

# Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde

---

Band 141 · Heft 3

---

Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 141, 257–264 (1978)

## Plutonium in Gemüse, Obst und Böden

Von *O. Frindik*

Bundeskforschungsanstalt für Ernährung  
Zentrallabor für Isotopentechnik<sup>1)</sup>

Eingegangen: 19.5.1977

In der vorliegenden Form angenommen: 16.9.1977

### *Einleitung*

Die vornehmlich durch Kernwaffentests in die Atmosphäre gelangten Transuranelemente (*Thomas 1975*) sind im Laufe der Zeit auf der ganzen Erdoberfläche ziemlich gleichmäßig verteilt worden (*Hardy 1973*). Diesen Ausfall oder sog. Fallout finden wir heute sowohl in den Weltmeeren (*Noshking 1974, Bowen 1975*) als auch auf dem Festland (*Harley 1975*). Der in der Atmosphäre verbliebene geringe Rest an Transuranen (*Allkofer 1968*) ist vorwiegend in der Stratosphäre vorzufinden.

Die Gefahren einer Kontamination der Umwelt durch Transurane werden mit steigender Massenzahl immer geringer. Aus diesem Grund ist es verständlich, daß man sich bei Untersuchungen über das Verhalten der Transurane in unserer Umwelt bevorzugt dem relativ häufigen Plutonium mit den relativ langlebigen Isotopen Pu-238, -239 und -240 widmet. Die für die Umwelt relevantesten Eigenschaften des als Oxid vorliegenden Plutoniums sind seine Schwerlöslichkeit und seine starke Sorption im Boden. Daraus folgt, daß das Fallout-Plutonium weder leicht von den Pflanzen und Tieren aufgenommen (*Hakonson 1975*), noch aus der obersten Bodenschicht bedeutend weitertransportiert wird. Die Beschaffenheit des Bodens, die chemische Form und Wertigkeit des Plutoniums, die Vegetationsart, die Mikroorganismen des Bodens und das herrschende Klima spielen dabei eine wichtige Rolle (*Bennett 1974/a*).

Das aus der Atmosphäre ausgeschiedene Plutonium wird vom primären Aufschlagsgebiet bevorzugt durch physikalische Einwirkungen des Windes, des Wassers aber auch durch den Straßenverkehr weitertransportiert. Die auf diesen Wegen resuspendierte Plutoniummenge ist relativ bedeutend, denn die oberste Schicht des Bodens, die der Aufwirbelung (*McLendon 1975, Barr 1975*) am meisten

1) Engesserstr. 20., 7500 Karlsruhe 1

ausgesetzt ist, enthält das meiste Plutonium (*Hardy 1974*). Der Umfang der Aufwirbelung wird durch den Resuspensionsfaktor ( $\text{pCi/m}^3$  Luft pro  $\text{pCi/m}^2$  Boden) ausgedrückt, dessen Werte sich im Bereich von  $10^{-2}$  bis  $10^{-11}\text{m}^{-1}$  (*Hanson 1975*), jedoch am häufigsten in der Größenordnung von  $10^{-9}\text{m}^{-1}$  bewegen (*Bennet 1974/a*).

In einigen Arbeiten wurden die sog. Konzentrations-Faktoren von Nutzpflanzen, d. h. die Konzentrationsgradienten zwischen den Plutoniumgehalten der Böden und denen der Pflanze ermittelt (*Romney 1972, Schulz 1975*). Um die Menge Plutonium bestimmen zu können, die lediglich über die Wurzeln aufgenommen wird, mußten Laborversuche unter Ausschaltung atmosphärischer Kontaminationsmöglichkeiten durchgeführt werden. Je nach Versuchsbedingungen erhielt man Konzentrationsfaktoren von  $10^{-4}$  bis  $10^{-8}$ . Unter Freilandbedingungen durchgeführte Versuche lieferten dagegen Konzentrationsfaktoren, die um einige Größenordnungen höher lagen. Beispielsweise ergaben Messungen an Getreide Werte von  $(1,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-3}$  (*Frindik 1977*). Man erkannte bald, daß die Plutoniumgehalte der Pflanzen nicht nur von der Pflanzenart (Blattoberfläche, Vegetationszeit usw.), sondern auch von der Art des resuspendierten Materials (Korngröße, Alter usw.) abhängig sind (*Romney 1975*). Aus den Untersuchungsergebnissen war abzuleiten, daß Pflanzen kaum über den in der Atmosphäre verbliebenen Restfallout oder über die Wurzelaufnahme sondern hauptsächlich über die Resuspension kontaminiert werden. Es ist deshalb möglich, daß großblättrige Pflanzen (Kopfsalat), Pflanzen mit gekräuselter und offener Blattoberfläche (Grünkohl) oder solche mit relativ langer Expositionszeit (Grünkohl, Äpfel) einen höheren Plutoniumgehalt aufweisen als solche mit kleiner Expositionsfläche und kurzer Vegetationszeit.

