

# Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

## Uran in natürlichen Mineral- und anderen, zum Verzehr bestimmten Wässern

Stellungnahme des BfR vom 3. März 2004

Uran (U) ist ein auf der Erde weit verbreitetes, radioaktives und reaktionsfreudiges Schwermetall. Wegen dieser Reaktionsfreudigkeit wird es in der Natur als reines Metall nicht angetroffen. Uranverbindungen können natürlicher Bestandteil von Gesteinen und Mineralien sowie von Wasser, Boden und Luft sein. Damit lässt sich Uran in Spuren auch in vielen Lebensmitteln als natürlich vorkommendes Element nachweisen. Neben dem natürlichen Eintrag gelangt Uran auch durch menschliche Aktivitäten in die Umwelt. Quellen sind zum Beispiel alte Abraumhalden des Uranbergbaus und der weiterverarbeitenden Industrie, aber auch die Verbrennung von Treibstoffen und Kohle sowie die Ausbringung uranhaltigen Phosphatdüngers und Emissionen der Atomindustrie. Uran ist für den Menschen nach heutigem Wissen kein essentielles Spurenelement. Es wird weder ernährungsphysiologisch noch für Stoffwechselfunktionen benötigt. Ähnlich wie andere Schwermetalle auch, kann Uran die Nierenfunktion beeinträchtigen. Diese "toxische" Wirkung ist allerdings schwächer ausgeprägt als die von Blei, Cadmium und Quecksilber.

Im September 2003 hat die Bundesanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig (FAL) im „Informationsdienst Wissenschaft“ die Ergebnisse der Untersuchung von über 200 für den Verzehr bestimmten Wasserproben aus aller Welt auf ihre Urangelhalte veröffentlicht. Die Spannweite der gemessenen Gehalte lag zwischen Werten unterhalb der Nachweisgrenze (0,015 Mikrogramm) und 232 Mikrogramm Uran pro Liter ( $\mu\text{g/L}$ ). Höchstmengen für Uran in Trinkwasser und Mineralwässern gibt es in Deutschland derzeit nicht. Die amerikanische Umweltbehörde (EPA) nennt für Trinkwasser einen Grenzwert in Höhe von 30  $\mu\text{g/L}$ , die Weltgesundheitsorganisation einen Richtwert von 15  $\mu\text{g/L}$ .

Wegen der Toxizität von Uran wurde das Bundesinstitut für Risikobewertung gebeten zu prüfen, ob der Verbraucher im Hinblick auf die vorgelegten Untersuchungsergebnisse ausreichend geschützt ist, oder ob Maßnahmen zur Minimierung der Urangelhalte in Mineral- und anderen zum Verzehr bestimmten Wässern erforderlich sind. Das Institut kommt zu dem Ergebnis, dass die Mehrzahl der untersuchten Wässer keine Gefahr für den Verbraucher darstellt. Für die Überprüfung und ggf. Beanstandung von Wässern mit höheren Urangelhalten durch die amtlichen Überwachungseinrichtungen würde sich aus Sicht der Risikobewertung der WHO-Richtwert eignen; den Grenzwert der US-EPA hält das BfR für zu hoch. In Anbetracht des stetig zunehmenden Konsums von Mineral- und Tafelwasser empfiehlt das Institut die Abschätzung einer tolerierbaren Aufnahmemenge auf europäischer Ebene und die Festlegung einer Höchstmenge für Uran in Mineral- und Tafelwässern, weil diese in Abhängigkeit vom geogenen Ursprung auch höhere Urangelhalte aufweisen können.

### Risikoabschätzung

Uran kommt in der Natur in verschiedenen Wertigkeiten vor (+2, +3, +4, +5 und +6), gewöhnlich aber in seiner sechswertigen Form, gebunden an Sauerstoff als Uranyl-Ion ( $\text{UO}_2^{2+}$ ). Natürliches Uran ist eine Mischung aus drei Isotopen, Uran 234 ( $^{234}\text{U}$ ), Uran-235 ( $^{235}\text{U}$ ) und Uran 238 ( $^{238}\text{U}$ ), die sich durch ihre unterschiedliche Radioaktivität unterscheiden. Die chemischen Eigenschaften aller Isotope sind unabhängig von ihrer Radioaktivität gleich (ATSDR, 1999). Die Halbwertszeit von U-238 beträgt ungefähr 4,5 Milliarden Jahre, die von U-235 710 Millionen Jahre und die von U-234 250.000 Jahre. 99 % des im Gestein vorhandenen natürlichen Urans sind U-238, U-235 kommt dort nur zu 0,72 % vor und U-234 noch

weniger. Zu der Zerfallsreihe von U-238 zählen neben U-234 auch Radium-226 und Radon-220, die in der Natur vergesellschaftet mit Uran ebenfalls angetroffen werden.

