




**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

**URAN IN
GRUNDWÄSSERN
ÖSTERREICHS.
BERICHT UND KARTE
1 : 500.000.**





Medieninhaber und Herausgeber:

BUNDESMINISTERIUM
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT
Stubenring 1, 1010 Wien

Inhalt: Umweltbundesamt, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Geologische Bundesanstalt, Joanneum Research, Universität Wien

Bildnachweis: Umweltbundesamt

Konzept und Gestaltung: F. Humer, E. Stadler

Autoren: U. Wemhöner, F. Humer (beide Umweltbundesamt); G. Schubert, R. Berka (beide Geologische Bundesanstalt); R. Philippitsch, Th. Hörhan (beide BMLFUW)

URAN IN GRUNDWÄSSERN ÖSTERREICHS.

BERICHT: INTERPRETATION DER GZÜV-DATEN 2013.

Besonderer Dank gilt folgendem Personenkreis für seine wertvollen Beiträge zum gegenständlichen Thema im Rahmen des Erfahrungsaustausches im Juni 2015:

- A. Baumgarten; Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES),
Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion,
- R. Berka und G. Schubert; Geologische Bundesanstalt, Abteilung Hydrogeologie und Geothermie,
- A. Leis; Joanneum Research, Forschungsgruppe Wasserressourcen und Umweltanalytik,
- S. Krämer und J. Wiederhold; Universität Wien, Department für Umweltgeowissenschaften.

INHALT

1	EINLEITUNG	6
1.1	GRENZWERT FÜR URAN IM TRINKWASSER.....	6
1.2	URAN IM GRUNDWASSER IN ÖSTERREICH	6
2	ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE.....	10
3	GRUNDLAGEN.....	11
3.1	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	11
3.2	MOBILITÄTSVERHALTEN	11
4	EINTRAGSPFADE	15
4.1	TIEFENGRUNDWASSER UND MINERALWASSER IM SEEWINKEL.....	15
4.2	GEOLOGISCHER UNTERGRUND	18
4.2.1	GRUNDWASSER	19
4.2.2	AERORADIOMETRIE.....	20
4.2.3	BACHSEDIMENTANALYSEN	22
4.2.4	GESTEINSANALYSEN.....	23
4.3	ÜBERLAGERUNG GEOGENER UND ANTHROPOGENER PROZESSE	24
4.4	PHOSPHATDÜNGER	24
4.4.1	AUSGANGSSITUATION	24
4.4.2	URAN IN DÜNGEMITTELN.....	25
4.4.3	PHOSPHOR-DÜNGUNGSVERSUCHE	25
4.4.4	PRAXISSTANDORTE: GEHALTE IN OBERBÖDEN LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTER FLÄCHEN.....	27
4.4.5	AUFNAHME VON URAN IN ERDELOSER KULTUR	28
4.4.6	SICKERWASSER AUSGEWÄHLTER LYSIMETERSTANDORTE.....	28
4.4.7	MIKROLYSIMETER-VERSUCH.....	30
4.4.8	SONDIERUNG SEEWINKEL	30
4.4.9	FAZIT.....	31
5	SCHWERPUNKTREGION SEEWINKEL.....	32
5.1	GEOLOGISCHER UNTERGRUND	32
5.1.1	PETROGRAPHIE.....	32
5.1.2	ROHSTOFFVORKOMMEN	33
5.1.3	RADIONUKLIDE IN BACHSEDIMENTEN	33
5.2	HYDROLOGIE	34
5.2.1	GRUNDWASSERFLURABSTAND.....	34
5.2.2	NIEDERSCHLAG UND EVAPORATION	35
5.2.3	GRUNDWASSERNEUBILDUNG	35
5.2.4	GRUNDWASSERBILANZ	35
5.2.5	GRUNDWASSERABFLUSSRICHTUNG	36
5.3	BODEN.....	37
5.4	LANDNUTZUNG.....	39
5.5	MESSSTELLENSPEZIFISCHE KENNWERTE.....	41
5.6	HYDROCHEMISCHE PARAMETER	42
5.6.1	MILIEUPARAMETER.....	43
5.6.2	SUMMENPARAMETER	45
5.6.3	HAUPTINHALTSSTOFFE.....	46
5.6.4	NEBENINHALTSSTOFFE UND SPURENSTOFFE.....	49
5.7	RADIONUKLIDE	50
5.8	TIEFENGRUNDWASSER	51
5.9	URANMESSUNGEN 2014.....	51