Mit den hier beschriebenen Untersuchungen sollten die Kenntnisse über den Umfang der Kontamination landwirtschaftlicher Produkte erweitert werden. Außerdem sollte ermittelt werden, ob in pflanzlichen Produkten aus der Umgebung des Kernforschungszentrum Karlsruhe ein höherer Kontaminationspegel feststellbar ist als in solchen aus entfernteren Gebieten. Die jeweiligen Böden wurden in die Untersuchungen der Plutoniumgehalte einbezogen. Diese Arbeit befaßt sich nur mit den alphaaktiven Plutoniumisotopen 238 und – da alphaspektrometrisch nicht zu unterscheiden – dem Gemisch der Plutoniumisotope 239 + 240.

### Probenahme und Methode

Mit Ausnahme einer Probe aus dem Jahre 1969 (Tab. 1) wurden alle Proben in den Vegetationszeiten der Jahre 1971 bis 1975 gezogen, sogleich in haushaltsüblicher Weise gereinigt, gewogen und in zunderfreien Edelstahlschalen verascht. Die Veraschung selbst wurde bei ca.  $550^\circ\text{C}$  durchgeführt. Die Verweildauer der in dünner bzw. lockerer Schicht eingebrachten Probe im Ofen betrug etwa vier Stunden. Die gewonnenen Aschen waren jeweils von mittel- bis hellgrauer Beschaffenheit.

Die meisten Proben stammen aus der mittelbadischen Rheinebene. Die Gemüseproben dieser Region wurden im Hinblick auf die stichprobenartige Umgebungsüberwachung des

**Tabelle 1:** Gesamt-Alpha- und Plutonium- (239 + 240)-Aktivitäten von Gemüse vorwiegend aus dem Rheintal bei Karlsruhe.

Total-alpha and plutonium (239 and 240) activities of vegetables mainly from the Rhine valley near Karlsruhe.

