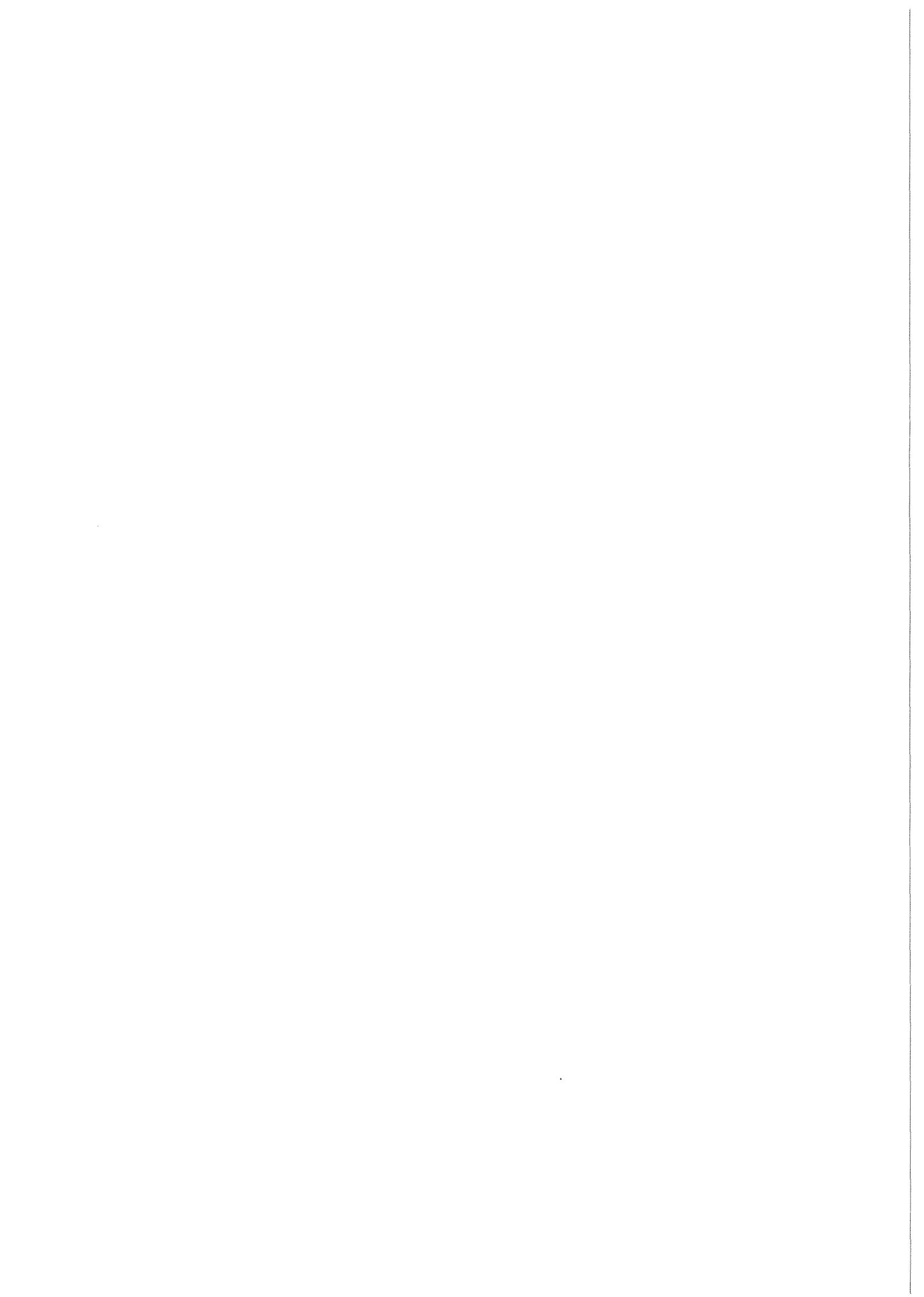


KfK 3367  
August 1982

**Die Dosisbelastung der  
Umgebungsbevölkerung durch  
natürliches und aus einer  
Uranuntersuchungsgrube  
emittiertes Ra-226 und Pb-210  
— Radioökologische  
Untersuchung im Raum  
Großschloppen**

H. Schüttelkopf, H. Kiefer  
Hauptabteilung Sicherheit

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 3367

Die Dosisbelastung der Umgebungsbevölkerung durch natürliches  
und aus einer Uranuntersuchungsgrube emittiertes Ra-226 und  
Pb-210 - Radioökologische Untersuchung im Raum Großschloppen

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

Ra-226 und Pb-210 wurden im Rahmen einer radioökologischen Untersuchung im Raum Großschloppen, Fichtelgebirge, in Trinkwasser, Oberflächenwasser, Boden, Sedimenten, Gras und wichtigen lokal produzierten Nahrungsmitteln gemessen. Die Bodenkonzentration ist ca. um den Faktor 3 höher als normal. Entsprechend sind die Konzentrationen der genannten Nuklide in vielen Umweltmaterialien erhöht. Nennenswert erhöhte Konzentrationen wurden in der Trinkwasserversorgung von Marktleuthen festgestellt. Andere erhöhte Werte stehen im Zusammenhang mit dem Austreten von uranföhrhenden Schichten an die Oberfläche. Die mittlere Dosisexposition der Bevölkerung im Raum Großschloppen dürfte, verursacht durch Ra-226, bei einer Knochendosis von maximal 92 mrem/a und, verursacht durch Pb-210, bei maximal 150 mrem/a liegen.

Die Emissionen von Ra-226, Pb-210 und Rn-222 aus einer Uranuntersuchungsgrube der ESSO-ERZ sind für die Dosisexposition der Bevölkerung bedeutungslos.

The dose exposure of the environmental population by natural and released Ra-226 and Pb-210 from an uranium mine prospect - Radioecological researches in the region of Großschloppen, Fichtelgebirge

### Abstract

During a radioecological investigation in Großschloppen, Fichtelgebirge, the concentrations of Ra-226 and Pb-210 were measured in drinking water, surface water, soil, sediments, grass, and locally produced important foods. Soil concentrations are higher by a factor of 3 compared with normal background. According to this higher concentrations in soil, the concentrations in many environmental materials are increased. Rather high concentrations were observed in the drinking water supply of Marktleuthen. Further increased concentrations are caused by uranium containing material crossing the surface soil layers. The mean bone dose exposure of the population of Großschloppen may be about 92 mrem/a according to Ra-226 ingestion and 150 mrem/a according to Pb-210 ingestion.

Ra-226, Pb-210, and Rn-222 activities released from an uranium prospecting mine of ESSO-ERZ are meaningless with respect to dose exposure of the population.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Problemstellung	1
2. Meßergebnisse	2
2.1 Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik	2
2.2 Alpha-, Beta-, Ra-226-, Pb-210- und Ra-222-Aktivitäten in Luftproben	3
2.3 Ra-226 und Pb-210 in Oberflächenwässern	7
2.4 Ra-226 und Pb-210 in Trinkwasserproben	10
2.5 Ra-226 und Pb-210 in wichtigen Nahrungsmitteln	11
2.6 Ra-226 und Pb-210 in Gras und Heu	11
2.7 Ra-226 und Pb-210 in Bodenproben	17
2.8 Ra-226 und Pb-210 in Sedimenten	17
3. Diskussion der Ergebnisse	25
3.1 Der natürliche Untergrund von Ra-226 und Pb-210 im Raum Großschloppen	25
3.2 Die aus der Uranuntersuchungsgrube "Christa" emittierte Aktivität	29
3.3 Die Berechnung von Transferfaktoren	32
3.4 Die Dosisexposition der Bevölkerung im Raum Großschloppen	45
4. Zusammenfassung	49
5. Literatur	52

## 1. Problemstellung

Beim Schürfen und beim Abbau von Uranerz wird die Abluft mit staubförmigem Erz und mit dem Gas Radon kontaminiert. Diese werden über das Abluftsystem der Grube freigesetzt. Das natürlich gelagerte oder durch Sprengungen aufgelockerte Erz wird durch das Grubenwasser berieselt und dabei gehen geringe Anteile des Erzes in Lösung und führen zur radioaktiven Kontamination dieser Grubenwässer. Da die Wässer aus der Grube abgepumpt und an die Umgebung abgegeben werden, kann durch ihren Aktivitätsgehalt, wie auch durch den Aktivitätsgehalt der Abluft, eine Dosisexposition der Umgebungsbevölkerung hervorgerufen werden. Ob dies der Fall ist und welches Ausmaß eine solche Dosisexposition erreicht, sollte in der Umgebung der Uranuntersuchungsgrube "Christa" in Großschloppen untersucht werden.

Im Uranerz befinden sich die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen des U-238 und des U-235. Zu ihnen gehören 25 radioaktive Nuklide. Da die Messung aller radioaktiven Nuklide zeit- und kostenaufwendig ist, sollten nur die wichtigsten Radionuklide untersucht werden. Wegen des geringen Anteils von U-235 im natürlichen Uran beträgt die Aktivität dieses Nuklides und seiner Folgeprodukte nur etwa 3,4 % der gesamten Aktivität des Erzes, wenn säkulares Gleichgewicht zwischen den Ausgangsnukliden U-235 und U-238 und deren Folgeprodukte angenommen wird. Von den Radionukliden der U-238-Reihe sind Ra-226 und Pb-210 mit Abstand die gefährlichsten Radionuklide.

Die Untersuchung einer eventuell vorhandenen Umgebungsexposition durch die Uranuntersuchungsgrube "Christa" befaßte sich daher ausschließlich mit Freisetzung, Verteilung und den Umgebungskonzentrationen von Ra-226 und Pb-210.

Da der Raum Großschloppen ein Raum erhöhter natürlicher Strahlenintensität ist, war zu erwarten, daß auch die natürlichen Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in diesem Raum höher sein werden als an anderen Orten der Bundesrepublik Deutschland. Um die durch das Auffahren der Versuchsgarbe verursachte Umgebungskontaminationen mit der natürlichen Konzentration vergleichen zu können, wurden in Großschloppen und seiner weiteren Umgebung eine große Zahl von Ra-226- und Pb-210-Bestimmungen in Umgebungsmaterialien und lokal produzierten Nahrungsmitteln durchgeführt.

## 2. Meßergebnisse

### 2.1 Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik

Auf Ra-226 und Pb-210 wurden Trinkwasser, Oberflächenwasser, Grubenwasser, Luftproben, Proben wichtiger lokal produzierter Nahrungsmittel, Gras-, Boden- und Sedimentproben untersucht.

Wasserproben wurden durch Schöpfen als einzelne Stichproben, durch mehrfaches Schöpfen als Mischproben und quasikontinuierlich mit batteriebetriebenen Probenahmegeräten entnommen. Erdproben wurden durch Ausstechen mit Stahlzylindern bis zur gewünschten Tiefe gesammelt. Luftstaub wurde auf Mikrosorbanfiltern aus einem Luftstrom abgeschieden, der mit einem Hochleistungsgebläse angesaugt wurde. Zur Rn-222-Messung wurde mit einer kleinen Pumpe 30 min lang Luft in einen Sack aus kunststoffbeschichteter Alu-Folie gepumpt.

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<sub>2</sub>-Strom bei 80 °C, mit HCl/HNO<sub>3</sub> bei Siedehitze oder durch Trockenveraschung bei 650 °C.

Zur Bestimmung von Ra-226 wurde die chemische Abtrennung durch Mitfällung mit  $\text{BaSO}_4$ , 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  $\text{ZnS(Ag)}$ -Szintillator oder am  $\text{Ge(Li)}$ -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.

Rn-222 wurde nach Trocknen der Luft in der  $\text{ZnS(Ag)}$ -Szintillatorzelle gemessen. Die Alpha- und Betaaktivitäten der Aerosole wurden in Großflächendurchflußzählern gemessen [1-4].

Zur Bestimmung der chemischen Ausbeuten wurde für Ra-226 eine bekannte Menge  $\text{Ba}^{2+}$  und für Pb-210 eine bekannte Menge  $\text{Pb}^{2+}$  und  $\text{Bi}^{3+}$  benutzt. Die Standardabweichungen der Ra-226-Bestimmungen liegen bei 10-15 %, die der Pb-210-Bestimmungen bei 5-10 % und die der Rn-222-Bestimmungen im 5-%-Bereich.