INHALT

6	DISKUSSION.....	53
7	FAZIT	55
8	EMPFEHLUNGEN	56
8.1	MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	56
8.2	UNTERSUCHUNGEN VON BODEN UND WASSER	56
8.3	TIEFENORIENTIERTE UNTERSUCHUNGEN	56
8.4	RECHERCHEN	57
8.5	MODELLIERUNG.....	57
8.6	ISOTOPIE.....	57
9	LITERATUR	58
10	KONTAKTINFORMATIONEN ZU DEN AUTORINNEN UND TEILNEHMERINNEN DES ERFAHRUNGSAUSTAUSCHES „URAN IM GRUNDWASSER“	61

1 EINLEITUNG

1.1 GRENZWERT FÜR URAN IM TRINKWASSER

DIE EINFÜHRUNG DES GRENZWERTES für Uran dient dem vorsorgenden Gesundheitsschutz. Seit dem 30. Oktober 2012 gilt gemäß der österreichischen Trinkwasserverordnung (BGBl. II 359/2012) für Uran im Trinkwasser ein Parameterwert von 15 µg/l. Die Festlegung dieses Parameterwertes beruht auf der chemischen Toxizität von Uran als Schwermetall. Erst bei deutlich höheren Konzentrationen tritt die Radiotoxizität, d.h. die Schädlichkeit infolge ionisierender Strahlung, in den Vordergrund.

Der Grenzwert basiert auf einer Stellungnahme der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), die sich bei ihrer Risikobewertung auf die 3. Auflage der Weltgesundheitsorganisation (WHO) Guidelines aus dem Jahr 2006 und dem dort genannten Richtwert („guideline value“) von 15 µg/l stützt, sowie auf das wissenschaftliche Gutachten des Gremiums für Kontaminanten in der Lebensmittelkette (CONTAM) der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) betreffend „Uran in Lebensmitteln“ aus dem Jahr 2009.

Der Grenzwert von 15 µg/l liegt weit unter dem von der WHO 2011 in den Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, veröffentlichten vorläufigen Richtwert („provisional guideline value“) von 30 µg/l.

1.2 URAN IM GRUNDWASSER IN ÖSTERREICH

KURZ NACH DER EINFÜHRUNG des Grenzwertes für Uran in der Trinkwasserverordnung wurden im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.) im Jahr 2013, basierend auf einem Sondermessprogramm, erstmalig österreichweit an allen GZÜV-Grundwassermessstellen (oberflächennahe Grundwasserkörper und Tiefengrundwasserkörper) die Urankonzentrationen erhoben. Generell wurden alle Messstellen einmal beprobt, in Oberösterreich und Tirol erfolgten 2013 flächendeckend zwei bis drei zusätzliche Untersuchungen je Messstelle. Ab 2015 werden an allen Grundwassermessstellen der GZÜV zumindest einmal jährlich periodische Untersuchungen auf Uran durchgeführt.

Nachfolgend werden die **Ergebnisse des GZÜV-Sondermessprogrammes 2013**, unterteilt in oberflächennahes Grundwasser und Tiefengrundwasser, zusammengefasst:

In oberflächennahen Grundwasserkörpern wurden insgesamt 1.940 Grundwassermessstellen auf Uran untersucht. Der Mittelwert (n=3.106) beträgt rund 2,0 µg U/l, der Median liegt mit ca. 0,9 µg U/l deutlich tiefer. Die maximal gemessene Urankonzentration von ca. 220 µg/l stellt eine Ausnahme dar. Tabelle 1 verdeutlicht, dass Konzentrationen über 15 µg/l (Parameterwert der TWV, siehe Kapitel 1.1) sehr selten auftreten.

Für die Klassifizierung der Urangelhalte auf Messstellenbasis wurde bei Vorliegen mehrerer Werte je Messstelle im Jahr 2013 der Jahresmittelwert herangezogen, ansonsten die Einzelwerte. An 2,1 % der Messstellen (entspricht 41 von 1.940 Messstellen) war kein Uran nachweisbar bzw. die sehr geringen Urankonzentrationen ließen keine Quantifizierung zu (analytische Bestimmungsgrenze: 0,02 µg/l). Der überwiegende Anteil der Messstellen (60,2 %) fällt in die Klasse 0,5 bis 5 µg/l. Bundesweit überschreiten insgesamt 33 Messstellen den Parameterwert der Trinkwasserverordnung von 15 µg/l, dies entspricht 1,7 % der Messstellen.

Tabelle 1: Mittlerer Urangehalt je Grundwassermessstelle (oberflächennahe Grundwasserkörper) nach Klassen (2013).

