

Die Nachbarn von Tschernobyl

Zehn Jahre nach der Reaktorkatastrophe ist die Strahlenbelastung der zurückkehrenden Bevölkerung überraschend niedrig

Detlef Beltz, Wolfgang Botsch, Josef Handl und Rolf Michel

Am 26. April 1986 kam es im Block 4 des Kernkraftwerkes von Tschernobyl zum bisher folgenschwersten Unfall in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Da die Spätfolgen in der Umgebung des Reaktors auch nach über zehn Jahren noch kontrovers diskutiert werden, haben wir die Folgen der Kontamination für die dort lebende Bevölkerung untersucht. Das Ergebnis überrascht auf den ersten Blick: Wer sich in dem von uns untersuchten Gebiet, ca. 50 bis 80 km vom Reaktor entfernt, wiederansiedelt, ist einer geringeren Strahlenexposition ausgesetzt als gemeinhin angenommen.

Unmittelbar nach dem Unfall wurde ein Gebiet im Umkreis von 30 km um den Reaktor vollständig evakuiert. Dieser Bereich ist mit z.T. sehr langlebigen Nukliden hoch kontaminiert, und eine Wiederbesiedlung wird auf absehbare Zeit nicht möglich sein. Nach dem Zerfall der Sowjetunion wurden von der Ukraine drei weitere Zonen um den innersten Ring der Zone I definiert. Als Indikator für die Gefährdung durch Strahlung diente die ^{137}Cs -Bodenkontamination. Sie beträgt in Zone II mehr als 555 kBq/m^2 , in Zone III $185 - 555 \text{ kBq/m}^2$ und in Zone IV $37 - 185 \text{ kBq/m}^2$. Die Einwohner der Zone II wurden in den Jahren 1989/90 in nichtkontaminierte Gebiete umgesiedelt. Obwohl es noch immer verboten ist, kehrte ein Teil der Bevölkerung in seine frühere Heimat in Zone II zurück. Da es keinen Handel mit der "Außenwelt" gibt, ernähren sich die meisten dieser Menschen von dem, was sie vor Ort sammeln und auf dem kontaminierten Boden anbauen.

Von den nach dem Unfall freigesetzten Radionukliden dominiert inzwischen das Spaltprodukt ^{137}Cs die Strahlenbelastung der Bevölkerung in Zone II, da es mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren zerfällt. Darüber hinaus wurde es über weite Entfernungen in der Atmosphäre transportiert. Kürzerlebige Radionuklide, wie z.B. ^{131}I , das sich in den ersten Tagen in den Schilddrüsen der Menschen anlagerte, sind inzwischen zerfallen. Andere langlebige Nuklide wie ^{90}Sr und ^{239}Pu breiteten sich nicht weit genug aus, um signifikant zur Strahlenexposition außerhalb des Sperrkreises der Zone I beizutragen.

Das ^{137}Cs ist auch mehr als zehn Jahre nach dem Unfall noch sehr oberflächennah im Boden vorhanden. Daraus resultiert zum einen eine erhöhte Dosisleistung über den kontaminierten Flächen, die zu einer externen Strahlenexposition der Bevölkerung führt, zum anderen gelangt das radioaktive Cäsium über Pflanzen in die Nahrungskette und bewirkt eine interne Exposition.

Unsere Arbeit ist Teil eines DFG-geförderten Forschungsprojekts, das in Zusammenarbeit mit der Staatlichen Agroökologischen Akademie der Ukraine durchgeführt wird, und befasst sich mit der Modellierung und der Messung der aktuellen Strahlenexposition der Menschen in der Zone II durch ^{137}Cs . Schwerpunkte dieses Projektes, das auch den Nachweis von ^{90}Sr und ^{129}I umfasst, sind die Untersuchung des Transfers von ^{137}Cs über die Nahrungskette zum Menschen und die Abschätzung vergangener, aktueller und zukünftiger Expositionen. Für eine mögliche Wiederansiedlung der Menschen ist es grundlegend, die zu erwartenden Folgedosen zu bestimmen.

