



Radioagronomie: zum Schutz von Mensch und Umwelt

Artur J. DRESSLER, Paul Scherrer Institut (PSI), Abteilung Strahlenhygiene, CH-5232 Villigen PSI
 Horst MATZKE, Eric Schweizer Samen AG, Labor für Bodenanalytik und Umwelttechnik, CH-3600 Thun

Um Mensch und Umwelt im Falle eines nuklearen Ereignisses zu schützen, führt das Paul Scherrer Institut radioagronomische Forschungsprojekte durch. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Ausarbeitung eines praktikablen Schutzmassnahmenkatalogs sowie auf die Überprüfung, Ergänzung und Verbesserung eines Computermodells, um das Strahlenrisiko abzuschätzen. Im folgenden wird die Forschung aus dem Bereich Pflanzenproduktion vorgestellt.

Der Reaktorunfall am 26. April 1986 im ukrainischen Kernkraftwerk Tschernobyl hat die Wirklichkeit einer nuklearen Katastrophe weltweit drastisch vor Augen geführt. Auch die Schweiz hat ein nukleares Ereignis erlebt. 1969 kam es in dem in eine Felskaverne gebauten Versuchskraftwerk Lucens zu einem Unfall, der von Prof. A. Gardel, dem Präsidenten der Nationalen Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik, als „ein Unfall der schlimmsten bisher im Westen bekannt gewordenen Art“ bewertet wurde (Tages-Anzeiger vom 24.6.1989). Eingedenk auch der Ereignisse von Winscale und Harrisburg ist es nicht verwunderlich, dass in der Bevölkerung Ängste verschiedener Ausprägung vorhanden sind. Jüngste Massnahmen des Bundes zu deren Abbau und zur verstärkten Vertrauensbildung sind die Nachrüstungen der Kernkraftwerke, die Einsatzverpflichtung bestimmter Berufs- und Personengruppen im Fall erhöhter Radioaktivität und der Bau geschützter Notfallräume auf dem Gelände des Paul Scherrer Instituts (PSI). Eine wichtige Rolle spielt auch die radioagronomische Forschung am PSI. Das Paul Scherrer Institut ist per 1.1.1988 aus dem Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen und dem Schweizerischen Institut für Nuklearforschung (SIN) in Villigen hervorgegangen und gilt als das Schweizer Zentrum für Kernenergieforschung (Kröger und Jermann 1992). Eng verbunden mit dieser Forschung ist der Strahlenschutz, dem auch die Radioagronomie zuzuordnen ist. Im folgenden werden einige Forschungsaktivitäten aus dem Bereich Pflanzenproduktion näher besprochen.

Kleesamen sind belastbarer als Grassamen

Um die Wirkung relativ hoher radioaktiver Strahlung auf Gras- und Kleesamen zu testen, wurden aus dem Sortiment der Eric Schweizer Samen AG 35 Sorten

mittels Kobalt-60 bestrahlt und Keimtests durchgeführt (Abb. 1). Bei den Grassamen zeigte Italienisches Raigras die geringste Strahlenempfindlichkeit (Tab. 1); die Kleesamen wiesen im Vergleich zu den Grassamen eine deutlich höhere Strahlenbelastbarkeit auf (Tab. 2). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Sparrow *et al.* (1971). Hintergrund der Versuche sind Überlegungen zur Veränderung der Produktions- und Anbaustruktur im Fall einer radioaktiven Kontamination der landwirtschaftlichen Nutzfläche. So ist, wenn bestimmte Toleranz- oder Grenzwerte in Lebensmitteln

Tab. 1. Keimfähigkeit von Grassamen nach Kobalt-60-Bestrahlung

Art/Sorte	Keimfähigkeit (%)			
	Energiedosis (Gy)			
	0	438	547,5	657
<i>Knäuelgras (Dactylis glomerata)</i>				
- Baraula	81	2	2	1
- Floreal	79	4	2	1
- Loke	84	4	5	2
- Oberweihst	83	0	0	0
<i>Rohrschwengel (Festuca arundinacea)</i>				
- Festorina	98	0	0	0
<i>Rotschwengel (Festuca rubra)</i>				
- Echo	86	4	2	1
- Szarvasi-58	84	0	0	0
<i>Englisches Raigras (Lolium perenne)</i>				
- Baranna	69	0	0	0
- Bastion (4n)	83	1	1	0
- Condesa (4n)	84	0	0	0
- Talbot	90	0	0	0
<i>Italienisches Raigras (Lolium multiflorum var. italicum)</i>				
- Axis	82	10	7	5
- Fedo (Defo) (4n)	87	34	28	19
- Lipo (4n)	87	39	25	19
<i>Westerwoldisches Raigras (Lolium multiflorum var. westerwoldicum)</i>	88	13	14	5
<i>Timothe (Phleum pratense)</i>				
- Rasani	89	0	2	1
- Tiller	92	2	4	1
<i>Wiesenschwengel (Festuca pratensis)</i>				
- Leopard	77	0	0	0
- Prefest	74	0	0	0
<i>Wiesenfuchsschwanz (Alopecurus pratensis)</i>				
- Alko	40	0	0	0
- Alko Mantelsaat	60	0	0	0
<i>Wiesenrispengras (Poa pratensis)</i>				
- Jori	65	0	0	0
- Monopoly	48	0	0	0

