannungsquelle von  $-5.000$  V zu verwenden, den Draht nach mehreren Stunden mit einem Lappchen abzuwischen und das Lappchen mit einem Geiger-Müller-Zähler (üblicher Fensterdurchmesser 1, maximal 2 cm) zu messen.

Als Sammler verwenden wir ein ca:  $130 \times 70 \times 2$  mm<sup>3</sup> bemessenes Stück Polystyrol, das durch Reiben mit einem Stück Holz mühelos auf gefahrlose  $-20.000$  V gebracht wird. Auf 4 isolierende Stäbchen von 13 cm Länge gelegt ist die Platte wegen der größeren Fläche und der höheren Spannung als der Draht ein viel wirkungsvollerer Sammler [1, 2]. Er erhielt den Namen Philion-Platte (Freund wandernder Teilchen).

Das für flächige Präparate vorzüglich geeignete Meßinstrument für Schulen ist der preiswerte GM-Zähler „Inspector“ der Firma S.E. International Inc., P.O.Box 39, 436 Farm Rd, Summertown 38483, USA, in Deutschland erhältlich von Technisches Büro Schütz, Heinbuchenweg 9, 64668 Rimbach. Das Gerät hat ein alpha-empfindliches Fenster von 45 mm Durchmesser und besitzt damit für flächige Proben eine 20-mal höhere Empfindlichkeit als übliche Endfensterzählrohre von 10 mm Durchmesser. Zudem hat das Gerät variabel einstellbare Messzeiten und einen PC-Anschluss für Wiederholungsmessungen zur Aufnahme von Aufbau- und Abklingkurven sowie für Zählstatistiken.

Der GM-Zähler „Inspector“ hat einen Untergrund von ca. 30 ipm bei ca. 60 nGy/h. Für Proben mit K-40, Pb-214, Bi-214 oder Cs-137, die auf einer Fläche der Größe des Fensters ohne starke Selbstabsorption ausgebreitet sind, ist der Kalibrierfaktor  $k = 6 \text{ Bq/ips}$  für ein Radionuklid entsprechend der Ausbeute  $e = 1/k = 16 \%$  Für Proben mit Radonfolgeprodukten Pb-214 + Bi-214 beträgt  $e = 33 \%$  und der Kalibrierfaktor  $k = 3 \text{ Bq/ips}$ . 0,95 g KCl (entsprechend 0,5 g K mit 15 Bq K-40) können in 2 min mit einer Standardabweichung von 10 % gemessen werden. Gleichermaßen werden 2 Bq Radonfolgeprodukte in 5 min gemessen.

Für die Philion-Platte gibt Tabelle 1 typische Ergebnisse. Die geriebene und damit geladene Platte wurde am offenen Fenster 5 min der Aussenluft exponiert. Der Untergrund war 28 ipm. Messungen von 1 min wurden unmittelbar nach Exposition und 10 min später vorgenommen.  $a + b + c$  steht für die Nettopulsrate bei nicht bedecktem Fenster,  $b + c$  für Pulsrate mit Papier zwischen Probe und Fenster, d.h. nur der Beta- und Gamma-Anteil,  $a$  steht für die Differenz, d.i. der Alpha-Anteil. Man sieht, dass sich ein Präparat mit mehr Alpha- als Beta- und Gamma-Anteil in 10 min in ein Präparat mit mehr Beta- und Gamma- als Alpha-Anteil verwandelt hat. Mit der einzigen Annahme, dass ein Radionuklid entweder ein Alpha- oder ein Betastrahler ist, offenbart der experimentell beobachtete Wechsel der relativen Anteile die Elementumwandlung (Transmutation der Materie), hier von Po-218 zu Pb-214, und dies innerhalb von 10 min mit einfachsten Mitteln.

