

Umwelt

Kaliumversorgung und Abgabe von Radiocäsium bei Reben¹

Hansjürg Zehnder, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), CH-8820 Wädenswil

Peter Kopp* und Thomas Riesen, Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen-PSI, *zurückgetreten, aktuelle Adresse: Etzlibergstr. 39, CH-8800 Thalwil

Urs Feller, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Bern, CH-3013 Bern

Auskünfte: Hansjürg Zehnder, e-mail: hansjuerg.zehnder@faw.admin.ch, Fax +41 (0)1 780 63 41, Tel. +41 (0)1 783 63 51

Während zehn Jahren wurden nach dem Reaktor-Unfall von Tschernobyl im Jahr 1986 Versuche zum besseren Verständnis der Aufnahme der radioaktiven Isotope Cäsium-134 und Strontium-85 durch die Blätter von Pflanzen, deren Verteilung in den Pflanzen sowie der Abgabe an den Boden durchgeführt. Untersuchungen an Erdbeeren und Reben haben gezeigt, dass Strontium schlecht von den Blättern aufgenommen und in den Pflanzen praktisch nicht transportiert wird. Im Gegensatz dazu wird Cäsium von den Blättern schnell aufgenommen, in der ganzen Pflanze verteilt und teilweise durch die Wurzeln wieder ausgeschieden. Die Höhe dieser Abgabe wird durch die Kaliumversorgung der Pflanzen beeinflusst.

In früheren Untersuchungen wurde in der Erde von eingetopften Reben, welche ¹³⁴Cäsium durch die Blätter aufgenommen hatten,

eine erhöhte Cäsium-Aktivität festgestellt. Dabei war nicht ganz klar, ob diese Aktivität aus in der Erde zurückgebliebenen Feinwurzeln stammte oder ob die Pflanzen radioaktives Cäsium durch die Wurzeln an den Boden abgegeben hatten. Versuche mit Reben, welche in einem besonders gesicherten Gewächshaus (siehe Zehnder *et al.* 1993, 1995, 1996) in Hydrokultur gezogen und mit unterschiedlichen Kaliummengen versorgt wurden, sollten diese Frage klären.

Reben in Hydrokultur

Zweijährige Reben der Sorte «Müller-Thurgau» wurden in

Glaszylindern mit einem Durchmesser von 14 cm und einer Höhe von 29 cm, gefüllt mit 4 Litern Nährlösung, kultiviert (Abb. 1). Die Wurzeln der Reben hat man während der ganzen Kulturzeit mit gereinigter Pressluft belüftet. Um eine Kontamination der Nährlösung mit radioaktivem Cäsium zu verhindern, das von Pflanzenteilen über der Flüssigkeitsoberfläche stammte, wurden die Glasbehälter mit Aluminiumfolie abgedeckt, welche nur eine enge Öffnung für den Pflanzstamm und den Belüftungsschlauch aufwies. Die Nährlösung wurde in Abständen von vier Wochen ersetzt. Jede Woche wurde der pH-Wert der Nährlösung geprüft und gegebenenfalls mittels verdünnter Zitronensäurelösung auf einen Wert zwischen 5 und 6 eingestellt. Vorversuche zur Erprobung der Versuchsbedingungen zeigten die Notwendigkeit einer Zugabe von Eisen in Form von Fe-EDDHA (Sequestren) zur Nährlösung, um die Entstehung von Chlorose bei den Reben zu verhindern.

Künstliche Kontamination

Im Frühling wurden die Reben auf zwei Triebe mit je fünf Augen zurückgeschnitten. Später wurden alle Schosse, bis auf einen pro Trieb, ausgebrochen. Das erste entwickelte Blatt an jedem Schoss (50 - 80 cm²) wurde mit 100 µl ¹³⁴CsCl-Lösung



Abb. 1. Reben in Hydrokultur im Gewächshaus.