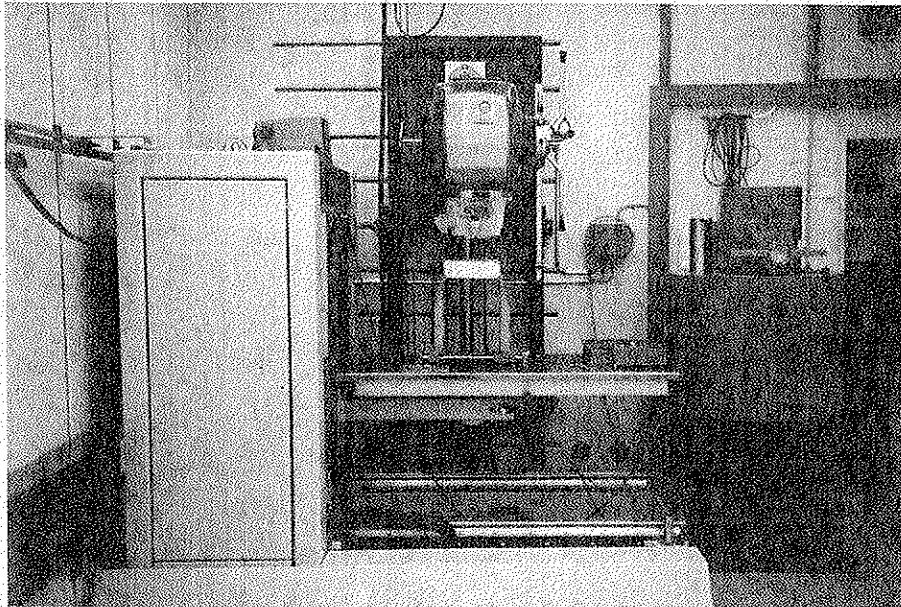


Abb. 1. Bestrahlungsanlage mit Kobalt-60-Quelle am Paul Scherrer Institut.

Mehrere am PSI unter kontrollierten Bedingungen durchgeführte Pflanzenversuche befassten sich mit diesen Wechselbeziehungen. Als Versuchspflanzen dienten Kartoffel, Mais und Tomate; variiert wurden unter anderem die Kalzium-, Kalium- und Phosphor-Konzentration der Bodenlösung sowie die Art und die Aktivität der in gelöster Form auf die Blattoberflächen aufgegebenen Radionuklide. Ferner wurde das Verhalten von Cäsium und Strontium in der Rhizosphäre von Englischem Raigras näher untersucht, da Gras, Heu und Emd über den Pfad Gras-Kuh-Milch-Mensch eine wichtige Rolle für die innere Strahlenbelastung spielen können. Für Cäsium konnten die für Kalium typischen Verarmungsprofile um die Wurzeln nachgewiesen werden.

überschritten werden, statt des Anbaus von Nahrungspflanzen beispielsweise ein Wechsel zum Anbau mehrjähriger Futterpflanzen zur Samengewinnung sinnvoll. Oder es kann eine Aussaat von Gräsern und Klee zur Verhinderung der Erosion von radionuklidbehafteten Bodenteilchen angebracht sein. Um mit den Massnahmen überhaupt einen Anfangserfolg zu erzielen, ist es zweckmässig, die Keimfähigkeit der Samen unter radioaktiven Umweltbedingungen zu kennen.

