

# Die radiologische Belastung der freien Landschaft

Heinz Schüttelkopf

## Inhalt

1. Einleitung
2. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die natürliche Radioaktivität
3. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die Aktivitäten des Kernwaffen-Fallouts
4. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die Aktivitätsfreisetzung aus kerntechnischen Anlagen
5. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch nicht-nukleare Industrie
6. Dosisexpositionen die bei Mensch, Tier und Pflanzen schwere Schäden verursachen können
7. Literatur

### 1. Einleitung

Eine radiologische Belastung ländlicher Ökosysteme betrifft den Boden, das Oberflächen- und Grundwasser und die Luft; außerdem werden Pflanzen, Tiere und Menschen dieses Bereiches der Strahlenexposition ausgesetzt. Insgesamt unterscheidet man heute vier wesentliche Quellen der radiologischen Belastung der Umwelt. Die wichtigste ist die natürliche Strahlenbelastung, die im wesentlichen auf die Höhenstrahlung und die terrestrische Strahlung zurückgeht. Die terrestrische Strahlung wird verursacht, durch die natürlichen Radionuklide der Uran- und Thoriumfamilie und durch das radioaktive Kaliumisotop K-40. Die anderen Radionuklide, wie z.B. H-3 und C-14, die durch Höhenstrahlung in der Atmosphäre aufgebaut werden, sind von untergeordneter Bedeutung. Die Belastung der Umwelt durch diese natürlichen Radionuklide ist global und mit Ausnahme von wenigen relativ kleinen Räumen weitgehend in der gleichen Größenordnung.

Die zweite Quelle der radiologischen Belastung der Umwelt sind die Radionuklide des Kernwaffen-Fallouts. Auch sie sind global verteilt, allerdings in Abhängigkeit von der geographischen Breite in unterschiedlicher Konzentration vorhanden. Als dritte Quelle der radiologischen Belastung der Umwelt dürfen heute die kerntechnischen Anlagen, wie Kernkraftwerke und Wiederaufbereitungsanlagen, angesehen werden. Diese Anlagen führen durch ihre Abluft- und Abwasseremissionen zu Dosisexpositionen in sehr kleinen lokalen Bereichen. Andere Quellen der Dosisexposition der Umwelt sind die konventionellen Industrien, wie die Kohleverbrennung, die Verbrennung von Erdgas, die Phosphatindustrie und viele andere. Ihre Emissionen sind ebenfalls nur lokal von Bedeutung.

Im Folgenden werden diese vier Quellen der radiologischen Belastung der Umwelt besprochen. Die Beschreibung der normalen Kontamination wird ergänzt durch Informationen über Bereiche mit höheren Konzentrationen der interessierenden Radionuklide. Abschließend wird jeweils die daraus resultierende Dosisexposition angegeben. Diese Dosen werden letztendlich mit der Dosisexposition, die zu schweren Schäden bei Lebewesen führen würden, verglichen und ein Ausblick auf die zu erwartende Belastung in der Zukunft wird gegeben.

### 2. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die natürliche Radioaktivität

In Tabelle 1 werden die Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide in der Umgebungsluft angegeben.

Neben den wesentlichen Aktivitäten der Radionuklide ist es vor allem Pb-210, das mit  $15 \text{ fCi/m}^3$  zur Dosisexposition beiträgt. In Tabelle 2 wurden die Konzentrationen der wichtigsten natürlichen Radionuklide in Niederschlägen angegeben. Auch hier ist die höchste Konzentration wieder die von Radon; nennenswert sind auch die Konzentrationen von H-3 und Be-7, beide Spaltungsprodukte, die bei der Reaktion der Atome der Atmosphäre mit der Höhenstrahlung entstehen.

**Tabelle 1:** Radioaktivität in der Luft

Nuklide bzw. Elemente	Konzentrationsbereich in pCi/m <sup>3</sup>
U	Spuren
Ra-226	0,1 · 10 <sup>-3</sup>
Rn-222	100 - 1000
Pb-210	1,5 · 10 <sup>-2</sup>
Po-210	3 · 10 <sup>-3</sup>
Th	Spuren
Rn-220	10 - 100
C-14	1

**Tabelle 2:** Radioaktivität in Niederschlägen

Nuklide	Konzentrationsbereich in pCi/l
H-3	10 - 20
Be-7	10 - 20
K-40	0,1 - 2
Rn-222 + F <sup>1)</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>
Pb-210	0,2 - 5
Po-210	0,1 - 1

1) F = Folgeprodukte

In Tabelle 3 werden die Konzentrationen der wichtigsten Radionuklide in Oberflächenwasser und in Tabelle 4 in Trinkwasser angegeben. Die Konzentrationen unterscheiden sich nicht wesentlich. Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß die für H-3 angegebenen Konzentrationen ausschließlich dem durch die kosmische Strahlung gebildeten H-3 und nicht den bei den Kernwaffenexperimenten freigesetzten und ebenfalls die Hydrosphäre kontaminierenden Tritiumaktivitäten entsprechen.