¹Die Originalversion dieser Arbeit wurde englisch unter dem Titel «Distribution of Radiocesium in Grape Vines Plants after Foliar Contamination: Effect of Potassium Supply on the Release from the Roots» in der *Gartenbauwissenschaft* 64, 247-252, 1999, publiziert.

kontaminiert. Die mittels einer Mikrospritze aufgetragenen 20 bis 25 kleinen Tröpfchen trockneten innerhalb von 2 bis 3 Stunden ein. Die applizierte Aktivität betrug 50'000 Becquerel pro Pflanze. Die sich unterhalb des kontaminierten Blattes entwickelnden Blätter und Triebe wurden entfernt. Pestizide hat man im weiteren Verlauf des Experimentes nur wenn nötig eingesetzt. Manchmal war es erforderlich, Sequestren (0,5 % in Wasser) direkt auf die Rebenblätter zu applizieren, um die Entstehung von Chlorose zu vermeiden. Bei allen Behandlungen wurden die kontaminierten Blätter gegen Spritzstaub abgedeckt.

Unterschiedliche Kaliumversorgung

Im Versuch wurden zwei Pflanzengruppen mit je sechs kontaminierten Reben miteinander verglichen, welche in Nährlösung, die Kalium im Überschuss beziehungsweise im Mangel enthielt, (Tab. 1), gezogen wurden. Die Versuche hat man 1994 und 1996 durchgeführt. 1995 waren die bereitgestellten Reben bei einem Spätfrost erfroren.

Analysen

Jede Woche wurde jedem Glaszylinder 60 ml Nährlösung zur Analyse entnommen. 50 ml hat man zur Messung der Cäsium-Aktivität benutzt, 10 ml zur Bestimmung des Kalium-Gehaltes. Bei beginnendem Blattfall, fünf Monate nach Versuchsbeginn, wurden bei zwei Pflanzen jeder Gruppe die kontaminierten Blätter entfernt. Sie wurden mit 50 ml 0,1 N HCl gewaschen und anschliessend bei 80°C getrocknet. Die restlichen Pflanzenteile hat man zerkleinert und ebenfalls getrocknet. Die Cäsium-Aktivität der Nährlösungsproben, der Waschflüssigkeiten, der gewaschenen Blätter sowie der restlichen Pflanzenteile wurden am Paul Scherrer Institut (PSI) in Würenlingen bestimmt (Metho-

Tab. 1. Zusammensetzung der Nährlösungen

Lösung 1: tiefer Kaliumgehalt

KCl	0,221 g/l
Mg.SO ₄ .7H ₂ O	0,074 g/l
HNO ₃	0,152 g/l
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	0,441 g/l
KH ₂ PO ₄	0,058 g/l
Spuren-Flory® (Hauert, Grossaffoltern, Schweiz)	0,059 g/l
Sequestren® (Novartis, Basel, Schweiz)	0,040 g/l
H ₂ O dest.	
pH der Lösung	6,5
Kaliumgehalt = 132,6mg/l = 3,4 mM	

Lösung 2: hoher Kaliumgehalt

Obige Lösung ergänzt mit 1006,7 mg KCl /l
Kaliumgehalt = 661 mg/l = 17 mM

de in Zehnder *et al.* 1995). Wegen der relativ kurzen Halbwertszeit von ¹³⁴Cäsium (2 Jahre) sind alle Werte auf das Applikationsdatum normiert worden, was einen direkten Vergleich der Messwerte erlaubte.

Die Kalium-Konzentration in den Nährlösungsproben wurde mit Hilfe eines Atomabsorptions-Spektrometers (Unicam) bestimmt (Oettli, pers. Mitteilung).

Ausscheidung durch die Wurzeln

Die vorliegenden Resultate der Cäsium-Aktivitätsmessungen in den Nährlösungen zeigen, dass bei kontaminierten Reben eine Abgabe von Cäsium durch die Wurzel an die Nährlösung erfolgt (Abb. 2). Nur geringe Anteile der gemessenen Cäsium-Aktivität dürften aus abgefallenen Wurzelteilen stammen. Interessant ist, dass 1994 die Cäsi-

Abb. 2. Gehalt an Radiocäsium in der Nährlösung von blattkontaminierten Reben in Hydrokultur (Experimente 1994 und 1996). Mittelwerte und Standardabweichung von 6 Wiederholungen. Die Nährlösung wurde in Intervallen von 4 Wochen erneuert.