Tabelle 1: Philion-Platte 5 min der Aussenluft exponiert, Messzeit 1 min

| Netto ipm       | $a + b + c$ | $b + c$ | $a$ | $a / (b + c)$ |
|-----------------|-------------|---------|-----|---------------|
| nach Exposition | 141         | 42      | 99  | 70 / 30       |
| 10 min später   | 96          | 65      | 31  | 32 / 68       |

Nach dem ersten Verfahren, das in wenigen Minuten die wenigen Bq Radon aus Umgebungsluft sammelt, nun ein zweites Verfahren, das in wenigen Minuten die wenigen Bq Radonfolgeprodukte aus Trinkwasser sammelt. Völlig unerwartet war die Beobachtung [3], dass Glasfaserfilter der käuflichen Marke MN 85/90 (Macherey-Nagel, Postfach 101352, 52348 Düren) Radonfolgeprodukte quantitativ adsorbieren, wenn radonhaltiges Wasser filtriert wird. Nach Trocknung auf einer Heizplatte, selbst die einer Kaffeemaschine genügt, ist das Filter mit dem genannten GM-Zähler empfindlich meßbar.

Alle früheren Verfahren zur Messung von Radon bzw. der Folgeprodukte in Wasser sind apparativ und zeitmäßig viel zu aufwendig für Schulen. Die Glasfaserfilterme-

thode ist sehr einfach und empfindlich genug für die 1 - 2 Bq/L, die in nahezu jedem Leitungswasser (Ausnahme bei Talsperren) enthalten sind. Im Trinkwasser Radioaktivität zu finden, ist besonders eindrücklich. Nur 10 min werden zur Filtration von 2 L Wasser in einem Büchnertrichter von 70 mm Durchmesser benötigt. Der Büchnertrichter muss aus Porzellan sein, bei Kunststoff bleibt wegen der Oberflächenspannung zuletzt Wasser stehen. Mit einer Wasserstrahlpumpe ist die Filtration zu rasch für vollständige Adsorption. Das erste Regenwasser nach einigen Tagen der Trockenheit wie auch frischer Schnee enthalten oft 200 Bq/L und mehr Folgeprodukte.

Ein drittes Verfahren sammelt Radon in der Luft. Auch hier verwendete Rutherford als Erster die gute Adsorption von Aktivkohle zur Messung der Radonexhalation von Radiumpräparaten. Aktivkohledosimeter mit 3 Tagen Exposition sind ein Standardverfahren zur Radonmessung in Wohnräumen. Eine wesentliche Verbesserung zur Messung der Radonexhalation von Baustoffen [4] ist die Verringerung des freien Luftvolumens. Hohe Konzentrationen von Radon erhält man auch mit schwachen Radonquellen, wenn diese gasdicht eingeschlossen werden. Für Granitplatten von  $10 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$  eignet sich die Buchschutzfolie „büro aktuell“. Mit dieser wird die Granitplatte umschlossen. In die Hülle wird eine kreisrunde Öffnung von 70 mm Durchmesser geschnitten und wieder mit Klebfolie verschlossen, die innen auf einer Fläche von 50 mm mit gesiebter Aktivkohle Merck Nr 2518, Körnung 0,9 - 1,4 mm, bestreut ist. Im Verlauf von etwa 2 Wochen baut sich eine gut messbare Aktivität von bis zu 30 Bq Radonfolgeprodukten auf.

Als vorzügliche, natürliche und damit unproblematische Radonquelle hat sich Erde von einem Straßenrand in der Oberpfalz mit dem schönen Flurnamen Hundsbühl erwiesen. Zum Einschluss der Erde stehen uns von der Firma Krones, Neutraubling, freundlicherweise die Rohlinge zur Verfügung, aus denen die 1 L Getränke-Einwegflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) geblasen werden. Die 45 mL Röhrchen werden mit 50 g Hundsbühler Erde gefüllt. Durch ein Kunststoffsieb getrennt wird zuoberst gekörnte Aktivkohle zugegeben und mit der Flaschenkappe verschlossen.