Klasse	Anzahl/Anteil der Messstellen-Mittelwerte in der jeweiligen Klasse	
	Anzahl	Anteil [%]
≤ 0,02 µg/l	41	2,1
> 0,02 bis ≤ 0,5 µg/l	581	30,0
> 0,5 bis ≤ 5 µg/l	1.168	60,2
> 5 bis ≤ 10 µg/l	94	4,8
> 10 bis ≤ 15 µg/l	23	1,2
> 15 µg/l	33	1,7
Summe	1.940	100

Insgesamt 26 Tiefengrundwassermessstellen wurden auf Uran untersucht. Der Mittelwert (n=46) beträgt rund 1,7 µg U/l, der Median liegt bei 0,5 µg U/l. Die maximal gemessene Urankonzentration beträgt rund 20 µg/l. Der Parameterwert der Trinkwasserverordnung wurde einmal überschritten. Für die Klassifizierung der Urangehalte auf Messstellenbasis wurde bei Vorliegen mehrerer Werte je Messstelle für das Jahr 2013 der Jahresmittelwert herangezogen, ansonsten die Einzelwerte. In Tabelle 2 ist ersichtlich, dass bei acht von 26 Tiefengrundwassermessstellen (entspricht rund 30,8 % der Messstellen) kein Uran nachweisbar war bzw. die sehr geringen Urankonzentrationen keine Quantifizierung zuließen. Die Hälfte der Messstellen fällt in die Klasse 0,02 bis 0,5 µg U/l.

Tabelle 2: Mittlerer Urangehalt je Grundwassermessstelle (Tiefengrundwasser) nach Klassen (2013).

Klasse	Anzahl/Anteil der Messstellen-Mittelwerte in der jeweiligen Klasse	
	Anzahl	Anteil [%]
≤ 0,02 µg/l	8	30,8
> 0,02 bis ≤ 0,5 µg/l	13	50,0
> 0,5 bis ≤ 5 µg/l	3	11,6
> 5 bis ≤ 10 µg/l	0	0,0
> 10 bis ≤ 15 µg/l	1	3,8
> 15 µg/l	1	3,8
Summe	26	100

Die Ergebnisse des GZÜV-Sondermessprogrammes zeigen, dass gemäß derzeitigem Kenntnisstand in Österreich keine nennenswerte großflächige Beeinträchtigung der Grundwasserqualität aufgrund von Uran vorliegt (siehe Abbildung 1). Überschreitungen des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung (15 µg/l) sind im Wesentlichen auf Einzelfälle beschränkt.

Der Wassergüte-Jahresbericht 2014 beinhaltet eine umfassende Darstellung der Ergebnisse des Uran-Sondermessprogrammes. Dieser steht auf der Homepage des BMLFUW und des Umweltbundesamtes zum Download bereit:

--- BMLFUW: <http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser.html>

--- Umweltbundesamt: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/wasser_daten/wgev/

Die im Rahmen der GZÜV erhobenen Qualitätsdaten für das Grundwasser Österreichs sind über das Wasser-Informationssystem Austria (WISA) im Internet über die H₂O-Fachdatenbank abrufbar: <http://wisa.bmlfuw.gv.at/>.

Im Jahr 2014 wurden jene Messstellen erneut untersucht, bei denen die Urangelhalte der Messkampagne 2013 eine Konzentration von 5 µg/l überschritten hatten. Im Wesentlichen bestätigten sich dabei die Untersuchungsergebnisse des Jahres 2013. Demnach liegen in weiten Teilen des Bundesgebietes die Urankonzentrationen des Grundwassers deutlich unterhalb des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung (15 µg/l). Insbesondere im Osten Österreichs gibt es regional jedoch eine auffällige Häufung von Urangelhalten über 15 µg/l (Abbildung 1).