### *Gefährdungspotential*

Uran gilt als nicht essentiell, weil im Organismus von Mensch und Tier für dieses Element nach heutiger Kenntnis weder ernährungsphysiologische noch sonstige für den Stoffwechsel wichtige Eigenschaften bekannt geworden sind. Uran wirkt, ähnlich wie andere Schwermetalle auch, nierentoxisch, allerdings schwächer als Blei, Cadmium und Quecksilber (Goodman, 1985; WHO, 1991; US-US-EPA, 2000; WHO, 2004-im Druck). Nach chronischer Zufuhr höherer Dosen stehen beim Menschen, ähnlich wie bei Versuchstieren, Nierenschädigungen im Vordergrund, in erster Linie Schädigungen der proximalen Tubuli. Die toxische Wirkung wird durch Ablagerung von Uran im Epithel der Tubuli hervorgerufen, was dort zu Nekrosen und Atrophien führt, die eine Verringerung der Rückresorption in den Nierentubuli bewirken können.

Die orale LD<sub>50</sub> wird je nach Uranverbindung und Spezies mit Werten zwischen 100 mg/kg KG und über 1000 mg/kg KG, bezogen auf Uran, angegeben (ATSDR, 1999). Für männliche Sprague-Dawley-Ratten und männliche Swiss-Webster-Mäuse werden als LD<sub>50</sub> z.B. für Uranylacetatdihydrat nach einmaliger Schlundsondengabe Werte von 114 mg/kg KG bzw. 136 mg/kg KG, bezogen auf Uran, angegeben (Domingo et al., 1987). Zu den typischen Symptomen einer Vergiftung zählen Piloerektion (Haarsträuben), deutlicher Gewichtsverlust und Hämorrhagien in Auge und Nase (WHO, 1991).

Verschiedene tierexperimentelle Studien weisen darauf hin, dass relativ gut wasserlösliche Verbindungen wie Uranylнитrat-Hexahydrat, Uranhexafluorid, Uranylfluorid, Urantetrachlorid und Uranpentachlorid die potentesten Nierengifte unter den Uranverbindungen sind, während die weniger wasserlöslichen wie Natriumdiuranat und Ammoniumdiuranat eine deutlich geringere Nierentoxizität zeigen. Die wasserunlöslichen Uranverbindungen wie Urantetrafluorid, Urantrioxid, Urandioxid, Uranperoxid und Triuranooctoxid scheinen dagegen, oral aufgenommen, kaum noch nierentoxisches Potential zu haben. Dagegen zeigen sie nach Inhalation eine gewisse Lungentoxizität (ATSDR, 1999). Generell kann davon ausgegangen werden, dass sechswertiges Uran, das dazu neigt, lösliche Verbindungen zu bilden, toxischer ist als dreiwertiges, das unlösliche Verbindungen bildet. Auch gilt, dass oral aufgenommenes Uran wegen seiner geringen Resorptionsrate (< 0,1% - 6%) weniger toxisch ist als inhaliertes (Leggett and Harrison, 1995).

Es ist bisher nicht gelungen, Schädigungen der Niere auch bei erhöhten alimentären Uran-Aufnahmemengen, wie sie z.B. in uranschüssigen Gegenden vorkommen können, zweifelsfrei nachzuweisen. So zeigten sich in Untersuchungen an 324 Personen, die in Nova Scotia über mehrere Jahre hinweg Trinkwasser mit Urangehalten bis zu 700 µg/Liter getrunken hatten, keine signifikanten Unterschiede zu einer Kontrollgruppe. Es wurde innerhalb dieser Gruppe aber eine Tendenz zur vermehrten Ausscheidung von  $\beta_2$ -Microglobulin beobachtet, was als Hinweis auf frühe tubuläre Defekte verstanden werden könnte. Die Autoren vermuten den LOAEL für die Nierentoxizität von Uran beim Menschen im Bereich von wenigen µg/Tag und Person. In diesem Bereich war die Lactat-Dehydrogenase (LDH) im Urin erhöht, die Ausscheidung von Glucose war bei etwa 20 µg/Tag und die von alkalischer Phosphatase bei ca. 200 µg/Tag erhöht (Zamora et al., 1998).

