

Der Kohlekompretententest zum Radon- und Urannachweis

Bernd Laquai, 28.03.2013

Die schweren Radionuklide aus der Uran-Zerfallsreihe sind vorwiegend Alpha-Strahler. Da Geigerzähler, welche Alphastrahlung nachweisen können, bauartbedingt entweder teuer oder schwieriger selbst herzustellen sind, ist der Nachweis der Radioaktivität dieser Nuklide deutlich aufwändiger. Da aber die biologische Wirksamkeit der Alphastrahlung um den Faktor 20 höher ist als die der Beta- und Gammastrahlung ist die Nachweisfähigkeit dieser Radionuklide besonders wichtig.

Oft treten diese Radionuklide in einem Gemisch mit anderen radioaktiven Isotopen auf, die reine Betastrahler sind, dann ist eine Trennung der nuklidspezifischen Aktivität von besonderer Bedeutung. Das ist bei Granitbaustoffen oder Phosphatdüngemitteln beispielsweise der Fall. Beides kann auf natürliche Weise erheblich mit Uran verunreinigt sein, aber beide Stoffe enthalten in deutlichen Konzentrationen auch natürliches Kalium. Das natürliche Kalium enthält neben dem stabilen Kalium-39 zu 0.0118% das radioaktive Isotop Kalium-40. Für das natürliche Kalium hat der Körper einen regulierten Stoffwechsel und damit auch für die kaliumspezifische Betastahlung. Für die Radionuklide aus der Zerfallsreihe des Urans aber gibt es keinen spezifischen Stoffwechsel, der beispielsweise auch für eine Ausscheidung von Überschüssen sorgt. Vielmehr verwechselt der menschliche Körper diese Radionuklide mit Mineralstoffen, die beispielsweise wie das Calcium in die Knochen eingebaut werden. Damit werden die gefährlichen, biologisch hochwirksamen Alphastrahler praktisch auf Lebenszeit in den Körper eingelagert.

Eine einfache Rechnung am Beispiel Granit zeigt allerdings, dass sich die Uranaktivität und die seiner ebenfalls radioaktiver Folgeprodukte von der Aktivität des Kalium-40 sehr ungünstig überdeckt werden können, wenn man nur auf die Zählrate eines Detektors schaut, welcher jede Art der Strahlung in Zählpulse umsetzt. Deswegen ist die Bestimmung der spezifischen Uranaktivität so nicht möglich und damit kann damit auch keine Aussage über den Urangehalt gemacht werden.

Ganz allgemein kann man die spezifische Aktivität eines Radionuklids als Bestandteil eines Isotopengemisches aus der Halbwertszeit, seinem molaren Gewicht und seinem Anteil im Isotopengemisch bestimmen:

$$A_s = p \cdot \ln(2) / T_{1/2} \cdot N_A / M$$

Hierin sind A_s die spezifische Aktivität in Bq/kg, p der prozentuale Anteil des Isotops im Isotopengemisch, $T_{1/2}$ seine Halbwertszeit, N_A die Avogadrokonstante ($6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) und M die Molmasse des (natürlichen) Isotopengemischs. Für K-40 erhält man daraus 31200Bq/kg, für U-238 erhält man $1.27 \cdot 10^7$ Bq/kg.

Geht man nun davon aus, dass sich z.B. im Flossenbürger Granit etwa 20ppm natürliches Uran befinden, ergibt sich daraus eine spezifische U-238 Aktivität von 247Bq/kg. Unter der Annahme, dass dieser Granit ebenfalls 4% natürliches Kalium enthält, ergibt sich eine spezifische K-40 Aktivität von 1250Bq/kg. Man sieht also, dass die spezifische Kalium-Aktivität die spezifische Uran-Aktivität überdeckt. Trennen könnte man diese zwei

spezifischen Aktivitäten anhand der Energie der Strahlung, was aber sehr aufwändig und teuer wäre.