Wälder sind stärker belastet als Ackerböden

In drei unterschiedlich stark kontaminierten Regionen der Nordukraine haben wir Bodenprofile entnommen, um Informationen über die Depositionsdichten verschiedener Radionuklide zu erhalten (Abb. 1). Durch γ -Spektrometrie konnten wir den Anteil an ^{137}Cs und ^{134}Cs in den Bodenschichten bestimmen. Abbildung 2 zeigt Beispiele für Tiefenverteilungen von ^{137}Cs in unterschiedlich stark kontaminierten Regionen. Der Gehalt an ^{137}Cs in den Bodenprofilen überschreitet z.T. deutlich die offiziellen Angaben und liegt manchmal auch über den Grenzwerten der jeweiligen Zone. Aus den Resultaten schätzten wir die externe Strahlenexposition der Personen ab, die in den kontaminierten Regionen leben. Erwartungsgemäß ergaben die Modellrechnungen, dass

sowohl in der offiziell als nicht kontaminiert geltenden "Hintergrund"-Region als auch in der Zone III keine signifikante Strahlenbelastung als Folge des Tschernobyl-Unfalls zu erwarten

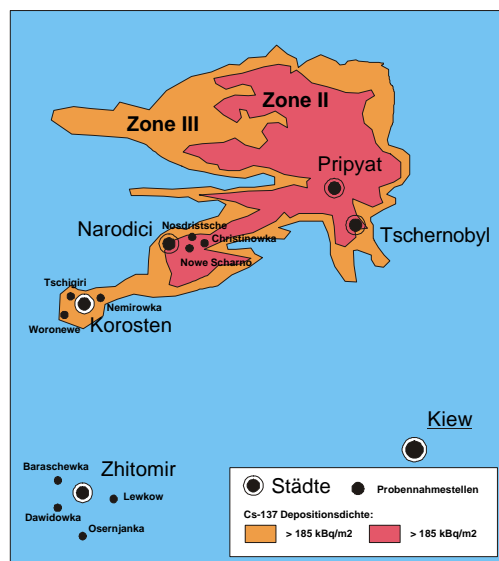


Abb. 1:

Die Ukraine hat die Umgebung von Tschernobyl je nach Kontamination durch ^{137}Cs -Fallout in verschiedene Zonen unterteilt. In den hervorgehobenen Ortschaften haben wir Bodenproben genommen und in Hannover analysiert

ist. In der Zone II liegt allerdings (abhängig von der Depositionsdichte und den persönlichen Lebensgewohnheiten) die ermittelte zusätzliche externe Exposition zwischen 2 mSv/a und 8 mSv/a , was deutlich über der natürlichen Exposition von ca. $0,7 \text{ mSv/a}$ liegt. Zum Vergleich: Der zukünftige Grenzwert für „beruflich strahlenexponierte Personen“ in Deutschland beträgt 20 mSv/a (Novelle der Strahlenschutzverordnung).

Dipl.-Phys. Detlef Beltz und Dipl.-Phys. Wolfgang Botsch, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V.; Dr. Josef Handl und Prof. Dr. Rolf Michel, Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie, Universität Hannover; Detlef Beltz wurde für seine Diplomarbeit zu dem hier beschriebenen Forschungsprojekt mit dem Deutschen Studienpreis der Körber-Stiftung, 1. Platz 1998/99, ausgezeichnet.

Eine verlässliche Modellierung der individuellen externen Strahlenexposition auf der Basis ermittelter Depositionsdichten ist jedoch problematisch, da der Gehalt des Bodens an Radionukliden von Ort zu Ort stark schwankt. Eine der höchsten (4700 kBq/m^2) und die niedrigste (740 kBq/m^2) Cs-Depositionsdichte in der

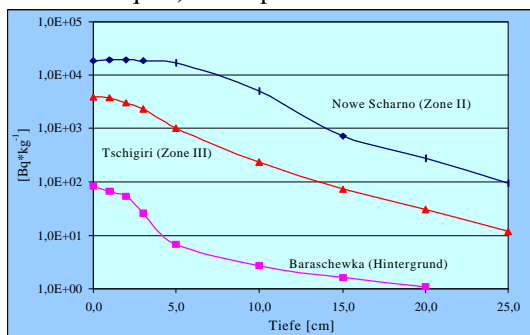


Abb. 2:
Tiefenverlauf der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität in Böden unterschiedlich kontaminierter Regionen

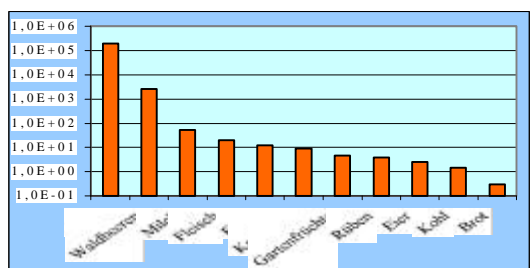


Abb. 3:
Pilze und Beeren sind am stärksten belastet: Spezifische ^{137}Cs -Aktivität von Nahrungsmitteln aus Zone II in Bq/kg. In Deutschland liegt der gesetzlich erlaubte Höchstwert für Pilze bei 600 Bq/g .