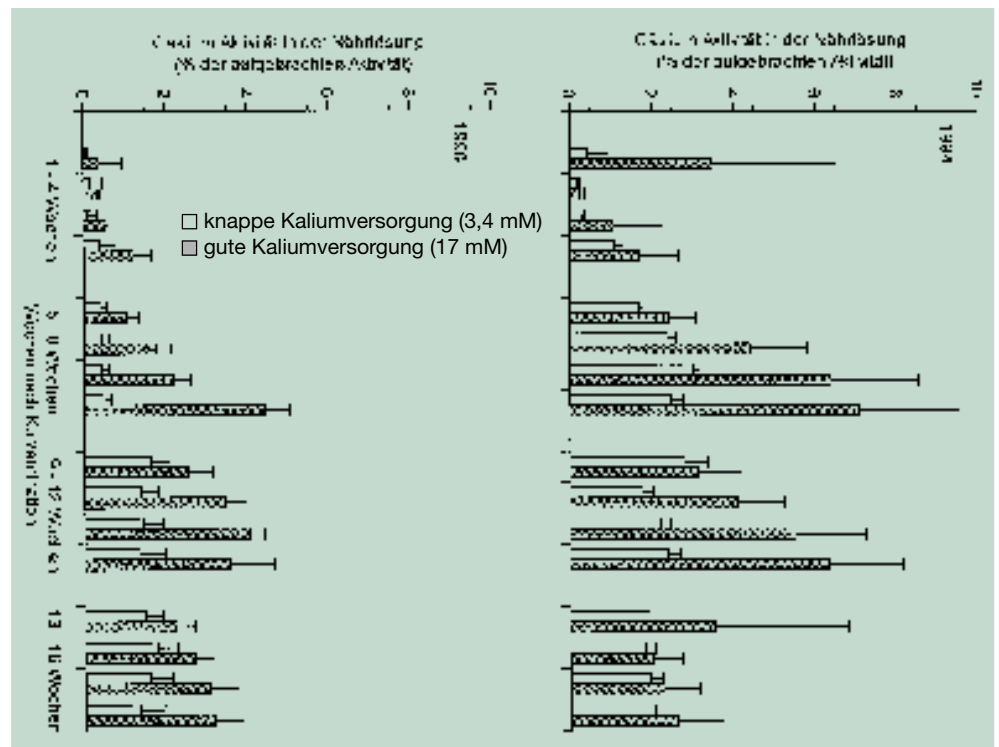


Abb. 3. Wöchentliche Abgabe von Radiocäsium von blattkontaminierten Reben in Hydrokultur in die Nährlösung (Experiment 1996). Mittelwerte und Standardabweichung von 6 Wiederholungen. Die Nährlösung wurde in Intervallen von 4 Wochen erneuert.

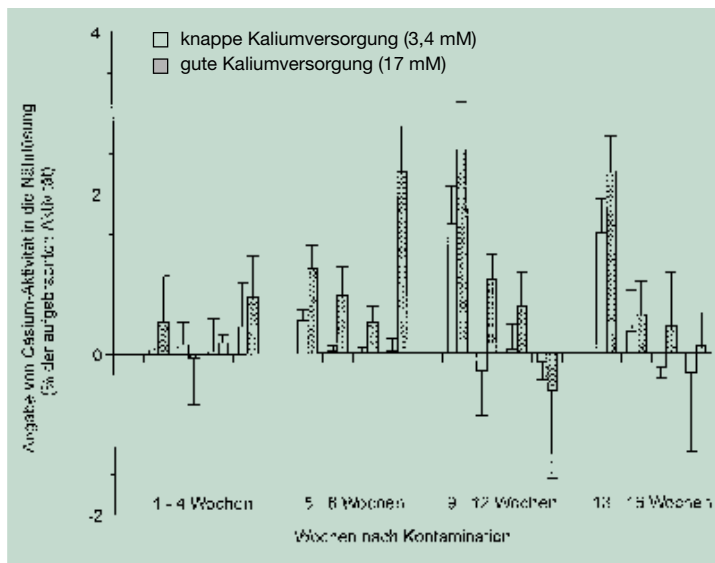


Abb. 4. Aufnahme von Kalium durch Reben in Hydrokultur aus der Nährlösung (Experiment 1996). Mittelwerte und Standardabweichung von 6 Wiederholungen. Die Nährlösung wurde in Intervallen von 4 Wochen erneuert.

