

Radium-Nachweis in radioaktiven Proben durch Messung der Halbwertszeit des exhalieren Radons

Bernd Laquai, 6.8.2015

Wenn eine Probe eine gewisse Radioaktivität zeigt, dann kann man allein mit dem Geigerzähler oder einem anderen Strahlungsdetektor selten erkennen, welches Radionuklid für die Aktivität verantwortlich ist. Im Zusammenhang mit Lebensmitteln ist das aber oft von großer Bedeutung, da die biologische Halbwertszeit d.h. die Zeit, die sich ein Radionuklid im Körper aufhält, neben der radiologischen Halbwertszeit ebenfalls sehr entscheidend für die Beurteilung der biologischen Gefährlichkeit ist. Die biologischen Halbwertszeiten sind dabei sehr unterschiedlich von Radionuklid zu Radionuklid. Radium, welches in der Zerfallsreihe des Uran auftaucht ist deutlich besser wasserlöslich als Uran und wird von Pflanzen leicht aufgenommen. Wenn es dann über die Früchte der Pflanzen in die Nahrung gelangt und über die Nahrung aufgenommen wird, dann wird es vom Körper wegen der ähnlichen Elektronenhülle bei biologischen Stoffwechselfvorgängen mit dem Calcium verwechselt und daher in die Knochen eingebaut. Daher verbleibt es deutlich länger im Körper als manch anderes Radionuklid. Von daher ist der Radiumgehalt von Lebensmitteln oder vom Trinkwasser oft von besonderem Interesse.

Aber auch was Baumaterial anbelangt ist das Radium bedeutsam. Natürliche Baustoffe, die natürliches Uran enthalten (z.B. einige Granitsorten) enthalten wegen des Uran- Zerfalls auch das Radium, welches weiter zu gasförmigem Radon zerfällt und damit aus dem Baustoff in die Raumluft exhalieren und zu erhöhter Strahlenexposition führt. Oft wird aber bei technischen Herstellungsprozessen das natürliche Gleichgewicht des Uran mit seinen Folgeprodukten verändert. Das gilt auch besonders für das Radium. Dabei kann es auch zur Anreicherung von Radium in Baustoffen kommen. Ein gutes Beispiel ist der Phosphorgips, der bei der Düngemittelherstellung entsteht und der gelegentlich auch Baustoffen beigemischt wird. Da Radon das unmittelbare Folgeprodukt des Radiums ist, wird ein Radium-haltiger Baustoff selbst dann noch deutliche Mengen Radon exhalieren, wenn kein Uran mehr in diesem Baustoff enthalten ist. Deswegen ist der Radiumgehalt auch das Entscheidende, wenn es um das Radon-Exhalationspotential von Baustoffen geht.

Der Radiumgehalt ist aber für sich gesehen schwer zu bestimmen, da Radium ein Alphastrahler ist, der nur wenig begleitende Gamma-Strahlung abgibt. Die Messung des Radons bzw. seiner Folgeprodukte ist dagegen deutlich einfacher. Dabei kann die Exhalation des Gases aus der Probe, und die Eigenschaft der Physisorption an Aktivkohle zusammen mit der typischen Halbwertszeit von 3.82 Tagen als einfaches Unterscheidungsmerkmal zu anderen Radionukliden verwendet werden. Die Messung der Halbwertszeit lässt sich als relativ eindeutiger Radon-Nachweis auch mit einem einfachen Strahlungsmessgerät durchführen. Da Radium eine sehr viel längere Halbwertszeit von 1600 Jahren hat, kann man davon ausgehen, dass das Radon in einem gewissen Gleichgewicht mit dem Radium steht und dass bei porösen Proben wie Düngemitteln die Radonaktivitätskonzentration damit auch quantitativ die Radiumkonzentration grob widerspiegelt.

Wenn radioaktives Radon-Gas messtechnisch nachgewiesen wird, dann wird in der Regel nicht die Aktivität des Radon selbst bestimmt, sondern auch wieder die seiner Zerfallsprodukte (die sogenannten „Radontöchter“). Der Hintergrund ist, dass Radon Rn-222 ebenfalls ein Alphastrahler aus der Uran-Zerfallsreihe ist, der über etliche Folgeprodukte weiter zerfällt, bis daraus schließlich das stabile Bleiisotop Pb-206 als Ende der Zerfallskette entsteht.

