

Schweitenkirchen, September 2015

Uran

Uran kommt natürlich in vielen Gesteinen (vor allem in der kontinentalen Kruste) und deshalb auch im Grund- und Oberflächenwasser vor. In Deutschland wurde für Uran in Trinkwasser ein Grenzwert von 10 µg/l festgelegt. Die Urankonzentration im Wasser ist abhängig von den Gesteinen, mit welchen das Wasser in Kontakt trat. Da die Lösungsbedingungen von Uran relativ komplex sind, bedeutet ein hoher Urangehalt im Gestein aber nicht zwingend, dass auch der Urangehalt im Wasser hoch ist. Die Mobilität von Uran wird bestimmt durch das Oxidationspotential und die Karbonatalkalität des Fluids, denn CO_3^{2-} formt Komplexe mit dem gut löslichen Uranyl (UO_2^{2+}). Die durchschnittlich zu erwartenden Urangehalte von einigen wichtigen Gesteinsformationen sowie von üblichen Gewässertypen sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: durchschnittlicher Urangehalt von einer Auswahl häufig vorkommender Gesteine und Gewässern.

Gesteinstyp	Urangehalt (µg/g)
Granit	2,2 - 6,1
Kalkstein	ca. 2
Sand- und Tonminerale	0,7 – 4
Kohle	10 – 6000
Gewässertyp	Urangehalt (µg/l)
Grundwasser	0,01-10
große Flüsse	0,8 – 10
Ozean	3,3

Anthropogen wird Uran hauptsächlich durch uranhaltige Phosphatdünger, Verbrennung von Kohle und Erdöl, Sickerwässer aus Bergbaugruben, Abfallhalden und Absetzanlagen in die Umwelt eingetragen.

Die drei wichtigsten in der Natur vorkommenden Isotope von Uran sind:

Uran-234 (92 Protonen, 142 Neutronen)	Halbwertszeit: $2,455 \times 10^5$ y
Uran-235 (92 Protonen, 143 Neutronen)	Halbwertszeit: $7,038 \times 10^8$ y
Uran-238 (92 Protonen, 146 Neutronen)	Halbwertszeit: $4,468 \times 10^9$ y

Uran-238 macht unter allen Uranisotopen einen Anteil von rund 99,3% aus und ist somit das weitaus am häufigsten vorkommende Uranisotop. Während das Uran-234 in der Natur nur in geringen Spuren vorkommt, macht Uran-235 etwa 0,7% aller Uranisotope aus. Letzteres wird aufgrund seiner viel leichteren Spaltbarkeit als Uran-238 für den Betrieb der heutigen Kernkraftwerke genutzt.

Uran-238 bildet eine sog. Zerfallskette. Diese Kette besteht aus dem Mutterisotop Uran-238, welches über 13 Tochterisotope zu dem schließlich stabilen Tochterisotop Blei-206 zerfällt. Die Zerfallskette ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Zerfallreihen von U-235 und Th232 werden hier nicht dargestellt, sollten bei der Interpretation der Daten aber ebenfalls berücksichtigt werden.

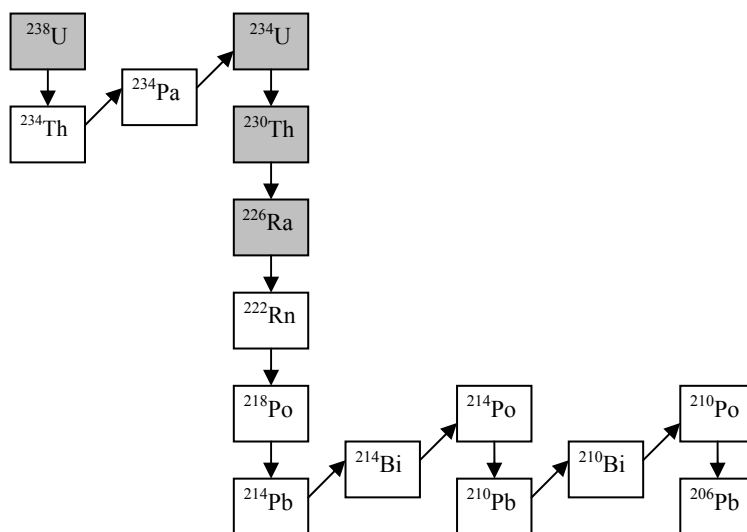


Abbildung 1: Zerfallsreihe von Uran-238. Ein Pfeil nach unten steht für einen α -Zerfall. Die Pfeile von links unten nach rechts oben kennzeichnen einen β -Zerfall. Die nicht eingefärbten Isotope sind kurzlebig und zerfallen also relativ schnell (Halbwertszeit von einigen Sekunden bis zu wenigen Jahren).

Zur Altersbestimmung in der Hydrogeologie wird insbesondere das Aktivitätsverhältnis von Uran-234 zu Uran-238 betrachtet. Beide Isotope kommen in der Zerfallsreihe von Uran-238 vor (s. Abbildung 1). Sie ermöglichen die Altersdatierung von Grundwässern bis zu mehreren Zehntausendjahren, wobei die Interpretation eine sorgfältige Analyse durch Experten und umfassende Kenntnis der Randbedingungen voraussetzt.

Das Aktivitätsverhältnis von Isotopen innerhalb einer Zerfallsreihe über eine lange Zeitspanne nähert sich immer 1 (sekundäres Gleichgewicht). Dies gilt allerdings nur in einem geschlossenen System und bedeutet keinesfalls, dass auch das Konzentrationsverhältnis der Isotope 1 ist. Die unterschiedlichen Löslichkeiten der Tochterisotope in Abhängigkeit von den vorherrschenden Redoxbedingungen führen jedoch zu Ungleichgewichten und Sortierungsprozessen der Elemente.

Diese Sortierungsprozesse der Elemente sind weitaus wichtiger als die Isotopenfraktionierungen. Aufgrund der unsicheren Determination der Randbedingungen, sind die Interpretationen von Isotopenanalysen des Urans bezüglich des Grundwasseralters nicht trivial und in jedem Fall mit Ungenauigkeiten behaftet.

Sowohl die Bestimmung der Gesamturankonzentration in einer Wasserprobe als auch die Isotopenanalysen für Uran erfolgen mittels ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometer).