

# Transfer von $^{226}\text{Ra}$ in den Honig und die mögliche Nutzung der Honigbiene (*Apis mellifera*) als Bioindikator im radioaktiv belasteten Uranabbaugebiet der Wismut

U Horn <sup>1</sup>, M Helbig <sup>1</sup>, D Molzahn <sup>2</sup>, EJ Hentschel <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Ernährung und Umwelt/Bienenkunde, Am Steiger 3, D-07743 Jena;

<sup>2</sup> Philipps-Universität Marburg, Bereich Kernchemie, Hans-Meerwein-Str, D-35043 Marburg, Germany

(Eingegangen 15 Februar 1996; angenommen 12 Juli 1996)

**Zusammenfassung** — Im ehemaligen Uranabbaugebiet der Wismut wurde der  $^{226}\text{Ra}$  Transfer Boden - Pflanze - Honig sowie die Entwicklung von Bienenvölkern unter der radioaktiven Belastung untersucht. Der Transfer von  $^{226}\text{Ra}$  beträgt nur wenige Prozent (Transferfaktor Boden-Pflanze (Raps): 0,01-0,05; Pflanze (Raps)-Honig: 0,05-0,17). Trotz der geringen Aktivitätswerte im Honig erscheinen mit Hilfe der relativ konstanten Transferfaktoren Rückschlüsse auf den Gehalt an natürlich vorkommenden Radionukliden in Boden und Pflanze möglich. Für eine endgültige Aussage über die Eignung der Honigbiene als Bioindikator sind noch Untersuchungen auf stark kontaminierten ungedeckten Flächen notwendig. Der Verzehr der Honige der Wismutregion verursacht keine gesundheitliche Gefährdung für den Menschen. Die radioaktive Belastung der Region hatte keinen Einfluß auf die Entwicklung der Bienenvölker.

***Apis mellifera* / natürlich vorkommende Radionuklide / Transfer Boden-Pflanze-Honig / Bioindikator / radioaktive Belastung / Radon**

## EINLEITUNG

Die Wismutregion zählt im europäischen Maßstab zu den größten Bergbau-sanierungsgebieten (Runge und Böttcher 1993). In diesem dichtbesiedelten sächsisch-thüringischem Bereich wurden von 1947-1990 ca 220 000 Tonnen Uran gefördert. Nach Einstellung des Bergbaus Ende 1990 gilt es nun, die hier lagernden Men-

gen radioaktiv und chemisch-toxisch belasteter Produktionsrückstände sinnvoll zu verwahren.

Die Eignung der Honigbiene als Bioindikator für Umweltschäden unterschiedlichster Genese (zB Pestizide, PCB, Spurenelemente, Schwermetalle, künstliche Radionuklide) ist bekannt (Hakonson und Bostik 1976, Kirkham 1977, Gilbert und Lisk 1978, Bromenshenk 1979, 1985, Morse et al,

1980, Walwork-Barber et al, 1982; Höfel, 1985; Jones, 1987; Celli et al, 1988). Untersuchungen mit natürlich vorkommenden Radionukliden, wie sie in verstärktem Maße im ehemaligen Uranabbaugebiet der Wismut vorkommen, sind bislang jedoch noch nicht erfolgt.

In dieser Arbeit werden Ergebnisse zur Entwicklung der Bienenvölker im radioaktiv belasteten Gebiet im Vergleich zu Kontrollvölkern und der  $^{226}\text{Ra}$  Transfer Boden-Pflanze-Honig dargestellt.

## MATERIAL AND METHODIK

### *Standorte*

Die Untersuchungen wurden an der Absetzanlage Trünzig (Betriebsteil Seelingstädt) durchgeführt. Die dort abgelagerten Schlämme haben ein hohes Schadstoffpotential (zB Radiumgehalt: 10 Bq/Gramm Schlamm).