## 2.2 Alpha-, Beta-, Ra-226-, Pb-210- und Rn-222-Aktivitäten in Luftproben

50 m innerhalb des Stollenmundloches wurden Luftstaubproben genommen. Die Alpha- und Betaaktivitäten, die in der Abluft der Uranuntersuchungsgrube gemessen wurden, sind in Tab. 1 angegeben. Etwa 10 m vor dem Stollenmundloch wurden Luftstaubproben aus der Umgebungsluft genommen. Die Ergebnisse der Alpha- und Betaaktivitäten der Aerosole sind in Tab. 2 angegeben.

Tabelle 1: Konzentrationen von Rn-222 und der langlebigen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivität in der Abluft der Grube "Christa", Großschloppen, 50 m vom Stollenmundloch

Probenahme- datum	Aktivitätskonzentrationen von		
	$\alpha$ -Aktivität in fCi/m <sup>3</sup>	$\beta$ -Aktivität in fCi/m <sup>3</sup>	Rn-222 in nCi/m <sup>3</sup>
03.06.1981	36	232	-
24.06.1981	-	-	56
08.07.1981	<2	31	-
09.07.1981	-	-	46
29.07.1981	<2	72	-
31.07.1981	-	-	52
20.08.1981	73	101	291
10.09.1981	5	49	27
01.10.1981	4	62	58
08.10.1981	23	30	70
20.10.1981	4	107	70
01.12.1981	14	10	-
15.12.1981*	4	83	-
15.12.1981	5	98	-
18.01.1982	<2	67	-
08.02.1982	5	106	-
04.03.1982	4	<20	-

\* Ab 15.12.1981 wird das Eingangsdatum der Proben angegeben.

Tabelle 2: Konzentrationen der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aktivität in der Umgebungsluft, 10 m vor dem Stollen der Grube "Christa", Großschloppen

Probenahmedatum	Aktivitätskonzentrationen von	
	$\alpha$ -Aktivität in fCi/m <sup>3</sup>	$\beta$ -Aktivität in fCi/m <sup>3</sup>
02.06.1981	18	174
07.07.1981	12	125
28.07.1981	1,4	29
20.08.1981	3,8	85
10.09.1981	2,0	57
01.10.1981	<0,6	19
07.10.1981	5,2	59
20.10.1981	3,2	28

Einige ausgewählte Luftstaubproben aus der Abluft der Uranuntersuchungsgrube und von vor dem Stollenmundloch wurden auf Ra-226 und Pb-210 untersucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 angegeben. Rn-222 wurde in einer Reihe von Luftproben aus der Abluft der Uranuntersuchungsgrube bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 angegeben. Gleichzeitig wurde mit wachsendem Abstand vom Stollenmundloch Rn-222 in der Umgebungsluft in der Hauptwindrichtung gemessen. Neben einer Vergleichsmessung aus Buchhaus sind die Ergebnisse in Tab. 4 angegeben.

Tabelle 3: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Luftproben aus der Grube "Christa", Großschloppen

Probenahmedatum	Herkunft der Probe	Aktivitätskonzentration in fCi/m <sup>3</sup>	
		Ra-226	Pb-210
03.06.1981	50 m innerhalb Stollenmundloch	3,3±0,7	62±13
20.08.1981	50 m innerhalb Stollenmundloch	5,6±1,1	59±12
02.06.1981	10 m vor Stollenmundloch	1,9±0,4	40± 7
07.07.1981	10 m vor Stollenmundloch	1,6±0,3	20± 3
07.10.1981	10 m vor Stollenmundloch	2,7±0,5	8,8±2,2

Tabelle 4: Die Abnahme der Ra-222-Konzentration in der Abluftfahne der Grube "Christa", Großschloppen, mit wachsendem Abstand vom Stollenausgang in der Windrichtung. Probenahmedatum: 13.08.1981

Abstand vom Stollenausgang in m	Rn-222-Konzentration in nCi/m <sup>3</sup>
im Stollen	27 - 291
50	5,6
100	0,74
400	0,37
Untergrund bei Buchhaus	0,41

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

5 l des Wassers vom Auslauf des Sedimentierbeckens der Grube "Christa", Großschloppen, wurden uns von der Fa. ESSO-ERZ zur Ra-226- und Pb-210-Bestimmung zur Verfügung gestellt. Quasikontinuierliche Probenahmen erfolgten am Krebsbach unterhalb der Einleitung des gereinigten Grubenwassers, am Krebsbach oberhalb der Einleitung, am Fischteich der Fam. Langhammer und zu Vergleichszwecken an einem Teich in Lehsten.

Die Probenahme erfolgte über zwei bis drei Wochen jeweils und jede Probe bestand aus 10 l Oberflächenwasser. Die Probenahme selbst erfolgte zwischen Juni und Oktober 1981. Außer den quasikontinuierlich gesammelten Oberflächenwässern wurde eine Reihe von Stichproben von Brunnen und Oberflächenwässern aus dem Raum Großschloppen auf Ra-226 und Pb-210 analysiert. Die Ergebnisse der Analysen der Oberflächenwässer werden in den Tabn. 5 bis 7 wiedergegeben.

Tabelle 5: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Wasserproben aus dem Auslauf des letzten Sedimentierbeckens der Grube "Christa", Großschloppen

Probenahmedatum	Aktivitätskonzentrationen in pCi/l	
	Ra-226	Pb-210
04.06.1981	0,81	0,60
09.07.1981	4,9	<0,40
31.07.1981	3,8	2,2
12.08.1981	10	2,3
10.09.1981	90	31
30.09.1981	3,3	2,7
21.10.1981	-	21
04.11.1981	12	3,7

Tabelle 6: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Wasserproben von quasikontinuierlichen Probenahmen

Probenahme von - bis	Aktivitätskonzentration in pCi/l und Standardabweichung	
	Ra-226	Pb-210
Krebsbach vor der Grube "Christa", Großschloppen		
09.06.81-22.06.81	1,3 ± 0,6	0,5 ± 0,1
22.06.81-08.07.81	0,6 ± 0,3	0,6 ± 0,1
08.07.81-28.07.81	0,5 ± 0,2	0,42 ± 0,09
28.07.81-12.08.81	2,4 ± 0,9	1,4 ± 0,2
12.08.81-08.09.81	11 ± 4	0,6 ± 0,1
08.09.81-30.09.81	11 ± 4	2,6 ± 0,3
30.09.81-20.10.81	4 ± 1	0,8 ± 0,1
20.10.81-04.11.81	4 ± 2	< 0,1
Krebsbach nach der Grube "Christa", Großschloppen		
09.06.81-23.06.81	9 ± 3	1,9 ± 0,6
23.06.81-08.07.81	14 ± 5	4,6 ± 0,9
08.07.81-29.07.81	3 ± 1	2,5 ± 0,3
29.07.81-12.08.81	34 ± 13	< 2,2
12.08.81-08.09.81	13 ± 5	22 ± 3
08.09.81-30.09.81	20 ± 7	< 6
Fischteich der Fam. Langhammer bei Großschloppen		
06.06.81-23.06.81	14 ± 5	9 ± 1
23.06.81-09.07.81	1,4 ± 0,5	0,9 ± 0,2
09.07.81-29.07.81	1,1 ± 0,4	1,1 ± 0,2
29.07.81-12.08.81	1,8 ± 0,7	0,6 ± 0,1
12.08.81-08.09.81	5 ± 2	5,2 ± 0,6
08.09.81-30.09.81	1,6 ± 0,6	1,1 ± 0,2
30.09.81-20.10.81	1,1 ± 0,7	1,4 ± 0,2
am Teich in Lehsten		
12.06.81-24.06.81	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,1
24.06.81-09.07.81	0,4 ± 0,2	0,3 ± 0,1
09.07.81-30.07.81	0,8 ± 0,3	2,0 ± 0,3
30.07.81-12.08.81	0,7 ± 0,2	3,0 ± 0,4
12.08.81-08.09.81	0,6 ± 0,2	0,8 ± 0,2
08.09.81-30.09.81	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,1

Tabelle 7: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Wasserproben von Brunnen und Oberflächenwasser, Raum Großschloppen

Probenahmeort und -datum	Aktivitätskonzentration in pCi/l und Standardabweichung	
	Ra-226	Pb-210
Fam. Lang, Großschloppen 04.06.1981	<0,12	1,3±0,2
Dorf Hebanz 24.06.1981	3±1	2,0±0,3
Fam. Steinwasser, Lehsten 08.07.1981	0,19±0,07	5,9±0,7
Fam. Lang, Großschloppen 21.10.1981	<0,07	1,5±0,3
Fischteich, Fam. Langhammer 03.06.1981	1,8±0,2	0,74±0,07
Dorfteich Hebanz 04.06.1981	0,2±0,1	2,6±0,3
Eger nach Krebsbachein- mündung 03.06.1981	<0,1	0,3±0,07
Eger bei Schwarzenhammer 03.06.1981	0,08±0,03	<0,2
Dorfteich Lehsten 03.06.1981	0,19±0,07	0,56±0,09
Fischteich, Fam. Lang 28.07.1981	0,31±0,07	0,7±0,1
Fischteich, Fam. Lang 07.10.1981	0,5±0,1	0,9±0,2
Schloppenbach, Großschloppen 03.06.1981	0,22±0,04	0,4±0,1

Brunnen

Oberflächenwasser

2.4 Ra-226 und Pb-210 in Trinkwasserproben

Zur Überprüfung des Gehaltes der genannten Radionuklide in Trinkwasser der Versorgung von Kirchenlamitz, von Markt-leuthen, von Buchhaus und der Trinkwasserversorgung der Fam. Lang in Großschloppen wurden jeweils zwischen vier und sechs Trinkwasserproben entnommen. Die Ergebnisse sind in Tab. 8 wiedergegeben.

Tabelle 8: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Trinkwasserproben

Probenahmedatum	Aktivitätskonzentration in pCi/l und Standardabweichung	
	Ra-226	Pb-210
Araltankstelle, Kirchenlamitz		
04.06.1981	0,1 ± 0,04	1,5 ± 0,2
07.07.1981	0,9 ± 0,4	2,8 ± 0,3
18.08.1981	1,8 ± 1,2	1,2 ± 0,2
07.10.1981	2,0 ± 0,7	2,2 ± 0,5
03.11.1981	1,6 ± 0,4	13 ± 1
09.11.1981	19 ± 7	25 ± 4
Marktleuthen		
03.06.1981	0,3 ± 0,1	2,0 ± 0,3
08.07.1981	0,1 ± 0,04	2,5 ± 0,2
18.08.1981	0,2 ± 0,07	0,8 ± 0,1
07.10.1981	0,2 ± 0,04	0,7 ± 0,1
Buchhaus		
03.06.1981	0,1 ± 0,03	< 1,7
07.07.1981	0,2 ± 0,1	2,8 ± 0,3
18.08.1981	< 0,2	3,5 ± 0,3
07.10.1981	0,17 ± 0,05	1,1 ± 0,2
Fam. Lang, Großschloppen		
03.06.1981	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,2
07.07.1981	0,18 ± 0,08	1,6 ± 0,2
18.08.1981	-	1,2 ± 0,1
07.10.1981	0,28 ± 0,06	1,4 ± 0,2

## 2.5 Ra-226 und Pb-210 in wichtigen Nahrungsmitteln

Als wichtigste lokalproduzierte Nahrungsmittel wurden Fische, Milch, Getreide und Kartoffeln auf Ra-226 und Pb-210 untersucht. Es wurden Schleien, Karpfen und Forellen aus verschiedenen Fischteichen der Umgebung von Großschloppen zur Analyse gebracht. Die Probenahme erfolgte zwischen Mai und Oktober 1981.

Milchproben aus Hebanz, Großschloppen und aus Lehsten gelangten zur Untersuchung. Zusätzlich wurden zwei Milchproben aus der Milchzentrale Hof und dem Milchverkauf Weißenstadt untersucht.

Aus Großschloppen, Lehsten und Hebanz wurden Gerste, Hafer, Roggen und Weizen auf Ra-226 und Pb-210 untersucht. Kartoffeln wurden aus Großschloppen, Lehsten und Hebanz untersucht. Zusätzlich wurden eine Futterrüben- und eine Weißkrautprobe auf Ra-226 und Pb-210 ausgemessen. Die Ergebnisse sind in den Tabn. 9 bis 12 wiedergegeben.