Nun kann man jedoch einen einfachen Trick anwenden, der darauf beruht, dass in der Zerfallsreihe des Urans auch das radioaktive Edelgas Radon-222 auftaucht. Radon ist ein extrem mobiles Gas und kann aus porösen Stoffen leicht entweichen, so auch aus Graniten oder noch besser aus uranhaltigem Düngemittel-Granulat. Wenn man davon ausgeht, dass aus jedem Uranatom nach einigen Zwischen-Produkten in der Zerfallskette immer ein Radonatom entsteht, wobei alle Halbwertszeiten klein gegen die des Urans sind, dann hat auch das Radon in erster Näherung dieselbe spezifische Aktivität wie das Uran (Annahme eines säkularen Gleichgewichts). Bringt man nun eine verdächtige Probe in ein geschlossenes Volumen, dann sieht man, dass langsam im Vergleich zum offenen Volumen und unter sonst gleichen Verhältnissen, die spezifische Radonaktivität langsam hinzukommt, welche sich mit der Halbwertszeit des Radon-222 (3.8 Tage) aufbaut. Dies ist ein untrügliches Zeichen dafür, dass in der Probe Uran oder eines seiner Folgeprodukte wie z.B. das Radium enthalten sein muss. Bei einer ausschließlich kaliumhaltigen Probe taucht diese zusätzliche Aktivitätserhöhung mit der charakteristischen Halbwertszeit von 3.8 Tagen nicht auf, da Kalium-40 sofort in das stabile Argon bzw. Calcium zerfällt und dabei kein Radon entstehen kann.

Das Radon ist also ein eindeutiger Indikator für ein schweres Nuklid aus der Uran-Zerfallsreihe mit hohem und gefährlichen Alphapotential in seinen Folgeprodukten. Nur taucht bei dem Nachweis der Radonaktivität jetzt das Problem auf, dass dieses Edelgas ein reiner Alphastrahler ist und der Nachweis dieser Alphastrahlung aufwändig und teurer ist. Man sich hier aber wiederum mit einem Hilfsmittel behelfen: Dem einfachen Kohlekompretentest. Kohlekompretten sind Aktivkohletabletten, die oft bei Durchfallerkrankungen eingesetzt werden um Giftstoffe im Verdauungstrakt zu binden. Sie sind in jeder Apotheke erhältlich. Auch Radon und seine Zerfallsprodukte werden an die Aktivkohle der Kohlekomprette gebunden. Dafür sind sogenannte Physisorptions-Mechanismen verantwortlich. Wenn man daher eine Kohlekomprette zu der Probe gibt und das überschüssige Luftvolumen möglichst klein hält um die Aktivitätskonzentration möglichst hoch werden zu lassen, dann bindet die Kohlekomprette relativ viel des aus der Probe exhalierenden Radons wie auch seine kurzlebigen Zerfallsprodukte.



Abb. 1: Packung mit Kohlekompretten

Unter den Zerfallsprodukten des Radons taucht nun das Blei-214 und das Bismut-214 auf, welches beides Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 26 bzw. 20min sind. Diese Betazerfälle werden zusätzlich auch von Gammastrahlung begleitet. Diese Strahlung kann man nun leicht mit einem ganz normalen Geigerzähler nachweisen. Beide Zerfallsprodukte werden allerdings durch das noch gebundene Radon für eine gewisse Zeit noch nachgebildet. Deswegen ergibt sich eine effektive Halbwertszeit von etwa 150 Minuten.

Man muss also lediglich eine Kohlekomprette in einem möglichst kleinen Messvolumen (z.B. einem dichten Marmeladenglas) mit dem Radon und seinen Zerfallsprodukten ausreichend „betanken“. Ausreichend heißt dabei mindestens zwei Radon-Halbwertszeiten (eine Woche) besser aber zwei Wochen. Danach hat die Radonaktivität annähernd einen Sättigungswert erreicht. Danach entnimmt man die Kohlekomprette und kann dann für ein paar Stunden mit einem einfachen Geigerzähler die deutliche Beta- und Gamma-Aktivität an der Komprette messen.

