

Veröffentlichung in

**Grundwasser**, Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (FH-DGG)

Hydrogeologische Notizen

Berichte und Informationen

Fachgespräch der Staatlichen Geologischen Dienste zum Thema „Uran im Grundwasser“

Uran im Grundwasser, das in Konzentrationen zum Teil weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung vorkommt, und Berichte über den Eintrag von Uran durch Phosphatdüngung haben in zahlreichen Bundesländern zu umfangreichen Untersuchungen durch die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) geführt.

Um die dabei gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse auszutauschen, fand am 23.10.2014 ein Fachgespräch der SGD zum Thema „Uran im Grundwasser“ beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover statt. Die Initiative zu dem Fachgespräch ging von der Ad-hoc-AG Hydrogeologie der SGD aus. Organisiert wurde das Fachgespräch durch Jörg Elbracht (LBEG, Niedersachsen), Bernd Leßmann (HLUG, Hessen) und Beate Schwerdtfeger (LUNG, Mecklenburg-Vorpommern).

Folgende Personen nahmen teil:

Thomas Bach, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, Sachsen-Anhalt  
Dietmar Brose, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe, Brandenburg  
Axel Bergmann, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser, Mühlheim an der Ruhr  
Dörte Budziak, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen  
Jörg Elbracht, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen  
Dieter Feldhaus, Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt  
Jörn Geletneky, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie  
Anette Kolberg, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin  
Christine Kübeck, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser, Mühlheim an der Ruhr  
Bernd Leßmann, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Broder Nommensen, Geologischer Landesdienst Schleswig-Holstein  
Annett Peters, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie  
Harald Rückert, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Thomas R. Rude, RWTH Aachen, Hydrogeologie  
Hansjörg Schuster, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen  
Beate Schwerdtfeger, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern  
Kathrin Stein, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern  
Timo Spörlein, Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Christian Trapp, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg

Das Thema „Uran im Grundwasser“ wurde insbesondere aufgrund von Vorträgen zu großflächigen Auswertungen von Grundwasserbeschaffenhkeitsdaten der Länder Bayern (Thomas R. Rude), Hessen (Harald Rückert), Niedersachsen (Dörte Budziak) und Mecklenburg-Vorpommern (Beate Schwerdtfeger, Kathrin Stein) erörtert. Ergänzt wurde es durch Untersuchungen zum Wasserwerk Schönfeld/Uckermark (Dietmar Brose) und durch die Vorstellung des F & E-Vorhabens des IWW zur möglichen „Gefährdung der öffentlichen Trinkwasserversorgung durch Uran“.

## A. Bisherige Untersuchungen

Im Folgenden werden die Untersuchungen und Ergebnisse aus den Ländern kurz vorgestellt:

### Bayern (Thomas R. Rude, Timo Spörlein)

Nach Auswertung von rd. 20.000 bayernweiten Analysenwerten aus Boden-, Gesteins- und Wasserproben und einer verdichtenden Auswertung weiterer 7.300 Grundwasseranalysen zu Südbayern zeigt sich das Auftreten von Uran in Grundwässern Südbayerns verknüpft mit glaziofluviatilen Schottern. Die mittlere Urankonzentration von 3  $\mu\text{g/l}$  in den Grundwässern weist für diese hydrogeologische Einheit aus, dass Urankonzentrationen über 10  $\mu\text{g/l}$  nur lokale Besonderheiten sind. Diese rd. 80 Proben sind Belastungsschwerpunkten im Lechtal, im Donautal mit Donauried und dem Isartal zuzuordnen.

Uran ist im oberbayerischen Molassebecken primär an kohlige Einschaltungen in der Oberen Süßwassermolasse mit Konzentrationen bis 50 mg/kg gebunden. Dieses Uran wurde durch natürliche Prozesse in Niedermoorböden z. B. des Lechtales oder des Donaumooses umgelagert. Durch Torfdegradation, ggf. verstärkt durch Dränung für die landwirtschaftliche Nutzung, erfolgt eine erneute Uranfreisetzung, die durch Redoxbedingungen im Grundwasser, die im Mangan-Nitrat-Reduktionsfenster liegen, weiter begünstigt wird. Abstromig von Niedermoor- und Anmoorgleygebieten sind Fahnen erhöhter Urankonzentrationen im Grundwasser festzustellen, die u. a. bei noch tieferen Redoxwerten im  $\text{Fe/SO}_4$ -Bereich durch Fällung von Uraninit begrenzt werden. Diese komplexen Vorgänge machen die auf engstem Raum stark variierenden Urankonzentrationen in Rohwässern zwischen „nicht nachweisbar“ und rd. 100  $\mu\text{g/l}$  verständlich. Berechnungen und weitere Lysimeterversuche weisen darauf hin, dass die Ableitung einer möglichen Beziehung von Phosphatdüngern und Uran im Grundwasser aufgrund der Datenstruktur kaum gelingen kann.

