

## Pest oder Cholera? – Uran aus Düngern über den Boden ins Trinkwasser oder in Atomstrom?

Mit Düngemitteln wird jedes Jahr die gleiche Menge Uran auf deutsche Äcker gestreut, wie in dem maroden Atom-müll-Lager Asse abzusaufen droht. Das mit Phosphor-Düngern auf die Äcker gestreute giftige Radionuklid ist bereits im Trinkwasser zu finden – ein Problem, das die Politik vehement verneint. Kritische Stimmen sollen mundtot gemacht werden.

Saubere, weitgehend Uran-freie Dünger herzustellen ist technisch kein Problem, aber mit der Gewinnung von Kernbrennstoff verbunden. Das rechnet sich wirtschaftlich sogar rentabel, wenn aus dem Dünger abgetrenntes Uran als Kernbrennstoff verstromt würde und die Folgekosten der Atomkatastrophen unberücksichtigt bleiben: Pest oder Cholera?

Der nachfolgende Beitrag von Ewald Schnug erläutert das Problem und Lösungsoptionen. Th.D.

### Umweltradioaktivität

## Uran in Phosphor-Düngemitteln und dessen Verbleib in der Umwelt

Von Ewald Schnug\*

*in memoriam Inge Lindemann, 3. Mai 1958 - † 4. August 2011*

Uran (U) ist ein natürlich vorkommendes Schwermetall, das biologische Systeme sowohl durch Radioaktivität, als auch durch chemische Toxizität schädigen kann. In Düngemitteln kommt Uran in höheren Konzentrationen vornehmlich in Phosphaten sedimentären Ursprungs mit Konzentrationen von 2 bis 200 Milligramm Uran pro Kilogramm (mg/kg U) vor. Die deutsche Landwirtschaft hat, konservativ geschätzt, von 1951 bis 2011 allein mit mineralischen Phosphor-Düngern bis zu 14.000 Tonnen Uran verbraucht<sup>1</sup>, was einer kumulativen Befruchtung der Landwirtschaftsflächen von 1 Kilogramm Uran pro Hektar

(kg/ha U) entspricht<sup>2</sup>. Derzeit werden in Deutschland jährlich, je nach Berechnungsansatz noch etwa 114 bis 228 Tonnen Uran über mineralische Phosphor-Dünger auf landwirtschaftliche Flächen verbracht<sup>3</sup>.

Auf verschiedene Veranlassung hin<sup>4,5,6,7</sup> gibt nachfolgender Bericht eine Zusammenfassung des aktuellen Wissensstandes und neuester Forschungsergebnisse über Uran in Düngemitteln, dessen Verbleib im Ökosystem und hier insbesondere zur Akkumulation<sup>8</sup> in Böden.

### Toxizität von Uran

Uran ist kanzerogen und mutagen. Die chemische Toxizität von Uran wird dabei erheblich höher eingeschätzt als seine radioaktive Wirkung<sup>9,10</sup>. Nimmt man die MAK-Werte als Bezugsgröße, liegt diese zwischen Quecksilber (Hg) und Nickel (Ni)<sup>11</sup>. In der Literatur wird eine verstärkt

DNA-schädigende Wirkung von Gammastrahlung bei Anwesenheit von Uran berichtet<sup>12</sup>, was auf eine synergistische Beeinflussung beider Schadfaktoren hinweist. Diese Kombinationswirkung wird auf den photoelektrischen Effekt zurückgeführt, wobei an die Phosphatgruppen der DNA gebundenes Uran (energetische) Gammastrahlung aus der Umgebung absorbiert, die über die Freisetzung von Sekundärelektronen (Betastrahlung) die originäre Alphastrahlung des Uran durch zusätzliche Partikelstrahlung ergänzt und dadurch die Radiotoxizität von Uran mehr als nur additiv erhöht<sup>13</sup>.

Aus den ENVIRHOM Studien<sup>14</sup> geht hervor, dass schon bei Uran-Konzentrationen von mehr als 10 Mikrogramm pro Liter ( $\mu\text{g/L}$ ; das entspricht dem deutschen Uran-Grenzwert für Trinkwasser<sup>15</sup>) aquatische Organismen Reaktionen auf oxidativen Stress zeigen und Gentoxizität auftreten kann. Neben Leukämie als Folge erhöhter Uran-Belastungen über den Wasserpfad<sup>16</sup> wird in der Literatur auch eine östrogene Wirkung von Uran beschrieben<sup>17</sup>. Bemerkenswert ist weiterhin, dass die Toxizität von Uran durch Cadmium (Cd) synergistisch verstärkt wird. Unbeachtet bleibt in diesem Kontext bislang immer noch die erheblich größere radiologische und chemische Toxizität der Zerfallsprodukte von Uran (insbesondere Polonium (Po), Radium (Ra) und Radon (Rn))<sup>18</sup>.

### Uran in Böden

Der mittlere Median der Uran-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Oberböden in Deutschland beträgt 0,5 bis 3,2 mg/kg U<sup>19</sup>. In einer deutschlandweiten Übersichtskarte zu Uran in Ober- und Unterböden finden sich tendenziell höhere Uran-Gehalte in Oberböden im Vergleich zu Unterböden. Bemerkenswert ist hier insbesondere der Unterschied der

Differenzen der Medianwerte von Böden unter Acker und Forst von 0,15 mg/kg U. Dieser Wert stimmt insbesondere für Norddeutschland sehr gut mit den Angaben anderer Forschergruppen überein<sup>20,21</sup>.

Im Vergleich zu anderen agrarrelevanten Schwermetallen wie zum Beispiel Cadmium (Cd) und Zink (Zn) sind die in landwirtschaftlich genutzten Böden vorkommenden Verbindungen von Uran unter oxidierenden Bedingungen und insbesondere bei Anwesenheit von Carbonationen mobil<sup>22,23,24,25,26</sup>.

In deutschen Ackerböden finden sich viermal höhere Mengen an mobilem, extrahierbarem Uran als in Forstböden<sup>21,22</sup>. In Finnland wird ebenfalls Akkumulation von Uran in Ackerböden auf Phosphor-Düngung zurückgeführt<sup>27</sup>.

### Uran in Düngemitteln

Unter den Düngemitteln enthalten alle Typen mit mineralischer Phosphor-Komponente Uran, wobei die Bandbreite der Konzentrationen, je nach Herkunft des Ausgangsmaterials, mit weniger als 1 bis 200 mg/kg U erheblich ist. Entgegen anderslautenden Behauptungen ist kein Trend abnehmender Uran-Gehalte in Düngemitteln als Folge der Ende 1984 durch die Industrie erklärten freiwilligen Selbstbeschränkung des Cadmium-Gehaltes durch vermehrte Verwendung magmatischer Rohphosphate festzustellen (siehe auch Tabelle 1). In Düngemitteln mit mineralischer Phosphor-Komponente aus den Jahren 1974 bis 1984 wurden sogar tendenziell geringere Uran-Gehalte als in solchen aus dem Zeitraum 1995 bis 2005<sup>28</sup> gefunden.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) unterstützten Gemeinschaftsprojektes des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der

\* Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Ewald Schnug; Präsident des Internationalen Wissenschaftlichen Zentrums für Düngemittel (CIEC), Mitglied der Fakultät für Lebenswissenschaften der Technischen Universität Braunschweig, Pockelsstraße 14, D-38106 Braunschweig, Germany, E-mail: e.schnug@tu-braunschweig.de

Landwirtschaft (KTBL) und des Julius Kühn-Bundesforschungsinstituts für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI-PB) <sup>1</sup> wurden von der Düngemittelverkehrskontrolle der Länder 96 Proben gezogen. Davon wiesen: 19 Prozent einen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt von weniger als 5 Prozent auf, wovon wiederum 11 Prozent einen kennzeichnungspflichtigen Cadmium-Gehalt von über 1 Milligramm Cadmium pro Kilogramm (mg/kg Cd) aufwiesen und 6 Prozent oberhalb des Grenzwertes von 1,5 mg/kg Cd lagen. Von den verbleibenden 81 Prozent mit P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalten von mehr als 5 Prozent, lagen 23 Prozent unterhalb der Kennzeichnungsgrenze von 20 mg Cd je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 48 Prozent oberhalb des Grenzwertes von 50 mg Cd je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Die wesentlichen Kennwerte der neu untersuchten Düngemittel mit einem P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt von mehr als 5 Prozent, sowie die Ergebnisse von vergleichbaren Untersuchungen, sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Die mittleren Uran-Gehalte derselben Dünger betragen (in Klammern zum Vergleich Angaben für deutsche Produkte <sup>33</sup>): Triple-Super 121 (106) mg/kg U, NP-Düngern 66 (27) mg/kg U, PK-Düngern 77 (82) mg/kg U, NP-Düngern 66 (27) mg/kg U und in weicherdigem Rohphosphat 55 (65) mg/kg U und lagen damit im Mittel 26 Prozent über den in der Literatur berichteten Werten. Zwischen den Cadmium- und Uran-Gehalten je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> besteht zwar eine signifikante Korrelation <sup>34</sup>, jedoch ist das konstante Glied der Regression mit Werten zwischen 86 und 106 so hoch, dass selbst bei einem theoretisch Cadmium-freien Düngemittel P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-bezogene Uran-Gehalte zu erwarten sind, die weit über den weiter unten vorgeschlagenen Grenzwerten liegen.

