

Nachweis von Uran in Düngemitteln mit dem Stuttgarter Geigerle

Bernd Laquai 17.2.2013

Uran im Phosphatdünger

In den Medien wurde vor kurzem berichtet, was Experten schon etwas länger wissen: In etlichen mineralischen Phosphat-Düngemitteln sind beträchtliche Mengen an Uran enthalten. Selbst in Gartendüngern, so ein Bericht des NDR [1], tauchen bedenkliche Konzentrationen auf. Nach Untersuchungen von Experten scheint festzustehen, dass mit Ausnahme des Tabakkonsums, weniger die Radioaktivität das Problem ist, sondern die chemische Toxizität, des Schwermetalls Uran, welche die Nieren schädigt, vor allem die von Kleinkindern. Außerdem tendieren die Expertenmeinungen mehrheitlich in die Richtung, dass uranhaltige Düngemittel die Gesundheit nicht durch den Transfer über die gedüngte Nutzpflanze und das daraus hergestellte Lebensmittel in den menschlichen Körper gefährden, sondern über das Trinkwasser. Versuche haben gezeigt, dass das Uran aus den Phosphat-Düngern von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen nur in relativ geringem Umfang aufgenommen wird, sondern vielmehr ins Grundwasser sickert und damit das Trinkwasser über eine längere Zeit der Düngemittelanwendung hinweg schleichend kontaminiert. Das heißt, die Ingestion des Urans erfolgt über das Wasser aus der lokalen Wasserversorgung der vorwiegend landwirtschaftlich geprägten Gegenden.

Eine Ausnahme davon scheint im Fall der Tabakpflanze gegeben zu sein. Hier haben Wissenschaftler gezeigt, dass uranhaltiger Phosphatdünger maßgeblich dafür sorgt, dass das radioaktive Zerfallsprodukt Polonium über den Rauch eingeatmet wird, sich in der Lunge ablagert und dort vor allem Alpha-Strahlungsenergie an das empfindliche Lungengewebe abgibt und so das Lungenkrebsrisiko erheblich steigert [20, 21, 22].

Es wurde auch umfangreich untersucht, wie es überhaupt dazu kommt, dass Uran im Phosphat-Dünger auftaucht. Auch da sind sich die Experten mittlerweile einig. Die zur Herstellung von mineralischen Phosphat-Düngemitteln abgebauten Rohphosphate kommen aus unterschiedlichen Ländern und aus geologischen unterschiedlich gearteten Vorkommen. In den Phosphaterzen magmatischer Apatit-Gesteine (igneous phosphate rocks) ist relativ wenig Uran enthalten, in Erzen aus den häufigeren Vorkommen sedimentärer Phosphorit-Gesteine dagegen viel. Vergleichbares gilt auch für andere Schwermetalle wie z.B. für das Cadmium. Organische Phosphate aus Guano und aus dem Recycling von Gülle, Mist und Knochenmehl enthalten dagegen so gut wie kein Uran, die Herstellung in großem Stile ist aber deutlich aufwändiger. Bisher wurden wegen der geringeren Schadstoffbelastung die magmatischen Vorkommen in Russland (Kola-Apatit) und Finnland bevorzugt. Deren Vorkommen sind aber begrenzt und die Preise für Düngemittel aus diesen Düngemitteln sind in den letzten Jahren enorm gestiegen. Deswegen benutzen nun viele Düngemittelhersteller die billigeren Phosphoriterze aus Marokko, Israel und China mit der Konsequenz der höheren Schadstoffbelastung. Der Einfluß der Weltmarktpreise für Rohphosphate auf Düngemittel ist bei einem derzeitigen Abbau von etwa 150 Millionen Tonnen Phosphaterz für den weltweiten Verbrauch sehr groß. Allein in Deutschland wurden in 2007 etwa 10Mio. Euro für den Import von 115000 Tonnen Phosphatdünger ausgegeben, da Deutschland keine eigenen Vorkommen hat [8].

Nachdem diese Zusammenhänge zwischen Vorkommen und Schadstoffgehalt relativ eindeutig nachgewiesen sind, würde man annehmen, dass entsprechende Gesetze dafür

sorgen, dass solche Schadstoffe nicht auf den Feldern landen. Im Falle einiger bekannter Schadstoffe ist das auch so. Im Düngegesetz und der Düngemittelverordnung gibt es sogenannte Kennzeichnungsschwellen und Grenzwerte für Schadstoffe wie z.B. für die Schwermetalle Blei, Arsen und Cadmium. Die Düngemittelhersteller und -lieferanten müssen diese Werte einhalten, wenn sie in Deutschland Dünger verkaufen wollen. Nur das Uran ist leider nicht dabei. Umgekehrt ist der Urangehalt in den Rohphosphaten doch so hoch, dass vor Ende des kalten Krieges in einigen Fällen sogar eine Urangeinnung aus den Rohphosphaten angestrebt wurde. Nach dem Verfall der Uranpreise mit der Ächtung der Atomwaffen lohnt sich die Uranabtrennung aber offensichtlich nicht mehr, denn die meisten Anlagen dieser Art wurden in der Zwischenzeit stillgelegt. Der Urangehalt liegt bei Rohphosphaten und Phosphatdünger typischerweise im Bereich zwischen 0.2 und 350 mg pro kg Dünger.

Interessanterweise ist im ökologischen / biologischen Landbau nur die Verwendung von synthetischen Phosphor-Mineraldüngern verboten. Weicherde Rohphosphate dagegen sind erlaubt, obwohl sie oft den höheren Urangehalt haben. Das Fehlen der Kennzeichnungspflicht und eines Grenzwerts für das Uran bewirkt also, dass selbst Landwirte, welche gewissenhaft auf die Minimierung des Schadstoffgehalt achten wollen, bisher keine Möglichkeit haben, entsprechend uranarme Düngemittel auszuwählen.

Leider haben die großen Düngemittelhersteller genau wie die großen Tabakhersteller und andere landwirtschaftlichen Großproduzenten eine enorme politische Lobby und sind nicht an einer aufwändigen und teuren Uranabtrennung aus Phosphatdüngemitteln bzw. an einer entsprechenden Kennzeichnung interessiert.

Radon als Indikator für den Urangehalt

Der Nachweis von Uran in einem Düngemittel erfordert normalerweise eine recht aufwändige Untersuchung in einem Speziallabor meist unter Anwendung von Gammaskopie oder einer noch aufwändigeren Neutronenaktivierungsanalyse (NAA). Selbst mit einem auf Alpha-Strahlung empfindlichen Geigerzähler ist es sehr schwierig unter der Präsenz der ortsüblichen, normalen Gamma-Hintergrundstrahlung die uranspezifische Aktivität nachzuweisen. Hinzu kommt, dass entsprechend geeignete Strahlungsmessgeräte sehr teuer sind.

