

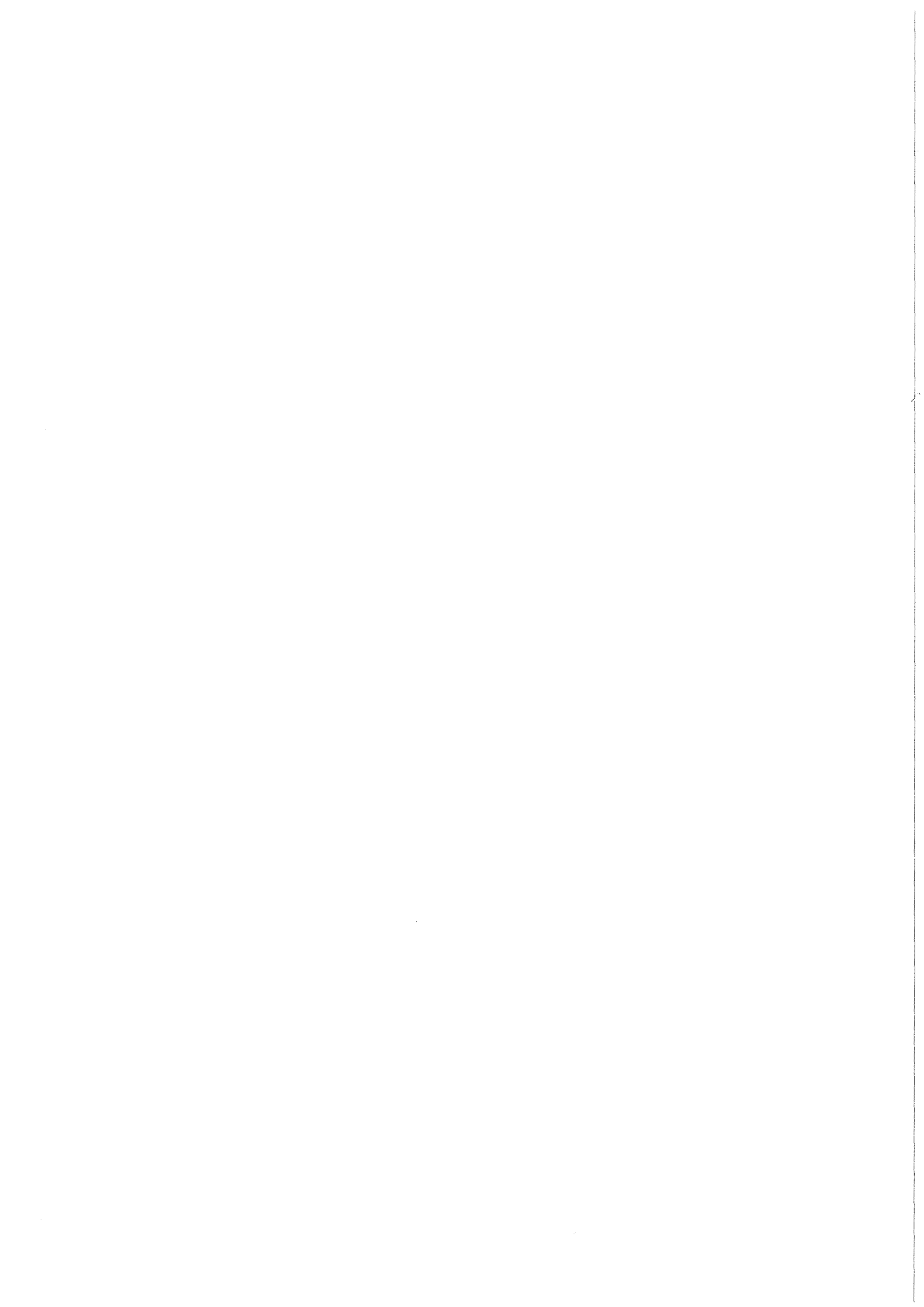
KfK 3282  
März 1982

**Die Dosisexposition der  
Umgebungsbevölkerung durch  
natürliches und aus einer  
uranhaltigen Halde emittiertes  
Ra-226 und Pb-210**

**Radioökologische Untersuchungen in  
Wittichen**

H. Schüttelkopf, H. Kiefer  
Hauptabteilung Sicherheit

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 3282

Die Dosisexposition der Umgebungsbevölkerung durch  
natürliches und aus einer uranhaltigen Halde emittiertes  
Ra-226 und Pb-210 - Radioökologische Untersuchungen in Wittichen

H. Schüttelkopf, H. Kiefer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Die Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Luft-, Erd-, Oberflächenwasser- und Nahrungsmittelproben entsprechen den bekannten Durchschnittswerten dieser Konzentrationen. Höhere Konzentrationen wurden in Erdproben von alten Halden und in Oberflächenwässern, die mit solchen Halden Kontakt haben, und in Gras und Pilzen, die auf solchen Halden gewachsen sind, gefunden.

Unter der Annahme einer quantitativen Deckung des Jahreskonsums durch lokalproduzierte Nahrungsmittel errechnet man eine Jahresaufnahme von 925 pCi Ra-226/a und 2 772 pCi Pb-210/a. Diese Jahresaufnahmen entsprechen einer 2,1fachen Überschreitung der von der Strahlenschutzverordnung zugelassenen Maximalwerte.

Die für Ra-226 in anderen Teilen des Schwarzwaldes gefundenen Transferfaktoren werden im Raum Wittichen weitgehend bestätigt. Die verglichen mit den Ra-226-Konzentrationen relativ hohen Pb-210-Konzentrationen von Gras und Blattgemüse sind Folge der Ablagerung von Pb-210 aus der bodennahen Luft. Die aus den Konzentrationen von Pb-210 in der bodennahen Luft und in Pflanzen abgeleiteten Depositionsgeschwindigkeiten bzw. die effektiven Halbwertszeiten von Pb-210 ordnen sich in die Reihe bereits bekannter Werte sinnvoll ein.

Tiefenprofile von Ra-226, Pb-210 und Po-210 von einer Wiese und einer Halde sind wegen der komplizierten Gesamtvorgänge sehr schwer zu interpretieren. Auch nach mehr als eineinhalb Jahrhunderten ist die Auswaschung von Ra-226 aus dem uranhaltigen Haldenmaterial unbedeutend. Die Auswaschung von Pb-210 und Po-210 erfolgt wesentlich schneller.

The dose exposure of the environmental population caused by natural Ra-226 and Pb-210 and released from uraniferous heaps - Radioecological research around Wittichen

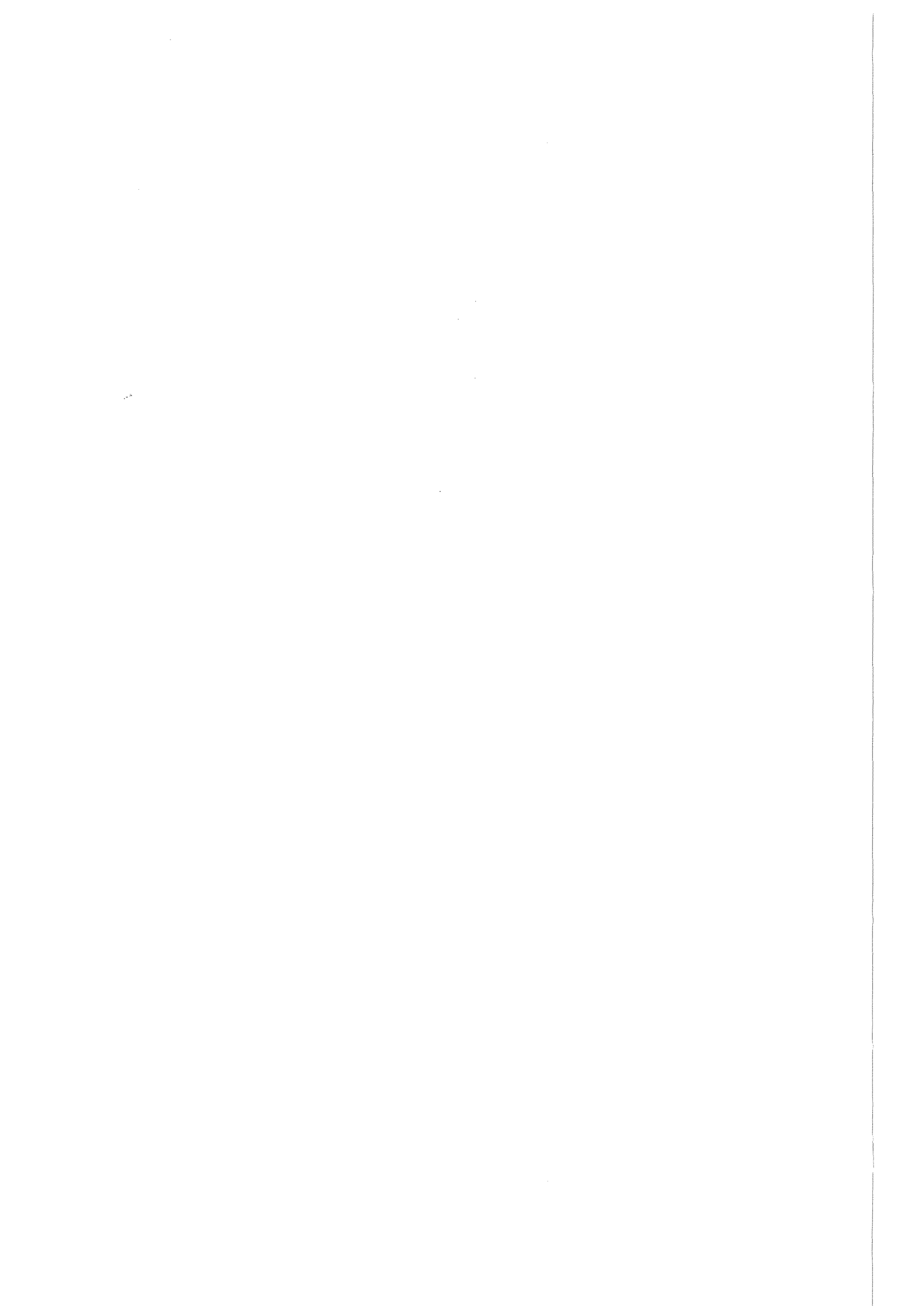
Abstract

The concentrations of Ra-226 and Pb-210 in samples of air, soil, surface water, and foods from Wittichen agree well with the average environmental concentrations. Higher values are found in soil samples from old heaps, in surface waters being in contact with these heaps and in grass and mushrooms grown on such heaps.