Das radioaktive Zerfallsgesetz kann nun im Aufbau und im Abbau von Aktivität quantitativ experimentell vorgeführt werden. Beim Aufbau handelt es sich um die kurzlebigen Folgeprodukte Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, die beginnend mit frischem, reinem Rn-222 nach ca. 2 h im radioaktiven Gleichgewicht mit Rn-222 stehen. Der anschließende Abbau von Aktivität kommt von der 92 h Halbwertszeit von Rn-222. Die Messdaten für die Diagramme 3a und 3b wurden mit dem Gerät Inspector computer-gesteuert aufgenommen und gespeichert.

Das Präparat für diese Messungen wird wie folgt hergestellt. Das Röhrchen mit verschlossen gelagerter Hundsbühler Erde wird rasch geöffnet, Aktivkohle ins Sieb gegeben, verschlossen und die Aktivkohle schon nach 5 - 10 min entnommen und sofort auf einer Fläche der Größe des Fensters des GM-Zählers in die gasdichte Klebfolie verschlossen. Die Aktivkohle adsorbiert nur Rn-222, einen Alphastrahler. Erst die beta- und gammastrahlenden Radionuklide Pb-214 und Bi-214 werden durch die Klebfolie hindurch gemessen.

Radioaktive Flüssigkeit für Wischttests und stärker radioaktive Filter zur Rückstreuung von Elektronen (Betastrahlung) an Wolfram- oder Bleiblech werden durch Kombinati-

on des dritten mit dem zweiten Verfahren hergestellt. Zunächst wird Aktivkohle in Komprettform, wie in der Apotheke erhältlich, durch 1- bis 2-wöchige Exposition im Röhrchen mit Hundsbühler Erde mit ca. 200 Bq Radon beladen. Die Komprette wird dann in eine randvoll mit Ethanol (Spülalkohol) gefüllte Flasche gegeben und verschlossen.

Ethanol ist ein sehr gutes Lösungsmittel für Radon. Der Verteilungskoeffizient für Ethanol zu Luft ist 6, gegenüber 0,25 für Wasser zu Luft. Nach 2 h ist das von der Aktivkohle desorbierte Radon mit seinen im Ethanol frisch gebildeten Folgeprodukte im radioaktiven Gleichgewicht. Erfreulicherweise werden diese auch dann quantitativ am Glasfaserfilter MN 85/90 adsorbiert, wenn die filtrierte Flüssigkeit Ethanol ist [5]. Radonbeladenen Ethanol nennen wir Radonol.

Mit Hundsbühler Erde in einer Septumflasche kann man mit einer 20 mL Spritze bequem 200 Bq Radon entnehmen, das ergibt eine Konzentration von  $10 \text{ MBq/m}^3$ , die in der Raumluft gefährlich wäre, in der Spritze aber unproblematisch ist. Wird hochradonhaltige Luft mit der Spritze in eine zweite Septumflasche mit Ethanol gegeben, hat man ein zweites Verfahren zur Herstellung von Radonol. Verschüttetes Radonol verdunstet rasch und hinterlässt die kurzlebigen Folgeprodukte. Damit lassen sich Wischttests und Dekontaminationsübungen auf verschiedenen Materialien ausführen. Hierzu sind für Schulexperimente keine Castor-Transportbehälter erforderlich.

Handliche Feststoffpräparate erhält man durch Einschluss von radioaktiven Pulver, Sandes oder von flachen Körpern zwischen zwei Klebfolien in der Öffnung einer Pappdiskette. So lassen sich KCl, Schwermineralsand, Uranglimmer, thorierte Gasglühstrümpfe sowie Cs-137-haltiger Tee, Gras, Molke des Jahres 1986 und vieles mehr kontaminationsgeschützt handhaben und reproduzierbar messen. Schwermineralsand erhält man von Goldwäschern, die an Bächen des Bayerischen Waldes tätig sind; er enthält thoriumhaltigen Monazit (Cerphosphat) und uranhaltigen Zirkon (Zirkoniumsilikat).

