



Aufnahme radioaktiver Stoffe durch Erdbeer- und Rebenblätter

Hans-Jürg ZEHNDER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), CH-8820 Wädenswil
 Peter KOPP und Jost EIKENBERG, Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen
 Urs FELLER, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Bern, CH-3013 Bern
 Jakob J. OERTLI, Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich, CH-8315 Lindau¹

Vor zehn Jahren wurden nach einer Explosion im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl radioaktive Stoffe durch Luftströmungen über halb Europa verteilt. In der Schweiz wurde im Sommer und Herbst 1986 in Früchten eine geringe, jedoch deutlich erhöhte Radioaktivität festgestellt. Diese war vor allem auf die radioaktiven Nuklide von Cäsium, Cs-137 und Cs-134, zurückzuführen. Es zeigte sich, dass gewisse radioaktive Stoffe durch die Blätter in die Pflanzen eindringen und damit in die Früchte gelangen können.

Vor zehn Jahren, am 26. April 1986 explodierte der Kernreaktor Nr. 4 des Kernkraftwerks in der Nähe des kleinen ukrainischen Städtchens Tschernobyl. Radioaktives Material trat aus und wurde mit den Luftströmungen über grosse Strecken transportiert und durch den Regen ausgewaschen. Selbst in weit entfernten Ländern wie der Schweiz, konnte im Sommer und Herbst 1986 in Früchten und in daraus hergestellten Produkten eine geringfügig erhöhte, jedoch gut messbare Radioaktivität festgestellt werden (Tab. 1). Diese war vor allem auf die Nuklide Cäsium-137 und 134 zurückzuführen (Zehnder 1988). Nachdem aus der Literatur bekannt war, dass Cäsium im Boden grösstenteils an Tonmineralien gebunden und deshalb kaum pflanzenverfügbar ist (Andersen 1967; Rich 1968), stellte sich die Frage, wie das radioaktive Cäsium in die Früchte gelangt war. Bukovac und Mitarbeiter hatten bereits 1965 anhand von Laborversuchen gezeigt, dass radioaktives Cäsium durch die Blätter aufgenommen und von dort in andere Pflanzenteile, zum Beispiel die Früchte, transportiert werden kann. Wie unsere Literaturrecherchen zeigen, waren diese Resultate von der Wissenschaft jedoch kaum zur Kenntnis genommen worden.

Das Arbeiten mit radioaktiven Stoffen

Um die Aufnahmemechanismen radioaktiver Nuklide durch die Blätter zu studieren, wurden an der Forschungsanstalt Wädenswil in den Jahren 1988 bis 1994 Untersuchungen an Topfkulturen von Erdbeeren und Reben durchgeführt. Im

weiteren wurde der Transport dieser Stoffe in andere Pflanzenteile, vor allem in die Früchte, sowie die Abgabe in den Boden untersucht.

Aus Sicherheitsgründen haben wir diese Untersuchungen in einem einfachen Gewächshaus durchgeführt. Um darin die Pflanzen unter einigermassen natürlichen Verhältnissen kultivieren zu können, waren die Stirnwände dieses Gewächshauses aus feinem Polyesternetz gefertigt. Im Dach aus Plexiglas befand sich eine grosse regengeschützte Öffnung. Diese Massnahmen sorgten für einen genügenden Frischluftdurchsatz und eine ausreichende Wärmeregulierung. Um das Austreten von Radioaktivität in die Umwelt zu verhindern, war der Boden mit einer dicken Plastikfolie abgedeckt. An Stelle der langlebigen Isotope Cäsium-137 und Stronti-



Abb. 1. Eingetopfte zweijährige Versuchsrebe (R x S), auf zwei Triebe geschnitten (Foto R. Waldvogel, FAW).

um-90 arbeiteten wir mit den kurzlebigen Isotopen Cs-134 (Halbwertszeit 2 Jahre) sowie Sr-85 (Halbwertszeit 65 Tage). Erdbeerjungpflanzen sowie zwei- bis dreijährige Reben wurden in Kunststoff-

Tab. 1. Radioaktivität in Früchten¹ in der Schweiz, 1986 (Cäsiumaktivität Bq/kg)