### Brandenburg (Dietmar Brose)

Im Grundwasser, das durch die Brunnen des Wasserwerks Schönfeld in der Uckermark gefördert wurde, wurden erhöhte Urankonzentrationen (bis max. 27  $\mu\text{g/l}$ ) festgestellt. Das Einzugsgebiet der Brunnen wird fast ausschließlich landwirtschaftlich genutzt. Mittels Isotopenuntersuchungen (Tritium/Helium,  $^{14}\text{C}$ ,  $^4\text{He}$ ) wurde die Verweilzeit des geförderten Grundwassers im Untergrund auf rd. 30 Jahre bestimmt. Das untersuchte Grundwasser unterliegt der aktuellen Grundwasserneubildung, ein Zustrom älterer Anteile aus tieferen Grundwasserleitern konnte ausgeschlossen werden. Die Urankonzentrationen korrelieren mit erhöhten Nitratgehalten, aber auch mit über dem geogenen Background liegenden und für anthropogene Stoffeinträge charakteristischen Sulfat- und Chloridgehalten. Die identifizierten Speisungsanteile gehen mit Nährstoffeinträgen in den genutzten Grundwasserleiter, die durch die jahrzehntelange landwirtschaftliche Nutzung im Betrachtungsraum bedingt sind, einher. Die Herkunft durch die Nutzung von möglicherweise uranbelastetem Phosphatdünger ist aber eher unwahrscheinlich, da auf den Flächen zu DDR-Zeiten Dünger von der Halbinsel Kola verwendet wurde, welcher über vergleichsweise geringe Urangelhalte verfügte.

## Hessen (Harald Rückert)

In Nordhessen können erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser mit uranreichen Tonlagen im Mittleren Buntsandstein korreliert werden. Die Ursache ist offensichtlich ein erhöhter Urangehalt von Ton- und Tonsteinhorizonten der Oberen Hardeggen-Folge.

In der südhessischen Untermainebene treten hohe Urankonzentrationen im Grundwasser im Bereich der Sand- und Tonsteine des Rotliegend auf. Im Hessischen Ried kommen hohe Urankonzentrationen in oberflächennahen Grundwässern vor, die mit Mooren und Sedimenten mit einem hohen Organikanteil im Bereich des Paläoflusslaufs des Neckars in Verbindung gebracht werden können. Als Liefergebiet für das Uran kommt der kristalline Odenwald in Frage.

Weiterhin wurde untersucht, ob als Ursache für die erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser uranhaltige Phosphatdüngemittel in Betracht kommen. Dazu wurden an ausgewählten Messstellen Uranisotopenaktivitäten und das Isotopenaktivitätsverhältnis  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  im Grundwasser bestimmt. Mit Hilfe des Isotopenaktivitätsverhältnisses wurde versucht, einen Einfluss von uranhaltigen Phosphatdüngemitteln auf die Urankonzentrationen im Grundwasser nachzuweisen. Die Isotopenuntersuchungen zeigten allerdings keinen signifikanten Zusammenhang. Jedoch muss konstatiert werden, dass das Isotopenaktivitätsverhältnis  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  aufgrund der Analysenunsicherheit und der Fehlerfortpflanzung durch die Quotientenbildung wenig geeignet erscheint, um eine Unterscheidung zwischen Uran aus Phosphatdüngern und geogen bedingten Konzentrationen im Grundwasser festzustellen.