In subchronischen Untersuchungen an Ratten wurde die nierentoxische Wirkung von Uranylнитrat-hexahydrat (UN) untersucht. Fünf Gruppen von je 15 männlichen und weiblichen Sprague-Dawley-Ratten erhielten über 91 Tage Trinkwasser mit 0,96; 4,8; 24; 120; oder 600 mg UN/L, Kontrolltiere erhielten Leitungswasser (<0,001 mg U/L). Histopathologische Verän-

derungen wurden in Niere und Leber in allen Dosisgruppen inklusive der niedrigsten gefunden. Dementsprechend leiten die Untersucher einen LOEL von 0,96 mg UN/L Trinkwasser pro Tag für beide Geschlechter ab. Das entspricht einer Uranaufnahmemenge von 0,06 mg/kg KG/Tag für männliche Tiere bzw. 0,09 mg/kg KG/Tag für weibliche, berechnet als TWA (time-weighted average uranium equivalent dose - Uranequivalent = Uranyl-nitrat-hexahydrat x 0,747) (Gilman et al., 1998a).

Auch an Kaninchen wurde eine subchronische Studie mit Uranyl-nitrat-hexahydrat (UN) durchgeführt. Fünf Gruppen von je 10 männlichen Kaninchen der Rasse „Weiße Neuseeländer“ erhielten über 91 Tage Trinkwasser mit 0,96; 4,8; 24; 120; oder 600 mg UN/L, Kontrolltiere erhielten Leitungswasser (<0,001 mg U/L). Entsprechend erhielten drei Gruppen von je 10 weiblichen Kaninchen über 91 Tage Trinkwasser mit 4,8; 24; oder 600 mg UN/L, Kontrolltiere erhielten Leitungswasser. Für männliche Kaninchen wurde ein LOEL von 0,96 mg UN/L Trinkwasser entsprechend einer mittleren Urandosis von 0,05 mg U/kg Körpergewicht pro Tag in Bezug auf nephrotoxische Effekte ermittelt, für weibliche Tiere wurde ein LOEL von 4,8 mg UN/L Trinkwasser entsprechend einer mittleren Urandosis von 0,49 mg U/kg Körpergewicht pro Tag abgeleitet. Als Gründe für die geschlechtsspezifische unterschiedliche Empfindlichkeit werden der in Relation zum Körpergewicht um 65% höhere Trinkwasserverbrauch der weiblichen Tiere und die bei einigen männlichen Kaninchen beobachtete Infektion mit *Pasteurella multocida* angeführt (Gillman et al., 1998b).

Die chemische Toxizität einer bestimmten Uran-Dosis ist, unabhängig von ihrer Radioaktivität, identisch, egal, ob es sich um ein natürliches, angereichertes oder abgereichertes Uran handelt. Es wird aber auch diskutiert, dass sich chemische und radiologische Toxizität in bestimmten Fällen additiv verhalten könnten. Allerdings ist es bisher nicht gelungen, die Effekte am Zielorgan eindeutig kausal zuzuordnen, so dass die Frage offen bleibt, ob es tatsächlich zu solchen die Toxizität verstärkenden Interaktionen kommt (ATSDR, 1999).

### *Exposition*

#### Uran-Konzentrationen in Wasser, Lebensmitteln und Luft

Neben dem natürlichen Eintrag gelangt Uran auch durch menschliche Aktivitäten in die Umwelt. Als menschliche Quellen sind vor allem alte Abraumhalden des Uranbergbaus und der weiterverarbeitenden Industrie zu nennen, aber auch die Verbrennung von Treibstoffen und Kohle sowie die Ausbringung uranhaltigen Phosphatdüngers und Emissionen der Atomindustrie. Die Urankonzentrationen im Wasser deutscher Flüsse variieren je nach geogenen Gegebenheiten der durch sie entwässerten Gebiete zwischen 1 und 3 µg/L. Im unbeeinflussten Grundwasser variieren sie zwischen 1 µg/L und > 100 µg/L (Merkel, 2002).

Im Trinkwasser können die Urangelhalte aus den gleichen Gründen ebenfalls variieren, bleiben im Allgemeinen jedoch unter 1 µg/L. In 3700 Trinkwasserproben, die in 130 verschiedenen Regionen Ontarios in Kanada zwischen 1990 und 1995 gezogen wurden lagen die Werte zwischen 0,05 µg/L und 4,21 µg/L bei einem Mittelwert von 0,4 µg/L (OMEE, 1996). In privaten Wasserversorgungsanlagen wurden bis zu 700 µg/L gefunden.

In den USA wurden im Trinkwasser aus 978 verschiedenen Gegenden durchschnittlich 2,55 µg Uran/L gemessen (WHO, 1998).

