

# Strahlentelex

mit **ElektrosmogReport**

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

[www.strahlentelex.de](http://www.strahlentelex.de)

Nr. 496-497 / 21. Jahrgang, 6. September 2007

## Strahlenschutz:

Nach dem Einsatz von Waffen mit angereicherterem Uran und der Debatte über die schädliche Wirkung dieses Elements, wird auch die Frage nach den Folgen der Verwendung von uranhaltigen Phosphatdüngern neu gestellt.

Seite 1

## Atomwirtschaft:

Rohphosphate sind eine kaum beachtete, aber sehr bedeutende Quelle der Uranbeschaffung. Um mehr Transparenz in die Stoffströme von radioaktivem Material zu bringen, sollten die Urangehalte in Phosphordüngern deklariert werden.

Seite 6

## Tschernobyl-Folgen:

Die vorgeburtliche Strahlenbelastung beeinträchtigt schulische Leistungen. Eine Studie von Ökonomen in Schweden zeigt die Beeinträchtigung der geistigen Entwicklung von Kindern nach dem Tschernobyl-Fallout.

Seite 10

## Nachruf:

Der Pionier der Atomphysik und Mediziner John W. Gofman, Fürsprecher eines wirkungsvollen Strahlenschutzes, ist im Alter von 88 Jahren am 15. August 2007 in seinem Haus in San Francisco gestorben.

Seite 11

## Strahlenschutz

# Betrachtungen über die Radioaktivität von Uran in Phosphatdüngern

Von Inge Schmitz-Feuerhake<sup>1</sup> und Rosalie Bertell<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gesellschaft für Strahlenschutz e.V., Peter-Michels-Str. 54, D-50827 Köln.

<sup>2</sup> International Institute of Concern for Public Health, P.O. Box 80523 Rpo White Shields 2300 Lawrence Ave. East, Toronto ON Canada M1P 4Z5

## Einleitung

Zu den zivilisatorisch bedingten Strahlenexpositionen durch Radioaktivität gehört

der Beitrag von Uran und seinen Folgeprodukten in Phosphatdüngern. Er wird zwar seit langem beachtet, jedoch für unbedeutend gehalten

(UNSCEAR 1982). Der Beitrag zur Strahlenexposition ergibt sich daraus, dass in den vorkommenden phosphathaltigen Mineralien, die für die Verwendung als Dünger abgebaut werden, auch natürlich vorkommende Strahler vorhanden sind. Da in den letzten Jahren durch den Einsatz von Waffen mit angereicherterem Uran als besonders durchschlagkräftiges Hüllmaterial eine Debatte über die schädlichen Wirkungen dieses Elementes entstanden ist, wurde auch die Frage nach den möglichen negativen Folgen der Phosphatdüngung neu gestellt.

Nach allgemeiner Auffassung können ionisierende Strahlen bei niedriger Dosis Erbkrankheiten und Tumore sowie nach Exposition im Mutterleib Entwicklungsstörungen erzeugen. Diese Effekte werden in den Geweben durch Zellmutation oder Zerstörung von Zellen ausgelöst. Aus den Dosiswirkungsrelationen, die von internationalen Expertenkomitees bestimmt wurden, leitet sich ab, dass die natürliche Umge-

bungsstrahlung zu weniger als 1 Prozent der vorkommenden bösartigen (malignen) und genetischen Erkrankungen beiträgt. Natürliches Uran besteht hauptsächlich aus dem Isotop 238, das Alphastrahlen mit 12 Becquerel pro Milligramm aussendet. Dies ist die niedrigste spezifische Aktivität von allen Uranisotopen. Daher wird üblicherweise angenommen, dass die Strahleneffekte von Natururan in niedrigen Konzentrationen vernachlässigbar sind gegenüber seiner Toxizität als Schwermetall. Angereichertes Uran (Depleted Uranium, DU), das für Waffen verwendet wird, hat eine noch niedrigere spezifische Aktivität als Natururan, und es kann kein Zweifel bestehen, dass DU schwere Gesundheitsschäden in den Bevölkerungen der betroffenen Gebiete und bei Militärpersonen hervorgerufen hat (Bertell 2006). Seit diese Effekte bekannt wurden, gibt es neue Diskussionen über die radiologischen Folgen des Materials.

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b.Bln.  
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

Experimente an Zellkulturen haben gezeigt, dass durch DU erzeugbare Chromosomenaberrationen nicht durch die Schwermetalleigenschaften erklärbar sind und als Strahleneffekt angesehen werden müssen (Miller u.a. 2002). Die Bedingungen im Fall der Exposition durch natürliches Uran, das durch Düngung im Boden angereichert wird, sind natürlich andere als bei der Aufnahme von DU. Chromosomenaberrationen, die im Blut von Golfs- und Balkankriegsveteranen festgestellt wurden (Schröder u.a. 2003), zeigen jedoch, dass die herkömmliche Methodik zur Bestimmung von Dosis und Dosiswirkungsbeziehungen für Uran fraglich ist. Dizentrische Chromosomen in Lymphozyten sind so gut wie ausschließlich durch Strahlen induzierbar und ihre Verteilung auf die Zellen ist ein verlässlicher Indikator für einen Beitrag durch Alphastrahlung. Dadurch erweist sich der in den Veteranen gefundene Effekt als Widerspruch zu den Vorhersagen anhand der durch physikalische Simulation abgeleiteten Dosis.