**Tabelle 3:** Radioaktivität in Oberflächenwasser, Fluß- und Seewasser

Nuklide	Konzentrationsbereich in pCi/l
H-3	1 - 10
K-40	1 - 50
U-238	0,015 - 1
Th-230	7 · 10 <sup>-3</sup>
Ra-226	≤ 0,01 - 2
Rn-222 + F <sup>1)</sup>	10 - 50
Pb-210	0,1 - 5

1) F = Folgeprodukte

In Tabelle 5 und 6 werden Informationen über die Radioaktivität im Boden angegeben. Die wichtigste Aktivitätskonzentration ist das radioaktive Isotop K-40 im natürlichen Kalium. In Deutschland folgt dann Uran mit seinen Folgeprodukten,

**Tabelle 4:** Radioaktivität in Trinkwasser

Nuklide	Konzentrationsbereich in pCi/l
H-3	5
K-40	5
U-238	0,05
Ra-226	0,1
Rn-222 + F <sup>1)</sup> )	10 - 100
Pb-210	0,02
Po-210	0,01

1) F = Folgeprodukte

**Tabelle 5:** Die Radioaktivität des Bodens

Nuklide	Konzentrationsbereich in pCi/g
K-40	10 - 30
U-238	je 1 - 2
Th-230	
Ra-226	
Pb-210	
Th-232	1

**Tabelle 6:** Die Radioaktivität in verschiedenen Bodenarten

Bodenart Muttergestein	Mittlere Konzentrationen in pCi/g		
	Ra-226	Th-232	K-40
Granit	1,7	2,0	27
Lehm	1,3	1,3	12
Kalk	0,44	0,12	1,4
Sand	0,15	0,18	4,2
Basalt	0,17	0,22	3,5

die in den meisten Böden im säkularen Gleichgewicht stehen. Thorium ist in deutschen Böden eher untergeordnet, kann aber in anderen Teilen der Welt durchaus wichtiger als Uran als Kontamination des Bodens sein. In Tabelle 6 wird der Gehalt von Ra-226, Th-232 und K-40 in Böden aus verschiedenen Muttergesteinen angegeben. Wie allgemein bekannt, sind die Böden aus Granit die am höchsten kontaminierten und Sandböden bzw. aus Basalt gebildete Böden, weisen nur sehr geringe Konzentrationen der genannten Radionuklide auf.

In Tabelle 7 werden die Ra-226-, Pb-210- und K-40-Kontaminationen einiger wichtiger Nahrungsmittel angegeben. Die Auswahl von Ra-226 und Pb-210 erfolgte, weil diese beiden Radionuklide die höchste Radiotoxizität unter den natürlichen Radionukliden aufweisen. K-40 wurde dazu genommen, weil es die höchste spezifische Aktivität in den Lebensmitteln hat. So ist zum Beispiel Thorium und Uran nicht nur von geringerer Radiotoxizität, sondern die Kontamination der Lebensmittel mit diesen beiden Elementen ist außerdem vernachlässigbar klein.

Die Dosisexposition durch die Inhalation und Ingestion von natürlichen Radionukliden und durch die Höhenstrahlung bzw. die terrestrische Strahlung werden in den Tabellen 8 und 9 angegeben. Die wichtigste Dosisexposition durch Ingestion erfolgt durch die Radioisotope K-40, Ra-226, Pb-210 und Ra-228. Die Dosisexposition durch Inhalation von Radon und seinen Folgeprodukten ist etwa um den Faktor 10 höher als die durch Ingestion hervorgerufene Dosis der Einzelnuklide. Etwa zwischen den Ingestionsdosen und den

**Tabelle 7:** Radioaktivität in landwirtschaftlichen Produkten

Nahrungsmittel	Mittlere Konzentrationen in pCi/kg frisch		
	Ra-226	Pb-210	K-40
Milch	0,3	0,5	1100
Eier	4	5	900
Fleisch	1	15	1500
Gemüse	2	40	1800
Kartoffeln	2	1	2500
Obst	0,5	4	1300
Getreide	2	2	3500

**Tabelle 8:** Mittlere tägliche Aufnahme wichtiger natürlicher Radionuklide und die dadurch verursachte Jahresdosis

Nuklide bzw. Element	Tägliche Aufnahme in pCi/d	Exponiertes Organ	Dosisexposition in mrem/a
C-14	3	Ganzkörper	1,3
K-40	3400	Ganzkörper	17
U	0,4	Knochen	3
Ra-226	0,9	Knochen	7
Pb-210	3	Knochen	30
Th-232	0,1	Knochen	7
Ra-228	0,9	Knochen	11

**Tabelle 9:** Dosisexpositionen durch Inhalation von Radon und Folgeprodukten, durch die Höhenstrahlung und durch die terrestrische Strahlung