Durch die Einführung der ICPS/MS ist die Uranbestimmung gegenüber früher wesentlich vereinfacht worden und als Routinemethode in der Lebensmittelüberwachung verfügbar. In einer Schwerpunktuntersuchung „Uran in Mineralwasser“ aus dem Jahre 1999 wurden in Sachsen-Anhalt 94 Mineral-, Quell- und Tafelwässer von Herstellern aus anderen Bundes-

ländern und anderen Regionen der Europäischen Union auf Uran untersucht (LUA Sachsen-Anhalt, 2000). Die Bestimmungsgrenze lag bei 1 µg/L. Mehr als die Hälfte der Urangelhalte (56 %) lag unter der Bestimmungsgrenze, 17 % lagen zwischen 1 µg und 2 µg und 27 % zwischen 2 µg und 10 mg/L, dem höchsten gemessenen Wert.

In 14 Mineral- und Tafelwässern unterschiedlicher Herkunft konnten in einer früheren Untersuchung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Urankonzentrationen von „nicht nachweisbar“ bis zu 8,6 µg/L gemessen werden. Ein extrem hoher Wert wurde mit 188 µg/L in einem Mineralwasser aus Tschechien gefunden. 4 Werte lagen unter der Nachweisgrenze, 6 Werte < 1 µg/L, 3 Werte < 3 µg/L und 1 Wert bei 8,61 µg/L (Sparovek et al., 2001).

Lebensmittel enthalten Uran in unterschiedlicher Konzentration. Die durchschnittlich höchsten Gehalte werden in Schalentieren (bis > 30 µg/kg) gemessen und relativ niedrige Gehalte in frischem Gemüse (< 2 µg/kg), Getreide (< 2 µg/kg bis 6 µg/kg) und frischen Fischen (< 1 µg/kg). Allerdings können ungeschältes Wurzelgemüse, ungewaschene Kartoffeln und ungeschälter Rettich, je nach Urangelhalt des Bodens, ebenfalls relativ hohe Uranwerte (bis 18 µg/kg) aufweisen (WHO, 1998, WHO, 2001).

Luft enthält im Allgemeinen nur sehr geringe Mengen an Uran, weniger als 0,09 ng/m<sup>3</sup>. Etwas mehr kann in kontaminierten Gegenden gefunden werden, wie z.B. in der Umgebung ungeschützter, uranhaltiger Abraumhalden (WHO, 1998).

#### Uran-Aufnahmemengen aus Wasser, Lebensmitteln und Luft

Die alimentäre Aufnahme von Uran über Lebensmittel wird für die USA auf 2-3 µg pro Tag und Person und für Japan auf 1,5 µg geschätzt. Die Uranaufnahme über Trinkwasser wird in Finnland auf 2,1 µg pro Tag und für zahlreiche Städte in Kanada auf 0,1 µg pro Tag geschätzt. Für die tägliche Uranaufnahme aus allen Quellen ergeben sich im Durchschnitt 0,001 µg aus der Luft, 1,4 µg aus Lebensmitteln und 0,1 µg aus dem Trinkwasser (WHO, 1996 und 1998).

#### Exposition durch die hier zu bewertenden, von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft untersuchten Wässer

Die von den Untersuchern dem BfR zur Verfügung gestellten 257 Ergebnisse lassen nicht immer eindeutig erkennen, um welche Art von Wässern es sich handelt. Ein nicht unerheblicher Anteil der untersuchten Proben kann vermutlich nicht den Mineral- oder Tafelwässern zugeordnet werden. Bei einem anderen Teil könnte es sich auch um Wässer handeln, die offiziell in Deutschland nicht im Verkehr sind. Wir haben die uns übersandten Untersuchungsergebnisse in zehn Bereichsgruppen unterteilt. Danach stellt sich die Urankontamination der insgesamt 257 Proben wie folgt dar :

**Tabelle 1: Zusammenfassung der vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft dem BfR übersandten Urangelhalte in 257 Wässern in Mikrogramm pro Liter**

Konzentrationsbereiche in µg/L	<1	1-2	2-4	4-10	10-15	15-20	20-30	30-100	100-200	>200
Anzahl der Proben absolut	190	19	13	13	5	2	5	5	4	1*
Weiter zusammengefasste Proben absolut,	190	50				7		5	4	1
in %	73,9 %	19,5 %				2,7 %		1,9 %	1,6 %	0,4 %

\* Der Maximalwert beträgt 238,75 µg/L

Die überwiegende Mehrheit der untersuchten Wässer (240) enthielt weniger als 15 µg Uran/L. Allein 190 weniger als 1 µg/L. Bei den 17 Wässern, die mehr als 15 µg/L enthielten, ist zu vermuten, dass sie überwiegend nicht aus Deutschland stammten.