Der Nachweis von Uran in Düngemitteln gelingt aber mit einem einfachen Trick auch mit einem billigen Selbstbau-Gerät, wie beispielsweise dem Stuttgarter Geigerle, wenn alphaempfindliche Photodioden eingesetzt werden. Der Trick besteht darin, dass man nicht versucht die Aktivität des Urans nachzuweisen sondern die des Radons, welches als einziges gasförmiges Radionuklid in der Uran-Zerfallsreihe auftaucht und auf Grund der sehr viel kürzeren Halbwertszeit in säkularem Gleichgewicht zum Uran steht. Ein Düngemittel das Uran enthält exhaliert daher Radon und zwar deutlich besser als beispielsweise Granitgestein. Das Radon-220 baut eine Gleichgewichtsaktivität mit seinem festen Mutternuklid Radium-226 auf, sobald das Düngemittel in ein gasdichtes Gefäß eingeschlossen wird. Dabei kann man das Radon-220 an seiner Halbwertszeit von 3.8 Tagen eindeutig an dem exponentiellen Aktivitätsanstieg bis zur Gleichgewichtsaktivität erkennen. Bereits 1kg eines uranhaltigen Phosphatdüngers erzeugt in einer Messkammer mit 5 Liter Volumen nach etwa 2 Halbwertszeiten Radonaktivitäten, die sich sehr eindeutig mit dem Stuttgarter Geigerle detektieren lassen.

Das Konzept für die Messkammer und für Messdatenauswertung im Falle einer Messung an Düngemitteln folgt dem Konzept, wie es für die Messung des Urangehalts an Graniten entwickelt wurde. Als Probe wird lediglich Düngemittel-Granulat statt der Granitsteine in die Kammer gefüllt, der weitere Ablauf der Messung ist identisch. Um zu verhindern, dass sich das Granulat in der Messkammer frei verteilt und dem Detektor zu nahe kommt, kann es in ein feinmaschiges Netz eingefüllt werden, bevor es in die Kammer gebracht wird. Das Gewebe einer Damen-Feinstrumpfhose hat sich für diesen Zweck bestens bewährt.

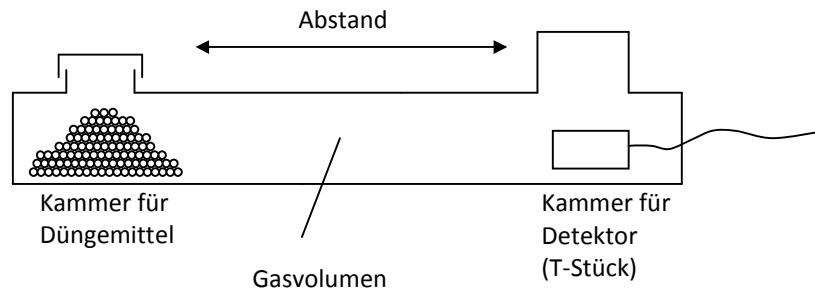


Abb. 1: Konzept für den Aufbau einer Messkammer für die Düngemittelprüfung auf Uran

Das Stuttgarter Geigerle als Radon empfindlicher Detektor

Als Detektor wird die Radon empfindliche Version des Stuttgarter Geigerle verwendet, bei der die PBPW34 Photodioden im Plastikgehäuse durch Photodioden im TO-39 Gehäuse (wie z.B. BPX61 von Osram oder S1223 von Hamamatsu) ersetzt sind und dessen Glaslinse entfernt wurde, damit das Radon-Gas in direkten Kontakt mit der Halbleiteroberfläche treten kann.

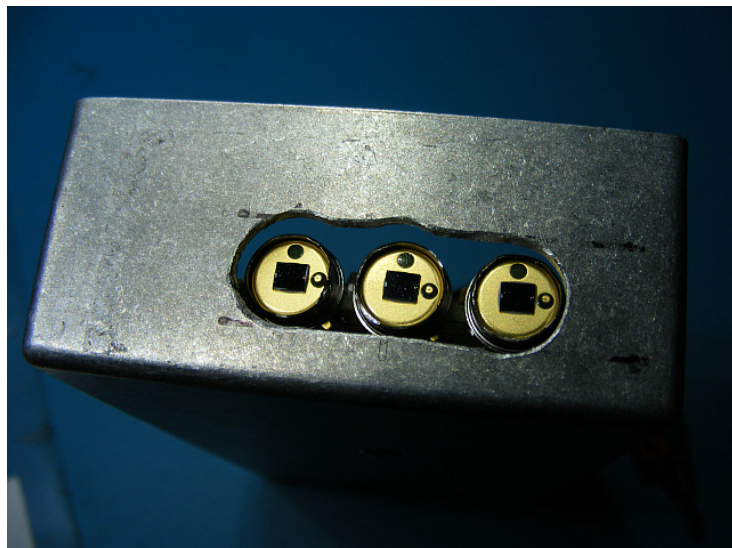
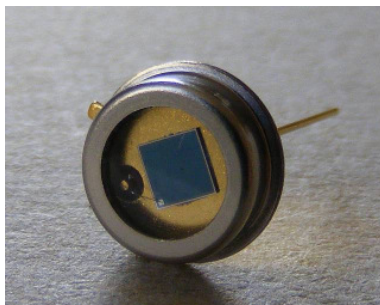


Abb. 1a, b: Photodiode im TO39 Gehäuse und geöffnete Photodioden im Detektorgehäuse des Stuttgarter Geigerle

