

Umweltradioaktivität  
und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement  
et doses de rayonnements en Suisse

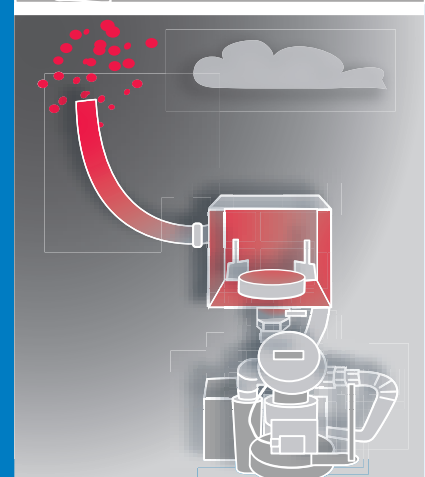
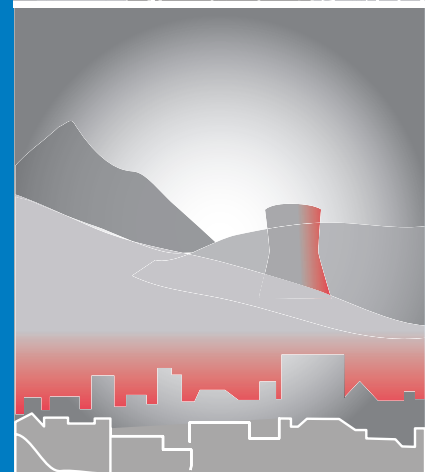
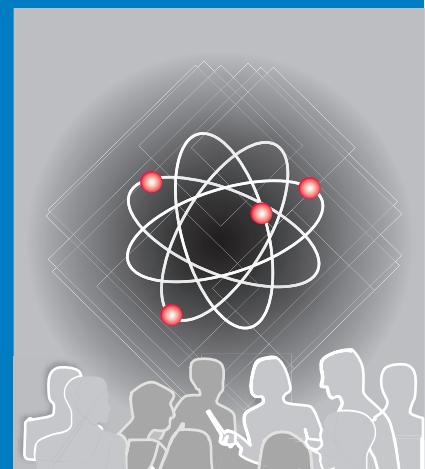
Radioattività dell'ambiente e dosi  
d'irradiazione in Svizzera

2013



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Gesundheit BAG  
Office fédéral de la santé publique OFSP  
Ufficio federale della sanità pubblica UFSP  
Abteilung Strahlenschutz  
Division radioprotection  
Divisione radioprotezione



## 4.7

# Risikoabschätzung zum Eintrag von Uran aus Düngern ins Grundwasser in der Schweiz

**H. Surbeck**

Nucfilm GmbH, CH-1792 Cordast

### Zusammenfassung

Eine Abschätzung des möglichen Uraneintrags durch Dünger ins Grundwasser in der Schweiz ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Für Niederschlagsmengen, Evapotranspiration und Oberflächenabfluss gibt es zwar zuverlässige Daten, die Variationsbreite ist aber recht gross. Für die Infiltration wurde der Wert von  $600 \pm 200$  l/m<sup>2</sup> und Jahr verwendet.

Der Urangehalt der Phosphatdünger (mg U/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) erstreckt sich nach neueren Messungen über 2 Grössenordnungen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt 3 deutlich unterschiedliche Populationen. Etwa 30% der Proben enthalten kaum Uran, etwa 20% sehr viel. Für die Abschätzung des Eintrags wurde die mittlere Population benützt. Sie weist eine lognormale Verteilung auf. Verwendeter Wert:  $250 \pm 100$  mg U/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Grosse Unsicherheit besteht auch beim tatsächlichen aktuellen Einsatz von Mineraldüngern. Der gewählte Wert von  $35 \pm 12$  kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und Jahr ist sehr wahrscheinlich höher als der aktuelle Eintrag, berücksichtigt aber, dass frühere Einträge möglicherweise durch die Bodenbearbeitung remobilisiert werden können. Er berücksichtigt indirekt zusätzlich, dass Uran auch aus organischen Düngern stammen kann.

Mit den obigen Schätzwerten ergibt sich, dass im Mittel  $1.5 \mu\text{g U/l}$  im Grundwasser aus dem Eintrag von uranhaltigem Mineraldünger stammen könnten.

Die Summe der relativen Unsicherheiten beträgt ca. 100%. Damit ergibt sich ein geschätzter Beitrag der Mineraldüngung in der Schweiz zum Urangehalt des Grundwassers von  $< 0.1$  bis  $3 \mu\text{g U/l}$ .

In diesem Bereich liegen, je nach Region, 50% bis über 90% der Messwerte in Schweizer Grundwässern. Das heisst aber nicht, dass diese Urankonzentrationen anthropogenen Ursprungs sind. Das heisst nur, dass geogener und anthropogener Beitrag in der gleichen Grössenordnung liegen könnten.

Man sollte auch nicht vergessen, dass Uran natürlicherweise im Boden vorhanden ist. Auch dieses Uran kann mobilisiert werden und ins Grundwasser gelangen - besonders in landwirtschaftlich genutzten Böden. Gleichzeitig ist klar, dass die vorliegende generelle Abschätzung eine genaue Untersuchung im Einzelfall nicht ersetzt, wenn ein Verdacht auf erhöhten Eintrag von Uran aus Düngern besteht. Übermässiger Einsatz von stark uranhaltigen Düngern, ungünstige Bodenverhältnisse oder plötzliches Auswaschen von über lange Zeit akkumuliertem Uran sind Faktoren, die lokal durchaus zu einer stärkeren Belastung von Trinkwasser führen könnten.