Um den Bienen eine Massentracht zu bieten und sie so im Gelände der Absetzanlagen zu halten, wurde 1993 in Trünzig als Trachtpflanze Phacelia angebaut. Als Kontrolle dienten Phaceliafelder im Jenaer Raum.

### *Bienenvölker*

Am Rand des Versuchs- bzw. Kontrollfeldes wurden jeweils 5 Bienenvölker (Carnica) mit standbegatteten Königinnen aufgestellt, die etwa die gleiche Volksstärke besaßen. Die Bienen überwinterten auf dem Versuchs- bzw. Kontrollgelände.

### *Ermittlung der Volksentwicklung*

1993 erfolgte über einen Zeitraum von 5 Wochen (Juni/Juli) die detaillierte Untersuchung der Entwicklung der Versuchs- bzw. Kontrollvölker. Dazu wurde wöchentlich mit Hilfe einer Folie die Vorder- und Rückseite jeder einzelnen Wabe aufgezeichnet, farblich unterschiedlich die verdeckelte und unverdeckelte Brut, die Schwarmzellen und die Drohnenbrut. Die einzelnen Zellarten wurden

ausgezählt und der zeitliche Verlauf der Populationsentwicklung graphisch dargestellt. Ab Frühjahr 1994 erfolgte die Schätzung in vereinfachter Form nach der Liebefelder Methode (Liebig 1993).

### *Statistische Auswertung*

In Anlehnung an die Arbeit von Liebig (1993) wurde die sogenannte Winterfestigkeit der Bienenvölker im Wismutgebiet gegenüber der Winterfestigkeit der Kontrolltiere im Jenaer Raum durch Vergleich der relativen, d.h. prozentualen Abnahmen der Anzahl der Bienen anhand des Mann-Whitney-Testes ermittelt.

### *Gewinnung der Boden-, Pflanzen- und Honigproben*

An ausgewählten Rapsschlägen der gesamten Region Ronneburg/Seelingstädt wurden Boden- und Pflanzenproben gewonnen und die dazugehörigen Honigproben von ortsansässigen Imkern abgekauft, welche direkt in der Nähe des entsprechenden Rapsfeldes ihre Bienen stehen hatten.

### *Probenvorbereitung*

1. Erdproben: Ein Liter Erde wurde von der Erdoberfläche bis zu einer Tiefe von ca. 10 cm entnommen, bei 105 °C getrocknet und anschließend mit einer Schlagmühle homogenisiert.
2. Pflanzenproben: Sie wurden zunächst im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und danach bei 450 °C verascht. I.a. erforderten die Messungen mindestens 20 ml Asche.
3. Honigproben: Es war keine Probenvorbereitung notwendig.

### *Pollenanalytische Untersuchungen der Honigproben*

Aus 10 g Honig wurde von jedem der Honige ein Pollenpräparat hergestellt (Methode nach Louveaux et al, 1978) und nach lichtmikroskopischer Auszählung von ca. 300 Pollen der prozentuale Anteil des Leitpollens ermittelt.

### **Bestimmung der radioaktiven Nuklide mittels Gammaskpektrometrie**

Die Messung erfolgte mit Germaniumdetektoren unterschiedlicher Größe und Bauart. Zur Reduzierung des Nulleffektes waren alle Detektoren mit Blei (5-10 cm allseitig), Kadmium (1 mm), Kupfer (1 mm) und Plastik (ca 5 mm) abgeschirmt. Zur Analyse der von den Detektoren aufgenommenen Gammastrahlung dienten Vielkanalanalysatoren (Nuclear Data ND 66) bzw. mit TARGET-Karten bestückte PC-s. Die Auswertung der Spektren erfolgte mit den Programmen MEDIGAM bzw. GAMMAW (beide Dr. Westmeier). In nahezu allen Gammaskpektren konnten die Nuklide U-235, U-238, Ra-226, Th-232, Pb-210 und K-40 identifiziert werden.