On the supposition that only locally produced foods are used for annual intake, an annual activity intake of 925 pCi Ra-226 and 2 772 pCi Pb-210 is determined. These annual intakes are higher by a factor of 2.1 compared with the maximum permissible intakes given by the radiation protection ordinance of law.

The transfer factors determined in other parts of the black forest are in accordance with the values found in Wittichen. Comparing the Ra-226 concentrations with the Pb-210 concentrations in grass and leafy vegetables the latter are pretty high; the contamination of this kind of samples is caused by the deposition of Pb-210 from ground level air. Using Pb-210 concentrations in air and plants, one achieves deposition velocities and effective half-lives, respectively, which agree very well with values already known.

For depth profiles of Ra-226, Pb-210, and Po-210 in soil of a meadow and a heap, the interpretation of the results achieved is difficult, since the processes of contamination and decontamination are very complicated. Still after more than one and a half century the transport of Ra-226 from the uraniferous material to deeper soil layers is negligible. The transport of Pb-210 and Po-210 is much faster.





<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Problemstellung	1
2. Meßergebnisse	1
2.1 Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik	1
2.2 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Erdproben	2
2.3 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Oberflächenwässern	3
2.4 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Luftproben	3
2.5 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Gras- und Heuproben	3
2.6 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Blättern und Nadeln von Bäumen auf der Fritsche-Halde	4
2.7 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in pflanzlichen Nahrungsmitteln	4
2.8 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Milchproben	4
2.9 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in anderen Nahrungsmitteln und in Trinkwasser	5
3. Diskussion der Ergebnisse	
3.1 Die Kontamination der Umgebung von Wittichen mit Ra-226	5
3.2 Die Kontamination der Umgebung von Wittichen mit Pb-210 und Po-210	7
3.3 Die Berechnung von Transferfaktoren	10
3.4 Die Depositionsgeschwindigkeit von Pb-210	11
3.5 Die Tiefenverteilung der Radionuklide im Boden	13
3.6 Die Dosisexposition der Bevölkerung	15
4. Literatur	17

## 1. Problemstellung

Bis vor mehr als 150 Jahren wurde im Graben von Wittichen bei Alpirsbach Bergbau auf Kobalt und Silber betrieben. Das kobalt- und silberfreie Material wurde aus den Stollen entfernt und meist sehr nahe dem Stollen zu Halden aufgeschüttet. In diesem kobalt- und silberfreien Material befand sich auch Uran, das entweder nicht bekannt war oder wenigstens nicht genutzt wurde.

Zielsetzung der Untersuchung war es, zu überprüfen, ob durch die teilweise Kontamination der Umgebung des Dorfes Wittichen mit Uran und seinen Folgeprodukten eine nennenswert erhöhte Dosisbelastung der Bevölkerung auftritt. Zu diesem Zweck mußten neben den Konzentrationen von Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Probenmaterialien aus der direkten Umgebung der Halden Lebensmittel und zum Vergleich dienende Proben aus der weiteren Umgebung der Halden untersucht werden. Da die Beweglichkeit von Ra-226 und Pb-210 in den Halden uranverarbeitender Betriebe von höchstem Interesse ist, war zu prüfen, ob auf den eineinhalb Jahrhunderte der Witterung ausgesetzten Halden ein Transport der genannten Radionuklide in die Tiefe erfolgt ist.

## 2. Meßergebnisse

### 2.1 Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik

Auf Ra-226, Pb-210 und Po-210 wurden Erzproben, Oberflächenwässer, Luftproben, Proben aller lokal produzierten Nahrungsmittel, Trinkwasser-, Gras- und Wildpflanzenproben untersucht. Wasserproben wurden durch Schöpfen als einzelne Stichproben, durch mehrfaches Schöpfen als Mischproben und quasikontinuierlich mit batteriebetriebenen Probenahmegeräten entnommen. Erd-

proben wurden durch Ausstechen mit Stahlzylindern bis zur gewünschten Tiefe gesammelt. Luftstaub wurde auf organischen Filtern abgeschieden aus einem Luftstrom, der mit einem Hochleistungsgebläse angesaugt wurde.

Die Probenvorbereitung umfaßte das Eindampfen der 10- bis 50-Liter-Wasserproben und das Trocknen der anderen Proben im Trockenschrank oder in einer Gefriertrocknungsanlage. Die Veraschung wurde durchgeführt mit einem Hochfrequenzofen im  $O_2$ -Strom bei  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , mit  $HCl/HNO_3$  bei Siedehitze oder durch Trockenveraschung bei  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Zur Bestimmung von Ra-226 wurde die chemische Abtrennung durch Mitfällung mit  $BaSO_4$ , die Emanationsmethode und die Gammaskpektrometrie nach Gleichgewichtseinstellung zwischen Radium und seinen Folgeprodukten benutzt. Die Messung erfolgte dabei entweder in einem Low-level-Alphaeßplatz, einer Radonmeßanlage mit  $ZnS(Ag)$ -Szintillator oder am  $Ge(Li)$ -Detektor mit Gammaskpektrometer. Pb-210 wurde mit Trioctylamin extrahiert und nach weiterer Reinigung wurde Bi-210 abgetrennt. Das neu aufgebaute Bi-210 wurde nach fünf Tagen in einem Low-level-Betameßplatz gemessen. Po-210 wird aus den gelösten Proben auf einer Ag-Folie abgeschieden und alphaspektrometrisch gemessen. Zur Bestimmung der chemischen Ausbeuten wurde für Ra-226 eine bekannte Menge  $Ba^{2+}$ , für Pb-210 eine bekannte Menge  $Pb^{2+}$  und  $Bi^{3+}$  und für Po-210 eine bekannte Aktivität von Po-208 benutzt.

Die Standardabweichungen der Ra-226-Bestimmungen liegen bei 10 - 15 %, die der Pb-210-Bestimmungen bei 5 - 10 % und die der Po-210-Bestimmungen im %-Bereich.

## 2.2 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Erdproben

Zur späteren Berechnung von Transferfaktoren wurden Erdproben in verschiedenen Gärten, auf Feldern und Wiesen bis zu einer

Einstichtiefe von ca. 10 cm entnommen. Zusätzlich wurde auf der Fritsche-Halde eine größere Zahl von Erdproben entnommen, gleichzeitig mit dem Einsammeln von Laub und Nadeln von Bäumen auf der Fritsche-Halde. Die mittlere Einstichtiefe betrug hier ca. 80 cm. Auf einer Wiese in Hinter-Wittichen und auf der Fritsche-Halde wurden zwei Tiefenprofile schichtweise entnommen und auf die genannten Radionuklide analysiert. Die Ergebnisse sind in den Tabn. 1 bis 4 wiedergegeben bzw. in den Abbn. 1 und 2.

### 2.3 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Oberflächenwässern

Eine quasikontinuierliche Probenahme erfolgte am Löschteich, am alten Schmiedestollen, am Klosterbach beim Kloster und am Clara-Stollen. Außerdem wurden Stichproben an praktisch allen Bächen, im Witticher Graben und an einigen Gewässern in der näheren Umgebung entnommen. Bei einem Teil der Proben wurde der Einfluß des Filtrierens vor der Ra-226-Analyse untersucht. Die Ergebnisse der automatischen Wasserprobensammlung sind in den Tabn. 5 bis 8 wiedergegeben. In Tab. 9 sind die Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen für andere Oberflächenwässer angegeben und in Tab. 10 die Ra-226-Ergebnisse der filtrierten und nichtfiltrierten Oberflächenwässer.

### 2.4 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Luftproben

An Orten mit höherem Dosisuntergrund wie dem alten Schmiedestollen, der Fritsche-Halde und der Sophia-Halde wurden Luftproben gesammelt. Die Konzentrationen der genannten Radionuklide sind Tab. 11 wiedergegeben.

### 2.5 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Gras- und Heuproben

Gras- und Heuproben wurden gesammelt, um Boden/Gras und Gras/Milch-Transferfaktoren berechnen zu können. Sie wurden daher

von Orten erhöhter Dosisleistung und von Wiesen genommen, von denen die Nutzung durch Milchkühe bekannt war. Die Ergebnisse sind in Tab. 12 wiedergegeben.

#### 2.6 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Blättern und Nadeln von Bäumen auf der Fritsche-Halde

Frische Nadeln und frisches Laub von Bäumen auf der Fritsche-Halde wurden gemeinsam mit Erdproben aus dem Wurzelbereich der Bäume gesammelt. In etwa 2 km Entfernung am gegenüberliegenden Hang des Witticher-Grabens wurden 2 Vergleichsproben entnommen. Die Ergebnisse der Radionuklidbestimmungen sind in Tab. 13 wiedergegeben.

#### 2.7 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in pflanzlichen Nahrungsmitteln

Der Wittichener-Graben ist im wesentlichen bedeckt mit Wald und Wiesen. Nur sehr kleine Flächen werden genutzt, um pflanzliche Nahrungsmittel zu erzeugen. Dazu gehören die üblichen Hausgärten und einige wenige Felder, auf denen Getreide, Kartoffeln und Futterpflanzen gezogen werden. Die Konzentrationen der interessierenden Radionuklide in den untersuchten Gemüseproben werden in Tab. 14 dargestellt, die Ergebnisse für Kartoffeln, Rüben, Äpfel und Pilze in Tab. 15 und die Ergebnisse für Getreide in Tab. 16.

#### 2.8 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in Milchproben

Die Probenahme erfolgte bei den Familien Armbruster, am Wüstenbach, Wenzel und Mendele in Vorder-Wittichen und Armbruster in Hinter-Wittichen. Außerdem wurden Proben von der Milchsammelstelle Springmann in Wittichen und der Milchzentrale in Schenkenzell untersucht. An den Sammelstellen wurden zwischen 8 und 32

Proben genommen. Die Ergebnisse werden in den Tabn. 17 bis 21 wiedergegeben.

### 2.9 Ra-226, Pb-210 und Po-210 in anderen Nahrungsmitteln und in Trinkwasser

Die Gesamtzahl der im Wittichener-Graben produzierten Nahrungsmittel ist gering. Zusätzlich zu den genannten Nahrungsmitteln wurden daher nur eine Forellenprobe und eine Probe Waldhonig auf die interessierenden Nuklide untersucht (Tab. 22).

Trinkwasserproben wurden bei den Familien Armbruster in Hinter-Wittichen und am vorderen Wüstenbach, im Haus am alten Schmiedestollen, bei den Familien Springmann in Vorder-Wittichen und am vorderen Wüstenbach und bei der Wasserversorgung Hinter-Wittichen und Schenkenzell gesammelt. Die Ergebnisse der Trinkwasseranalysen sind in den Tabn. 23 bis 29 wiedergegeben.