Das Ergebnis der Tabelle 1 findet sich auch in Proben-

Tabelle 1: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cd und U-Gehalte in Düngemitteln mit einem P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt größer als 5 Prozent, gehandelt in Deutschland in 2007 (n=78) <sup>1,29</sup> sowie Mittelwerte aus Dittrich und Klose (2008) <sup>30</sup>, Leiterer (2011) <sup>31</sup> und Ludewig (2012) <sup>32</sup>

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Cd (mg/kg)	U (mg/kg)	mg Cd pro kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg U pro kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Mittelwert*	22,8	12,0	61,3	47,1	283
Median	17,0	7,40	39,8	50,2	264
Minimum	5,00	0,11	0,73	0,24	6,39
Maximum	49,0	34,8	206	107	1713
Perzentile					
25	10,8	2,89	11,7	18,0	79,8
50	17,0	7,40	39,8	49,9	264
75	40,0	20,2	87,4	67,1	402
<hr/>					
Gewichtete Mittelwerte aus Dittrich und Klose (2008) (n=193)**	25,8	9,43	63,3	37,0	245
<hr/>					
Gewichtete Mittelwerte aus Leiterer (2011) und Ludewig (2012) (n=16)***	8,20	1,47	25,7	17,2	274

\* von 78 Proben wiesen 30% einen kennzeichnungspflichtigen Cd-Gehalt auf, 17% lagen über dem Grenzwert.

\*\* von 193 Proben wiesen 41% einen kennzeichnungspflichtigen Cd-Gehalt auf, 17% lagen über dem Grenzwert.

\*\*\* von 16 Proben wiesen 50% einen kennzeichnungspflichtigen Cd-Gehalt auf, 0% lagen über dem Grenzwert.

kollektiven aus anderen Ländern, wie zum Beispiel Brasilien, wo in 79 Düngerproben mit einem mittleren P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt von 30,1 Prozent im Mittel 18,6 mg/kg Cd (61,5 mg Cd pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) und 70,6 mg/kg U (248 mg U pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gefunden wurden <sup>35</sup>.

### Akkumulation von Uran aus Düngemitteln in Böden

Je nach Modellansatz beträgt der mittlere jährliche Nettoeintrag an Uran durch Düngemittel zwischen 2,8 Gramm pro Hektar (g/ha) (Phosphor nur organisch nach GAP <sup>36</sup>) bis 15 g/ha (Phosphor nur mineralisch nach GAP <sup>37</sup>). Vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der ehemaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode wurden 7 Phosphor-Dauerdüngungsversuche in Deutschland auf die Akkumulation von Uran untersucht <sup>38</sup>. In allen Versuchen konnte eine mit dem Aufwand an Phosphor-Düngern korrelierte Zunahme des Uran-

Gehaltes im Oberboden festgestellt werden, wobei sich eine mittlere Akkumulationsrate von 3,7 Mikrogramm pro Kilogramm und Jahr (µg/kg·a) mit einer Bandbreite von 1 µg/kg·a bis 15 µg/kg·a ergibt. Letztere stimmt sehr gut mit den 14,5 µg/kg·a für die Dauerdüngungsversuche in Johnston Castle/Irland überein <sup>39</sup>.

Im Vergleich dazu liegen die aus Neuseeland und Australien berichteten Akkumulationsraten mit 19 bis 37 µg/kg·a erheblich höher <sup>40,41,42</sup>. Dies erklärt sich weniger über höhere Phosphor-Düngermengen und höhere Uran-Konzentrationen in den dort eingesetzten Düngemitteln als vielmehr über geringere Auswaschungsraten aus den Böden.

Aus den aus der Phosphor-Bilanz berechneten Uran-Einträgen wäre rechnerisch für deutsche Böden eine Akkumulationsrate von 6 µg/kg·a Uran zu erwarten gewesen und eine mittlere Zunahme der Gehalte in Oberböden von 0,32 mg/kg Uran. Bezogen auf die heutigen mittleren

Mediane der Uran-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Oberböden in Deutschland (0,5-3,2 mg/kg U) <sup>19,21</sup> würde dies bedeuten, dass zwischen 5 und 15 Prozent des heute in landwirtschaftlich genutzten Böden vorhandenen Urans bereits aus der Düngung entstammen <sup>1,43</sup>. Uran ist damit, relativ zum natürlichen Hintergrund, das am stärksten aus Düngemitteln akkumulierte Schwermetall.

Rogasik et al. (2008) bestimmten für diese Differenz in deutschen Dauerdüngungsversuchen mit Phosphor (Variante Phosphor-Düngung nach Bedarf) im Mittel 0,13–0,20 mg/kg Uran <sup>44</sup>. Als wesentliche Ursache für diese konsistent in sämtlichen Versuchen zu beobachtende Differenz wird der Austrag von Uran aus dem Boden mit Sickerwasser verantwortlich gemacht (s.u.) <sup>45,46</sup>.

### Transfer von Uran in die Nahrungskette

Der Transferfaktor für Uran aus Böden in landwirtschaftli-

che Kulturpflanzen ist mit im Mittel 0,05 vergleichbar dem von Arsen (As), Cobalt (Co), Quecksilber (Hg) und Blei (Pb)<sup>47</sup>.

Die Belastung der Nahrungskette über den Pfad Boden/Pflanze wird von den WissenschaftlerInnen allgemein und insbesondere in Relation zur Belastung über Trinkwasser (s.u.) als unkritisch bewertet. Insgesamt liegt der Entzug mit Ernteprodukten deutlich unter 0,5 g/ha Uran<sup>48,49</sup> und rangiert damit in der Größenordnung der atmosphärischen Zufuhr<sup>2</sup>. Die geringe Aufnahme durch Pflanzen und die Tatsache, dass es keine bekannten pflanzlichen Uran-Hyperakkumulatoren gibt, schließt auch die Möglichkeit der Phytoremediation von mit Uran belasteten Böden grundsätzlich aus<sup>50</sup>.

Den größten Beitrag an der täglichen Uran-Aufnahme des Menschen hat das in flüssigen Nahrungsmitteln enthaltene Uran: Unter Standardbedingungen (2000 Kilokalorien pro Tag (kcal/d), 2 Liter Flüssigkeitsaufnahme) liegt der Beitrag deutschen Leitungswassers zur Gesamt-Uran-Aufnahme bei 65 Prozent. Besonders hohe tägliche Zufuhren für Uran ergaben sich für einen Fleischkonsumenten, der hoch mineralisierte Flaschenwasser bevorzugt. Der Anteil des Trinkwassers an der täglichen Gesamtaufnahme an Uran erreicht dabei bis zu 95 Prozent<sup>51</sup>.

Die relative Verteilung der Uran-Gehalte in deutschen Mineral- und Leitungswässern ist mit 1,9 Prozent bzw. 2,3 Prozent der Proben mit Uran-Gehalten größer als 2 Mikrogramm pro Liter ( $\mu\text{g/L}$ ) und 15,1 Prozent bzw. 16,1 Prozent mit Uran-Gehalten größer 10  $\mu\text{g/L}$  annähernd gleich<sup>52</sup>. Die anteilmäßig höchsten Uran-Belastungen von Leitungswässern finden sich in Sachsen-Anhalt und Thüringen, die geringsten in Schleswig-Holstein<sup>53</sup>.

Tabelle 2: **Pearson Korrelationskoeffizienten R für die Beziehung zwischen Nitrat (Stickstoff N) und Uran in Leitungswässern aus Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg (Schäfer et al., 2007)**<sup>64</sup>

Region	N	R
Hessen	75	0,47
Rheinland-Pfalz (Rhl.-Pf)	176	0,64
Rhl.-Pf: Wasserversorgung Rheinessen GmbH	16	1,00
Rhl.-Pf. Wasserwerk Zweckverband Seebachgebiet	19	0,95
Baden Württemberg (BW)	64	0,76
BW: Großraum Heidelberg	53	0,93

Bei Leitungswässern konnten Smidt et al. (2011)<sup>53</sup> außer den prozentualen Probenanteilen auch den Anteil der betroffenen Populationen ermitteln: demnach werden in Deutschland derzeit bis zu 2 Millionen Einwohner mit Leitungswasser versorgt, das einen Uran-Gehalt von mehr als 10  $\mu\text{g/L}$  aufweist.