### Dosisbestimmung für inkorporierte Radioaktivität

Das Isotop Uran-238 ist die Mutter einer natürlichen Zerfallsreihe (Tabelle 4). Natururan – und daher auch das Uran in Phosphatdüngern – enthält ebenfalls das Uranisotop 234 im radioaktiven Gleichgewicht, das heißt seine Zerfallsrate in Becquerel ist gleich der von Uran-238. Beide senden Alphateilchen aus, die eine doppelte Ladung tragen und mit Atomkernen von Helium identisch sind. Ihre Energie beträgt etwa 4,5 Megaelektronenvolt (MeV) (nur wenige Elektronenvolt sind erforderlich, um ein Molekül zu ionisieren oder eine Molekularbindung zu zerstören). Diese kinetische Energie wird in Materie schnell abgebremst. Die Reichweite der Alphastrahlen in Wasser (Ge-

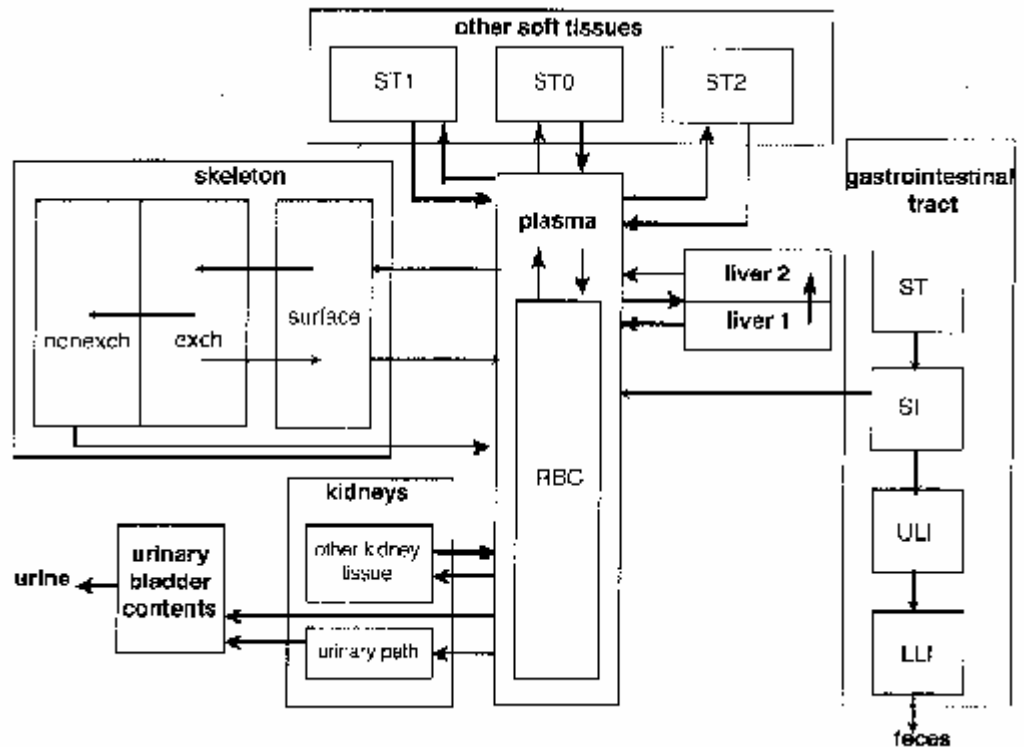


Abbildung 1: **Biokinetisches Modell für die Ingestion von Uran.** STO, langanhaltende Speicherung; ST1, mittlere Speicherung; ST2, schnelle Speicherung; RBC, Rote Blutzellen; ST, Mageninhalt; SI, Dünndarminhalt; ULI, Inhalt des oberen Dickdarms; LLI, Inhalt des unteren Dickdarms; EXCH, austauschbares Uran im Knochen; NON-EXCH, nicht-austauschbares Uran im Knochen.

webe) beträgt nur etwa 40 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ).

Die Dosis in einem Gewebe, die zur Beurteilung der biologischen Wirkung dienen soll, ist physikalisch eine absorbierte Energie pro Gewebemasse in Joule pro Kilogramm ( $\text{J/kg}$ ; „Energiedosis“). Da Alphastrahlung bei gleicher Energiedosis eine höhere biologische Wirkung hat als die Referenzstrahlung (Röntgenstrahlen von 200 Kilo-elektronenvolt (keV)), wird die Energiedosis mit einem Wichtungsfaktor 20 beaufschlagt. Die gewichtete Energiedosis heißt „Äquivalentdosis“ und wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben.

Diese Dosisdefinition liefert

offensichtlich eine sehr vereinfachte Grundlage zur Beurteilung der Menge von erzeugten Mutationen und anderer Folgen, weil dabei die absorbierte Energie der Alphastrahlen über das ganze Organ oder Gewebe gemittelt wird, in dem sich der radioaktive Strahler befindet. In der Realität wird die Alphaenergie innerhalb eines sehr kleinen Bereichs des umgebenden Gewebes absorbiert und bewirkt mikrometrisch eine hohe Dosis. Oder sie wirkt innerhalb des Blutgefäßes, in dem das Radionuklid transportiert wird. Dadurch kann ein gutartiger Tumor im Blutgefäß ausgelöst werden, um den sich Cholesterinplaques bilden, die wiederum Herzinfarkte und

Schlaganfälle bewirken. Ferner verursacht die Alphastrahlung einen Abbau von SOD, welches ein Reparaturenzym für freie Radikale ist (Vigliano u.a. 1986).