Mit den beschriebenen Sammel- und Meßverfahren werden auch Prinzipien und Probleme analytischen Arbeitens im Allgemeinen für den Schüler beispielhaft erkennbar. Zu einer guten Messung gehört nicht nur ein gutes Messgerät, sondern auch eine gut vorbereitete Messprobe. Oft ist es einfacher, das Messgut aufzukonzentrieren, als das Messgerät zu verbessern. Und zur gegebenen Messprobe gehört das passende Messgerät. Beide müssen wie Hand und Handschuh zusammenpassen. Dann sind Radioaktivitätsmessungen höchst empfindlich. Die wenigen Bq Radon und Radonfolgeprodukte, die in Luft, Wasser und aus Feststoffen allgegenwärtig messbar sind, entsprechen gewichtsmäßig Femtogramm ( $10^{-15} \text{ g}$ ) bis Attogramm ( $10^{-18}$ ). Bei einem Strahlenmessgerät mit akustischer Anzeige, das knattert, muss man Probe und Messgerät genau kennen, um zu wissen, ob es gefährlich oder harmlos ist. Deshalb bieten Experimente zur Radioaktivität in den Schule auch Gelegenheit zu Fragen des Risikos im speziellen und im allgemeinen.

Die beschriebenen Verfahren zum Sammeln von Radon und Radonfolgeprodukten aus Luft, Flüssigkeiten und aus Feststoffen und der Transfer sind in der Figur „Kreislauf von 10 Bq (fg - ag) Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214“ synoptisch dargestellt. Figur 2 zeigt die einzelnen Hilfsmittel, die wir in dem „Pilion Experimentierkoffer“ zusammengestellt haben. Fast alle Hilfsmittel sind frei verfügbar oder leicht zu

beschaffen. Als Begleittext zu den Experimenten nennen wir die Schrift „Radioaktivität und Strahlungsmessung“ [6], die vom Herausgeber kostenlos erhältlich ist.

## Literatur

- [1] H. von Philipsborn, Offenlegungsschrift DE 195 03 173 A1 vom 1.2.1995.
- [2] H. von Philipsborn, Chr. Hoffmann, Messung von Radonfolgeprodukten - ein einfaches Verfahren, Strahlenschutzpraxis 4/95, 56-58.
- [3] H. von Philipsborn, Efficient adsorption of waterborne short-lived radon decay products by glass fiber filters, Health Physics 72, 277-281, 1997.
- [4] G. Just, H. von Philipsborn, Radonexhalation aus Bau- und Rohstoffen: in situ Einschätzung und Analytik im Labor. Strahlenschutzpraxis 4/96, 78-82.
- [5] I. Winter, H. von Philipsborn, Ethanol als Radonspeicher: Anwendungen in der Messtechnik, Strahlenschutzpraxis 4/97, 68-70.
- [6] H. von Philipsborn, Strahlenschutz - Radioaktivität und Strahlungsmessung, 218 S., 6. Aufl. Bayerisches Staatsministerium für Ländersentwicklung und Umweltfragen, München 1998.