#### Eintrag von Uran aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Grund- und Oberflächenwässer

Rechnerisch sind im Mittel von dem in der Vergangenheit durch Düngung zugeführten Uran etwa 0,14 mg/kg oder 420 g/ha im Oberboden landwirtschaftlicher Nutzflächen nicht mehr wiederzufinden (s.o.). Der besondere Chemismus von Uran-Verbindungen bedingt, dass sie gerade unter den für landwirtschaftliche Nutzung typischen bodenchemischen Bedingungen ihre größte Mobilität aufweisen und dementsprechend mit Düngemitteln in Böden verbrachtes Uran in tiefere Bodenschichten verlagert und letztlich auch in Grund- und Oberflächenwässer ausgewaschen werden kann. Wegen seiner deutlich höheren Löslichkeit ist Uran aus Kontaminationen wie Düngemitteln zudem kritischer zu bewerten als Uran im originären Mineralbestand des Bodens<sup>54,55</sup>.

Mittlerweile gibt es, ergänzend zu zahlreichen Beispielen aus der Literatur (siehe bei<sup>56</sup> und<sup>57,58</sup>), auch für Deutschland fundierte Hinweise dar-

auf, dass mit der Düngung ausgebrachtes Uran zumindest oberflächennahes Grundwasser und Trinkwasser belastet:

In deutschen Fließgewässern aus landwirtschaftlich genutzten Gebieten wurden im Vergleich zu Forst etwa 10-fach erhöhte Uran-Konzentrationen (0,08 vs. 0,8  $\mu\text{g/L}$  Uran) gefunden, dessen anthropogener Ursprung mit erhöhten Faktorwerten des Uran-Selen-Magnesium(U-Se-Mg)-Faktors belegt wird<sup>59</sup>. Dementsprechend werden insbesondere die Gehalte von größer 2  $\mu\text{g/L}$  U in Fließgewässern aus den Loessgebieten des östlichen und nördlichen Harzvorlandes, des Thüringischen Beckens und der nördlichen Teile des oberen Rheintals südlich von Mainz und der Regionen nördlich von Stuttgart sowie in Teilen Mecklenburg-Vorpommerns auf landwirtschaftlichen Einfluss zurückgeführt<sup>59</sup>. Im Grundwasser unter Acker wurden im Vergleich zu Forst 3- bis 17-fach höhere Uran-Gehalte gefunden<sup>60,61,62</sup>.

Auf eine anthropogene Beeinflussung der Uran-Gehalte im Trinkwasser deuten sowohl der hohe Beitrag der leicht mobilen und in großem Umfang durch Düngung eingetragenen Elemente Bor (B), Magnesium (Mg) und Kalium (K) in multiplen Regressionsrechnungen zur Erklärung des Uran-Gehaltes in deutschem Leitungswasser hin<sup>63</sup>, als auch eine enge Beziehung zwischen Nitrat und Uran in Grund- und Trinkwasser<sup>64,65</sup> (siehe auch Tabelle 2).

Für den kausalen Zusammenhang zwischen Nitrat und Uran gibt es drei mögliche Hypothesen:

1. Uran aus Düngemitteln wird in Ackerböden als Uranyl-Carbonat-Komplex<sup>66</sup> deutlich schneller als andere Schwermetalle mit dem Perkolationswasser in tiefere Bodenschichten ausgewaschen und ähnelt daher in seiner Verlagerungsdynamik sehr dem Nitrat.

2. In Gebieten ohne intensive Veredlungswirtschaft (Viehhaltung) ist Nitrat im Grund- bzw. Trinkwasser ein direkter Indikator für die Intensität der Düngung und zwar auch mit Phosphor (und damit dem Eintrag an Uran). Eine weitere technische Kopplung der beiden Nährstoffe N (Stickstoff) und P (Phosphor) ergibt sich dabei aus der Bevorzugung von NP- und NPK-Düngern bei der mineralischen Düngung. Der Anteil des mit NP- und NPK-Düngern ausgebrachten Phosphor an der Gesamtmenge an mineralisch gedüngtem Phosphor hat im Zeitraum 1979/80 bis 2007/08 von 42 Prozent auf 76 Prozent zugenommen<sup>67</sup>.

3. Im Boden immobiles Uran (IV) wird durch Nitrat zu Uran (VI) oxidiert und in der Folge mit Perkolationswasser ausgewaschen<sup>68</sup>.

Exemplarisch ist in der Tabelle 3 der Zusammenhang zwischen Uran- und Nitratgehalten im Grundwasser an Hand von Daten aus benachbarten Flach- (7 bis 9 Meter) und Tiefbrunnen (70 bis 100 Meter) zweier süddeutscher Wasserwerke dargestellt. Die Regionen haben keine erhöhten geogenen Uran-Hintergründe<sup>19</sup>.

Konservative Modellrechnungen kommen zu dem Ergebnis, dass bei einem jährlichen Eintrag von 9 g/ha U unter den Klima- und Bodenbedingungen Nordbelgiens nach etwa 50 Jahren der „Durchbruch“ von Uran in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser erfolgt. Die

Gleichgewichtskonzentration für diese Faktorenkombination zu diesem Zeitpunkt wird auf 22 µg/L U geschätzt<sup>69</sup>. Dies wiederum bedeutet, dass je nach Alter und Durchlässigkeit des Systems, sich Uran-Konzentrationen in dieser Größenordnung vollständig durch den Einfluss der Düngung erklären ließen.

Nach einer ersten vorsichtigen Schätzung, basierend auf den Daten von Smidt et al. (2011)<sup>70</sup> an Hand der Uran-Gehalte in 369 Wässern aus geologisch unbelasteten Gebieten des Norddeutschen Flachlandes, könnten konservativ geschätzt (Konzentrationen oberhalb 0,5 µg/L) ein Viertel bis zwei Drittel („worst case“-Szenario, Konzentrationen oberhalb 0,1 µg/L<sup>71</sup>) aller Trinkwasserproben in dieser Region bereits mit Uran aus Düngemitteln belastet sein (11 Prozent mit mehr als 2 µg/L; 0,5 Prozent mit mehr als 10 µg/L; 0,3 Prozent mit mehr als 20 µg/L).

Der geschätzte Anteil von Uran im Grundwasser aus der Düngerfracht hängt grundsätzlich von der regional sehr unterschiedlichen geogenen Hintergrundbelastung ab. In Regionen mit sehr niedrigem natürlichem Hintergrund kann dieser aber zu mehr als 90 Prozent des im Grundwasser zu findenden Urans betragen.

Eine direkte Messung des düngerbürtigen Uran-Anteils in Grund- und Oberflächengewässern ist aus methodischen Gründen äußerst schwierig, denn wie für primordiale Radionuklide typisch befinden sich bei Uran alle radioaktiven Isotope im säkularen Equilibrium und ergeben so keine ursprungs- oder genesetypischen Isotopensignaturen<sup>28</sup>.

Bei der Trinkwasseraufbereitung kann Uran ohne größere technische Schwierigkeiten entfernt werden. Die geschätzten Kosten für die Entfernung von 1 mg Uran aus 1 Kubikmeter Wasser liegen

Tabelle 3: **Uran- und Nitratgehalte in Flach- und Tiefbrunnen zweier süddeutscher Wasserwerke in 2009.** (Betreiberangaben beim Autor, 2009)

Ort	Brunnenart	Uran (µg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)
Straubing	Flach	2,8	40,0
	Tief	< 0,2	2,8
Rehlingen	Flach	10	22,0
	Tief	1,6	8,2

derzeit bei 0,25 Cent<sup>72</sup>. Basierend auf den Daten von Smidt et al. (2011)<sup>53</sup> werden in Deutschland mit Trinkwasser den Aquiferen jährlich 2,1 Tonnen Uran entnommen.

### Entfernung von Uran aus Phosphor-Düngern und die energetische und ökonomische Bedeutung von Uran in Phosphor-Düngern

Technisch ist die Entfernung von Uran während der Düngemittelherstellung kein Problem<sup>73</sup>. Sie wurde bis Ende der 1990er Jahre in Europa und den USA durchgeführt, wird derzeit weltweit noch in einigen Anlagen praktiziert<sup>74</sup> und erlebt neuerlich eine Renaissance, wie die von Frankreich Ende 2009 mit Marokko geschlossenen Verträge über die Gewinnung von Uran aus dessen gewaltigen Rohphosphatvorkommen beweisen<sup>75</sup>. Da Rohphosphate immer fein vermahlen und durch Säureaufschluss in pflanzenverfügbares Orthophosphat überführt werden müssen, entfallen bei der Gewinnung von Nuklearbrennstoff als Nebenprodukt der Phosphor-Dünger-Herstellung das ansonsten so gewichtige Argument, dass mit abnehmender Uran-Konzentration im Erz die Kosten der Brennstoffherstellung und auch der „LifeCycle“-Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Bilanz ansteigen<sup>76,77,78</sup>.