Um die absorbierte Energie im Falle inkorporierter Aktivität zu bestimmen, muss sie anhand der eingebrachten Menge des spezifischen Nuklids in das betreffende Organ oder Gewebe und der sich dort ändernden Konzentration integriert werden. Die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP hat für jedes Radionuklid Dosisfaktoren in Sievert pro Becquerel ( $\text{Sv/Bq}$ ) abgeleitet, wobei eine einmalige Aufnahme in Becquerel durch Inhalation oder Inge-

Tabelle 1: **Effektivdosis\*) und Dosis für die Knochenoberfläche pro Aktivitätsaufnahme von Uran-238 durch Ingestion – hier in  $\mu\text{Sv/Bq}$  – für Mitglieder der Bevölkerung (ICRP 1995)**

Alter	3 Monate	1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre	15 Jahre	> 17 Jahre
Effektivdosis	0,33	0,12	0,08	0,068	0,067	0,045
Dosis für die Knochenoberfläche	6,9	1,6	1,2	1,4	2,1	0,71

\*) die Effektivdosis ist eine gewichtete Ganzkörperdosis

**Tabelle 2: Nachgewiesene Erkrankungen außerhalb des Atemtrakts in Folge einer Exposition durch Uran und Uranfolgeprodukte**

Erkrankungen	Kollektiv	Referenzen
Alle soliden Malignome	Beschäftigte in Uranindustrie	Ritz 1999
Gutartige & unspezifizierte Tumoren	Uranbergarbeiter	Roscoe 1997
Blutkrankheiten	Uranbergarbeiter	Roscoe 1997
Leukämie	Uranbergarbeiter	Mohner u.a. 2006; Rericha u.a. 2006
	Bergleute unter Tage	Darby u.a. 1995
Lymphome	Beschäftigte in Uranindustrie	McGeoghegan u.a. 2000
Multiple Myelome	Uranbergarbeiter	Tomásek u.a. 1993
Magenkrebs	Uranbergarbeiter	Darby u.a. 1995; BEIR IV 1988
	Bevölkerung in Urangebieten	Wilkinson 1985
Leberkrebs	Uranbergarbeiter	Tomásek u.a. 1993
	Bergleute unter Tage	Darby u.a. 1995
Krebs der Gallenblase und extrahepatischen Gallenwege	Uranbergarbeiter	Tomásek u.a. 1993
Nierenkrebs	Beschäftigte in Uranindustrie	Dupree-Ellis u.a. 2006
Psychische Störungen	Uranbergarbeiter	Tomásek u.a. 1994
Geburtsfehler	Uranbergarbeiter	Müller u.a. 1992
	Bevölkerung in Urangebieten	Shields u.a. 1992

stion angenommen wird. Um dieses zu ermöglichen, wird der menschliche Körper durch altersspezifische Modelle simuliert, wobei die relevanten Organe und Gewebe durch berechenbare geometrische Strukturen nachgebildet werden.

Im Falle der Ingestion passiert die Radioaktivität den Magen und gelangt über den Dünndarm teilweise in das Blut. Die Blutaktivität wird zu Organen und Geweben transportiert und dort teils abgelagert, teils ausgeschieden. Der Resorptionsfaktor  $f_1$  gibt an, welcher Anteil der Dünndarmaktivität in das Blut übergeht und ist eine sehr bedeutsame Größe in der Dosimetrie, da er proportional zu den Organdosen ist, außer für den Darm und die anderen Ausscheidungsorgane.  $f_1$  und der Eintrag in die Organe hängen natürlich von der Löslichkeit des radioaktiven Materi-

als ab, das heißt der chemischen Verbindung und der physikalischen Form, ferner vom Stoffwechsel des betreffenden Individuums. Der Metabolismus von Uran, das in das Blutplasma gelangt ist, wird durch eine Modifikation des sogenannten Erdalkalimodells der ICRP simuliert, die Kompartimente sind in Abbildung 1 dargestellt (ICRP 1995).

Die Dosisfaktoren für  $^{238}\text{U}$  (Tabelle 1) sind erheblich niedriger im Vergleich zu anderen natürlichen und künstlichen Aktiniden, die Alphastrahlen aussenden (zum Beispiel  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) und dem  $^{238}\text{U}$ -Zerfallsprodukt  $^{210}\text{Pb}$ . Dies ist zum Teil durch den niedrigen Resorptionsfaktor gegeben, der zu 2 Prozent angenommen wird außer für Kinder unter 1 Jahr, bei denen er 4 Prozent betragen soll. Die Dosisfaktoren für die natürlichen Isotope  $^{234}\text{U}$  und

$^{235}\text{U}$  sind annähernd gleich wie die in Tabelle 1.

Obwohl die Dosis von einer großen Anzahl von materiellen und funktionellen Parametern abhängt, die alle große Variationen aufweisen, werden die Dosisfaktoren der ICRP üblicherweise wie eine Art Naturkonstante benutzt. Sie werden ohne Vertrauensbereiche angegeben, obwohl sie in Wahrheit außerordentlich ungenau sind (Fairlie 2005; Leggett 2001; Harrison u.a. 2001). Es wird oft behauptet, dass die Dosisfaktoren der ICRP „konservativ“ sind. Das würde bedeuten, dass nahezu alle Konstellationen innerhalb des angegebenen Wertes erfasst sind. Die Modellierung beruht jedoch auf den häufigsten Werten, die für die jeweiligen Parameter gefunden wurden, und erzeugt somit eine Art von Mittelwert mit unbekanntem Fehlergrenzen.