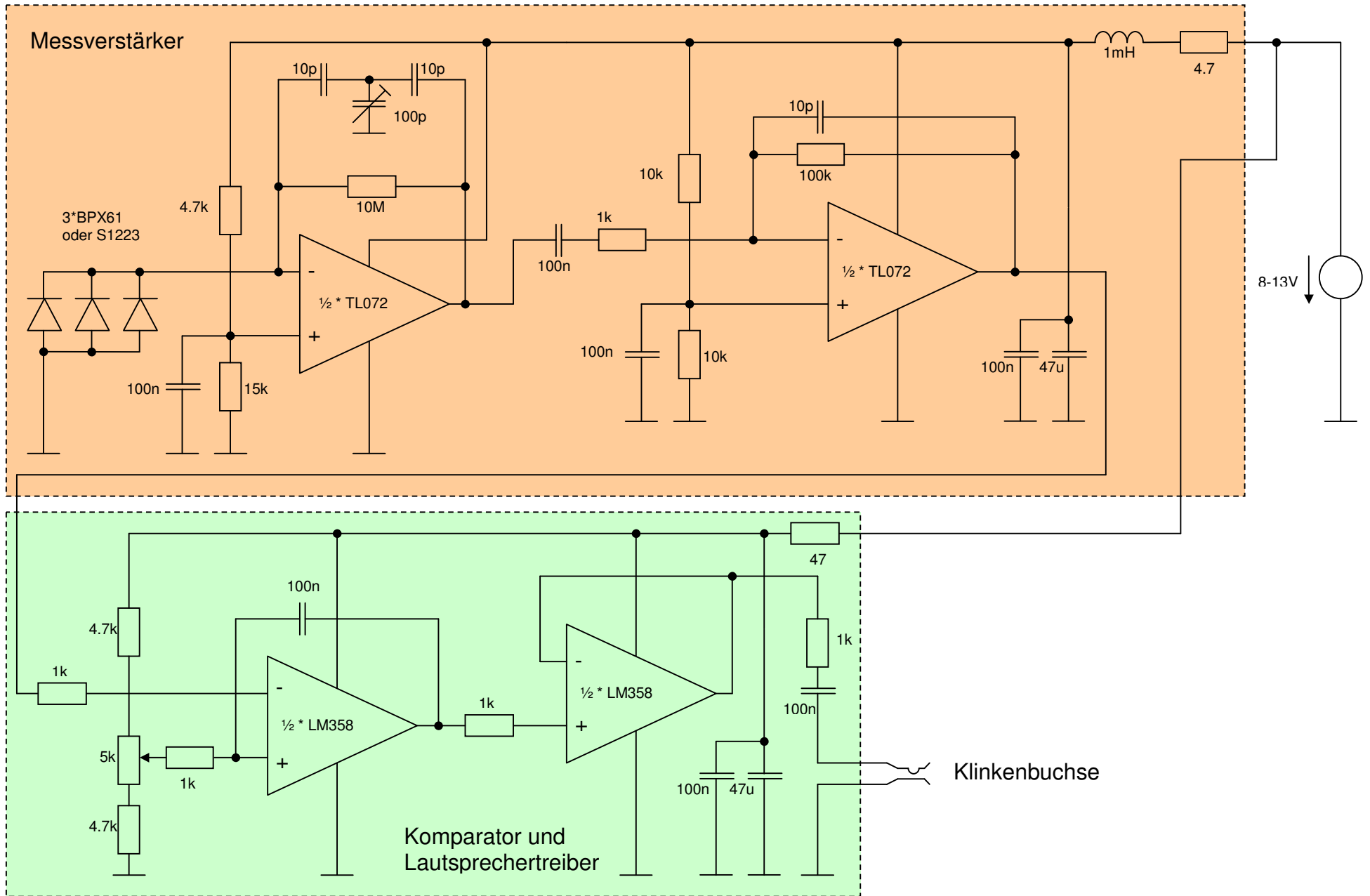


Abb. 2: Stuttgarter Geigerle Grundschtaltung für den Einsatz als Radon-Detektor

Wie bei den Radon-Exhalations-Messungen an Granit wird der Audio-Ausgang des Stuttgarter Geigerle Detektors über ein Mikrocontroller Interface mit einem Mikrocontroller verbunden, der die Zählung der Impulse in 8 Stunden Intervallen vornimmt und die Zählerstände bis zur Nachverarbeitung mit dem PC speichert. Eine Messung dauert typischerweise eine Halbwertszeit (besser zwei) um sicher zu sein, dass es sich auch wirklich um Radon handelt. Für Details siehe die Beschreibung der Radon-Exhalations-Messungen an Graniten [15].

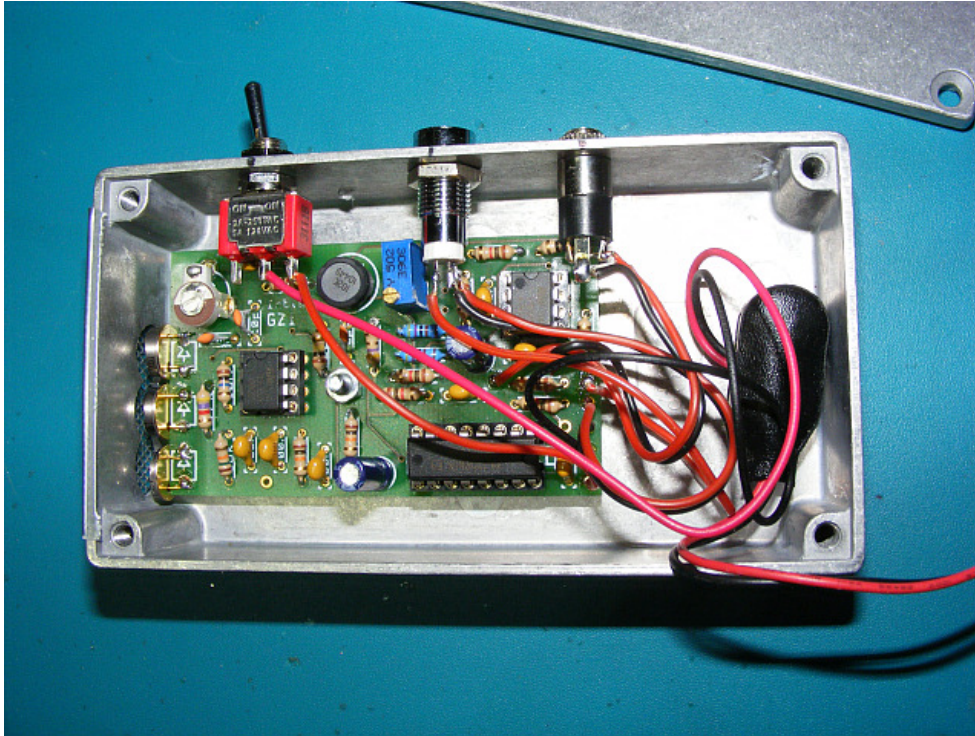


Abb. 3: Geöffnetes Detektorgehäuse des Stuttgarter Geigerle

In den charakteristischen Verlauf der Radon-Aktivitätsanstieg kann nun mit Hilfe einer Kurvenanpassung (z.B. nach dem Least-Mean-Square Verfahren) eine Exponentialfunktion mit der Halbwertszeit des Radon als Zeitkonstante eingepasst werden, mit Hilfe derer auf den Endwert als Gleichgewichtskonzentration extrapoliert werden kann. Diese Gleichgewichtskonzentration ist auf Grund des radioaktiven (säkularen) Gleichgewichts ein direktes, proportionales Maß für den Urangehalt.

