

BfR empfiehlt die Ableitung eines europäischen Höchstwertes für Uran in Trink- und Mineralwasser

Gemeinsame Stellungnahme Nr. 020/2007 des BfS und des BfR vom 5. April 2007

Uran ist ein auf der Erde weit verbreitetes, radioaktives Schwermetall. In unterschiedlichen Konzentrationen und Verbindungen kommt es in verschiedenen Gesteinen und Mineralien sowie im Wasser, dem Boden und der Luft natürlich vor. Daneben kann Uran aber auch anthropogen – zum Beispiel über mineralischen Phosphatdünger – in die Umwelt gelangen. Wegen der weiten Verbreitung lässt sich Uran in Spuren auch in Lebensmitteln wie Trink- und Mineralwässern nachweisen.

Uran ist für den Menschen nicht lebenswichtig. Bei anhaltender Aufnahme höherer Urankonzentrationen kann es durch die chemische Giftigkeit der Substanz zu Nierenschäden kommen. Die radioaktiven Zerfallsprodukte von Uran können Krebs auslösen. Für die Bewertung eines möglichen Gesundheitsrisikos von Uran muss daher sowohl die chemische als auch die radiologische Giftigkeit betrachtet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) haben bereits mehrfach zu dem Thema Stellung genommen. In die vorliegende Risikobewertung für Uran in Lebensmitteln inklusive Trink- und Mineralwasser sind die Ergebnisse eines Fachgesprächs eingeflossen, das am 21. Juli 2005 auf Einladung des BfR in Berlin stattfand, um den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu Uran zu bündeln. Die vorliegende Risikobewertung berücksichtigt auch mögliche Einträge über Phosphatdünger und Futtermittel.

Das Vorgehen bei den Risikobewertungen für die chemische und radiologische Toxizität unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsstrukturen beider Noxen. Bei der Bewertung des Gefährdungspotenzials von radiologisch toxischen Stoffen wird die Strahlendosis als „Summennoxe“ betrachtet. Alle radioaktiven Substanzen und ihre Zerfallsprodukte werden in die Berechnung der Strahlenbelastung der Bevölkerung über Lebensmittel einbezogen und daraus wird der Anteil des Urans an der Gesamtbelastung errechnet. Dieses Verfahren ist international standardisiert. Im Gegensatz dazu muss die Abschätzung der chemischen Toxizität aufgrund der unterschiedlichen Wirkungen der Einzelstoffe am Einzelstoff und seiner individuellen Toxizität erfolgen. Ein dem Strahlenschutz entsprechendes standardisiertes Expositionsmodell gibt es deshalb nicht.

Das BfS und das BfR kommen in ihren Risikobewertungen zu folgenden Ergebnissen: Das radiologische Risiko durch Uran, welches über die Nahrung, inklusive Trink- und Mineralwasser aufgenommen wird, ist für Verbraucher in Deutschland sehr gering. Die Strahlenexposition liegt weit unter den Dosisrichtwerten. Vergleichsweise bedeutender ist die chemische Toxizität der in diesen Lebensmitteln gemessenen Urankonzentrationen. Einen Grund zur Sorge sieht das BfR allerdings nicht: Nach dem heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstand stellt die chemische Wirkung von Uran, das über die Nahrung aufgenommen wird, kein nennenswertes Gesundheitsrisiko für Verbraucher dar. Untersuchungen haben gezeigt, dass Uran sich innerhalb der Nahrungskette nicht anreichert und Pflanzen dem Boden nur sehr wenig Uran entziehen. Zu einem möglichen Gefährdungspotenzial von uranhaltigen Phosphatdüngern, die auf Ackerboden aufgebracht werden, sind allerdings noch Fragen offen. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass Verbraucher über Trink- oder Mineralwasser gesundheitlich bedenkliche Mengen an Uran aufnehmen, wenn dieses aus Regionen mit hohen natürlichen Uranvorkommen stammt.

Verschiedene Institutionen haben toxikologische Grenzwerte für die Aufnahme von Uran abgeleitet oder Richtwerte für noch duldbare Mengen an Uran in Trinkwasser erarbeitet. Bei

seiner gesundheitlichen Bewertung von Uran hat das BfR den Trinkwasserleitwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zugrunde gelegt, der bei 15 Mikrogramm (μg) Uran je Liter liegt und eine lebenslange, gesundheitlich duldbare Aufnahme gewährleisten soll. Rund fünf Prozent der getesteten Mineralwässer wiesen einen höheren Urangehalt auf. Diese Wässer können eine nachteilige Wirkung auf die Gesundheit haben, wenn täglich mehr als ein halber Liter davon verzehrt wird. Darauf hat das BfR wiederholt hingewiesen und für Mineralwässer, die für die Zubereitung von Säuglingsnahrung ausgelobt sind, einen Grenzwert von 2 μg Uran pro Liter abgeleitet. Dieser Wert wurde inzwischen in nationales Recht übernommen.

Auf europäischer Ebene gibt es bislang keinen einheitlichen Höchstwert für Uran in Lebensmitteln und insbesondere in Trink- und Mineralwasser. Das BfR empfiehlt die gesundheitliche Bewertung von Uran und die Ableitung eines solchen Wertes durch die europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA). Zum einen ließe sich damit der Verzehr hoch belasteter Mineralwässer einschränken, zum anderen könnten im Rahmen der Ableitung bestehende Kenntnislücken zur chronischen Toxizität von Uran im Niedrigdosisbereich geschlossen werden.

1 Anlass

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat in verschiedenen Stellungnahmen (BfR 2006, BfR 2005 b, BgVV 2002, BgVV 2000) zum Vorkommen von Uran in Mineralwasser¹ berichtet. Bis auf wenige Ausnahmen ließ sich aus den in Mineralwasser gemessenen Urangehalten für den Verbraucher kein nennenswertes Risiko ableiten. Um Belastungsspitzen abzuschneiden hatte das BfR empfohlen, Höchstgehalte für Uran in Mineralwasser festzusetzen und Mineralwasser, das als „Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ ausgelobt wird, gesondert zu regeln. Veröffentlichungen (FAL 2005 a, 2005 b), nach denen der in der Landwirtschaft verwendete Phosphat-Dünger und der militärische Einsatz von Uran-Munition zu einer „unverantwortlichen“ Verschlechterung der Lebensmittel und damit auch zu einer Gefährdung des Verbrauchers führen würden, waren außerdem Anlass für eine öffentliche Diskussion der gesundheitlichen Relevanz des Vorkommens von Uran in verschiedenen Matrices.

Vor diesem Hintergrund hat das BfR eine Risikobewertung von Uran in Lebensmitteln einschließlich Trink- und Mineralwasser unter Berücksichtigung möglicher Einträge über Phosphatdünger und Futtermittel vorgenommen und bestehende Höchstgehalte sowie sonstige international bestehende Eingreifwerte für Uran ausgewertet. Das BfR kommt zu dem Ergebnis, dass für den Lebensmittel- und Futtermittelbereich sowie für Dünger keine Regelungen existieren und sich gesetzliche Regelungen, sofern vorhanden, auf Trink- und Mineralwasser beziehen (vgl. Anhang, Tabelle 1).

Da der Sachverstand, insbesondere hinsichtlich der Fragen zur radiologischen Toxizität sowie der Mobilität von Uran im Boden und zum Übergang in die Pflanze, auf verschiedene Bundesbehörden und andere Forschungseinrichtungen verteilt ist, hat das BfR am 21. Juli 2005 in Berlin ein Statusseminar zum Thema „Uran als Schwermetall in Lebens- und Futtermitteln – Uran als radioaktives Element“ mit Sachverständigen aus Forschung und Fachbehörden veranstaltet (vgl. Anhang, Abbildung 1). Ziel des Statusseminars war es, den gegenwärtigen Wissensstand zu Uran darzustellen, um die Relevanz von Uran für den gesundheitlichen Verbraucherschutz hinreichend sicher zu erkennen (BfR 2005 a). Die vorliegende

¹ Die Bezeichnung „Mineralwasser“ in diesem Text umfasst, sofern nicht anders angegeben: Natürliche Mineralwässer, Quell- und Tafelwässer

Stellungnahme basiert neben den bereits früher veröffentlichten BfR-Bewertungen im Wesentlichen auf den Ergebnissen dieses Fachgespräches.

Thematisch konzentrierte sich das Statusseminar auf Fragestellungen zum Vorkommen von Uran in Wasser, Boden, Dünger und Luft sowie in Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs und dessen gesundheitliche Relevanz. Es wurden Fragen zum Carry over (Übergang) des Urans vom Boden in die Pflanze und von der Pflanze in das Nutztier sowie das Ausmaß einer daraus resultierenden Exposition des Verbrauchers diskutiert. Toxikologische Fragen wurden sowohl aus radiologischer als auch aus chemischer Sicht erörtert.

2 Ergebnis

Das BfR wird die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bitten, eine Bewertung von Uran in Lebensmitteln auf europäischer Ebene vorzunehmen und eine maximal duldbare Aufnahmemenge insbesondere über Trink- und Mineralwasser für dieses Schwermetall abzuleiten.

2.1 Vergleich zwischen chemischer und radiologischer Risikobewertung

Die chemische und radiologische Risikobewertung erfordern unterschiedliche Herangehensweisen. Die Ergebnisse der jeweiligen Risikobewertung wurden mit dem Ziel überprüft, den empfindlichsten Parameter für die Abschätzung des Gefährdungspotenzials zu identifizieren. Danach erwies sich die chemische Toxizität des Urans als der empfindlichste Parameter.

2.2 Trinkwasser

In der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) findet sich bisher kein Grenzwert für Uran. Das Umweltbundesamt (UBA) empfiehlt jedoch gemäß § 6 (1) TrinkwV 2001, als Höchstkonzentration für Uran im Trinkwasser einen lebenslang duldbaren gesundheitlichen Leitwert (LW) von zehn Mikrogramm Uran pro Liter ($10 \mu\text{g U/L}$) Wasser einzuhalten. Dieser wissenschaftlich (epidemiologisch-toxikologisch) basierte LW gilt für alle Risikogruppen. (BfR-Statusseminar Dieter, 2005).

Je nach Natur der geologischen Formation können einige Grundwässer und aus solchen gewonnenes Trinkwasser Uran auch in höheren Konzentrationen als $10 \mu\text{g U/L}$ enthalten. In Abhängigkeit von der Höhe können sie bei lebenslanger Aufnahme Anlass zu gesundheitlicher Besorgnis geben. In Analogie zu § 9 Abs. 6-8 TrinkwV 2001 erachtete das UBA einen Maßnahme(höchst)wert von $20 \mu\text{g U/L}$ als gesundheitlich duldbar (keine gesundheitliche Besorgnis erregend) für eine Belastungsdauer von bis zu zehn Jahren. Trinkwässer mit höheren Urangehalten werden entweder schon seit einigen Jahren nicht mehr verteilt, oder sie werden bereits jetzt oder in nächster Zukunft zur Entfernung von Uran auf Werte von unter $10 \mu\text{g U/L}$ aufbereitet (BfR-Statusseminar Dieter, 2005).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) leitete 2004 einen lebenslang gesundheitlich provisorischen duldbaren Trinkwasserleitwert (provisional drinking water guide value) von $15 \mu\text{g U/L}$ ab.

Das durch Ingestion von Uran über Trinkwasser ausgehende radiologische Gefährdungspotenzial ist für Verbraucher in Deutschland sehr gering (BfR-Statusseminar Kirchner, 2005).

2.3 Mineralwasser

Hinsichtlich der chemischen Toxizität kann von den Urangelhalten der bisher untersuchten Mineralwässer bis auf wenige Ausnahmen eine Gefährdung für Verbraucher nicht abgeleitet werden.

Da Mineralwässer in Abhängigkeit vom geogenen Ursprung gelegentlich jedoch auch erhöhte Urangelhalte aufweisen können, hält es das BfR für angebracht, dass geprüft wird, ob Uran auch in den Anhang I der Richtlinie 2003/40/EG² mit einem entsprechenden, auf europäischer Ebene abgestimmten Höchstwert für natürliche Mineralwässer aufgenommen werden sollte.

Für Wässer, die werblich als „Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ ausgelobt werden, empfiehlt das BfR aus gesundheitlicher Sicht eine vorläufig tolerierbare Maximalkonzentration für Uran in Mineralwässern festzulegen, weil Säuglinge besonders empfindlich auf Schwermetalle reagieren. Diese Empfehlung wird in der nationalen vierten Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung derzeit umgesetzt.

Das durch Ingestion von Uran über Mineralwasser ausgehende radiologische Gefährdungspotenzial ist für Verbraucher in Deutschland sehr gering (BfR-Statusseminar Kirchner, 2005).

2.4 Boden und Dünger

Die Uranbelastung des Bodens durch den Eintrag von mineralischen Phosphatdüngern wurde auf dem BfR-Statusseminar von den Experten kontrovers bewertet.

Die Problematik zu Uran in Phosphatdüngern wird derzeit im Wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) diskutiert. Die Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) hat hierzu bereits einen Standpunkt verfasst. Die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde (FAL-PB) hält zu diesem Punkt eine Kennzeichnungspflicht der handelsüblichen Phosphat-Düngemittel zunächst für ausreichend, da hiermit der Landwirtschaft ein Hilfsmittel an die Hand gegeben wird, den Uraneintrag zu verringern (BfR-Statusseminar 2005, Schnug, Bannick).

Das BfR begrüßt die Aufnahme dieses Themas im Wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen beim BMELV.

2.5 Lebensmittel und Futtermittel

Das BfR und das BfS stellen unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Statusseminars zu Uran fest, dass die Allgemeinbevölkerung unter den derzeitigen Lebensbedingungen und Lebensgewohnheiten sowie der aktuellen landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland keinem nennenswerten gesundheitlichen Risiko – weder durch die chemischen noch durch die radio-

² Richtlinie 2003/40/EG vom 16. Mai 2003 zur Festlegung des Verzeichnisses, der Grenzwerte und der Kennzeichnung der Bestandteile natürlicher Mineralwässer und der Bedingungen für die Behandlung natürlicher Mineralwässer und Quellwässer mit ozonangereicherter Luft; Anhang 1: Natürlich vorkommende Bestandteile natürlicher Mineralwässer und Höchstgrenzen, deren Überschreiten ein gesundheitliches Risiko darstellen kann.

logischen Eigenschaften des Urans in Lebens- und Futtermitteln – ausgesetzt ist. Für die Allgemeinbevölkerung wird deshalb zurzeit kein Handlungsbedarf gesehen.

Generell gilt, dass die Ingestionsdosis für natürliche Radionuklide nur einen Bruchteil der gesamten radiologischen Belastung der Bevölkerung ausmacht. Die radiologischen Eigenschaften von Uran spielen in Lebens- und Futtermitteln nur eine untergeordnete Rolle.

Für die toxikologische Bewertung der radiologischen Eigenschaften für den Menschen sind einige Zerfallsprodukte des Urans wie Ra-226, Pb-210 und Po-210 unter Umständen von größerer Bedeutung und eher vorrangig zu beachten.

2.6 Luft

Auf Grund des sehr kleinen Expositionsbeitrages von Uran über Luft wird vom BfR und vom BfS auch hier derzeit kein Handlungsbedarf gesehen.

3 Begründung

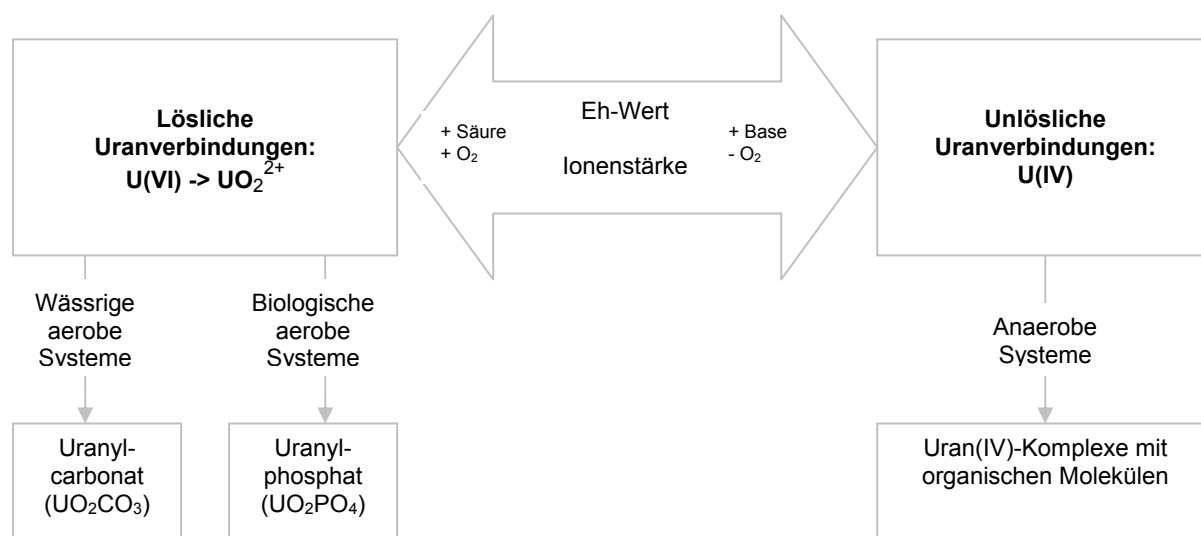
3.1 Risikobewertung

3.1.1 Agens

3.1.1.1 Chemische Eigenschaften des Urans

Uran (U) ist ein auf der Erde weit verbreitetes, radioaktives und reaktionsfreudiges Schwermetall mit einer Dichte von ca. 19 g/cm^3 , das in der Natur nicht als reines Metall, sondern in Verbindungen vorkommt. Welche Uranverbindungen gebildet werden, bestimmen die physiko-chemischen Parameter pH-Wert, Reduktions-Oxidationspotenzial (Eh-Wert), Sauerstoffgehalt, Ionenstärke, Ligandenart sowie die thermodynamischen Daten wie Komplexbildungskonstante und Löslichkeitsprodukt. Uran kommt in der Natur in verschiedenen Wertigkeiten vor (+2, +3, +4, +5 und +6), gewöhnlich aber unter aeroben (oxidativen) Bedingungen in der sechswertigen Form, gebunden an Sauerstoff als stabiles Uranyl-Ion (UO_2^{2+}). Das Uranyl-Ion bildet mit Carbonaten, Phosphaten und Sulfaten bereitwillig lösliche Komplexe. In wässrigen aeroben Systemen sind Uran-Carbonatkomplexe dominierend, wohingegen in aeroben biologischen Systemen wie Bakterien oder Pflanzen überwiegend Uran-Phosphatkomplexe eine Rolle zu spielen scheinen (BfR-Statusseminar 2005, Bernhard). Unter anaeroben (reduktiven) Bedingungen liegt Uran in der Regel in seiner vierwertigen Form vor und bildet mit organischem Material unlösliche Verbindungen (Sheppard 2005).