Ein anderes Problem ist die Aufstockung der Dosis bei chronischer Exposition wie im Fall von Uran in der Umgebung (Fisenne u.a. 1988; Aruda-Neto u.a. 2004; Paquet u.a. 2006). Die ICRP-Dosisfaktoren wurden für akute, das heißt kurzzeitige Aktivitätszufuhr abgeleitet. Rattenversuche haben jedoch gezeigt, dass sich bei einer permanenten Zufuhr von Uran die biokinetischen Parameter im Vergleich dazu ändern können. Eine Anreicherung von Uran wurde zum Beispiel im Gehirn und in der Samenflüssigkeit gefunden, die in dem ICRP-Modell (Abbildung 1) nicht vorkommen.

**Dosimetrie für frühkindliche Stadien**

Die frühen Entwicklungsstadien gelten als die empfindlichsten für Strahlung. Es ist ein generelles Problem, diese durch physikalische Modelle zu simulieren, weil sie im Vergleich zur Reichweite der ionisierenden Teilchen klein sind und sich durch Wachstum und Differenzierung

rasch verändern. Hinzu kommt, dass weitgehende Unkenntnis über den Stoffwechsel der Radionuklide im Mutter-Kind-System und in den fötalen Geweben besteht (NCRP 1998).

Die Dosisfaktoren für die Nachkommen (Embryo, Fötus und Neugeborenes) werden in Bezug auf die inkorporierte Radioaktivität der Mutter angegeben (ICRP 2001). Außer der Effektivdosis wird die Dosis für das Gehirn abgeleitet aufgrund der Erfahrungen in Hiroshima und Nagasaki, wo gefunden wurde, dass das zentrale Nervensystem von der 8. bis 15. Woche höchst strahlenempfindlich ist. Die Dosisfaktoren werden für einmalige Aufnahme in verschiedenen Stadien der Inkorporation und auch für chronische Zufuhr wie folgt bestimmt:

1. Die Dosis des Embryos von der Konzeption bis zum Ende der 8. Woche wird mit der des mütterlichen Uterus gleichgesetzt.

2. Für den Fötus – von der 9. Woche bis zur Geburt – wird die Dosis in gleicher Weise durch biometrische und biokinetische Modellierung abgeleitet wie bei Kindern und Erwachsenen. Die Zufuhr wird von der Plazentakonzentration genommen, die sich aus der mütterlichen Inkorporation vor oder während der Schwangerschaft ergibt. Der Zusammenhang zwischen fötaler Konzentration und derjenigen in der Plazenta ist hauptsächlich aus Tierversuchen abgeleitet.

Die ICRP geht davon aus, dass ihre Vorgehensweise zu konservativen Dosiswerten führt. Dies muss jedoch bezweifelt werden, schon allein deshalb, weil die mütterlichen Konzentrationen mit den oben genannten Unsicherheiten bestimmt werden müssen. Außerdem muss bedacht werden, dass es bei der Inkorporation von Radionukliden in den frühen Stadien zu vergleichs-

Tabelle 3: Spezifische Aktivität von Natururan ( $U_{nat}$ )

0,99 mg U-238	0,05 µg U-234	7 µg U-235	1 mg $U_{nat}$
12,3 Bq	12,3 Bq	0,6 Bq	25 Bq

Tabelle 4: Natürliche Zerfallsreihe von Uran-238

Nuklid	Halbwertszeit	Strahlenart	Relative Aktivität
U-238	4,5 $10^9$ a	$\alpha$ $\gamma$	100
Th-234	24 d	$\beta$ $\gamma$	100
Pa-234m	1,2 m	$\beta$ $\gamma$	100
U-234	2,5 $10^5$ a	$\alpha$ $\gamma$	100
Th-230	8,0 $10^4$ a	$\alpha$ $\gamma$	100
Ra-226	1622 a	$\alpha$ $\gamma$	100
Rn-222	3,8 d	$\alpha$	100
Po-218	3,05 m	$\alpha$	"
Pb-214	26,8 m	$\beta$ $\gamma$	"
Bi-214	19,7 m	$\beta$	"
Po-214	1,6 $10^{-4}$ s	$\alpha$ $\gamma$	"
Tl-210	1,3 m	$\beta$ $\gamma$	"
Pb-210	22 a	$\beta$ $\gamma$	"
Bi-210	5,0 d	$\beta$	"
Po-210	138 d	$\alpha$	"
Tl-206	4,2 m	$\beta$	"
Pb-206	stabil		

a Jahr, d Tag, m Minute, s Sekunde

weise enormen Gewebekonzentrationen kommen kann.

In Experimenten mit Mäusen, bei denen trächtige und neugeborene Tiere die gleichen Plutoniumkonzentrationen injiziert bekamen, war die fetale Konzentration viel geringer (bis 500-fach) als in den postnatal kontaminierten Nachkommen. Jedoch die Feten zeigten viel höhere Schäden des blutbildenden Gewebes, die von den Autoren mit der Entstehung von Leukämie in Zusammenhang gebracht werden (Lord u.a. 1992). Diese hohe fetale Empfindlichkeit, die auch bei sehr kleinen Inkorporationsdosen gefunden wurde (Mason 1989), zeigte sich spezifisch bei Alphastrahlung. Bei chronischer Gammabestrahlung, die zum Vergleich angewen-

det wurde, war der Effekt wesentlich kleiner. Bei diesen Experimenten ergab sich eine Relative Biologische Wirksamkeit für Alphastrahlen (entsprechend dem oben genannten Wichtungsfaktor) zwischen 250 und 360 (Jiang u.a. 1994). Das ist mehr als das Zehnfache des Wertes von 20, der nach ICRP eine konservative Abschätzung liefern soll. Extreme Effekte zeigten sich im Tierversuch ebenfalls auf die Entwicklung des Zentralnervensystems nach Applikation des Isotops Uran-235 (Gu u.a. 2001).