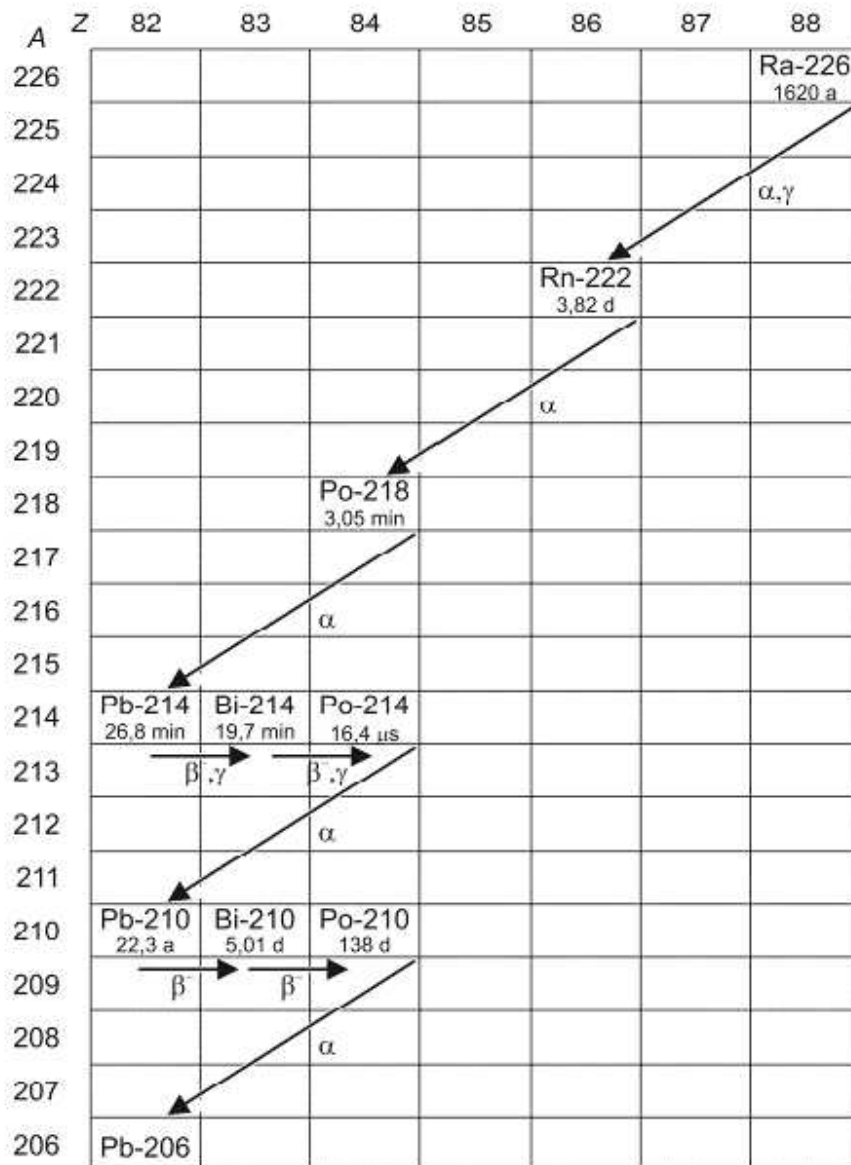


Abb. 1: Ausschnitt aus der Zerfallsreihe des Uran

Nun sind die beiden Folgeprodukte Blei-214 und Bismut-214 Betastrahler, bei deren Betazerfall auch eine deutliche Gammastrahlung entsteht. Außerdem ist die Halbwertszeit des direkten Rn-222 Folgeprodukts Polonium-218 (Alphastrahler) sowie die Halbwertszeiten der darauffolgenden Betastrahlenden Folgeprodukte Pb-214 und Bi-214 deutlich kürzer als die des Radon. Das Radon hat eine Halbwertszeit von 3.82 Tagen und die der Folgeprodukte liegt im Minutenbereich. Daher zerfallen diese Folgeprodukte relativ schnell, nachdem ein Radonkern zerfallen ist. Die typischen Beta- und Gammastrahlenden Folgeprodukte Pb-214 und Bi-214 des Radon stehen also ebenfalls im sogenannten säkularen Gleichgewicht mit dem Mutternuklid Radon und haben daher unter Idealbedingungen auch dieselbe spezifische Aktivität wie das Radon selbst. Die Beta- und Gammastrahlung dieser beiden Folgeprodukte Pb-214 und Bi-214 lässt sich dann bedeutend leichter und günstiger messen als die

Alphastrahlung des Radon. Wenn die ideale Gleichgewichtsbedingung erfüllt wäre, dann könnte man daher aus der Aktivität dieser beiden Folgeprodukte auch ganz einfach wieder auf die Radonaktivität schließen. Das ist aber nicht immer der Fall, besonders wegen des gasförmigen Aggregatzustands des Radon und muss daher noch gesondert betrachtet werden. Die aus der Messung der Folgeprodukte bestimmte spezifische Radonaktivitätskonzentration mit der Einheit Bq/m^3 , nennt sich daher nur Equivalent Equilibrium Volume Activity, (EEVA).

Dass dieses Gleichgewicht nicht immer ideal gegeben ist, liegt daran, dass das Radon und seine Folgeprodukte beim Zerfall ihrer Kerne in der Luft durch den Rückstoß ihre Elektronen verlieren und sich damit positiv aufladen. Die positive Ladung bewirkt, dass sich die so gebildeten Ionen an Staubpartikel (Aerosole) anheften aber auch an elektrostatisch geladene Kunststoff-Flächen (z.B. Möbelfurniere und Farb-Lacke) ablagern („Plate-Out“ Effekt). Dieser Vorgang ist noch zusätzlich von der Luftfeuchte abhängig. Damit werden nicht alle Tochterkerne bei einer Messung richtig erfasst und das für die Bestimmung der Radon vorausgesetzte Gleichgewicht ist verändert. Man korrigiert das nun durch einen sogenannten Gleichgewichtsfaktor f , der besagt, wieviel Folgekerne für die messtechnische Erfassung noch zur Verfügung stehen. Für diesen Faktor f wird oft im groben Mittel ein Wert von 0,4 angenommen. Je nach Situation (Aerosol-Dichte, Luftfeuchte, Plate-Out) variiert dieser Wert in der Realität aber teilweise erheblich.

Eine beliebter Nachweis für die Radon-Exhalation aus Radium-haltigen Proben geschieht nun dadurch, dass man die Probe in ein möglichst kleines Gefäß gibt und etwas Aktivkohle (Kohlekomprette, Aktivkohlepulver) hinzufügt, an der man anschließend die Aktivität der Radontöchter mit einem Beta- bzw. Gamma-empfindlichen Messgerät vermisst. Man hat dabei aber unter Umständen ein zweites Gleichgewichts-Problem. Das Radon wird durch Physisorption an die Oberfläche der Aktivkohle gebunden und zerfällt dort in seine Folgeprodukte. Misst man an der offenen Aktivkohle, dann besteht bei Raumtemperatur immer ein Gleichgewicht zwischen Adsorption und Desorption. Deswegen konkurriert mit dem Radon-Zerfall auch ein gewisser Desorptionsmechanismus, welcher vor allem von der Temperatur abhängt und welcher dafür sorgt, dass mit der Zeit immer weniger Radonkerne für die Messung zur Verfügung stehen. D.h. die Aktivitätsabnahme entspricht nicht mehr der normalen Zerfallskonstante des Radon, da immer weniger Folgeprodukte im Gleichgewicht mit den noch nicht desorbierten Radonkernen stehen. Man kann also bei einer Messung an der offenen Aktivkohle nach einer „Beladung“ mit Radon nur Halbwertszeiten im Minutenbereich feststellen.