Zone II wurden in zwei Bodenprofilen ermittelt, die nur wenige hundert Meter voneinander entfernt entnommen wurden. Darüber hinaus waren in Waldböden, auch als Folge der Filterwirkung von Wäldern, deutlich höhere Werte feststellbar als in Ackerböden nahe der Ortschaften. Daraus folgt, dass die zusätzliche externe Exposition nur über eine direkte Dosimetrie von Einzelpersonen aus der Zone II bestimmt werden kann.

Um Informationen über die interne Exposition zu erhalten, wurden Proben aller relevanten Nahrungsmittel in der Zone II gesammelt und auf ihren Gehalt an ^{137}Cs untersucht (Abb. 3) [1]. Die daraus resultierende tägliche Aufnahme von ^{137}Cs basiert auf eigenen detaillierten Umfragen zu den Ernährungsgewohnheiten und auf ukrainischen Erhebungen. Der ^{137}Cs -Ganzkörpergehalt hängt von den Essgewohnheiten ab (Abb. 4). Danach überwiegt die ^{137}Cs -Aufnahme durch Pilzverzehr bei weitem die durch alle anderen Nahrungsmittel. An zweiter Stelle folgt der Milchkonsum,

dann der Verzehr von Waldbeeren. Für eine realistische Berechnung der internen Strahlenexposition müssen wir die exakte Kenntnis der konsumierten Menge an Pilzen kennen. Da diese Information über Umfragen nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden kann und geringe Unterschiede in den Verzehrsmengen bereits erhebliche Auswirkungen auf die interne Exposition haben können, haben wir zusätzlich den ^{137}Cs -Ganzkörpergehalt an Einwohnern der Zone II direkt gemessen [2].

Es fällt auf, dass die spezifischen ^{137}Cs -Aktivitäten der Grundnahrungsmittel im Vergleich zur Bodenkontamination sehr gering ausfallen. Eine Sonderstellung nehmen Pilze ein, die aufgrund ihres Stoffwechsels das Cäsium in hohem Maße anreichern. Viele Pflanzen sind jedoch nicht in der Lage, das in den oberen Bodenschichten gebundene Cäsium in relevanter Menge über ihre Wurzeln aufzunehmen, sodass ein Großteil der Aktivität im Boden verbleibt und sich im Laufe der Zeit nach unten verlagert.

Untersuchungen in einem Dorf der Zone II

Für genauere Untersuchungen haben wir ein kleines Dorf namens Christinowka ausgewählt, das nahe der Stadt Naroditschi in der Zone II liegt. Die ursprünglich rund 100 Familien, die dort vor dem Unfall in einer sehr ländlichen Umgebung wohnten, wurden drei Jahre nach dem Unfall in eine Stadt nahe Zhitomir umgesiedelt. Im Laufe der vergangenen vier Jahre kehrte etwa ein Drittel von ihnen illegal in ihr Heimatdorf zurück. Ihre Lebens-, Arbeits- und Ernährungsgewohnheiten sind durchaus repräsentativ für die Dörfer in ländlicher

Umgebung. Einige Bewohner von Christinowka hatten uns schon bei vorherigen Freilandversuchen in der Zone II geholfen und waren gerne bereit, uns gegen eine kleine Bezahlung zu unterstützen.

Den Bewohnern von Christinowka ist ihre Situation wohlbekannt. Da jedoch die sozialen Probleme überwiegen, gerät der Reaktorunfall langsam in Vergessenheit und es stellt sich ein leichtfertiger Umgang mit der Kontamination ein. Daneben ist die Informationspolitik der Behörden mangelhaft. Die Bewohner wurden in den ersten Tagen nach dem Unglück nicht informiert und erst drei Jahre später überraschend umgesiedelt. Da sie mit ihrer neuen Situation außerordentlich unzufrieden waren, haben sie sich über das Verbot der Rückkehr hinweggesetzt.