## Abbildungen

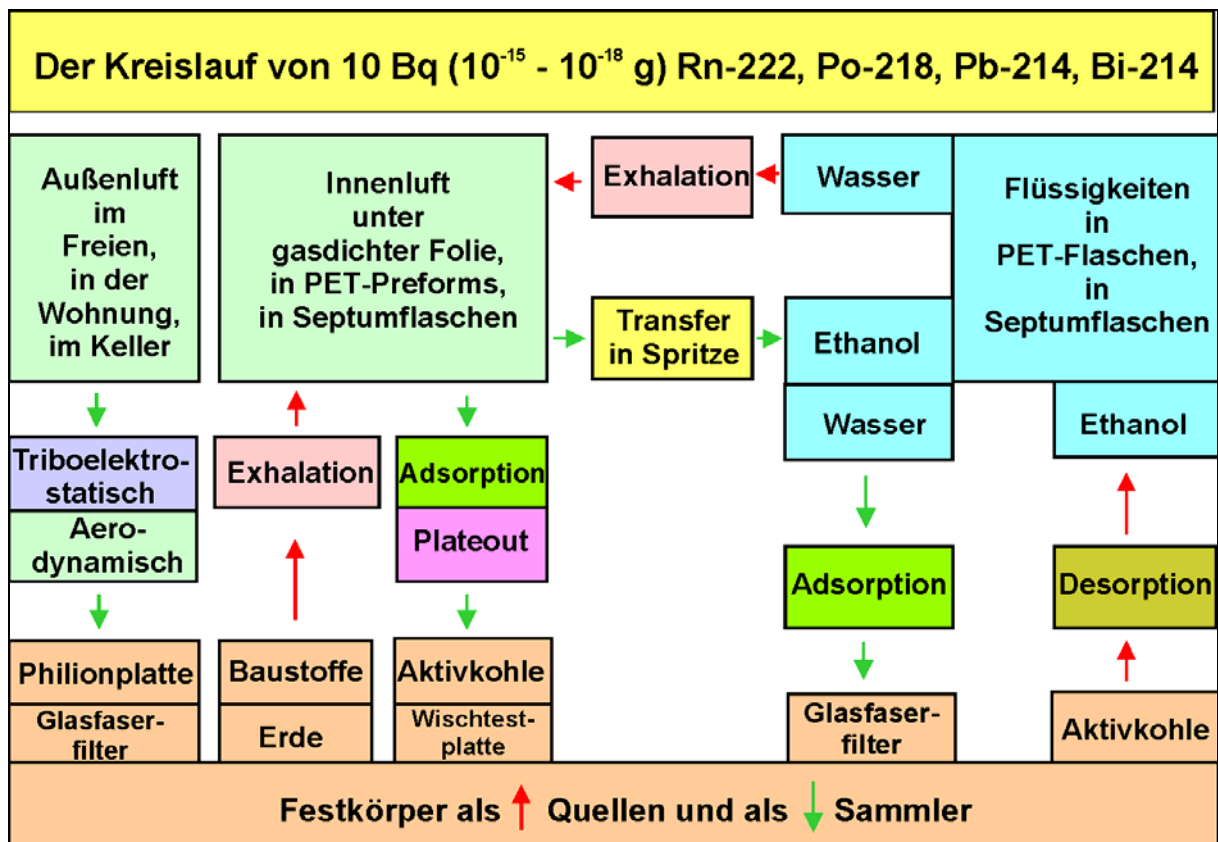


Abb. 1: Synopse des Kreislaufes von wenigen Bq (fg - ag) Radon und Radonfolgeprodukten mit den neuartigen Methoden des konzentrierenden Sammelns, Speicherns und des Transfers zwischen Luft, Flüssigkeiten und Feststoffen.