### **ERGEBNISSE**

#### **Entwicklung der Bienenvölker unter dem Einfluß der radioaktiven Belastung im Wismutgelände im Vergleich zu Kontrollvölkern**

Bei der regelmäßigen Kontrolle/Schätzung zeigten sich keine makroskopischen Veränderungen an den Bienen.

Statistisch wurde die Winterfestigkeit der Bienenvölker im Wismutgebiet mit den Kontrollvölkern im Jenaer Raum verglichen. Ein Maß für die Winterfestigkeit ist

**Tabelle I.** Anzahl der Bienen der Wismut- und Kontrollvölker im Oktober 1993/April 1994 bzw. Oktober 1994/März 1995.

<i>Wismut</i>			<i>Kontrolle</i>		
<i>Volk</i>	<i>Okt 93</i>	<i>April 94</i>	<i>Volk</i>	<i>Okt.93</i>	<i>April 94</i>
93/2	10.125	6.358	93/12	4.063	813
93/3	5.188	790	93/13	4.000	1.375
93/4	5.625	2.868	93/14	7.375	2.438
93/5	4.313	2.205	93/15	5.563	5.313
			93/16	2.688	2.625
			93/17	4.500	2.500
			93/18	5.688	2.750
			93/19	6.938	6.438
<i>Volk</i>	<i>Okt.94</i>	<i>März 95</i>	<i>Volk</i>	<i>Okt.94</i>	<i>März 95</i>
93/2	17.313	1.000	94/14	7.288	7.868
93/6	10.688	7.375	94/17	6.725	5.983
93/7	17.188	11.063	93/17	6.725	7.310
			94/12	9.593	5.430
			94/13	6.160	3.238
			94/11	6.968	4.398
			94/16	5.150	6.703

der Abfall der Volksstärke während des Winters.

In Tabelle I ist die Anzahl der Bienen für die verschiedenen Völker der Kontrolle und im Wismutgebiet von Oktober 1993 bis April 1994 bzw. von Oktober 1994 bis März 1995 zusammengefaßt. Der statistische Vergleich der relativen, dh prozentualen Abnahme der Kontrollvölker und der Völker im Wismutgebiet mit dem Mann-Whitney-Test ( $\alpha = 0.10$ ) ergab sowohl 1993/1994 als auch 1994/1995 keine Signifikanz.

Es zeigt sich also kein Unterschied in der Winterfestigkeit zwischen Kontrollvölkern und Völkern im Wismutgebiet.

### Transfer von $^{226}\text{Ra}$ in den Honig

Für die Berechnung der Transferfaktoren fanden nur solche Proben Verwendung, bei denen die vorangegangene Pollenanalyse

der Honige einen Rapsanteil von mindestens 70% ergab.

Tabelle II zeigt die Aktivitätswerte für Ra-226 in Boden, Pflanze (Raps) und Honig sowie die daraus ermittelten Transferfaktoren von jeweils 14 Proben.

Bis auf die leicht erhöhten Aktivitätswerte in den Erdproben 2/93, 10/94, 11/94, 16/94 und in den Pflanzenproben 2/93, 10/94 und 16/94 unterscheiden sich die gemessenen Werte nicht von denen anderer Regionen.

Der Gehalt radioaktiver Nuklide in den untersuchten Honigen ist äußerst gering, besondere Auffälligkeiten sind nicht zu beobachten.

### DISKUSSION

Die Eignung der Honigbiene als Bioindikator für Umweltschäden unterschiedlichster Genese ist weltweit bekannt. So beschrei-

**Tabelle II.**  $^{226}\text{Ra}$ -Gehalt in Erd-, Raps- und Honigproben sowie die ermittelten Transferfaktoren Boden - Pflanze (Raps) - Honig (bei der Berechnung wurde das Trockengewicht (TG) zugrundegelegt; veraschtes Material: 11,24% vom TG; die angegebenen Fehler beinhalten die Standardabweichung und die Kalibrierunsicherheit).