Um ihre externe Strahlenexposition zu ermitteln, wurden von Juli 1998 bis Juli 1999 vierzehn Einwohner von Christinowka mit Thermolumineszenzdosimetern (TLD) ausgestattet, die auch in Deutschland bei beruflich strahlenexponierten Personen als amtliche Dosimeter eingesetzt werden. Die Versuchsteilnehmer haben die Dosimeter ganztätig und bei allen Tätigkeiten getragen. Für die meisten Bewohner wurden für die durch ^{137}Cs verursachte externe Exposition Werte um $0,6 \text{ mSv/a}$ zusätzlich zur natürlichen Exposition von ca. $0,7 \text{ mSv/a}$ ermittelt (Abb. 5). Einzelne Personen, die sich außergewöhnlich viel in Wäldern aufhalten, weisen jedoch Werte von bis zu $4,3 \text{ mSv/a}$ auf. Um weitere Informationen über die Ernährungsgewohnheiten zu erlangen, wurde der tägliche Konsum an Milch, Pilzen und Beeren

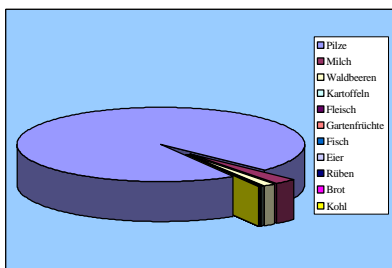


Abb. 4:
Beiträge verschiedener Nahrungsmittel an der ^{137}Cs -Aufnahme in Zone II.

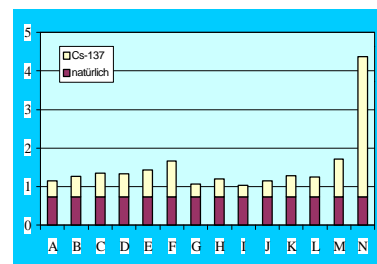


Abb. 5:
Natürliche und durch ^{137}Cs verursachte externe Exposition der Bewohner von Christinowka in mSv/a

ausgewählter Familien unter der Leitung zweier vertrauenswürdiger Dorfbewohner protokolliert. Darüber hinaus wurden weitere Nahrungsmittelproben entnommen und auf ihren Gehalt an ^{137}Cs untersucht. Es stellte sich heraus, dass der mittlere Pilzkonsum erheblich niedriger lag, als nach der ersten Umfrage zu erwarten war. Ein Erwachsener verzehrt pro Jahr etwa 0,7 kg Trockenpilze, dies entspricht einer jährlichen Aufnahme von etwa 200 kBq ^{137}Cs . In einem Extremfall (Person Nr. 18, Dosimeter N) konnte allerdings ein Konsum von bis zu 10 kg Trockenpilzen pro Jahr festgestellt werden.

Messungen des Ganzkörpergehalts an ^{137}Cs

Den Ganzkörpergehalt ausgewählter Einwohner von Christinowka haben wir in 3-Monats-Intervallen mit dem mobilen Ganzkörperzähler des Krankenhauses der Stadt Korosten ermittelt. Die Messungen erstreckten sich von Juli 1998 bis Juli 1999 (Abb. 6). Die dabei ermittelten Messwerte verdeutlichen den Einfluss individueller Ernährungsgewohnheiten (Abb. 7). Die Personen Nr. 17 und 18 verzehren deutlich mehr Pilze als der Durchschnitt, was zu Ganzkörpergehalten von 80 bzw. 450 kBq führt. Außerdem verbringen diese Personen die meiste Zeit in den stark kontaminierten Wäldern der Umgebung. Vergleichsweise niedrig liegen die Ganzkörpergehalte derjenigen Personen, die niemals Pilze essen: Für die Personen 9 und 10 ergeben sich Werte um 7 kBq. Die untersuchten Kinder (Nr. 1-4) wiesen noch niedrigere ^{137}Cs Körperaktivitäten auf, die nahe der Nachweisgrenze des verwendeten Ganzkörperzählers lagen. Der Mittelwert für Erwachsene (außer Personen 17 und 18) liegt bei (10 ± 5) kBq Ganzkörpergehalt. Der an Kindern ermittelte Wert von $(2,2 \pm 0,3)$ kBq liegt deutlich darunter. Aus den ^{137}Cs -Ganzkörpergehalten kann man mit einem Umrechnungsfaktor von 0,038 mSv/a pro kBq ^{137}Cs -Ganzkörperaktivität für Erwachsene die jährliche effektive Dosis mit einem Wert von $(0,4 \pm 0,2)$ mSv/a ermitteln. Für Kinder sind altersabhängige Faktoren zu verwenden. Es ergibt sich für sie ein Mittelwert von $(0,2 \pm 0,1)$ mSv/a. Zum Vergleich: In Deutschland liegt die jährliche interne Exposition durch Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe, z. B. ^{40}K mit der Nahrung bei 0,3 mSv/a. Bei den Personen Nr. 17 und 18 liegt die interne Exposition allerdings bei 3,0 mSv/a bzw. 17,3 mSv/a. Im Laufe unserer

Untersuchungen wurde deutlich, dass diese beiden miteinander befreundeten Personen eine untypische Lebensweise hatten (siehe oben). Daher schlossen wir sie aus den Berechnungen für die "normale Bevölkerung" aus.