Die energetische Nutzung von Kohle steht übrigens im gleichen Dilemma wie die landwirtschaftliche Nutzung von Phosphaten: Kohlen und deren Flugaschen weisen ähnlich hohe Uran-Gehalte wie Rohphosphate auf<sup>79</sup>. Im Hinblick auf knapp werdende Uran-

Vorräte wird mittlerweile sogar die Extraktion von Uran aus Flugaschen der Kohleverbrennung in Angriff genommen<sup>80</sup>.

Bedingt durch den weltweit rapide steigenden Bedarf an Uran für Kernbrennstoffe bei abnehmender Nachlieferung aus der Umnutzung von Uran aus Kernwaffen<sup>81</sup> und dem dadurch hohen Preis für Uran an den Weltmärkten<sup>82</sup> ist anzunehmen, dass die hierfür notwendigen Aufwendungen bei der Düngemittelherstellung langfristig nicht zu Lasten der Düngemittelpreise gehen. Das in Rohphosphaten enthaltene Uran stellt einen erheblichen wirtschaftlichen Wert dar: Selbst die derzeit im Mittel der letzten 10 Jahre mit Phosphor-Düngern in Deutschland ausgebrachte jährliche Uran-Menge reicht immer noch aus, den Energiebedarf von 2,4 Millionen mittleren Haushalten zu decken<sup>83</sup> und ist äquivalent dem Brennwert des Holzes von 5,6 Millionen Hektar Wald<sup>84</sup>. Die Verwendung mineralischer Phosphor-Dünger, denen bei der Herstellung Uran entzogen wurde<sup>85</sup>, ist daher quasi ein „ungewöhnlicher Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz“, der monetär in Anlehnung an die aktuelle CO<sub>2</sub>-Steuer für PKW auf etwa 1,8 Euro/kg Phosphor zu beziffern ist<sup>86</sup>. Die entsprechende Vergütung ihres Einsatzes in Form eines CO<sub>2</sub>-(Klima-)Bonus könnte daher eine erhebliche Motivationshilfe für die landwirtschaftliche Praxis darstellen.

### Fazit

Die deutsche Landwirtschaft hat, konservativ geschätzt,

von 1951 bis 2011 allein mit mineralischen Phosphor-Düngern<sup>1</sup> bis zu 14.000 Tonnen Uran verbracht, was einer kumulativen Befruchtung der landwirtschaftlichen Flächen von 1 Kilogramm Uran pro Hektar entspricht<sup>1</sup>. Derzeit werden jährlich, je nach Berechnungsansatz noch etwa 114 bis 228 Tonnen Uran über mineralische Phosphor-Dünger auf landwirtschaftliche Flächen verbracht<sup>1</sup>.

Dieses wird sowohl im Boden akkumuliert als auch wieder ausgewaschen, von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nur in sehr geringem Umfang über die Wurzeln aufgenommen und stellt daher in erster Linie eine unmittelbare Gefahr für die Qualität des Grund- und Trinkwassers dar.

Düngungsbedingt können schon jetzt Uran-Gehalte im Trinkwasser auftreten, die nicht nur deutlich über dem für die besondere Eignung für die Zubereitung von Säuglingsnahrung gesetzlich festgeschriebenen Grenzwert von 2 µg/L U liegen, sondern durchaus auch den Bereich des seit 11. November 2011 geltenden Grenzwertes für Uran in Trinkwasser von 10 µg/L<sup>15</sup> und den Maßnahmewert des UBA von 20 µg/L U erreichen können. Um langfristig eine weitere Akkumulation von Uran in landwirtschaftlich genutzten Böden zu verhindern und zum Schutz von Wasserkörpern ist daher zukünftig der Uran-Eintrag durch mineralische Phosphor-Dünger auf die Höhe des Pflanzenentzuges zu begrenzen (Ekarth und Schnug, 2008)<sup>87</sup>. Vorgeschlagen wird ein Entzug in Höhe von 1 Gramm pro Hektar und Jahr Uran anzusetzen und den Uran-Gehalt in Phosphor-Düngern wie folgt zu regeln: Kennzeichnung ab 20 mg/kg Uran je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Grenzwert 50 mg/kg Uran je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (entsprechend der Regelung bei Cadmium). Für Wasserschutzgebiete sind gegebenenfalls stringenter Maßnahmen

zu ergreifen<sup>88</sup>.

Finanziell müssen sich aus der Entfernung des Urans aus mineralischen Phosphor-Düngern für die Landwirtschaft keine erhöhten Kosten ergeben, wenn der Wert des Urans als Kernbrennstoff und die daraus resultierende Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission und die Vermeidung der Kosten für die Entfernung des Urans aus Trinkwasser<sup>89</sup> in Ansatz gebracht werden. Im Gegenteil entsteht bei konsequenter Nutzung des Urans aus der Aufbereitung von Rohphosphaten zu Phosphor-Düngern ein Mehrwert, der deutlich über den derzeitigen Düngemittelpreisen liegt und einen wirkungsvollen Beitrag zum Klimaschutz leisten könnte<sup>90</sup>.

Um dem geneigten Leser das Groteske der Situation noch schärfer vor Augen zu führen lohnt sich ein Zahlenspiel mit den Sanierungskosten der Asse: die dort (geschätzt) lagernde Menge an Uran entspricht in etwa dem, was jährlich mit Phosphor-Düngern auf Äcker verbracht wird<sup>91</sup>: würde nun das Uran in der Asse binnen eines Jahres gleichmäßig auf Deutschlands landwirtschaftliche Nutzfläche verteilt, im gleichen Jahr auf die Phosphor-Düngung verzichtet (was angesichts des guten Phosphor-Status deutscher Böden ohne Probleme möglich wäre) könnten die geschätzten 4 Milliarden Euro Sanierungskosten<sup>92</sup> der Landwirtschaft als Ertrag zufließen, 250 Euro/ha, soviel wert wie 5 Sack Weizen und das ohne Böden und Umwelt mehr Uran als derzeit üblich zuzumuten. Genial fatal!

Die vollständigen bibliographischen Angaben zu den hier zitierten Sammelwerken lauten:

de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): Loads and fate of fertilizer-derived uranium. Backhuys Publishers, Leiden. ISBN/EAN 978-90-5782-193-6.  
Merkel, B. and Schipek, M.

(eds.): The New Uranium Mining Boom. Challenge and lessons learned. Springer, Berlin 2011.

<sup>1</sup> Kratz, S., Godlinski, F. and Schnug, E. (2011) Heavy metal loads to agricultural soils in Germany from the application of commercial phosphorus fertilizers and their contribution to background concentration in soils. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 755-762.

<sup>2</sup> Zum Vergleich: Für den Versuchsstandort Rothamsted berichten Imas und Lati (2005) eine kumulative Zufuhr von Uran mit Phosphor-Düngern in Höhe von 1300 g/ha U allein für den Zeitraum 1950-1976. (Imas, P. and Lati, J. (2005) Uranium in soils, fertilizers and crops. ICL Fertilizers Israel, 14.05.2005; patricia.imas@iclfertilizers.com & lati@dsw.co.il). Im Vergleich dazu wiederum beträgt der geschätzte kumulative Eintrag über Flugaschen aus der Kohleverbrennung als primärer Quelle atmosphärische Uran-Einträge weniger als 0,1 kg/ha U (Grundlagen der Schätzung: ATSDR (1999) Toxicological profile for uranium. 5. Potential for human exposure. 5.2. Releases to the environment. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp150.html>; [http://www.vattenfall.de/www/vf/vf\\_de/225583xberx/228227umwel/1434393umwel/229427daten/229457emiss/229547staub/index.jsp](http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/225583xberx/228227umwel/1434393umwel/229427daten/229457emiss/229547staub/index.jsp); [http://www.bund-nrw.de/fileadmin/bundgruppen/bcmlsvnrw/PDF Dateien/Themen\\_und\\_Projekte/Energie\\_und\\_Klima/Kohlekraftwerke/GTSPU-styx2.bba.de-31757-6562404-DAT/BUNDhintergrund\\_Radioaktivitaet\\_aus\\_Kohlekraftwerken\\_11\\_2008.pdf](http://www.bund-nrw.de/fileadmin/bundgruppen/bcmlsvnrw/PDF Dateien/Themen_und_Projekte/Energie_und_Klima/Kohlekraftwerke/GTSPU-styx2.bba.de-31757-6562404-DAT/BUNDhintergrund_Radioaktivitaet_aus_Kohlekraftwerken_11_2008.pdf); Eriksen, J., Murphy, M. D. and Schnug, E. (1998) The soil sulphur cycle. In: Schnug, E. and Beringer, H. (ed.) (1998): Sulphur in Agro-Ecosystems. Vol. 2 of the series 'Mineral Nutrition in Ecosystems', Kluwer Academic Publ. Dordrecht, 1998, ISBN 0-7923-5123-1, p. 39-73).