## 3. Diskussion der Ergebnisse

### 3.1 Die Kontamination der Umgebung von Wittichen mit Ra-226

Die Ra-226-Konzentration in Bodenproben entspricht dem Bundesdeutschen Durchschnitt mit wenigen Ausnahmen, die nahe oder auf alten Halden gefunden wurden. Der Normalwert für die Bundesrepublik Deutschland von 0,5 bis 1,0 pCi Ra-226/g Boden, trocken, wird außerdem überschritten von vielen Proben, die auf der Fritsche-Halde genommen wurden. Die höchsten Bodenkonzentrationen wurden mit 302 pCi/g Boden bei der Aufnahme eines Tiefenprofils auf der Fritsche-Halde gefunden. Die eigentlich kontaminierte Schicht liegt in 20 bis 35 cm Tiefe. Eine landwirtschaftliche Nutzung dieser Fläche erfolgt nicht, da die Fritsche-Halde bewaldet ist.

Oberflächenwasser enthält im allgemeinen Ra-226-Konzentrationen unter 0,3 pCi/l. Bei der quasikontinuierlichen Probenahme wurden im Bach am Alten Schmiedestollen und im Wasseraustritt am Clara-Stollen teilweise wesentlich höhere Konzentrationen von Ra-226 gemessen. Beide Bäche werden nicht als Trinkwasser benützt und sind für Forellen zu klein. Sie münden beide in den Klosterbach und werden durch diesen auf Normalwerte verdünnt. Die Ergebnisse der Stichproben von Oberflächenwässern bestätigen im wesentlichen die Ergebnisse bei der automatischen Probenahme. Die Filtration von Oberflächenwässern vor der Ra-226-Analyse führt zu einer Reduktion der gemessenen Ra-226-Konzentration. Die Reduktion liegt aber etwa im gleichen Bereich wie die natürliche Schwankung der Ra-226-Konzentrationen.

Die in der Umgebungsluft gemessenen Ra-226-Konzentrationen liegen nahe der Nachweisgrenze der von uns benutzten Methode; die gemessenen Werte liegen etwa um den Faktor 2 bis 5 über der normalen Konzentration in Luft. Die Konzentration von Ra-226 in Gras und Nadeln bzw. Blättern von Bäumen schwankt über mehrere Größenordnungen. Die Werte für Gras dürfen aufgrund der Erfahrungen im Süd- und Nordschwarzwald als weitgehend normal angesehen werden. Bei den Nadeln und Blättern von Bäumen auf der Fritsche-Halde zeigt sich, daß der Radiumgehalt von Laub wesentlich höher ist als der Radiumgehalt von Nadeln.

Die Ra-226-Konzentrationen von Gemüse und anderen pflanzlichen Nahrungsmitteln sind sehr niedrig bis normal. Eine Ausnahme bilden praktisch nur die in der Nähe des Alten Schmiedestollens gesammelten Mischpilze, die 150 pCi Ra-226/kg Frischgewicht enthalten haben.

In der Milch dürfen Ra-226-Konzentrationen unter 0,3 pCi/l als Normalwerte angesehen werden. Dieser Wert wird nur in wenigen Ausnahmefällen in Milchproben aus Wittichen und Umgebung überschritten.

Für Trinkwasser gilt als Normalwert für Ra-226 ebenfalls < 0,3 pCi/l. Dieser Wert wird in den im Raum Wittichen untersuchten Trinkwasserproben im allgemeinen nicht erreicht. Eine Ausnahme stellt die Trinkwasserversorgung des Hauses am Alten Schmiedestollen dar. Hier liegen die Ra-226-Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,9 pCi/l mit einem Mittelwert von 0,5 pCi/l [1, 2, 3 und 4].

### 3.2 Die Kontamination der Umgebung von Wittichen mit Pb-210 und Po-210

Beim größten Teil der Bodenproben dürfen Ra-226 und Pb-210 miteinander im Gleichgewicht stehen. Zusätzlich erfolgt aber durch die Ablagerung von Pb-210 und den offensichtlich relativ schnellen Transport in der obersten Bodenschicht eine Kontamination der Erde, die sich besonders bei sehr niedrigen Ra-226-Konzentrationen bemerkbar macht. Die Pb-210- und Po-210-Konzentrationen stimmen weitgehend überein, dies entspricht dem erwarteten säkularen Gleichgewicht.

Bei Oberflächenwässern liegen nicht genügend Untersuchungen vor, um eine allgemeine Aussage für die zu erwartenden normalen Konzentrationen von Pb-210 und Po-210 in der Bundesrepublik Deutschland machen zu können. Die Pb-210-Konzentration scheint weitgehend konstant zu sein und ist bei niedrigen Ra-226-Kontaminationen gleich hoch wie die von Ra-226 oder höher und bei höheren Ra-226-Kontaminationen niedriger. In Wittichen wurden im allgemeinen Werte zwischen 0,3 und 0,8 pCi/l gemessen.



In der bodennahen Luft wurden 22 fCi Pb-210/m<sup>3</sup> und 2,8 fCi Po-210/m<sup>3</sup> gemessen. Diese Werte entsprechen weitgehend denen in der Umwelt üblichen von 15 fCi Pb-210/m<sup>3</sup> und 3 fCi/m<sup>3</sup> Po-210. Während der Ra-226-Gehalt von Gras-, Laub- und Nadelproben stark schwankt, sind die Werte für Pb-210 weitgehend konstant. Die Ursache dürfte die hauptsächliche Herkunft von Pb-210 aus der Umgebungsluft und nicht wie bei Ra-226 aus dem Boden sein. Auch Po-210 dürfte im wesentlichen aus der Atmosphäre stammen. Für die Gemüseproben gilt, daß praktisch alle Pb-210-Konzentrationen, die von uns gemessen wurden, größer sind als die Ra-226-Konzentrationen. Weniger ausgeprägt gilt dies auch für pflanzliche Nahrungsmittel wie Kartoffeln, Äpfel, Rüben und Getreide.

Der größte Teil der Pb-210-Konzentrationen in Milch lag unter der Nachweisgrenze unserer Methode. Die über der Nachweisgrenze liegenden Meßwerte lagen zwischen 0,8 und 7 pCi/l. Diese Werte liegen wesentlich über den Konzentrationen von Ra-226.

In den meisten Trinkwasserproben waren die Pb-210-Konzentrationen unter 1 pCi, aber etwas höher als die Ra-226-Konzentrationen. Die Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Forellen und Waldhonig sind sehr niedrig und die Vermutung, daß Waldhonig eine hohe Pb-210-Kontamination aufweist, analog zur relativ hohen und ebenfalls aus der Atmosphäre stammenden Pu-239-Kontamination, konnte nicht bestätigt werden.

Bei der Bestimmung von Ra-226 und Pb-210 in allen Probenmaterialien, die in den Tabn. 1 bis 29 angeführt wurden, gab es keine Probleme. Eine Reihe von chemischen Schwierigkeiten

traten allerdings auf bei der Analytik von Polonium. Die eigentliche Analytik, speziell die Abtrennung von Polonium aus gelösten Proben und die Präparation für die  $\alpha$ -Spektrometrie sind weitgehend problemlos. Um so schwieriger gestaltete sich die Probenvorbereitung. Bei wäßrigen Proben, die grundsätzlich mit  $\text{HNO}_3$  zwischen 0,1 und 1 M angesäuert waren, kam es bei längeren Lagerzeiten zu irreversiblen Adsorptionen an oder in den Wänden der zur Lagerung benutzten Polyäthylengefäße. Dies bedeutet, daß ein Teil der Poloniumkonzentration in den Oberflächen- und Trinkwasserproben wegen der bei einem Teil der Proben notwendigen Lagerung von mehreren Wochen zu klein sind.

Beim Trocknen und dem bei Poloniumproben üblichen Naßveraschen mit Königswasser wurde in einzelnen Fällen festgestellt, daß bis zu 30 % des Poloniums durch Verflüchtigung verloren ging. Bei Anwendung unserer Umlaufeindampfanlage auf poloniumhaltige Wässer wurde bei einer Betriebstemperatur von 100 °C ebenfalls ein erheblicher, zum Teil quantitativer Verlust des Poloniums beobachtet. Daher wurden nach ersten Erfahrungen dieser Art alle weiteren Proben bei 80 °C getrocknet und bei 80 °C in einem Hochfrequenzofen im Sauerstoffstrom verascht. Für einen Teil der Proben, die bei 80 °C im Trockenschrank nicht trockenbar sind, wurde eine Gefriertrocknungsanlage angewendet. Sowohl die Gefriertrocknung als auch das langsame Eindampfen und die Veraschung im Hochfrequenzofen sind sehr zeitraubend. Dies bedeutet, daß ein Teil der Milch- und Pflanzenproben zwischen Probenahme und der Abtrennung des Poloniums sehr lange gelagert werden mußte. In dieser Zeit hat das vorhandene Pb-210 Po-210 nachgebildet, und daher sind bei einem großen Teil der angegebenen Proben die Po-210-Konzentrationen höher als sie zum Zeitpunkt der Probenahme waren.

Die Radiotoxizität von Po-210 ist wesentlich niedriger als die von Pb-210 und von Ra-226. Die Po-210-Konzentrationen wurden so wie sie erhalten wurden in den entsprechenden Tabellen angegeben; eine Verwendung der Daten zur Berechnung von Transferfaktoren und von Depositionsgeschwindigkeiten erfolgte nicht [3 und 4].

### 3.3 Die Berechnung von Transferfaktoren

Unter Transferfaktoren versteht man die Konzentrationsverhältnisse oder proportionale Größen von Pflanzen oder pflanzlichen Nahrungsmittel zu Boden, Gras zu Milch, Gras zu Fleisch und Fisch zu Wasser. Diese Transferfaktoren erlauben bei veränderten absoluten Konzentrationsverhältnissen, z. B. aus den Konzentrationen in Boden, die Konzentrationen der interessierenden Radionuklide in Gras oder bei Kenntnis der Konzentrationen in Gras die Konzentrationen in Milch und Fleisch zu berechnen.