Ergebnisse

Die Einwohner von Christinowka mit normalen Verzehrsgewohnheiten waren 1998/99 einer zusätzlichen, durch ^{137}Cs verursachten externen Strahlenexposition von $(0,5 \pm 0,2)$ mSv/a und einer zusätzlichen internen Exposition von $(0,4 \pm 0,2)$ mSv/a ausgesetzt. Bei extremen Lebensgewohnheiten ergeben sich Maximalwerte von 4,3 mSv/a für die externe und 17,3 mSv/a für die interne Exposition, die stark abhängig vom Pilzverzehr ist. Die derzeitige zusätzliche Exposition von etwa 1 mSv pro Jahr für die "normale Bevölkerung" durch den Unfall von Tschernobyl liegt in der Variationsbreite der natürlichen Strahlenexposition in Europa. Bei Personen mit außergewöhnlichen Verhaltens- und Verzehrsgewohnheiten sind jedoch in Einzelfällen Expositionen von 20 mSv/a möglich. Derart hohe Expositionen sind jedoch durch geringe Einschränkungen der Lebensweise vermeidbar. Bei einer Wiederbesiedlung würden die Rückkehrer bei vernünftiger Lebensweise in den nächsten 50 Jahren einer zusätzlichen Strahlenexposition von weniger als 25 mSv ausgesetzt sein. Zum Vergleich: Die weltweite mittlere natürliche Exposition beträgt in 50 Jahren 120 mSv.

Es hat sich gezeigt, dass sich aus den Werten für die Bodenkontamination und den ^{137}Cs -Gehalten der Lebensmittelproben bis zu zehnmal höhere Dosen ableiten lassen, als dann tatsächlich bei den durchschnittlichen Dorfbewohnern gemessen werden konnten. Von unseren Versuchsteilnehmern fielen zwei durch ihre extremen Ernährungs- und Lebensgewohnheiten (hoher Pilzverzehr, viel Aufenthalt in Wäldern) auf. Für diese Personen bietet die ursprüngliche Abschätzung einen realistischen Wert. Für die von uns untersuchten Gebiete in der Zone II bestehen aus radiologischer Sicht keine Bedenken gegen eine Wiederfreigabe, weil bei normaler Lebens-

weise die zusätzliche Exposition durch ^{137}Cs weniger als die Hälfte der natürlichen Exposition ausmacht und bei Verzicht auf den Verzehr von Pilzen noch weiter gesenkt werden kann.

Die Ukraine überlegt derzeit, die in Abb. 1 skizzierte Zoneneinteilung aufzuheben und die Bestimmungen zu lockern. Unter Berücksichtigung dieser und anderer Untersuchungen werden die Rückkehrer schön jetzt offiziell toleriert.

Die gesunkene Lebenserwartung in den vom Reaktorunfall betroffenen



Abb. 6:
Bestimmung der ^{137}Cs -Ganzkörperaktivität mithilfe eines mobilen Ganzkörpermessplatzes

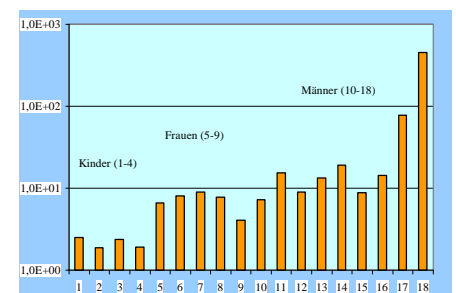


Abb. 7:
 ^{137}Cs -Ganzkörperaktivität der Bewohner von Christinowka in Bq

fenen Nachfolgestaaten der Sowjetunion darf nicht vorrangig der Strahlenexposition zugeschrieben werden. Den Einfluss von Faktoren wie der zunehmenden Verarmung dieser Länder und dem daraus resultierenden Zerfall der sozialen Systeme muss man berücksichtigen, was jedoch in vielen Medienberichten nicht differenziert wird.

Literatur

- [1] D. Beltz, Diplomarbeit, Universität Hannover 1998
- [2] W. Botsch, Dissertation, Universität Hannover, in Vorbereitung

Reprint von

D. Beltz, W. Botsch, J. Handl, R. Michel

Die Nachbarn von Tschernobyl

Physikalische Blätter 56, Heft 10 (2000) 55-57.