Proben-Nr.	Produkt	Probenahmeort mit Postleitzahl	Ernte-jahr	Gesamt-Alpha-Aktivität in pCi/kg Frischg.	Plutonium- (239 + 240)-Aktivitäten in	
					fCi/g Asche	fCi/kg Frischg.
1	Blumenkohl	7570 Baden-Oos	1974	0,2 ± 2,0	0,01 ± 0,3	0,1 ± 2,8
2	Bohnen, grün	7570 Baden-Oos	1974	1,9 ± 1,2	0,5 ± 0,4	3,7 ± 2,8
3	Grünkohl	7500 Karlsruhe-Neureut	1969	—	3,4 ± 1,4 *)	37 ± 15 *)
4	Grünkohl	7500 Karlsruhe-Neureut	1971	7,0 ± 1,7 *)	5,0 ± 0,8 *)	55 ± 9,1 *)
5	Grünkohl	7551 Au/Rastatt	1975	8,0 ± 1,9 *)	1,3 ± 0,4 *)	14 ± 4,8 *)
6	Kartoffeln	7844 Neunburg	1971	6,7 ± 1,8 *)	0,6 ± 0,6	7,4 ± 6,3
7	Kartoffeln	6950 Mosbach	1971	0,2 ± 1,9	(GMF: ± 0,6)	(GMF: ± 6,6)
8	Kartoffeln	7570 Baden-Oos	1974	1,7 ± 1,7	0,2 ± 0,5	2,2 ± 5,5
9	Karotten	7570 Baden-Oos	1974	5,7 ± 3,6	(GMF: ± 0,4)	(GMF: ± 5,6)
10	Kohlrabi	7570 Baden-Oos	1974	0,8 ± 1,1	(GMF: ± 0,7)	(GMF: ± 7,0)
11	Kopfsalat	7500 Karlsruhe-Neureut	1974	16 ± 4,6 *)	6,9 ± 0,8 *)	64 ± 7,4 *)
12	Kopfsalat	7570 Baden-Oos	1974	4,6 ± 1,9 *)	0,4 ± 0,3	2,4 ± 1,9
13	Lauch	7521 Karlsdorf-Neuth.	1975	6,1 ± 1,6 *)	5,6 ± 0,9 *)	37 ± 6,1
14	Mischpilze	6732 Edenkoben	1974	9,6 ± 3,0 *)	3,5 ± 0,8 *)	26 ± 6,2 *)
15	Spargel	7571 Hügelshaim	1975	0,6 ± 0,5	1,4 ± 0,4 *)	6,7 ± 2,1 *)
16	Spargel	7521 Liedolsheim	1972	7,8 ± 1,7 *)	0,8 ± 0,7	4,6 ± 4,0
17	Weißkohl	7570 Baden-Oos	1974	1,6 ± 1,3	0,06 ± 0,2	0,4 ± 1,6
Mittlere Nachweisgrenze					1,2	11

\* oberhalb der Nachweisgrenze

**Tabelle 2:** Gesamt-Alpha- und Plutonium-Aktivitäten von Gemüse aus der unmittelbaren Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KFK) und aus dem Raum Kahl-Großwelzheim (Probe 1).

Total-alpha and plutonium activities of vegetables from the immediate vicinity of the Karlsruhe Nuclear Research Centre (KFK) and of the Kahl-Grosswelzheim area (sample 1).

Proben-Nr.	Produkt	Probenahmeort mit Postleitzahl	Ernte-jahr	Gesamt-Alpha-Aktivität in pCi/kg Frischg.	Plutonium-Aktivitäten in		
					fCi/g Asche	fCi/kg Frischgewicht	
					<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu
1	Kartoffeln	8752 Michelbach	1971	1,7 ± 1,2	(GMF: ± 0,3)	(GMF: ± 3,3)	(GMF: ± 11)
2	Kartoffeln	7514 Leopoldshafen	1974	1,3 ± 1,6	0,1 ± 0,6	0,9 ± 5,6	(GMF: ± 14)
3	Kartoffeln	7514 Leopoldshafen	1975	3,7 ± 1,2 *)	0,3 ± 0,4	1,1 ± 1,3	(GMF: ± 3,8)
4	Kopfsalat	7514 Leopoldshafen	1974	12 ± 4,1 *)	4,2 ± 0,6 *)	38 ± 5,8 *)	6,5 ± 9,4
5	Mischpilze	7514 Gelände KFK	1974	19 ± 4,8 *)	1,0 ± 0,4 *)	6,7 ± 3,0 *)	5,1 ± 6,7
6	Spargel	7514 Leopoldshafen	1975	0,5 ± 0,5	0,04 ± 0,2	0,1 ± 0,9	(GMF: ± 3,4)
7	Tomaten	7514 Leopoldshafen	1974	5,6 ± 2,4 *)	0,1 ± 0,7	0,5 ± 3,9	(GMF: ± 13)
Mittlere Nachweisgrenze					0,9	6,8	17

\*) oberhalb der Nachweisgrenze

Kernforschungszentrums Karlsruhe in zwei Gruppen aufgeteilt: Die eine Gruppe wurde möglichst nahe am Zentrum (3 bis 5 km, Tab. 2), die andere in größerer Entfernung vom Zentrum entnommen (20 bis 60 km, Tab. 1). Es war nur in wenigen Fällen möglich, geeignete Parallelproben aus den beiden Überwachungsbereichen zu beschaffen.

Die Bodenproben wurden bei 600° C verascht, anschließend gesiebt (0,315 mm) und nur die feine Fraktion für die Analyse verwendet.