## Einleitung

Um das Jahr 1990 gab es in der Schweiz Überlegungen dazu, ob Uran in Phosphatdüngern zu einer nicht tolerierbaren Strahlungsbelastung beim Umgang mit diesen Düngern führen könnte (BUWAL 1991). Im Fokus stand dabei weniger die mögliche Belastung des Grundwassers als vielmehr die Arbeitssicherheit.

Das Thema Uran im Grundwasser wurde in der Schweiz 2005 wieder aktuell, nach Artikeln im Gesundheitstipp, zuerst über Uran in Mineralwässern und dann über Uran in Trinkwässern (Gesundheitstipp 2006). Vorerst wurden erhöhte Werte allerdings nur der Natur angelastet.

Ab etwa 2011 erreichte dann die „Uran im Trinkwasser aus Dünger“-Diskussion aus Deutschland auch die Schweiz. Auslöser dieser Diskussion in Deutschland waren vor allem Publikationen mit nicht immer nachvollziehbaren Annahmen über den Einsatz von uranhaltigen Phosphatdüngern (Kratz & Schnug 2006, Knolle 2009). Eine Anfrage im Deutschen Bundestag (Deutscher Bundestag 2009) führte dann zum generellen Angriff auf uranhaltige Dünger (Schnug 2012). Daraufhin gab die Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt eine Empfehlung ab für eine Kennzeichnungspflicht ab 20 mg U /kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und für ein Verbot von Düngern mit mehr als 50 mg U /kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Umweltbundesamt 2012).

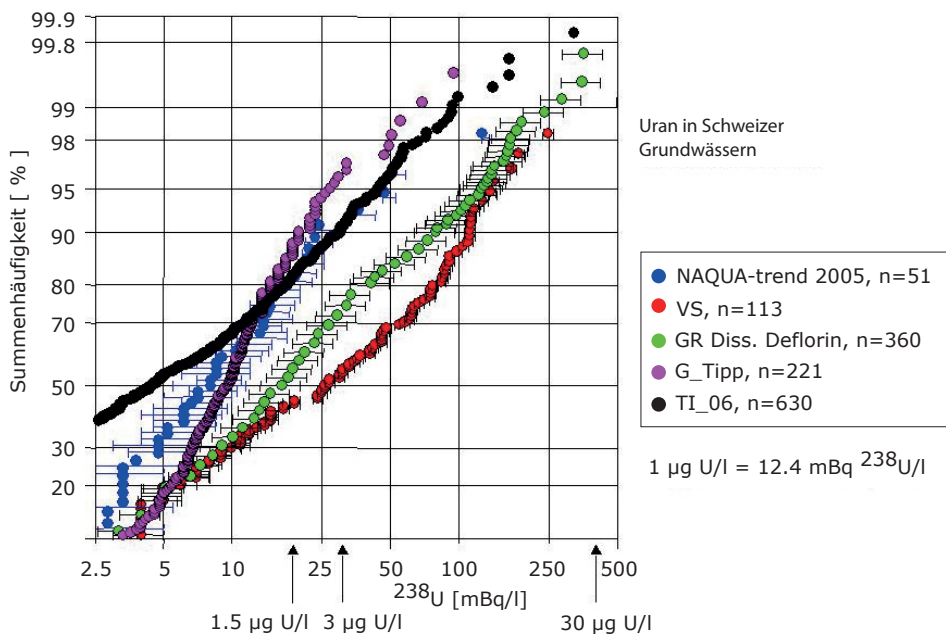
Eine Marktkontrolle an 2011/2012 in der Schweiz erhobenen Düngerproben bestätigten im wesentlichen die in Deutschland gefundenen Werte. Der Bericht erwähnt explizit die von obiger Kommission empfohlene Limite von 50 mg U /kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sie wird bei 17 der 24 Proben überschritten (siehe unten).

Es gibt in Deutschland inzwischen aber auch einige Publikationen zu diesem Thema, die den geogenen Eintrag von Uran ins Grundwasser wieder stärker berücksichtigen und darauf hinweisen, dass allein schon die Tatsache, dass Landwirtschaft betrieben wird und Phosphor in den Boden eingebracht wird die Mobilität von Uran erhöhen kann (Dienemann & Utermann 2012, Kiefer & Fischer, Hinrichsen 2013).

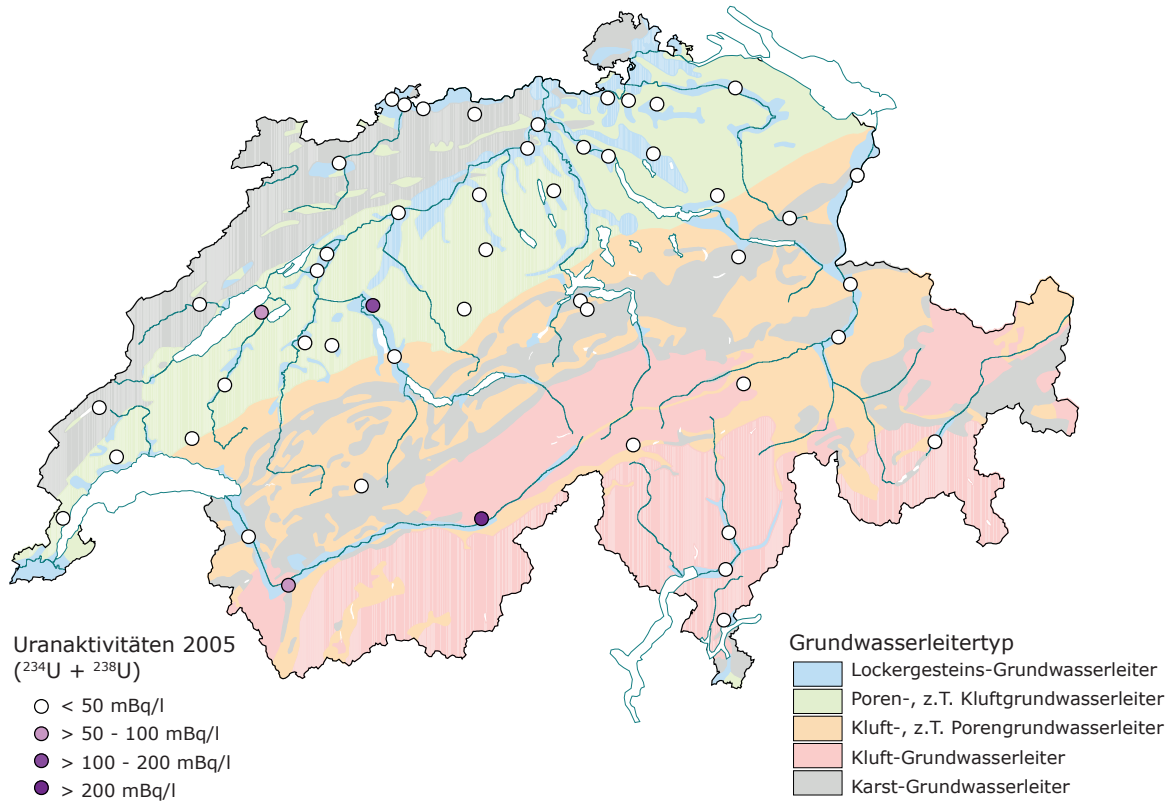
Der vorliegende Bericht präsentiert die Fakten für die Schweiz.