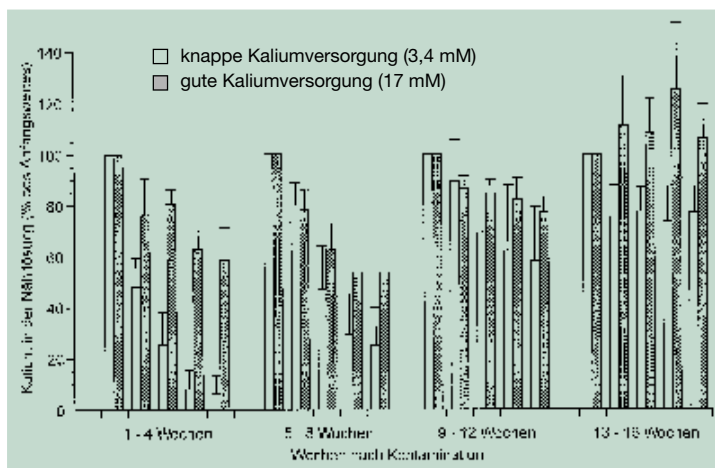
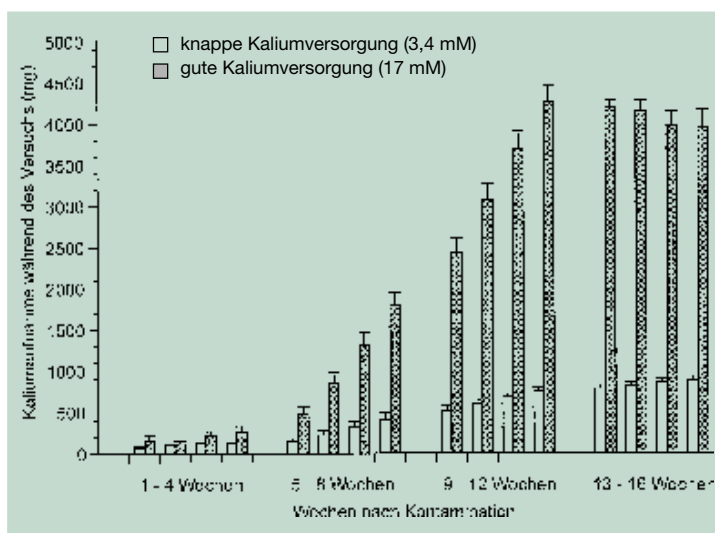


Abb. 5. Kumulierte absolute Kaliumaufnahme von Reben in Hydrokultur aus der Nährlösung (Experiment 1996). Mittelwerte und Standardabweichung von 6 Wiederholungen. Die Nährlösung wurde in Intervallen von 4 Wochen erneuert.



um-Abgabe grösser war als 1996. Dies hängt möglicherweise mit unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten während des Sommers zusammen. Der Kurvenverlauf der Cäsiumabgabe ist in beiden Jahren jedoch ähnlich.

Es ist bekannt, dass sich Cäsium im Boden an Tonteilchen bindet und damit nur äusserst beschränkt pflanzenverfügbar ist (Andersen 1967; Rocca *et al.* 1989; Schaller *et al.* 1990; Antonopoulos-Domis *et al.* 1991; Wagner und Diehl 1991; Beckmann und Faas 1992; Zehnder *et al.* 1995). In Hydrokultur ist dies nicht der Fall. In die Nährlösung ausgeschiedenes Cäsium kann von der Pflanze durch die Wurzel erneut aufgenommen, über das Xylem in die Triebe transportiert und via das Phloem wieder in der ganzen Pflanze verteilt werden. Egli (1996) hatte bei Untersuchungen an Kartoffeln gezeigt, dass ein Transfer von Cäsium vom Xylem ins Phloem möglich ist.