Die Auswahl der Bodenproben sowie die Bestimmungsmethoden für Plutonium in den Böden und Pflanzenaschen sind bereits in früheren Veröffentlichungen beschrieben worden (*Frindik 1977, Frindik und Diehl 1975*).

### *Ergebnisse und Diskussionen*

In allen Aschen wurde unmittelbar nach ihrer Gewinnung die Gesamt-Alpha-Aktivität, die vornehmlich von den natürlichen Uran- und Thoriumreihen herrührt, im Methandurchflußzähler bestimmt (*Frindik 1973*). Sie dient als Orientierungshilfe in der Auswahl von Proben zur Plutoniumbestimmung. Die Gesamt-Alpha-Aktivitäten zeigen gewisse Parallelitäten mit den gefundenen Plutoniumgehalten. Die Pu-239 + Pu-240-Gesamtaktivitäten betragen etwa 1/1000 der Gesamt-Alpha-Aktivitäten (insbes. Tab. 3 und 4).

**Tabelle 3:** Gesamt-Alpha- und Plutonium-Aktivitäten von Obst aus dem Jahre 1974.  
Total-alpha and plutonium activities of fruits of the year 1974.

Proben-Nr.	Produkt	Probenahmeort mit Postleitzahl	Gesamt-Alpha-Aktivität in pCi/kg Frischg.	Plutonium-Aktivitäten in		
				fCi/g Asche	fCi/kg Frischgewicht	
				<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu
1	Äpfel	7513 Friedrichstal	4,2 ± 1,9 *)	1,4 ± 0,5 *)	6,6 ± 2,4 *)	2,6 ± 6,4
2	Birnen	7513 Friedrichstal	6,6 ± 2,3 *)	3,1 ± 1,4 *)	5,3 ± 2,3 *)	11 ± 6,4
3	Birnen	6747 Kandel	1,0 ± 1,3	0,5 ± 0,8	1,3 ± 2,1	1,9 ± 4,7
4	Erdbeeren	7514 Leopoldshafen	5,5 ± 2,1 *)	0,6 ± 0,5 *)	6,2 ± 5,2 *)	(GMF: ± 10)
5	Trauben	6714 Siebeldingen	1,6 ± 3,2	0,6 ± 0,4	6,9 ± 5,2	(GMF: ± 15)
Gewichtete Mittelwerte mit mittl. Fehlern			3,6 ± 1,1	1,0 ± 0,4	4,8 ± 1,1	3,6 ± 2,0
Mittlerer Gesamtmeßfehler der Einzelwerte				± 80 %	± 80 %	± 180
Mittlere Nachweisgrenze				1,4	6,9	17

\*) oberhalb der Nachweisgrenze

Alle Aktivitätsangaben in den fünf Tabellen wurden immer mit dem 1  $\sigma$ -Gesamtmeßfehler (entsprechend 68,3 % Wahrscheinlichkeit) der jeweiligen Analyse und nicht, wie häufig üblich, nur mit dem Zählfehler versehen dargestellt. Auf diese Weise umgeht man die pauschale Angabe der viel höherliegenden mittleren Nachweisgrenze, und man ist dann in der Lage, für jede Einzelanalyse die interessierende Nachweisgrenze anzugeben. Man erhält mehr Informationen über die Einzelwerte im Niedrigst-Aktivitätenbereich. Der Gesamtmeßfehler, der mit Hilfe der Fehlerfortpflanzung errechnet wurde, setzt sich aus dem Zählfehler nach Poisson

**Tabelle 4:** Gesamtalpha- und Plutoniumaktivitäten in veraschten Böden.

Total-alpha and plutonium activities in incinerated soils.