## 2.6 Ra-226 und Pb-210 in Gras und Heu

Gras- und Heuproben wurden aus Großschloppen, Lehsten und Hebanz auf Ra-226 und Pb-210 untersucht. Die Grasproben wurden vor allem auf Wiesen entnommen, die zur Futterproduktion für Milchkühe benutzt werden. Eine Grasprobe wurde am Geländezaun der Grube "Christa" entnommen. Die Ergebnisse sind in Tab. 13 wiedergegeben.

Tabelle 9: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Fisch und Muscheln

Probenahmeort und -datum	Fischart und untersuchte Teile des Fisches	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch	
		Ra-226	Pb-210
Fischteich, Fam. Langhammer 09.05.1981	Schleie, Eingeweide	0,7 ±0,2	7,6±2,6
Fischteich, Fam. Langhammer 09.05.1981	Schleie, Fleisch ohne Kopf und Flossen	14±2	<8
Fischteich, Fam. Langhammer 09.05.1981	Karpfen, Eingeweide	9,5±1,5	<10
Fischteich, Fam. Langhammer 09.05.1981	Karpfen, Fleisch ohne Kopf und Flossen	4,2±0,8	<7
Fischteich, Fam. Langhammer 05.06.1981	Karpfen, Fleisch	4,9±0,8	17±3
Fischteich, Fam. Lang 08.10.1981	Karpfen, ohne Eingeweide	7,6±1,2	5,8±0,9
Fischteich, Lehsten 21.10.1981	Karpfen, ohne Eingeweide	8,8±1,2	20±3
Fischteich, Lehsten 05.06.1981	Forelle, Fleisch	7,8±1,1	3,7±0,6
Fischteich, Lehsten 28.07.1981	Forelle, Fleisch	5,2±0,8	10,4±1,5
Fischteich, Fam. Langhammer 09.05.1981	Muscheln, Schale	244±34	142±36
	Muscheln, Fleisch	185±26	93± 8

Tabelle 10: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Milch von Großschloppen

Probenahme- datum	Probenahmeort	Aktivitätskonzentration in pCi/l	
		Ra-226	Pb-210
05.06.1981	Fam. Geyer, Hebanz	0,24±0,05	<1,0
10.07.1981		0,14±0,04	<1,1
30.09.1981		0,27±0,06	<1,0
05.06.1981	Fam. Lang, Großschloppen	0,16±0,04	<3,1
24.06.1981		0,14±0,04	<1,0
10.07.1981		<0,15	<1,1
30.07.1981		0,23±0,05	<1,2
20.08.1981		0,18±0,04	<0,9
10.09.1981		0,23±0,06	<0,9
30.09.1981		0,15±0,05	<1,0
22.10.1981		<0,11	4,1±0,7
05.11.1981	0,78±0,08	<1,0	
05.06.1981	Fam. Steinwasser, Lehsten	0,18±0,05	<1,1
10.07.1981		-	-
30.09.1981		0,33±0,06	<1,0
08.10.1981	Milchzentrale, Hof	0,12±0,03	<1,1
05.11.1981	Milchverkauf, Weißensstadt	0,16±0,05	<3,3

Tabelle 11: Aktivitätskonzentration im Getreide

Probenahmeort, -datum und -art	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch	
	Ra-226	Pb-210
Fam. Lang, Großschloppen 18.08.1981 - Gerste	8±1	19±3
Fam. Lang, Großschloppen 10.09.1981 - Hafer	6±2	25±3
Fam. Steinwasser, Lehsten 10.09.1981 - Hafer	64±9	23±4
Fam. Steinwasser, Lehsten 07.09.1981 - Gerste	9±1	22±3
Fam. Geyer, Hebanz 09.09.1981 - Roggen	24±3	13±2
Fam. Geyer, Hebanz 08.09.1981 - Weizen	13±2	6±1
Fam. Geyer, Hebanz 09.09.1981 - Gerste	19±3	18±2
Fam. Geyer, Hebanz 09.09.1981 - Hafer	138±20	<42

Tabelle 12: Aktivitätskonzentration in Kartoffeln, Futterrüben und Weißkraut

Probenahmeort, -datum und -art	Aktivitätskonzentration in pCi/kg frisch	
	Ra-226	Pb-210
Fam. Lang, Großschloppen 30.07.1981 - Frühkartoffeln	4,1±0,7	<7,3
Fam. Steinwasser, Lehsten 30.07.1981 - Kartoffeln	7 ±1	<5
Fam. Geyer, Hebanz 18.08.1981 - Kartoffeln	9 ±1	<2
Fam. Geyer, Hebanz 18.08.1981 - Kartoffeln	5,9±0,9	4,0±0,8
Fam. Reichelt, 50 m südl. Grube "Christa" 18.08.1981 - Kartoffeln	4,0±0,5	<4
Fam. Lang, Großschloppen oberhalb Ausbiss 19.08.1981 - Kartoffeln	3,6±0,6	<2,5
Fam. Lang, Großschloppen 07.10.1981 - Futterrüben	4,8±0,6	2,9±0,6
Fam. Lang, Großschloppen 05.11.1981 - Weißkraut	3,0±0,5	<1,7
Fam. Lang, Großschloppen 05.11.1981 - Spätkartoffeln	6,2±0,7	<2,5

Tabelle 13: Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Gras und Heu

Probenahmeort, -datum und Probenart	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken	
	Ra-226	Pb-210
Fam. Lang, Großschloppen 04.06.1981 - Gras	0,06 ±0,01	0,18±0,02
24.06.1981 - Gras	0,10 ±0,01	0,64±0,07
11.07.1981 - Gras	0,042±0,006	0,12±0,02
30.07.1981 - Gras	0,18 ±0,03	0,86±0,07
20.08.1981 - Gras	0,36 ±0,05	0,6 ±0,1
10.09.1981 - Gras	0,9 ±0,1	0,39±0,07
Fam. Lang, Großschloppen 30.09.1981 - Heu	0,20 ±0,03	0,18±0,04
22.10.1981 - Heu	0,17 ±0,02	0,20±0,02
05.11.1981 - Heu	0,31 ±0,04	0,26±0,03
Fam. Steinwasser, Lehsten 04.06.1981 - Gras	0,35 ±0,03	0,82±0,07
11.07.1981 - Gras	0,16 ±0,03	0,20±0,02
Fam. Steinwasser, Lehsten 30.09.1981 - Heu	0,13 ±0,02	0,24±0,03
Fam. Geyer, Hebanz 04.06.1981 - Gras	0,48 ±0,05	0,57±0,06
Fam. Geyer, Hebanz 11.07.1981 - Heu	0,13 ±0,02	0,19±0,02
30.09.1981 - Heu	0,40 ±0,05	0,32±0,03
Fam. Reichelt, vor der Grube "Christa" 10.07.1981 - Gras	1,5 ±0,1	0,50±0,05

## 2.7 Ra-226 und Pb-210 in Bodenproben

Bodenproben wurden überall dort genommen, wo Gras, Getreide, Kartoffeln und einige andere pflanzliche Nahrungsmittel entnommen wurden. Außerdem wurden Bodenproben in der Umgebung der Grube "Christa", in Großschloppen, Hebanz und Lehsten entnommen. Die Probenahme erfolgte bis zu einer Tiefe von 10 cm auf Wiesen und bis zu 20 cm auf Ackerboden. Die Ergebnisse der Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen sind in Tab. 14 wiedergegeben.

## 2.8 Ra-226 und Pb-210 in Sedimenten

Sedimentproben wurden im Krebsbach, 150 m unterhalb der Grube "Christa", im Fischteich der Fam. Langhammer, der sein Wasser aus dem Krebsbach bezieht, und aus dem Krebsbach, 1 km unterhalb der Grube "Christa", entnommen. Zwei weitere Proben stammen aus dem Krebsbach, etwa 100 m vor dem Einlauf in die Eger, und aus der Eger, etwa 20 m nach dem Einlauf des Krebsbaches. Die Konzentrationen von Ra-226 und Pb-210 werden in Tab. 15 und die eine Reihe anderer Nuklide in Tab. 16 wiedergegeben.

Die Positionen der Probenahme werden in den Abbn. 1-5 wiedergegeben.

Tabelle 14: Aktivitätskonzentration im Boden

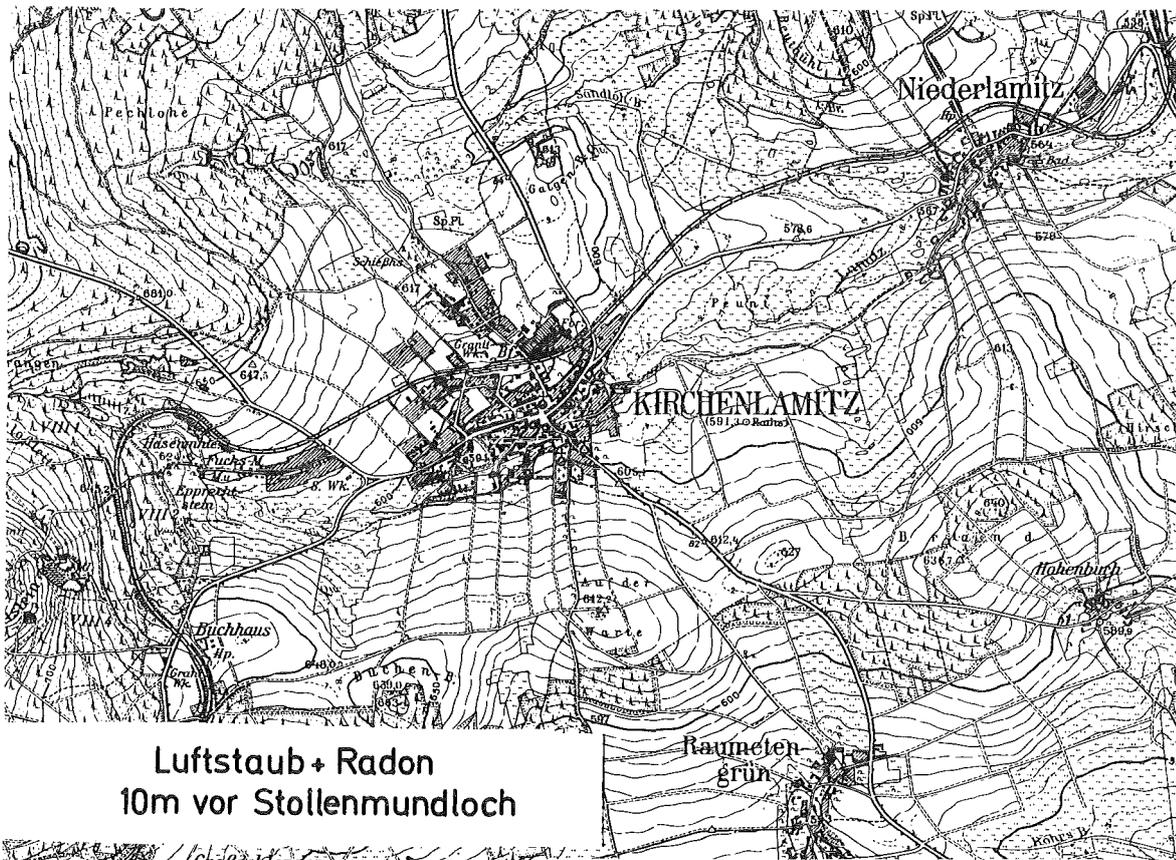
Probenahmedatum	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken	
	Ra-226	Pb-210
04.06.1981	3,5 ± 0,5	2,5 ± 0,3
04.06.1981	3,4 ± 0,4	2,1 ± 0,3
04.06.1981	2,9 ± 0,4	1,8 ± 0,3
24.06.1981	1,4 ± 0,2	0,8 ± 0,2
11.07.1981	3,1 ± 0,4	2,5 ± 0,3
11.07.1981	2,2 ± 0,3	1,3 ± 0,2
11.07.1981	2,3 ± 0,3	1,5 ± 0,3
29.07.1981	2,0 ± 0,3	1,3 ± 0,2
28.07.1981	1,6 ± 0,2	0,9 ± 0,2
29.06.1981	3,0 ± 0,4	1,7 ± 0,2
14.08.1981	4,1 ± 0,6	2,9 ± 0,3
20.08.1981	1,8 ± 0,3	1,1 ± 0,2
18.08.1981	3,2 ± 0,5	1,8 ± 0,2
18.08.1981	2,5 ± 0,3	1,9 ± 0,2
19.08.1981	0,9 ± 0,1	1,3 ± 0,2
20.08.1981	9 ± 1	5,0 ± 0,5
20.08.1981	11 ± 1	8,2 ± 0,7
10.09.1981	1,5 ± 0,2	1,1 ± 0,2
10.09.1981	4,0 ± 0,4	2,9 ± 0,3
10.09.1981	2,0 ± 0,2	1,3 ± 0,2
07.09.1981	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,2
09.09.1981	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2
08.09.1981	3,0 ± 0,4	2,1 ± 0,3
09.09.1981	2,4 ± 0,3	1,5 ± 0,2
09.09.1981	2,7 ± 0,4	2,4 ± 0,3
07.10.1981	1,2 ± 0,2	<1,2