Henning von Philipsborn vom Radiometrischen Seminar der Universität Regensburg hat nun einen Trick entwickelt, der ursprünglich auf eine Methode von G. Just vom Forschungsbüro Radon in Großpösna zurückgeht, um diesen Effekt zu verhindern. Gibt man mit Radon beladene Aktivkohle in ein Gefäß mit möglichst wenig Restluft-Volumen und verschließt dieses mit Radon-dichter Klebefolie, dann bleibt auch das desorbierende Radon in diesem Messvolumen erhalten und trägt weiter zum Zerfall in seine Folge-Produkte bei. Diese können dann vollständig gemessen werden und stehen dann auch weitestgehend im Gleichgewicht mit dem eingeschlossenen Radon. Durch das minimale Restluft-Volumen verdünnt sich die Radonkonzentration nur sehr wenig und bildet daher die bei der Beladung vorhandene Radon-Aktivitätskonzentration sehr gut nach. Misst man unter diesen Bedingungen die Aktivität der radondicht eingeschlossenen Aktivkohle, kann man die Existenz des Radons und das Bestehen des Gleichgewichts zwischen dem Radon und den messbaren Töchtern ganz deutlich an der Halbwertszeit von 3.28Tagen erkennen, die auf diese Weise ziemlich genau aus der Messung bestimmt werden kann.

Dieser Trick wurde hier noch ein wenig weiterentwickelt und an die sehr praktische „Darreichungsform“ der Aktivkohle in Form von Kohletabletten (Kohle-Komprettten) angepasst. Zum Aufbau einer einfachen

Messeinrichtung geht man am einfachsten von der Größe der Kohle-Komprettten (Hersteller z.B. Firma Merck) aus. Der Durchmesser einer solchen Tablette beträgt 13mm und die Dicke 4mm. Nun bohrt man mit einem Holzbohrer in eine Kunststoffplatte mit möglichst glatter Oberfläche ein Loch mit 14mm Durchmesser und exakt 4mm Tiefe. In dieses Loch kann man dann eine Tablette mit minimalem Restluft-Volumen und mit der Oberfläche bündig in dem Loch versenken. Die Platte sollte dazu mindestens 10mm Dicke besitzen, damit die Zentrierspitze des Holzbohrers die Platte sicher nicht durchdringt. Breite und Länge des Kunststoffstücks sollten jeweils mindestens etwa 50mm betragen. Damit lässt sich eine radondichte Folie glatt und blasenfrei von der Mitte beginnend über das mit der Tablette ausgefüllte Loch so kleben, dass die Folie das Loch 15mm in jeder Richtung überlappt und eine dichte Klebefläche in allen Richtungen erzeugt. Auf diese Weise ist die Tablette nun gasdicht mit minimalem Restluft-Volumen eingeschlossen und kann bequem durch die Folie auf Beta- und Gammastrahlung des Pb-214 und Bi-214 hin gemessen werden. Als radondichte Folie eignet sich eine selbstklebende Buchschutzfolie z.B. von der Firma Hawe (www.hawe-folien.ch).

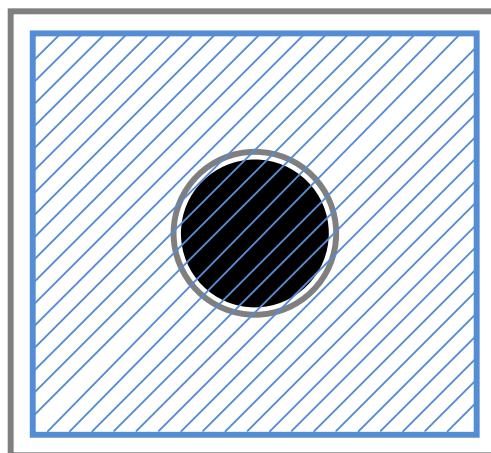
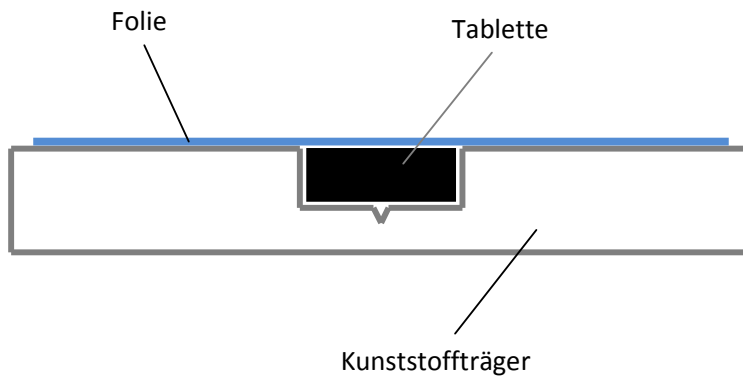


Abb. 2a,b: Schnitt und Aufsicht der Trägerplatte für die Kohletablette

Als einfache und im Versuch völlig ungefährliche und interessante Probe, die auch in etwa die minimale Nachweisgrenze zeigt, eignet sich ein Phosphat-Düngemittel, das von Bauern jedes Jahr in großem Stil auf die Felder aufgebracht wird. Zum Beladen mit Radon füllt man ein 500ml Glas mit dichtem Twist-Off Deckel fast völlig mit einem solchen Düngemittel. Auf Grund seines hohen Radiumgehalts ist das Superphosphat 18% der Firma ICL besonders geeignet. Bevor man den Deckel dicht verschließt, legt man ein kleines Stück Blatt Papier auf die Düngemitteloberfläche und legt eine Kohletablette darauf. Es baut sich nun in dem Glas eine Radonaktivitätskonzentration auf, die nach etwa 3 Halbwertszeiten des Radon (etwa 12 Tage) gegen einen Sättigungswert strebt. Dadurch, dass das Glas fast randvoll gefüllt ist, wird der erreichte Wert auch fast maximal.