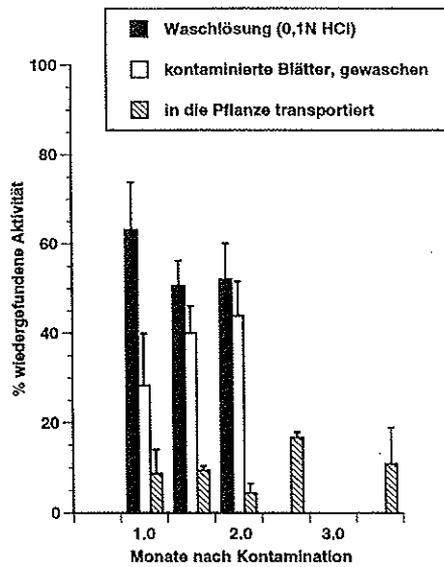
Datum	Produkt/Sorte/Kulturart	NO-Schweiz	Zentral-Schweiz	NW-Schweiz	Tessin
11.06.86	Erdbeeren/Elvira/Freiland	22	22		
11.06.86	Erdbeeren/Elvira/Vlies	22	22		
11.06.86	Erdbeeren/Elvira/Tunnel	<4	<4		
13.07.86	Erdbeeren/Comet/Freiland		<4		
10.06.86	Kirschen/Magda			74	
02.07.86	Kirschen/ frühe Luxburger	70			
13.07.86	Johannisbeeren rot	81			
17.07.86	Johannisbeeren rot		52		
13.07.86	Stachelbeeren	104			
17.07.86	Stachelbeeren		44		
13.07.86	Himbeeren	30			
17.07.86	Himbeeren		11		
24.07.86	Kulturheidelbeeren		0		
07.08.86	Äpfel/Vistabella (früh)	11	4		
14.10.86	Äpfel/Glockenapfel (spät)	22	11		
08.09.86	Birnen/Williams	4	0		
08.09.86	Holunder schwarz	15	22		
19.08.86	Trauben/Americani				11
08.10.86	Trauben/R x S	0	0		
15.10.86	Walnüsse			14	

¹ 1993 emeritiert

¹ Probenerhebungen FA Wädenswil, Messungen PSI, Villigen

töpfe gepflanzt und kultiviert. Die Reben waren auf zwei Triebe geschnitten (Abb. 1). Auf je zwei voll entwickelten Blättern der Versuchspflanzen wurden 50 µl wässrige, trägerfreie Lösungen von ¹³⁴Cäsiumchlorid (¹³⁴CsCl) und ⁸⁵Strontiumchlorid (⁸⁵SrCl₂) mit einer Mikropipette in kleinen Tröpfchen aufgetragen. Diese Lösungen trockneten in zwei bis drei Stunden, beziehungsweise wurden in dieser Zeit von der Pflanze aufgenommen. Für die Probenerhebung wurden in periodischen Abständen bei den Reben zwei und bei den Erdbeeren drei ganze Pflanzen geerntet. Diese zerteilten wir in die einzelnen Organe und trockneten diese. Die Radioaktivität wurde im Paul Scherrer Institut, Villigen, mit einem Gammaskontrometer gemessen. Auch die Erde aus den Pflanztöpfen wurde auf Radioaktivität untersucht (Zehnder *et al.* 1993, 1995).

Erdbeeren¹⁾ 1989



Reben 1990

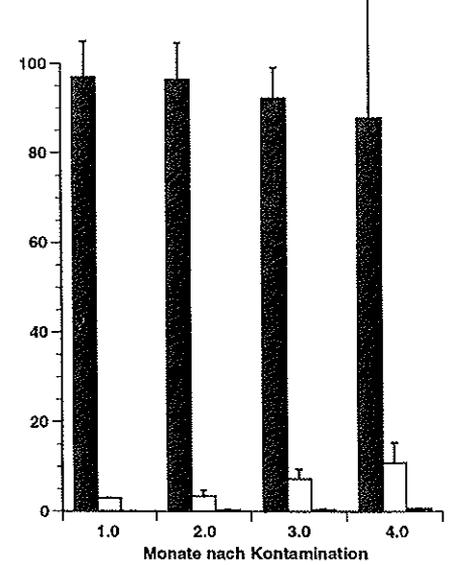


Abb. 2. Blattaufnahme und Transport von radioaktivem Strontium bei Erdbeeren und Reben. ¹⁾Bei den Erdbeerpflanzen mussten die kontaminierten Blätter nach acht Wochen wegen Nekrose entfernt werden.