Wechselwirkungen untersuchen

Die Aufnahme von Radionukliden nach einem nuklearen Ereignis hängt von vielen Faktoren ab. Zu nennen sind Klima, Boden, Landwirtschaft und die Pflanze selbst. So wiesen 1986, bedingt durch den Unfall in Tschernobyl, insbesondere Nüsse und Beeren eine relativ hohe Radioaktivität auf, und bis heute werden erhöhte Cäsium-Werte bei bestimmten Pilzen wie Zigeunerpilzen und Maronenröhrlingen festgestellt. Auch der Art des Radionuklids und dem Zeitpunkt der Kontamination kommt Bedeutung zu (Abb. 2). Durch agrilkulturchemische Massnahmen wie gezielte Düngung, Kalkung oder Einsatz von Tonmineralen lässt sich auf den Übergang der Radionuklide vom Boden in die Pflanze Einfluss ausüben (Aleksakhin 1991). Der Nährstoffstatus des Bodens kann auch die Aufnahme über das Blatt beeinflussen.

Tab. 2. Keimfähigkeit von Kleesamen nach Kobalt-60-Bestrahlung

Art/Sorte	Keimfähigkeit (%)			
	Energiedosis (Gy)			
	0	438	547,5	657
<i>Luzerne (Medicago sativa)</i>				
- Alize	96	96	93	93
- Kara	82	78	76	78
<i>Rotklee (Trifolium pratense)</i>				
- Kuhn Orginal	92	90	83	87
- Marino	88	80	82	80
- Renova	96	92	92	95
- Rüttinova	90	91	91	91
- Jubilatka (4n)	84	73	74	77
- Rotra (4n)	91	78	81	77
- Temara (4n)	78	77	70	66
<i>Weissklee (Trifolium repens)</i>				
- Alban	97	94	96	95
- Milkanova	93	93	91	92
- Sonja	88	88	85	83

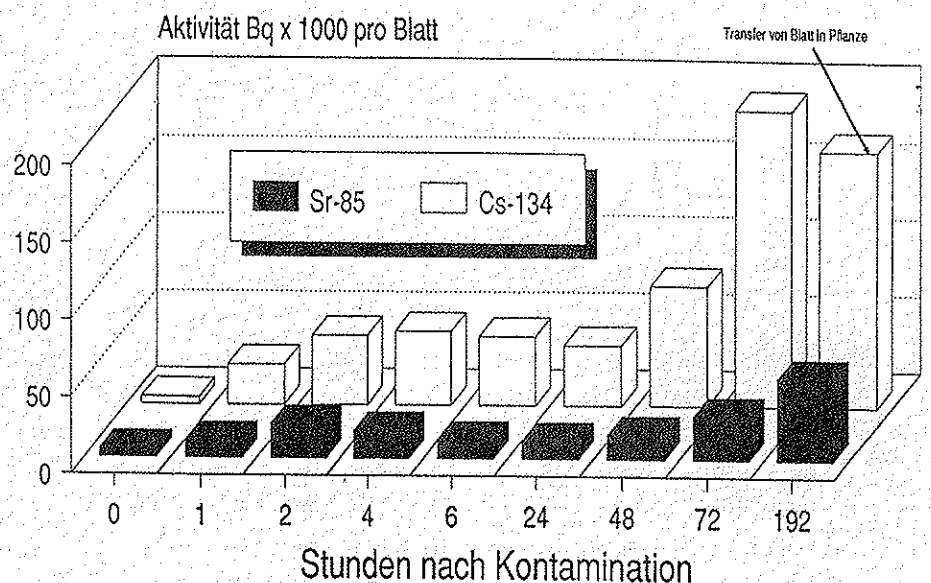


Abb. 2. Aufnahme von Cäsium (Cs) und Strontium (Sr) in Kartoffelblätter (Görlich et al.).

Bedeckungsgrad (%)