Probe	Erde		Raps		Honig Bq/kg	Transferfaktoren	
	Bq/kg	Asche Bq/kg	TG Bq/kg	Erde-Raps		Raps-Honig	
2/93	145 ± 11	57 ± 6	6,4 ± 0,7	0,05 ± 0,06	0,04 ± 0,006	0,01 ± 0,009	
2/94	43 ± 04	14 ± 1,5	1,6 ± 0,2	< 0,1	0,04 ± 0,006	–	
4/94	44 ± 04	8 ± 1,3	0,9 ± 0,2	< 0,1	0,02 ± 0,005	–	
5/94	39 ± 03	15 ± 2,1	1,7 ± 0,2	< 0,1	0,04 ± 0,006	–	
8/94	46 ± 04	20 ± 2,9	2,3 ± 0,3	< 0,1	0,05 ± 0,008	–	
9/94	33 ± 03	9 ± 1,5	1,0 ± 0,2	< 0,1	0,03 ± 0,007	–	
10/94	76 ± 06	25 ± 2,3	2,8 ± 0,3	< 0,1	0,04 ± 0,005	–	
11/94	71 ± 05	9 ± 2,1	1,0 ± 0,2	< 0,1	0,01 ± 0,003	–	
12/94	25 ± 02	11 ± 1,8	1,2 ± 0,2	0,20 ± 0,04	0,05 ± 0,009	0,17 ± 0,04	
13/94	39 ± 04	16 ± 1,9	1,8 ± 0,2	0,13 ± 0,04	0,05 ± 0,007	0,07 ± 0,02	
14/94	39 ± 03	14 ± 2,5	1,6 ± 0,3	0,18 ± 0,05	0,04 ± 0,008	0,11 ± 0,04	
15/94	38 ± 04	9 ± 2,5	1,0 ± 0,3	0,15 ± 0,04	0,03 ± 0,008	0,15 ± 0,06	
16/94	82 ± 06	23 ± 2,5	2,6 ± 0,3	0,12 ± 0,03	0,03 ± 0,004	0,05 ± 0,01	
19/94	38 ± 03	11 ± 2,2	1,2 ± 0,3	0,13 ± 0,03	0,03 ± 0,008	0,11 ± 0,04	

ben zB Bromenshenk et al (1979, 1985, 1991), daß in industriell belasteten Gegenden der Honigertrag und die Volksgröße abnehmen, je höher der Cd-, As-, F- und Zn-Gehalt der Umgebung ist. Die Autoren vermuten, daß Radionuklide, sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs, in Bienenprodukten akkumuliert werden.

Für Radionuklide anthropogenen Ursprungs gibt es in Zusammenhang mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl im April 1986 zahlreiche Untersuchungen, auch im Honig oder in anderen Bienenprodukten (zB Molzahn et al, 1989, Kaatz 1986, Duric et al, 1988). Untersuchungen mit natürlich vorkommenden Radionukliden, wie sie im ehemaligen Uranabbaugebiet der Wismut vorkommen, sind bis jetzt nicht erfolgt. Ziel unserer Arbeiten war es, den Einfluß der radioaktiven Belastung auf die Entwicklung der Bienenvölker sowie den Transfer Boden - Pflanze - Honig von  $^{226}\text{Ra}$  zu belegen.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Belastung des Bodens und der Pflanzen in dem von uns untersuchten Teilgebiet der Wismutregion gering ist. Dementsprechend niedrige Werte sind deshalb auch im Honig zu finden.

Aus den Ergebnissen können folgende Schlußfolgerungen bzw. Empfehlungen abgeleitet werden:

1. Die Belastung der Wismutregion mit natürlichen Radionukliden ist nicht schädlich für die Entwicklung der Bienenvölker (stellvertretend auch für andere Insekten).
2. Die Belastung des Honigs mit  $^{226}\text{Ra}$  (und anderen natürlichen Radionukliden der Uran- und Thoriumreihe) ist sehr gering. Es bestehen somit keine Bedenken gegen den Verzehr von Honigen dieser Region.
3. Trotz geringer Belastung der Region waren in den meisten Honigproben meßbare Aktivitäten zu finden, wenn auch oftmals im Bereich der Nachweisgrenze. Es erscheint daher möglich, unter Zugrunde-

legung des Transferfaktors für Boden/Pflanze bzw Pflanze/Honig aus den Honigproben Rückschlüsse auf den Gehalt in Boden bzw. Pflanze zu ziehen.