Radioaktive Stoffe verhalten sich verschieden

Erdbeeren nahmen das auf den Blättern deponierte, in Wasser gelöste, trägerfreie ⁸⁵SrCl₂ relativ gut (max. 48 %) auf. Die Reben nahmen deutlich geringere Mengen (max. 12 %) auf. Nur ein Drittel der aufgenommenen Menge wurde bei den Erdbeeren aus den kontaminierten Blättern in andere Pflanzenteile weitertransportiert. Bei den Reben betrug dieser Anteil gar nur 1 % (Abb. 2). In den Früchten konnte dagegen weder bei Erdbeeren noch bei Reben radioaktives Strontium festgestellt werden.

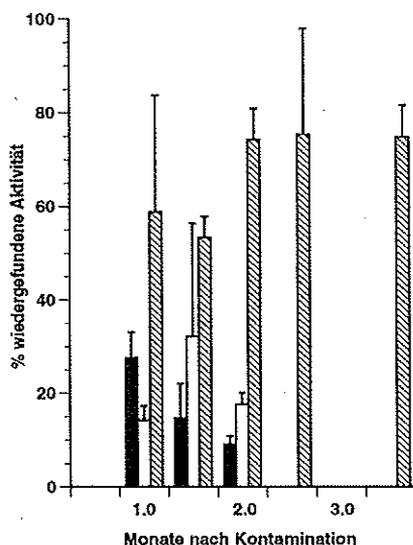
Trägerfreie, wässrige Lösung von ¹³⁴CsCl verhielt sich auf den Blättern von Erdbeeren und Reben deutlich anders (Abb. 3). Radioaktives Cäsium wurde von den Blättern sehr schnell aufgenommen. In den kontaminierten Blättern von Erdbeeren wurden über 90 %, in jenen von Reben bis 65 % des wiedergefundenen Cäsiums festgestellt. Bei Erdbeeren wurden 75 % dieser Menge in andere Pflanzenteile, zum Beispiel in die Beeren (bis 45 %), weitertransportiert, in den Reben dagegen nur 24 bis 55 %. In die Traubenbeeren gelangten 7 bis 9 %. In den kontaminierten, gewaschenen Rebenblättern

verblieben 9 bis 14 %, etwa gleich viel wie in den Erdbeerblättern.

Der Grund für die höhere Radioaktivität in Erdbeerfrüchten ist - neben der Tatsache einer besseren Aufnahme der Cäsiumnuclide durch die Blätter - darin zu suchen, dass die reifen Erdbeeren während der ganzen Versuchsdauer periodisch geerntet wurden und deshalb keine Aktivität aus den Beeren in die Pflanze zurückgelangte. Das in den Traubenbeeren während des Wachstums angesammelte Cäsium wurde gegen Ende des Reifeprozesses zum Teil wieder an andere Pflanzenorgane abgegeben.

Salze können nur solange durch die Blätter aufgenommen werden, als sie in gelöster Form vorliegen (Franke 1984). Die Untersuchungen an Reben im trockenen und heißen Sommer 1991 ergaben eine geringere Cäsiumaufnahme als jene im kühleren und feuchteren Sommer 1992.

Erdbeeren¹⁾ 1989



Reben 1992

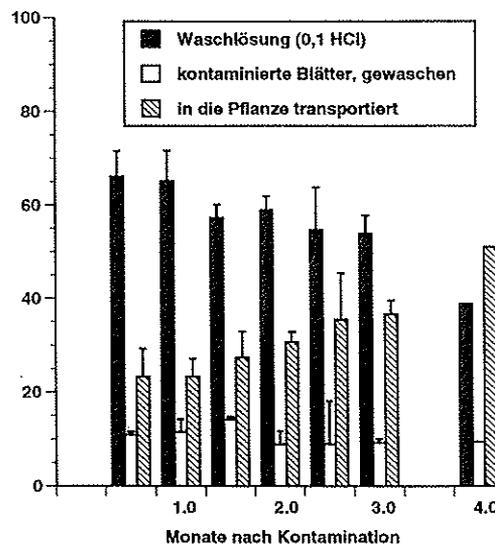


Abb. 3. Blattaufnahme und Transport von radioaktivem Cäsium bei Erdbeeren und Reben. ¹⁾Bei den Erdbeerpflanzen mussten die kontaminierten Blätter nach acht Wochen wegen Nekrose entfernt werden.