Abbildung 1: Chemische Bedingungen für das Vorkommen verschiedener Uranverbindungen; schematische Darstellung



Da Uranverbindungen ein natürlicher Bestandteil von Gesteinen und Mineralien sind, lässt sich Uran auch in Wasser, Boden und Luft sowie in Spuren auch in vielen Lebensmitteln als natürlich vorkommendes Element nachweisen. Neben dem natürlich vorkommenden Uran (Natururan) gibt es noch eine Reihe von Verbindungen, die bei der Gewinnung und Weiterverarbeitung von Uran entstanden sind und sich ebenfalls in der Umwelt wieder finden können. Zu diesen Verbindungen zählt auch abgereichertes Uran (depleted uranium, DU).

Abgereichertes Uran (DU) ist ein Metall, dessen chemische und radiologische Eigenschaften mit dem des Natururans vergleichbar sind. DU ist als Dampf, wie er beim Einschlag von Geschossen durch hohe Temperaturen entsteht, pyrophor (zur Selbstentzündung neigend). Typischerweise verbrennen beim Aufschlag auf harte Ziele ca. 30 % des Urans zu staubförmigem Uranoxid.

Die chemischen Eigenschaften aller Isotope sind unabhängig von ihrer Radioaktivität gleich (ATSDR 1999).

3.1.1.2 Radiologische Eigenschaften des Urans

Das in der Erdkruste vorkommende Natururan besteht aus den primordialen Uranisotopen Uran-238 sowie dem mit thermischen Neutronen spaltbaren Uran-235 und Uran-234, wobei die Massenanteile der Einzelisotope 99,28 %; 0,72 % bzw. 0,0056 % betragen. Beim radioaktiven Kernzerfall dieser Isotope werden Alphateilchen und z.T. auch Gammaquanten emittiert. Für 1 mg Natururan lassen sich mit den Massenanteilen der Einzelisotope und deren Halbwertszeiten die spezifischen Aktivitäten berechnen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Spezifische Aktivitäten von U 234, U 235 und U 238 bezogen auf 1 mg Natururan

Uran-Isotop	Massenanteil in %	Halbwertszeit in Jahren	Spezifische Aktivität in Bq/mg Natururan
U-238	99,28	$4,468 \cdot 10^9$	12,35
U-235	0,72	$7,038 \cdot 10^8$	0,576
U-234	0,0056	$2,455 \cdot 10^5$	12,35
Σ	100	-	25,28

In der Zerfallsreihe des U-238 treten 18 radioaktive Folgeprodukte des Uran-238 durch Alpha- und Beta-Zerfall auf, bis als stabiles Isotop Blei 206 (Pb-206) erreicht ist. Eine Folge der Kernzerfälle ist die Emission von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung, wobei die radiologische Bedeutung der Alpha-Strahlung bei Ingestion von besonderer Bedeutung ist.

Für die Umrechnung von Masse (g) in Aktivität (Bq) bzw. umgekehrt gelten die in Tabelle 2 dargestellten Werte.

Tabelle 2: Umrechnungen von Masse (g) in Aktivität (Bq) für Uran (Merkel 2002)

U-Isotop	1 Bq = ? g	1 g = ? Bq	Molmasse	Halbwertszeit (T1/2) [Jahre]
U-238	$8,0382 \cdot 10^{-5}$	$1,244 \cdot 10^4$	238,0507	$4,468 \cdot 10^9$
U-235	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$7,99 \cdot 10^4$	235,0439	$7,038 \cdot 10^8$
U-234	$4,3335 \cdot 10^{-9}$	$2,3076 \cdot 10^8$	234,0409	$2,45 \cdot 10^5$
Natururan	$3,95 \cdot 10^{-5}$	$2,53 \cdot 10^4$	-	-

Für die Berechnung der Uranaktivitäten bzw. -massen ergeben sich in den unteren Aktivitäts- bzw. Konzentrationsbereichen die in Tabelle 3 dargestellten Werte.

Tabelle 3: Umrechnungen von Masse (µg) in Aktivität (mBq) für Uran

U-Isotop	1 mBq = ? µg	1 µg = ? mBq
U-238	0,08	12,44
U-235	0,01	80
U-234	$4,3335 \cdot 10^{-6}$	230,000
Natururan	0,04	25,28

In einer ungestörten, völlig abgeschlossenen Probe kann sich das Uran – ein entsprechend hohes Alter der Probe vorausgesetzt – mit seinen Folgeradionukliden im stationären Gleichgewicht befinden: Alle Radionuklide der Zerfallskette weisen in diesem Fall die gleiche Aktivität auf. Wechselwirkungen mit der Umgebung können dieses Gleichgewicht jedoch stark stören, beispielsweise dadurch, dass einzelne Radionuklide der Zerfallsreihe durch chemische Prozesse herausgelöst werden oder als radioaktives Edelgas entweichen. Insbesondere ab dem Radium-226 (Ra-226) treten derartige Störungen auf, weil Radiumverbindungen relativ reaktionsfreudig und gut wasserlöslich sind. Durch den Zerfall des Ra-226 in das gasförmige Radon-222 (Rn-222) entsteht eine starke Störung des Gleichgewichts durch Emanation³. Das Edelgas Rn-222 ist chemisch inert und existiert lange genug, um sich vom Ort seiner Entstehung entfernen zu können. So werden die Atmosphäre sowie das Regen- und Oberflächenwasser und damit die obersten Bodenschichten mit Rn-222 und seinen Folgeradionukliden relativ zum U-238 angereichert. Die Folgeradionuklide des Rn-222 sind elektrisch geladen und werden von Aerosolen, Staub oder sonstigen Oberflächen adsorbiert. Blei-

³ Physik: Ausstrahlung von z. B. radioaktiven Gasen durch feste Körper; auch veraltete Bezeichnung für Radon

210 (Pb-210) wird schnell aus den kurzlebigen Poloniumvorläufern Po-218 bis Po-214 gebildet und lange vor der Annäherung an das radioaktive Gleichgewicht abgeschieden. Bismut-210 (Bi-210) ist mit dem Pb-210 nach etwa 35 Tagen im radioaktiven Gleichgewicht. Die Bi-210-Tochter Po-210 steht nach einem Jahr annähernd im Gleichgewicht mit Pb-210.

Bei der Herstellung von Brennelementen für den Betrieb von Kernreaktoren wird aus Natururan in Urananreicherungsanlagen Uran 235 und damit auch Uran 234 angereichert. Es entsteht einerseits angereichertes Uran (enriched uranium oder kurz EU) für die Produktion von Brennstofftabletten und andererseits abgereichertes Uran (depleted uranium oder kurz DU) als Abfallprodukt. Typische Werte der Massenanteile und der spezifischen Aktivität für die Isotope Uran 238, Uran 235 und Uran 234 von abgereichertem und angereichertem Uran sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Zusammensetzung von angereichertem und abgereichertem Uran (DU)

Isotop	abgereichertes Uran (DU) 0,2 % U-235		angereichertes Uran (EU) 5 fach	
	Massenanteil in %	Spezifische Aktivität in Bq/mg DU	Massenanteil in %	Spezifische Aktivität in Bq/mg EU
U-238	99,800	12,41	96,5	12,00
U-235	0,200	0,16	3,5	3,00
U-234	0,001	2,30	0,03	69,00
Σ	100	14,87	100	84,00

3.1.2 Gefährdungspotenzial

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 sind. Uranverbindungen können aus dem Wasser, dem Boden und der Luft in Lebensmittel und Futtermittel übergehen oder ihnen anhaften.

3.1.2.1 chemisches Gefährdungspotenzial

Die orale LD₅₀ wird je nach Uranverbindung und Spezies mit Werten zwischen 100 mg/kg Körpergewicht (KG) und über 1000 mg/kg KG, bezogen auf Uran, angegeben (ATSDR 1999). Für männliche Sprague-Dawley Ratten und männliche Swiss-Webster Mäuse werden z.B. als LD₅₀ für Uranylacetatdihydrat nach einmaliger Schlundsondengabe Werte von 114 mg/kg KG bzw. 136 mg/kg KG, bezogen auf Uran, angegeben (Domingo 1987). Zu den typischen Symptomen einer Vergiftung zählen Piloerektion (Haarsträuben), deutlicher Gewichtsverlust und Hämorrhagien in Auge und Nase (WHO 1991).

Uran wirkt, ähnlich wie andere Schwermetalle auch, nierentoxisch, allerdings schwächer als Blei, Cadmium und Quecksilber (Goodman 1985; WHO 1991; US-EPA 2000; WHO 2004). 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.

Verschiedene tierexperimentelle Studien weisen darauf hin, dass relativ gut wasserlösliche Verbindungen wie Uranylinitrat-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 Triuranoctaoxid scheinen dagegen, oral aufgenommen, kaum noch nierentoxisches Potenzial 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 die Toxizität von oral aufgenommenem Uran wegen seiner geringen Resorptionsrate (< 0,1-6%) toxikologisch weniger relevant 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 von bis zu 700 µg U/Liter getrunken hatten, keine signifikanten Unterschiede zu einer Kontrollgruppe. Es wurde innerhalb dieser Gruppe aber eine Tendenz zur vermehrten Ausscheidung von β_2 -Microglobulin beobachtet, was als Hinweis auf frühe tubuläre Defekte verstanden werden könnte. Die Autoren vermuten den LOAEL (lowest observed adverse effect level) 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 1998).

In subchronischen Untersuchungen an Ratten wurde die nierentoxische Wirkung von Uranyl-nitrat-hexahydrat (UN) untersucht. Fünf Gruppen von je 15 männlichen und je 15 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 Veränderungen wurden in Niere und Leber in allen Dosisgruppen, inklusive der niedrigsten, gefunden. Dementsprechend leiten die Untersucher einen LOAEL von 0,96 mg UN/L Trinkwasser pro Tag für beide Geschlechter ab. Das entspricht einer Uraufnahmemenge 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 1998a).

Auch an Kaninchen wurde eine subchronische Studie mit Uranyl-nitrat-hexahydrat (UN) durchgeführt. Fünf Gruppen von je zehn männlichen weißen Neuseeländern 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 zehn weiblichen Kaninchen über 91 Tage Trinkwasser mit 4,8; 24; oder 600 mg UN/L, Kontrolltiere erhielten Leitungswasser. Für männliche Kaninchen wurde ein LOAEL 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 LOAEL 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 wird der in Relation zum Körpergewicht um 65 % höhere Trinkwasserverbrauch der weiblichen Tiere angeführt und die bei einigen männlichen Kaninchen beobachtete Infektion mit *Pasteurella multocida* (Gillman 1998b).

Unabhängig davon, ob es sich um ein natürliches-, angereichertes- oder abgereichertes Uran handelt, ist die chemische Toxizität einer bestimmten Uran-Dosis, unabhängig von ihrer

Radioaktivität, immer identisch. 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).

Die Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) hat keine Informationen zur Gentoxizität nach oraler Aufnahme von Uran bei Menschen oder Tieren gefunden, führt aber aus, dass es jüngere Theorien gibt, nach denen Uran aufgrund seiner Alphastrahlung ein gentoxisches Potenzial besitzen könnte.⁴

Hinsichtlich der oralen Kanzerogenität von Uran beim Menschen kommt die ATSDR zu dem Schluss, dass kein Beleg über einen Zusammenhang zwischen der oralen Aufnahme von Uran und Humankanzerogenität erbracht werden konnte. Trotzdem wird Uran aufgrund seiner Alphastrahlung als potenzielles Kanzerogen bezeichnet. Die National Academy of Science hat ermittelt, dass höchstwahrscheinlich Knochensarkome nach oraler Exposition mit Uran zu erwarten wären, die jedoch in ihrer Studie nicht beobachtet werden konnten⁵ (ATSDR 1999).

Die International Agency for Research on Cancer (IARC) hat die jeweiligen Daten zur Humankanzerogenität verschiedener Radionuklide zusammengefasst, ausgewertet und evaluiert (IARC 2001). Die Mehrzahl der bewerteten Radionuklide wurden in Gruppe 1⁶ eingestuft. Für Natururan liegen dagegen nur unzureichende Belege für eine Humankanzerogenität vor⁷. Uran wurde von der IARC bisher nicht in eine der vier Gruppen zur Klassifizierung des kanzerogenen Potenzials für den Menschen eingestuft (IARC 2006).

3.1.2.2 radiologisches Gefährdungspotenzial

Ein Maß für das radiologische Gefährdungspotenzial des Urans ist die Strahlenexposition infolge der inkorporierten Isotope Uran 234, Uran 235 und Uran 238. Eine Inkorporation kann verursacht werden durch den Verzehr von uranhaltigen Lebensmitteln einschließlich Trinkwasser (Ingestion) und durch das Einatmen uranhaltiger Stäube (Inhalation). Durch die Inkorporation und den Stoffwechsel gelangen die Uranisotope in die einzelnen Organe des menschlichen Körpers. Da beim radioaktiven Zerfall der Uranisotope energiereiche Alpha-Teilchen emittiert und diese auf Grund der kurzen Reichweite im jeweiligen Organgewebe absorbiert werden, kommt es zu einer Strahlenschädigung des Gewebes, die ein Krebsrisiko zur Folge hat.

⁴ „Because uranium is a predominantly alpha-emitting radionuclide, current theories on gene mutation and chromosomal aberrations by high-LET alpha radiation suggest a potential for genotoxicity from uranium’s radioactivity.“ (ATSDR 1999)

⁵ „No evidence linking oral exposure to uranium to human cancer has been found. Although natural, depleted, or enriched uranium and uranium compounds have not been evaluated in rodent cancer bioassays by any route by the NTP (BEIR 1980, 1988, 1990; Hahn 1989; Sanders 1986; UNSCEAR 1982, 1986, 1988), there is potential for the carcinogenicity of uranium, since it emits primarily alpha radiation. Nevertheless, no evidence has been found to associate human exposure to uranium compounds and carcinogenesis. The National Academy of Science has determined that bone sarcoma is the most likely cancer from oral exposure to uranium; however, their report noted that this cancer has not been observed in exposed humans and concluded that exposure to natural uranium may have no measurable effect (BEIR IV).“ (ATSDR 1999).

⁶ Group 1: The agent is carcinogenic to humans.

⁷ „There is inadequate evidence in humans for the carcinogenicity of natural uranium“. (IARC 2001)

Ein quantifizierbares Maß für das Krebsrisiko ist die Strahlenexposition. Sie ist abhängig von der inkorporierten Aktivität, dem Radionuklid, der Art der Strahlung, der Löslichkeit des radioaktiven Stoffes und bei Inhalation zusätzlich von der Teilchengröße.

Der Einfluss der letzten vier Parameter wird in Dosiskoeffizienten zusammengefasst. Die Strahlenexposition durch die Inkorporation von Uranisotopen lässt sich rechnerisch aus der inkorporierten Aktivität A und den entsprechenden Dosiskoeffizienten g für eine Person der Altersgruppe T nach folgenden Gleichungen ermitteln:

$$\text{Ingestionsdosis: } H_{T,g, \text{Uran}} = A_{g, \text{U-234}} \cdot g_{g,T, \text{U-234}} + A_{g, \text{U-235}} \cdot g_{g,T, \text{U-235}} + A_{g, \text{U-238}} \cdot g_{g,T, \text{U-238}}$$

$$\text{Inhalationsdosis: } H_{T,h, \text{Uran}} = A_{h, \text{U-234}} \cdot g_{h,T, \text{U-234}} + A_{h, \text{U-235}} \cdot g_{h,T, \text{U-235}} + A_{h, \text{U-238}} \cdot g_{h,T, \text{U-238}}$$

Hierin bedeuten:

- $H_{T,g, \text{Uran}}$: Effektive Dosis durch Ingestion von U-234, U-235 und U-238 in Sv
- $H_{T,h, \text{Uran}}$: Effektive Dosis durch Inhalation von U-234, U-235 und U-238 in Sv
- $A_{g, \text{U-234}}$: Durch Ingestion von U-234 aufgenommene Aktivität in Bq
- $A_{h, \text{U-234}}$: Durch Inhalation von U-234 aufgenommene Aktivität in Bq
- $g_{g,T, \text{U-234}}$: Dosiskoeffizient für die Berechnung der effektiven Dosis durch Ingestion von U-234 in Sv Bq^{-1}
- $g_{h,T, \text{U-234}}$: Dosiskoeffizient für die Berechnung der effektiven Dosis durch Inhalation von U-234 in Sv Bq^{-1}

Die durch Ingestion von U-234 aufgenommene Aktivität $A_{g, \text{U-234}}$ berechnet sich aus

$$A_{g, \text{U-234}} = U \cdot C_{\text{U-234}}$$

wobei

- U Masse des verzehrten Lebensmittels in kg.
- $C_{\text{U-234}}$ Spezifische Aktivität von z.B. U-234 des Lebensmittels in Bq/kg

Die Ingestions- und Inhalationsdosis ist eine so genannte Folgedosis, d.h. sie berücksichtigt die Strahlung durch die langjährige Deposition des Urans und seiner Folgeprodukte im Körper in den Folgejahren nach der Inkorporation des Urans. Beim Erwachsenen wird die Summe der Jahresdosen im ersten, zweiten, dritten, ... bis zum 50. Jahr nach der Uranaufnahme (50-jährige Folgedosis) berechnet. Bei Kindern und Jugendlichen werden die Jahresdosen bis zum 70. Lebensjahr summiert.

In der Tabelle 5 sind die Dosiskoeffizienten für die Berechnung der effektiven Dosis von Kleinkindern unter einem Jahr und Erwachsenen zusammengestellt (Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28.08.2001). Die Absorptionsklassen F (fast), M (moderate) und S (slow) sind ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der ein radioaktiver Stoff aus dem Atemtrakt in den Körper übertritt. Die Absorptionsklassen werden durch die Löslichkeit des radioaktiven Stoffes bestimmt. Leicht lösliche Verbindungen sind der Absorptionsklasse F, weniger gut lösliche der Absorptionsklasse M und schwer lösliche der Absorptionsklasse S zugeordnet.