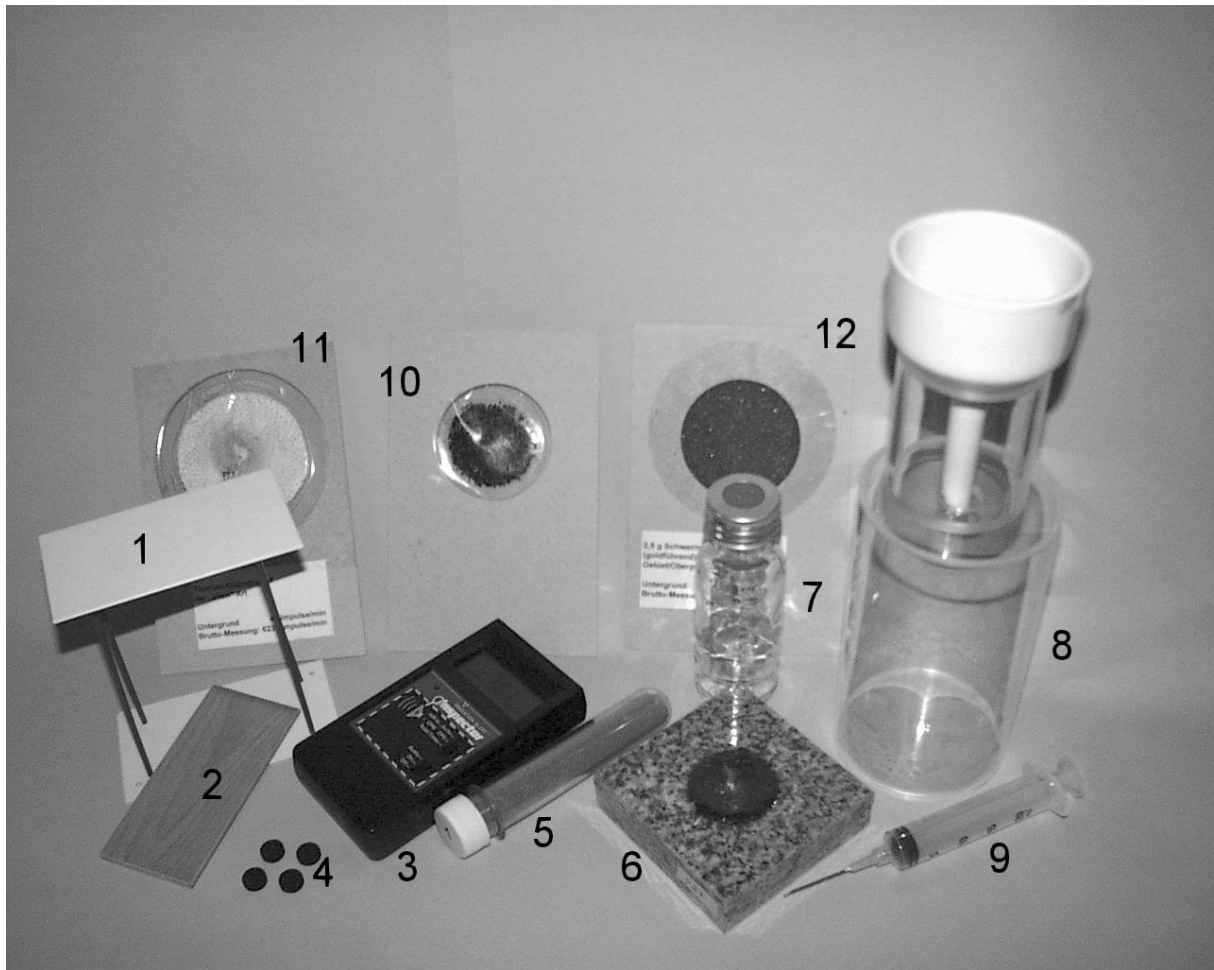


Abb. 2: Hilfsmittels für die beschriebenen Experimente. 1 Philion Platte aus Polystyrol  $130 \times 70 \times 2 \text{ mm}^2$  auf 4 isolierenden Stäbchen. 2 Holzbrettchen zum Reiben und damit Aufladen der Polystyrolplatte. 3 Geiger-Müller Zähler „Inspector“. 4 Aktivkohle Kompressen. 5 Röhrchen, Rohling zum Blasen von 1 L PET Einwegflaschen, 45 mL Volumen mit 50 g Hundsbühler Erde. 6 Granitplatte  $10 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$ , in gasdichter Klebfolie mit „Aktivkohle Pflaster“. Septumflasche zur Herstellung von Radonol. 8 Zylindrischer (Büchner) Trichtert, 70 mm Durchmesser, aus Porzellan mit Glasfaserfilter auf Auffanggefäß. 9 Kleine Spritze, 20 mL. 10. 11 und 12 Körnige Aktivkohle, thorierter Glühstrumpf und Schwermineralsand zwischen Klebfolie in Pappdisketten.