## Gesetzliche Grundlagen, Trinkwasserhöchstwerte

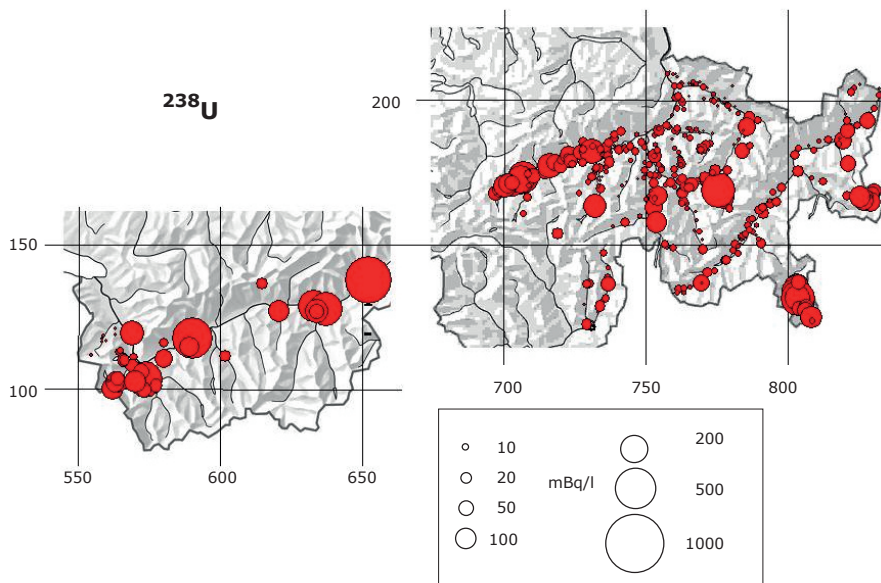
Ein Grenzwert für Uran im Trinkwasser ist für die Radioaktivität im Anhang 6 der Fremd- und Inhaltsstoff-Verordnung (FIV) festgelegt. Für Radionuklide der Uran- und Thoriumreihe, Gruppe I (<sup>224</sup>Ra, <sup>228</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U) gilt für flüssige Lebensmittel ein Grenzwert von 10 Bq/l.



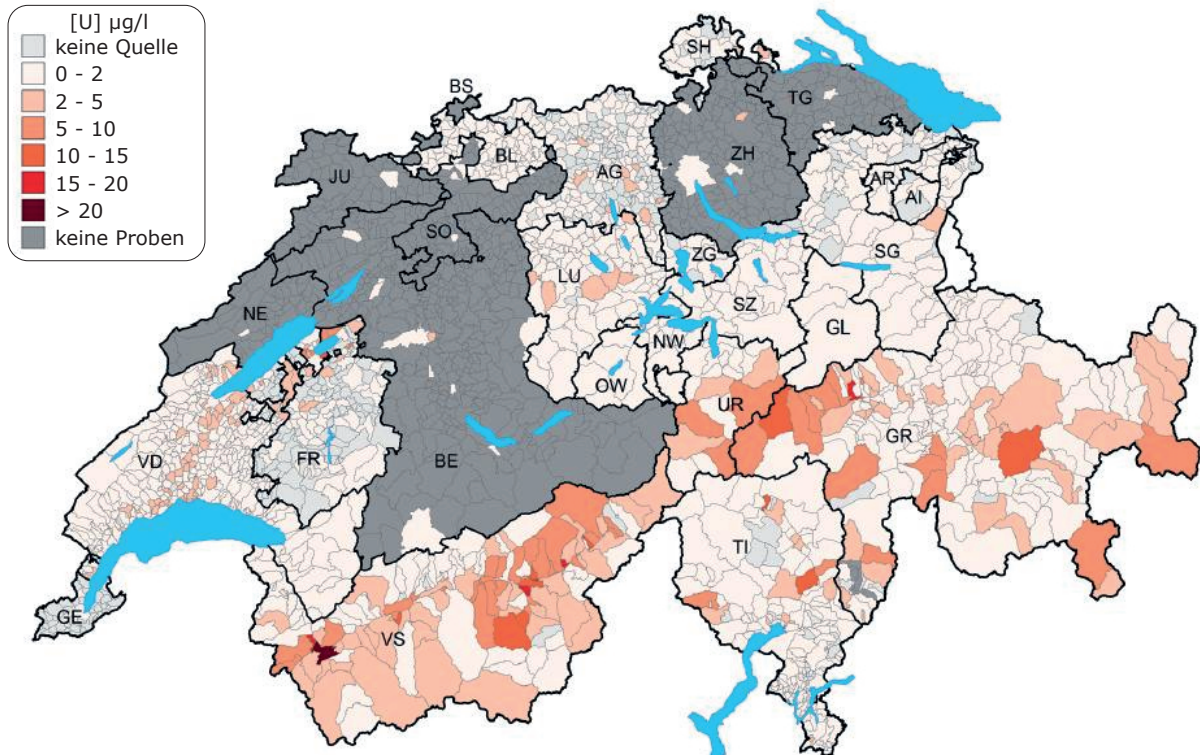
**Figur 1:** Uran-Konzentrationen in Schweizer Grundwässern. NAQUA-trend: Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul TREND 2005, BAFU (2009), Surbeck (2007); VS und TI\_06: private Mitteilung KL-VS und KL-TI; GR Diss. Deflorin: Deflorin (2004); G\_Tipp: Gesundheitstipp (2006).