Tabelle 5: Dosiskoeffizienten für die Berechnung der effektiven Dosis von Kleinkindern unter einem Jahr und Erwachsenen für U-234, U-235 und U-238

Kleinkinder unter einem Jahr				
Dosiskoeffizienten g_h und g_g in $Sv \cdot Bq^{-1}$				
	g_h - Inhalation			g_g - Ingestion
	F	M	S	
U-234	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$
U-235	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$
U-238	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$
Erwachsene				
Dosiskoeffizienten g_h und g_g in $Sv \cdot Bq^{-1}$				
	g_h - Inhalation			g_g - Ingestion
	F	M	S	
U-234	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$
U-235	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-8}$
U-238	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$

Ausgehend von Natururan, den Gleichungen zur Berechnung der Ingestionsdosis bzw. der Inhalationsdosis und den Dosiskoeffizienten kann die maximal zulässige jährliche Aktivitätszufuhr für Kleinkinder unter einem Jahr und für Erwachsene für den Verzehr von Trinkwasser berechnet werden, wenn man von einer Richtdosis von 0,1 mSv/ pro Jahr ausgeht. Da für die Aufnahme von Natururan durch den Verzehr von Lebensmitteln von der WHO und EU keine Richtdosis festgelegt wurde, wird zur Berechnung der maximalen Aktivitätszufuhr der Grenzwert für die effektive Dosis im Kalenderjahr von 1 mSv (§ 97 (1) der StrlSchV) für Einzelpersonen der Bevölkerung berücksichtigt. Im Ingestionsfall ergeben sich bei 1 mSv und 0,1 mSv für beide Personengruppen Werte für die maximale jährliche Aktivitätszufuhr und die daraus abgeleiteten maximalen Uran 238-Konzentrationen in Trinkwasser und in Lebensmitteln (Tabelle 6). Die Tabellenwerte berücksichtigen die in der StrlSchV Anlage VII, Teil B, Tabelle 1 angegebenen durchschnittlichen Verzehrsgewohnheiten für Trinkwasser und Lebensmittel in Deutschland.

Da die tatsächlich in Deutschland auftretenden U 238-Konzentrationen in Trinkwasser (Median 0,005 Bq/L) und in Lebensmitteln (Median < 0,015 Bq/kg) weit unter den in der Tabelle 6 angegebenen, zulässigen Maximalwerten liegen, ist das von Uran ausgehende radiologische Gefährdungspotenzial für den Ingestionspfad sehr gering. Für Mineralwasser gelten aus radiologischer Sicht die gleichen Schlussfolgerungen wie für Trinkwasser.

Tabelle 6: Maximal zulässige Werte der jährlichen U 238-Aktivitätszufuhr und der U-238-Konzentrationen in Trinkwasser und Lebensmitteln für Kleinkinder unter einem Jahr (KK < 1 Jahr) und Erwachsene*

	0,1 mSv/Jahr WHO/EU-Richtdosis für Trinkwasser **		1 mSv/Jahr § 97 (1) StrlSchV ***	
	KK < 1a ^A	Erwachs. ^A	KK < 1a ^B	Erwachs. ^B
Maximal zulässige U-238-Aktivitätszufuhr in Bq/Jahr	138	1040	1380	10400
Maximal zulässige Konzentration in Trinkwasser in U-238-Bq/L in µg Natururan/L	0,812 65,8	2,97 240	- -	- -
Maximal zulässige Konzentration in Lebensmitteln in U-238-Bq/kg in µg Natururan/kg	- -	- -	11 890	21,7 1760

* Bei der Dosisberechnung wurde von mit Natururan kontaminierten Lebensmitteln ausgegangen, d.h. zusätzlich zu U-238 wurden die Dosisanteile von U-234 und U-235 berücksichtigt.

- ** Die Richtdosis von 0,1 mSv/Jahr ist von der WHO/EU für Trinkwasser festgelegt worden. Sie ist auch auf Mineralwasser übertragbar für Personen, die überwiegend an Stelle von Trinkwasser Mineralwasser trinken.
- *** Der Richtwert der Strahlenexposition von 1 mSv/Jahr gemäß § 97 (1) der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) dient dem Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen. Der Richtwert schließt die externe und interne Strahlung durch Inhalation und Ingestion ein.
- A Zu Grunde gelegte jährliche Trinkwassermenge: 170 L Kleinkinder < 1 Jahr, 350 L Erwachsene
- B Zu Grunde gelegter jährlicher Lebensmittelverzehr: 125 kg Kleinkinder < 1 Jahr, 480 kg Erwachsene

Die radiologische Wirkung von abgereichertem Uran (DU) ist im Wesentlichen an Orte gebunden, an denen militärische Geschosse aus DU verwendet wurden. Da derartige Orte in Deutschland nicht vorhanden sind, kann die radiologische Wirkung von DU über den Inhalations- und Ingestionspfad vernachlässigt werden. Nach Abschätzungen einer internationalen Gruppe von Experten der International Atomic Energy Agency (IAEA) (DU-Report der UNEP/UNCHS Balkan Task Force, 1999), der World Health Organisation (WHO) und des schwedischen Strahlenschutzinstitutes über die radiologischen Wirkungen von DU Geschossen im Kosovo ergab sich eine Inhalationsdosis von ca. 1 mSv im ersten Jahr, wenn man von einem täglich 24-stündigen ungeschützten Aufenthalt ausgeht. Über die Kontamination eines Brunnens in unmittelbarer Nähe des Einsatzgebietes von DU Geschossen kann über den Trinkwasserpfad ebenfalls von einer jährlichen Strahlenexposition von ca. 1 mSv ausgegangen werden.

3.1.3 Exposition

Uranexpositionen des Menschen können durch natürliche oder anthropogene Quellen auftreten. Die Expositionshöhe richtet sich nach den geogenen Gegebenheiten sowie der jeweiligen Übergangsrate (Boden-Wasser-Pflanze-Tier-Mensch) und dem allgemeinen Belastungsprofil der jeweiligen Umwelt. Als anthropogene Uran-Quellen sind vor allem alte Abraumhalden des Uranbergbaus und der weiterverarbeitenden Industrie zu nennen, aber auch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, uranhaltige Phosphatdünger und Emissionen der Uranwirtschaft.

Abgereichertes Uran (Depleted Uranium, DU) wird zivil für Farbglasuren (z. B. Schmuckindustrie), Stahlegierungen, Katalysatoren, Gegengewichte in Schwungrädern und Schiffsielen oder als Abschirmungsmaterial gegen Gammastrahlen eingesetzt. Bis 1982 war DU teilweise in Zahnkronen enthalten. Neben der industriellen Verwendung wird DU als Munitionsbestandteil in so genannten panzerbrechender Munition eingesetzt.

3.1.3.1. Wasser

Durch Auswaschung aus den Uran führenden Erdschichten kann Uran sowohl in das Oberflächen- als auch in das Grund- und Quellwasser gelangen und damit auch in Trink- und Mineralwasser enthalten sein. Deutsche Flüsse enthalten je nach geologischer Beschaffenheit der durch sie entwässerten Gebiete zwischen 1 und 3 µg U/L. Im unbeeinflussten Grundwasser variieren die Werte zwischen 1 µg U/L und über 100 µg U/L (Merkel 2002). Ozeane enthalten durchschnittlich 3,3 µg U/L.

3.1.3.1.1 Trinkwasser

Je nach geologischen Gegebenheiten können Grundwässer und daraus hergestellte Trinkwässer nach Angaben der Bundesländer (2002) mitunter bis zu 100 µg Uran /L enthalten. In den Jahren 2001 bis 2003 wurden im Trinkwasser aus allen Wasserversorgungsanlagen (WVA) in ca. 92 % der untersuchten Wässer in Deutschland Urangelhalte unter 2 µg Uran/L

gemessen. Das entspricht einer Aktivität unter 50 mBq⁸. Ca. 6 % lagen im Bereich von 2 bis 9 µg Uran /L, ca. 1,3 % zwischen 9 und 20 µg Uran/L. Etwa 0,5 % enthielten mehr als 20 µg Uran/L Trinkwasser (BfR-Statusseminar 2005, Dieter; nach Seidel 2005).

3.1.3.1.2 Mineralwasser

Durch die Einführung der Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ist die Uranbestimmung 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 Bundesländern und der Europäischen Union auf Uran untersucht (LUA Sachsen-Anhalt, 2000). Die Bestimmungsgrenze lag bei 1 µg U/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 µg U/L, dem höchsten gemessenen Wert.

In 643 (44,2 %) von 1.456 Proben, die dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) aus sieben Bundesländern zugesandt wurden, konnte kein Uran nachgewiesen werden. 30 Werte (2,1 %) lagen über dem Trinkwasser-Richtwert der WHO in Höhe von 15 µg U/L. Davon bewegten sich 29 Werte zwischen 16 und 24,5 µg U/L, während ein Wert 44,2 µg U/L (Maximalwert) betrug.

Bei den 74 nachgelieferten Untersuchungsergebnissen konnte in 60 Proben (81 %) kein Uran nachgewiesen werden. 4 Proben enthielten 2 µg U/L, 5 Werte lagen zwischen 3 und 7 µg U/L, 4 Werte betrugten 12, 23, 26 bzw. 67 µg U/L und der Maximalwert lag bei 71 µg U/L.

Diese Ergebnisse werden auch von anderen Untersuchungen eines weiteren Bundeslandes bestätigt, das 405 entsprechende Datensätze zur Verfügung gestellt hatte, nach denen der überwiegende Teil der Mineralwässer kein Uran oder nur geringe Mengen davon enthält. Bei einem täglichen Konsum von zwei Litern Mineralwasser am Tag kann davon ausgegangen werden, dass mit einem kleinen Prozentsatz der untersuchten Wässer um ca. 88,8 µg bzw. 142 µg Uran aufgenommen werden könnten. Diese Mengen entsprechen Aktivitäten bis zu 3.550 mBq für Natururan.

Eine Zusammenfassung der dem BfR zur Verfügung gestellten Untersuchungsergebnisse und die daraus resultierenden Aufnahmemengen an Uran beim Verzehr von 2 bzw. 0,5 Litern zeigt Tabelle 7. Der Konsum von zwei Litern pro Tag entspricht dabei der Verzehrsmenge, die von der WHO zur Ableitung des WHO-Richtwertes zu Grunde gelegt wurde (WHO 2004). Als durchschnittliche Verzehrsmenge wurden 0,5 Liter Mineralwasser pro Tag angenommen. Diese Verzehrsmenge entspricht der Menge, die für die radiologische Bewertung für Erwachsene zu Grunde gelegt wurde.

⁸ Berechnungsgrundlage: Natururan, vgl. „Agens“

Tabelle 7: Übersicht über die Uranaufnahme beim Verzehr von 2 bzw. 0,5 Litern bei Konsum derjenigen natürlichen Mineralwässer, deren Urangelhalte vom BVL zusammengefasst wurden

Konzentrationsbereiche [$\mu\text{g U/L}$]	Aktivitätsbereiche [mBq/L]	Anzahl der Proben [%]	Maximale Uranaufnahme mit 2 L/Tag	Maximale Uranaufnahme mit 0,5 L/Tag
< Bg ¹	< Bg ¹	44,2	< 0,2 μg ** (< 5 mBq)	< 0,05 μg ** (1,25 mBq)
< 15	< 375	53,8	< 30 μg ** (< 750 mBq)	< 7,5 μg ** (187,5 mBq)
> 16 *	> 400	2,1	32 μg – 88,8 μg (800 – 2200 mBq)	8 μg – 22,1 μg (200 – 552,5 mBq)

¹ Bg = Bestimmungsgrenze (Näherung aus zehn unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen): 0,2 $\mu\text{g U/L}$

* Maximalwert der untersuchten Proben lag bei 44,2 $\mu\text{g U/L}$ (die übrigen Werte über 15 $\mu\text{g U/L}$ liegen zwischen 16 $\mu\text{g U/L}$ und 24,5 $\mu\text{g U/L}$)

** Befunde unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden mit der halben Bestimmungsgrenze ($nn = \text{Bg}/2 = 0,1 \mu\text{g U/L}$) in die Berechnungen einbezogen.

Diese auch auf dem BfR-Statusseminar vorgestellten Urangelhalte in Mineralwässern stimmen mit den Ergebnissen anderer vorgestellter aktueller Untersuchungen weitgehend überein (BfR-Statusseminar 2005, Anke, Kirchner).

Durch das BfS wurden im Rahmen der repräsentativen Studie „Natürliche Radionuklide in Mineral- und Tafelwässern“ die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide Uran 234, Uran 235, Uran 238, Radium 226, Radium 228, Polonium 210, Blei 210 und Aktinium 227 von 407 in Deutschland erhältlichen Wässern untersucht (Obrikat 2003; Obrikat 2004). Der Medianwert für U 238 betrug 0,11 $\mu\text{g U/L}$ oder 1,4 mBq/L. Die aus den Uranisotopen Uran 234, Uran 235 und Uran 238 resultierende jährliche Strahlenexposition für Kleinkinder unter einem Jahr lag bei ca. 0,3 μSv , wenn man von einem jährlichen Mineralwasserkonsum von 170 Litern ausgeht. Dagegen betrug die Strahlenexposition bei Berücksichtigung aller bestimmten natürlichen Radionuklide im Mineralwasser ca. 50 μSv pro Jahr, wobei ca. 77 % der Gesamtdosis vom Radionuklid Radium 228 herrühren. Der durch Uranisotope verursachte Anteil an der Ingestionsdosis durch den Konsum von Mineralwasser beträgt somit bei Kleinkindern bis zur Vollendung des ersten Lebensjahres durchschnittlich 0,6 % der Dosis aller oral aufgenommenen Radionuklide. Die radiologische Hauptbelastung erfolgt durch Ra-228 (BfR-Statusseminar 2005, Kirchner).

3.1.3.2 Boden und Dünger

In der Erdrinde beträgt der Urangelhalt durchschnittlich 2 bis 4 ppm (2-4 mg Natururan/ kg Boden). Entsprechend der geogenen Verhältnisse kann es zu großen Schwankungen kommen. Für deutsche Gesteins- bzw. Bodenarten werden als repräsentative Uranaktivitäten zwischen 7 (Moorboden) und 60 Bq/kg Trockenmasse (Granit) zu Grunde gelegt. Die durchschnittliche Aktivität von Natururan wird mit 40 Bq angenommen, was 3,3 mg Uran/ kg Boden entspricht.

Ausnahmen mit weit höheren U-238-Aktivitäten sind in den Gebieten bekannt, die eine hohe natürliche Radioaktivität bis 350 Bq/kg Boden aufweisen. Zu diesen Gebieten gehören Fichtelgebirge, Schwarzwald, Odenwald, Spessart, Bayerischer Wald, Thüringer Wald, Erzgebirge, Lausitz, Rheinisches Schiefergebirge, Harz, Vogtland, Eifel und Thüringer Becken. In Böden in der Nähe kerntechnischer Anlagen in Deutschland sind die Uran-Aktivitätskonzentrationen im Vergleich zu den typischen Gehalten der Bodenarten in Deutschland nicht erhöht.

Landwirtschaftliche Nutzflächen enthalten je nach Zusammensetzung des Bodens und der darunter liegenden Gesteinsschichten natürlicherweise Uran. Über mineralischen Phosphatdünger wird auf landwirtschaftliche Nutzflächen zusätzlich Uran eingetragen, da Phosphaterze einen relativ hohen Urangehalt aufweisen können. Dabei richtet sich die Höhe des Uranintrags nach der Abbauregion des Phosphatdüngers und nach der Behandlung des Rohphosphats (Izak-Biran 1989).

In Deutschland ist die Phosphatdüngung seit etwa 1995 stark zurückgegangen, da aktuell keine gezielte Aufdüngung mehr stattfindet. Seit der freiwilligen Selbstbeschränkung der Mitgliedsfirmen vom Industrieverband Agrar e.V. (IVA) im Jahr 1984 zur Senkung des Cadmeintrags in Böden werden heute mehr schwermetall- und damit auch uranarme Rohphosphate verwendet (BfR-Statusseminar 2005, Pradt). Wird weiterhin mit ausgeglichener Phosphatbilanz gedüngt, ist für die Zukunft keine Steigerung des Einsatzes phosphathaltiger Mineraldünger zu erwarten. Allerdings kann der Urangehalt in importierten Phosphatdüngern nicht genau eingeschätzt werden.

Ausgehend von einer Bodenmasse von 3.250 t/ha (Bodendichte: 1,3 t/m³, 0,25 m Pflugtiefe) ergibt sich durchschnittlich ein Urangehalt von 10.656 g Natururan/ha (entspricht ca. 40 Bq/kg). Wird der Eintrag über die Düngung mit ca. 9 g Natururan/ha pro Jahr angenommen⁹, was 50 kg P₂O₅ NP/NPK-Dünger abzüglich des Pflanzenentzugs von 6 g pro ha und Jahr in Folge der Wurzel Aufnahme entspricht, ergibt sich im Vergleich zum durchschnittlichen Hintergrundwert von 3,3 mg/kg Boden (ca. 40 Bq/kg) eine sehr kleine Steigerung der Aktivitätsrate um jährlich 0,08 % (BfR-Statusseminar 2005, Kirchner). Diese Steigerung, die sich aus der Modellrechnung ergibt, bedeutet, dass sich der durchschnittliche Hintergrundwert in 1.250 Jahren verdoppeln würde, womit der Urangehalt des Bodens immer noch in der gegen bedingt natürlichen Schwankungsbreite liegen würde.

Diese Modellrechnung orientiert sich mit weniger als 10 kg P/ha Boden an dem Phosphordünger-Einsatz entsprechend des statistischen Flächenaufwandes an mineralischen Phosphordüngern seit Mitte der 1990er Jahre und ist damit ein realitätsnahes Szenario (BfR-Statusseminar 2005, Schnug).

Die Modellrechnung nach den allgemein anerkannten „Regeln guter fachlicher Praxis“ erfordert einen Ersatz der durch Ernteprodukte dem Boden entzogenen Mengen an Phosphor (P) durch Düngung, was 22 kg P/ha entspricht. Damit werden bei alleiniger Verwendung mineralischer Handelsdünger und einem Gehalt von 50 mg U/kg Düngemittel dem Boden jährlich 17,6 g U/ha zugeführt¹⁰ (BfR-Statusseminar 2005, Schnug). Im Vergleich zum durchschnittlichen Hintergrundwert ergibt sich damit eine jährliche Steigerung der Aktivitätsrate um 0,16 %. Diese Modellrechnung ist als eher konservativ zu betrachten, da in der guten fachlichen Praxis meistens nicht ausschließlich mineralischer Dünger verwendet wird, um den Phosphatbedarf zu decken, sondern auch Wirtschaftsdünger eingesetzt werden. Der Urangehalt in Wirtschaftsdüngern ist wesentlich geringer als der mineralische Phosphatdünger (BfR-Statusseminar 2005, Schnug).