Der derzeitige Uran-Eintrag über Niederschläge beträgt im Mittel lediglich 21 mg/ha·a U (Plum, H., G. Dietze, G., V. Armbruster, V. und Wirsing, G. (2009) Natürliche geogene Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg. Grundwasser 14, 277-286).

<sup>3</sup> Zum Vergleich: im Atommüll-Lager Bergwerk ASSE II lagern insgesamt 102 Tonnen Uran (entspricht maximal etwa der doppelten Menge an Natururan).

Schwarzer, C. M. (2008) Risse im Atomklo. STERN.de vom 21.06.2008. <http://www.stern.de/politik/deutschland/bergwerk-asse-ii-risse-im-atomklo-624683.html> und [http://www.atommuell-endlager.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=15&Itemid=1](http://www.atommuell-endlager.de/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=1). Von 1950/51 bis 2009/2010 betrug die durchschnittliche mit mineralischen Phosphor-Düngern ausgebrachte Menge an Uran jährlich 114 Tonnen (Maximum 238 Tonnen), für andere in mineralischen Phosphor-Düngern enthaltene Schadstoffe/Schwermetalle betragen die entsprechenden Mengen zum Vergleich (Tonnen pro Jahr): As 40, Cd 22, Cu 95, Ni 54, Pb 11, Zn 431, U 114 (Referenz: Fußnote 1).

<sup>4</sup> BMVEL (2005) Uran und Lebensmittelsicherheit; Dokument 226-7812-4/003; 4431/3787 vom 12.09.2005.

<sup>5</sup> 131. Sitzung des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen, September 6/7, 2005. [http://www.bmelv.de/cln\\_044/nn\\_751706/DE/14-WirUeberUns/Beiraete/Due ngOrganisation.html\\_nnn=true](http://www.bmelv.de/cln_044/nn_751706/DE/14-WirUeberUns/Beiraete/Due ngOrganisation.html_nnn=true).

<sup>6</sup> Gemeinsame Stellungnahme Nr. 020/2007 des BfS und des BfR vom 5. April 2007. [http://www.bfr.bund.de/cm/208/bfr\\_empfiehl\\_t\\_die\\_ableitung\\_eines\\_europaeisc hen\\_hoehchstwertes\\_fuer\\_uran\\_in\\_trink\\_und\\_mineralwasser.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/bfr_empfiehl_t_die_ableitung_eines_europaeisc hen_hoehchstwertes_fuer_uran_in_trink_und_mineralwasser.pdf).

<sup>7</sup> Erweiterter Sachstandsbericht für die Kommission Bodenschutz beim UBA, Sitzung am 11. Juni 2009 (letzte Aktualisierung am 20.05.2012). Erstfassung für die 138. Sitzung des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen beim BMELV, Bonn, 7. Oktober 2008 und Hintergrundpapier zum Positionspapier der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt Uran-Einträge in landwirtschaftliche Böden durch Düngemittel vom 20. März 2012, [http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/kbu/pdf-Dokumente/positionsrapier\\_kbu\\_uranetraege\\_in\\_landwirtschaftliche\\_boeden\\_durch\\_duengemittel.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/kbu/pdf-Dokumente/positionsrapier_kbu_uranetraege_in_landwirtschaftliche_boeden_durch_duengemittel.pdf)

<sup>8</sup> Im sprachlichen Umgang mit Uran sollte tunlichst der Begriff „Anreicherung“ vermieden und statt dessen der Begriff „Akkumulation“ verwendet werden, da im Fachjargon „Anreicherung“ von Uran die technische Erhöhung des Anteils des spaltbaren Isotopes <sup>235</sup>U zur Erzeugung von Kernbrennstoff oder waffenfähigem Uran bezeichnet.

<sup>9</sup> Drichko, V., Izosimova, A., Lisachenko, E., Graschenko, S.

and Shamov, V. (2008) Setting normative rates of natural radionuclides in phosphorus fertilizers. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 203-208

<sup>10</sup> Bertell, R. and Schmitz-Feuerhake, I. (2008) Radiological aspects of uranium contamination. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 1-10.

<sup>11</sup> Busby, C. and Schnug, E. (2008) Advanced biochemical and biophysical aspects of uranium contamination. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 11-22.

<sup>12</sup> Smirnova, V. S., Gudkov, S. V., Shtarkman, I. N., Chernikov, A. V. and Bruskov, V. I. (2005) The genotoxic action of uranyl ions on DNA *in vitro* caused by the generation of reactive oxygen species. Akademija Nauk SSSR 50, 456-463.

<sup>13</sup> Busby, C. and Schnug, E. (2008) Advanced biochemical and biophysical aspects of uranium contamination. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 11-22.

<sup>14</sup> Henner, P. (2008) Bioaccumulation of radionuclides and induced biological effects in situations of chronic exposure of ecosystems – an uranium case study. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 23-32

und: Baugelin-Siller, K., Février, L., Gilbin, R. and Garnier-Laplace, J. (2011) Ecotoxicity of uranium in freshwaters: Influence of the physico-chemical status of the rivers. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 507-516.

<sup>15</sup> Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 3. Mai 2011. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2011 Teil 1 Nr. 21, ausgegeben zu Bonn 11. November 2011, S. 748-774.

<sup>16</sup> Winde, F. (2011) Challenges in assessing uranium-related health risks: two case studies for the aquatic exposure pathway from South Africa - Part I: Guideline and toxicity issues and the Pfadder case study. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 529-538.

<sup>17</sup> Referenzen bei Schnug, E., Birke, M., Costa, N., Knolle, F., Fleckenstein, J., Panten, K., Lillenthal, H. and Haneklaus, S. (2008) Uranium in German mineral and tap waters. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 91-110.

<sup>18</sup> Thomas, P. A. (2008) Food chain transfer of uranium series radionuclides. In: de Kok, L. J.