#### Mögliche Uran-Aufnahme mit den in Rede stehenden Wässern

**Tabelle 2: Abschätzung der Uranaufnahme beim Verzehr von 2 bzw. 0,5 Litern der vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft untersuchten Wässer**

Konzentrationsbereiche in µg/L	<1	1-2	2-4	4-10	10-15	15-20	20-30	30-100	100-200	>200
Anzahl der Proben absolut	190	19	13	13	5	2	5	5	4	1*
In %)	73,9 %	19,5 %				2,7 %		1,9 %	1,6 %	0,4 %
<b>Maximale Uranaufnahme mit 2 L/Tag</b>	< 2µg	2µg - 30µg				30µg – 60µg		60µg -200µg	200µg -400µg	>400 µg
<b>Maximale Uranaufnahme mit 0,5 L/Tag</b>	< 0,5µg	0,5µg – 7,5µg				7,5µg –15µg		15µg -50µg	50µg -100µg	>100 µg

\* Der Maximalwert beträgt 238,75 µg/L

Die errechenbaren Maximalaufnahmen von Uran lägen bei einem Verzehr von täglich zwei Litern der in Rede stehenden Wässer bei über 93 % der Wässer bei weniger als 30 µg pro Tag. Mit etwa 74 % der Wässer könnten täglich maximal 2 µg Uran aufgenommen werden, mit knapp 3 % 30 – 60 µg pro Tag, mit knapp 2 % 60 – 200 µg pro Tag, mit weiteren 1,6 % 200 – 400 µg/Tag und mit 0,4 % mehr als 400 µg. Die letzten fünf extrem hohen Werte wurden ausnahmslos in Wässern aus dem südlichen Afrika gefunden, wobei nicht erkennbar war, um welche Art von Wässern es sich handelte (Tabelle 2).

Bei einer realistischeren Betrachtung eines täglichen Verzehrs von nur einem halben Liter der untersuchten Wässer ergäbe sich eine entsprechend geringere Uranaufnahme. Bei über 93 % der Wässer wäre sie kleiner als 7,5 µg pro Tag. Mit etwa 74 % der Wässer könnten täglich maximal 0,5 µg Uran aufgenommen werden, mit knapp 3 % 7,5 – 15 µg, mit knapp 2 % 15 - 50 µg, mit 1,6 % 50 – 100 µg und mit 0,4 % mehr als maximal 100 µg pro Tag. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die fünf extrem belasteten Wässer nicht genau zuzuordnen waren und nicht aus Europa stammten. Bei dieser Betrachtung müsste jedoch für die Ermittlung der Urangesamtaufnahme ein entsprechender Anteil, der über Trinkwasser aufgenommen wird, hinzugefügt werden (Tabelle 2).

Für die Abschätzung der täglichen Gesamtaufnahme durch den Verbraucher dieser Wässer aus allen Quellen dürften nur die Aufnahmemengen aus Lebensmitteln (ohne Trinkwasser) und Luft hinzugezogen werden, weil bei einem Mineralwasserkonsum von 2 Litern pro Tag nicht mehr damit zu rechnen ist, dass zusätzlich noch Trinkwasser in nennenswerter Menge verzehrt wird. Die Uranaufnahme aus der Luft ist mit 0,001 µg pro Tag zu vernachlässigen.

### **Risikocharakterisierung**

Die WHO nennt 2001 tolerierbare Gesamtaufnahmemengen für lösliche Uranverbindungen bis zu 0,5 µg/kg KG und für unlösliche bis zu 5 µg/kg KG (WHO, 2001). Das entspricht tolerierbaren Aufnahmemengen von 30 µg/Tag bzw. 300 µg/Tag für eine 60 kg schwere Person.

Weil Uran ubiquitär ist und damit auch sein Vorkommen im Trinkwasser hingenommen werden muss, haben sich die einschlägigen Fachgremien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der US-Environmental Protection Agency (EPA) seit vielen Jahren auch mit der Frage beschäftigt, welche Urangelhalte im Trinkwasser akzeptabel sind. Die Ergebnisse der Gilman et al.-Studie dienten beiden Institutionen als Grundlage für die Ableitung ihres Grenz- bzw. Richtwertes für Uran in Trinkwasser. Die WHO nennt einen Richtwert (Guideline Level, GL) in Höhe von 15 µg/L, die US-EPA einen Maximum Concentration Level (MCL) in Höhe von 30 µg/L (WHO, 2004; US-EPA, 2000)\*.