Zur Messung bereitet man das Messgerät auf eine Datenaufzeichnung vor, wobei die Messzeit (Mittelungszeit) gut auf eine Stunde gesetzt werden kann, damit auch das statistische Rauschen in Grenzen bleibt. Man sollte ein Messgerät benutzen, das für Beta/Gammastrahlung des Pb-214 und des Bi-214 maximal empfindlich ist. Das bedeutet beispielsweise beim Gammascout, dass alle Blenden vor dem Endfenster weggeklappt werden sollten. Zunächst sollte das Messgerät einige Stunden die Nullrate messen, da diese später von den eigentlichen Messdaten abgezogen werden muss um die rein Radonbedingten Zählratenwerte zu erhalten.

Nach der Beladezeit bereitet man ein Stück Klebefolie vor, entfernt die Schutzfolie und reinigt die Oberfläche des Kunststoffträgers mit Benzin, damit der Klebstoff anschließend gut haftet. Dann nimmt man die Tablette aus dem Glas, legt sie in die Öffnung des Trägers und verschließt sie möglichst schnell mit der Klebefolie. Dann legt man den Träger auf die Fensteröffnung des Messgeräts und sichert ihn gegen Verrutschen mit einem Tesafilm. Die Messzeit beträgt natürlich auch wieder 3 Halbwertszeiten des Radons, sofern man annähernd den völligen Zerfall beobachten will. Allerdings ist das für den Radiumnachweis nicht unbedingt notwendig, vor allem wenn man Batterien sparen will. Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung kann man nämlich auch dann eine ideale Zerfallskurve an Daten, die nur den Beginn des Zerfalls zeigen anpassen und aus der Güte dieser Anpassung schließen, ob sich die ideale Zerfallskurve für 3.28 Tage und die gemessenen Daten von nur einer Halbwertszeit oder sogar weniger mit einer gewissen Güte decken.

Abb. 6 zeigt die Auswertung einer solchen Messung mit dem Inspector. Man erkennt dass die Messwerte nach dem Auflegen der Probe zunächst einen Peak bilden, der rasch abklingt um dann in den erwarteten exponentiellen Verlauf zu münden. Die Peak am Anfang ist dadurch bedingt, dass sich zunächst ein neues Gleichgewicht einstellen muss, da ja die Verhältnisse im Glas beim Beladen mit Radon und später in der Messanordnung geringfügig unterschiedlich sind. D.h. es muss sich eine neue Gleichgewichtssituation einstellen, was sich durch diesen Peak ausdrückt. Danach ergibt sich der exponentielle Verlauf mit der erwarteten Halbwertszeit von 3.82 Tagen, was man durch Vergleich mit der „gefitteten“ idealen Zerfallskurve in die Messdaten sehen kann. Da die Messdaten exponentiell abnehmen, muss das Logarithmieren zu einer linearen Abnahme führen. Für diese Ausgleichsrechnung (Fit) kann man daher eine lineare Regression in die logarithmierten Messdaten benutzen.