Abbildung 3 zeigt, dass die im Überfluss mit Kalium versorgten Reben mehr Cäsium in die Nährlösung abgeben, als die mangelhaft versorgten Pflanzen. Gleichzeitig mit der Abgabe von Cäsium fand aber auch eine Aufnahme statt. In der zweiten Hälfte der Versuchsperiode konnte die Aufnahme sogar grösser sein als die Abgabe. Dies war am deutlichsten bei den mangelhaft mit Kalium versorgten Reben. Die Elemente Cäsium und Kalium sind sich chemisch sehr ähnlich und Cäsium kann unter bestimmten Bedingungen Kalium in Pflanzen ersetzen. In der ersten Hälfte der Versuchsperiode war die Aufnahme von Kalium durch die Pflanzen am grössten (Abb. 4). Gegen Ende der Versuchsperiode schieden die gut mit Kalium versorgten Reben jedoch mehr Kalium aus, als sie aufnahmen. Über den ganzen

Verlauf des Experiments gesehen, nahmen die im Überfluss mit Kalium versorgten Reben mehr Kalium auf als die unterversorgten Reben (Abb. 5).

Kaliumdüngung als Gegenmittel?

Als Massnahme gegen die Akkumulation von Radiocäsium in Pflanzen nach einem radioaktiven Fall-out wird von verschiedenen Autoren eine Kaliumdüngung empfohlen. Shaw (1993) stellte fest, dass eine Düngung als Gegenmassnahme in nährstoffarmen Böden Erfolg haben kann. Diese These wurde durch Robison und Stone (1992) durch praktische Experimente mit Kokospalmen in den nährstoffarmen Korallensandböden des Bikini-Atolls bestätigt. Unsere Versuche mit Reben in Hydrokultur zeigen ähnliche Resultate wie die oben zitierten Untersuchungen. Korallensandböden haben wie Wasser kein Festhaltevermögen für Cäsium. Im Gegensatz zu unseren Versuchen, welche in einem geschlossenen System durchgeführt wurden, gelangte das von den Kokospalmen wegen der Überdüngung mit Kalium ausgeschiedene Radiocäsium ins Meerwasser und ist dort für die Palmen nicht mehr relevant. Die Cäsium-Aktivität in den Palmen nimmt entsprechend ab. Bei unseren Versuchen konnte das Cäsium von den Reben wieder aufgenommen werden. Der Cäsiumgehalt in den Reben nahm daher nicht ab.

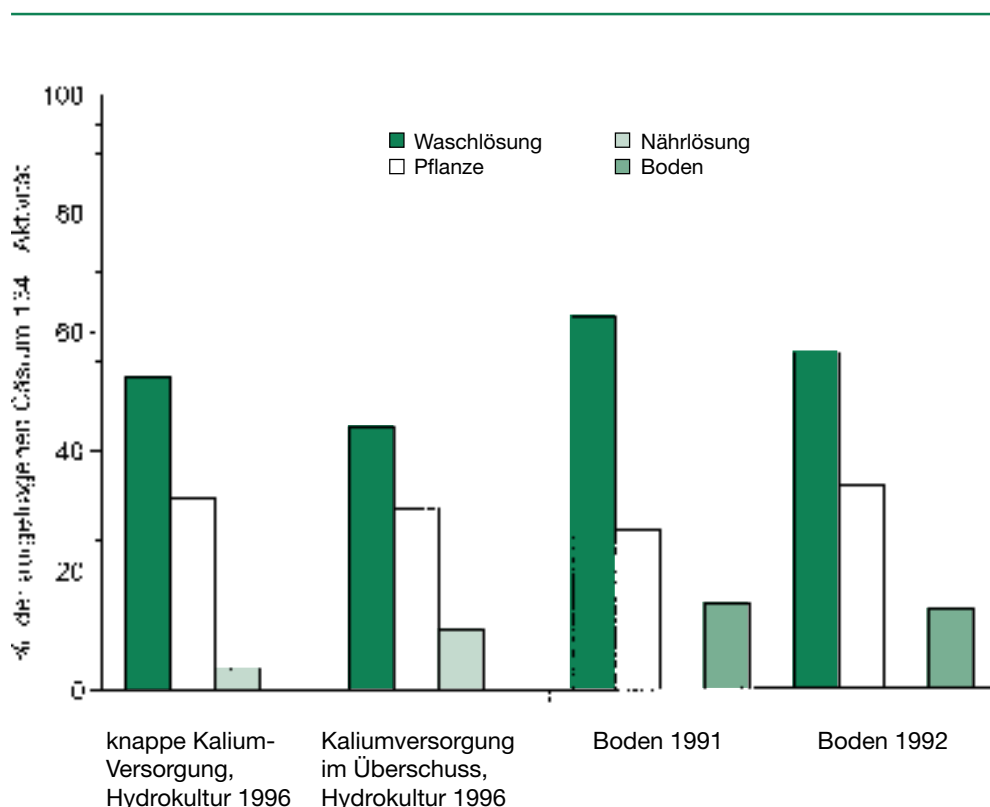
Der Hauptpfad der Aufnahme von Radiocäsium in Pflanzen ist zweifellos die Aufnahme durch die Blätter. Es wäre interessant, wenn eine Kaliumdüngung zur raschen Dekontamination von Pflanzen, welche radioaktives Cäsium aufgenommen haben, beitragen könnte. Da einmal ausgeschiedenes Radiocäsium in mittelschweren, lehmhaltigen Böden, wie sie in der Schweiz meist zu finden sind, fixiert wird