Das BfR hält den von der US-EPA für Trinkwasser genannten Wert (MCL=30 µg/L) angesichts der derzeitigen Kenntnislage als Basis für die Bewertung von Mineralwasser für zu hoch, insbesondere auch wegen der am Menschen gewonnenen Untersuchungsergebnisse, wie sie z.B. von Zamora et al., 1998, beschrieben wurden. Die bisher vorliegenden tierexperimentellen Studien ermöglichen es immer noch nicht, für die Uranaufnahme einen NOAEL abzuleiten. Auch gibt es keine ausreichend gesicherten Erkenntnisse über die tatsächliche Exposition des Verbrauchers. Entsprechende Daten sind entweder regional beschränkt oder beziehen sich auf eine Zeit, in der andere Verzehrsgewohnheiten als heute galten, insbesondere hinsichtlich des Wasserkonsums. Aus diesen Gründen halten wir, bis zum Vorliegen besserer Erkenntnisse, den niedrigeren Wert der WHO in Höhe von 15 µg/L für besser geeignet.

Obwohl sich der WHO-Wert auf Trinkwasser und nicht auf Mineralwasser bezieht, vertritt das BfR die Auffassung, dass dieser Wert, in Ermangelung international anerkannter Werte für Mineralwasser, auch für die Bewertung von Uran in Mineralwasser herangezogen werden kann.

Wenn für die Bewertung der in Rede stehenden Wässer der WHO-Wert in Höhe von 15 µg/L Trinkwasser herangezogen wird, kann festgestellt werden, dass dieser Wert von über 93 % der Proben eingehalten wurde. Trotz der bestehenden Unsicherheiten bei der Zuordnung der Proben zu den verschiedenen Wasserarten, der Herkunft, der Probenahme und dem Alter

kann davon ausgegangen werden, dass fast alle Proben, die extrem hohe Urangelhalte aufwiesen, „Exoten“ waren. Dennoch bleibt festzuhalten, dass zumindest einige wenige Proben, die den Mineral- und Tafelwässern zuzuordnen sind und den WHO-Wert ausschöpfen oder überschreiten, bei regelmäßigem Verzehr in Mengen von einem halben Liter oder mehr pro Tag zu einer Uranaufnahme führen können, von der nicht mehr ausgeschlossen werden kann, dass sie nachteilige Wirkungen haben könnte.

### Handlungsrahmen/Maßnahmen

In Anbetracht des stetig zunehmenden Konsums von Mineral- und Tafelwasser, das mehr und mehr in Konkurrenz zum Trinkwasser tritt, empfiehlt das BfR, die EFSA zu beauftragen, eine Bewertung des Urans auf europäischer Ebene vorzunehmen sowie eine tolerierbare Aufnahmemenge für dieses Schwermetall abzuschätzen und entsprechende Grenz- bzw. Richtwerte für maximal tolerierbare Urangelhalte in Mineral- und Tafelwässern abzuleiten. Weil Mineralwässer in Abhängigkeit vom geogenen Ursprung gelegentlich auch höhere Urangelhalte aufweisen können, hält es das BfR für angebracht zu prüfen, ob Uran auch in den Anhang I der Richtlinie 2003/40/EG der Kommission vom 16. Mai 2003 mit einer entsprechenden, auf europäischer Ebene abgestimmten Höchstgrenze aufzunehmen ist. Dafür müssten allerdings Messergebnisse in einer Form vorgelegt werden, die dem international üblichen Standard entsprechen.

Die Lebensmittelüberwachungsbehörden sollten insbesondere die in der Braunschweiger Untersuchung durch höhere Urangelhalte aufgefallenen Wässer auf Überschreitungen des Richtwertes der WHO überprüfen, damit auf der Grundlage einer breiteren Datenbasis über regulatorische Maßnahmen nachgedacht werden kann. Bei Überschreitung des WHO-Wertes ist die regelmäßige Aufnahme größerer Mengen des Mineralwassers aus gesundheitlicher Sicht nicht vertretbar. Es sollte erwogen werden, in Deutschland anhand von Mineralwässern eine epidemiologische Studie in den räumlich begrenzten Gegenden mit erhöhten Urangelhalten durchzuführen.