Aus den Pflanzen in den Boden

Erdbeeren und Reben geben radioaktive Stoffe durch die Wurzeln an den Boden ab. Alle untersuchten Erdproben bei den Reben wiesen relativ hohe Cäsiumgehalte auf (bis 25 % der gemessenen Aktivität), während die Erdproben der Erdbeerpflanzen deutlich geringere Gehalte - weniger als 10 % - aufwiesen. Erste Resultate von Untersuchungen an Reben in Hydrokultur legen nahe, dass die Menge des durch die Wurzeln ausgeschiedenen Cäsiums eng

mit der Kaliumversorgung der Reben zusammen hängt (Abb. 4). Cäsium, das aus den Pflanzen in den Boden gelangt war, wurde von den Pflanzen - auch in der nächsten Vegetationsperiode - nicht wieder aufgenommen. Diese Beobachtung bei Reben bestätigt Angaben in der Literatur, dass Cäsium im Boden an Tonmineralien gebunden wird und kaum mehr pflanzenverfügbar ist (Andersen 1967; Rich 1968).

Risiko beim Genuss von Früchten?

Die Resultate unserer Untersuchungen an Erdbeeren und Reben zeigen, dass die Aufnahme von radioaktivem Strontium durch die Blätter von Pflanzen für die Konsumentin und den Konsumenten von Früchten kein besonderes Risiko darstellt, weil das zweiwertige Strontium in der Pflanze nicht oder nur wenig mobil ist. Die Aufnahme dieses Nuklids durch die Wurzel und der Transport in Früchte oder andere essbare Organe über das Xylem ist eine wesentlich realistischere Möglichkeit. Einwertige, radioaktive Cäsiumnuclide können dagegen kaum durch die Wurzeln in die Pflanze gelangen. Dafür können sie - von einer direkten Kontamination einmal abgesehen - leicht über die Blätter in Früchte oder andere essbare Pflanzenteile und damit in die menschliche Nahrungskette eindringen.

LITERATUR

Andersen A.J., 1967. Investigations on the plant uptake of fission products from contaminated soils :

I. Influence of plant species and soil types on the uptake of radioactive strontium and cesium. Risø Rep. No.170, Agric. Res. Dept., Danish Atomic Energy Comm. Res. Establ. Risø, Denmark.

Bukovac M.J., Wittwer S.H. and Tukey H.B., 1965. Aboveground Plant Parts as a Pathway for Entry of Fission Products into the Food Chain with Special Reference to Sr 89-90 and Cs-137. In : Radioactive Fallout, Soils, Plants, Food, Man (E.B. Fowler, Ed.), Elsevier, New York, p. 82.

Franke W., 1984. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. In : Foliar Fertilization 8 (A. Alexander, Ed.), Martinus Nijhoff Publishers, Dordrech, p. 17.

Rich C.I., 1968. Mineralogy of soil potassium. In : V.J. Kilmer, S.E. Younts, N.C. Brady (eds.) The role of potassium in agriculture American Society of Agronomy, Madison, p. 79.

Zehnder H.J., 1988. Radioaktivität in Früchten, Nüssen und verarbeiteten Produkten 1986/87. *Schweiz. Zeitschr. Obst- u. Weinbau* 124, 101 - 102.

Zehnder H.J., Kopp P., Oertli J.J. and Feller U. 1993. Uptake and transport of radioactive cesium and strontium into strawberries after leaf contamination. *Gartenbauwissenschaft* 58, 209 - 213.

Zehnder H.J., Kopp P., Eikenberg J., Feller U. and Oertli J.J. (1995) : Uptake and transport of radioactive cesium and strontium into grapevines after leaf contamination. *Radiat. Phys. Chem.* 46, 61 - 69.