Tabelle 15: Aktivitätskonzentration von Ra-226 und Pb-210 in Sedimenten. Probenahme in Großschloppen und Umgebung

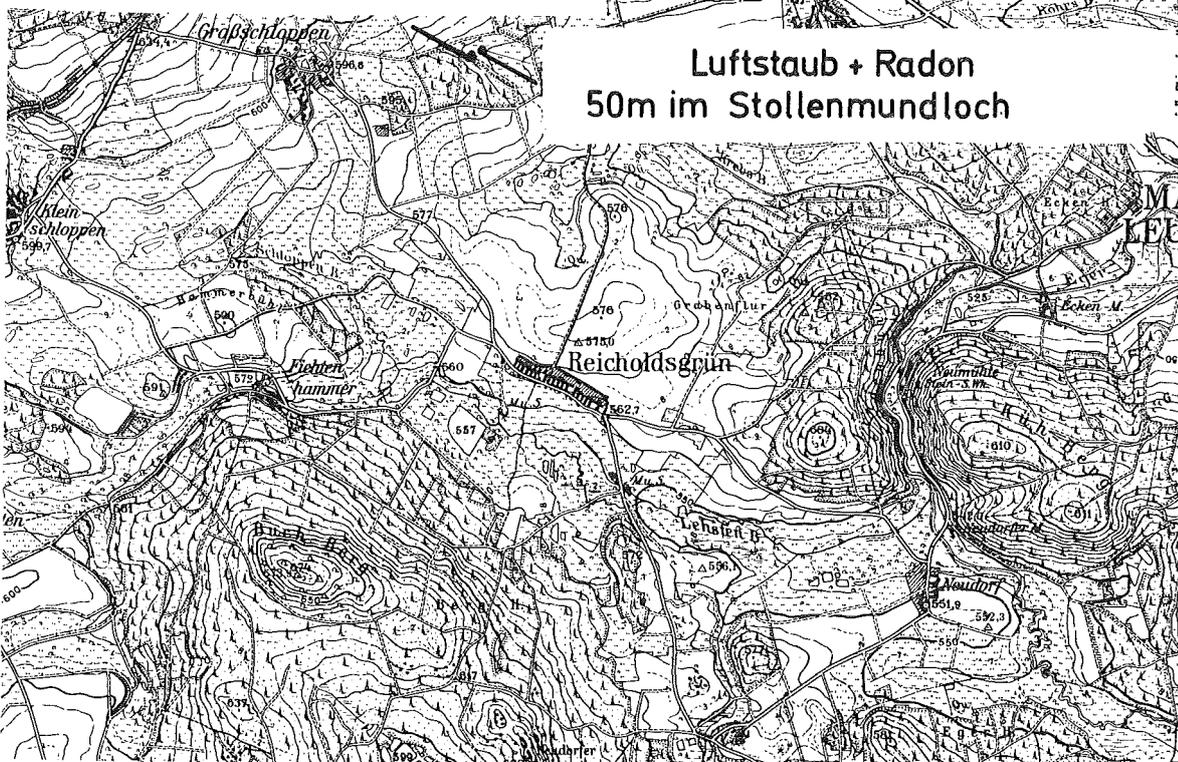
Probenahmeort und -datum	Aktivitätskonzentration in pCi/g Trockensubstanz	
	Ra-226	Pb-210
Krebsbach, 150 m unterhalb von Grube "Christa" 04.06.1981	3,9±0,4	2,5±0,3
Fischteich, Fam. Langhammer 04.06.1981	1,4±0,2	1,5±0,2
Krebsbach ca. 1 km unterhalb Grube "Christa" 24.06.1981	3,1±0,3	1,7±0,2
Krebsbach, 100 m vor Einlauf Eger 24.06.1981	2,7±0,3	2,3±0,2
Eger, 20 m nach Einlauf von Krebsbach 11.07.1981	3,8±0,4	2,3±0,2

Tabelle 16: Aktivitätskonzentrationen in Sedimentproben

Radio- nuklid	Aktivitätskonzentration in pCi/g trocken				
	1	2	3	4	5
Th-232	1,05	0,75	1,18	1,10	1,15
Th-230	1,60	0,75	1,99	1,30	1,92
U-238	2,97	1,60	2,70	3,21	3,95
U-234	3,70	1,80	3,03	3,66	4,35
Ra-226	3,9±0,4	1,4±0,2	3,1±0,3	2,7±0,3	3,8±0,4
Pb-210	2,5±0,3	1,5±0,2	1,7±0,2	2,3±0,2	2,3±0,2
Po-210	2,25	1,72	1,79	2,80	1,36



Luftstaub + Radon  
10m vor Stollenmundloch



Luftstaub + Radon  
50m im Stollenmundloch

Abb. 1: Die Probenahme für Luftstaub und Radon erfolgte 10 m vor dem Stollenmundloch und 50 m im Stollenmundloch der Grube "Christa" bei Großschloppen