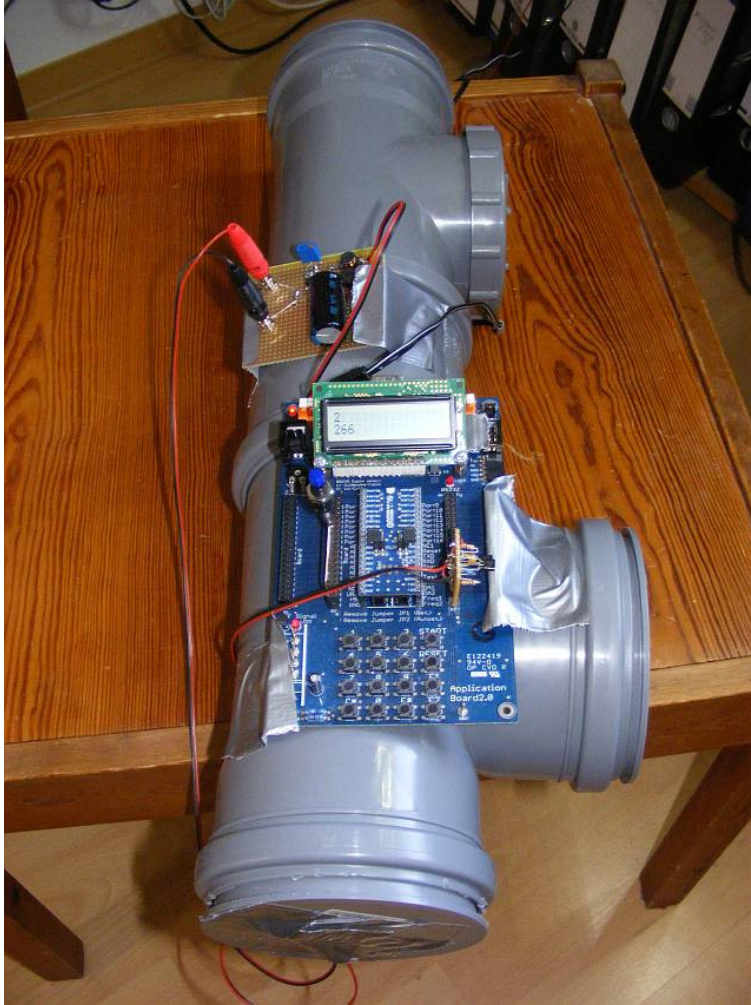


Abb. 4: Messkammer mit Mikrocontroller zum Nachweis von Uran in Düngemitteln

Wenn man ein vollständiges säkulares Gleichgewicht zwischen dem nach ausreichender Zeit exhaliierten Radon und dem Uran als Mutternuklid annimmt, dann würde das bedeuten, dass die Aktivität des Uran A^U und des Radon A^{Rn} identisch sein müssten. Da sich dieses Gleichgewicht aber nur unter theoretischen Bedingungen einstellt, könnte man annehmen, dass man in Realität nur eine Radonaktivität sieht, die um einen gewissen Gleichgewichtsfaktor k_G kleiner ist als die des Uran.

Daher ist:

$$A^U = A^{Rn} * k_G$$

Bei einem gegebenen Kammervolumen V_K der Messkammer und der mit einem Radonmonitor gemessenen spezifischen Aktivität A_s in Bq/m^3 ergibt sich eine Gesamtaktivität des Radon in der Kammer von:

$$A^{Rn} = A_s^{Rn} * V_K$$

Damit gilt nun für die Uranaktivität mit dem angenommenen Gleichgewichtsfaktor:

$$A^U = A_s^{Rn} * V_K * k_G$$

Wird die Aktivität des Uran von einer Masse m erzeugt, ergibt sich die spezifische Uranaktivität zu:

$$A_S^U = A^U / m = A_S^{Rn} \cdot V_K \cdot k_G / m$$

Auf der andern Seite kann man die spezifische Aktivität auch über die Halbwertszeit und die Molmasse berechnen:

$$A_S = \lambda \cdot N_A / M$$

Hierin ist N_A die Avogadrokonstante ($6.022 \cdot 10^{23}$ pro mol) und M die Molmasse in kg. Wenn nun ein Radionuklid nur zum Anteil p in einer Masse m enthalten ist, gilt entsprechend:

$$A_S = p \cdot \lambda \cdot N_A / M$$

Angewendet auf eine Menge Dünger mit Masse m und einem Urangehalt von p gilt daher:

$$A_S^{Rn} \cdot V_K \cdot k_G / m = p \cdot \lambda^U \cdot N_A / M^U$$

Umgeformt ergibt sich:

$$p = A_S^{Rn} \cdot V_K \cdot k_G \cdot M^U / (m \cdot \lambda^U \cdot N_A)$$

Man kann also davon ausgehen, dass der Urangehalt proportional zur gemessenen spezifischen Radon-Aktivität ist. Zu einer quantitativen Berechnung muss aber der Gleichgewichtsfaktor k_G bestimmt werden. Dazu kann eine Referenzprobe mit bekanntem Urangehalt benutzt werden, sofern diese vorhanden ist. Es muss aber auch unterstellt werden, dass der Gleichgewichtsfaktor für verschiedene Düngemittel-Granulate bei gleichem Urangehalt in etwa identisch ist. Um das zu überprüfen müssten sogar mehrere Referenzproben mit bekanntem Urangehalt vorliegen. Da dies für die bisher gemachten Untersuchungen bisher nicht der Fall war, kann für die quantitative Abschätzung lediglich ein aus Literaturquellen geschätzter maximaler Urangehalt von etwa 350ppm für den Dünger mit der höchsten spezifischen Radonaktivität angenommen werden um den Gleichgewichtsfaktor k_G zu bestimmen.

Messergebnisse

Für die Verifikation der Messmethode wurden zwei Phosphatdüngemittel beschafft. Bei der Probe 1 handelt es sich um ein Triple-Superphosphat mit einem P-Gehalt von 46% aus einer Restmenge eines privaten Landwirts, der seinen Betrieb aufgegeben hat. Der Hersteller ist unbekannt. Die Probe 2 wurde über einen Düngemittel-Händler bezogen und ist ein Superphosphat mit 18% P-Gehalt. Der Hersteller ist die Firma ICL Fertilizers (www.iclfertilizers.com).

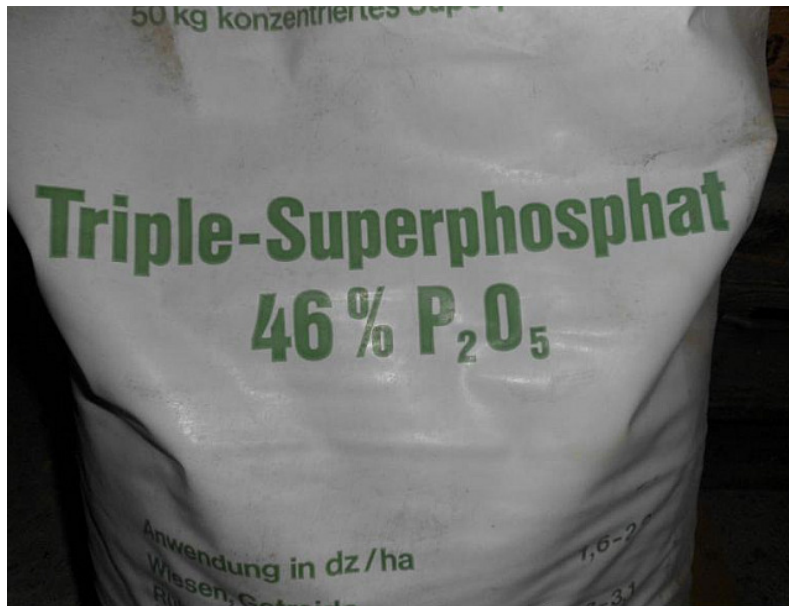


Abb. 5: Düngemittel Probe 1



Abb. 6: Probe 2, Superphosphat 18% von ICL Fertilizers

Zunächst wurde die spezifische Radon-Aktivität von jeweils 1kg Düngemittel-Granulat mit einem kommerziellen, werksseitig kalibrierten Radon Monitor vom Typ Sirad MR-106N der Firma Sinmor in einer 10 Liter Messkammer vermessen. Aus den Messdaten wurde mit einem Least-Mean-Square-Fit in die Messkurve auf die Gleichgewichtsaktivität extrapoliert.