5. Um eine endgültige Aussage zur Eignung der Honigbiene als Bioindikator treffen zu können, sollten Untersuchungen in nicht sanierten Gebieten durchgeführt werden. Nur wo der Boden nicht abgedeckt ist, die Pflanzen also direkt mit der kontaminierten Erde in Berührung kommen, lassen sich ausreichende Aussagen über den Transfer der Nuklide in Pflanzen und Honig erreichen.

## DANK

Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Unser Dank gilt auch den Mitarbeitern der WISMUT GmbH für die stete Hilfsbereitschaft und Unterstützung in fachlichen und organisatorischen Fragen.

**Summary — The transfer of  $^{226}\text{Ra}$  to honey and the possible use of the honey bee as a bioindicator in the uranium mining area of the Wismut region.** The uranium mining area of the Wismut region exhibits increasing values of radioactivity, of which the potential danger to both man and fauna has not yet been characterized. The use of the honey bee as a bioindicator for environmental pollution with different substances is known. But no investigations have been published on this problem with natural radioactive nuclides. In this work the population growth of honey bees was investigated in the radioactively contaminated area in comparison to a control area in the surroundings of Jena. For a period of 2 years (1993–1995) the population growth of the bee populations was estimated (Liebig, 1993). The statistical comparison (Mann–Whitney test,  $\alpha = 0,10$ ) of the relative decrease of the bee populations from October 1993 to April 1994 and October 1994

to March 1995 showed no significant difference between the control group and the bees in the Wismut area (table I). The activity of  $^{226}\text{Ra}$  in soil, plants and various kinds of honey was determined with  $\gamma$  spectrometry. For the calculation of the transfer factors, only honeys were used which had a quantity of rape pollen greater than 70%. The transfer of  $^{226}\text{Ra}$  from soil into rape and from rape into honey was very small: soil/rape = 0.01–0.05; rape/honey = 0.05–0.17 (table II). Because the transfer factors are relatively constant it appears to be possible to draw a conclusion from the activity in the honey to the values in soil and plant. Investigations in a highly contaminated region are necessary for a conclusive statement about the use of honey bees as bioindicators for natural radionuclides. The activity of radionuclides in honeys from the Wismut area is very low so that the consumption of the honey is not dangerous for human.

***Apis mellifera* / natural radionuclide / soil-plant-honey transfer / bioindicator**

**Résumé — Transfert du  $^{226}\text{Ra}$  dans le miel et utilisation potentielle de l'abeille mellifère comme indicateur biologique dans la région de mines d'uranium de la Wismut (Allemagne).** La région minière de la Wismut, où est extrait l'uranium, présente des taux de radioactivité en augmentation dont on ne connaît pas encore les dangers potentiels pour l'homme et la faune. L'utilisation de l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) comme indicateur biologique de la pollution de l'environnement par diverses substances est connue, mais aucune recherche n'a été menée jusqu'à présent sur les radionucléides naturels. Une étude comparative du développement des populations d'abeilles a été réalisée dans la région de la Wismut, qui présente une contamination radioactive, et dans une région témoin située près d'Iéna. La croissance des colonies d'abeilles