3.1.3.3 Lebensmittel und Futtermittel

Über den Boden, über das Wasser und ggf. über die Luft kann Uran in oder auf Lebens- und Futtermittel pflanzlichen und tierischen Ursprungs gelangen.

⁹ Daten nach: Vortrag S. Kratz (FAL), Uran-Statusseminar der FAL am 14. 10. 2004

¹⁰ Berechnungsgrundlagen: P-Düngemittel mit 15% P₂O₅ und 50 mg/kg U im Düngemittel insgesamt

Der Urangehalt in Kulturpflanzen wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst und variiert stark. Von Bedeutung ist dabei vor allem der Urangehalt des Bodens und des Wassers. Darüber hinaus spielt das Vegetationsstadium der Pflanze eine wesentliche Rolle: Mit zunehmendem Alter der Kulturpflanze nimmt der Urangehalt ab, da durch die Zunahme der Pflanzenmasse ein Verdünnungseffekt einsetzt (BfR-Statusseminar 2005, Anke).

Untersuchungen zeigen, dass der Übergang von Uran in die Pflanze vom verfügbaren Nährstoffgehalt des Bodens abhängt. Zum Beispiel nahm Weizen, der auf gut mit Nährstoffen versorgtem Boden kultiviert wurde, um den Faktor zehn weniger Uran auf als Weizen, der auf Mangelboden gewachsen ist (Pulhani 2005).

Der Transferfaktor, der das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes in der Pflanze zu der Konzentration des Stoffes im Boden angibt, ist demnach bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen abhängig von der Boden- und Wasserqualität, der Spezies und dem Vegetationsstadium des Futter- bzw. Lebensmittels bei der Ernte. Für Weizenkörner wurde ein Transferfaktor für Uran bei gut versorgtem Boden von durchschnittlich $5,9 \times 10^{-4}$ bestimmt (Pulhani 2005). In einer anderen Studie wurden Transferfaktoren für Uran in verschiedenen Kulturpflanzen zwischen $6,3 \times 10^{-4}$ (Gurke) bis $3,6 \times 10^{-2}$ (Weidegras) bestimmt (Tsukada 1998). In den meisten Untersuchungen wurden für Uran Transferfaktoren vom Boden in die Pflanze in Abhängigkeit der oben aufgeführten Parameter im Bereich zwischen 10^{-1} bis 10^{-4} ermittelt (BfR-Statusseminar 2005, Anke, Schnug).

Die Verteilung von Uran und anderen radioaktiven Schwermetallen in der Kulturpflanze ist nicht homogen. Beim Weizen wurden beispielsweise 75 % des aufgenommenen Urans in der Wurzel, 16 % im Spross, 8 % in der Spelze und 1 % im Korn gemessen (Pulhani 2005).

3.1.3.3.1 Futtermittel

Lebensmittel liefernde Tiere können Uran sowohl mit dem Tränkewasser als auch mit dem Futter aufnehmen. Der Urangehalt des Tränkewassers richtet sich dabei nach dem geogenen Urangehalt der Region.

In den Grundfuttermitteln Grünmais und Wiesenrotklee wurden an Standorten in Deutschland, die nicht durch Uranbergbau beeinträchtigt waren, durchschnittlich etwa $7 \mu\text{g}$ Uran/kg Trockensubstanz (TS) gemessen. Für das Grundfuttermittel Weißklee wurden $15 \mu\text{g}$ Uran/kg TS bestimmt. Die Kraffuttermittel Weizenkorn und Rapssaat enthielten durchschnittlich $0,58$ bzw. $0,71 \mu\text{g}$ Uran/kg TS (BfR-Statusseminar 2005, Anke).

Eine weitere Expositionsquelle für Tiere kann das Mineralfutter sein. Es wird beschrieben, dass im Mineralfutter in der Regel der Urangehalt mit der Höhe des Phosphatgehalts korreliert. Bei hohen Phosphatgehalten (19 %) im Mineralfutter wurden bis 179 ppm Uran gemessen (Reid 1997). Dies gilt nicht für Knochenmehl, das als uranarme Phosphatquelle gilt¹¹. Tabelle 8 zeigt den Urangehalt in 27 verschiedenen Mineralfuttermitteln aus Texas.

¹¹ Knochenmehl darf nur noch an Haustiere und an Tiere, die nicht der LM-Gewinnung dienen, verfüttert werden (VO (EG) 999/2001)

Tabelle 8: Urangehalte in 27 Mineralfuttermitteln aus Texas (modifiziert nach Reid 1997)

Bereich Urangehalt [mg/kg] *	Bereich Urangehalt [Bq/kg] **	Anzahl der Proben	Bemerkung
< 2	< 50	2 (3)	in Klammern: Anzahl inkl. Knochenmehl
2-10	50-250	3	
11-50	275-1.250	7	
51-100	1.275-2.500	7	
101-150	2.525-3.750	4	
> 150	> 3.750	3	höchster gemessener Wert: 179 mg/ kg

* Angaben in Originalarbeiten in ppm; hier Umrechnung: 1ppm => 1 mg/ kg als Grundlage für die Umrechnung in Bq/kg

** Für die Umrechnung in [Bq/kg] wurde die Aktivität von Natururan zu Grunde gelegt

Darüber hinaus ist der Urangehalt vom Herstellungsverfahren des phosphathaltigen Mineralfutters abhängig (Izak-Biran 1989).

Um die Uran-Belastung Lebensmittel liefernder Tiere über Tierfutter und Tränkewasser einschätzen zu können, wurden im BfR am Beispiel der Milchkuh, der Legehennen und des Broilers Modellrechnungen zur Aufnahme und Ausscheidung von Uran durchgeführt. Die hierfür notwendigen Bedarfsnormen und Futtermittelanalysen sowie Zahlen zum Futter- und Wasserverbrauch der Tiere wurden, wenn nicht anders vermerkt, nach den Supplementen zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung zusammengestellt (Supplemente 2004).

3.1.3.3.1.1 Milchkuh

Für die Modellrechnung wurde eine Milchkuh mit 650 kg Körpermasse (KM), die täglich 30 kg Milch¹² liefert, angenommen. Als tägliche Futteraufnahme wurde die in Tabelle 9 dargestellte Beispielration zu Grunde gelegt.

Tabelle 9: Beispielration pro Tag für eine Milchkuh mit 650 kg KM, 30 kg Milch

Futtermittel	Menge (kg)	NEL (MJ)	nRp (g)	Ca (g)	P (g)
Grundfutter, siliert; z.B. Kleegrassilage (Gruber Tabelle 2004)	27	57	1300	76	32
Maissilage	15	30	615	9	13
Grundfutter	42	87	1915	85	45
Raps	2	19	180	7	13
Weizen	5	38	755	3	16
Mineralfutter II*	0,2			28	16
Kraft/Ergänzungsfutter	7,2	57	935	38	45
Gesamt	49,2	144	2850	123	90
Bedarf		137	3000	114	71

NEL: Netto Energie Laktation;

nRp: nutzbares Rohprotein;

*Einsatz des Mineralfutters laut Empfehlung: 0,1-0,2 kg pro Tier und Tag, 14 % Ca und 8 % P/kg ursprüngliche Substanz (uS)

Bei Verfütterung dieser Beispielration ergibt sich bei zu Grunde legen der jeweils gemessenen und angegebenen Urangehalte der Futtermittel eine tägliche Aufnahme von 210 µg Uran (Tabelle 10).

¹² Fat-corrected milk, FCM (4 % Fett)

Tabelle 10: Tägliche Uranaufnahme einer Milchkuh (650 kg KM, 30 kg Milch) bei Verfütterung der in Tabelle 9 dargestellten Beispielration

Futtermittel	Aufnahme pro Tag [kg]	Aufnahme pro Tag [kg TS]	Uran [$\mu\text{g}/\text{kg TS}^*$]	Uranaufnahme [$\mu\text{g Uran}/\text{Tag}$]
Weißkleewiesensilage	27	9	15 ¹	135
Maissilage	15	5	7 ²	35
Rapssamen	2	1,8	0,71 ³	1,3
Weizen	5	4,4	0,58 ³	2,6
Mineralfutter II	0,2		179 ⁴	35,8
Summe FM	49,2			210

TS: Trockensubstanz

1 FM: Futtermittel

2 Annahme der Uran-Belastung von Weißklee (BfR-Statusseminar 2005, Anke)

3 Annahme der Uran-Belastung von Grünmais (BfR-Statusseminar 2005, Anke)

4 BfR-Statusseminar 2005, Anke

5 Annahme des höchsten gemessenen Uran-Gehaltes in einem Mineralfuttermittel mit 19 % P, obwohl in dem angenommenen nur 8 % P enthalten sind (Reid 1997)

* für Mineralfutter: $\mu\text{g}/\text{kg uS}$

Zu der Aufnahme über Futtermittel wurde die tägliche Uranaufnahme über das Tränkewasser abgeschätzt. Hierfür wurde für die Modellkuh mit 650 kg KM und 30 kg Milchlieferung pro Tag für den thermoneutralen Bereich eine tägliche Wasseraufnahme von 89 Litern angenommen. Unter der Annahme, dass das Tränkewasser einen Gehalt von 15 μg Uran/L aufweist, würde die Modellkuh täglich etwa 1,34 mg Uran pro Tag über das Wasser aufnehmen. Unter der konservativen Annahme, dass das Tränkewasser 100 μg Uran/L enthält, könnte die Modellkuh 8,9 mg Uran pro Tag über das Wasser aufnehmen.

Die mögliche Uranaufnahme insgesamt über Tierfutter und Tränkewasser für das hier gewählte Expositionsmodell ist in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Mögliche tägliche Uranaufnahme der Modellkuh bei Verfütterung der Beispielration und Tränkewasser mit unterschiedlichem Urangehalt

	Aufnahme pro Tag	Uran uS (Wasser) Uran TS (Futtermittel)	Uranaufnahme [$\mu\text{g Uran}/\text{Tag}$]
Futtermittel	49,2 kg	0,58-179 $\mu\text{g}/\text{kg}$	210
Tränkewasser	89 Liter	100 ¹ bzw. 15 ² $\mu\text{g}/\text{L}$	8.900 ¹ bzw. 1.335 ²
Summe Total			9.110 ¹ bzw. 1.545 ²

uS: ursprüngliche Substanz,

TS: Trockensubstanz

¹ konservative Schätzung mit 100 μg Uran/L

² WHO-Richtwert für Trinkwasser: 15 μg Uran/L

In der Literatur ist beschrieben, dass Rinder Uran zu mehr als 99 % über die Fäzes ausscheiden und im Durchschnitt nur 0,2 % des oral aufgenommenen Urans in die Milch übergeht (Chapman 1963, zitiert nach Reidt 1997). Im Sinne einer konservativen Schätzung wird hier von einer Resorptionsrate von 5 % des insgesamt oral aufgenommenen Urans ausgegangen. Für den Übergang von Uran in die Milch wird ein konservatives Modell von 1 % des aufgenommenen Urans angesetzt. Die sich ergebenden Urangehalte pro Liter Milch bei unterschiedlich belastetem Tränkewasser sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Konservative Schätzung zu Resorption und Ausscheidung des täglich insgesamt oral aufgenommenen Urans bei unterschiedlich mit Uran belastetem Tränkewasser

Tränkewasser	bei 100 µg Uran/Liter	bei 15 µg Uran/Liter
Oral aufgenommenes Uran insgesamt (100 %) [µg Uran/Tag]	9.110	1.545
Resorption (5 %) [µg Uran/Tag]	456	77
Ausscheidung über die Milch (1 %) [µg Uran/Tag]	91	15
Uran/Liter Milch [µg/L]	3	0,5

3.1.3.3.1.2 Legehennen

Für die Modellrechnung wurde eine Legehennen mit 2,3 kg KM und 100 % Legeleistung bei Käfighaltung gewählt. Als tägliche Futtermittelaufnahme wurde die in Tabelle 13 dargestellte Beispielration für Legehennen zu Grunde gelegt.

Tabelle 13: Beispielration für Alleinfutter für Legehennen der ersten Legeperiode in Käfighaltung

Futtermittel (FM)	Menge [%]	ME [MJ/ kg]	Rp [g/kg]	Ca [g/kg]	P [g/kg]	NPP [g/kg]
Weizen	60	7,60	72	0,3	1,9	0,48
Sojaextraktionsschrot	16	1,70	79	0,5	2,0	0,56
Luzernegrünmehl	7	0,36	13	1,1	0,2	0,08
Öl	3	1,10	0	0,0	0,0	0,00
Rapssamen	5	0,70~	10	0,2	0,3	0,15
Mineralfutter (19 % P)	1	0,00	0	3,5	1,9	1,90
Futterkalk*	7	0,00	0	25,2	0,0	0,00
Vormischung	1	0,00	0	0,0	0,0	0,00
Summe FM	100	11,46	174	30,8*	6,3	3,17
Empfehlung		11,4	160	35	6	2,7

ME: umsetzbare Energie

Rp: Rohprotein

NPP: Nicht-Phytin Phosphor

* zusätzliche Vorlage von Muschelgrit

~ Ableitung des Energiegehaltes für Geflügel den Inhaltsstoffen entsprechend

Von dieser Beispielration erfolgt mit einer durchschnittlichen Futtermittelaufnahme von 152 g pro Tier und Tag die in Tabelle 14 dargestellte tägliche Uranaufnahme der Modellhenne.

Tabelle 14: Konservative Schätzung der täglichen Uranaufnahme der Modellhenne durch die Beispielration

FM Aufnahme pro Tag	% des AF	uS [g] pro Henne u. Tag	TS [g] pro Henne u. Tag	Uran [µg/kg TS~]	Uranaufnahme [µg Uran/Tag]
Weizen	60	91,2	80,3	0,58 ¹	0,047
Sojaextraktionsschrot	16	24,3	21,6	0,71 ²	0,015
Luzernegrünmehl	7	10,6	9,5	15 ³	0,143
Öl	3	4,6	4,6	0 *	0 *
Rapssamen	5	7,6	6,7	0,71 ¹	0,005
Mineralfutter (19 % P)	1	1,5		179 ⁴	0,269
Futterkalk	7	10,6	10,2	0 *	0 *
Vormischung	1	1,5	1,4	0 *	0 *
Summe FM	100	152	134		0,479

FM: Futtermittel

AF: Alleinfuttermittel

- uS: ursprüngliche Substanz
- TS: Trockensubstanz (BfR-Statusseminar 2005, Anke)
- Annahme der Uran-Belastung von Rapsamen (BfR-Statusseminar 2005, Anke)
- Annahme der Uran-Belastung von Weissklee (BfR-Statusseminar 2005, Anke)
- Annahme des höchsten gemessenen Uran-Gehaltes in einem Mineralfuttermittel mit 19 % P (Reid 1997)
- * Der Urangehalt wurde mit 0 angenommen; eine Datengrundlage liegt hierfür nicht vor.
- ~ für Mineralfutter: µg/kg uS

Der tägliche Wasserbedarf der Legehennen liegt je nach Umgebungstemperatur um den Faktor 1,5 bis 7 über der aufgenommenen Futtermenge. Bei einer Umgebungstemperatur von 18-20 °C ergibt sich für die Modellleghenne ein Wasserbedarf von 319 g pro Tag. Die tägliche Uranaufnahme über 0,319 Liter Tränkewasser würde bei einem Urangehalt von 15 µg /L ca. 4,8 µg betragen. Bei einem Urangehalt von 100 µg Uran/L Tränkewasser ergäbe sich eine Uranaufnahme von 32 µg Uran pro Tag.

Die mögliche Uranaufnahme insgesamt über Tierfutter und Tränkewasser für das hier gewählte Expositionsmodell für die Legehenne zeigt Tabelle 15.

Tabelle 15: Konservative Schätzung der täglichen Uranaufnahme durch Beispielration und Tränkewasser bei Aufnahme hoch bzw. niedrig belasteten Tränkewassers

	Aufnahme pro Tag	Uran uS (Wasser) Uran TS (Futtermittel)	Uranaufnahme [µg Uran/Tag]
Futtermittel	152 g	0,58-179 µg/kg	0,48
Tränkewasser	319 g	100 ¹ bzw. 15 ² µg/L	31,9 ¹ bzw. 4,8 ²
Summe Total			32,38 ¹ bzw. 5,28 ²

- TS: Trockensubstanz
- ¹ konservative Schätzung mit 100 µg U/L
- ² WHO-Richtwert für Trinkwasser: 15 µg U/L

Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird von einer Resorptionsrate von 5 % des insgesamt oral aufgenommenen Urans ausgegangen. Davon ausgehend, dass Eier im Durchschnitt 0,9 µg Uran pro kg Frischmasse enthalten (BfR Statusseminar 2005, Tait; nach Frindik 1986 und 1992), werden von der Henne 0,049 µg Uran pro Tag über das Ei (54 g Frischmasse) ausgeschieden. Das entspricht etwa 0,15 % bzw. 0,93 % der im Modell angenommenen Aufnahme von 32,4 bzw. 5,28 µg Uran pro Tag.

Bei konservativer Annahme einer 100%igen Ausscheidung des resorbierten Urans (5 % der aufgenommenen Menge) über das Ei wäre der Uran-Gehalt im Ei um ein Vielfaches höher (Tabelle 16).

Tabelle 16: Konservative Abschätzung der Resorption und Ausscheidung des täglich oral aufgenommenen Urans bei verschieden belastetem Tränkewasser

Tränkewasser	bei 100 µg Uran pro Liter	bei 15 µg Uran pro Liter
Oral aufgenommenes Uran insgesamt [µg Uran pro Tag]	32,4	5,28
Resorption (5 %)	1,62	0,26
Ausscheidung über das Ei	1,62	0,26
Uranmenge pro Ei (54 g)	1,62	0,26
Uranmenge pro kg Ei [µg Uran pro kg Frischmasse]	30	4,81

* Annahme: 100 % des resorbierten Urans wird über das Ei ausgeschieden

3.1.3.3.1.3 Broiler

Für die Modellrechnung wurde ein Beispielbroiler mit 150 g KM am Ende der 1. Mastwoche angenommen. Als tägliche Futtermenge wurde pro Tier 37 g Alleinfutter (Tabelle 17) als Beispiel zu Grunde gelegt (Kirchgeßner 2004).

Tabelle 17: Alleinfutterbeispiel für Broiler bis zum 10. Lebenstag

Futtermittel (FM)	Menge [%]	ME [MJ/kg]	Rp [g/kg]	Ca [g/kg]	P [g/kg]	NPP [g/kg]
Weizen	60	7,6	72	0,3	1,8	0,48
Sojaextraktionsschrot	29	3,1	142	0,9	3,6	1,0
Rapssamen	5	0,7	10	0,2	0,3	0,15
Öl	3	1,1	0	0	0	0
Mineralfutter (19 % P)	2	0	0	7	3,8	3,8
Futterkalk	0,6	0	0	2,1	0	0
Vormischung	0,4	0	0	0	0	0
Gesamt	100	12,5	224	10,5	9,5	5,4
Empfehlung		12,6	220	10,3	7	5

ME: umsetzbare Energie
 Rp: Rohprotein
 NPP: Nicht-Phytin Phosphor

Ausgehend von dieser Beispielration erfolgt die in Tabelle 18 dargestellte tägliche Uranaufnahme für den Modellbroiler.

Tabelle 18: Konservative Schätzung der täglichen Uranaufnahme des Modellbroilers durch die Beispielration

FM Aufnahme pro Tag	% des AF	uS [g/Tier/Tag]	TS [g/Tier/Tag]	Uran [$\mu\text{g/kg TS}^*$]	Uranaufnahme [$\mu\text{g Uran/Tag}$]
Weizen	60	22,2	19,54	0,58 ¹	0,011
Sojaextraktionsschrot	29	10,73	9,55	0,71 ²	0,007
Rapssamen	5	1,85	1,63	0,71 ¹	0,001
Öl	3	1,11	1,11	0	0
Mineralfutter (19 % P)	2	0,74		179 ³	0,13
Futterkalk	0,6	0,22	0,21	0	0
Vormischung	0,4	0,15	0,14	0	0
Summe FM		37	32,9		0,15

FM: Futtermittel
 AF: Alleinfuttermittel
 TS: Trockensubstanz
¹ BfR-Statusseminar, 2005, Anke
² Annahme der Uran-Belastung von Rapssamen (BfR-Statusseminar 2005, Anke)
³ Annahme des höchsten gemessenen Uran-Gehaltes in einem Mineralfuttermittel mit 19 % P (Reid 1997)
 * für Mineralfutter: $\mu\text{g/kg uS}$

Im thermoneutralen Bereich wird der tägliche Wasserbedarf mit dem zweifachen der aufgenommenen Futtermenge angenommen, d.h. mit 74 g Wasser pro Tier und Tag. Die tägliche Uranaufnahme über die 74 g Tränkwasser durch den Modellbroiler (150 g KM, Ende der ersten Mastwoche) beträgt bei einem Urangehalt von 15 $\mu\text{g U/L}$ 1,1 $\mu\text{g Uran}$ pro Tag. Bei einem hohen Urangehalt von 100 $\mu\text{g Uran/L}$ Tränkwasser würde die Uranaufnahme 7,4 μg pro Tag betragen. Die mögliche Uranaufnahme über Tierfutter und Tränkwasser zusammen im hier gewählten Expositionsmodell für den Broiler zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Konservative Schätzung der täglichen Uranaufnahme des Beispielbroilers durch Beispielration und Tränkewasser bei unterschiedlich belastetem Tränkewasser (Ende der ersten Mastwoche)

	Aufnahme pro Tag	Uran [$\mu\text{g}/\text{kg}$ uS]	Uranaufnahme [μg Uran/Tag]
Futtermittel	37 g	0,58-179	0,15
Tränkewasser	74 g	100 ¹ bzw. 15 ²	7,4 ¹ bzw. 1,11 ²
Summe Total			7,55 ¹ bzw. 1,26 ²

uS: ursprüngliche Substanz
¹ konservative Schätzung mit 100 μg Uran/L
² WHO-Richtwert für Trinkwasser: 15 μg Uran/L

Über die gesamte Mastperiode von fünf Wochen wird ein durchschnittlicher Futterverbrauch von 2,7 kg Alleinfutter pro Tier und Mastperiode und eine ähnliche Uranbelastung beider verwendeten Alleinfutter angenommen. Der Wasserverbrauch liegt um den Faktor 2 über dem Alleinfuttermittel, so dass von 5,4 Litern ausgegangen wird. Tabelle 20 zeigt die konservative Schätzung der kumulierten Uranaufnahme des Modellbroilers über die gesamte Mastperiode.

Tabelle 20: Konservative Schätzung der kumulierten Uranaufnahme des Beispielbroilers über die gesamte Mastperiode durch Beispielration und Tränkewasser mit unterschiedlichem Uragehalt

	Aufnahme (Mastperiode)	Uran $\mu\text{g}/\text{kg}$ uS	Uranaufnahme [μg Uran/Mastperiode]
Futtermittel	2,7 kg	0,58-179	10,95
Tränkewasser	5,4 Liter	100 ¹ bzw. 15 ²	540 ¹ bzw. 81 ²
Summe Total			551 ¹ bzw. 92 ²

uS: ursprüngliche Substanz
¹ konservative Schätzung mit 100 μg Uran/L
² WHO-Richtwert für Trinkwasser: 15 μg Uran/L

Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird auch für den Broiler eine Resorptionsrate von 5 % des insgesamt oral aufgenommenen Urans angenommen. Die sich ergebende konservative Abschätzung des Uragehaltes pro Kilogramm Schlachtkörper zeigt Tabelle 21.

Tabelle 21: Konservative Abschätzung der Resorption und Ausscheidung des oral aufgenommenen Urans bei verschieden belastetem Tränkewasser über die gesamte Mastperiode

Tränkewasser	bei 100 μg Uran/Liter	bei 15 μg Uran/Liter
Oral aufgenommenes Uran insgesamt [μg Uran kumuliert]	551	92
Resorption 5 % [μg Uran]	27,55	4,6
Retention von 5 % [μg Uran] (Exkretion von 95 %)*	1,38	0,23
Schlachtkörpermasse [kg]	1,3	1,3
Uranmenge pro kg Schlachtkörper [μg Uran pro kg Frischmasse]	1,06	0,18

* Annahme: 5 % des resorbierten Urans wird im Körper retiniert und gelangt in den Schlachtkörper
 ** konservative Annahme, da von gleichmäßiger Verteilung des Urans im Schlachtkörper ausgegangen wird und nicht berücksichtigt wird, dass Uran in Nieren und Knochen akkumuliert

3.1.3.3.2 Lebensmittel

Lebensmittel enthalten Uran in unterschiedlicher Konzentration. Chemische Untersuchungen von 1988 bis 1996 an gesunden Erwachsenen in Deutschland zeigten, dass mit einer Mischkost durchschnittlich 2-3 μg Uran pro Tag aufgenommen werden können, wobei mindestens 50 % der Uranaufnahme über Getränke erfolgt (BfR-Statusseminar 2005, Anke). Diese Un-

tersuchungsergebnisse stimmen gut mit den Angaben der WHO überein, die von einer täglichen Aufnahmemenge von 1 bis 4 µg Uran über Lebensmittel ausgeht (WHO 2004).

Die Gesamtnahrung von Mischköstlern wurde durchschnittlich mit 0,011 Bq U-238/kg (0,88 µg U-238/kg) Frischmasse¹³ bestimmt (nach Weißhaar 1995). Das Folgenuklid Ra-226 hat etwa die gleiche Aktivität wie das Uran in der Mischkost. Die Zerfallsprodukte Pb-210 und Po-210 liegen bei Mischkost um den Faktor 10 über den durchschnittlichen Aktivitätswerten des Urans. Auch die Untersuchung einzelner Lebensmittelgruppen zeigten, dass die Folgenuklide Ra-226, Pb-210 sowie Po-210 Aktivitätskonzentrationen aufweisen, die weit über denen von Uran liegen. So enthalten beispielsweise Milchprodukte um den Faktor 15 höhere Pb-210 und Po-210 Aktivitätskonzentrationen als U-238 (BfR-Statusseminar 2005, Tait).

Tabelle 22 zeigt Mittelwerte von Urangehalten in Lebensmitteln, die in einer Total Diet Study (TDS) der Food Standards Agency (FSA) bestimmt wurden. Andere Untersuchungen an Einzel Lebensmitteln zeigen, dass Fleisch Lebensmittel liefernder Tiere Urangehalte bis 3,9 µg U/kg Frischmasse aufweisen kann. Untersuchtes Blattgemüse enthielt bis 2,5 µg U/kg Frischmasse. In Getreide und sonstigen Gemüsesorten konnten Urangehalte zwischen 0,5 und 1,8 µg U/kg Frischmasse nachgewiesen werden. Allerdings können ungeschältes Wurzelgemüse, ungewaschene Kartoffeln und ungeschälter Rettich, je nach Urangehalt des Bodens, ebenfalls relativ hohe Uranwerte (bis 18 µg U/kg) aufweisen (WHO 1998, WHO 2001). In Eiern wurden durchschnittlich 0,9 µg U/kg Frischmasse gemessen (BfR-Statusseminar 2005, Tait; nach Frindik 1986 und 1992). In der Kuhmilch wurden in derselben Arbeit Urangehalte zwischen 0,02-0,12 µg U/kg Frischmasse detektiert. Für Milch und Käse wird als Hauptexpositionsquelle für Uran Trink- bzw. Tränkewasser angenommen (Froideaux 2004).

Tabelle 22: Gehalt an U-238 in Lebensmitteln (nach FSA 2004)

Lebensmittel	U-238-Gehalt [µg/kg] (Mittelwert)	Bemerkung
Brot	3,5	
Cerealien	1,8	
Fleisch	<0,06	
Fleischprodukte	2,3	
Innereien	1,2	
Geflügel	0,5	
Fisch	3,5	
Fette und Öle	Nb	Bestimmungsgrenze: 0,6 µg U/kg
Eier	Nb	Bestimmungsgrenze: 0,09 µg U/kg
Süßwaren	1,2	
Gemüse (grün)	0,4	
Gemüse, anderes	0,5	
Kartoffeln	0,5	
Dosengemüse	1,2	
Früchte, frisch	0,1	
Früchte, Produkte	0,3	
Getränke	Nb	Bestimmungsgrenze: 0,04 µg U/kg
Milch	Nb	Bestimmungsgrenze: 0,02 µg U/kg
Milchprodukte	1,6	
Nüsse	0,7	

Andere Untersuchungen bestätigen die angegebenen Urangehalte in Lebensmitteln. Aktuelle Untersuchungen des BfS aus den Jahren 2001 bis 2004 ergaben beispielsweise Urangehal-

¹³ Die tägliche Aufnahmemenge für feste Nahrung beträgt derzeit in Deutschland im Durchschnitt für Männer etwa 1.200 g für Frauen 1.000 g pro Tag (Hr. Dr. Mensink, RKI; persönliche Auskunft)

te in Einzelnahrungsmitteln zwischen 0,07 und 2,5 µg U/kg Frischmasse. Die durchschnittliche Uran-Gesamtaufnahme wurde mit 0,8 µg U/kg Frischmasse angegeben (BfR-Statusseminar 2005, Kirchner).

Die auf Grundlage von konservativen Futterrationsmodellen landwirtschaftlicher Nutztiere ermittelten möglichen Urangelhalte in tierischen Lebensmitteln bestätigen die Urangelhalte in den tierischen Lebensmitteln Milch, Eier und Geflügel ebenfalls.

3.1.3.4 Luft

Die Uranexposition der Allgemeinbevölkerung über die Luft gilt als sehr gering (Bundesgesundheitsblatt, 2005). Luft enthält im Allgemeinen weniger als 0,09 ng Uran/m³. Daraus resultiert eine sehr niedrige maximale jährliche Strahlenexposition von 0,16 µSv für Erwachsene und 0,08 µSv für Kleinkinder unter einem Jahr, wenn man von den in StrlSchV Anlage VII, Teil B, Tabelle 2 angegebenen Atemraten ausgeht. Erhöhte Belastungen der Luft mit Uran lassen sich in der Umgebung von kontaminierten Gegenden nachweisen, wie z. B. in der Umgebung offener, uranhaltiger Abraumhalden oder Lagerstätten (WHO 1998). Das Zerfallsprodukt Pb-210 tritt an Aerosole gebunden in der Luft auf. Durch Deposition kann es in Boden oder Wasser übergehen.

Nach militärischer Anwendung kann DU als Urandioxid in Staubpartikeln unterschiedlicher Größe inhaliert werden. Die Strahlenbelastung für die allgemeine Bevölkerung durch DU ist durch die fehlende Möglichkeit der Ingestion oder Inhalation von DU in Deutschland nicht vorhanden, da bei ziviler Nutzung DU nicht in Staub- oder Pulverform vorliegt.

3.1.4 Risikocharakterisierung sowie Handlungsrahmen und Maßnahmen

3.1.4.1 Zusammenfassung der Risikocharakterisierung

Geogen bedingt kommt Uran in der Umwelt in unterschiedlichen Konzentrationen vor und kann entsprechend auf Lebensmittel und Wasser übergehen.

3.1.4.1.1 Aus Sicht der chemischen Risikobewertung:

- Verbraucher können in bestimmten Regionen und/oder ggf. bei bestimmtem Konsumverhalten durch Trinkwasser oder natürliches Mineralwasser gegenüber erhöhten Urangelhalten exponiert sein.
- Die Exposition über Lebensmittel schöpft bei konservativer Betrachtung (Grundlage der WHO, 2004: Aufnahme von 4 µg/d/60 kg schweren Erwachsenen) den TDI der WHO von 36 µg pro Tag für einen Erwachsenen zu 11 % aus. Für Kinder kann sich aufgrund der großen Streubreiten der Verzehrsmengen ein ungünstigeres Verhältnis ergeben. Die Auslastung liegt aber auch hier deutlich unter dem TDI.
- Es liegen keine Hinweise vor, dass sich Uran innerhalb der Nahrungskette anreichert.
- Der Entzug von Uran durch Pflanzen aus dem Boden ist gering.

3.1.4.1.2 Aus Sicht der radiologischen Risikobewertung:

- Der Dosisbeitrag von Uran durch Ingestion ist sehr klein.
- Das durch Urankontaminationen verursachte mittlere radiologische Lebenszeit-Risiko für tödliche Krebserkrankungen liegt für die Nahrung von Kleinkindern bei 2×10^{-6} , für Trink- bzw. natürliche Mineralwässer oder Quell- und Tafelwässer bei 1×10^{-6} . Für

Erwachsene konnte ein Risiko für tödliche Krebserkrankungen von 1×10^{-6} für die Nahrung und 2×10^{-7} für Wasser berechnet werden.

- Im Hinblick auf den gesundheitlichen Verbraucherschutz spielt Uran im Vergleich zu anderen natürlichen Radionukliden – insbesondere der Zerfallsketten des Urans und Thoriums – eine untergeordnete Rolle.

3.1.4.2 Notwendigkeit einer Risikobewertung für Uran durch die EFSA

Die Auswertung zu den gesetzlichen Regelungen zu Uran in verschiedenen Matrices in anderen EU-Ländern, Japan und den USA hat ergeben, dass sich diese, sofern vorhanden, überwiegend auf Mineral- und Trinkwasser beziehen (vgl. Anhang, Tabelle 1).

Bei den befragten Ländern ist der Urangehalt in Mineralwasser in der Slowakei, Tschechien, Litauen und den USA geregelt. Die jeweiligen Regelungen sind nicht einheitlich. Sie beziehen sich teilweise auf die radiologischen Eigenschaften, teilweise auf die chemischen Eigenschaften des Urans. In den anderen befragten Ländern liegen entweder keine gesetzlichen Regelungen vor oder es wurden keine Angaben gemacht.

Für Trinkwasser wurden von der Slowakei, Tschechien sowie den USA gesetzliche Regelungen angegeben. Die jeweiligen Regelungen unterscheiden sich wie die Regelungen zum Mineralwasser voneinander. Die anderen Länder haben entweder keine Angaben gemacht oder keine nationalen gesetzlichen Regelungen. Drei Länder regeln den Urangehalt in Trinkwasser indirekt über die gesamte effektive Jahresdosis.

Das BfR-Statusseminar hat ergeben, dass Trink- und Mineralwässer geogen bedingt in einigen Fällen Urangehalte aufweisen können, die geeignet sein könnten, die Gesundheit von Verbrauchern zu gefährden.

In Deutschland wurde, letztendlich auf Grundlage der gemeinsamen Stellungnahme des BfS und des BfR vom 16.01.2006 (BfR 2006) in der vierten Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung ein nationaler Höchstwert von 0,002 Milligramm pro Liter für Uran bei Auslobung von natürlichen Mineralwässern, Quellwässern und Tafelwässern sowie abgepackten Trinkwässern als „Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ festgelegt (Bundesrat Drucksache 711/06). Dieser Wert ist nun in der Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Min/TafelWV 1984, zuletzt geändert am 1.12.2006) unter § 15, 3. (2) aufgenommen.

Bis zum Jahr 1998 wurde Uran aufgrund seiner radiologischen Eigenschaften toxikologisch bewertet und entsprechende Grenz- bzw. Richtwerte abgeleitet. Aufgrund des vergleichsweise geringen radiologischen Potenzials von Uran lagen die bis dahin abgeleiteten Werte höher als die, die seit 1998 aus chemischer Sicht abgeleitet wurden.

Die Ableitung toxikologischer Grenzwerte und Trinkwasser-Richtwerte sowie Empfehlungen für Uran durch die verschiedenen Gremien aufgrund der chemischen Eigenschaften des Urans hat erst im Jahr 1998 mit der Ableitung eines tolerable daily intake Wertes (TDI) begonnen (vgl. Anhang, Tabelle 2). Seitdem haben sich die von verschiedenen Gremien abgeleiteten Richtwerte für Urangehalte im Trink- und Mineralwasser entsprechend des anwachsenden Kenntnisstandes verändert.

Sowohl wegen der Existenz unterschiedlicher Regelungen als auch wegen der noch bestehenden Kenntnislücken zur chronischen Toxizität des Urans im Niedrigdosisbereich (z.B.

IRSN 2005) sollte die EFSA beauftragt werden, eine Bewertung des Urans auf europäischer Ebene vorzunehmen.

3.1.4.3 Vergleich der chemischen und radiologischen Risikocharakterisierung

Die chemische Risikocharakterisierung unterscheidet sich von der radiologischen wesentlich, so dass Uran, das sowohl über chemische als auch über radiologische Eigenschaften verfügt, nicht mit nur einem Bewertungsverfahren charakterisiert werden kann.

Bei der chemischen Risikobewertung wird ein Stoff als Einzelnoxe betrachtet und bewertet. Je nach den möglichen Aufnahmepfaden des zu bewertenden Stoffes, d. h. oral über Lebensmittel oder Trinkwasser, inhalativ oder/und dermal werden die wesentlichen bekannten Expositionsquellen berücksichtigt. Die Hintergrundbelastung für diesen Stoff wird ggf. mit einbezogen. Die Maßeinheit für die Bewertung stellt in der Regel die orale bzw. inhalative Exposition in Milligramm pro kg Körpergewicht pro Tag oder Woche dar. Ein einheitliches Expositionsmodell für alle Stoffe wird nicht verwendet. Das Modell richtet sich jeweils nach der zu Grunde liegenden Fragestellung, so dass je nach vorliegendem Bewertungsfall bestimmte Risikogruppen, besondere Verzehrsgewohnheiten oder andere Lebensumstände berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird für die chemische Risikocharakterisierung das Gefährdungspotenzial, d. h. die Wirkorte, die Wirkarten und das Ausmaß der jeweiligen Schädigung durch einen Stoff, berücksichtigt.

Bei der radio-toxikologischen Risikocharakterisierung infolge inkorporierter Radionuklide wird als Bewertungsbasis die Strahlungsdosis als Summennoxe betrachtet. Dabei werden die Ingestionsdosisbeiträge der einzelnen Radionuklide ermittelt. Durch Addition wird daraus die Gesamtdosis berechnet und bewertet. Die Gesamtdosis wird durch die in Trinkwasser und Lebensmitteln enthaltenen natürlichen und künstlichen Radionuklide bestimmt. Von Bedeutung sind die natürlichen Radionuklide Kalium-40 sowie Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran 238 und Thorium 232. Künstliche Radionuklide wie Cäsium 137, Kobalt 60 oder Tritium entstehen durch Kernspaltung oder Bestrahlung mit Neutronen in Kernreaktoren. Als Maßeinheit für die Bewertung dienen die inkorporierte Aktivität in Becquerel (Bq) pro Jahr bzw. die daraus resultierende Strahlenexposition in mSv (Millisievert) pro Jahr. Die Umrechnung von Becquerel in Sievert erfolgt auf der Basis eines international standardisierten Expositionsmodells.

Tabelle 23 zeigt schematisch die unterschiedlichen Bewertungsansätze für radiologische bzw. chemisch-toxische Stoffe.

Tabelle 23: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Bewertungsansätze für radiologisch bzw. chemisch potenziell toxische Stoffe

Parameter	Radiologischer Bewertungsansatz	Chemischer Bewertungsansatz
Noxe	Summennoxe	Einzelnoxe
Bewertungsbasis	gemessene Aktivitätskonzentrationen in Lebensmitteln und daraus berechnete Strahlenbelastung der Bevölkerung Summe des Einflusses aller Radionuklide und ihrer Zerfallsprodukte sowie Anteil eines Radionuklides an der Gesamtbelastung	geschätzte oder gemessene Belastung durch einen Stoff (meist bezogen auf einen Expositionspfad)
weitere Bewertungseinflüsse	natürliche Strahlenbelastung (als unabänderliche Größe)	andere wesentliche, bekannte Expositionen des Stoffes Hintergrundbelastung
Maßeinheit f. Bewertung	Bq/a -> mSv/a	Exposition in mg/kg Körpergewicht pro Tag oder Woche
Exposition	International standardisiert (Expositionsmodell fließt mit in die Umrechnung von Bq in mSv/a ein)	Kein international standardisiertes Expositionsmodell Berücksichtigung von Bevölkerungsgruppen in bestimmten Lebenssituationen

3.1.4.4 Bestehende toxikologische Grenzwerte

3.1.4.4.1 Tolerable daily intake (TDI) der WHO (1998) für Uran

Das Gremium der Weltgesundheitsorganisation (WHO), das u.a. die Richtwerte für anorganische Bestandteile im Trinkwasser festgelegt hat, nennt 1998 für Uran einen „tolerable daily intake“ (TDI) in Höhe von 0,6 µg U/kg Körpergewicht und Tag oder 36 µg/60kg Körpergewicht und Tag, der aus einer subchronischen Studie (91 Tage) mit Ratten aus dem dort beobachteten „Lowest Observed Adverse Effect Level“ (LOAEL) für degenerative Veränderungen in den proximalen Nierentubuli männlicher Ratten abgeleitet wurde. Die Tiere erhielten Uranyl-nitrat-hexahydrat über das Tränkwasser. Der LOAEL lag für beide Geschlechter bei 0,96 mg U/L Trinkwasser. Wegen der geschlechtsabhängig unterschiedlichen Wasseraufnahme ergab sich für männliche Ratten ein LOAEL von 0,06 mg Uran/kg Körpergewicht und für weibliche ein LOAEL von 0,09 mg Uran/kg Körpergewicht, jeweils ermittelt als „time-weighted average equivalent dose of uranium“. Unter Verwendung eines Unsicherheitsfaktors von 100 für Intra- und Interspezies Verschiedenheiten und der Heranziehung des niedrigeren LOAEL der männlichen Ratten (0,06 mg) wurde der TDI von 0,6 µg Uran/kg KG abgeleitet (WHO 2004a)¹⁴. Auf weitere Unsicherheitsfaktoren wurde verzichtet, weil man davon ausging, dass die beobachteten Veränderungen nur 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 beträgt¹⁵.

¹⁴ A TDI of 0.6 µg/kg of body weight per day was derived using the LOAEL of 60 µg/kg of body weight per day and an uncertainty factor of 100 (for intra- and interspecies variation).

¹⁵ There is no need to apply an additional uncertainty factor to account for the use of a LOAEL instead of a NOAEL because of the minimal degree of severity of the lesions being reported. Also, an additional uncertainty factor for the length of the study (91 days) is not required because the estimated half-life of uranium in the kidney is 15 days, and there is no indication that the severity of the renal lesions will be exacerbated following continued exposure.

Diesen TDI von 0,6 µg Uran/kg KG legt das BfR für die Risikocharakterisierung von Uran zu Grunde. Neben diesem TDI sind noch zwei weitere TDI erwähnenswert, die im Folgenden kurz beschrieben sind.

3.1.4.4.2 Tolerable daily intake (TDI) der WHO (2001) für abgereichertes Uran

Ein weiteres Gremium der WHO, das sich u.a. mit der toxikologischen Bewertung von abgereichertem Uran befasst hat, nennt 2001 tolerierbare Gesamtaufnahmemengen für lösliche Uranverbindungen bis zu 0,5 µg Uran/kg KG und für unlösliche bis zu 5 µg Uran/kg KG (WHO 2001).

3.1.4.4.3 Gesundheitlich lebenslang duldbare Aufnahme für Uran nach Konietzka et al. (2005)

Konietzka et al. (2005) weisen darauf hin, dass es Hinweise auf eine möglicherweise höhere Resorption von Uran bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen gibt. Demzufolge wird Uran in neugeborenen Ratten und Schweinen besser resorbiert bzw. retiniert als in erwachsenen Tieren. In neonaten Ratten (2 d) betrug die Resorption von UO_2^+ aus Uranylinitrat nach Verabreichung per Schlundsonde z.B. 1,3-6,7 %. Sie war somit 20- bis 100fach höher als in adulten Tieren (0,061 %). Bei jungen Schweinen (1 d) ließ sich aus der Retention von Uran im Skelett sogar auf eine Resorptionsrate von mindestens 30 % schließen (Leggett und Harrison 1995).

Konietzka et al. (2005) leiten für den Menschen unter Berücksichtigung aktueller Humandaten eine „gesundheitlich lebenslang duldbare Zufuhr in Höhe 0,2 µg U/kg x d“ oder 12 µg/60kg Körpermasse (KM) und Tag ab. Dieser Wert beträgt nur ein Drittel des TDI der WHO. Der Unterschied ergibt sich unter anderem aus der Unterschiedlichkeit der Resorptionsraten in Versuchstier und Mensch, die seitens der WHO nicht berücksichtigt wurde (BfR-Statusseminar 2005, Dieter).

Im Anhang zeigt Tabelle 2 eine Chronik der von verschiedenen Gremien abgeleiteten toxikologischen Grenzwerte und Trinkwasser-Richtwerte sowie Empfehlungen.

Für die durch Inkorporation bewirkte radiologische Toxizität gibt es keine vergleichbaren Grenzwerte, Richtwerte oder Empfehlungen in der Strahlenschutzverordnung, da im Strahlenschutz immer die Summe der internen und externen Strahlenexposition betrachtet wird.

3.1.4.5 Wasser

3.1.4.5.1 Wasser, chemisch

3.1.4.5.1.1 Trinkwasser (BfR-Statusseminar 2005, Dieter)

Weil Uran ubiquitär ist und damit auch im Trinkwasser vorkommt, 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. Der NOAEL aus der Studie von Gilman et al. (Gilman 1998a) diente 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 U/L und US-EPA einen Maximum Concentration Level (MCL) in Höhe von 30 µg U/L (WHO 2004; US-EPA 2000).

Des Weiteren wurde im deutschen Umweltbundesamt (UBA) ein lebenslang gesundheitlich duldbarer Leitwert (LW) für Uran im Trinkwasser abgeleitet. Zu seiner Ableitung rechnete das UBA mit den Expositionsannahmen der WHO, allerdings wurde die seit 2003 weiter verdichtete toxikologische Datenbasis herangezogen und eine differenziertere Resorptionsbetrachtung angestellt (Konietzka 2005).

Aus den tierexperimentellen Daten zur subchronischen und chronischen Toxizität von Uran für die Niere als empfindlichstem Zielorgan wurde von Konietzka et al. (2005) ein Bereich lebenslang gesundheitlich duldbarer Leitwerte (LWe) von 3,5-7 µg U/L auf den Menschen extrapoliert.

Die Humandaten von Kurttio et al. (2002) lassen demgegenüber auf Grundlage marginaler Veränderungen eines sehr empfindlichen chemischen Urinparameters¹⁶ darauf schließen, dass die lebenslang gesundheitlich duldbare tägliche Urandosis (TDI = Tolerable Daily Intake) beim Menschen zwischen 0,1 und 1,0 µg U/kg Körpermasse (KM) liegen muss.

Die Humandaten von Zamora et al. (1998) belegen bei einer oralen Uraufnahme oberhalb von 20 µg pro Tag und Person über das Trinkwasser (zusätzlich zur Aufnahme mit Lebensmitteln) vereinzelt eine erhöhte Ausscheidung von Glukose und LDH mit dem Urin.

Vor dem Hintergrund der Humandaten von Kurttio et al. (2002) war es dem UBA auf Grundlage der Arbeiten von Zamora et al. (1998) nachträglich möglich, einen TDI auf 20 µg für eine 70 kg schwere Person und Tag zu benennen. Dieser Wert wurde durch eine zum Zeitpunkt der Bewertung von Konietzka et al. (2005) noch nicht verfügbare Studie von Kurttio et al. (2006) bestätigt. 193 Personen, die während 5-40 Jahren (Mittelwert 16 Jahre) gegenüber Brunnenwasser exponiert waren, das durchschnittlich 25 µg U/L (50 Perzentil; interquartiler Bereich: 5-148 µg U/L) enthielt, zeigten in dieser Studie anhand von zehn empfindlichen Indikatoren für Zyto- und Nierentoxizität keinerlei Hinweise auf eine uranbedingte Nierenschädigung. Es wurde lediglich eine frühestens ab 10 µg U/L marginal und reversibel erhöhte Glucose-Ausscheidung beobachtet. Die zusätzliche Aufnahme an Uran aus Lebensmitteln war in dieser Studie den Autoren zufolge wahrscheinlich überdurchschnittlich hoch (höher als 1-5 µg U/Person und Tag), weil das untersuchte Kollektiv mutmaßlich überwiegend selbstgezo- genes Gemüse verzehrte, das regelmäßig mit dem uranhaltigen Hausbrunnenwasser bewässert wurde.

Aus den Tierversuchen von Gilman et al (1998a, b) würde sich unter Berücksichtigung der höheren Resorption von Uran im menschlichen Magen-/Darmtrakt und angemessener Extrapolationsfaktoren ein TDI in derselben Größenordnung ergeben¹⁷.

Der aktuell im Jahr 2005 vom UBA empfohlene, aus dem aktualisierten TDI abgeleitete Höchstwert für Trinkwasser beträgt 10 µg Uran/L und gilt für alle Situationen, in denen wie bei Zamora et al. (1998) oder Kurttio et al. (2006) zwei Liter Trinkwasser pro Tag bis zu 98 % dieses TDI enthalten können. Er ist für alle Bevölkerungsgruppen, einschließlich nicht gestillte Säuglinge, auf toxikologisch-epidemiologischer Grundlage als gesundheitlich sicher zu betrachten.

¹⁶ relative Erhöhung des urinären im Vergleich zum serösen, jeweils auf Kreatinin bezogenen Ca-Gehaltes

¹⁷ Ohne Stützung durch die vorgenannten Humandaten wäre aus diesen Tierversuchen aus formalen Gründen ein drei- bis zehnmals niedrigerer TDI-Wert abzuleiten. Unter dieser heute nicht mehr gegebenen Bewertungsvorgabe war das UBA noch im Jahr 2002 auf eine vorläufige Leitwertempfehlung von ≤ 2 µg Uran/L gekommen.

Würde auf Basis dieses Leitwertes ein Maßnahmewert (MW) festgesetzt, der während Maßnahmen zur Beendigung befristeter Überschreitungen des Leitwertes gelten soll, so ergibt sich auf Grundlage der „Maßnahmewert-Empfehlung“ des Umweltbundesamtes vom August 2003 (Umweltbundesamt 2003) ein Interpolationsfaktor von 2-3 und ein MW von 20-30 µg U/L. Er böte definitionsgemäß gesundheitliche Sicherheit während einer Expositionsdauer von bis zu zehn Jahren.

2003 waren einige Urankonzentrationen im Trinkwasser noch höher als 10 oder sogar 20 µg U/L. Seitens der Länder wurden nach Beratung durch das Umweltbundesamt folgende geeignete Maßnahmen eingeleitet, um diese relativ hohen Urangehalte in den folgenden zwei bis vier Jahren zu reduzieren:

- Stilllegung hoch belasteter Brunnen
- Verschneidung von niedrig mit hoch belastetem Rohwasser zu Trinkwasser
- Entwicklung von Techniken zur Entfernung von Uran aus dem Trinkwasser.

Eine Anlage zur Entfernung von Uran aus dem Trinkwasser wurde vor kurzem in Bayern in Betrieb genommen (Dieter im Umweltbundesamt 2006, persönliche Auskunft; nach Bayerisches Landesamt für Umwelt 2006).

3.1.4.5.1.2 Mineralwasser

Das BfR hält den von der US-EPA für Trinkwasser genannten Wert (MCL=30 µg U/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 hält das BfR, bis zum Vorliegen besserer Erkenntnisse, den niedrigeren Wert der WHO in Höhe von 15 µg U/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 und angesichts des stetig steigenden Anteils von Mineralwasser am Wasserkonsum, im vorliegenden Fall auch für die Bewertung von Uran in Mineralwasser herangezogen werden kann.

Wird für die Bewertung von Mineralwässern der WHO-Wert von 15 µg U/L Trinkwasser herangezogen, ist festzustellen, dass dieser Wert in über 95 % der vom BfR zusammengefassten Proben (Tabelle 7) eingehalten wurde. Danach kann für knapp 5 % der Proben, die den WHO-Wert ausschöpfen oder überschreiten, nicht mehr ausgeschlossen werden, dass sie bei regelmäßigem Verzehr in Mengen von einem halben Liter oder mehr pro Tag zu einer Uranaufnahme führen können, die nachteilige Wirkungen auf die Gesundheit haben könnte.

Angesichts des zunehmenden Verbrauchs von Mineralwasser, auch als Ersatz für Trinkwasser bei der Zubereitung von Säuglingsnahrung, lässt sich auch nicht ausschließen, dass Säuglinge aus dieser Quelle in Einzelfällen erhebliche Mengen an Uran aufnehmen können. Um dies zu vermeiden, empfiehlt das BfR in Wässern, die als geeignet für die Zubereitung

von Säuglingsnahrung ausgelobt werden, den Urangehalt auf einen strengen Vorsorgewert zu begrenzen (BfR 2006).

3.1.4.5.2 Wasser, radiologisch

3.1.4.5.2.1 Trinkwasser

Bei zu Grunde legen des WHO-Richtwertes für Uran von 15 µg U/L im Trinkwasser resultiert eine U-238-Konzentration von 185 mBq/L und eine maximale U-234-Konzentration von ca. 370 mBq/L, da bei hohen Urangehalten im Grundwasser der Quotient U-234/U-238 < 2 beträgt. Mit den Verzehrsgewohnheiten aus der StriSchV folgt daraus eine durchschnittliche jährliche Strahlenexposition für Kleinkinder unter einem Jahr von ca. 33 µSv.

Bei Verwendung des UBA-Leitwertes von 10 µg U/L ergäbe sich infolge der Inkorporation der Uranisotope eine Strahlenexposition von 22 µSv pro Jahr.

Auf Grund der bei Erwachsenen niedrigeren Ingestionsdosiskoeffizienten für Uran ist die Strahlenexposition für Erwachsene um den Faktor 3,6 kleiner als bei Kleinkindern unter einem Jahr. Das entspricht bei Urankonzentrationen von 15 bzw. 10 µg U/L einer Jahresdosis von 9 bzw. 6 µSv pro Jahr. Somit ist das radiologische Risiko durch Uran in Trinkwasser sehr gering, da die Strahlenexpositionen bei Urankonzentrationen für Kleinkinder und Erwachsene weit unter dem Dosisrichtwert von 100 µSv pro Jahr liegen.

3.1.4.5.2.2 Mineralwasser

Für natürliche Mineralwässer, Quell- und Tafelwässer gelten aus radiologischer Sicht die gleichen Schlussfolgerungen wie für Trinkwasser.

3.1.4.6 Boden und Dünger

3.1.4.6.1 Boden und Dünger, chemisch

Für Boden und Dünger gibt es für die chemische Belastung mit Uran bisher in Deutschland keine empfohlenen Richtkonzentrationen oder gesetzlichen Regelungen (BfR-Statusseminar 2005, Bannick, Schnug).