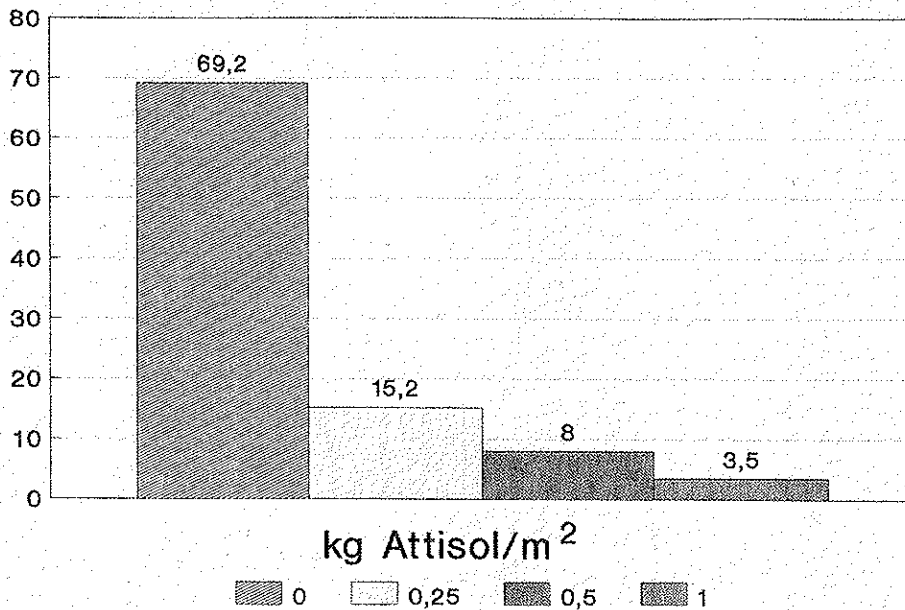


Abb. 3. Auflaufen zweikeimblättriger Pflanzen nach Attisol (Kalziumligninsulfonat)-Anwendung.

Versuche an Reben und Wein

Im Kanton Aargau, in dem neben dem PSI drei der fünf Schweizer Kernkraftwerke lokalisiert sind und in dem das Zentrale Zwischenlager für radioaktive Abfälle geplant ist, gibt es etwa 1000 Rebbaunern mit ca. 350 ha Rebland. So kommt es nicht von ungefähr, dass sich das Paul Scherrer Institut auch an Versuchen mit Reben beteiligt. Es gilt bei dieser Pflanze deutlich zu unterscheiden zwischen dem Radionuklidgehalt in den Weinreben und im Wein selbst, da durch geeignete Ausbauverfahren die radioaktive Kontamination vermindert werden kann. Wie Versuche am Institut für Radioagronomie des Forschungszentrums Jülich in Deutschland gezeigt haben, lässt sich im Wein der Strontiumgehalt insbesondere durch Entsäuerung und der Cäsium- sowie Kobaltgehalt durch Blauschönung senken (Förstel und Steffens 1993). Um Informationen über die Aufnahme von Radionukliden über die Reblätter und den Weitertransport in die Trauben zu gewinnen, wurden in einem Gewächshaus der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wädenswil (FAW) über mehrere Jahre hinweg auf Reblättern der Sorte Riesling x Sylvaner (Müller-Thurgau) Cäsium und Strontium mittels Mikropipette aufgegeben und die Verteilung in der Pflanze verfolgt. Ungefähr 15 % des Cäsiums wurde in den reifen Trauben

wiedergefunden (Kopp und Zehnder 1992).

Freilandversuche mit Klärschlamm

Um die Aufnahme von Radionukliden aus Klärschlamm zu untersuchen, wurde Klärschlamm städtischer Herkunft, der durch den Unfall in Tschernobyl hoch mit Radionukliden angereichert war, im Freiland auf einer Fläche von 2000 m² ca. 20 cm tief ausgebracht. Nach der Ernte der auf ihm ausgesäten gärtnerischen und landwirtschaftlichen Pflanzen wurden Übergänge der Radionuklide vom Boden in die Pflanzen, sprich Transferfaktoren, bestimmt. Das Cäsium im Klärschlamm erwies sich als nicht besser pflanzenverfügbar als im normalem Boden. Offensichtlich war das Radionuklid mehr oder weniger fest an die mineralischen Partikel des Klärschlammes gebunden (Kopp, persönliche Mitteilung). Die Transferfaktoren für Cäsium-134 und Cäsium-137 unterschieden sich nicht.

Staubbindung verhindert weitere Verbreitung

Die biologische und chemische Fixierung von radionuklidbehafteten Bodenpartikeln trägt dazu bei, dass ihre Ausbreitung