a été estimée (Liebig, 1993) sur 2 ans (1993–1995). La comparaison statistique de la diminution relative des populations d'abeilles d'octobre 1993 à avril 1994 et d'octobre 1994 à mars 1995 n'a pas montré de différence significative entre les deux régions (tableau I). L'activité du  $^{226}\text{Ra}$  dans le sol, les plantes et divers types de miels a été déterminée par spectrométrie gamma. Pour le calcul des facteurs de transfert, seuls les miels qui avaient une teneur en pollen de colza > 70 % ont été pris en compte. Le transfert du  $^{226}\text{Ra}$  du sol dans le colza et du colza dans le miel est très faible : sol-colza : 0,01–0,05 ; colza-miel : 0,05–0,17 (tableau II). Les facteurs de transfert étant relativement constants, il semble possible de déduire, de l'activité du  $^{226}\text{Ra}$  dans le miel, des conclusions quant aux valeurs dans le sol et les plantes. Des études dans une région fortement contaminée sont nécessaires pour pouvoir affirmer définitivement que l'abeille peut être utilisée comme indicateur biologique pour les radionucléides naturels. L'activité des radionucléides dans les miels de la région de la Wismut est très faible et la consommation de miel est donc sans danger pour l'homme.

***Apis mellifera* / indicateur biologique / radionucléide naturel / radiocontamination / Radon / miel**

**REFERENCES**

- Bromenshenk JJ (1979) Investigation of the impact of coal-fired power plant emissions upon insects: honey bees and other insects as indicator of pollution impact from the colstrip power plants. Report, United States Environmental Protection Agency No. EPA 600/3-79-044, 215-239
- Bromenshenk J J, Carlson SR, Simpson JC, Thomas JM (1985) Pollution Monitoring of Puget Sound with Honey Bees. *Science* Vol 227, 632-634
- Bromenshenk JJ, Gudatis JL, Carlson SR, Thomas JM, Simmons MA (1991) Population dynamics of honey bee nucleus colonies exposed to industrial pollutants. *Apidologie* 22, 359-370

- Celli G, Porrini C, Balestra V, Menotti R (1988) Monitoraggio di inquinanti atmosferici urbani mediate api (Monitoring of urban atmospheric pollutants through bees). Vortrag: Cagliari, 27.-28. maggio
- Duric G, Popovic D, Popeskovic D, Petrovic B (1988) The level of natural and fallout radionuclides in honey. *Acta Vet (Beograd)* Vol 38, No 5-6, 293-298
- Gilbert MD, Lisk DJ (1978) Honey as an environmental indicator of radionuclide contamination. *Bull Environ Contam Toxicol* 19, 32-34
- Hakanson TE, Bostik KV (1976) The availability of environmental radioactivity to honey bee colonies at Los Alamos. *J Environ Qual* 5, 307-310
- Höfel I (1985) Heavy metals in bees and bee products. *Apidologie* 16, 196-197
- Jones KC (1987) Honey as an indicator of heavy metal contamination. *Water Aer and Soil Pollution* 33, 179-189
- Kaatz HH (1986) Heißer Honig. *Dtsche Imkerztg* 20(7), 222-224
- Kirkham MB (1977) Pollen as indicator of radionuclide pollution. *J Nucl Agric Biol* 6, 71-74
- Liebig G (1993) Die biologischen Grundlagen der Volkentwicklung. *Dtsches Bienenj* 1, 14-15
- Louveaux J, Maurizio A, Vorwohl G (1978) Methods of melissopalynology. *Bee World* 59, 139-157
- Molzahn D, Klepsch A, Assmann-Wertmüller A (1989) Bestimmung von Transferfaktoren von Caesium in der Kette Boden-Rapspflanze-Rapsblüte-Rapshonig. *Apidologie* 20, 473-483
- Morse RA, Lisk DJ, Collison C, van Campen DR, Gutenmann WH (1980) Analysis of radioactivity in honeys produced near Three-Mile Island nuclear power plant Pennsylvania USA. *Nutr Rep Inst* 22, 319-322
- Runge W, Böttcher J (1993) Die Altlasten des Uranbergbaus der Wismut. Veröff. Museum Gera, Naturwiss. Reihe, 4-6
- Wallwork-Barber MK, Ferenbaugh RW, Gladney ES (1982) The use of honey bees as monitors of environmental pollution. *Am Bee J* 22, 770-772