Art der Dosisexposition	Exponiertes Organ	Dosisexposition in mrem/a
Inhalation von Radon und Folgeprodukten	Lunge	200
Höhenstrahlung	Ganzkörper	30
Terrestrische Strahlung	Ganzkörper	30 - 80

**Tabelle 10:** Ra-226- und Pb-210-Konzentrationen in Nahrungsmitteln aus dem Schwarzwald

Nahrungsmittel	Konzentrationsbereich in pCi/kg frisch	
	Ra-226	Pb-210
Milch	0,1 - 48	0,6 - 4,5
Fleisch	2 - 240	-
Eier	8,9 - 300	-
Gemüse	1 - 170	19 - 860
Kartoffeln	1,2 - 40	6
Obst	2,6 - 200	-
Getreide	1,8 - 240	5 - 31

Inhalationsdosen liegen die Expositionen durch die Höhenstrahlung und die terrestrische Strahlung.

Abweichungen von den Normalwerten der Radionuklidkonzentrationen in der Umwelt wurden von uns bei einer Reihe von Untersuchungen im Schwarzwald und im Fichtelgebirge festgestellt. Konzentrationen von Ra-226 und Pb-210 in wichtigen Nahrungsmitteln, wie Sie in Tabelle 10 angegeben

werden, wurden in Bereichen erhöhter Untergrundstrahlung gemessen. Der Vergleich mit Tabelle 7 zeigt, daß in einzelnen Nahrungsmitteln eine Erhöhung um den Faktor 100 in Einzelproben durchaus beobachtet werden kann. Im Fichtelgebirge wurden Pilze gefunden, die pro kg Frischgewicht 150 pCi Ra-226, 140 pCi Pb-210 und 180 pCi Po-210 enthielten. Der Verzehr von nur 4 kg dieser Pilze pro Jahr würde die nach der Strahlenschutzverordnung zulässige maximale Jahresdosis bereits überschreiten. Die Strahlenschutzverordnung bezieht sich allerdings nur auf die Dosisexpositionen durch nukleare Anlagen. Wie in Abbildung 1 gezeigt wird, wurden, verglichen mit den 0,3 pCi Ra-226/l Milch als Normalwert, auch nennenswerte Erhöhungen der Milchkontamination mit Ra-226 im Südschwarzwald beobachtet. In Tabelle 11 wird die Ra-226-Konzentration in einer Quelle im Südschwarzwald gemessen nach einer mehrwöchigen Hitze-welle, angegeben. Wie man sieht, nimmt nach dem Auftreten von Niederschlägen die Ra-226-Konzentration rasch ab; die mittlere Konzentration bleibt aber über dem von der Strahlenschutzverordnung unter bestimmten Voraussetzungen verlangten Maximalwert von 0,7 pCi Ra-226/l.

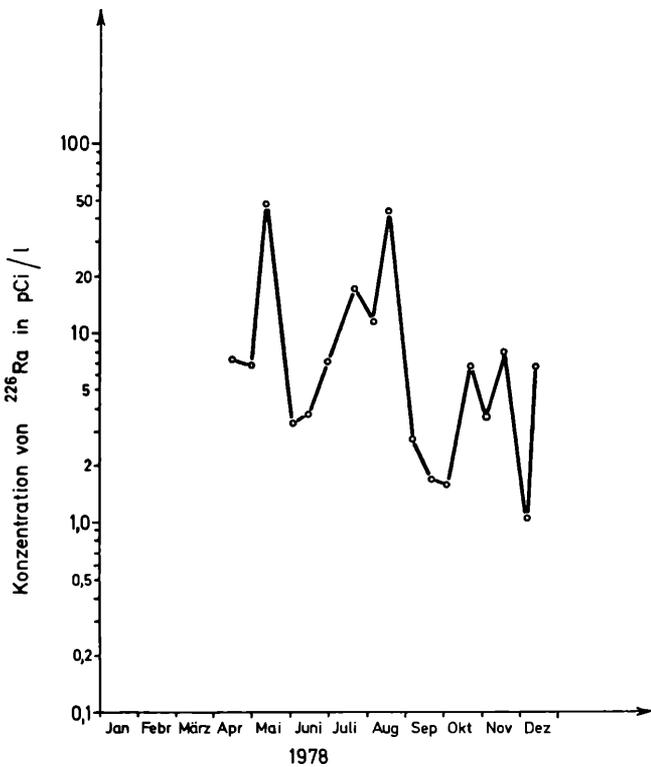


Abbildung 1: <sup>226</sup>Ra-Konzentration in der Milch des Bauern A, Menzenschwand

Tabelle 11: Ra-226-Konzentrationen einer Quelle im Wüstengraben

Probenahme Datum	Ra-226-Konzentration in pCi/l
29.06.1978	1 549
21.07.1978	38
03.08.1978	0,9
03.08.1978	2,3
05.10.1978	3,4
05.10.1978	2,3
05.10.1978	1,2
05.10.1978	0,8
11.12.1978	3,0
11.12.1978	1,2

An einzelnen Stellen im Schwarzwald und im Fichtelgebirge kann man sehr hohe Dosisexpositionen messen. Die Bereiche, in denen sie beobachtet werden, sind allerdings extrem klein. Es handelt sich im allgemeinen um den sogenannten Ausbiß von Uranerz führenden Schichten an der Oberfläche. Typische Beispiele dafür wurden von uns in der Nähe von Baden-Baden und in der Nähe von Großschloppen beobachtet.