Im Report des amerikanischen Nationalrats für Strahlenschutz NCRP über Embryonaldosimetrie wird ein weiteres Problem darin gesehen, dass sich die Radionuklide außerhalb des Embryos im

Uterus ablagern können – insbesondere im Dottersack, wie sich aus experimentellen Untersuchungen mit Plutonium, Americium, Neptunium und Curium ergeben hat. Diese Aktinide verhalten sich chemisch und radiologisch ähnlich wie Uran. Da die Frühstadien des blutbildenden Systems im Dottersack entstehen und ebenso Keimzellen, sind Stammzellen betroffen, die später in den Embryo wandern (Morgan u.a. 1002; Sikov 1992; Stather u.a. 1992). Die Exposition solcher Stammzellen wurde im Zusammenhang mit den Beobachtungen über Leukämiecluster bei kerntechnischen Anlagen diskutiert.

#### Dosis/Wirkungs-Beziehungen im Fall inkorporierter Radioaktivität

Das menschliche Referenzkollektiv, das von der ICRP und anderen Komitees herangezogen wird, um die Folgen einer Bestrahlung abzuschätzen, sind die Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Diese wurden überwiegend durch sehr hochenergetische und deshalb stark durchdringende Gammastrahlung ausgesetzt. Die Dosis-Effekt-Bestimmungen von dort werden auf alle anderen Bestrahlungsbedingungen übertragen unter Benutzung der Äquivalentdosis in Sievert, die Vergleichbarkeit für alle Strahlenarten schaffen soll.

Spätestens die Erfahrungen aus Bevölkerungen, die durch

den Tschernobylunfall betroffen wurden, haben gezeigt, dass diese Annahme fehlerhaft ist. Nicht nur sind dort größere Effekte aufgetreten, als durch die ermittelten Dosen vorhersagbar ist, sondern es zeigte sich darüber hinaus ein breites Spektrum von Gesundheitsschäden, die bei den japanischen Überlebenden nicht beobachtet worden waren (ECRR 2006; Pflugbeil u.a. 2006). Die üblichen Annahmen über Dosis-Effekt-Zusammenhänge sind daher nicht zuverlässig geeignet, um Schäden durch Inkorporation von Radioaktivität auszuschließen.

#### Epidemiologische Studien über Uranwirkungen beim Menschen

Es ist bekannt, dass Uranbergarbeiter häufig an Lungenkrebs sterben, der durch Radon ausgelöst wird, dem gasförmigen Folgeprodukt der Uran-238-Zerfallsreihe. Maligne und andere strahleninduzierbare Erkrankungen in anderen Geweben des Körpers muss man in erster Linie auf Depositionen von Uran und seinen festen Folgeprodukten zurückführen, da ein Teil der Exposition durch die Inhalation und Ingestion von Uranaustaub erfolgt. In Tabelle 2 sind Befunde über solche Erkrankungen durch Inkorporation von Uran und Uranmineralien aufgeführt.

#### Uran in der Umwelt und Dosiserhöhung durch Düngung

Die jährliche Dosis durch natürliche Strahlung – außer Radon in der Lunge – beträgt etwa 1 Millisievert (mSv). Der mittlere jährliche Beitrag durch inkorporiertes  $^{238}\text{U}$  und  $^{234}\text{U}$  wird durch das Strahlenkomitee der Vereinten Nationen zu 5 Mikrosievert ( $\mu\text{Sv}$ ) angegeben (UNSCEAR 1988), das heißt 0,5 Prozent der natürlichen Strahlung. Der Wert beruht auf der Annahme, dass normalerweise 5 Becquerel von jedem der beiden Iso-

Tabelle 5:

#### Dosisfaktoren für Ingestion in Mikrosievert pro Becquerel ( $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$ ) nach ICRP

		U-238	Th-230	Ra-226	Po-210	Pb-210
Alter 3 Monate	Effektivdosis	0,33	4,1	4,7	26	8,4
	Knochenoberfläche	6,9	120	160	0,62	67
Erwachsene	Effektivdosis	0,045	0,21	0,28	1,2	0,69
	Knochenoberfläche	0,71	12	13	0,082	22

Tabelle 6: Jährlicher Dosisbeitrag durch 83 Millibecquerel natürliches Uran pro Liter im Trinkwasser

	$U_{nat}$		$U_{nat} + ^{230}\text{Th} + ^{226}\text{Ra} + ^{210}\text{Po} + ^{210}\text{Pb}$	
	Alter 3 Monate	Erwachsene	Alter 3 Monate	Erwachsene
Effektivdosis	7 $\mu\text{Sv}$	3 $\mu\text{Sv}$	151 $\mu\text{Sv}$	28 $\mu\text{Sv}$
Knochenoberfläche	143 $\mu\text{Sv}$	47 $\mu\text{Sv}$	2142 $\mu\text{Sv}$	739 $\mu\text{Sv}$

tope durch Ingestion aufgenommen werden.