und deshalb kaum mehr pflanzenverfügbar ist, wäre damit ein Einschleusen dieses unerwünschten Stoffes in die menschliche Nahrungskette vorerst unterbunden. Vergleiche mit früheren Untersuchungen (Zehnder *et al.* 1995) an eingetopften Reben - sandiger Lehm mit wenig Torf - bestätigten diese Erwartungen jedoch nicht: Der Radiocäsiumgehalt von Reben, welche sich auf einer Nährlösung mit hohem Kaliumgehalt entwickelten, war am Ende der Vegetationsperiode kaum tiefer als in Reben, welche auf Erde oder Nährlösung mit einem wesentlich tieferen Kaliumgehalt gezogen wurden (Abb. 6). Aus diesem Vergleich muss geschlossen werden, dass eine intensive Kaliumdüngung von mit Radiocäsium kontaminierten Reben, welche auf mittelschweren, lehmhaltigen Böden wachsen, kein wirksames Mittel für eine rasche Dekontamination dieser Pflanzen ist.

Literatur

- Andersen A.J., 1967. Investigations on the plant uptake of fission products from contaminated soils : 1. 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.
- Antonopoulos-Domis M., Clouvas A., and Gagianas A., 1991. Radiocesium dynamics in fruit trees following the Chernobyl accident. *Health-Physics* **61**, 837.
- Beckmann C. and Faas C., 1992. Radioactive contamination of soils in lower Saxony, Germany, after the Chernobyl accident. *Analyst* **117**, 525.
- Egli J., 1996: Aufnahme und Transport von ¹³⁴Cs+ in *Solanum tuberosum* L. nach der Kontamination von Blättern. Dissertation ETH No. 11768, Zürich.
- Robison W.L. and Stone E.L., 1992. The effect of potassium on the uptake of ¹³⁷cesium in food

Abb. 6. Einfluss der Kaliumversorgung auf die Cäsium-134-Aktivität in Reben, Waschlösung, Nährlösung und Boden 16 Wochen nach Blattkontamination (Experimente 1996 in Hydrokultur und 1991, 1992 in Boden). Mittelwerte von 2 Wiederholungen.



crops grown on coral soils : coconut at bikini atoll. *Health-Physics* **62**, 496-511.

■ Rocca V., Napolitano M., Spezzano P.R. and Gialanella G., 1989. Analysis of radioactivity levels in soils and crops from the Campania region (South Italy) after the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioactivity* **9**, 117.

■ Shaw G., 1993. Blockade by fertilisers of caesium and strontium uptake into crops: Effects on the root uptake process. *Science of the Total Environment* **137**, 119-133.