## Mecklenburg-Vorpommern (Kathrin Stein, Gerd Böttcher, Beate Schwerdtfeger)

In Porengrundwasserleitern stehen unter natürlichen Bedingungen die Einträge von Oxidationsmitteln (gelöster Sauerstoff) und Reduktionsmitteln (gelöster organischer Kohlenstoff) in das Grundwasser im Gleichgewicht. Durch den Nitratreintrag wird dem Grundwasserleiter zusätzlich ein starkes Oxidationsmittel hinzugefügt. Grundwasserleiter enthalten ein Feststoffdepot mit Nitratabbauvermögen: Feststoffphasen mit Fe(II) und S(-I/-II) (Pyrit) und feststoffgebundene abbaubare  $C_{\text{org}}$ -Verbindungen. Durch den Nitratreintrag werden im Untergrund chemische Reaktionen ausgelöst, die unter Bildung von Sulfat zum Nitratabbau führen. Auch das geogen vorhandene Uran wird durch das Oxidationsmittel Nitrat gelöst, was zu erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser führt. Gelangt das Uran im natürlichen Grundwasserabstrom wieder unter reduzierende Bedingungen, fällt es als Feststoffverbindung aus. Dringt die Nitratfront weiter vor, wird das feste Uran wieder gelöst. Dieser sich ständig wiederholende Vorgang der Mobilisation/Demobilisation/Remobilisation wird „Roll-Front“ genannt und führt langfristig zu einer steigenden Konzentration und Tiefenverlagerung des Urans. Die zunächst nur modellierten Prozesse konnten in Grundwassersondierungen nachgewiesen werden.

Aufgrund der verschiedenen Grundwasserbefunde mit erhöhten Urankonzentrationen wurden in interdisziplinär besetzten Arbeitsgruppen verschiedene Arbeiten zur Ursachenfindung der Urankonzentrationen in Grundwässern durchgeführt. Grundsätzlich wurden 2 Ansätze näher untersucht:

1. Anthropogener Eintrag (z. B. durch Phosphatdünger)
2. Natürliche Ursachen (Quartäre Sedimente als potentielle Quelle)

Verschiedene Untersuchungen an Boden- und/oder Sedimentproben wurden zur Klärung der Ursachen durchgeführt. Bisher konnten keine Indizien gefunden werden, die die erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser durch Düngung mit uranhaltigem Phosphatdünger erklären, so dass derzeit die Phosphordüngung als einzige Quelle für das Uran nicht plausibel ist.

In weiteren Untersuchungen wurden Ergebnisse von Porenwasseruntersuchungen mit Ergebnissen der Untersuchungen von Bodenproben einer Kernbohrung jeweils in räumlicher Nähe zu einem Grundwasser aus einer belasteten Messstelle durchgeführt. Die Auswertungen verschiedener Untersuchungen auch an einem Standort mit komplexer Lithologie deuten auf einen Anreicherungs-horizont von Uran in der Bohrung hin, der wahrscheinlich im Zusammenhang mit erhöhten Urankonzentrationen im Porenwasser und damit im Grundwasser steht. Verschiedene Untersuchungen an den Sedimentproben der Kernbohrung weisen dabei unabhängig voneinander auf diese Anomalien in den Urankonzentrationen hin und stützen die Theorie der tiefenspezifischen Anreicherung durch Veränderung der Redoxverhältnisse im Boden bedingt durch den Eintrag oxidierender Substanzen, im wesentlichen Nitrat (Hypothese der „Roll-Front“).

Beim aktuellen Stand der Erkenntnisse in Mecklenburg-Vorpommern ist der direkte Eintrag von Uran aus Phosphordüngemitteln nicht als Hauptursache der Konzentrationserhöhung an Uran in Grundwässern zu sehen. Alle Ergebnisse deuten auf die Mobilisierung von vor allem geogenem Uran durch den Eintrag oxidierender Verbindungen, in landwirtschaftlich geprägten Gebieten Nitrat, mit Anreicherung des geogenen Urans im Grundwasserabstrom durch Demobilisierung des zuvor mobilisierten Urans bedingt durch das dort vorherrschende geochemische Milieu.

### **Niedersachsen** (Dörte Budziak)

Statistische Auswertungen bezogen auf die hydrogeologischen Räume in Niedersachsen bestätigen, dass i. Allg. Urankonzentrationen im Grundwasser des niedersächsischen Festgesteins höher sind als im Lockergestein. Ursache sind geogene Begebenheiten, z. B. bestimmte, mit Schwermetallen angereicherte Schichten des Mittleren Buntsandsteins. Im niedersächsischen Lockergesteinsgebiet konnten vereinzelte Grundwässer mit erhöhten Uran-Konzentrationen analysiert werden. Die erhöhten Konzentrationen sind durch Wiederholungsmessungen bestätigt worden. Auch wenn die Messwerte für eine Trendbetrachtung nicht ausreichen, zeigt sich, dass sich die Urankonzentrationen im Grundwasser aus an einer einzelnen Messstelle auf der Cloppenburger Geest von 34 auf 83 µg/l in 8 Jahren mehr als verdoppelt haben. Grundwässer aus umliegenden Messstellen blieben jedoch unauffällig. Als Ursache für die vereinzelt im niedersächsischen Lockergesteinsgebiet auftretenden erhöhten Urankonzentrationen konnten aufsteigendes Tiefenwasser und Anreicherungen im organischen Substrat ausgeschlossen werden.