Ein Milligramm (mg) natürliches Uran hat eine Aktivität von 25 Bq (Tabelle 3). Wenn jährlich 20 Gramm Uran durch Düngung auf 1 Hektar Acker gebracht werden (Kratz u.a. 2007), ergibt das eine Deposition von 50 Becquerel pro Quadratmeter (Bq/m<sup>2</sup>). Unter der Annahme einer Verteilung in der Erde von 0,3 Meter Pflugtiefe und einer Bodendichte von 1,5 Kilogramm pro Kubikdezimeter oder Liter erhöht sich die Konzentration im Boden um jährlich 0,1 Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg). Das ist 0,2 Prozent im Vergleich zur ohnehin vorhandenen mittleren Urankonzentration im Boden, die auf 50 Bq/kg geschätzt wird (UNSCEAR 1982). Wenn diese Zusatzaktivität durch eine jährliche Regenmenge von 600 Millimeter völlig ausgespült wird, beträgt die Konzentration im Oberflächenwasser 83 Millibecquerel pro Liter (mBq/l). Sofern sich eine solche Konzentration im Trinkwasser durch Akkumulation einstellen würde, ergäbe sich nach ICRP (Tabelle 1) eine zusätzliche jährliche Effektivdosis von 7 Mikrosievert (µSv) für Kinder im 1. Lebensjahr (bei 250 Liter Jahresverbrauch) und 3 µSv für Erwachsene (bei 800 Liter). Für die Dosis der Knochenoberfläche (dort stellt sich die Maximaldosis bei Uraningestion im Körper ein) ergäbe sich entsprechend 143 µSv bzw. 47 µSv.

Wenn man die möglichen Strahlenschäden durch Uran in Folge von Düngung diskutiert, ist es jedoch erforderlich, auch die anderen Beiträge durch natürliche Radioaktivität zu betrachten. Thorium und seine Folgeprodukte spielen im Phosphatmineral keine Rolle (UNSCEAR 1988). Uran-238 befindet sich dort im radioaktiven Gleichgewicht mit seinen Folgeprodukten mindestens bis zum Radium-226 (Tabelle 4). Unter

diesen sind die langlebigen Alphastrahler von Bedeutung und von ihnen wird angenommen, dass sie wesentlich höhere Strahlenbelastungen erzeugen als Uran (Tabelle 5).

Die Konzentration der Radionuklide im Dünger außer Uran hängt natürlich auch von der Art der Aufbereitung des Phosphatminerals ab. Wenn man die Angaben des UNSCEAR 88-Reports übernimmt, ergeben sich die in Tabelle 6 aufgeführten jährlichen Dosisbeiträge. Der Report geht davon aus, dass sich Thorium-230 im Dünger mit Uran-238 im Gleichgewicht befindet, dass die Radium-226-Aktivität ein Viertel der von Uran-238 ist und <sup>210</sup>Po und <sup>210</sup>Pb jeweils mit <sup>226</sup>Ra im Gleichgewicht sind. Als höchste Dosis ergibt sich 2142 µSv = 2,1 mSv pro Jahr für die Knochenoberfläche des Säuglings.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Radioaktivität durch Düngung kontrolliert werden muss.

### Schlussfolgerungen

Die Erkenntnisse über Gesundheitsschäden durch abgereichertes Uran bilden nicht das einzige Beispiel, in dem Strahleneffekte nicht durch übliche Annahmen vorhersagbar sind. Die Uranbelastung der Umwelt durch Phosphatdünger sowie diejenige durch die anderen Radionuklide der Urankette erscheinen im Vergleich zum normalen Untergrund vernachlässigbar. Weil das Material jedoch physikalisch und chemisch bearbeitet wird, kann die biologische Verfügbarkeit und Wirkung ganz anders sein als mit dem naturbelassenen Mineral. Dieses muss insbesondere für die frühen Entwicklungsstadien beim Menschen untersucht werden.

Arruda-Neto, J.D., Manso Guevara, M.V., Nogueira, G.P., Saiki, M., Cestari, A.C. et al. 2004. Long-term accumulation of uranium in bones of Wistar rats as a function of intake dosages. *Radiat. Prot. Dosimetry* 112: 385-393.

Bertell, R. 2006. Depleted uranium: all the questions about DU and Gulf War syndrome are not yet answered. *Int. J. Health Serv.* 36: 503-520.

BEIR IV. 1988. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters. Nat. Academy Press, Washington D.C.

Darby, S.C., Whitley, E., Howe, G.R., Hutchings, S.J. & Kusiak, R.A. 1995. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J. Natl. Cancer Inst.* 87: 378-384.

Dupree-Ellis, E., Watkins, J., Ingle, J.N. & Phillips, J. 2000. External radiation exposure and mortality in a cohort of uranium processing workers. *Am. J. Epidemiol.* 152: 91-95.

ECRR 2006. European Committee on Radiation Risk. Busby, C.C. & Yablokov, A.V. (Eds.) Chernobyl, 20 years on. Health effects of the Chernobyl accident. Documents of the ECRR No 1. Green Audit Press, Castle Cottage, Aberystwyth SY23 1Z U.K.

Fairlie, I. 2005. Uncertainties in doses and risks from internal radiation. *Medicine, conflict and survival* 21: 111-126.

Fisenne, I.M., Perry, P.M. & Harley, N.H. 1988. Uranium in humans. *Radiat. Prot. Dosimetry* 24: 127-131.