**Figur 2:** Räumliche Verteilung der Uran-Aktivität im Jahr 2005. Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul TREND, Bundesamt für Umwelt (BAFU 2009).



**Figur 3:** Räumliche Verteilung der Daten für die Kantone VS und GR (Surbeck et al. 2006).



**Figur 4:**  
Räumliche Verteilung der Uran-Aktivitäten im Trinkwasser der Schweiz (Haldimann 2012, Stalder et al. 2012).

Die Limite bezieht sich auf die Summe der Radionuklide der Gruppe I.  $^{224}\text{Ra}$  ist in Schweizer Trinkwässern bisher nie mit Aktivitäten über  $0.1 \text{ Bq/l}$  festgestellt worden und Th ist höchstens in sehr sauren Wässern löslich. Solch saure Wässer werden aber nicht als Trinkwasser genutzt. Daher müssen nur die Uranisotope berücksichtigt werden. Falls kein angereichertes Uran vorliegt, macht das  $^{235}\text{U}$  nur etwa 5% der Gesamtaktivität aus. Die bisherigen Messungen an Schweizer Trinkwässern haben gezeigt, dass das  $^{234}\text{U}$  weitgehend im Gleichgewicht mit dem  $^{238}\text{U}$  auftritt. Daher entspricht die Limite von  $10 \text{ Bq/l}$  je  $5 \text{ Bq/l } ^{238}\text{U}$  und  $5 \text{ Bq/l } ^{234}\text{U}$ . Chemisch sind das etwa  $400 \text{ µg U/l}$  ( $1 \text{ µg U/l} = 12.4 \text{ mBq } ^{238}\text{U/l}$ ).

In der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV, ist das Uran neu auch in der Liste der toxischen Metalle mit einem Grenzwert von  $30 \text{ µg U/l}$  in Trinkwasser und Mineralwasser aufgelistet. Bezüglich der Radioaktivität entspricht das je  $0.37 \text{ Bq/l } ^{238}\text{U}$  und  $0.37 \text{ Bq/l } ^{234}\text{U}$ .

Im internationalen Vergleich liegen diese  $30 \text{ µg U/l}$  gleich hoch wie in den USA und entsprechen der aktuellen WHO Empfehlung. Deutlich tiefer ist mit  $10 \text{ µg U/l}$  der Grenzwert in Deutschland (gültig seit dem 1.11.2011).

## Urankonzentrationen in Schweizer Grundwässern

Figur 1 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Urankonzentrationen im Grundwasser für verschiedene Messkampagnen in der Schweiz. Die höchsten bisher in der Schweiz in Trinkwasser gemessenen Urankonzentrationen wurden im Rahmen einer Masterarbeit in der Gegend von Saxon gefunden (ca.  $160 \text{ µg U/l}$ , Granges 2009). Die höchsten in Grundwasser allgemein in der Nähe des Lyssbachs bei Bern (ca.  $400 \text{ µg U/l}$ , Schmidt 2013). Beim letztgenannten Standort handelt es sich allerdings um Drainagewasser, das möglicherweise von einer Deponie beeinflusst ist.

Daten aus Deutschland zeigen ähnliche Häufigkeitsverteilungen der Urankonzentrationen im Grundwasser wie in der Schweiz (Knolle 2009, Diemann & Utermann 2012, Hinrichsen 2013, Kiefer & Fischer 2013)

Die teilweise in Fig. 1 und 2 dargestellten Proben der 50 Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul TREND wurden in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt 2005, 2007/2008 und 2012 vom Bundesamt für Gesundheit auf Uran analysiert (BAFU 2009, Steinmann & Estier 2013). Die Ergebnisse der massenspekt-

rometrischen Messungen von 2007/2008 und von 2012 liegen sehr nahe beieinander. Die mit Alpha-Spektrometrie erhaltenen Werte von 2005 scheinen ein wenig höher zu sein. Auf jeden Fall zeigen diese Messungen keine Zunahme über die letzten 8 Jahre. Es ist auch kein klarer Zusammenhang zwischen der landwirtschaftlicher Nutzung und Urankonzentration zu sehen. So werden im landwirtschaftlich stark genutzten Mittelland nicht systematisch höhere Werte gemessen (Figur 2) und die Mediane der Messstellen mit Hauptbodennutzung "Ackerbau" sowie Hauptbodennutzung "Siedlung und Verkehr" sind vergleichbar (BAFU 2014).

Auch in Fig. 3, die die räumliche Verteilung der U-Konzentrationen im Grundwasser der Kantone VS und GR zeigt, liegen die hohen Werte nicht in landwirtschaftlich genutzten Gebieten, sondern dort wo sie aufgrund der Geologie zu erwarten sind.