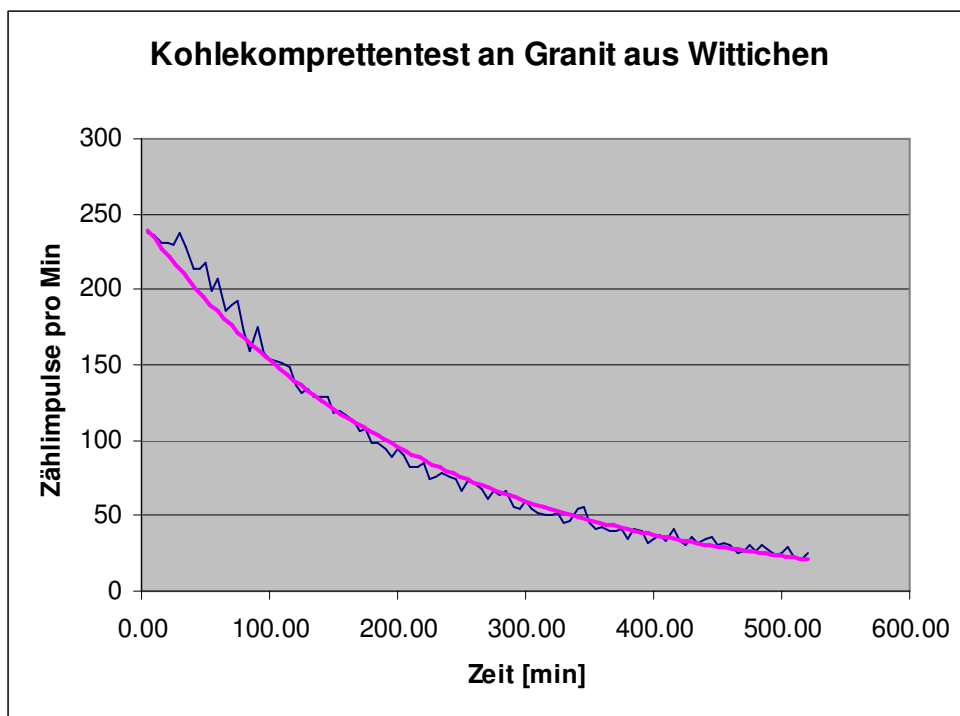


Abb.2: Kohlekomprettentest an einem stark uranhaltiger Granit aus Wittichen, blau: Messung mit Gammascout, magenta: exponentielle Trendlinie



Abb. 3: Marmeladenglas mit Kohlekomprette auf Superphosphat Dünger (18% P)