In Tab. 30 werden die Transferfaktoren Gras/Boden angegeben. Sie streuen über 3 Größenordnungen mit einem Mittelwert von 0,3. In Tab. 31 werden Transferfaktoren für Nadeln und Laub zu Boden für Ra-226 von der Fritsche-Halde angegeben. Der Transferfaktor für Nadeln ist ungefähr um den Faktor 10 kleiner als der für Laub, der von Laub ist etwa halb so groß als der Transferfaktor Gras/Boden. Die Transferfaktoren für Ra-226 für Gemüse, Getreide und andere pflanzliche Nahrungsmittel/Boden sind in den Tabn. 32 bis 34 angegeben. Sie liegen bei ca. 0,01.

In Abb. 3 wurden die Pb-210-Konzentrationen von Gras und Heu, Tannennadeln, Laub und Blattgemüse gegen die Ra-226-Konzentrationen der gleichen Pflanzen aufgetragen. Trotz einer Schwan-

kung der Ra-226-Konzentrationen über 3 Größenordnungen bleibt der Pb-210-Konzentrationswert innerhalb von einer Größenordnung. Ra-226 gelangt hauptsächlich über die Wurzel Aufnahme in Pflanzen. Würde Pb-210 ebenfalls über diesen Weg in die Pflanzen gelangen, und würden für beide weitgehend konstante Boden/Pflanze Transferfaktoren gültig sein, müßte die Pb-210-Konzentration der Pflanzen proportional ihrer Ra-226-Konzentration sein; dies ist zumindest dann zu erwarten, wenn die Konzentrationen von Ra-226 und Pb-210 im Boden im gleichen Bereich liegen.

Die in Abb. 3 wiedergegebene Unabhängigkeit der Pb-210-Konzentration von der Ra-226-Konzentration zeigt, daß Pb-210 von einer anderen Quelle als dem Boden, nämlich aus der Atmosphäre stammt. Dies ist der Grund, warum keine Transferfaktoren für Pb-210 für Gras zu Boden, Nadeln und Laub zu Boden und Blattgemüse zu Boden berechnet wurden. Für Getreide, Kartoffeln, Rüben, Zwiebeln, Äpfel und Mischpilze darf eine nennenswerte Kontamination durch Ablagerung aus der Atmosphäre ausgeschlossen werden. Daher wurden für diese pflanzliche Nahrungsmittel Transferfaktoren berechnet. Sie liegen um den Faktor 2 bis 7 über dem für den Ra-226-Transfer.

Für den Transfer Gras/Milch wurden Transferfaktoren für Ra-226 und Pb-210 berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 35 aufgeführt. Die Transferfaktoren für Milch liegen bei 0,03 und damit um den Faktor 3 bis 4 höher als die für Pb-210 [3 und 4].

#### 3.4 Die Depositionsgeschwindigkeit von Pb-210

Berücksichtigt man, daß die Ablagerung von Aerosolen der bodennahen Luft pro Fläche proportional ist der Aerosolkonzentration der bodennahen Luft und nimmt man einen exponentiellen Dekontaminationsprozeß als die allgemeinste Darstellung der

Dekontamination von Gras und Blattgemüse an, dann erhält man

$$A(t) = \frac{V_G \cdot C_L \cdot T_{1/2\text{eff}}}{\ln 2} (1 - e^{-\lambda_{\text{eff}} \cdot t}) \quad (1)$$

Dabei ist:

$A(t)$  = abgelagerte Aktivität zur Zeit  $t$  in  $\text{Ci}/\text{m}^2$

$V_G$  = Depositionsgeschwindigkeit in  $\text{m}/\text{s}$

$C_L$  = Aktivitätskonzentration in der Luft in  $\text{Ci}/\text{m}^3$

$T_{1/2\text{eff}}$  = effektive Halbwertszeit der Aktivität auf der Pflanze in  $\text{s}$

$\lambda_{\text{eff}}$  =  $\ln 2 / T_{1/2\text{eff}}$

$t$  = Dauer der Ablagerung in  $\text{s}$

Berücksichtigt man, daß bei langlebigen Radionukliden die effektive Halbwertszeit etwa 14 d gesetzt wird, so darf ein Gleichgewichtszustand zwischen der Konzentration von Pb-210 in der Luft und an Gras bzw. Blattgemüse angenommen werden. Bezieht man außerdem auf eine Bewuchsdichte von  $0,85 \text{ kg}/\text{m}^2$  bzw.  $2,4 \text{ kg}$  Blattgemüse pro  $\text{m}^2$  erhält man

$$V_G \cdot T_{1/2\text{eff}} = \frac{A_G \cdot \ln 2 \cdot F}{C_L} \quad (2)$$

Dabei ist:

$A_G$  = Gleichgewichtsaktivität auf der Pflanze

$F$  = Bewuchs in  $\text{kg/m}^2$

Unter Benutzung der Pb-210-Konzentrationen in Gras und Blattgemüse und der mittleren Luftkonzentration für Pb-210, wie sie in Wittichen gemessen wurde, wurde der rechte Teil von Formel 2 ausgerechnet. Für verschiedene Depositionsgeschwindigkeiten wurde dann das jeweilige  $T_{1/2\text{eff}}$  errechnet und die Ergebnisse sind in Tab. 36 angegeben. Für Gras erhält man unter der Annahme von 0,3 cm/s für die Depositionsgeschwindigkeit etwa 18 d als effektive Verweilzeit der Pb-210-Aerosole am Gras und für die gleiche Depositionsgeschwindigkeit erhält man für Blattgemüse 9 d für die effektive Verweilzeit. Für diese Berechnung scheint es aber sinnvoller das Produkt zu benützen und die Aufschlüsselung in zwei von der Theorie geforderte Faktoren zu unterlassen [5].

### 3.5 Die Tiefenverteilung der Radionuklide im Boden

Die Tiefenverteilungen von Ra-226, Pb-210 und Po-210, wie sie in Tab. 2 bzw. Abb. 1 dargestellt werden, ist relativ schwierig zu interpretieren. Die Kontamination setzt sich zusammen aus dem Aufbau von Pb-210 und Po-210 aus dem vorhandenen Ra-226, der Ablagerung der Pb-210- und Po-210-Aerosole aus der unteren Atmosphäre, der Reduktion des Aufbaus von Pb-210 und Po-210 durch Exhalation von Rn-222 aus der obersten Erdschicht und dürfte je nach Bodenart wesentlich abhängig sein von den extrem unterschiedlichen Komplexbildungsverhalten der Elemente Radium,

Blei und Polonium. Das auf einer Wiese gemessene Tiefenprofil entsprechend Abb. 1 zeigt deutlich die Auswaschung von Ra-226 in den obersten 10 cm des Bodens. Das ausgewaschene Radium wird dann offensichtlich in einer stark tonhaltigen Schicht stärker adsorbiert als in anderen Schichten, und die Ra-226-Konzentration nimmt mit der Tiefe dann wieder langsam ab. Die Pb-210- und Po-210-Kontamination an der Oberfläche des Bodens ist deutlich höher als in tieferen Schichten. Unabhängig davon ist der Mittelwert der Konzentration auch in tieferen Schichten höher als der Wert für Ra-226. Dies spricht dafür, daß die Ablagerung von Pb-210 und Po-210 eine wesentliche Rolle spielt bei der Kontamination der obersten Bodenschicht mit diesen Radionukliden. Außerdem darf aus dem Tiefenprofil geschlossen werden, daß sowohl Pb-210 als Po-210 in der obersten Schicht stärker zurückgehalten werden als in tieferen und daß der Transport gemessen an der Halbwertszeit von Pb-210 relativ rasch in tiefere Schichten erfolgt.

Das Tiefenprofil auf der Fritsche-Halde baut sich vollständig anders auf. Einer offensichtlich uranfreien Schicht folgt eine etwa 15 cm dicke Schicht mit hohen Konzentrationen von Ra-226, Pb-210 und Po-210. Darüber liegt wieder eine Erdschicht geringer Kontamination. Diese obersten 20 cm sind extrem humusreich und stellen einen typischen Waldboden dar. Die Unterschiede zwischen Ra-226 und Pb-210 einerseits und Pb-210 und Po-210 andererseits lassen sich am besten durch einen Auswaschprozeß durch komplexbildende Substanzen, die aus dem Humus in die aktive Schicht eingewandert sind, erläutern. Das kaum Komplexe bildende Radium wird nur unwesentlich in die Tiefe verlagert. Pb-210 und ganz besonders das stark Komplexe bildende Po-210 sind aber wesentlich ausgewaschen und abgereichert gegenüber den vorhandenem Ra-226. Als wichtigstes Ergebnis dieser Messungen darf festgestellt werden, daß auch bei mehr als eineinhalb Jahrhunderten Lagerung

im Freien Ra-226 nur unwesentlich ausgewaschen wurde, Pb-210 und Po-210 aber höhere Auswaschraten ausweisen (s. Abbn. 1 und 2).

### 3.6 Die Dosisexposition der Bevölkerung

Zur Beurteilung der Dosisexposition der Bevölkerung wurden die Jahresingestionslimits der Strahlenschutzverordnung herangezogen. Berücksichtigt wurden die Radionuklide Pb-210 und Ra-226, verzichtet wurde auf die Berücksichtigung von Po-210, da seine Radiotoxizität wesentlich unter den anderen Radionukliden liegt und außerdem im Dosisfaktor von Pb-210 der rasche Aufbau von Po-210 berücksichtigt wird. Zur Beurteilung der Aktivitätsaufnahme wurden nur Nahrungsmittel berücksichtigt, die im Raum Wittichen produziert werden. Die im Mittel jährlich konsumierten Nahrungsmittel wurden aus dem Ernährungsbericht 1976 entnommen [7]. Es wurde außerdem angenommen, daß der Jahreskonsum quantitativ durch lokalproduzierte Nahrungsmittel gedeckt wird.

In Tab. 37 werden die Jahresaufnahmen der lokalproduzierten Nahrungsmittel und die gemessenen Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen angegeben. In Tab. 38 sind die Jahresaufnahmen der Aktivitäten aufgeführt. In den beiden Fußnoten zu den Tabellen sind die im Haus am Alten Schmiedestollen erhaltenen Aktivitätskonzentrationen im Trinkwasser, die von allen anderen Trinkwasserwerten wesentlich abweichen, berücksichtigt. Die maximal jährlich zulässige Ingestion von Ra-226 beträgt 580 pCi, die von Pb-210 5 800 pCi. Ohne Berücksichtigung des Hauses am Alten Schmiedestollen erhält man daher eine 2,1fache Überschreitung des in der Strahlenschutzverordnung empfohlenen Grenzwertes für die Jahresingestion; im Haus am Alten Schmiedestollen würde man unter den hier getroffenen Annahmen eine



2,4fache Überschreitung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung erreichen.