Verglichen mit den in anderen Ländern beobachteten Bereichen erhöhter Untergrundstrahlung sind die in der Bundesrepublik Deutschland beobachteten von untergeordneter Bedeutung. Wichtige Bereiche erhöhter Untergrundstrahlung wurden in Brasilien und in Indien beobachtet. Beispiele für die Dosisexpositionen der Bevölkerung in einer Monazitregion Brasiliens werden in Tabelle 12 angegeben [1-4, 8].

Tabelle 12: Strahlenexposition der Bevölkerung, welche in einer Monazitregion lebt (Brasilien)

Dosisleistungsbereich in mrem/a	Bevölkerung
90 - 130	15 000
130 - 170	4 000
170 - 220	29 000
220 - 350	6 000
ca. 500	300
ca. 950	6 000
ca. 1 150	350

### 3. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die Aktivitäten des Kernwaffen-Fallouts

In den Jahren 1959-1961 wurde eine große Zahl von Kernwaffenexperimenten durchgeführt. Ca. 500-600 Mt Sprengkraft wurden bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt gezündet. Die dabei in die Umwelt injizierte Aktivität verteilt sich in der Troposphäre und zu einem wesentlichen Teil in der Stratosphäre. Aus der Troposphäre lagert sich die Aktivität sehr rasch am Boden ab; aus der Stratosphäre wird mit einer Halbwertszeit von 1 a an die Troposphäre abgegeben und dann abgelagert. Das Inventar des wichtigen Radionuklides Sr-90 und seine zeitliche Veränderung innerhalb der letzten 20 Jahre ist in Abbildung 2 wiedergegeben. In Tabelle 13 werden die freigesetzten Aktivitäten der wichtigen Radionuklide H-3, C-14, Sr-90, Cs-137 und Pu-239 angegeben. Dabei sind die extrem hohen Freisetzung von H-3 im wesentlichen durch thermonukleare Waffenexperimente verursacht; die freigesetzte Plutoniumaktivität entspricht immerhin mehreren Tonnen Plutonium.

Der größte Teil dieser Aktivitäten ist in der Zwischenzeit am

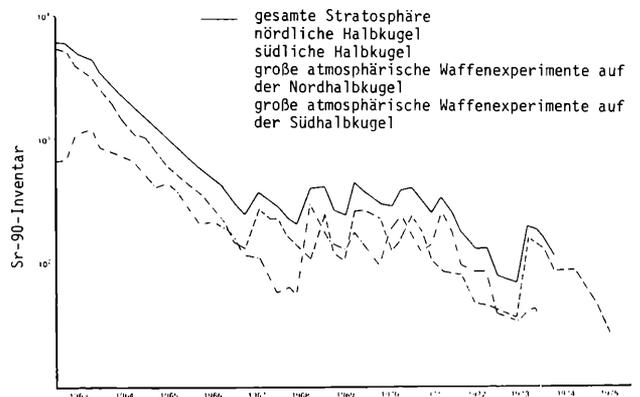


Abbildung 2: Veränderung des Sr-90-Inventars der Stratosphäre zwischen 1963 und 1975



**Tabelle 13:** Freigesetzte Aktivitäten bei den Kernwaffenexperimenten

Nuklide	Freigesetzte Aktivität in MCi
H-3	4 500
C-14	50
Sr-90	21
Cs-137	32
Pu-239	0,35

Boden und im Meer abgelagert worden. So hat die Kontamination der Luft, des Oberflächenwassers, der Pflanzen und der Nahrungsmittel seit den frühen 60er Jahren kontinuierlich abgenommen. Die Atomwaffenexperimente der Volksrepublik China haben allerdings eine erneute Serie von Aktivitätsfreisetzungen eingeleitet. In Tabelle 14 werden die abgelagerten wichtigen Radionuklide Sr-90, Cs-137 und Pu-238 mit dem in den obersten 20 cm Erde in Normalbereichen vorhandenen natürlichen Ra-226 verglichen.