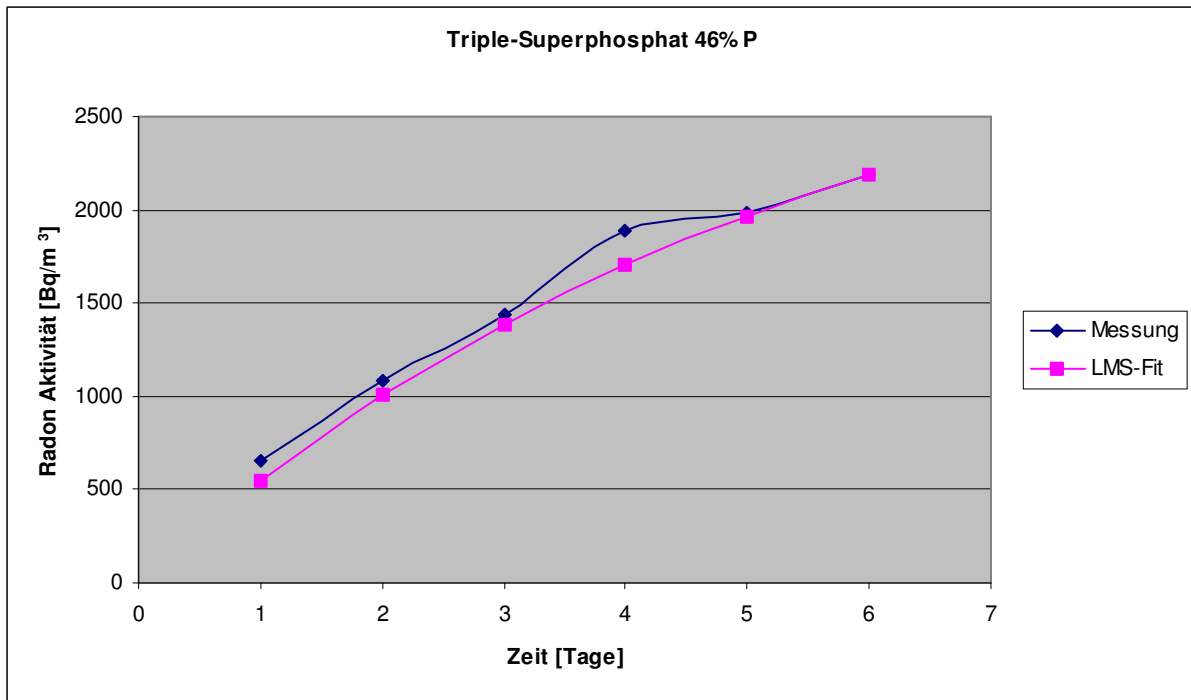


Abb. 7: Messung der Probe 1 mit dem Radon Monitor

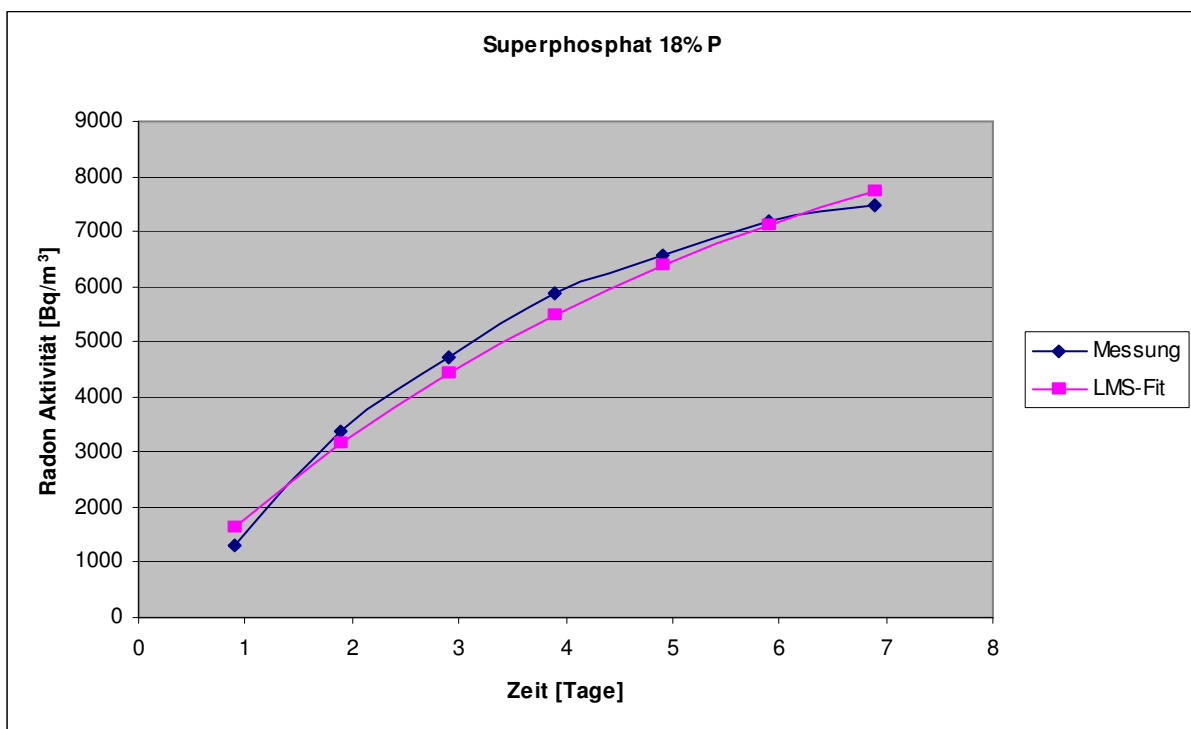


Abb. 8: Messung der Probe 2 mit dem Radon Monitor

Während das 46%-ige Triple-Superphosphat „nur“ einen Gleichgewichtswert von 3300Bq/m^3 lieferte, erreichte das 18%-ige Superphosphat den gewaltigen Wert von 10800Bq/m^3 . Der Unterschied zwischen beiden Düngemitteln ist ein Faktor von 3.27. Man kann daraus unmittelbar den Schluss ziehen, dass Lagerräume für größere Mengen uranhaltiger Düngemittel, wenn sie nicht ausreichend belüftet sind, gefährlich hohe Radonkonzentrationen in der Atemluft erreichen können (siehe auch [18]).

Für die maximal gemessene spezifische Radonaktivität von 10800Bq/m^3 in dem 10 Liter Kammervolumen der Messkammer und einem dazu geschätzten Urangehalt von etwa 350ppm (maximalwert in der Literatur), ergibt sich aus den oben genannten Formeln ein Gleichgewichtsfaktor von etwa $k_G = 40$. Oder in anderen Worten, die spezifische Uranaktivität ist also um den Faktor 40 größer als die des gemessenen Radons. Auf dieser Basis und der Annahme, dass sich andere Düngemittelgranulate ähnlich verhalten, können nun mit den obigen Formeln die Urangehalte verschiedener anderer Düngersorten abgeschätzt werden.

Nun wurde eine vergleichbare Messung mit dem Radon-empfindlichen Stuttgarter Geigerle durchgeführt. Hierbei wurde eine 5 Liter Kammer mit den beiden Düngemittel befüllt. Bei der Probe 1 wurden 1.4kg verwendet, bei Probe 2 1kg. Die Ergebnisse zeigen im Wesentlichen die selben Verhältnisse.