Der Vollständigkeit halber soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß die quantitative Deckung eines Nahrungsmittels sicherlich nicht durch lokalgewonnene Produkte erfolgt. Außerdem soll darauf hingewiesen werden, daß die z. Z. noch gültige Strahlenschutzverordnung die Radiotoxizität von Ra-226 wesentlich überschätzt [6 und 7].

#### 4. Literatur

- [1] H. Schüttelkopf, H. Kiefer  
"Die Dosisbelastung der Umgebungsbevölkerung durch natürliches und aus einer Uranuntersuchungsgrube emittiertes Ra-226 - Radioökologische Untersuchungen im Feldberggebiet", KfK-2866, September 1979
  
- [2] H. Schüttelkopf, H. Kiefer  
"Die Dosisbelastung der Umgebungsbevölkerung durch natürliches und aus einer Uranuntersuchungsgrube emittiertes Ra-226 - Radioökologische Untersuchungen im Raum Baden-Baden", KfK-2994, August 1980
  
- [3] K. Aurand et al.  
"Die natürliche Strahlenexposition des Menschen", Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974
  
- [4] Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1977, United Nations, New York, 1977
  
- [5] Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer, Gemeinsames Ministerialblatt, G3191AX, 30. Jahrgang, Bonn, 15. August 1979, Nr. 21, Seite 369
  
- [6] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen, Strahlenschutzverordnung vom 20. Oktober 1976, Bundesgesetzblatt, S. 2905 - 2999
  
- [7] Ernährungsbericht 1976, Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., Frankfurt/Main, 1976

Danksagung

Die Probenahme und Probenvorbereitung erfolgte mit großer Umsicht und Sorgfalt durch Herrn H. Bailer.

Die radiochemischen Analysen wurden von Frau B. Blum, Frau P. Perchio und Frau W. Wünschel durchgeführt.

Herr Dipl.-Phys. H. Feßler war für die  $\gamma$ -spektrometrische Bestimmung von Ra-226 in einem Teil der Bodenproben verantwortlich.

Die Hilfsbereitschaft der Witticher-Bevölkerung machte die rasche und vollständige Durchführung des Forschungsvorhabens möglich.

Die Verfasser danken allen, die zum Gelingen des Forschungsprogrammes beigetragen haben.

Tab. 1: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentration in Bodenproben, Wittichen

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
Haus, alter Schmiedestollen 12.06.1980	7	21	7,4
Garten, Armbruster, Hinter-Wittichen 24.06.1980	0,6	1,2	1,50
Armbruster, Wiese, Hinter-Wittichen 03.07.1980	0,25	0,7	1,26
Halde am Zundelgraben 04.07.1980	3,4	3,9	4,50
Wenzel, Mendele, Vorder-Wittichen 06.08.1980	0,40	1,5	1,33
Armbruster, am Wüstenbach Garten 08.08.1980	0,33	1,7	1,16
Springmann, vorderer Wüstenbach, Garten 17.09.1980	1,3	1,0	2,47
Armbruster, vorderer Wüstenbach 01.10.1980	0,41	1,5	1,00
Seppli-Bauer, Kaltbrunn 07.10.1980	0,54	0,8	1,30
Hauer, Kaltbrunn 12.03.1981	2,0	1,2	1,41
Hauer, Kaltbrunn 12.03.1981	2,5	1,5	1,41

Tab. 2: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Tiefenverteilung im Boden einer Wiese am Wüstenbach, Armbruster, Wittichen, 13.11.1980

Tiefe in cm	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
0 - 3	0,09	1,4	1,10
3 - 6	0,07	0,8	1,17
6 - 9	0,04	0,8	1,12
9 - 12	0,23	0,43	0,66
12 - 15	0,9	0,58	0,85
15 - 18	0,47	0,9	0,80
18 - 21	0,40	0,9	0,85
21 - 24	0,27	0,8	0,88
24 - 27	0,33	-	0,81
27 - 30	0,23	1,0	0,83

Tab. 3: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Tiefenverteilung im Boden der Fritsche-Halde, Wittichen, 29.06.1980

Tiefe in cm	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
0 - 5	8,9	4,8	5,7
5 - 10	2,5	2,2	2,3
10 - 15	4,0	3,0	5,3
15 - 20	3,1	4,9	3,2
20 - 25	302	220	77
25 - 30	194	230	104
30 - 35	56	48	36
35 - 40	5,8	7,5	4,6
40 - 45	15	17	7,8
45 - 50	6,0	8	4,5
50 - 55	1,5	4,2	3,8
55 - 60	2,2	3,7	2,7

Tab. 4: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Bodenproben von der Fritsche-Halde und von Vergleichsproben, Wittichen, 25. und 26.06.1980

Probennummer	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
1	4,0	2,7	2,68
2	5,0	4,9	3,38
3	4,7	3,6	4,00
4	5,5	3,7	2,57
7	2,5	1,0	3,38
8	0,9	0,8	0,81
9	1,0	0,70	0,76
10	1,0	0,70	0,76
11	0,8	0,5	1,00
12	0,9	1,0	0,87
13	1,5	2,0	1,29
14	2,0	1,8	1,23
15	0,60	0,8	0,75
16	0,33	1,3	1,51
17	1,4	0,8	1,51
18	1,4	0,8	1,51
Vergleichsproben			
19	0,19	0,11	0,27
20	0,40	0,30	0,35

Tab. 5: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in quasikontinuierlich gesammelten Wasserproben aus dem Löschteich, Wittichen, 1980

Probenahme von - bis	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
21.06. - 04.07.	0,11	-	-
04.07. - 16.07.	0,084	-	-
16.07. - 01.08.	0,082	<1,5	0,184
01.08. - 15.08.	0,034	1,8	0,029
15.08. - 28.08.	0,089	<2,4	0,009
28.08. - 17.09.	0,037	<0,19	0,011
17.09. - 03.10.	0,14	0,34	0,009
03.10. - 16.10.	0,11	<0,15	0,016
16.10. - 30.10.	0,074	<0,17	0,026
30.10. - 12.11.	0,26	0,29	0,044
Kleinster Wert	0,034	0,29	0,009
Mittelwert	0,102	0,81	0,041
Größter Wert	0,26	1,8	0,184



Tab. 6: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen  
in quasikontinuierlich gesammelten Wasserproben  
aus dem Bach am alten Schmiedestollen, Wittichen,  
1980

Probenahme von - bis	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
21.06. - 04.07.	0,54	-	-
04.07. - 16.07.	0,37	-	-
16.07. - 01.08.	0,24	<1,2	-
01.08. - 15.08.	0,44	<1,1	0,102
15.08. - 28.08.	0,088	<1,2	0,080
28.08. - 17.09.	0,43	<0,12	0,083
17.09. - 03.10.	0,78	0,92	0,064
03.10. - 16.10.	0,51	0,32	0,058
16.10. - 30.10.	0,60	0,33	0,058
30.10. - 12.11.	0,70	0,48	0,032
Kleinster Wert	0,088	0,32	0,032
Mittelwert	0,47	0,51	0,068
Größter Wert	0,78	0,92	0,102

Tab. 7: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in quasikontinuierlich gesammelten Wasserproben aus dem Klosterbach beim Kloster, Wittichen, 1980

Probenahme von - bis	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
04.07. - 16.07.	0,10	-	-
16.07. - 01.08.	0,26	<1,2	0,235
01.08. - 15.08.	0,25	<1,6	0,031
15.08. - 28.08.	0,12	<1,1	0,013
28.08. - 17.09.	0,26	0,21	0,013
17.09. - 03.10.	0,25	0,26	-
03.10. - 16.10.	0,18	0,31	0,017
16.10. - 30.10.	0,18	<0,16	0,027
30.10. - 12.11.	0,15	0,27	0,013
Kleinster Wert	0,10	0,21	0,013
Mittelwert	0,19	0,26	0,050
Größter Wert	0,26	0,31	0,235

Tab. 8: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in quasikontinuierlich gesammelten Wasserproben aus dem Clara-Stollen, Wittichen, 1980

Probenahme von - bis	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
01.08. - 15.08.	1,9	<1,5	0,084
15.08. - 28.08.	1,8	<1,0	0,059
28.08. - 17.09.	2,3	<0,25	0,074
17.09. - 03.10.	3,6	0,44	0,056
03.10. - 16.10.	3,0	0,51	0,042
16.10. - 30.10.	2,9	0,28	0,100
30.10. - 12.11.	4,6	0,91	0,115
Kleinster Wert	1,8	0,28	0,042
Mittelwert	2,9	0,54	0,076
Größter Wert	4,6	0,91	0,115

Tab. 9: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Oberflächenwässern aus Wittichen,  
1980 bis 1981

Probenahmedatum und -ort	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
Kleine Kinzig vor Reinerzau, 13.11.1980	0,20	0,31	0,005
Kleine Kinzig nach Reinerzau, 13.11.1980	0,29	0,17	0,007
Alter Schmiedestollen, Bach, 09.08.1980	0,062	3,3	0,014
Johann-Georg-Stollenhalde, 29.08.1980	0,7	<1,7	0,027
Quelle, Armbruster am Wüstenbach, 09.08.1980	0,04	<1,4	0,000
Frischglückstollen 15.08.1980	0,63	<1,2	0,037
29.08.1980	0,68	<1,9	0,047
17.09.1980	1,0	0,3	0,067
03.10.1980	1,1	0,84	0,088
16.10.1980	0,7	0,41	0,087
30.10.1980	0,8	0,4	0,082
Neuglückstollen 06.08.1980	0,15	<1,9	0,000
Clara-Stollen 01.08.1980	1,8	<1,6	0,221
06.08.1980	1,8	<1,1	0,107
07.01.1981	2,5	0,37	0,013

Tab. 10: Ra-226-Konzentration in Oberflächenwässern aus Wittichen, Probenahme: 1979 bis 1980