**Tabelle 14:** Sr-90-, Cs-137- und Pu-239-Ablagerungen am Boden als Folge der Kernwaffenversuche

Nuklide	Flächenkontamination in mCi/km <sup>2</sup>
Sr-90	80
Cs-137	120
Pu-238	2,8
zum Vergleich natürliches Ra-226 <sup>1)</sup>	300

1) die obersten 20 cm Erde

In Tabell 15 wird die Dosisexposition durch das Cs-137 des Kernwaffen-Fallouts für das Jahr 1975 angegeben. Die interne Exposition ist verursacht durch die Aufnahme von Nahrungsmitteln; die externe Exposition wird verursacht durch die  $\gamma$ -Strahlung des Cs-137 ausgehend von der Bodenoberfläche. Die anderen Radionuklide des Kernwaffen-Fallouts sind wie Cs-137 im Boden wenig verfügbar und verursachen kleinere Jahresdosisexpositionen als das Cs-137 selbst.

**Tabelle 15:** Dosisexposition durch Fallout-Cs-137 für die Bevölkerung 1975

Art der Exposition	Dosisexposition in mrem/a
Interne Exposition	0,1 - 0,5
Externe Exposition	0,2

Die Bereiche in denen durch Kernwaffenexperimente oder -einsätze erhöhte Kontaminationen vorliegen sind weitgehend bekannt. Namen wie Bikini-Atoll, Nevada Test Site, Hiroshima und Nagasaki gehören dazu. Die Kontamination der Bevölkerung einer Insel im Marshall Archipel durch lokalen Kernwaffen-Fallout ist ebenfalls weitgehend bekannt. Typische Kontaminationen der Umwelt durch Plutonium, verursacht durch militärische Tätigkeiten sind verbunden mit einem Brand in der Fabrik in Rocky Flats und durch Abstürze von Bombern in Thule und Palomares.

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß die Kontamination auf der nördlichen Halbkugel und auf der südlichen Halbkugel in mittleren Breiten ein Maximum aufweist, während am Pol und am Äquator Minima existieren. Das Maximum auf der Nordhalbkugel ist wesentlich größer als das Maximum auf der Südhalbkugel [4].

#### 4. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch die Aktivitätsfreisetzungen aus kerntechnischen Anlagen

Unter kerntechnischen Anlagen versteht man alle Industriebetriebe, die im Rahmen des Brennstoffkreislaufes der Kernenergiegewinnung dienen. Dazu gehören die Uranerzeugung, die Urananreicherung, die Brennstofffabrikation, die Kernkraftwerke selbst, die Wiederaufarbeitungsanlagen und die Endlager. Die wichtigsten Anlagen sind die Wiederaufarbeitungsanlagen mit den höchsten absoluten Freisetzungen und die Kernkraftwerke. Über die anderen Anlagen sind nur relativ wenig Informationen bekannt; ihre Freisetzungen mit Abluft und Abwasser dürften aber untergeordnet sein, verglichen mit denen von Wiederaufarbeitungsanlagen und Kernkraftwerken. Die radioaktiven Emissionen mit der Abluft deutscher Kernkraftwerke im Jahre 1976 ist in Tabelle 16 wiedergegeben. In Tabelle 17 sind ähnlich die Abgaben mit dem Abwasser angegeben. Diese Freisetzungen von ablagerbaren Aktivitäten, speziell im Vergleich mit den bereits in der Umwelt vorhandenen abgelagerten Aktivitäten des Kernwaffen-Fallouts sind so niedrig, daß selbst nach 50 Betriebsjahren eine eindeutige Identifizierung Schwierigkeiten bereiten würde. Die Dosisexposition der Umgebungsbevölkerung liegt im Mittel zwischen 0,1 und 1 mrem/a.

**Tabelle 16:** Jahresabgabe radioaktiver Stoffe in der Abluft aus Kernkraftwerk 1976 in Ci/a

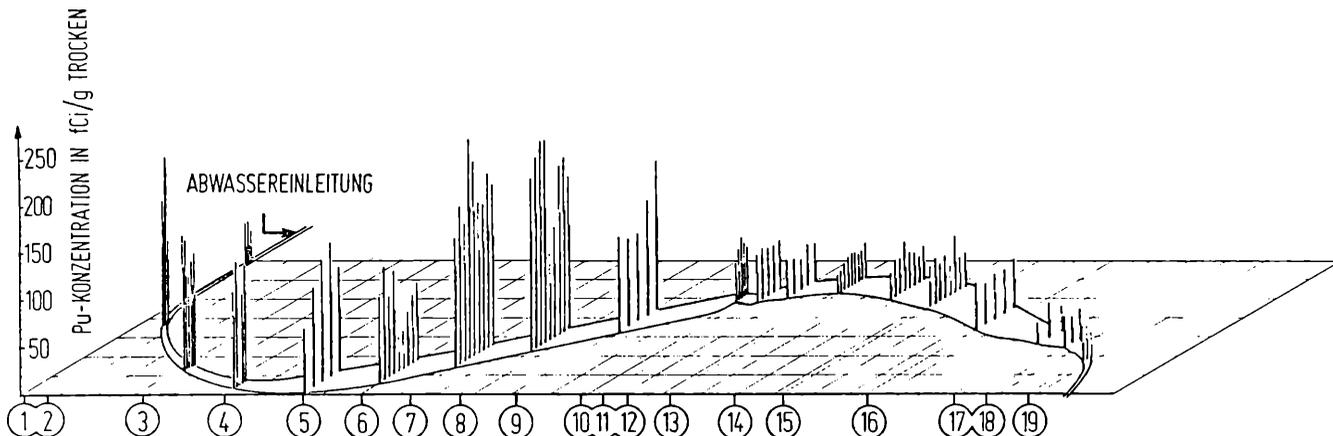
Kernkraftwerk	Edelgase	Aerosole		Jod 131	Tritium
		kurzlebige	langlebige		
Kahl	300	0,014	< 0,001	0,003	ca. 2
Gundremmingen	5300	0,006	0,005	0,35	27
Lingen	6400	3,9	0,0005	0,050	6
Obrigheim	340	0,0005	0,008	0,0002	62
Stade	10500	< 1,7	0,007	0,020	21
Würgassen	480	7,6	0,017	0,046	n.b.
Biblis A	1150	0,076	0,028	0,013	9,5
Biblis B	300	0,037	0,002	0,010	n.b.
Neckarwestheim	520	n.b.	0,0005	0,002	2
Brunsbüttel	970	n.b.	0,007	2 · 10 <sup>-5</sup>	0,2