- and Schnug, E. (eds.) (2008): 169-178.
- <sup>19</sup> Utermann, J. and Fuchs, M. (2008) Uranium in German soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 33-46.
- <sup>20</sup> Salminen, R. (2005) Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps, Geological Survey of Finland, Espoo; ISBN 951-890-921-3.
- <sup>21</sup> Huhle, B., Kummer, S. and Merkel, B. (2008) Mobility of uranium from phosphate fertilizers in sandy soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 47-56.
- <sup>22</sup> Setzer, S., Julich, D. and Gäth, S. (2011) Sorption behavior of uranium in agricultural soils. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 579-584.
- <sup>23</sup> Baumann, N., Arnold, T. and Read, D. (2008) Uranium ammunition in soil. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 73-78.
- <sup>24</sup> Birke, M. and Rauch, U. (2008) Uranium in stream water of Germany. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 79-91.
- <sup>25</sup> Read, D., Trueman, E., Arnold, T. and Baumann, N. (2008) The fate of uranium in phosphate-rich soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 65-72.
- <sup>26</sup> Schick, J., Schroetter, S., Lamas, M., Rivas, M., Kratz, S. and Schnug, E. (2008). Soil to plant interface of uranium. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 157-168.
- <sup>27</sup> Peltovouri, T. and K. Ylivainio (2006) Raskasmetallit ja gammaäteilijät suomalaisissa viljelymaissa [Heavy metals and gammaemitting nuclides in cultivated soils in Finland], Pro Terra No. 29/2006, pp. 113-114, Miten Maamme Makaa Suomen Maaperä Ja Sen Tila IV Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit. Suomen Maaperätieteiden Seura Helsingin Yliopisto Soveltavan Kemian Ja Mikrobiologian Laitos.
- <sup>28</sup> Sattouf, M., Kratz, S., Diemer, K., Fleckenstein, J., Rienitz, D., Schiel, D. and Schnug, E. (2008) Significance of uranium and strontium isotope ratios for retracing the fate of uranium during the processing of phosphate fertilizers from rock phosphates. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 65-72. und Sattouf, M. (2007) Identifying the origin of rock phosphates and phosphorus fertilisers using isotope ratio techniques and heavy metal patterns. Diss. TU-Braunschweig: [http://rzbl04.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal\\_derivate\\_00004401/sattouf.pdf?hosts=local](http://rzbl04.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal_derivate_00004401/sattouf.pdf?hosts=local).
- <sup>29</sup> Bemerkenswert ist, dass im Zeitraum 1997-2007 der Anteil „uranarmer“ Phosphate an den Importen nach Deutschland von 33 Prozent auf unter 5 Prozent zurückgegangen ist. Im gleichen Zeitraum hat sich dagegen der Import an uranreichem israelischem Phosphat (100-150 mg/kg) nach Deutschland mehr als verdoppelt (Quelle: IFA Paris, 2008). (siehe auch Frage 3 der Kleinen Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Sylvia Kottling-Uhl, Nicole Maisch, Hans-Josef Fell, Ulrike Höfken, Bärbel Höhn, Undine Kurth (Quedlinburg) und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Uran in Phosphatdüngemitteln – Uran im Düngemittel-, Bodenschutz- und Wasserrecht. Deutscher Bundestag 16. Wahlperiode; Drucksache 16/10968; vom: 13.11.2008).
- <sup>30</sup> Dittrich, B. und Klose, R. (2008) Bestimmung und Bewertung von Schwermetallen in Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Kultursubstraten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden Internet: [www.landwirtschaft.sachsen.de/ffl/](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/ffl/).
- <sup>31</sup> Leiterer, U. (2011) Giftiges Uran in Gartendüngern. [http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/markt/marktdeckt\\_auf/uranduennger101.html](http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/markt/marktdeckt_auf/uranduennger101.html) Sendedatum: 12.09.2011 20:15 Uhr.
- <sup>32</sup> Ludewig, B. (2012) Uran im Leitungswasser. <http://www.zdf.de/ZDFmediathek/beitrag/video/1617840/Uran-im-Leitungswasser#/beitrag/video/1617840/Uran-im-Leitungswasser>. Sendedatum 13.04.2012, 9:05 Uhr.
- <sup>33</sup> Kratz, S. and Schnug, E. (2006) Rock phosphates and P fertilizers as sources of U contamination in agricultural soils. In: Merkel, B. J. and Hasche-Berger, A. (eds.) Uranium in the environment. Springer, Berlin Heidelberg 2006, pp. 57-68.
- <sup>34</sup> einschließlich 2 Extremwerten mit  $U/P_2O_5 > 1000$ :  $4,25 \cdot Cd/P_2O_5 + 109$ ;  $r^2=17\%$ ; ohne Extremwerte:  $3,93 \cdot Cd/P_2O_5 + 86$ ;  $r^2=17\%$ ; (Extrem: 2 PK-Dünger mit S: 12%  $P_2O_5$ ,  $U/P_2O_5$  1568 und 1713).
- <sup>35</sup> Smidt, G. A., Landes, F. C., Machado de Carvalho, L., Koshinsky, A. and Schnug, E. (2011) Cadmium and Uranium in German and Brazilian Phosphorus Fertilizers. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 167-175.
- <sup>36</sup> GAP „Gute fachliche Praxis in der Düngung“ mit 22kg/ha·a P.
- <sup>37</sup> Kratz, S., Knappe, F., Rogasik, J. and Schnug, E. (2008). Uranium balances in agroecosystems. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 179-190.
- <sup>38</sup> Rogasik, J., Kratz, S., Funder, U., Panten, K., Barkusky, D., Baumecker, M., Gutser, R., Lausen, P. and Scherer, H.W., Uranium in soils of German long-term fertilizer experiments. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 135-146.
- <sup>39</sup> Tunney, H., Stojanovic, M., Mrdakovic Popic, J., McGrath, D. and Zhang, C. (2009) Relationship of soil phosphorus with uranium in grassland mineral soils in Ireland using soils from a long term phosphorus experiment and a National soil database. J. Soil Sci. Plant. Nutr. 172, 346-352.
- <sup>40</sup> Imas, P. and Lati, J. (2005) Uranium in soils, fertilizers and crops. ICL Fertilizers Israel, 14.05.2005; [patricia.imas@iclfertilizers.com](mailto:patricia.imas@iclfertilizers.com) & [lati@dsw.co.il](mailto:lati@dsw.co.il)
- <sup>41</sup> Lottermoser, B. (2009) Trace metal enrichment in sugarcane soils due to the long-term application of fertilisers, North Queensland, Australia: geochemical and Pb, Sr, and U isotopic compositions. Australian Journal of Soil Research, 47, 1-10.
- <sup>42</sup> Taylor, M. and Kim, N. (2008) The fate of uranium contaminants of phosphate fertilizers. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 147-155.
- <sup>43</sup> Im Mittel aller landwirtschaftlich genutzten Böden stammen nach diesem Berechnungsansatz 5 bis 15 Prozent des heute im Oberboden gefundenen Urans bereits aus mineralischen Phosphordüngern. Im Vergleich dazu beträgt dieser Anteil bei As 0,4-1,4%, Cd 3,5-12,3%, Cu 0,2-1,1%, Ni 0,03-1,5%, Pb 0,03-0,1%, Zn 0,3-1,8% (Kratz, S., Godlinski, F., Schnug E (2011) Heavy metal loads to agricultural soils in Germany from the application of commercial phosphorus fertilizers and their contribution to background concentration in soils. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 755-762).
- <sup>44</sup> Rogasik, J., Kratz, S., Funder, U., Panten, K., Barkusky, D., Baumecker, M., Gutser, R., Lausen, P., Scherer, H.W., Uranium in soils of German long-term fertilizer experiments. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 135-146.
- <sup>45</sup> Utermann, J. and Fuchs, M. (2008) Uranium in German soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 33-46.
- <sup>46</sup> Huhle, B., Kummer, S. and Merkel, B. (2008) Mobility of uranium from phosphate fertilizers in sandy soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 47-56.
- <sup>47</sup> Schick, J., Schroetter, S., Lamas, M., Rivas, M., Kratz, S. and Schnug, E. (2008). Soil to plant interface of uranium. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 157-168.
- <sup>48</sup> Kratz, S., Knappe, F., Rogasik, J. and Schnug, E. (2008). Uranium balances in agroecosystems. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 179-190.
- <sup>49</sup> Gramss, G., Voigt, K-D. and Merten, D. (2011) Phytoextraction of heavy metals by dominating perennial herbs. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 421-431.
- <sup>50</sup> Haneklaus, S. and Schnug, E. (2008) A critical evaluation of phytoextraction on uranium-contaminated agricultural soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 111-126.
- <sup>51</sup> Hassoun, R. and Schnug, E. (2011) Contribution of mineral and tap water to the dietary intake of As, B, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, U and Zn by humans. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 795-804. s.a. [http://rzbl04.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal\\_derivate\\_00021802/Diss\\_Hassoun.pdf;jsessionid=8AD7652DF1215B3C0B00CBD22E6D641](http://rzbl04.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal_derivate_00021802/Diss_Hassoun.pdf;jsessionid=8AD7652DF1215B3C0B00CBD22E6D641).
- <sup>52</sup> Knolle, F., Schnug, E., Birke, M., Hassoun, R. and Jacobs, F. (2011) Uranium in German Mineral Water – Occurrence and Origins. In: Merkel B, Schipek M (eds.): 749-754.
- <sup>53</sup> Smidt, G. A., Hassoun, R., Birke, M., Erdinger, L., Schäfer, M., Knolle, F., Utermann, J., Duijnvisveld, H. M., Birke, M. and Schnug, E. (2011) Uranium in German tap and groundwater – Occurrence and origins. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 807-820.
- <sup>54</sup> Heshmati Rafsanjani, M., Kratz, S., Fleckenstein, J. and