auf unkontaminierte Bereiche und ihre Einatmung gemindert oder verhindert wird. Hinsichtlich Relevanz sei nur auf die Bearbeitung einer abgetrockneten Ackerfläche und den dabei entstehenden Staub hingewiesen. Getestet wurde Kalziumligninsulfonat (Attisol 10 Pulver, Cellulose Attisholz AG, Luterbach). Bekannt geworden ist diese Substanz in früheren Jahren durch die Anwendung zur Bindung von Strassenstaub. Die Versuche wurden vom Labor für Bodenanalytik und Umwelttechnik analytisch betreut. Wie erwartet, versiegelte eine 5 - 10 %ige Kalziumligninsulfonat-Lösung quasi den Boden. Mit zunehmender Konzentration waren weniger Pflanzen in der Lage, die Bodenoberfläche zu durchdringen (Abb. 3; Dressler und Matzke 1994). Wegen der guten Löslichkeit in Wasser scheint, um einen wirkungsvollen Schutz zu erreichen, eine mehrmalige Ausbringung der Substanz angebracht, insbesondere dann, wenn anhaltende Niederschläge nach der Attisol-Anwendung einsetzen und die Kruste auflösen. Allgemein ist Ligninsulfonat als Fixativ aufgrund seiner biologischen Abbaubarkeit und Nichttoxizität Bitumen oder Öl vorzuziehen. Ergänzend zu den Versuchen in der Schweiz wurden in der Nähe von Tschernobyl mit Unterstützung der Schweizer Katastrophenhilfe Versuche zur Aufwirbelung von Bodenpartikeln durchgeführt (Hinton *et al.* 1993).

Simulationsmodelle als wertvolle Hilfe

Im Fall eines nuklearen Ereignisses interessieren möglichst schnell die zu erwartenden Strahlenbelastungen und die Erfolgsaussichten bestimmter Massnahmen. Simulationsmodelle können hierzu wertvolle Hilfestellungen leisten. Das in Deutschland entwickelte Computerprogramm ECOSYS (Müller und Pröhl 1988) ist Herzstück einiger europäischer Notfallmanagementsysteme. Auf der Grundlage des radioaktiven Niederschlags, der landwirtschaftlichen Produktion, der Transferfaktoren und der Halbwertszeiten simuliert es unter anderem den Transport der Radionuklide in den Nahrungsketten und unter Berücksichtigung der Verzehrsgewohnheiten die innere Strahlenbelastung. Es ist einleuchtend, dass ein solches Modell an die länderspezifische Situation angepasst werden muss, das heisst ein sinnvolles Versuchsprogramm ist zu reali-

sieren. Nach den ersten Programmläufen von CHECOSYS, der Schweizer Variante von ECOSYS, steht dies für die Zukunft an.

Nicht unerwähnt bleiben darf die Zusammenarbeit mit der Nationalen Alarmzentrale, die das Entscheidungsunterstützungssystem DSS (Decision Support System) für den nuklearen Notfall entwickelt hat (Schenker-Wicki und Rauber 1993). Es bedient sich zur Kalkulation der individuellen Dosisreduktion des Modells ECOSYS und schlägt unter Berücksichtigung typischer landwirtschaftlicher Strukturen, der technischen Durchführbarkeit, der Effizienz, aber auch der politischen Akzeptanz, Massnahmen vor.

Praktische Erfahrungen sammeln

Die westeuropäischen Kernkraftwerke weisen im Vergleich zu den osteuropäischen einen relativ hohen Sicherheitsstandard auf. Gleichwohl besteht das Risiko eines Unfalls, da niemand technisches Versagen, menschliches Fehlverhalten und äussere Einwirkungen ausschliessen kann. Durch Vorplanung des Notfall- und Katastrophenschutzes lassen sich Schutzmassnahmen optimieren und Schäden minimieren (Dressler und Oertli 1992; Guillitte *et al.* 1993). Dabei genügt es aber nicht, Toleranz- und Grenzwerte festzuschreiben, ohne praktische Erfahrungen mit Massnahmen sammeln zu wollen. Radioagronomische Forschung ist angesagt. Anhand der Forschungsergebnisse und der Literatur soll eine Zusammenstellung geeigneter Schutzmassnahmen erar-

beitet werden. Der Strahlenschutz darf dabei aber die Belange des Umweltschutzes nicht ausser acht lassen (Dressler 1993). So sind zum Beispiel die Massnahmen, die von den Computerprogrammen vorgeschlagen werden, auch ökologisch zu bewerten. Ebenso sollte der Massnahmenkatalog für den Fall eines nuklearen Ereignisses einer ökologischen Überprüfung standhalten können.

LITERATUR

Aleksakhin R.M., 1991. Countermeasures in agricultural production as a powerful factor in liquidation of the Chernobyl accident consequences. CEC-Workshop on «The Relative Effectiveness of Agricultural Countermeasures Techniques». 1-4 October, Brussels.

Dressler A.J., 1993. Was hat Strahlenschutz mit Umweltschutz und Landwirtschaft zu tun? *Landwirtschaft Schweiz* 6 (2), 83-89.

Dressler A.J. and Matzke H., 1994. Degradation of calcium lignin sulfonate used as soil stabilizer and dust controller. 7th Forum For Applied Biotechnology, Gent, 30 September-1 October 1993.