Abb. 3: Ein mit 500ml Superphosphat Düngemittel gefülltes Glas mit Kohletablette

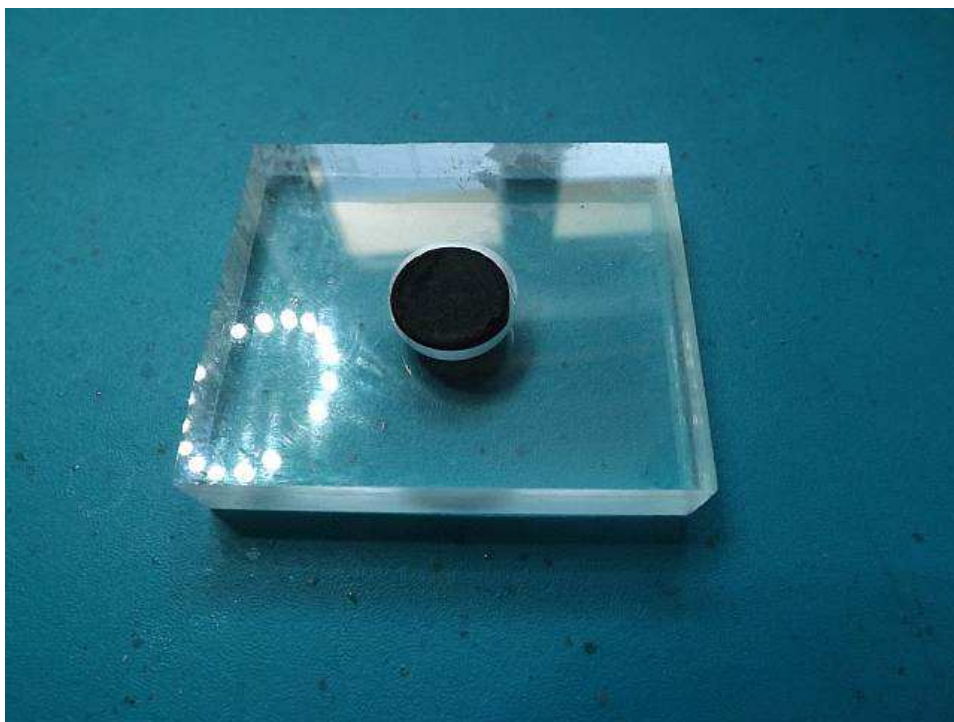


Abb. 4a: Kohletablette in der Trägerplatte

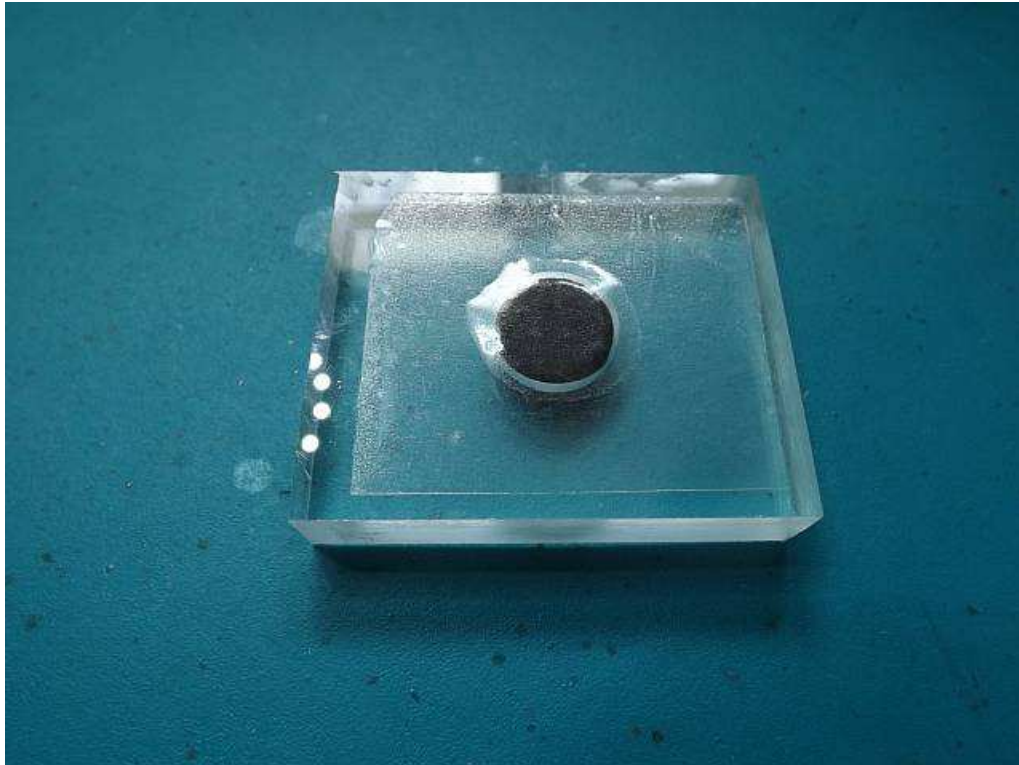


Abb. 4b: Kohletablette in der Trägerplatte mit radondichter Folie verklebt



Abb. 5: Messung der Aktivität der Kohletablette durch die Folie auf dem Inspector

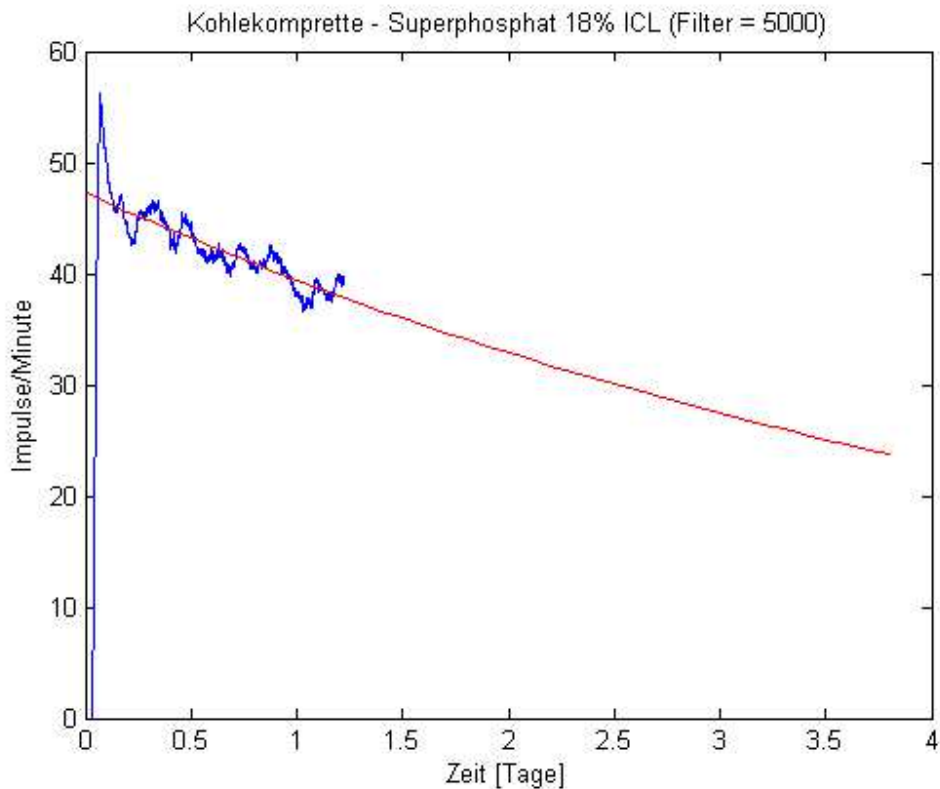


Abb. 6: Auswertung der Messung mit dem Inspector (blau Messdaten, rot exponentieller Fit)

Normalerweise benutzt man bei der linearen Regression zwei Variablen, eine für den Achsenabschnitt und eine für die Steigung. Dann werden diese beiden Variablen so berechnet, dass der mittlere quadratische Fehler minimal wird. In diesem Fall kennt man aber bereits die Steigung. Sie ergibt sich aus der Halbwertszeit, das heißt man kann sich beim Einsatz der Regressionsrechnung darauf beschränken, nur den Achsenabschnitt so zu bestimmen, dass der mittlere quadratische Fehler minimal wird wobei nun die Steigung vorgegeben ist. Wichtig ist hierbei aber, dass vorher die Nullrate von den Messdaten subtrahiert wird, sonst stimmt das Ergebnis am Ende nicht.