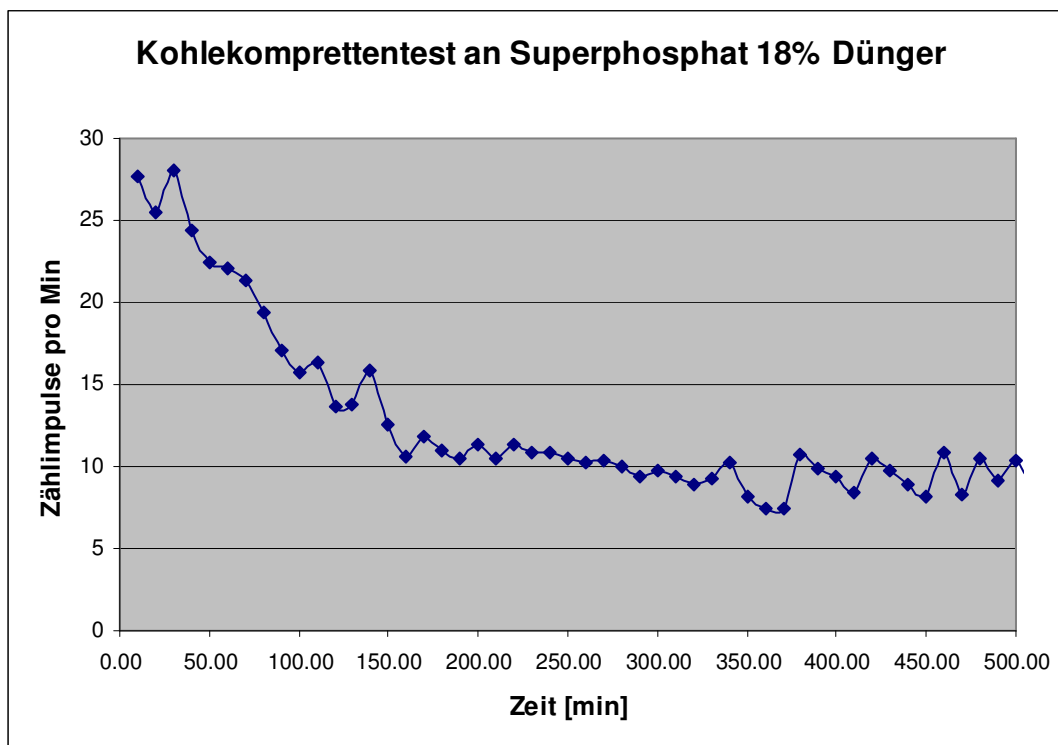


Abb. 4: Kohlekomprettest an Düngemittel, die Zerfallskurve zeigt einen deutlichen Zerfall von Radon und seiner Tochternuklide die nur aus der Uranzerfallskette stammen können. Messung mit Gammascout.

Durch das kleine Luftvolumen in einem Marmeladenglas wird die Radon-Aktivitätskonzentration so hoch, dass die Kohlekomprette so stark mit Radon und seinen Zerfallsprodukten beladen wird, dass selbst ein einfacher selbst-gebauter Geigerzähler wie das Stuttgarter Geigerle mit PIN-Dioden Detektor dafür geeignet ist, den Kohlekompretentest durchzuführen. Abb. 5 zeigt die mit dem Stuttgarter Geigerle (3 BPW34 PIN Dioden als Detektor) gemessene Radioaktivität an der mit dem Radon eines Superphosphat-Düngers (18% P) beladenen Kohlekomprette. Die leicht verkürzte effektive Halbwertszeit gegenüber dem Gammascout liegt an der etwas anderen Charakteristik der Zähleffizienz über der Energie. Während der Gammascout Alphastrahlung noch registrieren kann, ist das Stuttgarter Geigerle mit BPW34 PIN Dioden hauptsächlich auf die Gamma- und stärkere Betastrahlung empfindlich. D.h. es tragen hauptsächlich die betastrahlenden Zerfallsprodukte des Radons zur Zählrate bei. Man kann auch erkennen, dass bereits nach 30min sicher feststeht, wenn der Dünger mit Uran kontaminiert ist.