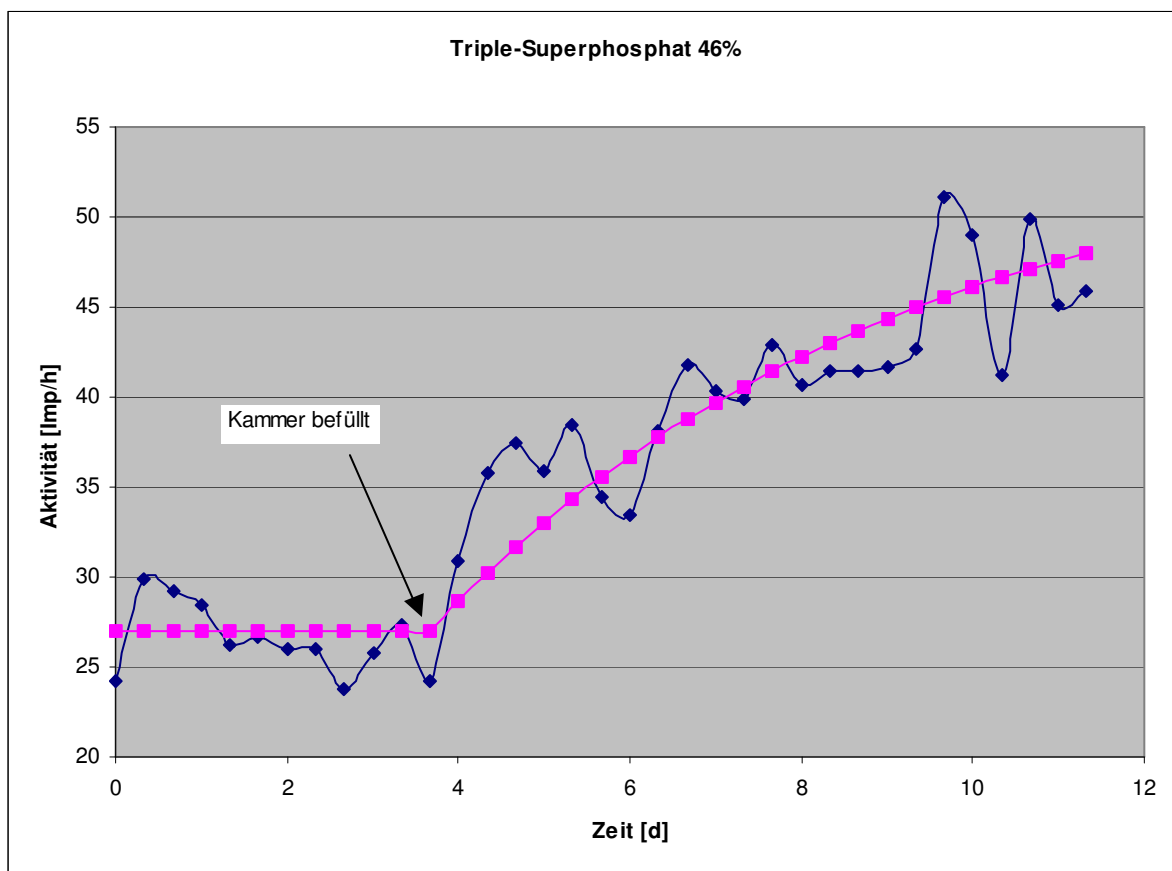


Abb. 9: Radon-Aktivität der Probe 1 (1.4kg), gemessen mit dem Stuttgarter Geigerle

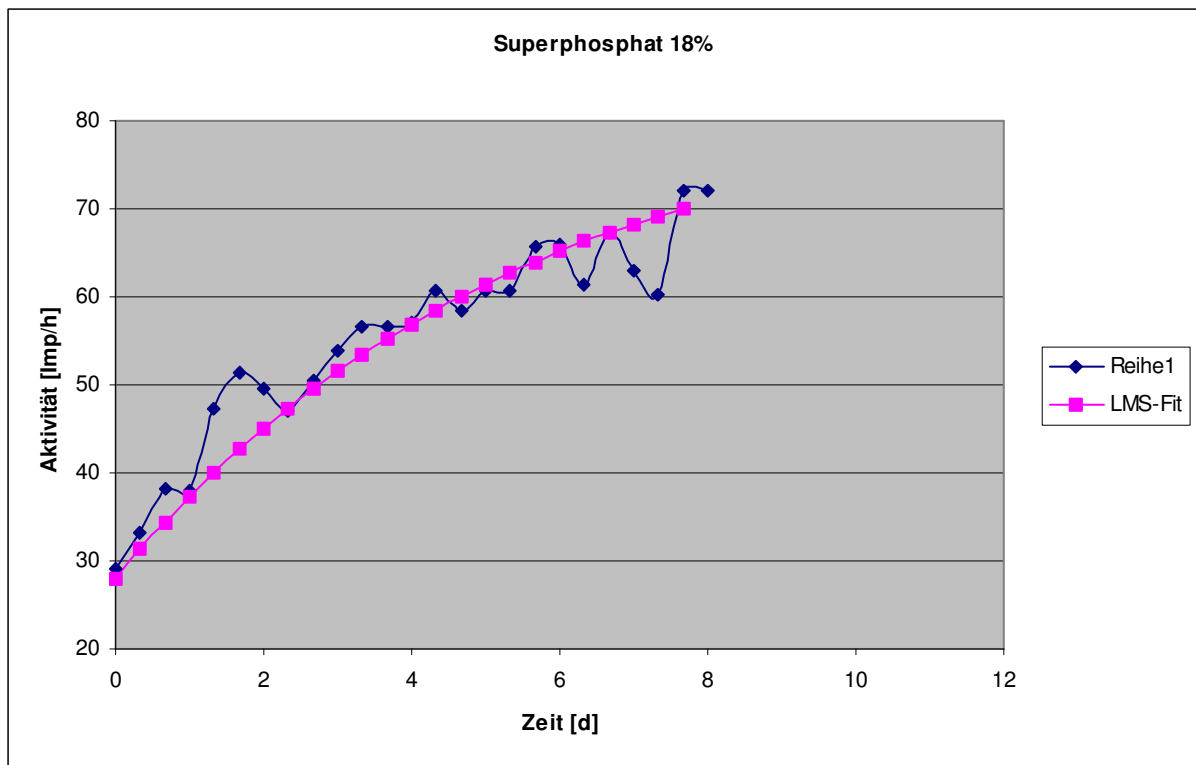


Abb. 10: Radon-Aktivität der Probe 2 (1kg), gemessen mit dem Stuttgarter Geigerle

Während beim Triple-Superphosphat ein Gleichgewichts-Zählrate von 28 iph ermittelt wurde, liegt diese beim Superphosphat von ICL Fertilizers bei 60 iph. Das Verhältnis der Probe 2 zur Probe 1 unter Berücksichtigung des Mengenverhältnisses von 1kg bei Probe 2 zu 1.4kg bei Probe 1 ergibt einen Wert von 3, was hervorragend zu dem Ergebnis mit dem Radon-Monitor passt. Aus den Messungen kann auch grob abgeschätzt werden, dass 1 iph gemessen mit dem Stuttgarter Geigerle etwa 100Bq/m^3 an spezifischer Radon-Aktivität entsprechen. Das ist der selbe Umrechnungswert, der sich bereits bei Messungen der Radon-Exhalation an Graniten ergeben hat. Daher kann man in die Messungen mit dem Selbstbaugerät durchaus Vertrauen haben.