Ein etwas anderes Bild zeigen Uran-Messungen an Trinkwasserfassungen des Kantons Bern. Hier wurden die höchsten Werte im Mittelland festgestellt und nicht bei den Fassungen im Alpenraum oder im Jura (KL BE, 2013).

Die Figur 4 zeigt die räumliche Verteilung der Urankonzentrationen in Trinkwasser für einen grossen Teil der Schweiz als Wert pro Gemeinde. Leider verunmöglicht diese Darstellung einen Vergleich mit geologischen Daten oder der Landnutzung.

### Niederschlag in der Schweiz, Oberflächenabfluss, Evapotranspiration, Infiltration

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge im Schweizer Mittelland liegt bei etwa  $(1000 \pm 200)$  mm, der Oberflächenabfluss und die Evapotranspiration bei je etwa 200 mm (BAFU, 2013). Damit verbleiben für den Infiltrationsanteil der Grundwasserneubildung  $(600 \pm 200)$  mm pro Jahr. Dieser aufgrund der Daten aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz berechnete Wert stimmt recht gut mit den Annahmen der EAWAG (Von Gunten, 2000) für die ganze Schweiz überein (250 bis 500 mm pro Jahr). Für die Abschätzung des Uraneintrags wird für die Infiltration der Wert von  $(600 \pm 200)$  mm pro Jahr benützt.

### Geogene Uranquellen

Uran ist in Gesteinen und damit auch in den Böden allgegenwärtig. Neben Vererzungen (Gillieron 1988) finden sich in der Schweiz auch grossflächig erhöhte Urankonzentrationen. Im Schweizer Mittelland betrifft das neben dem uranreichen Quartärgeschiebe aus den Alpen vor allem Gebiete, bei denen der Übergang von der Unteren Süsswassermolasse zur Oberen Meeresmolasse nahe der Oberfläche liegt. Hier finden sich zahlreiche Tier- und Pflanzenreste mit stark erhöhten Urankonzentrationen. Das Uran wurde zur Zeit der Ablagerung unter anoxischen Bedingungen angereichert. Die Erosion hat im Lauf der letzten Millionen Jahre diese Schichten in den Bereich untiefer, sauerstoffreicher Grundwässer gebracht. Dadurch wird das Uran wieder mobil und mit dem Grundwasser transportiert (Schott & Wiegand 2003). Das ist auch eine mögliche Erklärung für die deutlich erhöhten Urankonzentrationen im Trinkwasser in einem Streifen Seeland - Neuenburgersee - Genfersee (Fig. 4).

Die stark erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser im Wallis und im Kanton Graubünden (Deflorin & Surbeck 2003, Deflorin 2004, Surbeck et al. 2006) finden sich vor allem in Gebieten mit bekannten Verrucano-Vorkommen. Der Verrucano, ein klastisches Sediment aus dem Permokarbon weist häufig erhöhte Urankonzentrationen auf (Gillieron 1988).

Uran kann aber auch aus völlig durchschnittlichen Boden ins Grundwasser gelangen. Im landwirtschaftlich genutzten Oberboden in der Schweiz finden sich ca. 3 mg U/kg (hergeleitet aus Estier & Gurtner, 2013). Das entspricht auch dem Mittelwert in anderen Gegenden Europas (Dienemann & Utermann 2012). Wird auch nur 0.1% dieses Urans pro Jahr aus einer 10 cm dicken Schicht ausgelaugt so ergibt das bereits etwa 0.5 bis 1 µg U/l im Sickerwasser.

Unter besonderen Bedingungen kann natürliche Urananreicherung auch in Gebieten ohne speziell uranreiche Gesteine zu sehr hohen Konzentrationen von Uran in Böden führen. Ein Beispiel dazu findet sich im Dischmatal wo sich in einem natürlichen „hotspot“ Urankonzentrationen von beinahe 1000 mg U /kg T.S. gemessen werden konnten (Regenspur, 2010).

## Anthropogene Uranquellen

### Mineraldünger

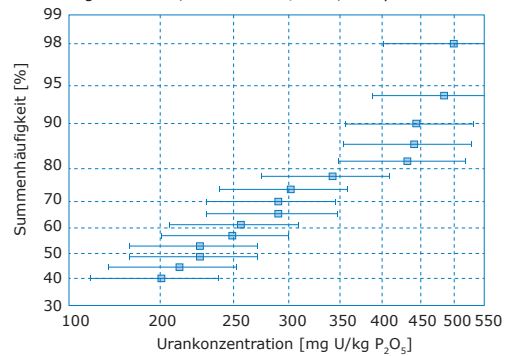
Sedimentäre Phosphate zeigen häufig erhöhte Urankonzentrationen: "there is a natural and unavoidable connection between phosphate mining and radioactive material. It is because phosphate and uranium were laid down at the same time and in the same place by the same geological processes millions of years ago. They go together. Mine phosphate, you get uranium" (Profitt 1995). Eruptive Phosphate enthalten dagegen nur wenig Uran. Der überwiegende Teil des zu Phosphatdünger verarbeiteten Rohphosphats stammt aber aus sedimentären Lagerstätten. Eine ausführliche Darstellung zum Uran in Rohphosphaten und in Mineraldüngern findet sich in IAEA 2003.