Probennahmeort mit Postleitzahl	Jahr	Bodenprobe von	Gesamt-Alpha- aktivität in pCi/g *)	Plutoniumaktivitäten in fCi/g	
				<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu *)	<sup>238</sup> Pu
7571 Hügelsheim	1975	Spargelfeld	11 ± 2,9	9,0 ± 1,6	0,3 ± 1,8
7513 Friedrichstal	1974	Obstgarten I	11 ± 2,9	2,3 ± 1,0	0,2 ± 1,9
7513 Friedrichstal	1974	Obstgarten II	14 ± 3,6	4,9 ± 1,0	1,6 ± 1,8
7514 Leopoldshafen	1974	Garten	8,8 ± 2,3	3,9 ± 1,0	(GMF: ± 1,6)
7500 Karlsruhe-Neureut	1974	Garten	19 ± 4,8	13 ± 1,9	0,6 ± 1,6
6832 Hockenheim	1972	Wald	7,5 ± 1,2	6,7 ± 1,0	0,1 ± 1,6
Gewichtete Mittelwerte mit mittl. gew. Fehlern			10 ± 1,5	5,9 ± 1,4	0,5 ± 0,2
Mittlerer Gesamtmeßfehler der Einzelwerte				± 23 %	± 710 %
Mittlere Nachweisgrenze				2,5	3,4

\*) alle Werte oberhalb der Nachweisgrenze

aus allen zufälligen Fehlern der Analyse zusammen. In den Tabellen ist die Aktivität  $\leq 0$ , wenn nur der Gesamtmeßfehler (GMF) angegeben ist. Der zweifache Gesamtmeßfehler entspricht einer 95,5 %-igen Wahrscheinlichkeit und wird hier als Nachweisgrenze betrachtet. Fast alle Meßwerte von Pu-238 fielen unter die so definierte Nachweisgrenze und wurden in den Tabellen 1 und 5 deshalb nicht aufgeführt. Die in den restlichen Tabellen angegebenen Werte sollten nur den qualitativen Nachweis von Pu-238 liefern. Der quantitative Nachweis wird durch die prozentuale Angabe des „Mittleren Gesamtmeßfehlers der Einzelwerte“ veranschaulicht. Insbesondere in der Tab. 4 ist durch diese Darstellungsform deutlich sichtbar, welcher Aussagewert den Pu-238- und den Pu-239- und -240-Aktivitäten zuzuschreiben ist.

Bei Gemüse zeigt sich eine deutliche artspezifische Aktivitätserhöhung, die insbesondere beim Grünkohl, Freiland-Kopfsalat und bei wildwachsenden Speisepilzen auffällig ist (Tab. 1 und 2). Lauch (Tab. 1) zeigt eindeutig erhöhte Plutoniumgehalte, jedoch stammen die Meßwerte nur aus einer einzigen Probe.

Bei geschälten Kartoffeln bewegt sich die Plutonium-Aktivität in einem sehr niedrigen Bereich, etwa um den Wert 2 fCi/kg (fCi = femto Curie =  $10^{-3}$  pCi =  $10^{-15}$  Ci) (Tab. 1,2). Die Aktivität des Ackerbodens vom Probenahmeort beträgt etwa 5 fCi/g, so daß der Gehalt der geschälten Kartoffelknolle um etwa den Faktor 2500 niedriger liegt. Bereits 0,4 g Bodenmaterial kann daher die Plutoniumaktivität von 1 kg geschälten Kartoffeln verdoppeln, weshalb bei der Probenvorbereitung sehr sorgfältig gearbeitet werden muß. Aus dem gleichen Grund scheint auch die Bestimmung des Plutoniumgehaltes der Kartoffelschale allein ziemlich fragwürdig zu sein (Bennett 1974/b).

Um die Rolle der Schale erkennen zu können, wurde Obst ausgewählt. Die Meßergebnisse wurden in der Tab. 5 dargestellt. Der Konzentrationsunterschied von Apfelfleisch zu Apfelschale beträgt etwa das 14-fache und bei Pfirsichen das 3-fache, wenn auf gleiches Gewicht von Obstfleisch und -schale bezogen wird.

**Tabelle 5:** Gesamt-Alpha- und Plutonium- (239 + 240)-Aktivitäten von Obstbestandteilen und von ganzem Obst (gereinigt und entkernt). Ernteort: 7500 Karlsruhe-Durlach.

Total-alpha and plutonium (239 + 240) activities of fruit components and of whole fruits (after cleaning and stoning). Place of harvest: 7500 Karlsruhe-Durlach.