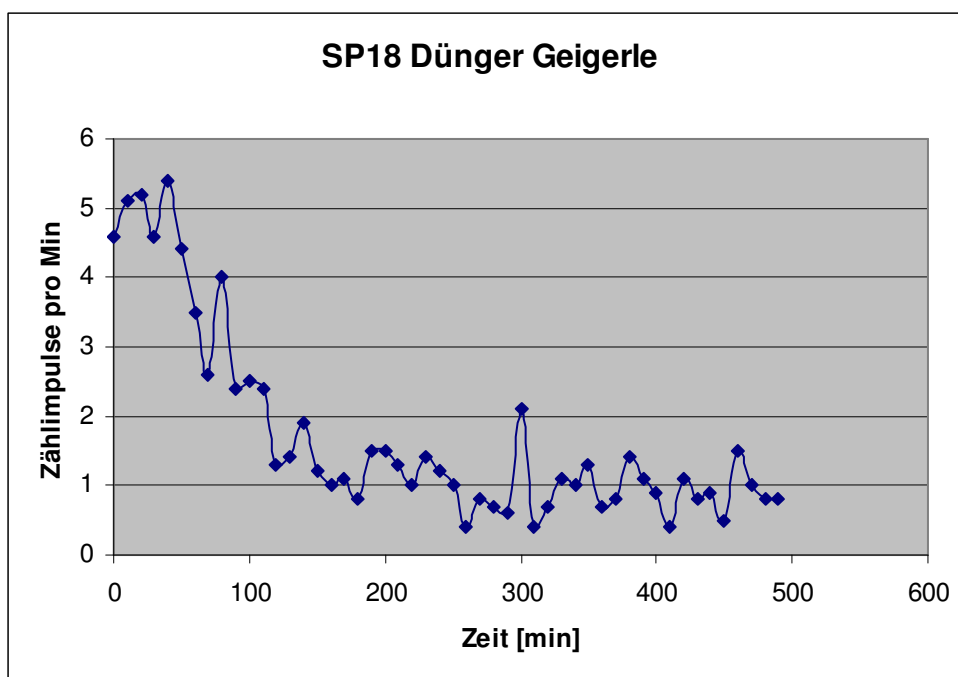


Abb. 5: Mit dem Stuttgarter Geigerle an einer mit Radon aus Superphosphat-Dünger beladenen Kohlekomprette gemessene Radioaktivität

Gemessen an den Kosten für die Kohlekomprette und dem einfachen (selbstgebauten) Geigerzähler (siehe Abb. 6) ist der Umweltschutzbeitrag, den ein Landwirt oder Düngemittelhändler leisten könnte, wenn er so das phosphathaltige Düngemittel testet, bevor es in Tonnen auf die Felder ausgebracht wird und das Trinkwasser entsprechend gefährdet, enorm. Noch besser wäre es allerdings, wenn man mit einer gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungsschwelle und einem Grenzwert für den Urangehalt in der Düngemittelverordnung die Düngemittelindustrie dazu bringen würde, das Uran aus dem Rohphosphat abzutrennen, bevor es zur Düngemittelherstellung verwendet wird.

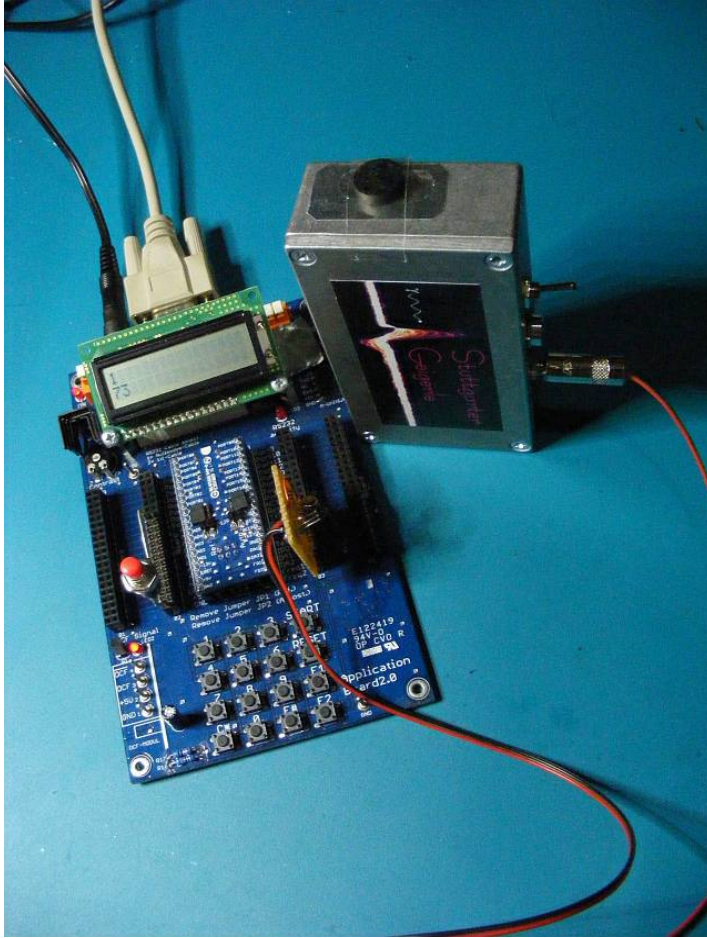


Abb. 6: Test einer Kohlekomprette mit dem Selbstbau-Detektor „Stuttgarter Geigerle“ und dem CC-Basic Mikrocontroller als Zählleinrichtung