Die Ausgleichsrechnung nimmt man nun wie folgt vor: Zunächst benennt man die Zeitwerte als x_i und die Messwerte (gemessene Rate – Nullrate) als y_i . Dabei läuft i von 0 bis $N-1$, d.h. man hat N Messwerte. Dann bildet man folgende Werte pro Zeit- und Messwert die Werte x_i^2 , $\ln(y_i)$ und $x_i \cdot \ln(y_i)$, wobei $\ln()$ den natürlichen Logarithmus zur Basis e meint. Und schließlich bildet man über alle i folgende Summen:

$$\begin{aligned} SX &= \text{Summe}(x_i) \\ SX2 &= \text{Summe}(x_i^2) \\ SY &= \text{Summe}(\ln(y_i)) \\ SXY &= \text{Summe}(x_i \cdot \ln(y_i)) \end{aligned}$$

Die Steigung für die Regression ist durch die Halbwertszeit gegeben und berechnet sich daher zu:

$$m = -\ln(2)/(3.82 \cdot 24)$$

sofern wenn man die Rechnung in Stunden macht ($T_{1/2}$ des Radon ist 3.82 Tage).
Der Achsenabschnitt der Regression berechnet sich dann zu:

$$b = (SY - m \cdot SX) / N$$

Daraus kann man nun die Fitwerte $f_i(x_i)$ berechnen:

$$f_i = e^{(m \cdot x_i + b)}$$

Wichtig ist dabei noch, dass man als ersten Fitwert nicht gleich den ersten Messwert (hoher Peak) benutzt, da sich ja erst ein neues Gleichgewicht einstellen muss. Bei einem Messintervall von einer Stunde ist der zweite Wert nach zwei Stunden dann aber in der Regel schon brauchbar.

Diese Rechnungen kann man sehr gut in einem Tabellenkalkulationsprogramm wie z.B. in MS Excel oder Ähnlichem machen. Wie man aus der Auswertung in Abb. 6 leicht erkennen kann, passt die angenommene Halbwertszeit von 3.82 Tagen sehr gut zu den Messdaten.

Man kann also davon ausgehen, dass das Düngemittel aus uranhaltigem Phosphorerz hergestellt wurde und dass das Radium aus der Uranzerfallskette als Mutternuklid des Radon noch zu erheblichen Anteilen im Düngemittel enthalten sein muss. Da beim Aufschließen des Phosphors aus dem Erz Phosphorgips als Abfallprodukt entsteht, in den auch das Radium weitestgehend übergeht, kann man annehmen, dass dieser nach dem pflanzengerechten Aufschließen des Phosphors dem Düngemittelgranulat quasi zur kostengünstigen „Entsorgung“ wieder beigemischt wurde.

Das Radium ist wasserlöslich und kann nun mit dem Phosphor von den Pflanzen aufgenommen werden oder es gelangt ins Grundwasser. Die Aufnahme durch Pflanzen wird vor allem beim Tabakanbau deutlich. Beim Großeinsatz von Düngemittel in Tabakplantagen hatte man nämlich festgestellt, dass der Poloniumgehalt des Tabakrauchs bei Düngung mit Phosphordüngern etwa um den Faktor 7 zunimmt. Da Polonium ein Alphastrahler ist, und mit dem Tabakrauch inhaliert und in der Lunge deponiert wird, trägt dieses dann bei seinem Zerfall auf dem empfindlichen Lungenepithel verstärkt zu der Synergie mit anderen kanzerogenen Stoffen bei und führt bei starken Rauchern vornehmlich zu Lungenkrebs. Die Verwendung dieses Düngemittels ist aber auch beim Anbau anderer Pflanzen nicht gerade zu empfehlen.

Eine vergleichbare Messung lässt sich natürlich genauso mit dem Gammascout machen. Dabei ist zu empfehlen, dass das Blendenfenster auf die Stellung „ α “ gebracht wird, auch wenn die radondichte Folie auf dem Kunststoffträger jede Alphastrahlung abschirmt. Mit ganz geöffneter Blende ist der Gammascout nämlich auch für Betastrahlung maximal empfindlich. Mit dem Gammascout kann man leicht über größere Messzeiträume messen, selbst über mehrere Wochen, da er praktisch keinen Strom verbraucht und so keine Gefahr besteht, dass während der Messung die Batterie leer läuft. Er hat allerdings keine ganz so hohen Zählraten wie der Inspector.



Abb. 7: Messung mit dem Gammascout, der Tablettenhalter befindet sich genau über dem Zählrohrfenster bei geöffneter Blende