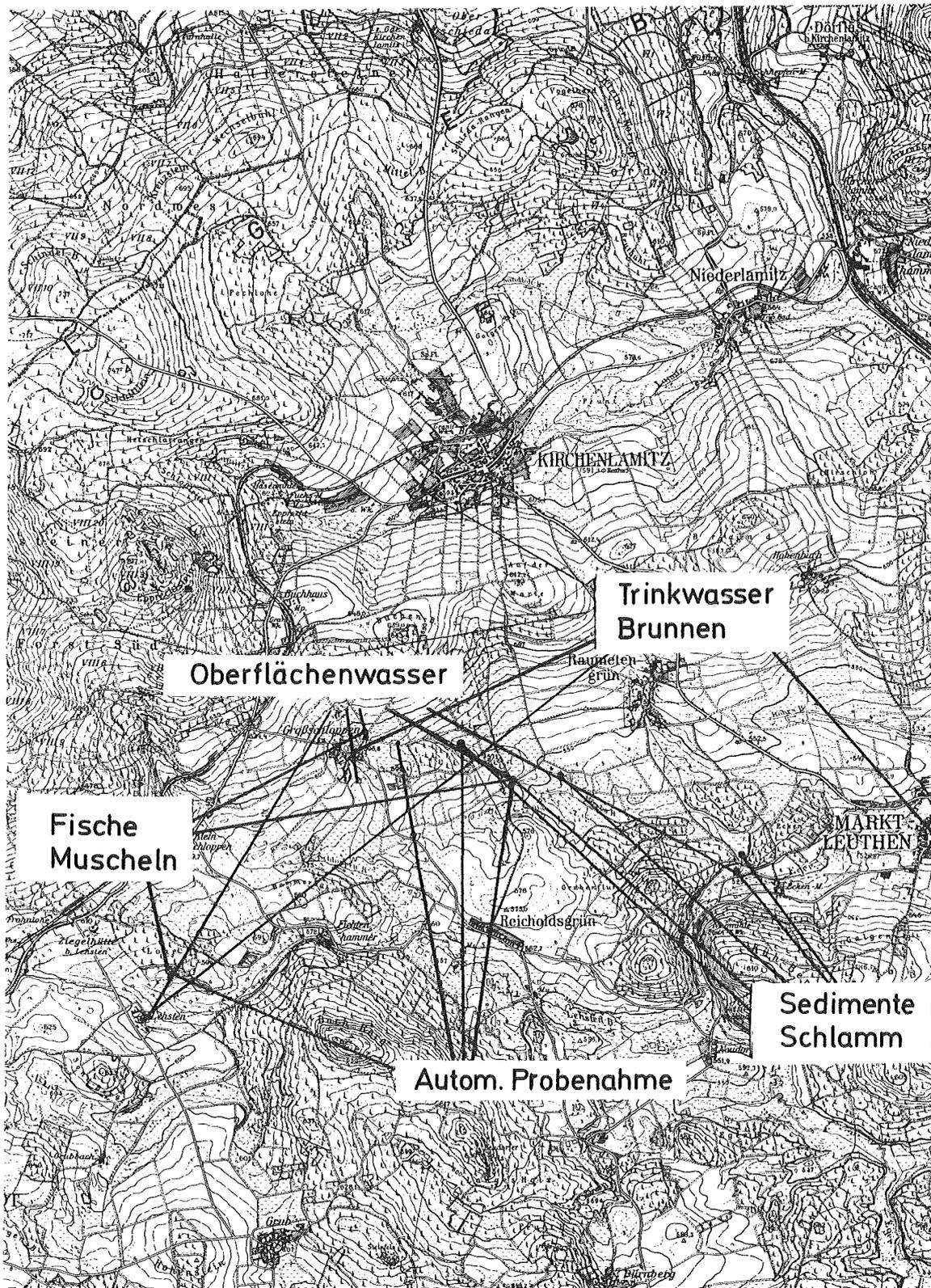


Abb. 2: Die Probenahme in aquatischen Ökosystemen

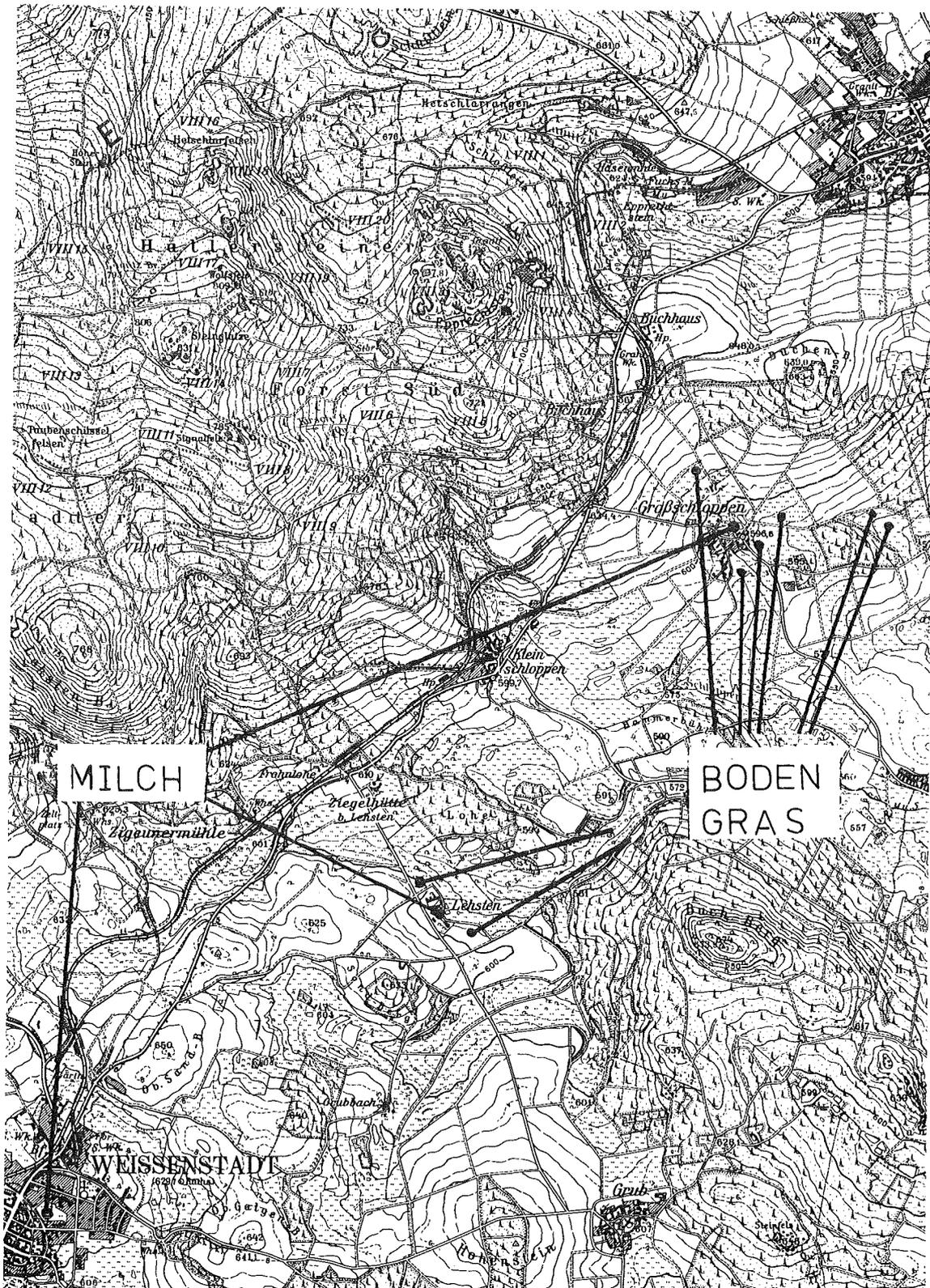


Abb. 3: Die Probenahme zum Boden → Gras → Milch-Transfer

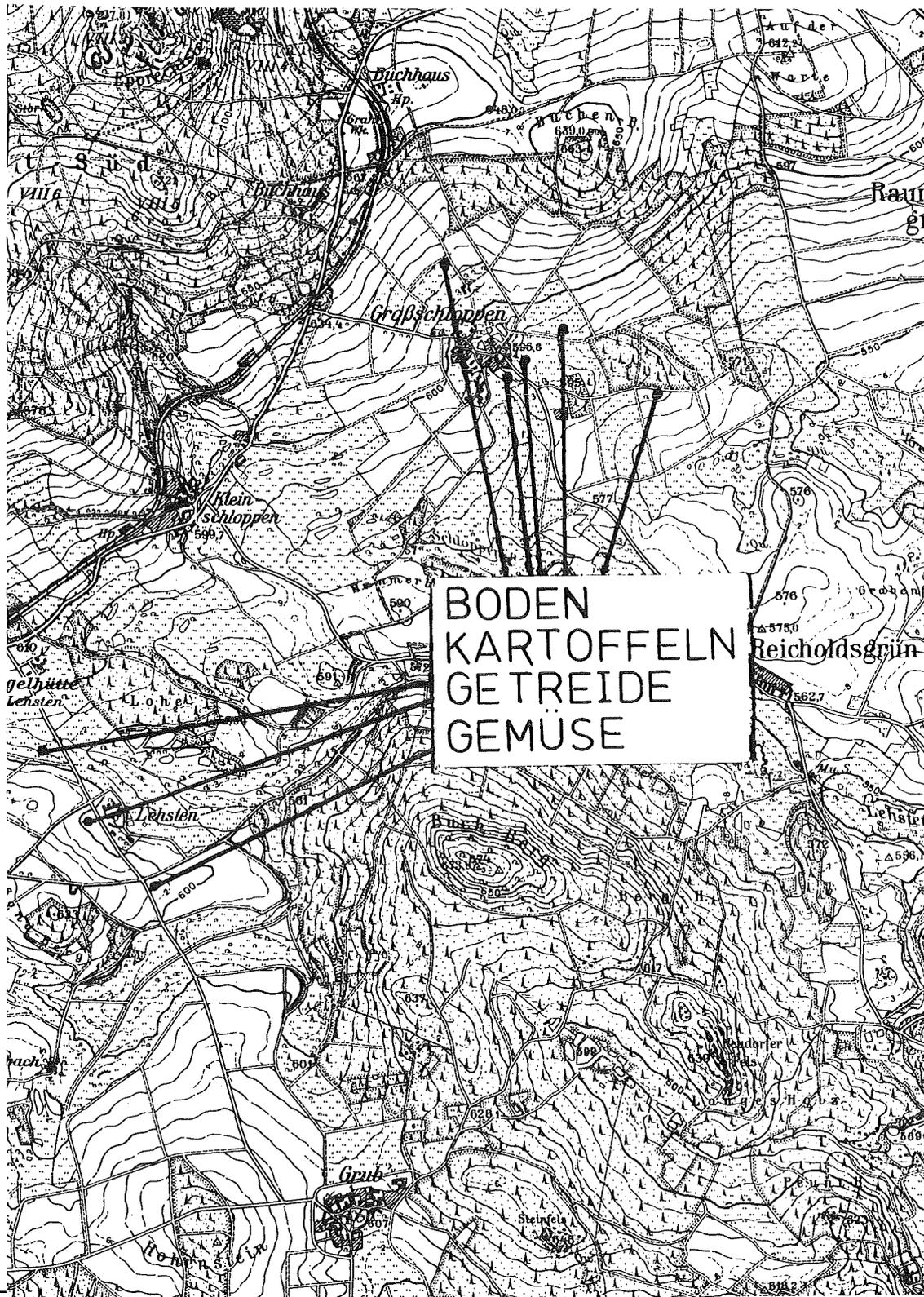


Abb. 4: Die Probenahme zum Boden→pflanzliches Nahrungsmittel-Transfer

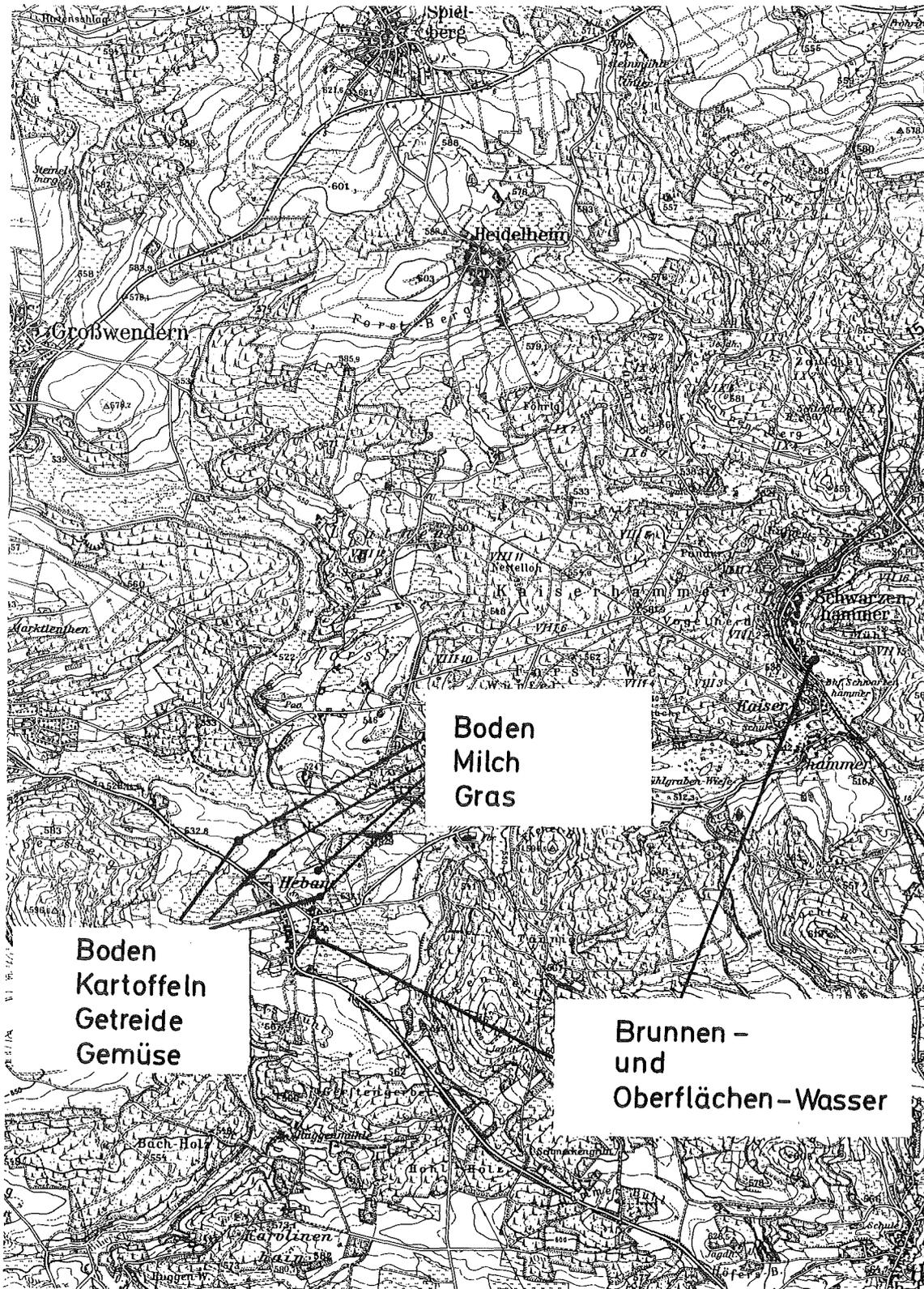


Abb. 5: Die Probenahme im Referenzbereich

### 3. Diskussion der Ergebnisse

#### 3.1 Der natürliche Untergrund von Ra-226 und Pb-210 im Raum Großschloppen

Der Boden:

Das wichtigste Kriterium für den natürlichen Untergrund von Ra-226 und Pb-210 ist deren Konzentration im Boden. Die Ergebnisse der Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen sind in Tab. 14 wiedergegeben. Verglichen mit den normalerweise anzutreffenden Konzentrationen von 0,5 bis 1,0 pCi/g Boden sind die Konzentrationen von Ra-226 im Durchschnitt um den Faktor 3 bis 4 und die von Pb-210 um den Faktor 2 bis 3 erhöht. Dies bedeutet, daß der Raum Großschloppen ganz allgemein als ein Raum mit erhöhter Untergrundstrahlung anzusehen ist. Pb-210 ist ein Folgeprodukt des Ra-226. Es sollte daher im säkularen Gleichgewicht die gleiche spezifische Aktivität aufweisen wie das Ra-226. In der obersten Erdschicht ist die Pb-210-Konzentration dann höher als die Ra-226-Konzentration, wenn die Pb-210-Ablagerung aus der Luft den Verlust von Pb-210 durch die Exhalation von Rn-222 überträgt. Die im Mittel geringere Konzentration von Pb-210 verglichen mit Ra-226, entspricht daher einer wirkungsvollen Exhalation des Radons aus der obersten Erdschicht.

Höhere Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen wurden in zwei Erdproben gemessen, die am 20. August 1981 genommen wurden. Die Bodenproben stammen von einem Gerstenfeld der Fam. Lang in Großschloppen. Die höheren Werte dürften direkt mit dem Ausbiß der uranführenden Schichten auf dem beprobten Acker zusammenhängen [5-7].

#### Gras, Heu:

Höhere Ra-226-Konzentrationen im Boden führen im allgemeinen zu höheren Ra-226-Konzentrationen in Pflanzen. In Tab. 13 sind die Ra-226- und die Pb-210-Konzentrationen, wie sie in Gras und Heu aus dem Raum Großschloppen gemessen wurden, dargestellt. Mit 42 bis 900 pCi Ra-226 pro kg Trockensubstanz entsprechen die Konzentrationen den Erwartungen und gleichen weitgehend den Meßwerten von Menzenschwand, Südschwarzwald. Die Ra-226-Konzentrationen in den Bodenproben von Menzenschwand gleichen weitgehend den Konzentrationen in Großschloppen.

Die Pb-210-Konzentrationen liegen etwa im gleichen Bereich wie die Ra-226-Konzentrationen. Die Streuung der Werte ist allerdings niedriger, wahrscheinlich bedingt durch die relativ konstante Konzentration von Pb-210 in der bodennahen Luft, die hier die Hauptursache für die Pb-210-Kontamination von Pflanzen darstellt.