In Tabelle 18 werden die Freisetzungen der wichtigsten Radionuklide und die Dosisexpositionen, die am Hauptbeaufschlagungspunkt unter ungünstigen Voraussetzungen erwartet werden können von einer mittelgroßen Wiederaufarbeitungsanlage, angegeben. In der letzten Spalte von Tabelle 18 werden die zu erwartenden mit den maximal zulässigen Dosen der Strahlenschutzverordnung verglichen. Obwohl Wiederaufarbeitungsanlagen höhere Emissionsraten für ablagerbare Radionuklide als Kernkraftwerke haben, sei als Vergleich angegeben, daß heute ca. 80 nCi Sr-90/m<sup>2</sup> durch Kernwaffen-Fallout abgelagert wurden und daß selbst nach 50-jährigem Betrieb die abgelagerte Sr-90-Aktivität nur 2 nCi/m<sup>2</sup> betragen wird.

Erhöhte Kontaminationen der Umgebung durch kerntech-

**Tabelle 18:** Freisetzungen aus und Dosisexposition in der Umgebung einer Wiederaufarbeitungsanlage für 350 t Brennstoff/a

Nuklid bzw. Aktivität	Erwartete Freisetzungsrate in Ci/a	Dosisexposition in mrem/a am Hauptbeaufschlagungspunkt	Maximal zulässig nach der StSchVO
H-3	2,6 · 10 <sup>5</sup>	6	30
C-14	2,8 · 10 <sup>2</sup>	1	30
Kr-85	4,0 · 10 <sup>6</sup>	14	180
J-129	0,14	0,7	90
$\alpha$	$\leq 2,6 \cdot 10^{-2}$	3	180
$\beta$	0,9	0,7	180



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der  $^{238}\text{Pu}$ - und  $^{239+240}\text{Pu}$ -Konzentrationen in Sedimentproben aus der obersten Sedimentschicht des Linkenheimer Altrheins. Weiße Balken  $^{239+240}\text{Pu}$ , schwarze Balken  $^{238}\text{Pu}$ .