Produkt (Erntejahr)		Gesamt-Alpha- Aktivität in pCi/kg Frischgew.	Plutonium- (239 + 240)-Aktivitäten in	
			fCi/g Asche	fCi/kg Frischg.
Apfel- (1974)	-Fleisch	1,2 ± 0,6	0,3 ± 1,2	0,9 ± 3,4
	-Schale	2,5 ± 0,8 *)	4,3 ± 0,9 *)	13 ± 2,5 *)
	-Fleisch m. Schale	1,9 ± 0,7 *)	0,5 ± 0,9	1,5 ± 2,8
Pflirsich- (1975)	-Fleisch	1,4 ± 0,9	1,1 ± 0,8	5,1 ± 3,8
	-Schale	6,9 ± 2,0 *)	3,8 ± 2,0	17 ± 9,1
	-Fleisch m. Schale	2,1 ± 1,0 *)	1,5 ± 1,0	6,8 ± 4,5

\*) oberhalb der Nachweisgrenze

Tatsächlich war bei den Äpfeln der Tabelle 5 das Schale/Fleisch-Gewichtsverhältnis 1 : 3,7 und bei den Pflirsichen 1 : 6,2, wobei das Fruchtfleisch keine Steine und Kerne bzw. Kerngehäuse enthielt.

Bei Böden (Tab. 4) liegt die ermittelte Gesamt-Alpha-Aktivität um den Faktor 1600 höher als die gesamte Plutonium-Aktivität. Der gewichtete Mittelwert der Pu-239 + Pu-240-Aktivität von 5,9 fCi/g liegt in der gleichen Größenordnung wie der in einer früheren Veröffentlichung mitgeteilte Wert von 7,7 fCi/g (*Frindik* 1977). Da mehrere Gemüseproben aus Baden-Oos untersucht wurden (Tab. 1), ist ein Vergleich mit der Pu-239- + Pu-240-Bodenaktivität von  $4,9 \pm 0,9$  fCi/g ebenfalls von Interesse. Im allgemeinen wird man mit 7 fCi/g Boden rechnen können um interessierende Konzentrationsfaktoren zwischen Böden und einzelnen landwirtschaftlichen Produkten zu ermitteln. Diese Plutonium-Aktivitäten wurden zwar an Bodenproben des Karlsruher Raumes festgestellt, sie weichen jedoch im wesentlichen nicht von den weltweit gemessenen Werten ab (*Hardy* 1973).

### Zusammenfassung

Der Plutoniumgehalt von Gemüse und Obst aus dem Karlsruher Raum wurde in den Jahren 1971 bis 1975 ermittelt. In Gemüse wurden sehr unterschiedliche Aktivitäten von Pu-239 + Pu-240 gefunden. Die Werte lagen zwischen 64 fCi/kg Frischgewicht und unter der Nachweisgrenze von etwa 6 fCi/kg. Das meiste Gemüse sowie alles Obst hat den Wert von 10 fCi/kg nicht überschritten. Das Nuklid Pu-238 konnte nur qualitativ nachgewiesen werden, d. h. alle Meßwerte blieben unter der

Nachweisgrenze (definiert als 2-facher Gesamtmeßfehler) von ca. 17 fCi/kg. Die gleichzeitig an Aschen von Gemüse und Obst ermittelten Gesamt-Alpha-Aktivitäten lagen im Bereich von 0,5 bis 19 pCi/kg Frischgewicht. Die aus der gleichen Gegend entnommenen Bodenproben hatten eine mittlere Pu-239- und Pu-240-Aktivität von  $5,9 \pm 1,4$  fCi/g und eine Gesamt-Alpha-Aktivität von  $(10 \pm 1,5) \cdot 10^3$  fCi/g. Aus der Nähe des Kernforschungszentrums Karlsruhe entnommene Proben zeigten keine erhöhten Aktivitäten.