■ Schaller G., Leising C., Krestel R. und Wirth E., 1990. Cäsium- und Kalium-Aufnahme durch Pflanzen aus Böden. *ISH-Bericht-146/90*,

Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, D-8042 Neuherberg, Nov. 1990.

■ Wagner A. und Diehl J.F., 1991. Zur Radioökologie der Weinrebe: Teil 2. Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl auf Radioaktivität in Boden, Blättern, Trauben, Wein. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **192**, 339.

■ 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.

■ Zehnder H.J., Kopp P., Eikenberg J., Feller U. and Oertli J.J., 1995. Uptake and transport of radio-

active cesium and strontium into grape vines after leaf contamination. *Radiat. Phys. Chem.* **46**, 61 - 69.

■ Zehnder, H.-J., Kopp P., Eikenberg J., Feller U. and Oertli J.J. 1996. Uptake and transport of radioactive cesium and strontium into strawberry plants and grape vines after leaf contamination. Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident, Proc. Int. Symp. on Radioecology, 22nd - 24th April, Vienna, in Heft 53 der Oesterr. bodenk. Ges., 155-162.

RÉSUMÉ

Influence du potassium sur la sécrétion du césium radioactif par les racines de la vigne

L'absorption foliaire de césium radioactif (^{134}Cs) ainsi que la répartition de ce nucléide à l'intérieur des ceps constituent l'objet de cette étude. Les tests ont été exécutés en serre et les plantes cultivées en hydroculture, dans des conditions définies. On a procédé à l'application de césium radioactif sur les feuilles sous la forme d'un chlorure. On a contrôlé ensuite la composition des feuilles et du milieu nutritif pendant toute une période de végétation. Le césium radioactif est très facilement absorbé par la surface de la feuille, transporté dans toutes les parties de la plante et en partie rejeté par les racines dans le milieu nutritif.

Ces rejets ont fait l'objet d'une étude plus détaillée. Les rejets en césium radioactif dans la solution nutritive varient en fonction de l'approvisionnement de la plante en potassium. Plus le milieu nutritif est riche en potassium, plus les plantes cultivées rejettent de césium radioactif. Malgré cela, à la fin de la saison, le taux de césium radioactif des plants de vigne ayant poussé dans une solution nutritive riche en potassium n'étaient pas nettement plus bas que celui des plants ayant poussé au sol ou dans une solution nutritive pauvre en potassium.

En conclusion, l'apport de potassium ne s'avère pas une méthode efficace pour la décontamination plus rapide des plants de vigne dont les feuilles ont été contaminées par du césium radioactif, cela dans des conditions semblables à celles de cette expérience.

SUMMARY

Influence of potassium supply on the release radiocesium from the roots of vine plants

The foliar uptake of radioactive cesium (^{134}Cs) by selected leaves of grape vine plants and the subsequent redistribution within the plants was examined under controlled conditions in a greenhouse. The radionuclide was applied as chloride. The plants were grown in glass containers with nutrient solution. Samples of plants and nutrient media were analysed throughout the growing season. Radiocesium was easily taken up through the leaf surface, transported to other plant parts and to some extent released from the roots into the growing medium. In the present study, this release was investigated in more detail. Whereas cesium reaching the soil may be bound to clay particles causing clearly reduced availability for plants, radiocesium released from the plants into a nutrient solution may be taken up again by the roots, and transported within the plants. An increased supply of potassium caused a higher release of radiocesium into the nutrient solution. From these results it becomes evident that a considerable percentage of radiocesium applied on the leaf surface may be released into the rooting medium and that this may depend on the potassium availability. Well supplied grape vine plants released more radiocesium than poorly supplied plants. However the radiocesium activity of grape vine plants grown in a nutrient solution with a high potassium content compared with that of plants grown in soil or in nutrient solution with a lower potassium content was at the end of the vegetation period not considerably lower. Therefore, a potassium fertilisation is not very effective in causing a faster decontamination of the plants on the soil used.

Key words: vine plants, hydroculture, radioactivity, ^{134}Cs , potassium supply, decontamination