#### **\* Erläuterungen zu den Ableitungen der Richtwerte für Uran in Trinkwasser durch die Expertengremien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der US-Environmental Protection Agency (US-EPA)**

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat sich 1996 bei der Festlegung von Richtwerten für die Qualität von Trinkwasser auch mit der chemischen Toxizität von Uran beschäftigt, sah sich aufgrund nicht ausreichender Kurz- und Langzeitstudien jedoch nicht in der Lage, einen Wert abzuleiten. Sie empfahl stattdessen, bis zum Vorliegen besserer Erkenntnisse den anhand der radiologischen Toxizität abgeleiteten Grenzwert in Höhe von etwa 0,14 mg/Liter anzuwenden (WHO, 1996). 1998 hat die WHO in einem Addendum zu den Guidelines for Drinking-Water Quality, Second Edition, für Uran einen Richtwert in Höhe von 2 µg/L Trinkwasser abgeleitet. Dieser Wert wurde von einem TDI von 0,6 µg/kg KG abgeleitet, der wiederum aus einer subchronischen Studie (91 Tage) mit Ratten von dem dort beobachteten LOAEL für degenerative Veränderungen in den proximalen Nierentubuli männlicher Ratten abgeleitet wurde. Die Tiere erhielten Uranylinitrat-hexahydrat über das Trinkwasser. Der LOAEL lag für beide Geschlechter bei 0,96 mg/L entsprechend 0,06 mg Uran/kg KG für männliche bzw. 0,09 mg/kg KG für weibliche Ratten, errechnet als „time-weighted average equivalent dose of uranium“, wodurch sich wegen der unterschiedlichen Wasseraufnahme die unterschiedlichen Uranaufnahmemengen für männliche und weibliche Tiere ergeben. Unter Verwendung eines Unsicherheitsfaktors von 100 für Intra- und Interspezies-Verschiedenheiten und der Heranziehung des niedrigeren Wertes bei männlichen Ratten (0,06 mg) wurde ein TDI von 0,6 µg/kg KG abgeleitet (WHO, 1998). Auf weitere Sicherheitsfaktoren wurde verzichtet, weil man davon ausging, dass die beobachteten Veränderungen sehr geringfügig waren und auch die relativ kurze Studiendauer (91 Tage) keine bedeutende Rolle spielte, da die biologische Halbwertszeit des Urans in der Niere nur 15 Tage beträgt.

Aus demselben TDI von 0,6 µg/kg KG leitet sich der WHO-Richtwert für Trinkwasser aus dem Jahre 1998 wie folgt ab: Es wird angenommen, dass eine 60 kg schwere Person (WHO-Standard) täglich zwei Liter Trinkwasser aufnimmt, das den TDI zu 10 % ausschöpfen darf (allocation = 10 %). Das bedeutet rechnerisch: 10 % des TDI =

$0,6 \mu\text{g}/\text{kg KG} \text{ mal } 60 \text{ (kg/Person)} = 3,6 \mu\text{g}$  geduldete Uranaufnahme mit zwei Litern Wasser. In einem Liter dürfen also  $1,8 \mu\text{g}$  Uran sein. Dieser Wert wurde auf  $2 \mu\text{g}/\text{L}$  aufgerundet.

2004 hat die WHO Uran erneut bewertet und ist dabei von der gleichen Studie und den gleichen Überlegungen ausgegangen, hat sich aber wegen der sehr geringen Uranaufnahme aus anderen Quellen (Lebensmittel und Luft) dafür entschieden, eine Auslastung des TDI von 80 % zuzulassen (WHO, 2004). Danach ergibt sich gegenüber 1998 folgende neue Berechnung:  $80 \% \text{ des TDI} = 0,48 \text{ mal } 60 \text{ (kg/Person)} = 28,8$  geteilt durch 2 (2 Liter Konsum) =  $14,4 \mu\text{g}/\text{L}$ . Aufgerundet ergibt das  $15 \mu\text{g}/\text{L}$  Trinkwasser.

**Bemerkung:**

Irrtümlicherweise stand in der Internet-Veröffentlichung des Entwurfes der dritten Ausgabe der Guidelines for Drinking-Water Quality ein Richtwert in Höhe von  $9 \mu\text{g}/\text{L}$ , der sich aus der ursprünglich diskutierten „allocation“ von 50 % ergeben hätte. In der endgültigen Fassung, die eigentlich schon Ende 2003 erscheinen sollte, wird der korrekte Wert in Höhe von  $15 \mu\text{g}/\text{L}$  genannt werden.

In den USA galt bis 2000 ein sogenannter „Maximum Contaminant Level (MCL) in Höhe von  $20 \mu\text{g}/\text{L}$ . Dieser Wert wurde von derselben Studie und demselben TDI abgeleitet, die auch schon von der WHO herangezogen worden waren. Allerdings wurde bei der Berechnung durch das in den USA zuständige Expertengremium der EPA von einem Körpergewicht des Verbrauchers von 70 kg ausgegangen. Außerdem wurden noch weitere Überlegungen herangezogen, die letztlich zu dem aufgerundeten Wert von  $20 \mu\text{g}/\text{L}$  Trinkwasser führten (EPA, 1999).