### Urankonzentrationen in den in der Schweiz gehandelten Mineraldüngern

BUWAL (1991) erwähnt Messungen an Mineraldüngern durch das Paul-Scherrer Institut (PSI) und durch die Sektion Ueberwachung Radioaktivität des BAG (SUEr). Das PSI findet einen Mittelwert von 100 mg U/kg, bezogen auf die Trockensubstanz (T.S.). Die damals nicht publizierten Messungen der SUEr ergaben für 23 Proben einen Mittelwert von 670 Bq  $^{238}\text{U}$ /kg, das entspricht 53 mg U/kg T.S. Der Maximalwert der SUEr-Messungen betrug  $1965 \pm 430$  Bq  $^{238}\text{U}$ /kg (dies entspricht  $158 \pm 35$  mg U/kg T.S.).

Die Kantonalen Laboratorien Bern, Zürich und Basel haben Messungen an 24 Mineraldünger-Proben, die 2011 und 2012 erhoben wurden, durchgeführt. Diese Messungen entstanden im Rahmen einer Marktkontrolle der kantonalen Vollzugsstellen Chemikaliensicherheit in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLS). Die Resultate sind in Fig. 5 zu sehen. Die Uran-Aktivitäten liegen im Bereich dessen, was auch in Deutschland gemessen wurde (Kratz & Schnug 2006, Deutscher Bundestag 2009, Dienemann & Utermann 2012, Bundesumweltamt 2012). Es wird daher angenommen, dass die KL BS Daten repräsentativ für in Europa gehandelte Mineraldünger sind. Der Urangehalt dieser Proben (mg U/kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) in Fig. 5 erstreckt sich über 2 Größenordnungen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt 3 deutlich unterschiedliche Populationen. Etwa 30% der Proben enthalten kaum Uran, etwa 20% extrem viel. Für die Abschätzung des Eintrags wurde die mittlere Population benützt. Sie weist eine lognormale Verteilung auf. Verwendeter Wert:  $(250 \pm 100)$  mg U/kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Dieser Bereich entspricht der Summenhäufigkeit zwischen 30% und 80%.

Mineraldünger Schweiz, Proben 2011/2012, Analyse durch KL-BS



**Figur 5:** Häufigkeitsverteilung der Uran-Konzentrationen in 2011 / 2012 in der Schweiz erhobenen Phosphatdünger-Proben (private Mitteilung KL-BS).

### Organische Dünger

Für organische Handelsdünger, Klärschlamm und Hofdünger liegen für die Schweiz keine Daten zum Urangehalt vor. Messungen in Deutschland zeigten, dass Klärschlamm und Hofdünger maximal 8 mg U/kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  enthalten (Dienemann & Utermann 2012). Seit 2003 darf in der Schweiz der Klärschlamm nicht mehr auf die Felder ausgetragen werden. Im Moment entfallen daher allfällige Einträge von Uran aus dem Klärschlamm. Es gibt aber Bemühungen, wegen der drohenden Verknappung von Phosphor, den im Klärschlamm enthaltenen Phosphor rückzugewinnen (Ludwig 2009). Es gibt aber noch keine Messungen des Urangehaltes in diesem Recycling Phosphor.

### Einsatz von Phosphatdüngern in der Schweiz

Der Phosphatbedarf der verschiedenen Kulturpflanzen ist sehr unterschiedlich. Diese grossen Unterschiede wurden bis etwa 1990 kaum berücksichtigt. Es herrschte die Meinung vor, dass kaum zu viel ausgebracht werden könne. Zunehmender Preisdruck und insbesondere die Auflagen für die Ausrichtung von Flächenbeiträgen (Integrierte Produktion) haben zu einem Umdenken geführt. In den letzten Jahren haben zusätzlich die strengen Auflagen für Bio-Labels zu einer weiteren Senkung des Mineraldüngerverbrauchs geführt.

Wurden 1980 noch 20'500 Tonnen Phosphor in der Form von Mineraldüngern importiert waren es 2002 nur noch 6'000 Tonnen (Spiess 2005). Bei einer offenen Ackerfläche von 270'000 ha in der Schweiz 2010 (Erdin 2010) entspricht das etwa 22 kg P/ha und Jahr. Diese Menge wird auch von Dienemann & Utermann 2012 für Deutschland angenommen. In den letzten Jahren ist der Mineraldüngerverbrauch in der Schweiz noch einmal zurückgegangen und liegt für 2012 bei rund 4'500 t P (BLW, 2013).

Die Düngungsnormen der Agroscope (GRUDAF = Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau) sind je nach Kultur unterschiedlich. Die Bandbreite geht von 10 kg P/ha für Zwischenfrüchte bis zu 52 kg P/ha für Futterrüben und liegt bei Getreide bei ungefähr 25 kg P/ha. Nach Flisch (2013) liegt der aktuelle durchschnittliche Phosphoreintrag in der Schweiz bei ca. 30 kg P/ha und Jahr, wobei der Anteil der Mineraldünger aber nur noch ca. 5 kg/ha beträgt. Dieser Anteil war früher 3 bis 4 mal höher.

Geschätzt liegt daher der jährliche Phosphoreintrag über Mineraldünger in der Schweiz bei  $(15 \pm 5)$  kg P/ha. Das entspricht  $(35 \pm 12)$  kg  $P_2O_5$ /ha und Jahr. Dieser Wert ist wahrscheinlich höher als der aktuelle Eintrag, berücksichtigt aber, dass frühere Einträge möglicherweise durch die Bodenbearbeitung remobilisiert werden können. Er berücksichtigt indirekt zusätzlich, dass Uran auch aus organischen Düngern stammen kann.

## Geochemie des Urans

Uran kommt hauptsächlich in zwei Oxidationsstufen vor, U(IV) und U(VI). U(IV) bildet nur sehr schlecht wasserlösliche Verbindungen und dominiert unter anoxischen Bedingungen. Bei Anwesenheit von Sauerstoff liegt das Uran vorwiegend als  $UO_2^{2+}$  (Uranyl) vor. Uranyl bildet mit Karbonat, Phosphat, Nitrat und Sulfat leicht lösliche Komplexe. Von besonderer Bedeutung für den Transport im Wasser sind ungeladene oder negativ geladene Uranyl-Karbonat Komplexe, da sie im Boden kaum adsorbiert werden. Details zur anorganischen Geochemie des Urans finden sich bei Gascoyne 1992 und zahlreiche Referenzen dazu bei Gainon 2006.