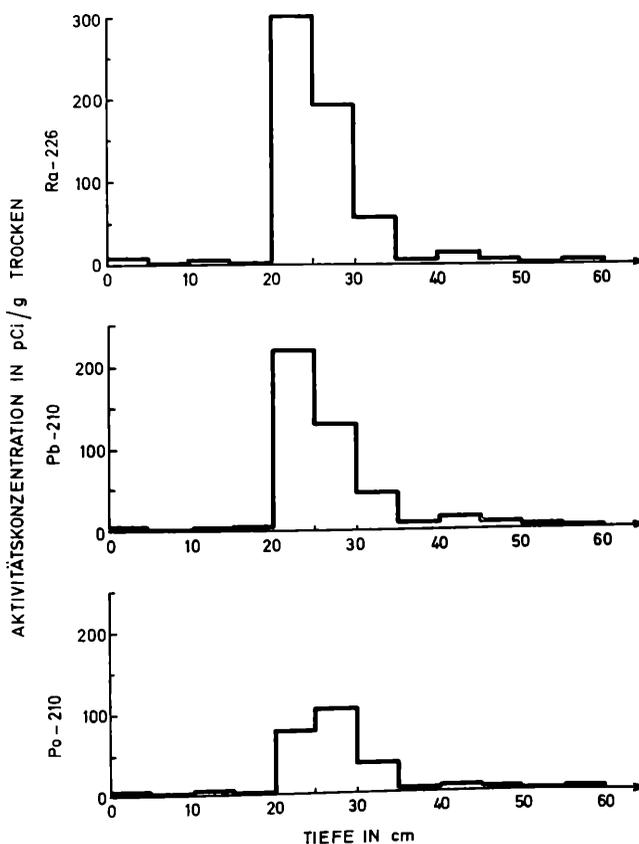
nische Anlagen sind in der Bundesrepublik Deutschland nicht bekannt. In anderen Ländern sind durch Kernkraftwerke keine Kontaminationen verursacht worden und durch den Betrieb von Wiederaufarbeitungsanlagen für nichtmilitärische Zwecke nur untergeordnete und sehr lokale Kontaminationen berichtet worden. Unsere eigenen Versuche in der Umgebung der Wiederaufarbeitungsanlage, eine anlagentypische Kontamination neben dem Kernwaffen-Fallout nachzuweisen, stießen auf nennenswerte Schwierigkeiten. Erst Versuche über Isotopenverhältnisse, wie Pu-239 zu Pu-238 bzw. Cs-134 zu Cs-137 Informationen zu bekommen, waren erfolgreich. Diese Verhältnisse unterscheiden sich im Kernbrennstoff ganz wesentlich von den Verhältnissen wie sie bei Kernwaffenexperimenten auftreten. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse einer Plutoniumuntersuchung im Altrhein, dem Vorfluter des Kernforschungszentrums Karlsruhe und der Wiederaufarbeitungsanlagen Karlsruhe wiedergegeben. Obwohl innerhalb von 3,5 km alles Plutonium sich in den Sedimenten abgelagert hat, das aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe emittiert wurde, sind die maximalen Konzentrationen, die wir feststellen konnten, im Bereich von einigen Zehntel pCi Pu-239/g. Da dies nur ein Bruchteil des vorhandenen Ra-226 ist und Pu-239 sowohl im Magen-Darm-Trakt als auch in aquatischen Ökosystemen eine um Größenordnungen niedrigere Beweglichkeit aufweist als Ra-226, bleibt eine evtl. mögliche Dosisexposition der Bevölkerung durch Pu-239 in den Sedimenten des Altrheins in jedem Fall um Größenordnungen unter der Exposition durch das natürliche Ra-226 [5, 6, 7, 12].

### 5. Die Dosisexposition ländlicher Ökosysteme durch nicht-nukleare Industrie

Aus Kohlekraftwerken wird der größte Teil des Po-210 und ein wesentlicher Teil des Pb-210, die in der Kohle vorhanden sind, während des Verbrennungsprozesses verdampft und an die Umgebung freigesetzt. Die Phosphaterze enthalten hohe Konzentrationen von Uran und den wichtigen Folgeprodukten Ra-226 und Pb-210. So ist die Phosphatindustrie in allen ihren Bereichen eine Quelle der Kontamination der Umgebung. Da auch die Produkte der Phosphatindustrie, wie die Düngemittel und Gips, nennenswerte Kontaminationen aufweisen, werden durch die Benutzung dieser Materialien weitere Kontaminationen, die ganz besonders auch ländliche Ökosysteme betreffen, verursacht. Als Beispiel soll erwähnt werden, daß Superphosphat im Durchschnitt 20 nCi Ra-226/kg enthält und das Triple-Superphosphat und Ammoniumphosphat 60 nCi U-238/kg aufweisen. Andere Quellen der Freisetzung, speziell der flüchtigen

Radionuklide sind Zementfabriken und Betriebe die Baumaterialien aus Schlacken herstellen. Aus Bergwerken, die nicht Thorium und Uran produzieren, besonders aber aus letzteren, werden nennenswerte Aktivitäten von Rn-222, Ra-226 und Pb-210 freigesetzt. Eine besondere Problematik stellen dabei die Halden dieser Betriebe dar und dazu gehören auch die Halden der Aluminiumindustrie. Diese Reihe könnte sicher noch durch eine große Zahl von durchaus üblichen konventionellen Industrien ergänzt werden.

Vom Verfasser wurden in der Nähe von Alpirsbach Untersuchungen durchgeführt, bei denen eine erhöhte Umweltkontamination durch Bergbau, der allerdings bereits vor mehr als 200 Jahren beendet wurde, beobachtet werden konnte. In Abbildung 4 ist das Tiefenprofil auf einer Halde eines ehemaligen Kobalt- und Silberbergwerkes dargestellt. Die gemessenen Ra-226 und Pb-210-Konzentrationen sind



**Abbildung 4:** Tiefenprofil von Ra-226, Pb-210 und Po-210 auf der Fritsche-Halde Wittichen

beachtlich hoch und haben sich in diesen zwei Jahrhunderten, ausgesetzt allen Witterungseinflüssen, nicht nennenswert in die Tiefe, also in Richtung Grundwasser, bewegt. Die Ursache, warum das Uran auf Halde gebracht wurde, war damals ganz einfach die Tatsache, daß Silber und Kobalt von Interesse waren und Uran als Element noch nicht entdeckt war.