Probenahmeort	Ra-226-Konzentration in pCi/l		
	Probenahme am		
	29.11.79	18.04.80	09.05.80
Böckelsbach	0,15 f	0,26 f	0,13 u
Alter Schmiedestollen, Bach	0,27 f	0,34 f	0,47 u
Sophiahalde, Sickeraustritt	-	0,29 f	0,57 f
Simsonstollen	-	0,10 f	0,17 u
Frischglückstollen	0,39 u	0,49 f	0,35 u
Neuglückhalde	-	0,21 f	0,37 u
Clara-Stollen	3,5 u	0,62 f	1,7 u
Löschteich, Hinter-Wittichen	0,19 u	2,2 f	0,18 u
oberhalb Löschteich, Hinter-Wittichen	0,18 u	-	0,04 u
Zundelgraben, Hinter-Wittichen	0,10 u	-	0,10 u
Hinterer Wüstenbach	0,06 f	0,07 f	0,25 u
Vorderer Wüstenbach	0,05 f	-	0,06 u
Nebenfluß des Hinteren Wüstenbachs	-	-	0,08 u
Klosterbach, oberhalb Kloster	0,14 f	0,08 f	0,21 u
Klosterbach, oberhalb Löschteich			
- rechter Arm	-	-	0,10 u
- linker Arm	-	-	0,06 u

f = filtriert

u = unfiltriert

Tab. 11: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in der bodennahen Umgebungsluft, Wittichen, 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in fCi/m <sup>3</sup>		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
Alter Schmiedestollen, Halde, 12.06.1980	<0,5	11	6,3
Fritschehalde, 25.06.1980	0,5	18	0,95
Fritschehalde, 26.06.1980	<0,4	26	1,7
Alter Schmiedestollen, am Haus, 17.07.1980	<0,5	18	1,9
Sophialhalde, 31.07.1980	0,5	36	3,0
Kleinster Wert	0,5	11	0,95
Mittelwert	0,5	22	2,8
Größter Wert	0,5	36	6,3

Tab. 12: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Gras- und Heuproben aus Wittichen, 1980 bis 1981

Probenahmeort und -datum	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
<u>Armbruster am Wüstenbach</u>			
15.08.1980	0,005	0,66	0,40
21.01.1981	0,006	0,9	1,01
03.02.1981	0,009	0,8	0,66
21.05.1981	0,08	0,20	-
11.06.1981	0,09	0,43	-
<u>Alter Schmiedestollen</u>			
12.06.1980	0,03	1,3	0,42
17.07.1980	0,5	1,3	0,55
16.09.1980	0,11	1,2	-
<u>Löschteich</u>			
06.06.1980	0,011	0,62	0,17
17.09.1980	0,03	0,72	-
06.06.1980	0,04	0,54	0,13
<u>Halde am Zundelgraben</u>			
04.07.1980	0,08	1,4	0,37
17.07.1980	0,32	1,6	0,57
<u>Wenzel, Vorder-Wittichen</u>			
01.08.1980	0,13	0,68	0,030
<u>Armbruster, Hinter-Wittichen</u>			
03.07.1980	0,005	0,61	0,12

Tab. 13: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Blättern und Nadeln von Bäumen auf der Fritschehalde,

Probenahme: 22.06. - 26.06.1980

Probenart und Probennummer	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
Nadeln, 3	0,04	-	6,9
10	0,007	0,43	-
11	0,0004	2,2	-
12	0,007	1,9	1,1
13	0,001	2,0	-
14	0,021	0,31	0,30
15	0,005	2,7	4,2
16	0,007	1,1	0,67
17	0,015	1,2	1,1
18	0,015	0,17	0,080
Vergleichsproben			
19	0,004	0,39	0,090
20	0,024	0,30	0,049
Laub, 2	0,47	1,1	1,48
7	0,22	1,9	1,79
8	0,26	0,58	0,93
9	0,095	0,79	0,59



Tab. 14: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Gemüseproben, Wittichen, 1980 - 1981

Probenahmeort und -datum	Probenart	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch		
		Ra-226	Pb-210	Po-210
<u>Armbruster, Hinter-Wittichen</u>				
24.06.1980	Kopfsalat	31	110	58
01.08.1980	Kehlkraut	< 0,7	< 6	6,1
08.08.1981	Wirsing	3	9	24
09.08.1980	Rotkraut	< 1,5	< 2,8	0,81
17.09.1980	Weißkraut	< 1	< 2	0,76
<u>Armbruster, am Wüstenbach</u>				
08.08.1980	Kehlkraut	1,9	5	2,5
28.08.1980	Wirsing	3	34	3,1
28.08.1980	Weißkraut	1,1	13	12
28.08.1980	Bohnen	2,4	< 7,0	2,2
17.09.1980	Blumenkohl	< 4	< 9	1,5
01.10.1980	Zwiebeln	0,8	-	4,3
30.10.1980	Chicorée	0,8	16	8,9
<u>Springmann, Vorderer Wüstenbach</u>				
17.09.1980	Endivien	7	32	-

Tab. 15: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Kartoffel-, Rüben-, Äpfel- und Pilzproben,  
Wittichen, 1980

Probenahmeort und -datum	Probenart	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch		
		Ra-226	Pb-210	Pb-210
<u>Armbruster, Hinter-Wittichen</u>				
16.09.1980	Kartoffeln	4	6	8,8
30.09.1980	Äpfel	< 0,2	-	5,6
01.10.1980	Gelberüben	5	11	25
<u>Armbruster, am Wüstenbach</u>				
16.09.1980	Kartoffeln	3	< 6,8	8,8
13.11.1980	Futterrüben	7	9	5,9
<u>Alter Schmiede- stollen</u>				
02.10.1980	Mischpilze	150	140	181

Tab. 16: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Getreide, Wittichen und Kaltbrunn, 1980

Probenahmeort und -datum	Getreideart	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch		
		Ra-226	Pb-210	Po-210
01.10.1980 Armbruster, Vorder-Wittichen	Roggen	1,1	31	24,6
07.10.1980 Seppli-Bauer, Kaltbrunn	Roggen	4,5	17	10,8
12.12.1980 Hauer, Kaltbrunn	Hafer	7	10	11,6
12.12.1980 Hauer, Kaltbrunn	Gerste	10	31	34,9

Tab. 17: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Milchproben, Wittichen, Armbruster am Wüstenbach, 1980 - 1981

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
<u>1980</u>			
08.08.	0,07	2,5	0,827
15.08.	0,17	<1,4	0,323
28.08.	0,23	5,1	1,01
18.09.	0,13	<1,2	0,939
01.10.	0,17	<1,8	0,306
16.10.	0,20	<1,2	1,16
30.10.	0,15	<1,2	2,11
13.11.	0,12	<1,2	0,798
27.11.	0,05	0,8	0,621
12.12.	0,11	<0,6	0,621
20.12.	<0,07	0,9	1,47
<u>1981</u>			
07.01.	0,12	1,7	1,11
22.01.	<0,05	<0,81	0,549
03.02.	0,12	<0,8	0,893
17.02.	0,15	1,5	-
26.02.	0,16	1,2	-
06.03.	0,16	<1,0	-
13.03.	<0,11	<0,8	-
20.03.	0,26	2,1	0,280
17.03.	0,09	<0,64	-
03.04.	0,34	1,8	-
10.04.	0,16	<2,3	-
27.04.	<0,05	<2,4	-
24.04.	0,15	<2,1	-
01.05.	0,17	1,4	-
10.05.	0,09	<1,1	-
18.05.	1,3	1,5	-
21.05.	0,24	1,3	-
05.06.	0,18	<0,7	-
11.06.	0,20	3,4	-
25.06.	0,14	1,3	-
02.07.	0,12	2,2	-

Tab. 18: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Milchproben, Wenzel-Mendele, Vorder-Wittichen, und Sepplibauer<sup>1)</sup>, Kaltbrunn, 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
16.07.1980	0,12	<1,2	0,294
01.08.1980	0,7	7	0,878
15.08.1980	0,29	2,0	-
28.08.1980	0,16	<1,2	0,401
18.09.1980	0,28	<1,2	0,909
01.10.1980	0,23	<1,7	1,21
16.10.1980	0,3	<1,2	1,38
07.10.1980 <sup>1)</sup>	0,11	<0,8	0,22

Tab. 19: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Milchproben, Armbruster, Hinter-Wittichen, 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
24.06.1980	0,40	<2,5	0,593
27.06.1980	0,19	2,5	0,689
04.07.1980	0,11	1,9	0,267
16.07.1980	0,09	2,3	0,432
01.08.1980	0,27	1,4	0,661
15.08.1980	0,20	<1,5	-
28.08.1980	0,31	<1,0	0,990
18.09.1980	0,62	<0,8	-
30.09.1980	0,20	<1,2	0,461
16.10.1980	0,25	<1,5	-
31.10.1980	0,23	<2,0	0,960

Tab. 20: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Milchproben, Milchsammelstelle Springmann, Wittichen, 1980 - 1981

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
04.07.1980	0,13	<1,2	0,267
16.07.1980	0,12	1,9	0,478
01.08.1980	0,8	<1,0	0,924
15.08.1980	0,6	5,5	-
28.08.1980	0,5	<1,5	0,934
18.09.1980	0,3	<1,1	0,909
30.09.1980	0,24	<1,0	0,415
16.10.1980	0,26	<1,5	1,17
31.10.1980	0,16	<1,4	0,748
13.03.1981	0,58	<0,54	0,280

Tab. 21: Ra-226-, Pb-210-, Po-210-Konzentrationen in  
Milchproben, Milchzentrale Schenkenzell,  
1980 - 1981

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
06.08.1980	0,21	<1,2	0,499
18.09.1980	0,15	<1,2	0,135
30.09.1980	0,17	<1,2	0,877
16.10.1980	0,5	1,4	0,594
31.10.1980	0,11	<1,3	1,30
27.03.1981	0,07	<0,7	-
11.05.1981	0,25	<0,6	-
21.05.1981	0,28	<0,6	-



Tab. 22: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Forellen und Waldhonig, Raum Wittichen, 1980 - 1981

Probenahmeort und -datum	Probenart	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch		
		Ra-226	Pb-210	Po-210
Schicora, Schenkenzell 26.02.1981	Waldhonig	0,26	6	12
Reinerzau, Kleine Kinzig 01.10.1980	Forellen	1,6	<4,3	5,2

Tab. 23: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Trinkwasserproben, Armbruster, Hinter-Wittichen,  
1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
26.06.1980	0,075	-	-
04.07.1980	0,089	-	-
16.07.1980	0,089	-	-
01.08.1980	0,048	<1,2	0,057
15.08.1980	0,058	<1,5	0,061
29.08.1980	0,062	<0,14	0,051
17.09.1980	0,16	0,36	0,049
30.09.1980	0,073	0,24	0,061
16.10.1980	0,075	0,42	0,064
30.10.1980	0,047	<0,17	-
Kleinster Wert	0,047	0,24	0,049
Mittelwert	0,078	0,34	0,057
Größter Wert	0,16	0,42	0,064

Tab. 24: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Trinkwasserproben, Haus am Alten Schmiedestollen,  
Wittichen, 1980 - 1981