Versuche mit einem normalen Geigerzähler

Die erreichten Radon-Aktivitäten sind doch so hoch, dass sich auch ein Versuch lohnt, mit einem herkömmlichen Geiger-Müller Zählrohr aber dünnem Zählrohrfenster zu messen. Dazu wurde von der weniger aktiven Probe 1 500g in ein Einmachglas mit Gummidichtung gegeben und der Geigerzähler mit in das Glas gestellt, allerdings mit dem Zählrohrfenster nach oben. Dabei wurde ein Alpha-Strahlungs-empfindlicher Geigerzähler der Firma Gammascout verwendet, der Messwerte in vorgebbaren Intervallen intern im Gerät speichern kann. Nach der Messung kann das Gerät aus dem Einmachglas entnommen werden und der Messwertspeicher mit dem PC ausgelesen werden.



Abb. 11: Radon-Exhalation aus Düngemittel, gemessen in einem Einmachglas mit einem herkömmlichen Alpha-empfindlichen Geigerzähler

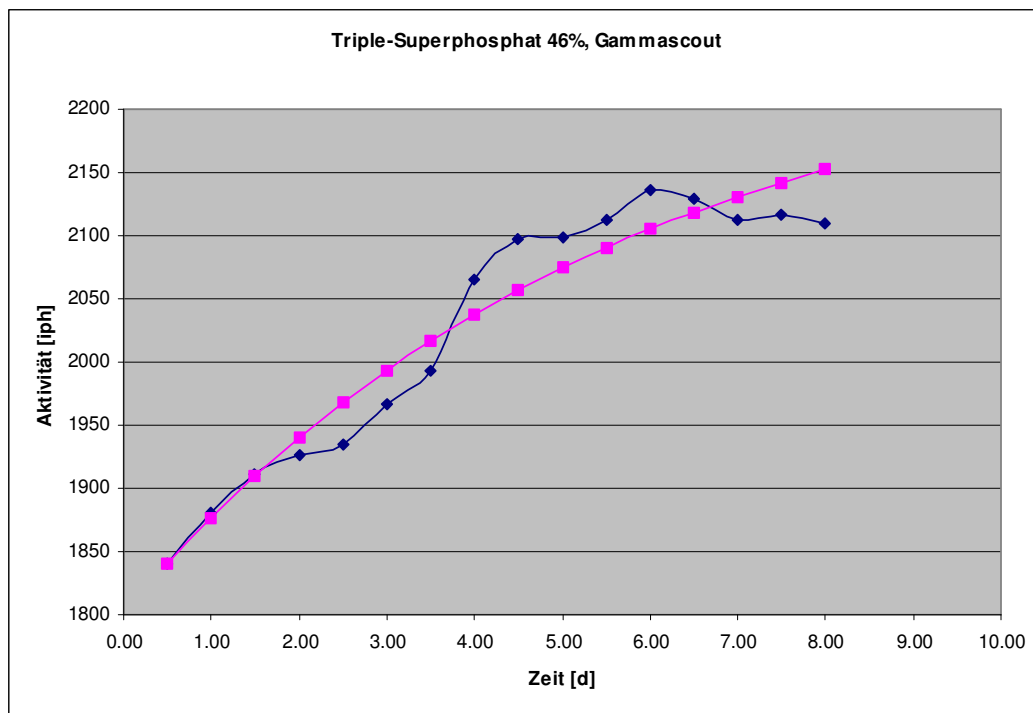


Abb. 12: Ergebnis der Radon-Exhalation aus Düngemittel, gemessen dem herkömmlichen Geigerzähler

Allerdings ist dieses Gerät werkseitig nicht auf Radon kalibriert sondern auf einen Cäsium-Prüfstrahler. Das bedeutet dass die angezeigte Gamma-Ortsdosisleistung in der Einheit $\mu\text{Sv/h}$ keine Aussage über die Radonaktivität zulassen. Man kann aber anstelle der Gamma-Ortsdosisleistung auch die reine Zählimpulsrate des Geräts auswerten, ähnlich wie beim Stuttgarter Geigerle. Dabei fällt im Vergleich zur Änderung durch die Radon-Aktivität eine hohe Nullrate auf, die von der sehr viel größeren Gamma-Empfindlichkeit des Zählrohrs herrührt, im Vergleich zur Empfindlichkeit für die Alphastrahlung. Dennoch kann man genauso den exponentiellen Verlauf des Radon-Aktivitätsaufbaus mit der Halbwertszeit von 3.8 Tagen erkennen.

Aufnahme von Radionukliden aus Phosphatdüngemitteln durch Pflanzen

Während die Experten bei den normalen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen mit hohem Phosphatbedarf, wie Mais, Getreide und Kartoffeln die Auffassung vertreten, dass die Aufnahme von Uran und seinen Zerfallsprodukten (e.g. Radium-226) eher gering ist [2, 3], so sieht die Sachlage bei der Tabakpflanze offensichtlich ganz anders aus. Das liegt vermutlich an der gänzlich anderen Anatomie dieser Pflanze. Hier geht man davon aus, dass die Tabakpflanze grundsätzlich eine Neigung dazu hat Radionuklide in den Blättern zu akkumulieren. Experimente verschiedener Forschergruppen haben gezeigt, dass vor allem das Zerfallsprodukt Polonium-210 im Zigarettenrauch auftaucht, in der Lunge deponiert wird und damit ein wesentlicher Verursacher von Lungenkrebs ist [22].

Es wurde ebenfalls gezeigt, dass der Einsatz uranhaltiger Phosphatdünger, in direktem Zusammenhang mit dem Poloniumgehalt des Tabakrauchs steht. Zitat aus [21]: „Tso, Harley, and Alexander conducted a soil experiment, testing two different kinds of fertilizers: a commercial superphosphate and a specially mixed fertilizer made from chemically pure secondary calcium phosphate. The differences between the two were remarkable. The commercial fertilizer had about thirteen times more radium-226 than the specially mixed fertilizer, resulting in polonium levels in the leaf that were nearly seven times higher.“ Von daher kann nicht grundsätzlich angenommen werden, dass Pflanzen keine Radionuklide aus Düngemitteln aufnehmen, es kommt vielmehr auf die Pflanze an. Glücklicherweise sind die heimischen Pflanzen, die wir in unserer landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion benutzen, anatomisch günstiger gebaut als die Tabakpflanze.