Von den befragten EU-Mitgliedstaaten, den USA und Japan wurde nur vom Landwirtschaftsministerium Estland eine Regelung für Uran in Böden gemeldet. Durch einen Erlass des dortigen Umweltministers „über die Grenzwerte der im Boden und Grundwasser enthaltenen gefährlichen Stoffe“ vom 2.4.2004 gilt für Böden als Grenzwert für Uran 50 ppm in der Lebenszone (entspricht 50 mg Uran/ kg Boden) und 500 ppm in der Industriezone (entspricht 500 mg Uran/ kg Boden). Für sechs Länder wurden keine Regelungen gemeldet, für zwei Länder liegen nach der Umfrage keine Angaben vor (Anhang, Tabelle 1).

Auf dem BfR-Statusseminar zu Uran wurde mehrheitlich davon ausgegangen, dass ein Anstieg der Urankonzentration durch Mineraleintrag in kultivierte Böden in überschaubarer Zeit nicht zu erwarten ist. Die Steigerungsrate ist bei der derzeitigen guten landwirtschaftlichen Praxis bei Böden mit einem geogen bedingten Urangehalt von 3,3 mg/kg (entspricht mit ca. 40 Bq/kg der durchschnittlichen Aktivität von Natururan in Böden) mit etwa 0,08 % pro Jahr sehr klein (BfR-Statusseminar 2005, Kirchner, Pradt).

Der Uraneintrag durch Mineraldünger geht seit der freiwilligen Selbstbeschränkung der Mitgliedsfirmen vom Industrieverband Agrar e. V. (IVA) 1984 in Deutschland zurück, da sich zur Senkung des Cadmiumeintrags in Böden die Mitgliedsfirmen verpflichtet haben, schwermetall- und damit auch uranarme Rohphosphate zu verwenden. Allerdings kann zu dem Uran-gehalt importierter Phosphatdünger keine konkrete Aussage gemacht werden (BfR-Statusseminar Pradt, 2005).

Nach Ansicht von Schnug (BfR-Statusseminar 2005) sei der Anstieg der Urangelhalte in Böden allein als Folge der Düngung mit mineralischen Phosphaten (hinzu kommt zusätzlich noch Uran aus Kalken, was zurzeit aber noch nicht abgeschätzt werden kann) intrinsisch, da die Einträge in Agrarökosysteme erheblich höher als die Austräge seien. Schnug sieht sich unter anderem dadurch bestätigt, dass im Mittel ca. 0,5-1 mg/kg Uran höhere Urangelhalte in den Oberböden im Vergleich zu den Unterböden landwirtschaftlich genutzter Standorte in Nordeuropa (Reimann 2003) festgestellt wurden. Dieser Wert sei in guter Übereinstimmung mit den von NCRP (1987), Pfister (1976) und Talibudeen (1967) prognostizierten und von Taylor (1997) sowie von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bereich Pflanzenernährung und Bodenkunde (FAL-PB) in Dauerversuchen gemessenen jährlichen Anstiegen der Urangelhalte in Oberböden von 0,03-0,04 mg/kg Uran als Folge mineralischer Phosphatdüngung in Höhe des Ernteentzuges.

Als ebenso unstrittig bezeichnet Schnug den linearen Zusammenhang zwischen dem Urangelhalt des Bodens, den hierauf gewachsenen Pflanzen und schließlich den aus diesen Pflanzen erzeugten tierischen Produkten (Linsalata 1994, Schroetter 2006). Die gesundheitliche Bedeutung dieser Feststellung sei bisher noch nicht zufrieden stellend belegt worden. Die Nachweisführung wird als schwierig, jedoch machbar eingeschätzt.

Schnug und Bannick benennen Konflikte mit Belangen des Boden- und Gewässerschutzes, insbesondere im Hinblick auf das Gebot der Nachhaltigkeit und Vermeidung von Schadstoffanreicherungen in Böden (AMK/UMK 2001) (BfR-Statusseminar 2005, Schnug, Bannick).

Bannick und Schnug weisen darauf hin, dass die Problematik zu Uran in Phosphatdüngern derzeit im Wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen beim BMELV diskutiert wird und die Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) zur Problematik bereits einen Standpunkt verfasst hat. FAL-PB hält zu diesem Punkt eine Kennzeichnungspflicht der handelsüblichen P-Düngemittel zunächst für ausreichend, da hiermit der Landwirtschaft ein Hilfsmittel an die Hand gegeben wird, den Uraneintrag zu verringern (BfR-Statusseminar 2005, Schnug, Bannick).

3.1.4.6.2 Boden und Dünger, radiologisch

Für die Aktivität durch Uran im Boden und Dünger gibt es in Deutschland ebenfalls keine direkten Empfehlungen. Eine signifikante Beeinflussung der geogen in Böden bedingten Urankonzentrationen durch anthropogene Aktivitäten (Atomkraftwerke, Düngung) konnte bisher nicht festgestellt werden.

3.1.4.7 Lebensmittel und Futtermittel

3.1.4.7.1 Lebensmittel und Futtermittel, chemisch

Für Lebens- und Futtermittel gibt es keine nationalen Richt- oder Grenzwerte für die Belastung mit Uran. Die befragten EU-Mitgliedstaaten, die USA und Japan meldeten keine Regelungen für Lebensmittel, Futtermittel oder Säuglingsnahrung (vgl. Tabelle 1 im Anhang).

Ausgehend von der von der WHO maximal angegebenen täglichen Aufnahmemenge von 4 µg Uran über Lebensmittel (WHO 2004) wird der TDI von 0,6 µg U/kg Körpergewicht bei einem 60 kg schweren Erwachsenen zu 11 % ausgeschöpft. Bei zu Grunde legen einer täglichen Aufnahmemenge von 3 µg Uran über Lebensmittel, was den Messergebnissen, die im BfR-Statusseminar vorgestellt wurden, entspricht (BfR-Statusseminar 2005, Anke, Kirchner), ergibt sich eine Ausschöpfung des TDI zu etwa 8 %.

Kinder nehmen sehr unterschiedliche Lebensmittelmengen pro Tag auf, so dass sich eine große Streubreite ergibt (FKE 2006). Dadurch kann sich das Verhältnis der TDI-Auslastung bei Kindern ungünstiger darstellen, aber auch dann bleibt die Auslastung bei konservativen Modellrechnungen deutlich unter dem TDI von 0,6 µg U/kg Körpergewicht.

Aus Sicht des BfR kann unter Berücksichtigung der aktuellen Datenlage und der derzeitigen Lebenssituationen keine gesundheitliche Gefährdung durch Uran in Lebensmitteln für Verbraucher abgeleitet werden.

Anhand der Modellrechnungen zur Uran-Belastung Lebensmittel liefernder Tiere über Tierfutter und Wasser wurde im BfR am Beispiel der Milchkuh, der Legehennen und des Broilers zu den ausgewählten Einzellebensmitteln Milch, Eier und Geflügel die in der Literatur gefundenen Urangelhalte der Einzellebensmittel überprüft. Unter Berücksichtigung, dass die Modellrechnungen auf konservativen Schätzungen beruhen, stimmen die berechneten Urangelhalte, die über Tierfutter und Wasser aufgenommen werden, gut mit den Literaturwerten überein.

Das BfR kann bei zu Grunde legen der Urangelhalte mit konservativen Modellrechnungen keine gesundheitliche Beeinträchtigung für das landwirtschaftliche Nutztier und für den Verbraucher durch die im Futtermittel und Tränkwasser enthaltenen Urangelhalte erkennen.

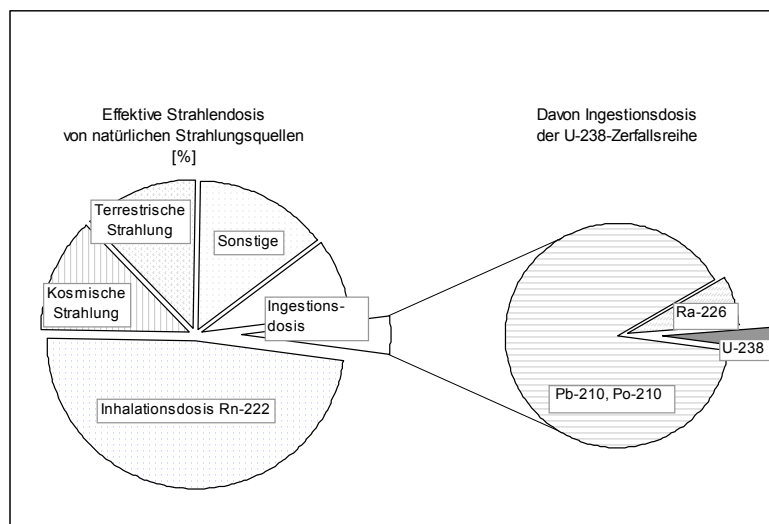
3.1.4.7.2 Lebensmittel und Futtermittel, radiologisch

Für Lebens- und Futtermittel gibt es keine Richt- oder Grenzwerte für die Aktivität durch Natururan.

Die durch natürliche Strahlenquellen verursachte effektive Dosis (mSv) liegt bei etwa 2,4 mSv pro Jahr. Fast die Hälfte davon ist auf die Inhalation des Edelgases Rn-222 und der dadurch resultierenden Lungendosis von etwa 1,15 mSv im Jahr zurückzuführen.

Die Ingestionsdosis hat mit ca. 0,3 mSv pro Jahr etwa einen Anteil von 12 % der durch natürliche Strahlenquellen verursachten effektiven Dosis. Dieser Anteil entspricht in etwa dem der kosmischen Strahlung sowie der terrestrischen Strahlung. Die U-238-Zerfallsreihe trägt zu etwa 4 % (0,1 mSv) an der durch natürliche Strahlenquellen verursachten effektiven Dosis bei. Die relevantesten Radionuklide der U-238-Zerfallsreihe sind Pb-210 (HWZ: 22 Jahre) und Po-210 (HWZ: 138 Tage) mit einem Gesamtbeitrag von etwa 0,09 mSv im Jahr, gefolgt von Ra-226 mit etwa 0,006-0,007 mSv im Jahr. Für U-238 ergibt sich damit ein Anteil von etwa 0,1 % der durch natürliche Strahlenquellen verursachten effektiven Dosis. Die Ingestionsdosis für Uran über Nahrungsmittel beträgt bezogen auf die gesamte Ingestionsdosis natürlicher Radionuklide etwa 1 %.

Abbildung 2: Prozentualer Anteil der Uran-Ingestionsdosis an der durch natürliche Strahlenquellen verursachten effektiven Dosis (modifiziert nach BfR-Statusseminar 2005, Kirchner u. Tait)



3.1.4.8 Luft

3.1.4.8.1 Luft, chemisch

Zu der chemischen Belastung durch Uran über die Luft gibt es in Deutschland keine Richtwerte, Empfehlungen oder gesetzlichen Regelungen. Von den befragten EU-Mitgliedstaaten, den USA und Japan wurde keine Regelung für Uran bezüglich Uran als chemische Noxe in der Luft gemeldet.

Im Vergleich zu der Exposition durch insbesondere Trinkwasser, aber auch Lebensmittel, wird dieser Expositionspfad für die Bevölkerung als vernachlässigbar eingeschätzt (ATSDR 1999, WHO 2004).

3.1.4.8.2 Luft, radiologisch

Zu der radiologischen Belastung durch Uran über die Luft existieren keine spezifischen Richtwerte, die höchstzulässigen Konzentrationen sind situationsspezifisch aus den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung herzuleiten. Die mittlere Strahlenexposition durch die Inhalation von Uran in Luft liegt für Kleinkinder und Erwachsene in Deutschland bei $< 0,02 \mu\text{Sv/a}$. Zu Grunde gelegt wurde hierbei ein Urangehalt in der Luft von ca. $1 \mu\text{Bq/m}^3$ (UNSCEAR 2000) und eine Atemrate von $8100 \text{ m}^3/\text{a}$ für Erwachsene und $1100 \text{ m}^3/\text{a}$ für Kleinkinder unter einem Jahr. Die Strahlenexposition liegt weit unter dem Dosisrichtwert von $100 \mu\text{Sv/a}$ für Trinkwasser und unter der mittleren natürlichen Strahlenbelastung von $2100 \mu\text{Sv/a}$.

Von den befragten EU-Mitgliedstaaten, den USA und Japan wurde nur aus den USA eine Regelung für die Äquivalentdosis in der Luft gemeldet. In den USA gilt für die Luft ein Vorgewert von 10 Millirem ($0,1 \text{ mSv}$).

4 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.

Bayerisches Landesamt für Umwelt 2006: Stadt will Uran aus dem Trinkwasser entfernen; Pressemitteilung Nr. 83 [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bayern.de/lfu/lfu1/presse/pm_detail.php?ID=127 [29.11.2006].

BfR 2004: Uran in natürlichen Mineral- und anderen, zum Verzehr bestimmten Wässern; Stellungnahme vom 03.03.2004) [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/208/uran_in_natuerlichen_mineral_und_anderen_zum_verzehr_bestimmten_waessern.pdf [07.05.2007].

BfR 2005 a: BfR-Statusseminar zu Uran in Lebens- und Futtermitteln; Pressemitteilung 26/2005 vom 01.08.2005 [Online]; Verfügbar unter:
<http://www.bfr.bund.de/cms5w/sixcms/detail.php/6597> [07.05.2007]; vgl. Tagesordnung Anhang, Abbildung 1.

BfR 2005 b: Uran in Mineralwasser: Bei Erwachsenen geringe Mengen tolerierbar, Wasser für Säuglingsnahrung sollte uranfrei sein; Gemeinsame Stellungnahme Nr. 014/2006 des BfS und des BfR vom 16. Januar 2006 [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/208/uran_in_mineralwasser.pdf [23.11.2006].

BfR 2006: BfR korrigiert Höchstmengeempfehlung für Uran in Wässern zur Zubereitung von Säuglingsnahrung; Stellungnahme 014/2006 vom 16.1.2006 [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/208/bfr_korrigiert_hoehstmengenempfehlung_fuer_uran_in_waessern_zur_zubereitung_von_saeuglingsnahrung.pdf [23.11.2006].

BgVV 2000: Uran in natürlichem Mineralwasser; Stellungnahme des BgVV vom 31. Oktober 2000 [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/208/uran_in_natuerlichem_mineralwasser.pdf [28.07.2005].

BgVV 2002: Uran in Mineral- und Tafelwasser; Stellungnahme des BgVV vom 22. Februar 2002 [Online]; Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/208/uran_in_mineral_und_tafelwasser.pdf [28.07.2005].

Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2005: Uran und Human-Biomonitoring; Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes; Hrsg. Springer Medizin Verlag 48, 822-827.

Bundesrat Drucksache 711/06 vom 12.10.06: Verordnung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Vierte Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung [Online] ; Verfügbar unter:
http://www.bundesrat.de/cln_050/nn_6906/SharedDocs/Drucksachen/2006/0701-800/711-06.html [27.11.2006].

Domingo J. L., Llobet J. M., Tomas J. M., J. Corbella 1987: Acute toxicity of uranium in rats and mice. Bull Environ Contam Toxicol 39, 168-174.

FAL 2005 a: Manchmal ist mehr drin als drauf steht – Phosphatdünger können große Mengen an Uran enthalten; Pressemitteilung 07/2005 vom 15.02.2005 [Online]; Verfügbar unter:

http://www.fal.de/cIn_044/nn_786850/DE/aktuell/pressemitteilungen/2005/presse__07__2005__pb.html [07.05.2007].

FAL 2005 b: „Metal of Dishonor“ – Munition aus abgereichertem Uran verseucht Böden in Krisengebieten; Pressemitteilung 25/2005 vom 30.06.2005 [Online]; Verfügbar unter: http://www.fal.de/cIn_044/nn_786850/DE/aktuell/pressemitteilungen/2005/presse__25__2005__pb.html [07.05.2007].

Frindik O. 1992: Thorium und Uran in Lebensmitteln tierischer Herkunft, Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung u. Forschung 194, 377-380.

Food Standards Agency (FSA) 2004: Food Survey Information Sheet 2004: Analysis of the Natural Radioactivity Content of Bottled Water, 67/2004.

Forschungsinstitut für Kinderernährung (FKE) 2006: Schwankungen im Nahrungsverzehr [Online]; Verfügbar unter : <http://kunden.interface-medien.de/fke/content.php?seite=seiten/aktuelles.php&archiv=&jahr=&details=44> [04.12.2006].

Froidevaux P., Geering J.-J., Pillonel L., Bosset J.-O., Valley J.-F. 2004: Sr, U, Cs, K and Pu in Emmental type cheese produced in different regions of Western Europe, Journal of Environmental Radioactivity, 72, 287-298.

Gilman A. P., Villeneuve D. C., Secours V. E., Yagminas A. P., Tracy B. L., Quinn J. M., Valli V. E., Willes R. J., Moss M. A. 1998a: Uranyl Nitrate: 28-Day and 91-Day Toxicity Studies in the Sprague-Dawley Rat; Toxicological Sciences 41, 117-128.

Gilman A. P., Villeneuve D. C., Secours V. E., Yagminas A. P., Tracy B. L., Quinn J. M., Valli V. E., Moss M. A. 1998b: Uranyl Nitrate: 91-Day Toxicity Studies in the New Zealand White Rabbit; Toxicological Sciences 41, 129-137.

Goodman D. R. 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.

Gruber Tabelle 2004: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Mastrinder, Schafe, und Ziegen, 25. Auflage, Poing: Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, 2004.

IARC 2001: Some internally deposited radionuclides – Summary of Data Reported and Evaluation, Vol. 78. [Online]; Verfügbar unter: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol78/volume78.pdf> [6.9.2006].

IARC 2006: Agents reviewed by the IARC Monographs Volumes 1-94 (ALPHABETICAL ORDER), last update: 4.9.2006 [On-line]; Verfügbar unter: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Listagentsalphorder.pdf> [6.9.2006].

Izak-Biran T., Schlesinger T., Weingarten R., Even O., Shamai Y., Israeli M. 1989: Concentrations of U and Po in animal feed supplements, in poultry meat and in eggs, Health physics 56 (3),315-319.

IRSN 2005: ENVIRHOM Bioaccumulation of radionuclides in situations of chronic exposure of ecosystems and members of the public; Progress Report 2 covering the period June 2003 – September 2005; Report DRPH 2005-07 DEI 2005-05; Institut de radioprotection et de Surete nucleaire [On-line]; Verfügbar unter:

http://www.irsn.org/vf/04_act/04_act_1/04_act_communique_irs/04_act_communique_irs_n_2006/docs/rapport_envirhom.pdf [28.11.2006].

Kirchgeßner 2004: Tierernährung. Frankfurt a.M.: DLG-Verlag.

Konietzka R., Dieter H. H., Voss J.-U. 2005: Vorschlag für einen gesundheitlichen Leitwert für Uran in Trinkwasser; Umweltmed ForschPrax 10 (2), 133-143.