RÉSUMÉ

Absorption de matières radioactives par les feuilles de fraises et de vignes

Le strontium radioactif sous forme d'une solution aqueuse de $^{85}\text{SrCl}_2$ a été absorbé par les feuilles de fraisiers et de vigne en quantités différentes. Seule une quantité limitée a été transportée des feuilles contaminées à d'autres organes de la

plante. Le strontium n'a cependant pas été retrouvé dans les fruits. Ces résultats montrent que le strontium bivalent n'est guère mobile dans les plantes. Au contraire, le césium radioactif appliqué sous forme d'une solution aqueuse de $^{134}\text{CsCl}$ a été absorbé très vite par la surface des feuilles. Le césium monovalent a été ensuite transporté dans d'autres organes de la plante et libéré partiellement dans le sol par les racines. Dans nos recherches, les fraises contenaient des quantités élevées de césium. Dans les raisins, ces quantités ont augmenté pendant la croissance puis diminué de nouveau à la maturation. Une partie du nuclide a été redistribuée par la suite à d'autres parties de la plante. Le césium, une fois arrivé au sol, peut interagir avec des particules de glaise, ce qui réduit sa disponibilité pour les plantes. Les premiers résultats des recherches avec des vignes en hydroculture ont montré une relation étroite entre l'approvisionnement de la plante en potassium et l'émission de césium. L'absorption du strontium radioactif par les feuilles des plantes est minime et ne représente qu'un risque négligeable pour le consommateur de fruits. En revanche, les nuclides de césium radioactif peuvent arriver dans la chaîne alimentaire humaine par l'intermédiaire des feuilles des plantes fruitières.

SUMMARY

Uptake of radioactive substances by the leaves of strawberry plants and grapevines

Radioactive strontium in the form of an aqueous solution of $^{85}\text{SrCl}_2$ was taken up by the leaves of strawberry plants and grapevines at different rates. Only a limited amount was transported from the contaminated leaves into other plant organs. However no strontium was found in the fruit. In contrast, radioactive cesium applied as an aqueous solution of $^{134}\text{CsCl}$ was taken up very quickly from the leaf surface, transported from there to other plant parts and released to some extent into the soil via the roots. In our investigations strawberry fruit showed a high cesium content. The cesium content in grape berries rose during growth and decreased again in a late phase of maturation and the nuclide was partly redistributed to other plant parts. Cesium reaching the soil may interact with clay particles resulting in a very limited availability for plants. First results of investigations with grapevines in hydroculture demonstrated a close relationship between potassium supply and cesium release. The foliar uptake of radioactive strontium into plants is minor and represents therefore a negligible risk for the consumer of fruits. Radioactive cesium nuclides may however reach the human food chain through the leaves of food plants.

KEY WORDS: radioactivity, $^{134}\text{cesium}$, $^{85}\text{strontium}$, strawberry plants, grapevines, leaves, fruit, soil

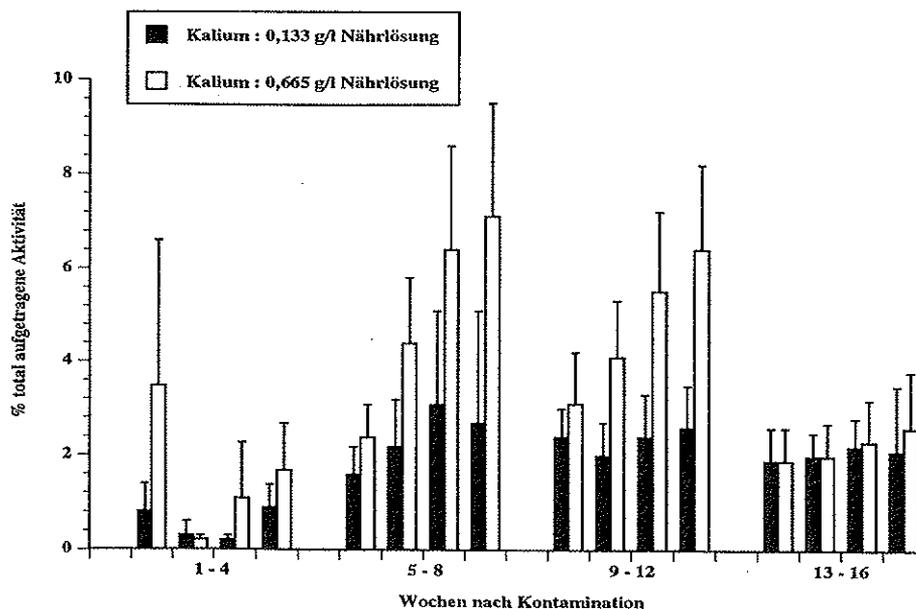


Abb. 4. Abgabe von radioaktivem Cäsium an die Nährlösung von Reben in Hydrokultur.