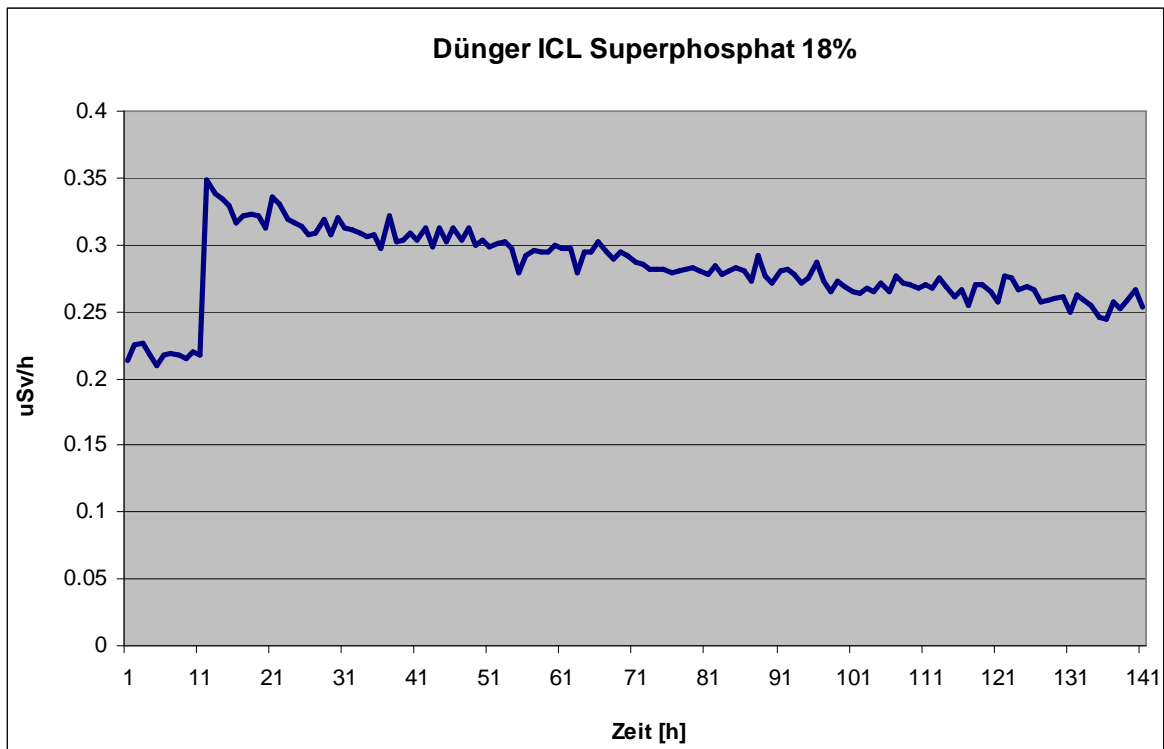


Abb. 8: Aufgezeichnete Dosisleistung des Gammascout

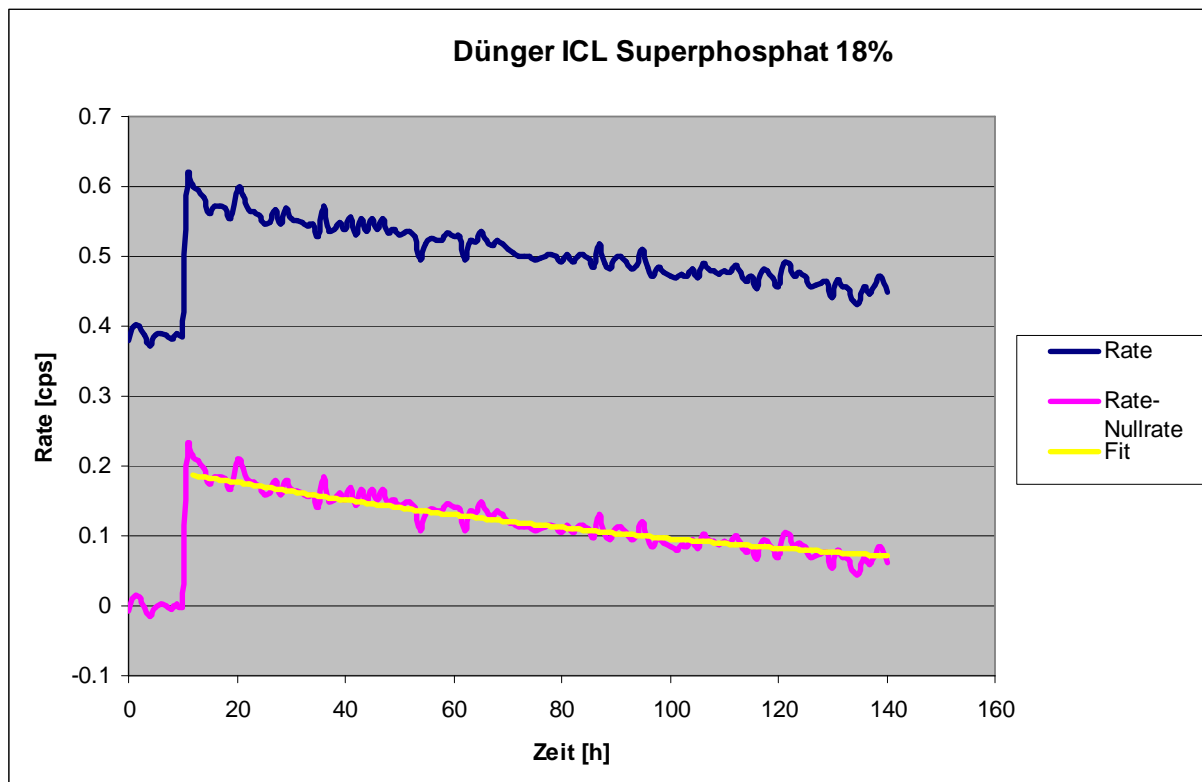


Abb. 9: Auswertung der Gammascout Messung anhand der Zählrate mit MS Excel

Aus dieser Messung kann man leicht erkennen, dass die mit Radon beladene Kohletablette die gemessene Dosisleistung nur sehr wenig über die Nullrate erhöht. Eine zusätzliche Bleiabschirmung (Bleiburg) wäre daher beim Gammascout durchaus empfehlenswert. Man kann aber dennoch gut erkennen, dass die Annahme einer Halbwertszeit von 3.82 Tagen auch hier zu einem sehr guten Fit über die Messdaten führt.

Die Tatsache, dass das Radon wirklich die Radiumaktivität abbildet kann man schließlich in relativ extremer Form sehen, wenn man als Probe kein Düngemittel in das Messglas füllt, sondern eine alte Armbanduhr mit Radium-Leuchtzeigern. Uran ist in diesem Fall dann sicher nicht mehr in der Probe enthalten.

Die Leuchtfarbe, welche zum Bemalen von Zeigern und Ziffern bei Uhren und Weckern bis in die 60er Jahre verwendet wurde, besteht nämlich aus einem Gemisch von Radiumsalzen (meist Radiumchlorid) und Zinksulfid. Diese Farbe war eine Erfindung des Uhrenfabrikanten Arthur Junghans aus dem Jahre 1907. Diese relativ konzentrierte Form des Radiums exhaliert dann eine deutlich größere Menge Radon obwohl es sich um eine sehr kleine Menge an Radiumfarbe handelt. Dazu muss man aber bedenken, dass Radium auch extrem radioaktiv ist, und mit 1600 Jahren Halbwertszeit im Vergleich zum Uran mit 4.5Mrd. Jahren Halbwertszeit „extrem schnell“ zerfällt. Deswegen hat 1g Radium Ra-226 auch eine sehr hohe Radioaktivität von 37Giga-Bq. Etwas Vorsicht ist bei solchen Leuchtfarben also durchaus angebracht, selbst wenn man diese Uhren noch sehr zahlreich auf Flohmärkten findet.