Hinweise auf einen signifikanten Einfluss von mineralischem Phosphatdünger auf die Urankonzentration im Grundwasser wurden nicht gefunden.

### **Sachsen-Anhalt** (Thomas Bach)

Erhöhte, geogenbedingte Urankonzentrationen in den Grundwässern Sachsens-Anhalts wurden am Nordharzrand, im Saale-Unstrut-Gebiet gefunden. Das Gebiet ist auch für erhöhte Urankonzentrationen in Oberflächengewässern bekannt. Weiterhin kommen erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser des Mansfelder-Gebiets (ehemaliger Kupferschiefer-Altbergbau) und im Bereich von Saale und Mulde (Beeinflussung durch ehemaligen Uranerzbergbau, aber auch regionale Hotspots) vor. Die Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser scheint als eine Ursache in Frage zu kommen.

Weitere erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser liegen in landwirtschaftlich geprägten Gebieten vor, bei denen es sich überwiegend um Schwarzerdegebiete handelt. Für diese Gebiete werden ähnlich Erklärungsansätze wie in Mecklenburg-Vorpommern diskutiert.

## A. Offene Fragen

Durch die bisherigen Untersuchungen in den Bundesländern gab es zwar zahlreiche Hinweise auf Prozesse, die zu gesundheitlich relevanten Urankonzentrationen im Grundwasser führen, es blieben aber auch zahlreiche offene Fragen:

Hydrogeologie:

- Lässt sich die Messtechnik verbessern (andere Bemessung der Filter, Entwicklung Sondentechnik)?
- Ob und in welchem Umfang Uran an das Vorkommen reduktiver Kapazität gebunden im Sediment vorliegt?
- Wie lange reicht das Reduktionspotential der Sedimente?
- Kommt es entlang der Redoxfront zu einer Freisetzung von Uran und wie hoch sind derzeit die Urankonzentrationen im Grundwasser?
- Was passiert nach Durchlaufen der Roll-Front und deren Redoxreaktionen?
- Sind Ortsverlagerungen der Roll-Front mit veränderten Wasserständen zu erwarten?
- Wie schnell ist mit Verlagerungen in die Tiefe zu rechnen?
- Wie lange wirken Nitrat-Einträge der Vergangenheit nach?
- Kann sich bei verringerter Nitrat-Zufuhr die Mächtigkeit der oxidierten Zone wieder verringern?
- Welche anderen stofflichen Veränderungen werden durch den Nitrat-Eintrag erzeugt?
- Wie steuern die lithologischen Eigenschaften die Reaktionskinetik und die Ausbildung von Anomalien?
- Alle bisher durchgeführten Untersuchungen weisen darauf hin, dass düngerbürtiges Uran keinen relevanten Anteil an den im Grundwasser gemessenen Urankonzentrationen hat. Es hat sich aber auch gezeigt, dass dies analytisch kaum zu quantifizieren ist. Ggf. kann im Rahmen von Modellierungen abgeschätzt werden, welchen Anteil düngerbürtiges Uran hat.

Wasserwirtschaft:

- Welche Auswirkungen ergeben sich für die Wasserwirtschaft und den Grundwasserschutz auch hinsichtlich eines anhaltenden Eintrags von Nitrat?
- Durch welche Maßnahmen und zu welchen Kosten lassen sich die Urankonzentrationen im Grundwasser senken?
- Gibt es marktreife Anlagen, die auch bei der vorherrschenden Beschaffenheit der Wässer das Uran sicher eliminieren? Wenn nicht, können diese entwickelt werden?
- Welche Entsorgungsmöglichkeiten gibt es für das anfallende Uran?
- Treten die Prozesse verbreitet oder nur vereinzelt auf? Welche Konsequenzen ergeben sich für die Wasserwerke?

Weiterführende Untersuchungen plant derzeit das IWW Zentrum Wasser (Christine Kübeck) mit einem Projekt zur Bewertung aktueller Uranbelastungen und zukünftiger Entwicklungstrends. Dazu sollen für einige Pilotgebiete in wasserwirtschaftlich genutzten Porengrundwasserleitern beispielhaft Ursachen für hohe Urankonzentrationen ermittelt und wasserwirtschaftlich-technische Lösungskonzepte entwickelt werden.

Dr. Jörg Elbracht (LBEG, Hannover), Dr. Bernd Leßmann (HLUG, Wiesbaden), Dr. Beate Schwerdtfeger (LUNG, Güstrow)