Die Freisetzen aus den genannten Industrien führen im allgemeinen lokal zu Erhöhungen der bereits vorhandenen und natürlichen Aktivitäten. Da dem Verfasser keine Bereiche bekannt sind, die man als offene ländliche Ökosysteme bezeichnen könnte, in denen Kontaminationen beobachtet wurden, die wesentlich von den natürlichen Kontaminationen abweichen, dürfte die Dosisexposition durch konventionelle Industrieanlagen nennenswert unter den Belastungen der natürlichen Radioaktivität selbst bleiben [3, 4, 8].

## 6. Dosisexpositionen die bei Mensch, Tier und Pflanzen schwere Schäden verursachen können

Um eine Aussage über die zukünftige Entwicklung ländlicher Ökosysteme im Hinblick auf ihre Dosisexposition machen zu können, ist es notwendig, sich zu vergegenwärtigen, welche Dosisexpositionen zu ernstesten Schäden bei Lebewesen führen können. Die in Tabelle 19 angegebenen Dosisbereiche für Tiere geben die 50%-Letaldosis  $LD_{50,30}$  an. Das heißt es handelt sich bei den angegebenen Dosisbereichen um jene Expositionen, die bei 50% der Lebewesen innerhalb der 30 Tage nach der Dosisexposition zum Tode führen. Bei den Dosen, die zu den Pflanzen angegeben wurden, sind nur jene Bereiche wiedergegeben, die zu massiven Schädigungen der jeweiligen Pflanzenart führt.

Wie aus Tabelle 19 einerseits und die Angaben über die natürliche Strahlenbelastung andererseits, ersichtlich, existiert mindestens ein Faktor 1000 zwischen der natürlichen Strahlenexposition und der Dosisexposition, die beim Menschen zu ernstesten Schäden führt. Für die anderen Dosisexpositionen, also die nicht auf natürliche Quellen zurückgehenden, ist der Faktor sicher größer als 10 000, wenn man den Menschen betrachtet und berücksichtigt, daß der Mensch und einige wenige Säugetiere Lebewesen sind, die eine besonders hohe Empfindlichkeit für Strahlung aufweisen.

Für die zukünftige Dosisexposition ländlicher Ökosysteme läßt sich also wie folgt zusammenfassen: die höchste Dosis-

**Tabelle 19:** Der Bereich bedrohlicher Dosen für Mensch, Tier und Pflanze

Lebewesen	Mittlere letale Dosis bzw. Dosen, die schwere Schäden verursachen in rem
Mensch	300 - 500
Säugetiere	240 - 860
Huhn	600 - 800
Schildkröte	800 - 1500
Goldfisch	2500
Schnecken	800 - 20000
Insekten	45000 - 90000
Einzeller	30000 - 500000
Nadelwald	> 2000
Laubwald	> 10000
Sträucher	> 20000
Tropischer Regenwald	> 40000
Kräuter	> 100000
Gras	> 100000
Moose, Flechten	> 500000

exposition wird auch in den folgenden Generationen verursacht werden durch die natürliche Strahlenbelastung. Der Kernwaffen-Fallout ist zwar ähnlich wie die natürliche Strahlenbelastung global, führt aber bereits heute nur noch zu untergeordneten Dosisexpositionen und wird im Laufe der nächsten Jahrzehnte weiter abnehmen. Die Dosisexpositionen durch nukleare und konventionelle Industrieanlagen sind nur in sehr kleinen Bereichen beobachtbar und die im Normalbetrieb verursachten Dosisexpositionen sind neben den natürlichen Dosisexpositionen, vernachlässigbar klein. Eine nennenswerte Dosisexposition ländlicher Ökosysteme ist also in nächster Zukunft nicht zu erwarten. Ausnahmen wären militärische Auseinandersetzungen in einem größeren Teil der Erde unter Benutzung strategischer nuklearer Waffen oder das Eintreten eines Unfalles bei einem Kernkraftwerk, bei dem alle Sicherheitsbarrieren durchbrochen werden und ein wesentlicher Teil des Aktivitätsinventars in die Umwelt gelanden würde [9, 10, 11].

## 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
- [8] 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
- [9] V. Schultz, F. W. Whicken »Radiation Ecology« CRC Critical Reviews in Environmental Control, October 1974, P. 423
- [10] Adolf Krebs, »Strahlenbiologie«, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1968
- [11] J. Kiefer, »Biologische Strahlenwirkung«, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1981
- [12] M. Pimpl, H. Schüttelkopf, M. Afzar, »Die Plutonium-Kontamination des Altrheins: Die Kontamination der Sedimente«, KfK 2892, Dezember 1979

## Anschrift des Verfassers:

Dr. Heinz Schüttelkopf  
Hauptabteilung Sicherheit/Radioökologie  
Kernforschungszentrum Karlsruhe  
Postfach 3640  
7500 Karlsruhe

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: [2\\_1982](#)

Autor(en)/Author(s): Schüttelkopf Heinz

Artikel/Article: [Die radiologische Belastung der freien Landschaft 34-40](#)