Dressler A.J. und Oertli J.J., 1992. Cleanup/Dekontamination von Ackerland nach einem Reaktorunfall. *Landwirtschaft Schweiz* 5 (4), 143-148.

Förstel H. und Steffens W., 1993. Verminderung der radioaktiven Kontamination von Wein durch geeignete Ausbaufverfahren. 687-692. In: Winter H. und Wicke A. (Hrsg.) *Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen*. 25. Jahrestagung Fachverband für Strahlenschutz, 28.-30. Sept., Rügen. Verlag TÜV Rheinland.

Guillitte O., Tikhomirov F. A., Shaw G., Johanson K., Dressler A. J. and Melin J., 1993. Decontamination methods for reducing radiation doses arising from radioactive contamination of forest ecosystems - a summary of available countermeasures. *The Science of the Total Environment* 137, 307-314.

Hinton T.G., Kopp P., Ibrahim S., Bubryak I., Syomov A. and Tobler L., 1993. Contaminated soil on Chernobyl vegetation. Proc. of the 26th Topical Meeting of the Health Physics Society, 24-28 January, Coeur d'Alene, Idaho, USA.

Kopp P. and Zehnder H., 1992. Laboratory Experiment: Foliar Absorption of ¹³⁴Cs and its Transport to Different Parts of the Grape Plant. PSI Life Sciences Newsletter 1991, Annex II Annual Report 1991.

Kröger W. und Jermann M., 1992. PSI: Zentrum für zentrale Forschungsthemen. *Atomwirtschaft*, Juni, 302-304.

Müller H. und Pröhl G., 1988. ECOSYS 86. Ein Rechenmodell zur Abschätzung der Strahlenexposition nach kurzzeitiger Deposition von Radionukliden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Benutzer-Handbuch, Stand 1988. GSF, Institut für Strahlenschutz, Neuherberg (BRD).

Schenker-Wicki A.G.M. and Rauber D., 1993. Decision support system for evaluating countermeasures to reduce ingestion dose, 453-457. In: Völkle H. and Pretre S. (Eds.) *Environmental impact of nuclear installations. Proc. of the joint seminary from September 15th to 18th 1992, University of Fribourg.*

Sparrow A.H., Schwemmer S.S. and Bottino P.J., 1971. The effects of external gamma radiation from radioactive fallout on plants with special reference to crop production. *Radiation Botany* 11, 85-118.

RÉSUMÉ

Recherche radioagronomique à l'Institut Paul Scherrer (PSI)

Le PSI réalise des projets dans le domaine de la recherche radioagronomique pour assurer la protection de l'homme et de l'environnement en cas d'accident nucléaire. Les activités se concentrent sur le développement d'un catalogue de contre-mesures. De plus, un modèle informatisé d'estimation des risques de radiation est vérifié, complété et amélioré. Les recherches effectuées dans le domaine de la production végétale sont présentées.

SUMMARY

Radioagronomical research at Paul Scherrer Institute (PSI)

To protect man and environment in case of a nuclear event, the PSI performs radioagronomical research projects. The activities concentrate on the working out of a practical catalogue of countermeasures and on the checking, the complementation and the improvement of a computer model for judging of the risk of radiation. This article presents the research work in the field of plant production.

KEY WORDS: radioagronomy, radioecology, countermeasures, radiosensitivity, foliar absorption, lignin sulfonate, resuspension, ECOSYS, DSS.

LEXIKON

Aktivität: Grösse, die die Anzahl der je Zeiteinheit zerfallenden Atomkerne einer radioaktiven Substanz angibt.

Bq (Becquerel): Einheit für die Aktivität einer radioaktiven Substanz. Eine Aktivität von 1 Bq liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt.

Gy (Gray): Einheit für die Energiedosis. Eine Energiedosis von 1 Gy liegt vor, wenn je Kilogramm des durchstrahlten Stoffes eine Energie von 1 Joule absorbiert wird.

Radioagronomie: auf die Landwirtschaft konzentriertes Teilgebiet der Radioökologie. Diese untersucht die biozyklische Weitergabe und Akkumulation von Radionukliden sowie die Wirkung von Strahlen auf Mensch, Tier, Pflanze und Ökosysteme. Hinzu kommt der Einsatz von radioaktiven Substanzen zur Markierung und Verfolgung von Lebensvorgängen.

Radionuklid: Atomart, die spontan ohne äussere Einwirkung unter Aussendung charakteristischer Strahlung zerfällt.