#### Milch:

Die Aufnahme von Gras durch Milchkühe führt zu einer Kontamination der Milch - bei normalem Untergrund - im Bereich von ca. 0,1 bis 0,3 pCi Ra-226 pro Liter Milch und von ungefähr 1 pCi Pb-210 pro Liter Milch. Die in Großschloppen, Hebanz und Lehsten gefundenen Werte entsprechen diesen niedrigen Konzentrationen und liegen nur unwesentlich über den Ra-226-Konzentrationen, wie sie in Proben der Milchzentrale Hof und dem Milchverkauf Weißenstadt gemessen wurden. Ähnliche Konzentrationen wurden von uns in Wittichen und teilweise in der Umgebung von Baden-Baden gefunden. Ein Teil der Ergebnisse von Baden-Baden und die Ra-226-Konzentrationen in Menzenschwand waren aber wesentlich höher als die Ergebnisse aus dem Raum Großschloppen, obwohl in Baden-Baden die Ra-226-Konzentration im Boden um den Faktor 2 kleiner und in Menzenschwand etwa vergleichbar ist mit der im Raum Großschloppen.

#### Getreide:

Die Ra-226-Konzentrationen im Getreide liegen zwischen 6 und 138 pCi/kg Frischgewicht. Die Pb-210-Konzentrationen liegen zwischen 6 und 25 pCi/kg Frischgewicht. Die Ra-226-Konzentrationen sind kleiner bzw. vergleichbar mit denen aus Menzenschwand, aber wesentlich größer als die Ergebnisse von Wittichen. Die Pb-210-Konzentrationen entsprechen in etwa den in Wittichen und den in Baden-Baden gefundenen Werten.

#### Kartoffeln:

Die Ra-226-Konzentrationen in Kartoffeln liegen zwischen 3 und 9 pCi/kg frisch. Die Pb-210-Konzentrationen liegen zwischen  $\leq 1,7$  und 4,0 pCi/kg Frischgewicht. Die im Raum Großschloppen gemessenen Konzentrationen von Ra-226 in Kartoffeln liegen ca. um den Faktor 5 unter den Werten von Menzenschwand und sind um ca. den Faktor 2 größer als die von uns gemessenen Werte von Wittichen und Baden-Baden. Die höchste Konzentration von Ra-226 in Kartoffeln gemäß Tab. 12 und die höchste Konzentration in Getreide wurden gemessen auf dem Acker der Fa. Geyer; auf diesem Acker liegt auch der Ausbiß einer uranerzführenden Schichte.

#### Fische:

Die Ra-226-Konzentrationen in Fischfleisch liegen zwischen 4,2 und 14 pCi/kg Frischgewicht. Dabei konnte kein Unterschied festgestellt werden zwischen Fischen, die aus dem Teich der Fam. Langhammer, der durch den Krebsbach, unterhalb der Uranuntersuchungsgrube gespeist wird, stammten und Fischen, die aus Vergleichsteichen aus Großschloppen und Lehsten entnommen wurden. Ein Vergleich mit Literaturdaten und Werten, wie sie von uns im Schwarzwald bestimmt wurden, erlauben die Aussage, daß die Ra-226-Konzentrationen den üblichen Normalwerten entsprechen. Die Pb-210-Konzentrationen sind etwas höher als die Ra-226-Konzentrationen [8, 9].

Da im Fischteich der Fam. Langhammer Muscheln gefunden wurden, wurden diese auf eine Reihe von Radioelementen analysiert. Die Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Tab. 9 zeigen, daß auch diese Radionuklide - wie viele andere - von Muscheln in ihrem Fleisch und in den Schalen angereichert werden. Da Muscheln dieser Art nicht zur Ernährung dienen, ist diese Anreicherung für die Dosisexposition der Bevölkerung bedeutungslos.

#### Trinkwasser:

Trinkwasser enthält normalerweise zwischen 0,1 und 0,3 pCi Ra-226/l und im allgemeinen vergleichbare Konzentrationen von Pb-210. Die Ra-226-Konzentrationen im Trinkwasser von Marktleuthen und Buchhaus sowie in der Trinkwasserversorgung der Fam. Lang in Großschloppen entsprechen diesem Sachverhalt. Die Ra-226-Konzentrationen, die in der Trinkwasserversorgung von Kirchenlamitz gemessen wurden, sind teilweise wesentlich höher als die üblichen Werte. In allen Trinkwasserversorgungen wurden überdurchschnittlich hohe, in der Trinkwasserversorgung von Kirchenlamitz teilweise außergewöhnlich hohe Konzentrationen von Pb-210 gemessen. Eine gemeinsame Erklärung für diese Erscheinung wäre das Vorhandensein von hohen Rn-222-Konzentrationen in allen Trinkwasserversorgungssystemen. Rn-222 zerfällt in Pb-210, und wenn die Konzentrationen von Rn-222 ausreichend groß sind, könnten die von uns gefundenen Pb-210-Konzentrationen durchaus dadurch erklärt werden. Rn-222-Messungen in Wasserproben wurden von uns allerdings nicht durchgeführt. Da bei der von uns praktizierten Probenahme von Trinkwasser eine starke Durchmischung und Belüftung der Probe erfolgt, und außerdem die Standzeit der Proben bis zu ihrer Eindampfung relativ kurz war, sollte allerdings die Frage der Herkunft des Pb-210 noch sorgfältiger geprüft werden. Die Ra-226-Konzentration in der Trinkwasserversorgung von Kirchenlamitz lag in der Zeit von Juli bis November 1981

teilweise bis zum 27fachen über dem nach der Strahlenschutzverordnung - die hierfür jedoch keine Geltungskraft hat - zulässigen Maximalwert. Da die zulässige Konzentration für Pb-210 um etwa den Faktor 10 niedriger ist, erfolgte eine Überschreitung dieses Wertes nur im November 1981, teilweise allerdings bis zum Faktor 3,5 [11].

#### Oberflächenwässer:

Die Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Oberflächenwässern, die nicht im Zusammenhang mit der Uranuntersuchungsgrube "Christa" beprobt wurden, sind in den Tabn. 6 und 7 wiedergegeben. Sowohl die Ra-226- als auch die Pb-210-Konzentrationen im Teich von Lehsten sind praktisch konstant überdurchschnittlich hoch. Von den anderen Oberflächenwässern und Brunnenwässern hat nur das Brunnenwasser vom Dorf Hebanz einen erhöhten Ra-226-Wert, aber nahezu alle Wasserproben weisen überdurchschnittlich hohe Pb-210-Konzentrationen auf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß entsprechend den Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen im Boden höhere Konzentrationen in einer Reihe von Nahrungsmitteln, im Gras und in vielen Trinkwasser- und Oberflächenwasserproben gemessen wurden. Abweichend hohe Werte wurden in einigen Fällen dann beobachtet, wenn die Probenahme nahe von Ausbissen von uran-erzführenden Schichten auf Äckern erfolgte.

### 3.2 Die aus der Uranuntersuchungsgrube "Christa" emittierte Aktivität

#### Abluft:

Die mit der Abluft emittierte Betaaktivität ist nur in einigen wenigen Fällen höher als die normale Betaaktivität der Umgebungsluft. Wesentlich höher sind die Alphaaktivitäten, die in der Umgebungsluft meist im Bereich von einigen fCi/m<sup>3</sup> liegen.

Bereits 10 m vor dem Stollenmundloch sinkt die Alphaaktivität der Luft weitgehend auf normale Werte und die Betaaktivität der Aerosole entspricht ebenfalls im wesentlichen den Umgebungswerten. Die Ergebnisse der Aerosolemissionen sind in den Tabn. 1 und 2 wiedergegeben. In Tab. 3 werden die Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen von Luftproben innerhalb des Stollens und vor dem Stollenmundloch dargestellt. Während die Pb-210-Konzentrationen im Stollen etwa viermal so hoch wie in der normalen Umgebungsluft sind, sind die Ra-226-Konzentrationen ca. 40 Mal über dem Normalwert. Vor dem Stollenmundloch ist die Pb-210-Konzentration nur noch unwesentlich über dem Normalwert der Umgebung und die Ra-226-Konzentration ist ca. um den Faktor 20 höher als der Umweltwert.

Eine Reihe von Rn-222-Messungen in der Abluft aus der Uranuntersuchungsgrube wurde durchgeführt. Unter Verwendung von 2200 m<sup>3</sup>/min als Abluftdurchsatz erhält man eine Jahresemission für Rn-222, die zwischen 31 und 340 Ci liegt. Wie aus Tab. 4 hervorgeht, verdünnt sich die Rn-222-Fahne mit dem Abstand vom Stollenmundloch sehr rasch und erreicht spätestens nach 400 m die lokalen Normalwerte. Da Rn-222 in Pb-210 zerfällt, wurde eine Grasprobe am Geländezaun entnommen und auf Pb-210 untersucht (Tab. 13). Der Pb-210-Wert weicht nicht wesentlich von den anderen im Raum Großschloppen gemessenen Pb-210-Konzentrationen ab. Die Ra-226-Konzentration der gleichen Grasprobe ist allerdings wesentlich höher als die anderen Grasproben. Es ist auszuschließen, daß das Gras entweder durch Staub von den Halden oder durch die Aerosole aus der Abluft der Uranuntersuchungsgrube kontaminiert wurde. Wäre dies der Fall gewesen, wäre der Pb-210-Wert mindestens gleich oder größer als die Ra-226-Konzentration. Der erhöhte Ra-226-

Gehalt dieser Grasprobe kann daher zurückgeführt werden entweder auf eine lokal erhöhte Ra-226-Konzentration im Boden oder auf eine Kontamination des Bodens durch Erzstaub und Aerosole, wobei das Blei über die Wurzelaufnahme gegenüber Ra-226 nennenswert diskriminiert wird.

**Abwasser:**

Im Abwasser der Uranuntersuchungsgrube "Christa" wurden die nach der Strahlenschutzverordnung maximal zulässigen Ra-226-Konzentrationen für Trinkwasser während des gesamten Untersuchungszeitraumes überschritten. Eine Überschreitung der Pb-210-Werte erfolgte nur in zwei der untersuchten Proben. Im Krebsbach nach der Einleitung der Abwässer aus der Uranuntersuchungsgrube wurden ausnahmslos höhere Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen gemessen als sie vor der Einleitung im Krebsbach vorlagen. Überraschend ist allerdings, daß bereits vor der Einleitung der Abwässer der Uranuntersuchungsgrube der Krebsbach zumindest im August und September 1981 nennenswert erhöhte Ra-226-Konzentrationen und während des gesamten Untersuchungszeitraumes leicht erhöhte Pb-210-Konzentrationen aufwies. Es wird angenommen, daß der Krebsbach bereits vor der Aufnahme der Abwässer der Uranuntersuchungsgrube Kontakt mit Ausbissen von uranföhrhenden Schichten hat. Eine eindeutige Feststellung der Ursachen für die überraschend hohen Ra-226-Konzentrationen könnte allerdings nur durch die Untersuchung weiterer Proben erfolgen.

Die quasikontinuierliche Probenahme am Fischteich der Fam. Langhammer zeigt überdurchschnittlich hohe Ra-226-Konzentrationen und die lokal üblichen erhöhten Pb-210-Konzentrationen. Der hohe Wert in der ersten Probennahmephase dürfte darauf zurückzuführen sein, daß vor der Probennahmephase der Teich

entleert wurde und in dieser Zeit mit Frischwasser gefüllt wurde. Später war ein Teil des Ra-226 wegen der relativ langen Verweilzeit im Teich in den großen Schlammengen adsorbiert worden und daher wurde bei der Zufuhr von Wasser mit höheren Ra-226-Konzentrationen dieses durch das vorhandene durch natürliche Ablagerungsprozesse dekontaminierte Abwasser verdünnt. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, daß offensichtlich die vorhandenen großen Mengen von Sedimenten ausreichen, um das bisher eingeführte Ra-226 zu adsorbieren, ohne problematische Ra-226-Konzentrationen zu erreichen (Tabn. 6, 15 und 16).

Im Krebsbach und in der Eger, nach der Einmündung des Krebsbaches, wurden weitere Sedimente untersucht. Der Mittelwert der Ra-226- und der Pb-210-Konzentrationen in den Sedimenten entspricht in etwa dem Mittelwert der Konzentrationen der lokal gemessenen Bodenproben. Dies entspricht auch unserer bisherigen Erfahrung und bedeutet, daß eine Ablagerung von Ra-226 und Pb-210 in den genannten Wassersystemen nicht erfolgt ist.