Gu, G., Zhu, S., Wang, L., Yang, S. 2001. Irradiation of <sup>235</sup>uranium on the growth, behaviour and some biochemical changes of brain in neonatal rats. (In Chinese) *Wei Sheng Yan Jiu* 30 (5): 257-9.

Harrison, J.D., Leggett, R.W., Noßke, D., Paquet, F., Phipps, A.W., Taylor, D.M. & Métivier, H. 2001. Reliability of the ICRP's dose coefficients for members of the public, II Uncertainties in the absorption of ingested radionuclides and the effect on dose estimates. *Radiat. Prot. Dosimetry* 95: 295-308.

ICRP 1995. Int. Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 3. Ingestion dose coefficients. ICRP-Publ. 69. Ann. ICRP 25: No.1.

ICRP 2001. Int. Commission on Radiological Protection. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publ. 48, Ann. ICRP 31 No.1/3.

Jiang, T.-N., Lord, B.I., Hendry, J.H. 1994. Alpha particles are extremely damaging to developing hemopoiesis compared to gamma irradiation. *Radiat. Res.* 137: 380-384.

Kratz, S., Knappe, F. & Schnug, E. 2007. Uranium balances in agroecosystems. Int. Symposium „Loads and Fate of Fertiliser derived Uranium“, 4.-6. Juni. 2007 in Braunschweig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.

Leggett, R.W. 2001. Reliability of the ICRP's dose coefficients for members of the public. 1. Sources of uncertainty in the biokinetic models. *Radiat. Prot. Dosimetry* 95: 199-213.

Leggett, R.W. & Pellmar, T.C. 2003. The biokinetics of uranium migrating from embedded DU fragments. *J. Environ. Radioact.* 64: 205-225.

Lord, B.I., Mason, T.M., Humphreys, E.R. 1992. Age-dependent uptake and retention of <sup>239</sup>Pu: its relationship to haemopoietic damage. *Radiat. Prot. Dosimetry* 41: 163-167.

Mason, T. 1989. A study of the effects of perinatal plutonium contamination on the development of haemopoietic tissues. Manchester University, Ph. D. Thesis.

McGeoghegan, D. & Binks, K. 2000. The mortality and cancer morbidity experience of workers at the Springfields uranium production facility, 1946-95. *J. Radiol. Prot.* 20: 111-137.

Miller, A.C., Xu, J., Stewart, M., Brooks, K., Hodge, S., Shi, L., Page, N. & McClain, D. 2002. Observation of radiation-specific damage in human cells exposed to depleted uranium: dicentric frequency and neoplastic transformation as endpoints. *Radiat. Prot. Dosimetry* 99:275-278.

Pflugbeil, S., Paulitz, H., Clauben, A. & Schmitz-Feuerhake, I. 2006. Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl. 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe. IPPNW u. Ges. f. Strahlenschutz e.V. (Herausg.) 76 S.

Müller, C., Rericha, V. & Kubát, M. 1962. On the question of genetic effects of ionizing rays on the miners of Joachimsthal (In German). *Zentralblatt für Gynäkologie* 84: 558-560.

Mohner, M., Lindtner, M., Otten, H. & Gille, H.G. 2006. Leukemia and exposure to ionizing radiation among German uranium miners. *Am. J. Ind. Med.* 40: 238-248.

Morgan, A., Harrison, J. D. &

Stather, J.W. 1992. Estimation of embryonic and fetal doses from 239Pu. *Health Phys.* 63: 552-559.  
 NCRP Report No.128. 1998. National Council on Radiation Protection and Measurements: Radionuclide Exposure of the Embryo/Fetus. Bethesda.  
 Rericha, V., Kulich, M., Rericha, R., Shore, D.L. & Sandler, D.P. 2006. Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. *Environ. Health Persp.* 114: 818-822.  
 Ritz, B. 1999. Radiation exposure and cancer mortality in uranium processing workers. *Epidemiology* 10: 531-538.  
 Roscoe, R.J. 1997. An update of mortality from all causes among

white uranium miners from the Colorado Plateau Study Group. *Am. J. Ind. Med.* 31: 211-222.  
 Schröder, H., Heimers, A., Frenzel-Beyme, R., Schott, A. & Hoffmann, W. 2003. Chromosome aberration analysis in peripheral lymphocytes of Gulf War and Balkans War veterans. *Radiat. Prot. Dosimetry* 103: 211-219.  
 Shields, I.M., Wiese, W.H., Skipper, B.J., Charley, B. & Benally, L. 1992. Navajo birth outcomes in the shiprock uranium mining area. *Health Phys.* 63: 542-551.  
 Sikov, M.R. 1992. Hazards and risks from prenatal irradiation: emphasis on internal radionuclide exposures. *Radiat. Prot. Dosimetry* 41: 265-272.  
 Stather, J. W., Harrison, J. D.,

Kendall, G.M. 1992. Radiation doses to the embryo and fetus following intakes of radionuclides by the mother. *Radiat. Prot. Dosimetry* 41: 111-118.  
 Tomáček, L., Darby, S., Swerdlow, A.J., Placek, V., Kunz, E. 1993. Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. *Lancet* 341: 919-923.  
 Tomáček, L., Darby, S., Swerdlow, A.J., Placek, V., Kunz, E. 1994. Mortality in uranium miners in west Bohemia. *Occup. Environ. Med.* 51: 308-315.  
 UNSCEAR 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Ionizing radiation: sources and biological effects. Report to the Gene-

ral Assembly, UN, New York.  
 UNSCEAR 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly, UN, New York.  
 Viglino, P., Scarpa, M., Coin, F., Rotilio, G. & Rigo, A. 1986. Oxidation of reduced Cu, Zn superoxide dismutase by molecular oxygen. A kinetic study. *Biochem.* 237: 305-308.  
 Wilkinson, G.S. 1985. Gastric cancer in New Mexico counties with significant deposits of uranium. *Arch. Environ. Health* 40: 307-312. ●