- Schnug, E. (2008) Solubility of uranium in fertilizers. *Landbauforschung – vTI / Agriculture and Forestry Research* 58, 195-198.
- <sup>55</sup> Lottermoser, B., Schnug, E. and Haneklaus, S. (2011) Coca-Cola® for determining bioaccessible uranium in contaminated mine soils. In: Merkel, B. and Schipek, M. (eds.): 493-498.
- <sup>56</sup> Schnug, E., Birke, M., Costa, N., Knolle, F., Fleckenstein, J., Panten, K., Lilienthal, H. and Haneklaus, S. (2008) Uranium in German mineral and tap waters. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 91-110.
- <sup>57</sup> Guttman, J. (1998) Defining flow systems and groundwater interactions in the multi-aquifer system of the Carmel Coast region. Ph.D. Thesis, Tel Aviv University. In: Kronfeld, J. and Moïnestem, M. (2012) Radioactive nuclides contamination in agricultural soil and sludge in Israel. MoE survey No. 9-5-4, 30 April 2012. Submitted to Israel Ministry of Environmental Protection, Tel Aviv University, Department of Geophysics and Planetary Science and School of Physics and Astronomy.
- <sup>58</sup> Garg, B. (2012) BARC: Uranium cause of Malwa water contamination. The Tribune, Candigarh, India - Main News February 19, 2012; <http://www.tribuneindia.com/2012/0120219/main6.htm>
- <sup>59</sup> Birke, M. and Rauch, U. (2008) Uranium in stream water of Germany. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 79-91.
- <sup>60</sup> Huhle, B., Kummer, S. and Merkel, B. (2008) Mobility of uranium from phosphate fertilizers in sandy soils. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 47-56.
- <sup>61</sup> Utermann, J., Duijnsveld, W.H.M. und Godbersen, L. (2009) Uran in Böden und Sickerwässern – gibt es Indizien für eine Phosphordünger-bürtige U-Anreicherung? *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 191 (2), 4 pp. - [http://eprints.dbges.de/191/2/Utermann\\_DBG\\_2009.pdf](http://eprints.dbges.de/191/2/Utermann_DBG_2009.pdf).
- <sup>62</sup> Zielinski, R.A., Simmons, K.R. and Orem, W.H. (2000) Use of <sup>234</sup>U and <sup>238</sup>U Isotopes to identify fertilizer derived uranium in the Florida Everglades. *Appl. Geochem.* 15, 369-383.
- <sup>63</sup> Schnug, E., Birke, M., Costa, N., Knolle, F., Fleckenstein, J., Panten, K., Lilienthal, H. and Haneklaus, S. (2008) Uranium in German mineral and tap waters. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 91-110.
- <sup>64</sup> Schäf, M., Daumann, L. und Erdinger, L. (2007) Uran in Trinkwasserproben im Rhein-Neckar Gebiet. *Umweltmed. Forsch. Praxis* 12, 315. (Grundlage ist die Diplomarbeit von Schäf, M. vorgelegt der Fakultät für Chemie der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2007).
- <sup>65</sup> Popit, A., Vaupotic, J. and Kukar, N (2004) Systematic radium survey in spring waters of Slovenia (J. Environm. Radioactivity 76, 337-347.
- <sup>66</sup> Ikeda A., Hennig C., Tsushima S., Takao K., Ikeda Y., Scheinost A. C., and Bernhard G. (2007) Comparative study of uranyl(VI) and -(V) carbonato complexes in an aqueous solution. *Inorg Chem* 46, 4212-4219.
- <sup>67</sup> BMELV (Hrsg.) (1979/2007) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hiltrup.
- <sup>68</sup> Die von Wu et al. eingesetzte 2 mM NO<sub>3</sub> Lösung entspricht auf eine Feldkapazitäten von 500 mm bezogen durchaus praxisüblichen Aufwandmengen in der N-Düngung. Wu, W.-M., Carley, J., Green, S. J., Luo, J., Kelly, S. D., van Nostrand, J., Lowe, K., Mehlhorn, T., Caroll, S., Boonchayanant, B., Löffler, F. E., Watson, D., Kemner, K. M., Zhou, J., Kitanidis, P. K., Kostka, J. E., Jardine, P. M., and Criddle, C. (2010) Effects of nitrate on the stability of uranium in a bioreduced region of the subsoil. *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, 5104–5111.
- <sup>69</sup> Jaques, D., Mallants, D., Šimůnek, J. and M. Th. Van Genuchten (2008) Modelling the fate of uranium from inorganic phosphorus fertilizer applications. in agriculture. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 57-64.
- <sup>70</sup> Smidt, G. A., Hassoun, R., Birke, M., Erdinger, L., Schäf, M., Knolle, F., Utermann, J., Duijnsveld, H. M., Birke, M. and Schnug, E. (2011) Uranium in German Tap and Groundwater – Occurrence and Origins. In: Merkel B, Schipek M (eds.): 807-820; und: Smidt, G. A. (2012) Mobility of fertiliser-derived uranium in arable soils and its contribution to uranium concentrations in groundwater and tap water. *Diss. Jacobs-University Bremen*.
- <sup>71</sup> Hintergrundkonzentration an U im Grundwasser abgeleitet aus: Utermann, J., Duijnsveld, W.H.M. und Godbersen, L. (2009) Uran in Böden und Sickerwässern – gibt es Indizien für eine Phosphordünger-bürtige U-Anreicherung? *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 191 (2), 4. [http://eprints.dbges.de/191/2/Utermann\\_DBG\\_2009.pdf](http://eprints.dbges.de/191/2/Utermann_DBG_2009.pdf);
- und Zielinski, R.A., Simmons, K.R. and Orem, W.H. (2000) Use of <sup>234</sup>U and <sup>238</sup>U Isotopes to identify fertilizer derived uranium in the Florida Everglades. *Appl. Geochem.* 15, 369-383.
- <sup>72</sup> Berechnungsgrundlage siehe Riegel, M. (2009) Untersuchungen zur Elimination von natürlichen Uranspezies aus Wässern mit Hilfe schwach basischer Anionenaustauscher. *Diss. Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik der Universität Fridericiana Karlsruhe*.
- <sup>73</sup> IMPHOS (2009) Newsletter Uranium recovery from phosphoric acid. *Phosphate Newsletter* 26, 11 [http://www.imphos.org/download/imphos\\_news\\_special26\\_web.pdf](http://www.imphos.org/download/imphos_news_special26_web.pdf); und Ragheb, M. (2010) Uranium resources in phosphate rocks. <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20402%20ME%20405%20Nuclear%20Power%20Engineering/Uranium%20Resource%20in%20Phosphate%20Rocks.pdf>
- <sup>74</sup> Lindemann, I. (2007) Futter für Dimona. *Strahlentelex* 496-497, 6-10. [http://www.strahlentelex.de/GGTSPU-styx2.bba.de-6088-2505457-DAT/Stx\\_07\\_496\\_S06-10.pdf](http://www.strahlentelex.de/GGTSPU-styx2.bba.de-6088-2505457-DAT/Stx_07_496_S06-10.pdf). Verfahren zur weitestgehenden Abtrennung von Uran bei der Produktion von Phosphatdüngern sind seit mehr als 30 Jahren bekannt und weltweit erfolgreich angewendet. Anlagen zur Abtrennung von Uran bei der Produktion von Phosphatdüngern wurden in den USA bis 1999, in Europa noch bis 1987 betrieben, dann aber wegen des Absinkens des Uranpreises unter die Wirtschaftlichkeitsschwelle der Anlagen eingestellt. In Deutschland hat die Firma URAPHOS Chemie GmbH & Co. Betriebs-OHG in 61440 Oberursel Erfahrung mit der Abtrennung von Uran bei der Produktion von Phosphatdüngern. Unter Berücksichtigung der mittlerweile wieder ausreichend hohen Uranpreise auf den Weltrohstoffmärkten wäre auf diesem Wege eine Versorgung der deutschen Landwirtschaft mit uraniumarmen Phosphatdüngern möglich (siehe Frage 5 der Kleinen Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Sylvia Kötting-Fell, Nicole Maisch, Hans-Josef Fell, Ulrike Höfken, Bärbel Höhn, Undine Kurth (Quedlinburg) und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Uran in Phosphatdüngemitteln – Uran im Düngemittel-, Bodenschutz- und Wasserrecht. Deutscher Bundestag 16. Wahlperiode; Drucksache 16/10968; vom: 13.11.2008).
- ICL produziert in der Anlage ROTEM AMFERT (liegt in der Nähe von Dimona in der Negev Wüste) aus einem Rohphosphat mit 36,1 mg/kg Cd und 115 mg/kg U (entsprechend 136 mg Cd und 449 mg U pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) den NPK Handels-Dünger MULTIGRO (18-9-27), der nur noch 3 mg Cd und 11 mg U pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> enthält (Probenahme und Messungen 2007 durch den Autor).
- <sup>75</sup> Ellersick, S. (2007) Klimawandel a la française. <http://www.clnetz.de/read.php?id=26361>
- <sup>76</sup> Storm van Leeuwen, J. W. and Smith, P. (2005): Nuclear power - the energy balance. [http://www.stormsmith.nl/report20050803/Chapter\\_1.pdf](http://www.stormsmith.nl/report20050803/Chapter_1.pdf).
- <sup>77</sup> Mudd, G. M. and Diesendorf, M. (2008) Sustainability of uranium mining and milling: Toward quantifying resources and eco-efficiency. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2624–2630.
- <sup>78</sup> Dannheim, B. und Richter, R. (2009) Atomenergie dient nicht dem Klimaschutz. RobinWood Bremen. [http://www.ausgestrahl.de/fileadmin/user\\_upload/Broschueren/atomenergie\\_dient\\_nicht\\_dem\\_klimaschutz\\_aufgabe5.pdf](http://www.ausgestrahl.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/atomenergie_dient_nicht_dem_klimaschutz_aufgabe5.pdf).
- <sup>79</sup> Laumer, J. (2007) The uranium paradox: reason to favour coal-fired electricity? Or not? [http://www.treehugger.com/files/2007/10/the\\_uranium\\_par\\_1.php](http://www.treehugger.com/files/2007/10/the_uranium_par_1.php) [http://www.treehugger.com/files/2007/10/the\\_uranium\\_par\\_1.php](http://www.treehugger.com/files/2007/10/the_uranium_par_1.php)
- <sup>80</sup> Sparton Resources to Proceed with Bulk Uranium Extraction test Program on Chinese Coal Ash. <http://www.spartonres.ca/download/Sparton-MD&A-Qtr1-2009.pdf>; and <http://www.azom.com/news.asp?newsID=8310>.
- <sup>81</sup> Ragheb, M. (2010) Uranium resources in phosphate rocks. <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20402%20ME%20405%20Nuclear%20Power%20Engineering/Uranium%20Resource%20in%20Phosphate%20Rocks.pdf>.