Kurtio P., Auvinen A., Salonen L. Saha H., Pekkanen J., Mäkeläinen I., Väisänen S. B., Penttilä I. M. Komulainen H. 2002: Renal effects of uranium in drinking water. Environ Health Perspect 110, 337-342.

Kurtio P., Harmoinen A., Saha H., Salonen L., Karpas Z., Komulainen H., Auvinen A. 2006: Kidney Toxicity of Ingested Uranium From Drinking Water, American Journal of Kidney Diseases 47 (6), 972-982.

Leggett R. W., Harrison J. D. 1995: Fractional absorption of ingested uranium in humans. Health Phys 68(4), 484-498.

Linsalata P. 1994: Uranium and Thorium decay series radionuclides in human and animal foodchains – a review; J. Environ. Qual. 23, 633-642.

LUA Sachsen-Anhalt 2000: Schwerpunktuntersuchung – Uran in Mineralwasser. Schreiben des Landesveterinär- und Lebensmitteluntersuchungsamtes Sachsen-Anhalt an das Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt vom 7. August 2000.

Merkel B. J. 2002: Uran in Trinkwasser. Internetbeitrag aus dem Institut für Geologie der TU Bergakademie Freiberg. <http://www.geo.tu-freiberg.de/~merkel/vorlesung/GW-Besch/d2.htm>. Min/TafWV 1984, zuletzt geändert am 01.09.2005: Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser [Online]; Verfügbar unter: http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/min_tafelwv/gesamt.pdf [9.1.2006].

Min/TafWV 1984, zuletzt geändert am 01.12.2006: Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser [On-line]. Verfügbar unter: http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/min_tafelwv/gesamt.pdf [4.6.2007].

Obrikat D., Beyermann M., Bünger T., Viertel, H. 2004: Natural radionuclides in mineral water in Germany Kerntechnik 69.

Obrikat D., Beyermann M., Th. Bünger T., Viertel, H. 2003: Natürliche Radionuklide in Mineralwässern in Deutschland; 12. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Bonn.

Pfister H., Philipp G., Pauly H. 1976: Population dose from natural radio nuclides in phosphate fertilizers; Rad. Environ. Biophys. 13, 247-261.

- Pulhani V. A., Dafauti S., Hegde A. G., Sharma R. M., Mishra U. C. 2005: Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331-346.
- Reid D. F., Sackett W. M. 1997: Uranium and radium in livestock feed supplement, *Health physics* 32 (6), 535-540.
- Reimann C., Siewers U., Tarvainen T., Bityukova L., Eriksson J., Giucis A., Gregorauskiene V., Lukashev V. K., Matinian N. N., Pasiieczna A. 2003: *Agricultural Soils in Northern Europe - A Geochemical Atlas*. E. Schweizerbart, Stuttgart.
- Schroetter S., Rivas M., Lamas M., Fleckenstein J., Schnug E. 2006: Factors affecting the availability of uranium in soils. In: Merkel, B. J. and Hasche-Berger, A. (eds.): *Uranium in the environment*. Springer, Berlin Heidelberg 2006, pp. 885-894.
- Sheppard S. C., Sheppard M. I., Gallerand M. O., Sanipelli B. 2005: Derivation of ecotoxicity thresholds for uranium, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 55-83.
- Supplemente 2004: Kamphues, J., Coenen, M., Kienzle, E., Pallauf, J., Simon, O., Zentek, J. (Hrsg.): *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*, 10. Aufl., Hannover: M&H Schaper, 2004.
- Talibudeen O. 1964: Natural radioactivity in soils. *Soils Fertiliz.* 27, 347-359.
- Taylor M. D. 1997: *The Fate of Uranium Contaminants of Phosphate Fertilisers in New Zealand Soils*. MSC. Thesis, School of Science & Engineering, University of Waikato, Gate 8, Hillcrest Road, Hamilton.
- Tsukada H., Nakamura Y. 1998: Transfer factors of 31 elements in several agricultural plants collected from 150 farms in Aomori, Japan, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 236, (1-2), 123-131.
- Umweltbundesamt (UBA) 2000: *Stellungnahme für Niedersachsen*. UBA-Az.: II 4.7-A352/00 vom 18.07.2000.
- Umweltbundesamt (UBA) 2003: *Maßnahmewerte (MW) für Stoffe im Trinkwasser während befristeter Grenzwert-Überschreitungen gem. § 9 Abs. 6-8 TrinkwV 2001*. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 46: 46 707-710.
- Umweltbundesamt (UBA) 2005: *Uran und Human-Biomonitoring*. Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz* 48, 822-827.
- UNEP/UNCHS Balkans Task Force (BTF) 1999: *The potential effects on human health and the environment arising from possible use of depleted uranium during the 1999 Kosovo conflict*, Oktober 1999.
- UNSCEAR 2000: *Sources and effects of ionizing radiation, Annex B, Exposure from natural sources*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

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

Weißhaar R. 1995: Blei-210 in Lebensmitteln. In: 9. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Hrsg. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 245-250.

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, 2nd edition, Volume 2; Health criteria and other supporting information; World Health Organization Geneva [On-line]; Verfügbar unter: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq2v1/en/index1.html [28.07.2005].

WHO 1998: Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition, Addendum to Volume 2: Health criteria and other supporting information; World Health Organization Geneva 1998 (WHO/EOS/98.1), On-line; Verfügbar unter: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq2v1/en/index4.html [28.07.2005].

WHO 2001: Depleted uranium – Sources, Exposure and Health Effects, WHO/SDE/PHE/01.1. Department of Protection of the Human Environment, WHO, Geneva [On-line]; Verfügbar unter: http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/ir_pub/en/ [28.07.2005].

WHO 2004: Guidelines for Drinking-Water Quality, 3rd edition, Volume 1: Recommendations; World Health Organization Geneva 2004.

WHO 2004a: Uranium in drinking water; Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality WH/SDE/WSH/03.04/118; World Health Organization Geneva 2004.

Zamora M.L., Tracy B. L., Zielinski J. M., Meyerhof D. P., Moss M. A. 1998: Chronic ingestion of Uranium in Drinking Water: A Study of Kidney Bioeffects in Humans; Toxicological Sciences 43, 68-77.

Anhang

Tabelle 1: Auswertung zu Regelungen für Uran in verschiedenen Matrices in anderen EU-Ländern, Japan und den USA (Stand: Juli 2005)

Land	Zuständigkeit f. Antwort	LM*	Säuglingsnahrung	FM**	Mineralwasser	Trinkwasser	Dünger	Gewässer	Böden	Luft	Höchstgehalte Thema	Bemerkungen
Estland	Landwirtschaftsministerium	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein (außer f. Grundwasser in Lebens- u. Industriezone)	ja	nein	nein, Ausnahme: Boden u. GW-Zustand-Verbesserungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> Böden: 50 ppm Lebenszone; 500 ppm Industriezone Trinkwasserstudie (Hydrologiezentrum) ergab "sehr kleine Uran-Konzentrationen im Trinkwasser"
Finnland	Strahlenschutzbehörde	nein	nein	nein	nein	indirekt (über gesamte effektive Jahresdosis)	nein	nein	nein	nein	nein	<ul style="list-style-type: none"> empfohlener Grenzwert f. Trinkwasser: 100 µg U/L (entspricht der effektiven Dosis der EU-Trinkwasser-RL von 0,1 mSv). Dieser Wert wird als notwendig für die Begrenzung toxischer Effekte angesehen. Der WHO-Wert von 15 µg U/L ist nicht angedacht, in finnische Regelungen übernommen zu werden. Z. Zt. wird mit 0,5 mSv effektiver Jahresdosis der Höchstgehalt indirekt bestimmt
Litauen	Staatlicher Veterinärdienst; Zentrum f. Strahlenschutz	nein	nein	nein	ja ^r	indirekt (über gesamte effektive Jahresdosis)	nein	nein	nein	nein	nein	<ul style="list-style-type: none"> Für Mineralwasser gilt die Hygienenorm HN85:2003 („Natürliche Strahlenbelastung“; Strahlenschutznorm)
Niederlande	Aufsichtsbehörde f. Lebensmittel- u. Verbraucherschutz; Ministerium f. Landwirtschaft, Natur u. Lebensmittelqualität	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	<ul style="list-style-type: none"> 2001 veröffentlichte der Gesundheitsrat eine 95-seitige Studie zu abgereichertem Uran, in der auch Natururan beleuchtet wurde. Ergebnis: bisherige Regelungen ausreichend
Schweden	Lebensmittelbehörde	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	<ul style="list-style-type: none"> Trinkwasser-Proben: 9 v. 50 Proben über 15 µg U/L (WHO-GW)

Land	Zuständigkeit f. Antwort	LM*	Säuglingsnahrung	FM**	Mineralwasser	Trinkwasser	Dünger	Gewässer	Böden	Luft	Höchstgehalte Thema	Bemerkungen
Slowakei	Behörden der Bereiche Gesundheit, Landwirtschaft, Veterinärwesen und Umwelt; Forschungsinstitut f. Bodenkunde u. Bodenschutz	nein		nein	ja ^r	ja ^b	nein	ja		nein	nein	Verpacktes Trinkwasser sowie für öffentliche Wasserleitungen geliefertes Wasser [Bq/L]: U-234: 3,9, U-235: 4, 1, U-238: 4,3 Mineral- und Tafelwässer [Bq/L]: 1. Natürliches Mineral- und Tafelwasser: U-234: 12,1, U-235: 12,6, U-238: 13,2 2. Wasser für die Zubereitung von Säuglingsnahrung: U-234 1,8, U-235 1,9, U-238: 2,0 Gewässer [g Natururan/L] : 50; • zur Bewässerung benutzte Gewässer: [µg Natururan/L]: 50 • Trinkwasser-Reservoirs [µg Natururan/L]: 20 – 40 µg U/L • Wissenschaftliche Studie zu Auftreten von Radionukliden in LM; allerdings nicht Uran aufgeführt
Spanien	Spanische Behörde f. Lebensmittelsicherheit; Ministerium f. Landwirtschaft bzw. Umwelt	nein	nein	nein	nein	indirekt (über gesamte effektive Jahresdosis)	nein	nein	nein	nein	nein	Radiologische Regelungen für Trink- und Mineralwasser für Uran-Isotope: • Trinkwasser: 12 Bq/L • Verpacktes natürliches Mineralwasser: 24 Bq/L • Verpacktes Wasser für Säuglinge: 5 Bq/L Regelungen für Trink- und Mineralwasser für Uran im Hinblick auf die chemische Toxizität von Uran: • 30 µg U/L (derzeit) • 15 µg U/L (ab 2008) • National Academy of Science (NAS) nimmt derzeit toxikologische Neubewertung vor; Ergebnisse werden in 1-2 Jahren erwartet
Tschechien	Staatsamt f. Nuklearsicherheit	nein	nein	nein	ja ^{r, b}	ja ^{r, b}	nein	nein (außer f. Trinkwassergew.)	nein	nein	für Trink- u. Mineralwasser sowohl radiologisch als auch chemisch	
USA	Food and Drug Administration (FDA),	nein		nein	ja ^{r, b}	ja ^b				Vorsorgewert: 10 Millirem		

Land	Zuständigkeit f. Antwort	LM*	Säuglingsnahrung	FM**	Mineralwasser	Trinkwasser	Dünger	Gewässer	Böden	Luft	Höchstgehalte Thema	Bemerkungen
Frankreich												
Italien												
Malta												
Portugal												
Slowenien												
Japan												
JA		0	0	0	4	3	0	1	1	1	0	
NEIN		9	6	9	5	3	8	5	6	8	6	
indirekt						3						
keine Angaben		5	7	5	5	5	6	6	7	5	6	<ul style="list-style-type: none"> EPA-Wert: 30 µg Uran/L f. Mineral- u. Trinkwasser (EPA 2003)

* LM: Lebensmittel

** FM: Futtermittel

r Grenzwert-Regelung nach radiologischen Aspekten

b Grenzwert-Regelung nach chemischen Aspekten

Abbildung 1: Tagesordnung zum Statusseminar – Uran als Schwermetall in Lebens- und Futtermitteln – Uran als radioaktives Element

Tagesordnung: BfR Statusseminar	
- Uran als Schwermetall in Lebens- und Futtermitteln - Uran als radioaktives Element -	
Wann:	Donnerstag, 21. Juli 2005, 11:00h bis 16.00h
Wo:	Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Standort Marienfelde Diedersdorfer Weg 1, 12277 Berlin Großer Sitzungssaal, Haus 3, 1. Etage, Raum D 146
11:00	Bundesinstitut für Risikobewertung A. Hensel (Präsident) Begrüßung
11:15	Einführung
11:30	Präsentationen und Diskussion
	Bundesinstitut für Risikobewertung E. Schmidt Uran in Mineralwasser
	Umweltbundesamt H.H. Dieter Gesundheitliche Bewertung von Uran im Trinkwasser
12:15	Diskussion Mittagspause
13:00	Präsentationen und Diskussion (Fortsetzung)
	Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel D. Tait Radionuklide des Urans in Lebens- und Futtermitteln
	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenernäh- rung und Bodenkunde E. Schnug Uran: Boden-Pflanze-Nahrungskette
	Umweltbundesamt C.G. Bannick Uran als Schwermetall in Böden (Einträge, Austräge, Bewertungsansätze)
	Diskussion
	Industrieverband Agrar e.V. Problematik von Uran in Düngemitteln
	Forschungszentrum Rossendorf G. Bernhard Urankontamination durch Erzbergbau und Aufarbeitung
	Universität Jena M. Anke Uran in der Nahrungskette
	Diskussion Bundesamt für Strahlenschutz G. Kirchner Mobilität des Urans in der Nahrungskette: eine radiologische Risikoabschätzung
	Institut für Radiobiologie der Bundeswehr V. Meineke Abgereichertes Uran - Akute und chronische Risiken
15:00	Abschlussdiskussion und weiteres Vorgehen
16:00	Ende

Tabelle 2: Chronik der von verschiedenen Gremien abgeleiteten toxikologischen Grenzwerte und Trinkwasser-Richtwerte sowie Empfehlungen

Wann	Gremium	Wert	Wofür	Hintergrund	Quelle
1996	WHO	0,14 mg U/L (140 µg U/L)	Trinkwasser-Richtwert	Anhand der radiologischen Toxizität abgeleiteter Grenzwert aufgrund zu geringer Kenntnisse der chemischen Toxizität	WHO 1996
1998	WHO	0,6 µg U/kg Körpergewicht	TDI	z. Zt. Grundlage im BfR für die Risikocharakterisierung von Uran	WHO 1998
1998	WHO	2 µg U/L	Trinkwasser-Richtwert	Ableitungsgrundlage: <ul style="list-style-type: none"> ▪ TDI der WHO 1998 (0,6 µg U/kg KG) ▪ 60 kg Körpergewicht für Erwachsene ▪ Trinkwasserkonsum Erwachsener: 2 L/Tag ▪ Ausschöpfung des TDI: 10%. Der so errechnete Wert von 1,8 µg U/L wurde auf 2 µg U/L aufgerundet.	WHO 1998
2000	US-EPA	30 µg U/L	Maximum Contaminant Level (MCL) für Trinkwasser	Der bis 2000 gültige MCL von 20 µg U/L, der bis auf das Körpergewicht (70 kg) vergleichbare Parameter wie die WHO zu Grunde legte, wurde aus wirtschaftlichen Gründen auf 30 µg U/L angehoben, da 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 rechtfertigendem Verhältnis zum Nutzen.	US-EPA 2000
2000	BgVV	wenige µg U/L	Mineral- und Tafelwasser generell	„... bei dem gegenwärtigen Kenntnisstand und unter Berücksichtigung der üblichen Sicherheitsfaktoren bei der Übertragung von tierexperimentellen Ergebnissen auf den Menschen sollte die tägliche Uranaufnahme so niedrig wie möglich gehalten werden. Die Gehalte in Mineral- und Tafelwasser sollten wenige Mikrogramm pro Liter nicht überschreiten“.	BgVV 2000
2001	WHO	5 µg DU/kg Körpergewicht	TDI für unlösliche Uranverbindungen	Bewertungsgrundlage: Abgereichertes Uran (DU)	WHO 2001
2001	WHO	0,5 µg DU/kg Körpergewicht	TDI für lösliche Uranverbindungen	Bewertungsgrundlage: Abgereichertes Uran (DU)	WHO 2001

Bundesinstitut für Risikobewertung

Wann	Gremium	Wert	Wofür	Hintergrund	Quelle
2002	BgVV	2 µg U/L	Mineralwasser generell	Dieser Wert wird vom BgVV als „in D in der Diskussion“ zur Aufnahme in die EU- u. nationale Gesetzgebung für Mineral- u. Tafelwasser genannt. Grundlage für diesen Wert ist der WHO-Trinkwasser-Richtwert von 1998, der 2µg U/L beträgt.	BgVV 2002
2004	WHO	15 µg U/L	Trinkwasser-Richtwert	Auslastung des TDI durch Trinkwasser von 10% wurde ersetzt durch 80%, da sehr geringe Uranaufnahme aus anderen Quellen. Die anderen Parameter blieben unverändert gegenüber dem 1998 abgeleiteten Wert. Der errechnete Wert von 14,4 µg U/L wurde auf 15 µg U/L aufgerundet. ACHTUNG: Im Entwurf der 3 rd ed. der Trinkwasser-Guidelines wurde der Richtwert von 9 µg U/L genannt, der sich aus der ursprünglich diskutierten „allocation“ von 50% ergeben hätte.	WHO 2004
2005	UBA	0,1 – 0,2 µg U/kg Körpergewicht/Tag	gesundheitlich lebenslang duld- bare Zufuhr pro Tag		Konietzka 2005
2005	UBA	10 µg U/L	Trinkwasser-Leitwert		Konietzka 2005
2005	UBA	20 µg U/L	Trinkwasser-Maßnahmewert	für eine bis 10 Jahre befristete Überschreitung	Konietzka 2005
2005	BfR	0,2 µg U/L	Mineralwässer, die als geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung ausgetobt werden	Regelung ist vorgesehen unter § 15 (2) (Irreführende Angaben) der Min/TafWV	BfR 2005
2006	BfR	2 µg U/L	Mineralwässer, die als geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung ausgetobt werden (entsprechend § der MinTafWV „Irreführende Angaben“)	in Abstimmung mit BfS, das im Rahmen eines Messprogrammes nachgewiesen hat, dass Uran nur sehr unwesentlich zur natürlichen Strahlenbelastung von Mineralwässern beiträgt.	BfR 2006