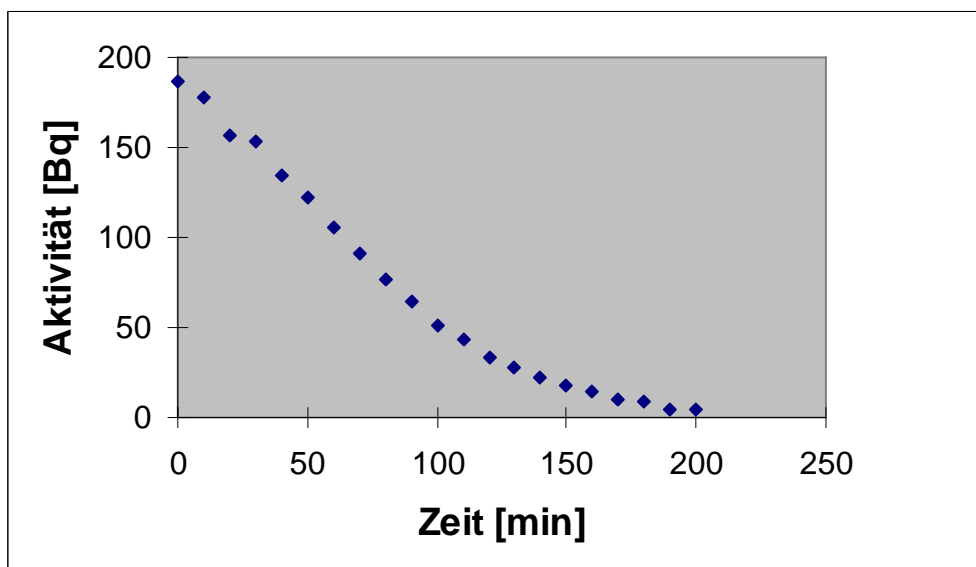
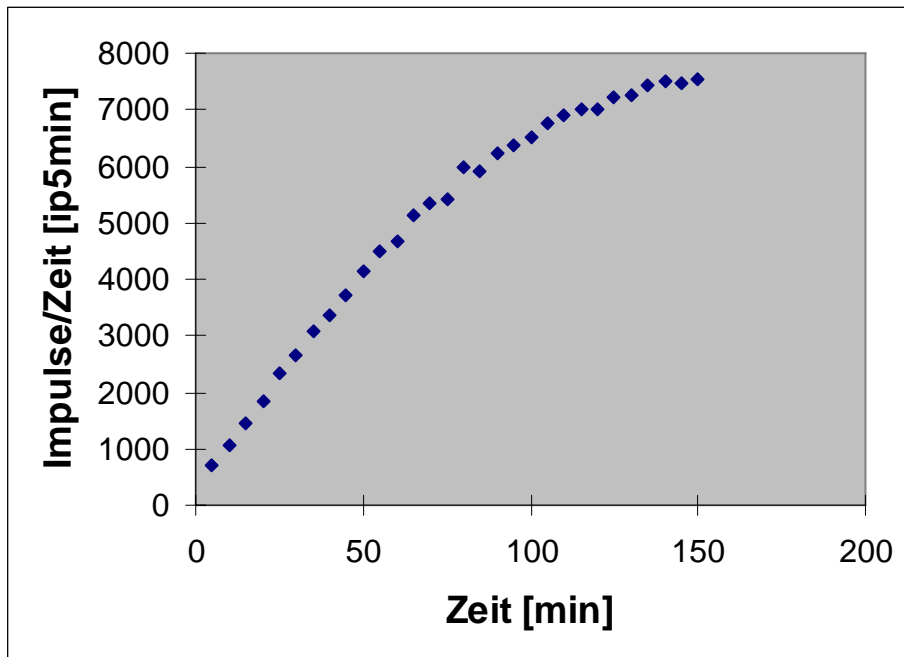


Abb. 3a: Aufbaukurve von Radonfolgeprodukten. 3b Abklingkurve von Radon. Herstellung des Präparates siehe Text. Die beiden Kurven wurden zuerst von Rutherford beschrieben und - um  $90^\circ$  gedreht - von ihm als sein Wappen als Lord gewählt. Dann sehen sie - gut heraldisch - wie gekreuzte Klingen aus.