## Atomwirtschaft

# Futter für Dimona

## Uran aus Dünger für Israels geheimes Atomprogramm

Von Inge Lindemann

**Phosphatlagerstätten in der Wüste Negev liefern genug Uran für Israels Brennelemente und Bomben<sup>1</sup>. Die Düngemittelfabrik Rotem Amfert Mishor verarbeitet das Rohphosphat zu Dünger und speist vermutlich den nahegelegenen Nuklearkomplex Dimona mit spaltbarem Uran<sup>2</sup>. Der Internationalen Atomenergieagentur IAEA in Wien liegen angeblich keine Erkenntnisse zu Israels Atomanlagen vor. Die globale Atomüberwachungsbehörde unterstützt ihre Mitgliedstaaten seit 50 Jahren bei der Weiterverbreitung der Atomtechnologie, auch bei der Urangewinnung aus Rohphosphat.**

Offiziell zählt Israel nicht zu den Atomwaffenstaaten und das Land unterzeichnete auch nicht den Atomwaffensperrvertrag (NPT). Als Mitglied der Internationalen Atomener-

gieagentur hat Israel jedoch Zugang zu zivil-militärischen Nukleardaten und beteiligt sich seit Jahrzehnten an technischen Kooperationen. Angaben zu Art und Inhalt der bilateralen und internationalen Zusammenarbeit unterliegen genauso der Geheimhaltung, wie nähere Informationen zu den nuklearen Forschungszentren Soreq NRC und Dimona NRCN, dem Nuclear Research Center NEGEV. Betreiberin der israelischen Atomanlagen ist die am 13. Juni 1952 gegründete israelische Atomenergiekommission (IAEC), die direkt dem israelischen Premierminister untersteht<sup>3</sup>.

### Neues AKW für Israel in der Negev-Wüste

Israel besitzt offensichtlich Atomwaffen<sup>4</sup> und will jetzt zum Schutz des Klimas in die Atomenergienutzung einsteigen. Geplant ist ein Atomkraftwerk zur Stromerzeugung in der Wüste Negev, wo Israels „geheime“ Atomanlagen stehen. Israel verfügt über keine allgemeinen gesetzli-

chen Regelungen zur Handhabung von Nuklearmaterial, des Verbleibs radioaktiver Abfälle und des Umgangs mit der Strahlenbelastung. Dies wird anlagenspezifisch nach internationalen Standards geregelt, heißt es bei der IAEC in Tel Aviv. Der radioaktive Müll aus den jahrzehntelangen nuklearen „Forschungsaktivitäten“ in Medizin und Technik liegt zwischen Anlagen zum Phosphatabbau, Düngerherstellung, Uranverarbeitung und Bombenbau in der Negev-Wüste<sup>5</sup>.

Wie der Direktor der IAEC, Gideon Frank, auf der IAEA Vollversammlung im Jahr 2004 berichtete, ist Israel der Nuclear Suppliers Group (NSG) beigetreten und hat die Kontrolle von chemischen, biologischen und nuklearen Exporten und Importen verschärft<sup>6</sup>.

Seit den 1970er Jahren strebe Israel die Nutzung der Atomenergie an, heißt es beim staatlichen Energieversorger<sup>7</sup>. Im Februar dieses Jahres war es dann soweit: Uri Ben-Non von der Israel Electrical Corporation gab bekannt, dass Israel den Bau eines 1.000 Megawatt Reaktors zur Stromerzeugung plane<sup>8</sup>. Der Standort sei gesichert: die Negev Wüste. Zur Realisierung des Projektes soll die bisher staatliche Stromgesellschaft privatisiert werden. Bei der IAEA will

man zu Israels Atomprogramm nicht Stellung nehmen.

### Israel und die Bombe

Anlässlich seines ersten Deutschlandbesuches im Dezember 2006 sorgten die Äußerungen von Israels Ministerpräsident Ehud Olmert für Irritationen<sup>9</sup>. Mit Anspielungen auf einen möglichen Atomwaffenbesitz seines Landes erweckte er den Eindruck, Israel stehe in einer Reihe mit den Atommächten USA, Frankreich und Rußland. Der Atomwaffenbesitz Israels gilt als eines der am schlechtesten gehüteten Geheimnisse<sup>10</sup>. Dennoch brach Olmert mit seiner Interviewaussage ein Tabu der israelischen Politik, nämlich die Produktion von Nuklearwaffen nicht offiziell zu bestätigen<sup>11</sup>. Zudem gab Olmert eine Rechtfertigung für einen israelischen Atomwaffenbesitz, indem er ausdrücklich darauf verwies, dass sein Land demokratisch und friedlich sei, während der Iran gedroht habe, Israel zu vernichten.

Also bleibt kein Missverständnis. Israel spielt auch militärisch die nukleare Karte und verscherzt es sich trotzdem nicht mit seinen Bündnispartnern, die von der israelischen Geheimniskrämerei in der Vergangenheit profitierten. Dazu zählen besonders