Die untersuchten Fischproben aus dem Teich der Fam. Langhammer enthalten sowohl Ra-226 als auch Pb-210 in den für die lokalen Teiche typischen Konzentrationen. Eine zusätzliche Exposition der Bevölkerung durch den Verzehr dieser Fische ist nicht zu erwarten (Tab. 9).

### 3.3 Die Berechnung von Transferfaktoren

Unter Transferfaktoren versteht man die Konzentrationsverhältnisse oder proportionale Größen von Pflanzen und pflanzlichen Nahrungsmitteln zu Boden, Gras zu Milch, Gras zu Fleisch und Fisch zu Wasser. Diese Transferfaktoren erlauben bei verän-

derten absoluten Konzentrationsverhältnissen z. B. aus den Konzentrationen im Boden die Konzentrationen der interessierenden Radionuklide in Gras oder bei Kenntnis der Konzentrationen in Gras die Konzentrationen in Milch und Fleisch zu berechnen.

#### Transferfaktoren Boden/Gras:

Zu dem Transfer Boden/Gras wurde - bezogen auf das Frischgewicht von Gras - ein mittlerer Transferfaktor für Ra-226 von 0,03 gemessen. Dieser Wert paßt vorzüglich in den uns bereits bekannten Rahmen von 0,03 in Menzenschwand, 0,05 in Baden-Baden und 0,07 in Wittichen (Tab. 17).

Die Berechnung von Transferfaktoren Boden/Gras für Pb-210 hat nur formale Bedeutung, da die wesentliche Kontamination über die Ablagerung aus der unteren Atmosphäre erfolgt. Trotzdem können bei Dosisberechnungen solche Transferfaktoren benützt werden, wenn man gleichzeitig auf die zusätzliche Ablagerungsberechnung verzichtet und wenn die Kontaminationsbedingungen in der Umgebung weitgehend konstant sind. In Tab. 18 wurden die Transferfaktoren für Boden/Gras berechnet. Der so bestimmte formale Transferfaktor liegt für Trockengewicht bei 0,30 und für das Naßgewicht bei 0,06 [10].

#### Transferfaktoren Boden/Pflanzliche Nahrungsmittel:

In Tab. 19 werden die Transferfaktoren Boden/Kartoffeln und einige weitere Transferfaktoren für Ra-226 angegeben. Die Transferfaktoren liegen im Bereich von 0,001 bis 0,005 für Frischgewicht und decken sich weitgehend mit den für Kartoffeln und Gemüse gefundenen Transferfaktoren im Schwarzwald.

Tabelle 17: Transferfaktoren Boden/Gras für Ra-226

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentration		Transfer- faktor
	Boden, in pCi/g Tr	Gras, in pCi/g Tr	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	3,5	0,065	0,019
2	1,4	0,10	0,71
3	3,1	0,042	0,014
4	2,0	0,18	0,090
5	1,8	0,36	0,20
6	1,5	0,94	0,63
7	1,2	0,20	0,17
8	1,5	0,17	0,11
9	1,5	0,31	0,21
Fam. Steinwasser, Lehsten			
1	3,4	0,35	0,10
2	2,3	0,16	0,070
3	2,3	0,13	0,057
Fam. Geyer, Hebanz			
1	2,9	0,48	0,17
2	2,2	0,13	0,059
3	2,2	0,40	0,18

Tabelle 18: Transferfaktoren Boden/Gras für Pb-210

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentration		Transfer- faktor
	Boden, in pCi/g Tr	Gras, in pCi/g Tr	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	2,5	0,18	0,072
2	0,76	0,64	0,84
3	2,5	0,12	0,048
4	1,3	0,86	0,66
5	1,1	0,60	0,55
6	1,1	0,39	0,35
7	<1,2	0,18	>0,15
8	1,1	0,20	0,18
9	1,1	0,26	0,24
Fam. Steinwasser, Lehsten			
1	2,1	0,82	0,39
2	1,5	0,20	0,13
3	1,5	0,24	0,16
Fam. Geyer, Hebanz			
1	1,8	0,57	0,32
2	1,3	0,19	0,15
3	1,3	0,32	0,25

Tabelle 19: Transferfaktoren Boden/Gemüse und Boden/Kartoffeln für Ra-226

Probenart und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor
	Pflanzl. Nahrungs- mittel  in pCi/kg frisch	Boden  in pCi/kg trocken	
Kartoffeln			
1	4,1	1600	0,0026
2	7,4	3000	0,0025
3	8,5	4100	0,0020
4	5,9	3200	0,0018
5	4,0	2500	0,0016
6	3,6	920	0,0039
7	6,2	1200	0,0052
Futterrüben	4,8	1200	0,0040
Weißkraut	3,0	2500	0,0012

Für Pb-210 wurden im allgemeinen nur Nachweisgrenzen, d. h. maximal mögliche Transferfaktoren berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 20 dargestellt.

Die Transferfaktoren für Getreide/Boden für Ra-226 liegen zwischen 0,001 und 0,05 und die für Pb-210 zwischen 0,003 und 0,017. Die Ergebnisse werden in den Tabn. 21 und 22 dargestellt. Auch diese Transferfaktoren sind weitgehend in Übereinstimmung mit den im Schwarzwald gefundenen Werten.

Tabelle 20: Transferfaktoren Boden/Gemüse und Boden/Kartoffeln für Pb-210

Probenart und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor
	Pflanzl. Nahrungs- mittel in pCi/kg frisch	Boden in pCi/kg trocken	
Kartoffeln			
1	<7,3	900	<0,0081
2	<5,0	1700	<0,0029
3	<2,3	2900	<0,00079
4	4,0	1800	0,0022
5	<4,0	1900	<0,0021
6	<2,5	1300	<0,0019
Weißkraut	<1,7	1900	<0,00089

Transferfaktoren Gras/Milch:

Die Transferfaktoren Gras/Milch werden heute in zwei verschiedenen Dimensionen beschrieben. Eine Möglichkeit ist die Darstellung als Konzentrationsverhältnis pCi/l Milch zu pCi/kg Gras. Die andere übliche Darstellung ist die Angabe wieviel Prozent eines Radionuklids in einem Liter Milch bezogen auf die Tagesaufnahme des Radionuklids wiedergefunden werden. Für Ra-226 und Pb-210 wurden die entsprechen-

Tabelle 21: Transferfaktoren Boden/Getreide für Pb-210

Probenart und Proben- nummer	Aktivitätskonzentration		Transfer- faktor
	Getreide, in pCi/kg frisch	Boden, in pCi/kg trocken	
Gerste			
1	18	5000	0,0037
2	21	1600	0,014
3	18	1500	0,012
Hafer			
1	25	2900	0,0086
2	22	1300	0,017
3	<42	2400	<0,018
Roggen			
1	13	1800	0,0072
Weizen			
1	5,5	2100	0,0026

Tabelle 22: Transferfaktoren Boden/Getreide für Ra-226

Probenart und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor
	Getreide, in pCi/kg frisch	Boden, in pCi/kg trocken	
Gerste			
1	7,5	9200	0,0082
2	8,7	1400	0,0062
3	18	2400	0,0078
Hafer			
1	5,7	4000	0,0014
2	64	2000	0,032
3	138	2700	0,051
Roggen			
1	24	1800	0,013
Weizen			
1	13	3000	0,0044

Daten in den Tabn. 23 bis 26 dargestellt. Die Transferfaktoren ausgedrückt in % d/l liegen für Ra-226 zwischen 0,002 und 0,03. Für Pb-210 konnten wegen der geringen Konzentrationen

Tabelle 23: Transferfaktoren Gras/Milch für Ra-226

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor
	Gras, in pCi/kg trocken	Milch, in pCi/l	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	65	0,16	0,0025
2	100	0,14	0,0014
3	42	0,15	0,0036
4	180	0,23	0,0013
5	360	0,18	0,00050
6	940	0,23	0,00024
7	200	0,15	0,00075
8	170	0,11	0,00065
9	310	0,78	0,0025
Fam. Steinwasser, Lehsten			
1	350	0,18	0,00051
2	130	0,33	0,0025
Fam. Geyer, Hebanz			
1	480	0,24	0,00050
2	130	0,14	0,0011
3	400	0,27	0,00068

Tabelle 24: Transferfaktoren Gras/Milch für Ra-226

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor in % d/l
	Tages- aufnahme in pCi Ra-226	Milch, in pCi/l	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	715	0,16	0,022
2	1100	0,14	0,013
3	462	0,15	0,032
4	1980	0,23	0,0091
5	3960	0,18	0,0045
6	10340	0,23	0,0022
7	2200	0,15	0,0068
8	1870	0,11	0,0059
9	3410	0,78	0,023
Fam. Steinwasser, Lehsten			
1	3850	0,18	0,0047
2	1430	0,33	0,023
Fam. Geyer, Hebanz			
1	5280	0,24	0,0045
2	1430	0,14	0,0098
3	4400	0,27	0,0061

Tabelle 25: Transferfaktoren Gras/Milch für Pb-210

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor
	Gras, in pCi/g trocken	Milch, in pCi/l	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	180	<3,1	<0,0172
2	640	<1,0	<0,0016
3	120	<1,1	<0,0092
4	860	<1,2	<0,0014
5	600	<0,9	<0,0015
6	390	<0,9	<0,0023
7	180	<1,0	<0,0056
8	200	4,1	0,021
9	260	<1,0	<0,0038
Fam. Steinwasser, Lehsten			
1	820	<1,1	<0,0013
2	240	<1,0	<0,0042
Fam. Geyer, Hebanz			
1	570	<1,1	<0,0019
2	190	<1,1	<0,0058
3	320	<1,0	<0,031

Tabelle 26: Transferfaktoren Gras/Milch für Pb-210

Probenahmeort und Proben- nummer	Aktivitätskonzentrationen		Transfer- faktor in % d/l
	Tages- aufnahme in pCi Pb-210	Milch, in pCi/l	
Fam. Lang, Großschloppen			
1	1900	<3,1	<0,16
2	7040	<1,0	<0,014
3	1320	<1,1	<0,083
4	9460	<1,2	<0,013
5	6600	<0,9	<0,014
6	4290	<0,9	<0,021
7	1980	<1,0	<0,05
8	2200	4,1	0,19
9	2860	<1,0	<0,035
Fam. Steinwasser Lehsten			
1	9020	1,1	<0,012
2	2640	1,0	<0,038
Fam. Geyer, Hebanz			
1	6270	1,1	<0,018
2	2090	1,1	<0,053
3	3520	1,0	<0,028

von Pb-210 in den untersuchten Milchproben nur maximal mögliche Transferfaktoren angegeben werden. Auch diese Transferfaktoren stimmen im hohen Maße mit den Erfahrungen im Schwarzwald überein.

Transferfaktoren Fisch/Wasser:

Die Transferfaktoren Fisch/Wasser für Ra-226 sind in Tab. 27 und für Pb-210 in Tab. 28 angegeben. Zur Berechnung wurden die jeweiligen Konzentrationen in Fischfleisch und die mittleren im Untersuchungszeitraum gemessenen Wasserkonzentrationen

Tabelle 27: Transferfaktoren Fisch/Wasser für Ra-226

Probenahmeort und Probenart Datum	Aktivitätskonzentrationen in pCi/kg		Transfer- faktor
	Fisch	Wasser	
Fischteich, Fam. Langhammer, Schleie, 09.05.81 Karpfen, 09.05.81 Karpfen, 05.06.81	14 4,2 4,9	2,0	7,0 2,1 2,5
Fischteich, Fam. Lang, Karpfen, 08.10.81	7,6	0,4	19
Fischteich Lehsten, Karpfen, 21.10.81 Forelle, 05.06.81 Forelle, 28.07.81	8,8 7,8 5,2	0,6	15 13 8,7

Tabelle 28: Transferfaktoren Fisch/Wasser für Pb-210

Probenahmeort und Probenart Datum	Aktivitätskonzentrationen in pCi/kg		Transfer- faktor
	Fisch	Wasser	
Fischteich, Fam. Langhammer,  Schleie, 09.05.81 Karpfen, 09.05.81 Karpfen, 05.06.81	< 8 < 7 17	1,7	< 4,7 < 4,1 10
Fischteich, Fam. Lang,  Karpfen, 08.10.81	5,8	0,8	7,3
Fischteich Lehsten,  Karpfen, 21.10.81 Forelle, 05.06.81 Forelle, 28.07.81	20 3,7 10,4	1,2	17 3,1 8,7

verwendet. Bei der Mittelwertbildung wurde beim Fischteich der Fam. Langhammer der während der ersten Probennahmephase gemessene hohe Wert nicht berücksichtigt. Die gefundenen Transferfaktoren schwanken für Ra-226 zwischen 2,1 und 19 und für Pb-210 zwischen 3,1 und 17.