In biologisch aktiver Umgebung, wie das in landwirtschaftlich genutzten Böden der Fall ist, genügt es aber nicht, nur anorganische Prozesse zu betrachten. Allein schon die Huminsäuren sind sehr effiziente Komplexbildner und können so die Löslichkeit von Metallen erhöhen. In den letzten Jahren konnte auch gezeigt werden, dass Bakterien Uran sowohl binden als auch mobilisieren können (Wang et al. 2013). Insbesondere bei der Mobilisierung unter anoxischen Bedingungen spielt dabei die Anwesenheit von Phosphor eine entscheidende Rolle. Gebunden an extrazelluläres Material kann Uran auch in kolloidaler Form und damit weitgehend unbeeinflusst vom Redoxzustand transportiert werden.

Zusammengefasst heisst das, dass die Anwesenheit von Sauerstoff,  $CO_2$ , Phosphat, Nitrat und eine biologisch aktive Umgebung die Löslichkeit von Uran deutlich erhöhen können. Das sind Bedingungen, die typisch für einen landwirtschaftlich genutzten

Boden sind. Dienemann & Utermann 2012 weisen daher darauf hin, dass allein schon die Tatsache, dass ein Boden landwirtschaftlich genutzt wird zu erhöhten Urankonzentrationen im Sickerwasser führen kann.

## Abschätzung des Eintrags von Uran über Mineraldünger ins Grundwasser in der Schweiz

Die für die Abschätzung benutzten und in den vorherigen Kapiteln begründeten Wertebereiche für die Schweiz sind:

- Infiltration (IN):  $600 \pm 200$  mm pro Jahr =  $(6 \pm 2) \times 10^6$  l pro ha und Jahr.
- Phosphoreintrag über Mineraldünger (PE):  $35 \pm 12$  kg  $P_2O_5$  pro ha und Jahr
- Urankonzentration der Mineraldünger (CU):  $250 \pm 100$  mg U/kg  $P_2O_5$

Unter der Annahme, dass eine vollständige Auslaugung erfolgt, beträgt damit die U-Konzentration im Sickerwasser =  $(PE \times CU) / IN = 1.5 \mu\text{g U/l}$ .

Die Summe der relativen Unsicherheiten beträgt ca. 100%. Damit erscheint folgendes Schlussresultat für den geschätzten Beitrag der Mineraldüngung zum Urangehalt des Grundwassers in der Schweiz als gerechtfertigt:  $< 0.1$  bis  $3 \mu\text{g U/l}$ .

In diesem Bereich liegen, je nach Region, 50% bis über 90% der Messwerte in Schweizer Grundwässern. Das heisst nun aber nicht, dass die Urankonzentrationen anthropogenen Ursprungs sind. Das heisst nur, dass geogener und anthropogener Beitrag in der gleichen Grössenordnung liegen könnten.

Diese Abschätzung beruht auf durchschnittlichen Wertebereichen für die verwendeten Parameter und dürfte 80% der Fälle abdecken. Gleichzeitig ist klar, dass genaue Untersuchungen von Einzelfällen bei Verdacht auf erhöhten Eintrag von Uran aus Düngern durch diese Abschätzung nicht ersetzen werden. Übermässiger Einsatz von stark uranhaltigen Düngern, ungünstige Bodenverhältnisse oder plötzliches Auswaschen von über lange Zeit akkumuliertem Uran aus Dünger sind durchaus Faktoren, die lokal zu einer stärkeren Belastung von Trinkwasser führen könnten. Aufgrund der Komplexität der Vorgänge bei der Auswaschung von Uran aus dem Boden besteht zu diesem Thema noch grosser Forschungsbedarf.