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
16.07.1980	0,55	-	-
01.08.1980	0,56	<1,8	0,068
06.08.1980	0,38	2,2	0,052
15.08.1980	0,52	1,5	0,054
29.08.1980	0,45	<0,1	0,045
17.09.1980	0,64	0,33	0,103
30.09.1980	0,75	1,4	0,315
16.10.1980	0,47	0,44	0,113
30.10.1980	0,67	<0,19	-
12.11.1980	0,12	<0,22	-
28.11.1980	0,81	1,1	-
11.12.1980	0,63	0,79	-
26.12.1980	0,90	0,61	-
07.01.1981	0,85	0,50	-
22.01.1981	0,45	0,69	-
03.02.1981	0,57	0,81	-
16.02.1981	0,45	0,63	-
26.02.1981	0,18	0,63	-
06.03.1981	0,30	0,95	-
Kleinsten Wert	0,12	0,44	0,045
Mittelwert	0,54	0,90	0,107
Größter Wert	0,90	2,2	0,315

Tab. 25: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Trinkwasserproben, Springmann, Vorder-Wittichen,  
1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
06.08.1980	0,023	<1,2	0,009
15.08.1980	0,028	<1,2	0,016
29.08.1980	0,060	<0,14	0,051
17.09.1980	0,072	<0,14	0,019
30.09.1980	0,10	<0,19	0,046
03.10.1980	0,14	0,58	0,021
16.10.1980	0,062	<0,12	0,026
30.10.1980	0,035	0,34	-
Kleinster Wert	0,023	0,34	0,009
Mittelwert	0,06	0,46	0,0269
Größter Wert	0,14	0,58	0,065

Tab. 26: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in Trinkwasserproben, Armbruster, am vorderen Wüstenbach, 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
06.08.1980	0,025	<1,0	0,009
15.08.1980	0,019	<1,7	0,019
29.08.1980	0,063	<0,09	0,007
17.09.1980	0,063	<0,11	0,015
30.09.1980	<0,053	<0,20	0,010
16.10.1980	0,038	<0,16	0,011
30.10.1980	0,033	<0,22	-
Kleinster Wert	0,019		0,007
Mittelwert	0,040		0,012
Größter Wert	0,063		0,019

Tab. 27: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Trinkwasserproben, Springmann, am vorderen  
Wüstenbach, 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
06.08.1980	0,13	<1,1	0,017
17.09.1980	0,12	0,19	0,065
30.09.1980	0,10	<0,19	0,046
16.10.1980	0,13	0,46	0,063
30.10.1980	0,047	<0,23	-
Kleinster Wert	0,047	0,19	0,017
Mittelwert	0,105	0,33	0,048
Größter Wert	0,13	0,46	0,065

Tab. 28: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen  
in Trinkwasserproben, Wasserversorgung  
Hinter-Wittichen, 1979 - 1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
29.11.1979	0,13	-	0,009
18.04.1980	0,15	-	-
06.08.1980	0,030	-	0,016
09.05.1980	0,11	-	-

Tab. 29: Ra-226-, Pb-210- und Po-210-Konzentrationen in  
Trinkwasserproben, Wasserversorgung Schenkzell,  
1980

Probenahme	Aktivitätskonzentration in pCi/l		
	Ra-226	Pb-210	Po-210
06.08.1980	0,028	<1,1	0,032
01.10.1980	0,10	<0,14	0,039
30.10.1980	0,046	0,32	-



Tab. 30: Gras/Boden-Transferfaktoren für Ra-226

Proben-Nr.	Transferfaktor in pCi/g Gras, trocken/ pCi/g Boden, trocken Ra-226
330/250	1,1
333/250	1,3
46/51	0,0041
175/51	0,015
66/63	0,024
81/63	0,094
82/51	0,73
104/115	0,33
65/64	0,018
138/250	0,068
274/250	0,095
Mittelwert	0,34

Tab. 31: Nadeln bzw. Laub/Boden-Transferfaktoren für Ra-226

Proben-Nr.	Transferfaktoren in pCi/g Nadeln, Blätter, trocken/pCi/g Boden, trocken
<u>Nadeln:</u>	
50/286	0,0091
59/290	0,0087
60/281	0,0080
70/283	0,0107
83/288	0,0073
86/293	0,0005
87/282	0,0007
88/289	0,0105
89/291	0,0218
90/283	0,0107
91/292	0,0216
92/284	0,0600
<u>Laub:</u>	
84/287	0,2889
49/278	0,0940
71/280	0,0880
85/288	0,0950
<u>Mittelwerte:</u>	
Nadeln:	0,014
Laub:	0,14

Tab. 32: Gemüse/Boden-Transferfaktoren für Ra-226

Proben-Nr.	Gemüseart	Transferfaktoren in pCi/g Blattgemüse, frisch/pCi/g Boden, trocken
57/58	Kopfsalat	0,052
103/58	Kehlkraut	<0,0012
116/117	Kehlkraut	0,0058
118/58	Rotkraut	<0,0025
123/58	Wirsing	0,0050
140/117	Wirsing	0,0091
141/117	Weißkraut	0,0033
142/117	Bohnen	0,0073
170/117	Blumenkohl	<0,012
172/58	Weißkraut	<0,0017
173/168	Endivien	0,0054
241/117	Chicorée	0,0024
Mittelwert		0,0113

Tab. 33: Getreide/Boden-Transferfaktoren für Ra-226,  
Pb-210 und Po-210

Proben-Nr.	Getreideart	Transferfaktoren in pCi/g Getreide, frisch/pCi/g Boden, trocken		
		Ra-226	Pb-210	Po-210
188/189	Roggen	0,0268*	0,0207	0,0246
207/206	Roggen	0,0083	0,0213	0,0083
265/314	Hafer	0,0028	0,0067	0,0078
266/313	Gerste	0,0050	0,0258	0,0248
Mittelwert		0,0107	0,0186	0,0164

Tab. 34: Pflanzen/Boden-Transferfaktoren für Ra-226,  
Pb-210 und Po-210

Proben-Nr.	Pflanzenart	Transferfaktoren in pCi/g Pflanzen, frisch/pCi/g Boden, trocken		
		Ra-226	Pb-210	Po-210
169/117	Kartoffeln	0,0091	<0,0040	0,0076
171/58	Kartoffeln	0,0067	0,0050	0,0059
190/58	Gelberüben	0,0083	0,0092	0,0167
191/117	Zwiebeln	<0,0024	-	0,0076
260/117	Futterrüben	0,0212	0,0053	0,0051
192/58	Äpfel	0,0003	-	0,0037
204/51	Mischpilze	0,0205	0,0067	0,0245
Mittelwert		0,0110	0,0666	0,0102

Tab. 35: Transferfaktoren Gras/Milch für Ra-226 und Pb-210

Probenahmeort	Transferfaktor			
	in pCi/l Milch/pCi/kg Gras, trocken		in d/e %	
	Ra-226	Pb-210	Ra-226	Pb-210
Wenzel-Mendele, Vorder-Wittichen	0,0023	0,0066	0,021	0,060
Armbruster, Hinter-Wittichen	0,074	0,0033	0,67	0,030
Armbruster, am Wüstenbach	0,0034	0,014	0,031	0,13
Mittelwert	0,0266	0,0080	0,241	0,073

Tab. 36: Depositionsgeschwindigkeiten und effektive Verweilzeiten von Pb-210 auf Gras und Blattgemüse

G r a s		Blattgemüse	
$V_G$ in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	$t_{1/2\text{eff}}$ in d	$V_G$ in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	$t_{1/2\text{eff}}$ in d
0,01	540	0,01	270
0,03	180	0,03	90
0,1	54	0,1	27
0,3	18	0,3	9
1,0	5	1,0	3
3,0	1,8	3,0	0,9

Tab. 37: Nahrungsmittelaufnahme und Ra-226- bzw. Pb-210-Konzentrationen in denn in Wittichen untersuchten Nahrungsmitteln

Nahrungsmittel	Jahresaufnahme in kg	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch	
		Ra-226	Pb-210
Trinkwasser	440	0,07 <sup>1)</sup>	0,4
Kartoffeln	80	3,5	6,0
Milch	74	0,2	2,4
Roggen	44	11	31
Gemüse	18	6,3	31,3
Honig	1,8	0,3	6,0
Forellen	0,6	1,6	-

1) Trinkwasser im Haus am Alten Schmiedestollen:  
0,5 pCi Ra-226/l und 0,9 pCi Pb-210/l



Tab. 38: Jahresaufnahme von Ra-226 und Pb-210

Nahrungsmittel	Jahresaufnahme in pCi/l	
	Ra-226	Pb-210
Trinkwasser	31 <sup>1)</sup>	176
Kartoffeln	280	480
Milch	15	178
Roggen	484	1 364
Gemüse	113	563
Honig	0,5	11
Forellen	1	-
Summe	925	2 772

1) Summe der Jahresaufnahmen durchschnittlich im Haus am Alten Schmiedestollen: 1 114 pCi Ra-226/a und 2 992 pCi Pb-210/a