<sup>82</sup> Hu, Z., Zhang, H., Wang, Y., Haneklaus, S. and Schnug, E. (2008) Combining energy and fertilizer production - vision for China's future. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 127-134.

<sup>83</sup> Basierend auf 1kg Natururan = 50 MW und einem mittleren jährlichen Stromverbrauch von 3,55 MW/Haushalt ([http://www.xemplar.ca/de/about\\_uranium.php](http://www.xemplar.ca/de/about_uranium.php),

[http://www.enviam.de/welt/energie\\_und\\_wissen/energie\\_statistik/797.html](http://www.enviam.de/welt/energie_und_wissen/energie_statistik/797.html),

<http://www.hyperionpowergeneration.com/>.

<sup>84</sup> Basierend auf 1kg Brennholz = 1 kW/h (s. a. 61) und einer Ertragsleistung von 1,5 t/ha.

<sup>85</sup> Analog zur Vermeidung des Begriffes „Anreicherung“ (<sup>9</sup>) sollte auch sein Antonym bei Berichten über Uran vermieden werden.

<sup>86</sup> Aus 10 Gramm Uran (entsprechend einer Phosphor-Düngung von 22 kg/ha P nach GAP) können 500 kW erzeugt werden, die, im Vergleich zur Gewinnung der gleichen Energiemenge aus Kohle 500 kg CO<sub>2</sub> einsparen. Bei einer CO<sub>2</sub>-Steuer von 0,08 €/kg (berechnet aus der Besteuerung eines Mittelklassewagens mit einem Ausstoß von 250 g/km CO<sub>2</sub> (2 € je g CO<sub>2</sub> über einem Sockelbetrag von 100 g/km CO<sub>2</sub> = 300 €) und einer Fahrleistung von 15.000 km/a. entspräche dies einem fiktivem CO<sub>2</sub> Bonus von 40 €/ha. Der Wert der 10 g Uran (als U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) beträgt (Stand 28.1.2010) 1,11 €, bei Kosten der 22 kg P in Höhe von 32 € (<http://www.agrarmarkt-nrw.de/duengermarkt.shtm>, Stand 28.01.2010 incl. MwSt.). Fiktiver CO<sub>2</sub>-Bonus + Rohstoffpreis des Urans übersteigen also schon weit den Wert des Dünger-Phosphors.

<sup>87</sup> Ekardt, F. and Schnug, E. (2008) Legal aspects of uranium in environmental compartments. In: de Kok, L. J. and Schnug, E. (eds.) (2008): 209-217.

<sup>88</sup> Derzeit haben etwa 33% aller P-Handelsdünger Cd-Gehalte die kennzeichnungspflichtig sind (> 20 mg Cd pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), etwa 14% haben Gehalte über dem Grenzwert von 50 mg Cd pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Käme analog zu Cadmium ein Grenzwert für Uran zur Anwendung, hätten zwar nur etwa 10% aller P-Handelsdünger U-Gehalte die kennzeichnungspflichtig wären (> 20 mg U pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), allerdings lägen 74% über dem Grenzwert von 50 mg U pro kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Datengrundlage siehe Referenzen zur Tab. 1.

<sup>89</sup> Die geschätzten Kosten für die Entfernung von 1 mg Uran aus 1 Kubikmeter Wasser liegen derzeit bei 0,25 €. (Berechnungsgrundlage siehe Riegel, M. (2009) Un-

tersuchungen zur Elimination von natürlichen Uranspezies aus Wässern mit Hilfe schwach basischer Anionenaustauscher. Diss. Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik der Universität Fridericiana Karlsruhe.

<sup>90</sup> Schnug, E. and Haneklaus, N. (2011) Energetic and Economic Significance of Uranium in Mineral Phosphorus Fertilizers. In: Merkel B, Schipek M (eds.): 789-794.

<sup>91</sup> Dem Autor ist durchaus bewusst, dass Uran nicht der einzige Problemstoff in der Asse ist!

<sup>92</sup> Atom Aktuell (2009) Sanierung von Asse kostet bis zu 4 Milliarden Euro. <http://www.atom-aktuell.de/energiewirtschaft/aktuelles/items/sanierung-von-asse-kostet-bis-zu-4-milliarden-euro.html> ●

## Nachruf

### Rosalie Bertell †

Am 14. Juni 2012 starb im Alter von 83 Jahren Rosalie Bertell in Yardley, Pennsylvania. Die Epidemiologin, Mathematikerin und unermüdliche Forscherin widmete ihr Leben der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Strahlenbelastungen und Gesundheitsfolgen an Brennpunkten in aller Welt. In radioaktiv kontaminierten Arealen stellte sie ihr Wissen in den Dienst der potentiell Betroffenen. Sie gehörte über 50 Jahre lang dem katholischen Nonnenorden „Grey Sisters of the Sacred Heart“ an und begründete das Institut für Besorgnis über die Gesundheit der Allgemeinheit (International Institute of Concern for Public Health) in Toronto. Der „Grey Nun Sister Order“ widmet sich seit 1722 in Kanada den Armen und Bedürftigen mit materiellem und intellektuellem Beistand und ist

heutzutage in einigen US-Bundesstaaten und auf Haiti vertreten. Die Damen legen Wert auf ein einfaches Erscheinungsbild ohne Nonnen-Habit und können auf gute Ausbildungen aufbauen.

Ein Schwerpunkt der Institutsarbeit wurde die Unterstützung von Bewohnerinnen und Bewohnern von Atomtestgebieten oder Uranfördergebieten. Ein weiterer die Förderung des Engagements von wissenschaftlichem Nachwuchs in sozialen Projekten. Diese Arbeit kam unter anderem indigenen Reservatsbewohnern in Nordamerika, Atoll-Insulanern aus dem Zentralpazifik und Tschernobyl-Aufräumarbeitern zu gute.

Rosalie Bertell setzte sich für die Bewohner mehrerer Atolle im Zentralpazifik ein, die Anfang der 1950er Jahre ihre Inseln für Atombombentests der Amerikaner geräumt hatten. Das US-Militär hatte die Marschallinselnbewohner dazu überredet. Später erkrankten

auffällig viele Leute von meteorologisch ungünstig gelegenen Atollen an Schilddrüsenkrebs. Fehlgebildete Kinder wurden geboren. Rosalie Bertell organisierte die kritische wissenschaftliche Aufarbeitung der Phänomene und bot den Urbewohnern ohne eigene Lobby ihre Kenntnisse an, um den bestens gewappneten Wissenschaftlern in Regierungsdiensten die Stirn bieten zu können. Damit konnten Zusammenhänge erkannt und in einzelnen Fällen erlittene Gesundheitsfolgen materielle Kompensation finden.

Ich habe Rosalie 1986 während einer Reise auf die abgelegenen Marschallinseln persönlich erlebt. Sie stellte Kontakte zur Lokalregierung her mit dem Ziel, Zusatzuntersuchungen zum Gesundheitsstatus und der Radioaktivitätsbelastung einzuleiten und in Anhörungen die Belange von Müttern, Fischern und Dorfbewohnern einfühlsam vorzutragen. Von ganzheitli-

cher Weltbetrachtung geprägt wollte sie den an den Rand der Gesellschaft Gedrängten eine Stimme geben und half ihnen, für ihre Rechte einzutreten. Sie war Autorin zahlreicher Publikationen und der Bücher „Keine akute Gefahr“ (1985) und „Kriegswaffe Planet Erde“ (2000). 1986 wurde Rosalie Bertell zusammen mit der britischen Ärztin Alice Stewart (†2002) Trägerin des alternativen Nobelpreises (Right Livelihood Award), der eine Auszeichnung für die Gestaltung einer besseren Welt darstellt. Er wird in Schweden an Persönlichkeiten verliehen, die sich in herausragender Art in den Dienst der armen und rechtlosen Mehrheit der Menschheit gestellt haben. Beide erhielten den Preis für ihre Verdienste um die Aufdeckung der tatsächlichen Gefahren auch geringer Strahlung aus der militärischen und zivilisatorischen Anwendung sowie der Ausbeutung von Lagerstätten von radioaktivem Material. **Ute Boikat ●**