## Literatur

- BAFU (2009), Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2004–2006. Umwelt-Zustand Nr. 0903. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2013), Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Universität Bern.
- BAFU (2014), Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA), Zustand und Entwicklung 2007–2012.
- BLW (2013), Agrarbericht 2013, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- BUWAL (1991), Schwermetalle und Fluor in Mineräldüngern Schriftenreihe Umwelt Nr. 162, Boden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, November 1991
- Deflorin, O. , Surbeck, H. (2003), Natürliche Radionuklide im Trinkwasser am Beispiel des Kantons Graubünden. GWA (Gas, Wasser, Abwasser), 1, 2003, 40 – 45.
- Deflorin, O. (2004) Natürliche Radionuklide in Grundwässern des Kantons Graubünden, Dissertation, Universität Neuenburg, Schweiz
- Deutscher Bundestag, (2009) Bundestagsdrucksache 16/11539, Deutscher Bundestag, 2009
- Dienemann, C., Utermann, J. (2012), Uran in Boden und Wasser, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Erdin, E. (2010), Die Ackerflächen der Schweiz, LMZ-Aktuell, LMZ 8/2010, Schweizer Bauernverband
- Estier, S., Gurtner, A. (2013), Mesures in situ et exposition externe, Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2012, 87, Bundesamt für Gesundheit, CH-3003 Bern
- Flisch, R. (2013), Private Mitteilung, Agroscope
- Gainon, F. ( 2008), Les isotopes radioactifs de la série de l'uranium-238 (222Rn, 226Ra, 234U et 238U) dans les eaux thermales de Suisse. Diss. Univ. Neuchatel.
- Gascoyne, M. (1992): Geochemistry of the actinides and their daughter, in: Uranium Series Disequilibrium. M. Ivanovitch & R. S. Harmon. Oxford, Clarendon Press. Second edition.
- Gesundheitstipp (2006), Uran im Trinkwasser: Die Ortschaften.
- Gilliéron, F. (1988): Zur Geologie der Uranmineralisationen in den Schweizer Alpen. Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 77.
- Granges, M. (2009), Systeme hydrothermal de Saxon : hydrochimie, origine et radioactivite de l'eau thermale, these master en hydrogeologie, Univ. de Neuchatel
- Von Gunten, U. (2000), Grundwasser: Vom Trinkwasser-Reservoir zum Gewässer, EAWAG news 49d
- Haldimann, M. (2012), Vorkommen von Uran in Schweizer Trinkwasser, BAG-Bulletin 12/12, Bundesamt für Gesundheit CH-3003 Bern
- Hinrichsen, S. (2013), Untersuchungen zur Herkunft von Uran im Grundwasser von Baden-Württemberg, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Abteilung für Hydrogeologie
- IAEA (2003) Environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation, technical reports series No. 419, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003
- Kiefer, J. , Fischer, T. (2013) Grundwasserdatenbank, Wasserversorgung, Sonderbeitrag zum, Jahresbericht 2012. Erweiterte Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg 2012, TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe
- KL BE, 2014, Jahresbericht 2013, Kantonales Laboratorium Bern
- Knolle, F. (2009), Ein Beitrag zu Vorkommen und Herkunft von Uran in deutschen Mineral- und Leitungswässern, Dissertation, Fakultät für Lebenswissenschaften, Technische Universität Braunschweig
- Kratz, S.; Schnug, E. (2006): Rock phosphates and P fertilizers as sources of U contamination in agricultural soils in: Merkel, B.; Hasche-Berger, A. (Hrsg.): Uranium in the Environment – Mining Impact and Consequences, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 57- 67
- Ludwig, H. (2009): Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwassereinigung. Eine Bestandsaufnahme. Umwelt-Wissen Nr. 0929. Bundesamt für Umwelt, Bern. 196 S.
- Profitt, W. (1995) Phosphate mining legacy feared Sarasota Herald Tribune | June 14th , 1995
- Regenspurg, et al. (2010) Speciation of naturally-accumulated uranium in an organic-rich soil of an alpine region (Switzerland) Geochimica et Cosmochimica Acta, 74, 2082–2098.
- Schmidt, F. (2013), Schwermetalle im Lyssbach – Herkunft und Bedeutung, Bachelorarbeit, ETH Zürich, Dept. Erdwissenschaften
- Schnug, E. (2012), Uran in Phosphor-Düngemitteln und dessen Verbleib in der Umwelt, in : Strahlentelex 612-613, S. 3-10
- Schott, B. & Wiegand, J. (2003), Processes of radionuclide enrichment in sediments and ground waters of Mont Vully (Canton Fribourg, Switzerland, Eclogae geol. Helv. 96 (2003) 99-107
- Spiess, E. (2005), Die Phosphorbilanz der Schweiz, Schriftenreihe der FAL (57), 2005, 82-85
- Stalder E, Blanc A, Haldimann M, Dudler V. (2012), Occurrence of uranium in Swiss drinking water. Chemosphere 2012; 86: 672–9.
- Steinmann, P., Estier, S. (2013), Radioaktivität

in Lebensmitteln, in Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2012, 87, Bundesamt für Gesundheit, CH-3003 Bern

- Surbeck, H., Deflorin, O. und Kloos, O. (2006), Spatial and temporal variations in the uranium series background in Alpine groundwaters, In : Uranium in the Environment, Mining Impact and Consequences, B.J.Merkel & A.Hasche-Berger (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006, p.831-839.
- Surbeck, H. (2007), Uran im Trinkwasser, in: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2006, 58-61, Bundesamt für Gesundheit, CH-3003 Bern
- Süß, E. (2005), Eintrag von Uran über Phosphat- und KPN-Dünger: Gefahr für das Grundwasser? Referat zum Seminar Grundwasserschutz im SS 2005, TU Bergakademie Freiberg.
- Umweltbundesamt (2012), Positionspapier der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt, Uran Einträge in landwirtschaftliche Böden durch Düngemittel
- Wang Y., et al (2013), Mobile uranium(IV)-bearing colloids in a mining-impacted wetland, accepted in: Nature Communications

**Dank** für Informationen, Anregungen und kritische Durchsicht des Manuskripts gilt Markus Flisch, Moritz Bigalke, Stephanie Zimmermann und Alexandra Gisler. Überarbeitung der ursprünglichen Version: Philipp Steinmann.

## **Impressum**

@ Bundesamt für Gesundheit (BAG)  
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit  
Layout: André Gurtner, URA  
Publikationszeitpunkt: Juli 2014

Weitere Informationen und Bezugsquelle:  
BAG, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Abteilung Strahlenschutz,  
Umweltradioaktivität, 3003 Bern

Telefon +41 (0)58 462 96 14, Telefax +41 (0)58 462 83 83  
E-Mail: [str@bag.admin.ch](mailto:str@bag.admin.ch), [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch), [www.str-rad.ch](http://www.str-rad.ch)

## **Impressum**

@ Office fédéral de la santé publique (OFSP)  
Editeur: Office fédéral de la santé publique  
Layout: André Gurtner, URA  
Date de publication: Juillet 2014

Informations supplémentaires et diffusion:  
OFSP, Unité de Direction Protection des consommateurs,  
Division Radioprotection, Radioactivité de l'environnement, 3003 Berne

Téléphone +41 (0)58 462 96 14, Téléfax +41 (0)58 462 83 83  
Courriel: [str@bag.admin.ch](mailto:str@bag.admin.ch), [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch), [www.str-rad.ch](http://www.str-rad.ch)