#### 3.4 Die Dosisexposition der Bevölkerung im Raum Großschloppen

Im allgemeinen wird die Dosisexposition unter Benutzung der Dosisfaktoren der Strahlenschutzverordnung und für Transferprozesse in der Umwelt unter Benutzung der Daten der Berech-

nungsgrundlagen des BMI bestimmt [10, 11]. Da die genannten Dosisfaktoren nach [13] bestimmt wurden, und neuere metabolische Daten für das Verhalten vor allem von Ra-226 wesentlich davon abweichen, wird auf eine Berechnung der Dosisexposition auf der Basis der Strahlenschutzverordnung verzichtet. Zur realistischen Beurteilung der Dosisexposition der Bevölkerung werden die Daten von [9], Seite 59 ff und Seite 62 ff., benutzt.

In Tab. 29 werden die jährlich vom Bundesbürger im Durchschnitt aufgenommenen Mengen von Milch, Getreide, Fisch, Kartoffeln und Trinkwasser angegeben [10, 12]. Als Aktivitätskonzentrationen für Ra-226 und Pb-210 wurden die mittleren im Raum Großschloppen bestimmten Werte angegeben. Aus diesen Zahlen wurden die Jahres- bzw. die Tagesingestionswerte für die beiden Radionuklide bestimmt.

Entsprechend den angegebenen Nahrungsmitteln darf also für den Durchschnitt der Bevölkerung im Raum Großschloppen eine Tagesingestion von 6,6 pCi Ra-226 und 7,5 pCi Pb-210 angenommen werden. Nach [9] beträgt bei normalem Untergrund die Tagesingestion von Ra-226 1 pCi und die von Pb-210 3 pCi. Der Ra-226-Aufnahme entspricht eine Knochendosis von 0,7 mrad/a (bone lining cells). Der Tagesingestion von 3 pCi Pb-210 entspricht eine Knochendosis von 3 mrad/a. Mit dem heute angewandten Qualitätsfaktor 20 für Alphastrahlung erhält man daher im normalen Untergrundbereich 14 mrem/a verursacht durch die Ra-226-Ingestion und 60 mrem/a durch die Pb-210-Ingestion. Rechnet man diese Werte proportional um auf die Tagesingestion im Raum Großschloppen, wird die dortige Bevölkerung eine Knochendosis von 92 mrem/a durch Ra-226-Ingestion und von 150 mrem/a durch Pb-210-Ingestion erhalten.

Tabelle 29: Aufnahme von Ra-226 und Pb-210 mit wichtigen Nahrungsmitteln im Raum Großschloppen

Nahrungsmittel	Jährliche Aufnahme in kg/a	Aktivitätskonzentration in pCi/kg		Aktivitätsjahresaufnahme in pCi/a	
		Ra-226	Pb-210	Ra-226	Pb-210
Milch	110	0,2	1	22	110
Getreide	90	20	18	1800	1620
Fisch	1,3	8	12	10	16
Kartoffeln	82	6	3	492	246
Trinkwasser	440	0,2	1,7	88	748
Jahresingestion in pCi/a				2412	2740
Tagesingestion in pCi/d				6,6	7,5

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß diese Dosisexpositionen mit großer Wahrscheinlichkeit zu groß sind; auf Grund von Untersuchungen, die parallel zu den Messungen in Großschloppen durchgeführt wurden, dürfen wir annehmen, daß die Ra-226- und Pb-210-Aktivität, die in Getreide gefunden wird, nur zu einem sehr geringen Anteil tatsächlich in die menschliche Nahrung gelangt. Dies würde eine Reduktion der Dosis verursacht durch Ra-226 auf im günstigsten Fall ein Viertel und verursacht durch Pb-210 auf im günstigsten Fall zwei Fünftel der oben angegebenen Dosisexposition zur Folge haben. Außerdem werden erfahrungsgemäß nicht alle hier angegebenen Nahrungsmittel aus diesem Raum stammen.

Auf Grund früherer Untersuchungen darf gesagt werden, daß die Dosisexposition, wie sie in Großschloppen durch die angegebenen Nahrungsmittel erfolgt, in der Bundesrepublik Deutschland sicher an mehreren Orten erreicht bzw. überschritten wird. Mit der Trinkwasserversorgung von Marktleuthen stoßen wir allerdings das erste Mal auf eine Trinkwasserversorgung für eine größere Bevölkerungszahl, die erhöhte Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen aufweist. Falls es bisher noch nicht geschehen ist, sollten hier eine Reihe von Fragen geklärt werden. Es ist uns aus vielen Beispielen bekannt, daß Oberflächenwässer im Winter höhere Ra-226-Konzentrationen aufweisen als im Sommer. Sollten die hohen Werte, die für Ra-226 im November 1981 gemessen wurden, einen analogen Anstieg im Trinkwasser von Marktleuthen repräsentieren, wäre eine ganzjährige Untersuchung sicher sinnvoll. Die Herkunft des Pb-210, speziell die Frage des Rn-222-Gehaltes des Trinkwassers, sollte ebenfalls geklärt werden.

Alle genannten Dosisexpositionen hängen nicht mit den Prospektionsarbeiten der Fa. ESSO-ERZ im Raum Großschloppen zusammen. Durch die Abgabe von Ra-226 und Pb-210 mit dem Abwasser in den Krebsbach wird dessen Aktivitätskonzentration erhöht, obwohl der Krebsbach zeitweilig bereits vor der Grube hohe Aktivitätsfracht aufweist. Da eine Ablagerung der Aktivität in den Sedimenten nicht erfolgt, das Wasser des Krebsbaches nicht als Trinkwasser benützt wird und da im Vergleich zu anderen Fischproben in den Fischen des Teiches der Fam. Langhammer keine erhöhten Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen festgestellt werden konnten, ist eine zusätzliche Dosisexposition der Bevölkerung durch die Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser nicht erfolgt.

Mit der Abluft wird die Alpha- und die Betaaktivität und Rn-222 an die Umgebung abgegeben. Bereits 10 m vor der Grube sinkt die Alpha- und die Betaaktivität auf übliche Normalwerte

der Umwelt. Die verbleibende erhöhte Ra-226-Konzentration in der Umgebungsluft wird einerseits bis zur Geländegrenze weiter verdünnt werden, würde aber auch 10 m vor dem Stollenmundloch zu einer Ra-226-Aufnahme führen, die unter 1 % der bereits oben angegebenen Tagesaufnahme von Ra-226 liegt.

Die Verdünnung des Rn-222 in der Abluftfahne erfolgt sehr rasch, so daß in der Abluftfahne selbst 100 m vom Stollenmundloch bereits eine Konzentration erreicht wird, die nur etwa doppelt so hoch ist wie der normale Untergrund der Umgebung. Berücksichtigt man, daß die Abluftfahne im Laufe des Tages entsprechend der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung sich ausbreiten wird, dürfte der genannte Unterschied zum normalen Untergrund über einen längeren Zeitraum kaum signifikant meßbar sein. Dies bedeutet, daß auch die Emission von Rn-222 zu keiner nennenswerten zusätzlichen Dosisexposition der Bevölkerung führen kann.

#### 4. Zusammenfassung

4.1 Es wurden Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Trinkwasser, Oberflächenwasser, in Boden, in Sedimenten, in Gras und in den wichtigsten Nahrungsmitteln im Raum Großschloppen gemessen. Die Bodenkontamination ist verglichen mit dem normalen Untergrund um den Faktor 3 erhöht. Die Konzentrationen der genannten Nuklide in Gras und den wichtigsten lokalproduzierten Nahrungsmitteln liegen zwischen den in Bereichen mit normalem Untergrund gemessenen und den z. B. im Südschwarzwald gemessenen erhöhten Werten.

4.2 In einigen Fällen wurden erhöhte Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Bereichen gemessen, von denen bekannt ist, daß uranerzführende Schichten an den beprobten Stellen an die Oberfläche treten.

4.3 Die Trinkwasserversorgungen im Raum Großschloppen entsprechen im allgemeinen dem Gehalt von einigen Zehntel pCi Ra-226/l. Eine Ausnahme bildet die Trinkwasserversorgung von Marktleuthen. In Wasserproben dieser Trinkwasserversorgung wurden neben den ganz allgemeinen lokalerhöhten Pb-210-Konzentrationen auch teilweise nennenswert erhöhte Ra-226-Konzentrationen gemessen.

4.4 Die mittlere Knochendosis der Bevölkerung im Raum Großschloppen dürfte bei maximal 92 mrem/a verursacht durch Pb-210-Ingestion und bei 150 mrem/a verursacht durch Pb-210-Ingestion liegen. Eine Überschätzung dieser Dosisexposition durch die Verwendung der Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen des Getreides ohne Korrektur ist anzunehmen.

4.5 Bei den Prospektionsarbeiten der Fa. ESSO-ERZ wird Ra-226 und Pb-210 mit dem Abwasser in den Krebsbach abgegeben. Da das Wasser des Krebsbaches nicht als Trinkwasser benützt wird, da keine Ablagerung der genannten Radionuklide im Krebsbach erfolgt und da trotz erhöhter Konzentrationen im Fischteich der Fam. Langhammer eine erhöhte Kontamination der Fische, verglichen mit anderen Proben, nicht festgestellt werden konnte, erfolgt durch diese Abgaben keine zusätzliche Dosisexposition der Bevölkerung.

4.6 Ra-226 und Pb-210 werden neben anderen Alpha- und Betanukliden und neben Rn-222 aus der Uranuntersuchungsgrube "Christa", Großschloppen, emittiert. Diese Aktivitäten werden bereits nach 10 bis 100 m soweit verdünnt, daß sie im Jahresmittel von der natürlichen Umgebungskontamination nicht mehr zu unterscheiden sind.

Dank

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

Die radiochemischen Analysen wurden von Frau B. Blum, Frau D. Wanitzek 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 Bevölkerung in Großschloppen, in Lehsten und in Hebanz machte die rasche und vollständige Durchführung des Forschungsvorhabens möglich.

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

5. Literatur

- [1] N.I. Sax, M. Beigel, J.C. Daly and J.J. Gabay,  
U.S. At. Energy. Comm. Rpt., ANL-6637, S. 59  
(Oktober 1961)
- [2] Pao-Shan Weng,  
Health Physics, Pergamon Press 1977, Vol. 32  
(Juni) S. 565-567
- [3] A. Cover,  
Direct Radiochemical Determination of Lead-210,  
Anal. Chem. 37, 1959 (1965)
- [4] W.W. Flynn,  
The Determination of Low Level of Polonium-210 in  
Environmental Materials, Anal. Chim. Acta, 43 (1968)  
S. 221-227
- [5] 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
- [6] 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
- [7] H. Schüttelkopf, H. Kiefer,  
Die Dosisexposition der Umgebungsbevölkerung durch  
natürliches und aus einer uranhaltigen Halde emittiertes  
Ra-226 und Pb-210 - Radioökologische Untersuchungen in  
Wittichen, KfK 3282, März 1982

- [8] K. Aurand et al.,  
Die natürliche Strahlenexposition des Menschen,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974
- [9] Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR  
1977, United Nations, New York, 1977
- [10] Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenex-  
position bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft  
oder in Oberflächengewässer, Gemeinsames Ministerial-  
blatt, G3191AX, 30. Jahrgang, Bonn, 15. August 1979,  
Nr. 21, S. 369
- [11] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende  
Strahlen, Strahlenschutzverordnung vom 20. Oktober 1976,  
Bundesgesetzblatt, Teil I, 125 (1976), S. 2905
- [12] Ernährungsbericht 1976, Deutsche Gesellschaft für  
Ernährung e. V., Frankfurt/Main, 1976
- [13] Report of Committee II on Permissible Dose for Internal  
Radiation, International Commission on Radiological  
Protection, ICRP Publ. 2, Pergamon Press, London,  
1959