Die Restluft im Glas beim Beladen der Kohlekomprette stört bei Radium-Leuchtfarbe als Probe nicht weiter, da die Zählrate aus der Aktivitätskonzentration des Radons, die sich aufgrund der hohen

„Produktionsrate“ aus dem Radiumsalz einstellt, deutlich höher ist als die Nullrate. Nach dem Einlegen der Kohlekomprette in den Kunststoffträger und dem Verkleben mit radondichter Folie bemerkt man gleich, dass für die meisten Uhren die Anfangswerte deutlich mehr als $1\mu\text{Sv/h}$ liegen. Mit der hohen Zählimpulsrate, die sich nun einstellt wird auch die Statistik besser und man bekommt die Zerfallskurve des Radons nun wirklich in Reinkultur.

Abb. 11 zeigt eine vergleichbare Messung mit dem Gammascout über etwas mehr als eine Halbwertszeit. Mit der Auswertung in MS-Excel kann man an der hohen Güte des Fits erkennen, dass die Annahme der Halbwertszeit von 3.82 Tagen recht genau stimmt. Als Nullrate für die Messung wurde diejenige genommen, die vor der Düngermessung bereits ermittelt wurde.



Abb. 10: Eine alte Junghans Armbanduhr mit Radium-Leuchtfarbe im Probenglas zusammen mit einer Kohlekomprette welche das Radon adsorbiert

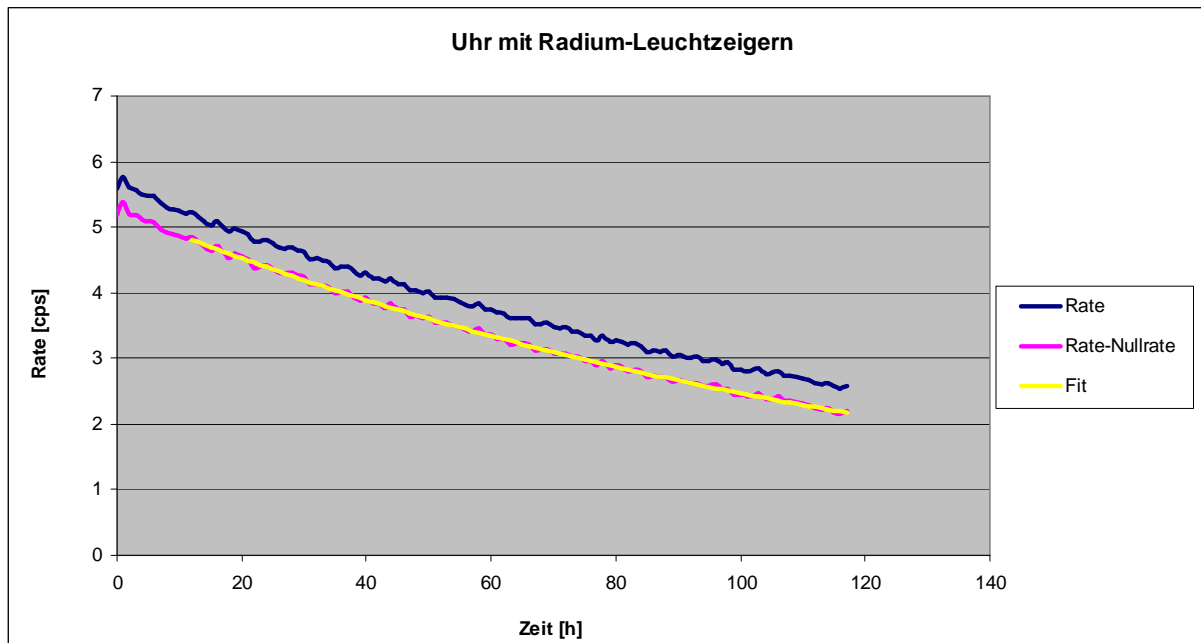


Abb. 11: Fit einer exponentiellen Regressionskurve in die Netto-Zählraten-Messwerte der Kohletablette, die mit Radon, welches aus der Leuchtfarbe exhaliert ist, beladen wurde

Literatur

H. von Phillipsborn, R. Geipel, G. Just

Radon Exhalation from Building Materials – A contribution to Metrology in Radiation Protection

Proceedings of the 5. international conference on high levels of natural radiation and radon areas: Radiation dose and health effects; Munich (Germany); 4-7 Sep 2000

Anhang

Beispiel des Auslese und Auswerteprogramms in Matlab für den Inspector. Nach Auslesen der Daten aus dem Gerätespeicher und dem Ablegen in einer Datei „memory.txt“ führt dieses Programm die Auswertung durch.

```
% Auslese- und Auswerteprogramm für den Inspector
clear;
infile='memory.txt';
infid=fopen(infile,'r');
startLine=10;

fdata=textread(infile,'%s','delimiter','\n');
fdata=fdata(1:length(fdata));
fclose(infid);
nrLines=length(fdata)-startLine+1;
lineData=strread(fdata{startLine},'%s','delimiter','\t');
dateref=datetime(lineData{1},'yyyy/mm/dd');
```

```

timeref=datetime(lineData{2}, 'HH:MM')+dateref;
inspTime=zeros(1,nrLines-1);
inspCpm=zeros(1,nrLines-1);
for k=1:nrLines
    lineData=strread(fdata{k+startLine-1}, '%s', 'delimiter', '\t');
    datetim=datetime(lineData{1}, 'yyyy/mm/dd');
    inspTime(k)=datetime(lineData{2}, 'HH:MM')+datetim-timeref;
    inspCpm(k)=str2num(lineData{3});
end

nullrate=550;
inspCpm1=inspCpm-nullrate;
inspCpm1(find(inspCpm1<0))=0;
startFit=20;
SX=sum(inspTime(startFit:end));
SX2=sum(inspTime(startFit:end).^2);
SY=sum(log(inspCpm1(startFit:end)));
SXY=sum(inspTime(startFit:end).*log(inspCpm1(startFit:end)));
nn=length(inspTime(startFit:end));
p(1)=-log(2)/3.82;
p(2)= (SY-p(1)*SX)/nn ; %Regression mit bekannter Steigung
plot(inspTime, inspCpm1); hold on;
t2=0:0.1:3.824;
yfit=exp(polyval(p,t2));
plot(t2, yfit, 'r');

```