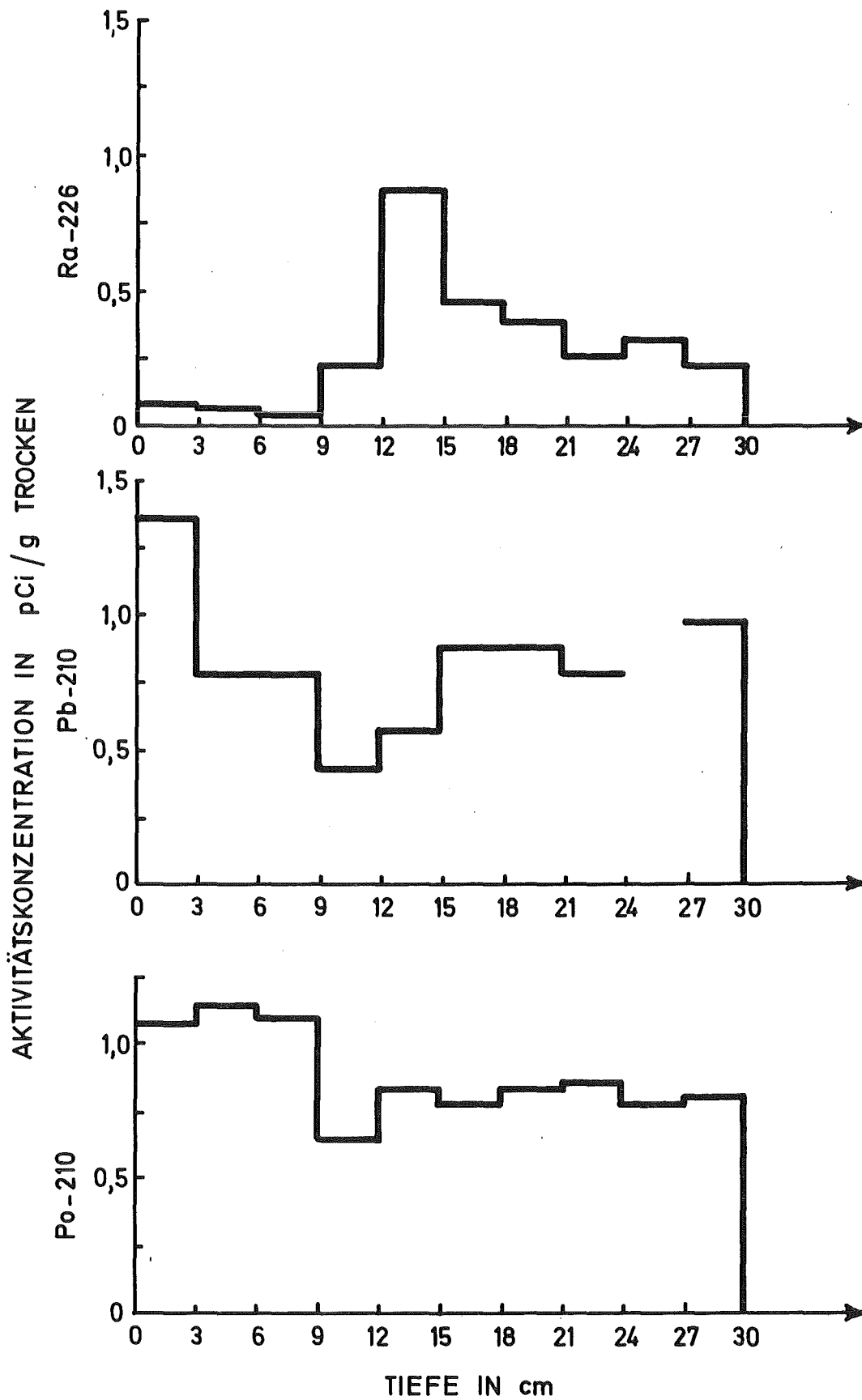


Abb. 1: TIEFENPROFIL VON Ra-226, Pb-210 UND Po-210 AUF EINER WIESE IN WITTICHEN

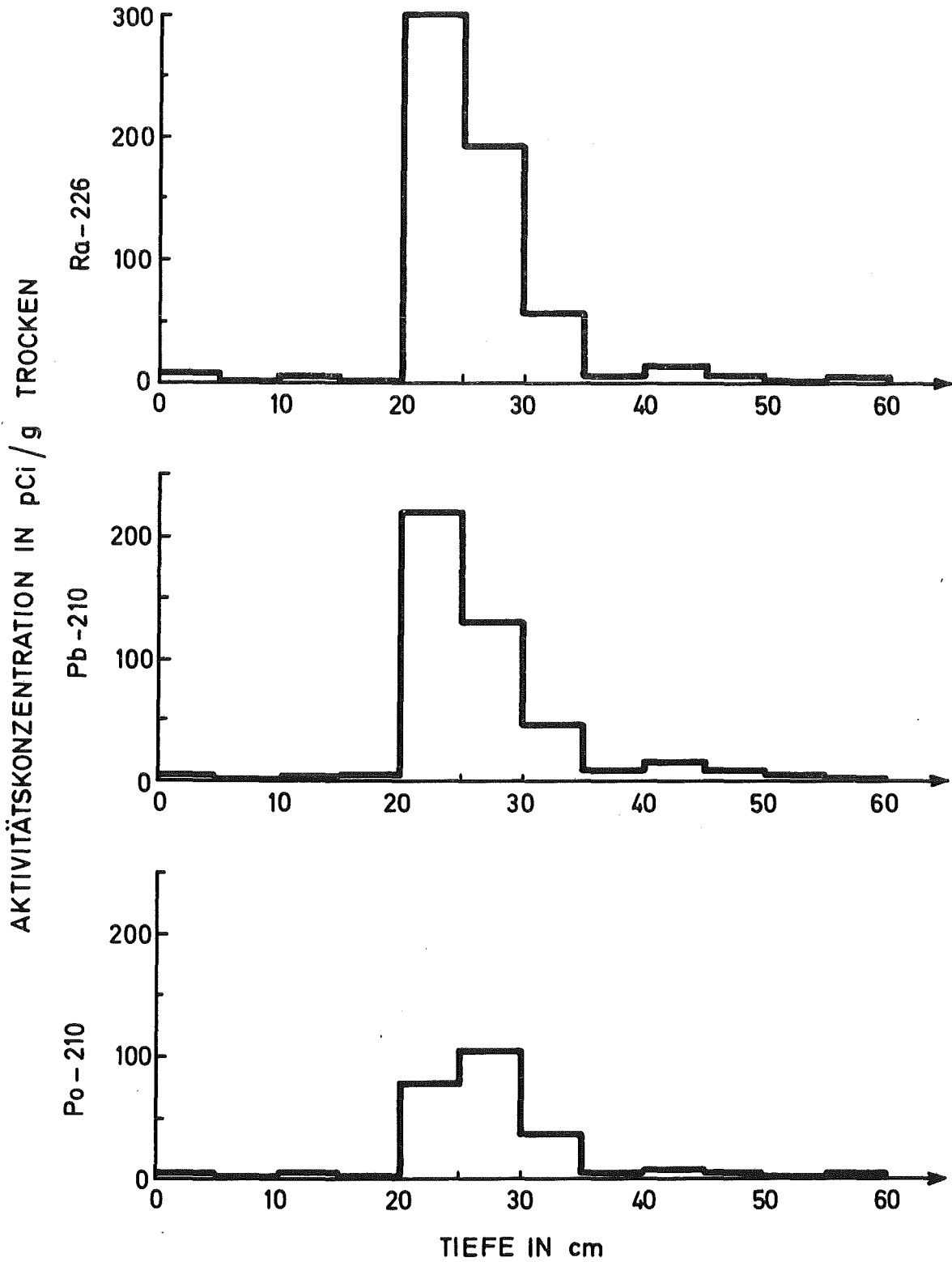


Abb. 2: TIEFENPROFIL VON Ra-226 Pb-210 UND Po-210  
AUF DER FRITSCHÉ-HALDE WITTICHEN

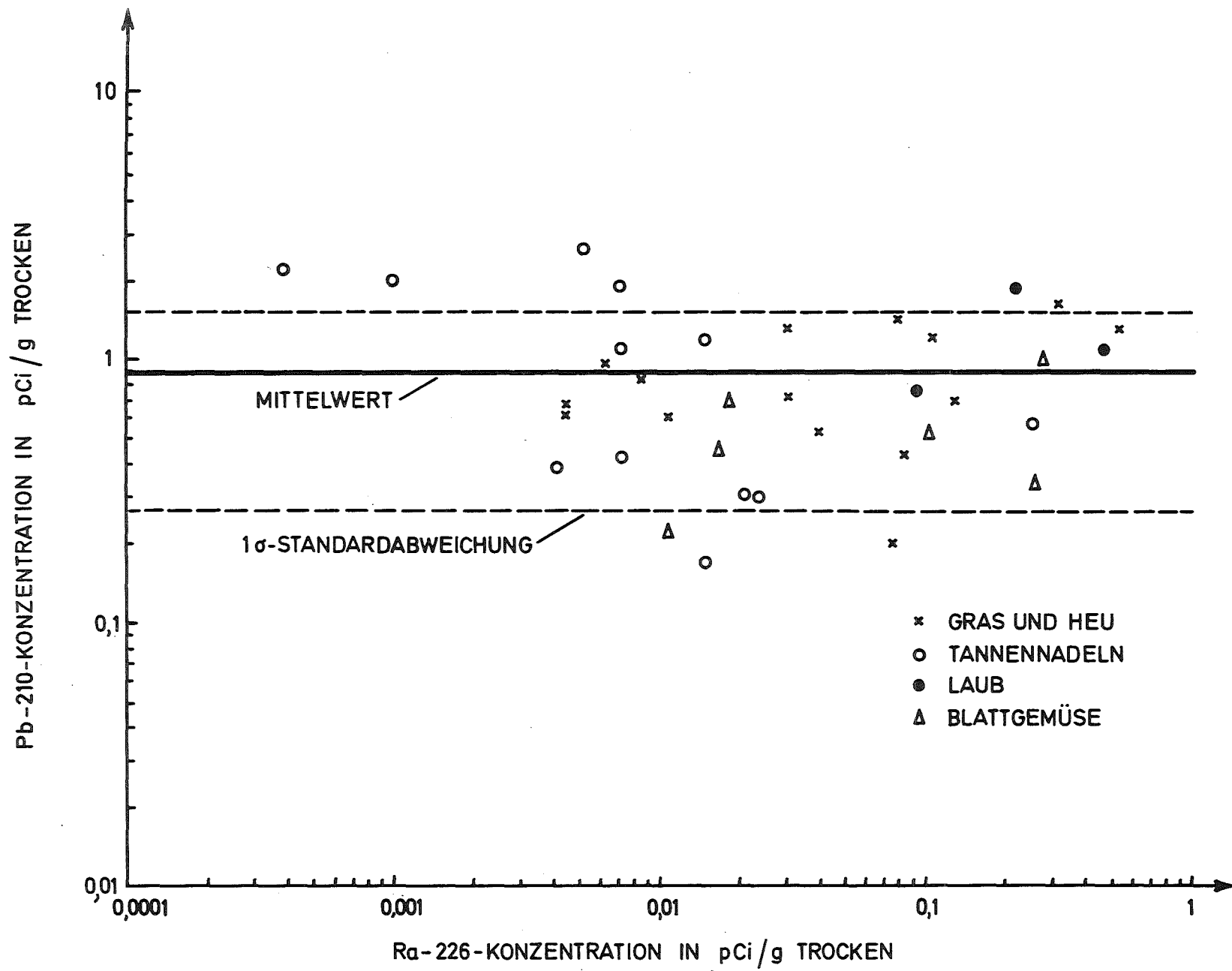


Abb. 3: DIE Pb-210-KONZENTRATION IN PFLANZEN ALS FUNKTION DER Ra-226-KONZENTRATION IN DEN GLEICHEN PFLANZEN