### Literatur

- Allkofer, O.C., Fox, J.M., Hauser, H., 1968: Spektrometrische Untersuchung der Alpha-Strahler im radioaktiven Fallout. *Atomkernenergie (ATKE)* **13** (1) : 39–44.
- Barr, N.F., 1975: The radiological significance of transuranium radioisotopes released to the environment during operation of the LMFBR fuel cycle. IAEA-SM-155/102: 649–656 (auch unter: AED-Conf-75-625-036).
- Bennett, B.G., 1974/a: Environmental pathways of transuranic elements. WASH-1359: 131–151.
- Bennet, B.G., 1974/b: Fallout  $^{239,240}\text{Pu}$  in diet. HASL-286: I-36 – I-52.
- Bowen, V.T., 1975: Transuranics in the marine environment. HASL-291: I-57 – I-79.
- Frindik, O., 1973: Die Gesamt-Alpha-Aktivitätsbestimmung in Lebensmitteln. *Dtsch. Lebensm.-Rundschau* **69** (10): 364–368.
- Frindik, O., Diehl, J.F., 1975: Die Plutonium-Alpha-Aktivität von Lebensmitteln. *Dtsch. Lebensm. Rundschau* **71** (3): 100–104.
- Frindik, O., 1977: Plutonium in Getreide und Boden, *Lebensmittel-Wissenschaft-Technologie* **10**: 162–165.
- Hakonson, T.E., 1975 Environmental pathways of plutonium into terrestrial plants and animals. *Health Physics* **29**: 583–588.
- Hanson, W.C., 1975: Ecological considerations of the behaviour of plutonium in the environment. *Health Physics* **28**: 529–537.
- Hardy, E.P., Krey, P.W., Volchok, H.L., 1973: Global inventory and distribution of fallout plutonium. *Nature* **241**: 444–445.
- Hardy, E., 1974: Depth distributions of global fallout  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and  $^{239,240}\text{Pu}$  in sandy loam soil. HASL-286: I-2 – I-10.
- Harley, J.H., 1975: Transuranium elements on land. HASL-291: I-104 – I-109.
- McLendon, H.R., Stewart, O.M., Boni, A.L., Corey, J.C., McLeod, K.W., Pinder, J.E., 1975: Relationships among plutonium contents of soil, vegetation and animals collected on an adjacent to an integrated nuclear complex in the humid southeastern United States of America. IAEA-SM-199/85: 347–363 (auch unter: CONF-751105-13 und DP-MS-75-30).
- Noshkin, V.E., Gatrousis, C., 1974: Fallout  $^{240}\text{Pu}$  and  $^{239}\text{Pu}$  in Atlantic marine samples. *Earth Planet Sci. Letters* **22**: 111–117.

- Romney, E.M., Davis, J.J.*, 1972: Ecological aspects of plutonium dissemination in terrestrial environments. *Health Physics* **22**: 551–557.
- Romney, E.M., Wallace, A., Gilbert, R.O., Kinnear, J.E.*, 1975:  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  contamination of vegetation in aged plutonium fallout areas. UCLA-12-986: 1–49.
- Schulz, R.K., Tompkins, G.A., Babcock, K.L.*, 1975: Uptake of plutonium and americium by plants from soils. UCB-34 P 211–2 (Teil 2): 1–38.
- Thomas, C.W., Perkins, R.W.*, 1975: Transuranium elements in the atmosphere. HASL-291: I-80–I-103.

### **Plutonium in vegetables, fruits, and soils**

by *O. Frindik*

The plutonium content of fruits and vegetables from the Karlsruhe area in the years of 1971 – 1975 was determined. In vegetables the Pu-239 and Pu-240 activities were highly different, fluctuating between 64 fCi/kg fresh weight and values below the detection limit of about 6 fCi/kg. The activity of most of the vegetables and of all fruits was not higher than 10 fCi/kg. The nuclide Pu-238 could be identified in a qualitative way only, i. e. all measuring values remained below the detection limit of about 17 fCi/kg. The total-alpha-activities which were simultaneously determined in the vegetable and fruit ashes were in the range of 0.5 – 19 pCi/kg fresh weight. Soil samples taken from the same region had a mean Pu-239 and Pu-240 activity of  $5.9 \pm 1.4$  fCi/g and a total-alpha-activity of  $(10 \pm 1.5) \cdot 10^3$  fCi/g. Samples taken from the immediate vicinity of the Karlsruhe Nuclear Research Centre did not show increased activity levels.

[3834 P]