Ende 2000 hat die EPA den alten MCL von  $20 \mu\text{g}/\text{L}$  auf  $30 \mu\text{g}/\text{L}$  angehoben und dies u.a. damit begründet, dass letztlich gegenüber dem alten Wert kein signifikanter Risikoanstieg in Bezug auf die als Marker betrachtete Nierentoxizität gesehen wird. Die bei Beibehaltung des alten Wertes entstehenden hohen jährlichen Vollzugskosten (compliance costs) stünden nach Ansicht von EPA entsprechend einer Kosten-Nutzen-Analyse in keinem zu rechtfertigenden Verhältnis zum Nutzen (US-EPA, 2000).

**Literatur**

ATSDR (1999): Toxicological Profile for Uranium. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry

BfS (2003): Lebensmittel in Bergbaugebieten: Keine Strahlenschutzprobleme. Pressemitteilung des Bundesamtes für Strahlenschutz vom 19.05.2003.

<http://www.bfs.de/bfs/druck/strahlenthemen/bergbauggebiete.html/printversion>

Domingo JL, Llobet JM, Tomas JM, et al. 1987. Acute toxicity of uranium in rats and mice. Bull Environ Contam Toxicol 39:168-174.]

Gilman, A.P. et al. (1998a): Uranyl Nitrate: 28-Day and 91-Day Toxicity Studies in the Sprague-Dawley Rat; Toxicological Sciences 41, 117-128.

Gilman, A.P. et al. (1998b): Uranyl Nitrate: 91-Day Toxicity Studies in the New Zealand White Rabbit; Toxicological Sciences 41, 129-137.

Goodman DR. 1985. Nephrotoxicity. Toxic effects in the kidneys. In: Williams PL, Burson JL, eds. Industrial toxicology safety and health applications in the workplace. New York. NY: Van Nostrand Reinhold Company.

Leggett RW, Harrison JD. (1995): Fractional absorption of ingested uranium in humans. Health Phys 68(4):484-498.

LUA Sachsen-Anhalt (2000): Schwerpunktuntersuchung – Uran in Mineralwasser. Schreiben des Landesveterinär- und Lebensmitteluntersuchungsamtes Sachsen-Anhalt an das Ministe-



rium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 7. August 2000.

Merkel BJ (2002): Uran in Trinkwasser. Internetbeitrag aus dem Institut für Geologie der TU Bergakademie Freiberg.

[http://www.geo.tu-freiburg.de/merkel/uran\\_index.htm](http://www.geo.tu-freiburg.de/merkel/uran_index.htm)

OMEE (1996): Monitoring data for uranium – 1990-1995. Toronto, Ontario. Ontario Ministry of Environment and Energy, Ontario Drinking Water Surveillance Program.

Sparovek RBM, Fleckenstein J, Schnug E (2001): Issues of Uranium and Radioactivity in Natural Mineral Waters. Landbauforschung Völkenrode 4 (51), 149-157

UBA (2000): Stellungnahme für Niedersachsen. UBA-Az.: II 4.7-A352/00 vom 18.07.2000).

US-EPA (2000): National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule. Federal Register, Part II Environmental Protection Agency, Thursday, December 7, 2000

WHO, (1991): Principles and Methods for the Assessment of Nephrotoxicity Associated with Exposure to Chemicals; Environmental Health Criteria 119, World Health Organization.

WHO, (1996): Guidelines for drinking-water quality, second edition, Volume 2, Health criteria and other supporting information; World Health Organization Geneva.

WHO (1998): Guidelines for Drinking-Water Quality – Second Edition – Vol 2 – Health Criteria and other supporting information – Addendum. WHO/EOS/98.1, Geneva 1998

WHO (2001): Depleted uranium – Sources, Exposure and Health Effects, WHO/SDE/PHE/01.1. Department of Protection of the Human Environment, WHO, Geneva [http://www.who.int/ionizing\\_radiation/pub\\_meet/ir\\_pub/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/ir_pub/en/)

WHO (2004): Guidelines for Drinking-Water Quality – Third Edition (in Press) Vorabpublikation im Internet: Draft third edition of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality [www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/GDWQ/draftchemicals/uranium2003.pdf](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/GDWQ/draftchemicals/uranium2003.pdf)

Zamora, M.L. et al. (1998): Chronic ingestion of Uranium in Drinking Water: A Study of Kidney Bioeffects in Humans; Toxicological Sciences 43, 68-77.