Schlußfolgerung

Man kann schnell erkennen, dass Phosphat-Düngemittel einen hohen Urangehalt aufweisen können, der auch deutlich höher liegen kann, als der von Graniten. Dieser Befund entspricht weitestgehend dem was man in der Fachliteratur auch finden kann. Auf Grund der Akkumulation des radioaktiven Radon-Gases kann bereits die Lagerung dieser Düngemittel in unbelüfteten, geschlossenen Räumen gesundheitsgefährdend sein. Das Ausbringen solcher Dünger, welches langfristig eine Kontamination des Grundwassers zur Folge hat, ist, wenn man den ALARA Grundsatz des Strahlenschutzes zugrundelegt (zu dem sich auch das Bundesministerium für Strahlenschutz bekannt hat) unverantwortlich. ALARA steht dabei für „as low as reasonably achievable“ und bedeutet, dass eine Strahlenexposition nicht über dem Wert liegt darf, welchen man mit vernünftigen Mitteln erreichen kann. Was aber noch weniger verständlich ist, dass der Urangehalt immer noch nicht gekennzeichnet werden muss und es auch keine Grenzwerte gibt, wie für andere ähnlich toxische Schwermetalle

auch, obwohl dies von vielen Experten bereits schon seit längerer Zeit gefordert wurde. Da eine effiziente Landwirtschaft ohne Nährstoffzufuhr in Form von Düngern nicht möglich ist, sind Landwirte und Düngemittelhändler auf die Angaben der Hersteller angewiesen, die aber in der Regel verschwiegen werden.

Auf der anderen Seite ist die Methode des Radon-Nachweises als Indikator für den Urangehalt eine sehr einfache und wirksame Möglichkeit Düngemittel zu prüfen. Bereits einfache, sehr kostengünstige Selbstbau-Geräte sind ausreichend um einen einfachen Screening Test auf Radon Exhalation durchzuführen. Ebenso geeignet sind damit auch billige Aktivkohle-basierte Radonsammler oder Radondetektoren auf der Basis von Kernspurfolien, welche für Kosten von wenigen 10 Euro in Fachlabors nach standardisierten Methoden ausgewertet werden. Solche Sammler und Detektoren wurden hauptsächlich für den Radon-Nachweis in Wohnräumen in Risikogebieten mit hohem Radon-Bodenluftgehalt entwickelt und werden heute umfangreich eingesetzt. Damit hätte auch ein gewissenhafter, ökologisch orientierter Landwirt oder Düngemittel-Händler eine Möglichkeit in der Hand um sicherzustellen, dass er ausschließlich uranarme Düngemittel einsetzt bzw. vertreibt.

Literatur

[1] Giftiges Uran in Gartendüngern

Uwe Leiterer

NDR Fernsehen Sendedatum: 12.09.2011 20:15 Uhr

<http://www.ndr.de/ratgeber/garten/uranduenger101.html>

[2] U-238, U-235, Th-232 und Ra-226 in einigen ausgewählten Rohphosphaten, Phosphatdüngern, Boden- sowie Pflanzenproben aus einem P-Düngungsversuch*

Wilhelm Römer, Michael Gründel, Friedrich Güthoff

JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN, 62 (6). S. 200–210, 2010, ISSN 0027-7479 VERLAG EUGEN ULMER KG, STUTTGART

<http://www.ulmer.de/artikel.dll/roemer-et->

[al_MTU5NDg3MQ.PDF?UID=AC5FDED1E1856E349901108A69EF467CA485E59403963450](http://www.ulmer.de/artikel.dll/roemer-et-al_MTU5NDg3MQ.PDF?UID=AC5FDED1E1856E349901108A69EF467CA485E59403963450)

[3] Eintrag von Uran über Phosphat- und KPN-Dünger: Gefahr für das Grundwasser?

Elke Süß

Referat zum Seminar Grundwasserschutz im SS 2005

TU Bergakademie Freiberg

http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/vorl_portal/gw-schutz/seminarvotr%E4ge/Uran%20aus%20Duenger%20-%20Gefahr%20f%FCr%20das%20Grundwasser.pdf

[4] Uran in Boden und Wasser

Claudia Dienemann, Jens Utermann

Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

TEXTE 37/2012; ISSN 1862-4804

<http://www.uba.de/uba-info-medien/4336.html>

[5] BfR empfiehlt die Ableitung eines europäischen Höchstwertes für Uran in Trink- und Mineralwasser

Gemeinsame Stellungnahme Nr. 020/2007 des BfS und des BfR vom 5. April 2007

http://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_empfiehl_die_ableitung_eines_europaeischen_hoehstwertes_fuer_uran_in_trink_und_mineralwasser.pdf

[6] Radioaktivität in Düngemitteln und Geschirreinigern

Umweltinstitut München e.V.

<http://umweltinstitut.org/radioaktivitat/messungen/uran-im-dunger-und-spulmittel-1025.html>

[7] Manchmal ist mehr drin als drauf steht - Phosphatdünger können große Mengen an Uran enthalten

Margit Fink

Pressemitteilung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 15.02.2005

<http://idw-online.de/pages/de/news100679>

[8] Stand der Phosphat-Reserven weltweit

Dr. Harald Elsner

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Braunschweiger Nährstofftage 2008

<http://www.thermal-hydrolysis.com/Phosphat-Reserven.pdf>

[9] Phosphor – so wichtig wie Luft, so knapp wie Erdöl?

Dr. Jörg Lange

GTZ Ecosan Programm

<http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/de-phosphor-working-paper-2009.pdf>

[10] Reichweite der Uran-Vorräte der Welt

Peter Diehl

http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/uranreport2006_lf.pdf

[11] Die neue Düngemittelverordnung: Was muss bei der Abgabe von Wirtschaftsdüngern beachtet werden?

Martina Buck, Regierungspräsidium Stuttgart

http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1246565/rps_Die%20neue%20D%FCngemittelverordnug.pdf

[12] Düngemittelverordnung (DüMV)

http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1191414_l1/06.02.,2009%20-%20DüMV.pdf

[13] Düngegesetz (DüngG)

http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1237843_l1/09.01.2009%20-%20Düngegesetz.pdf

[14] Düngeverordnung (DüV)
http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1186231_I1/Düngeverordnung.pdf

[15] Radon-Broschüre des Landes Baden-Württemberg
http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/65267/Radon_Broschuere_bw.pdf?command=downloadContent&filename=Radon_Broschuere_bw.pdf

[16] Selbstbauanleitungen zum Stuttgarter Geigerle
Bernd Laquai
<http://opengeiger.de>

[17] Nachweis der Radon-Exhalation an Graniten mit dem Stuttgarter Geigerle
Bernd Laquai
<http://opengeiger.de>

[18] Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil
C. H. Saueia, B. P. Mazzilli, D. I. T. Fávoro
Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 264, No. 2 (2005) 445-448
<http://www.ipen.br/biblioteca/2005/10938.pdf>

[19] Radioactivity Distribution in Phosphate Products, By-Products, Effluents, And Wastes
Richard J. Guimond, Samuel T. Windham
Environmental Protection Agency, Unated States, August 1975
<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/9100JWQ.PDF>

[20] Radioactive Smoke: A Dangerous Isotope Lurks in Cigarettes
Brianna Rego
January 2011, ScientificAmerican.com
<http://www.briannarego.com/RegoSciAm2011.pdf>

[21] The Polonium Brief: A Hidden History of Cancer, Radiation, and the Tobacco Industry
Brianna Rego
Isis, 2009100:453-484
<http://www.briannarego.com/Regolsis2009.pdf>

[22] Polonium and Lung Cancer
Vincenzo Zag`a, Charilaos Lygidakis, Kamal Chaouachi, and Enrico Gattavecchia
Journal of Oncology, Volume 2011, Article ID 860103
<http://www.hindawi.com/journals/jo/2011/860103/>