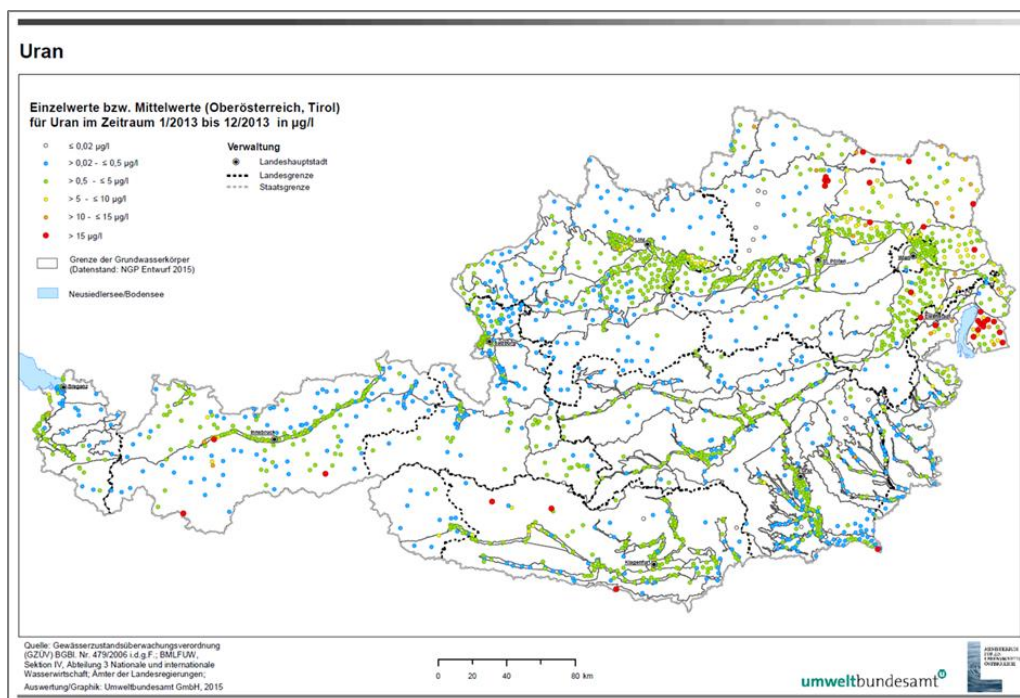


Abbildung 1: Uran im Grundwasser. Ergebnisse der Untersuchungen im Jahr 2013.

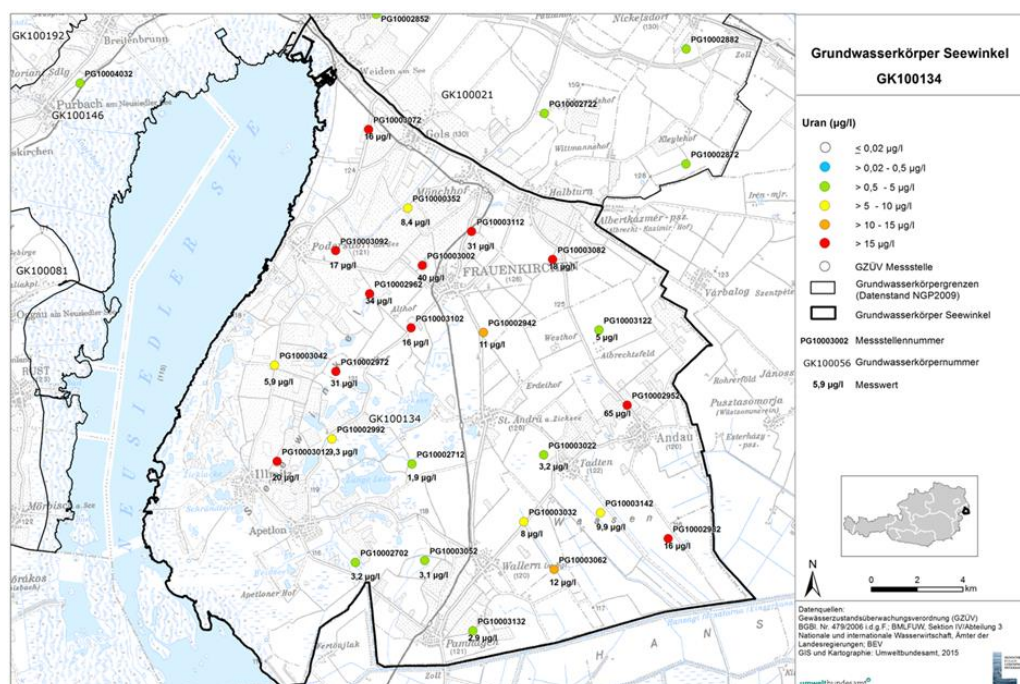


Abbildung 2: Seewinkel - Uran im Grundwasser (2013).

EINLEITUNG

Während die Überschreitung des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung in einigen Regionen Österreichs aufgrund des geologischen Untergrundes geogen bedingt sein kann, erscheint dies in anderen Fällen (z.B. Seewinkel, Weinviertel) nicht unmittelbar plausibel.

Die Kenntnis, welche anderen Ursachen - wie beispielsweise anthropogene Aktivitäten - zu höheren Urangehalten im Grundwasser führen können, spielt jedoch im Hinblick auf die Umsetzung allfälliger Sanierungsmaßnahmen eine bedeutende Rolle.

2 ZIELSETZUNG UND VORGEHENSWEISE

DAS UMWELTBUNDESAMT WURDE VOM BMLFUW / Abteilung IV/3 Nationale und internationale Wasserwirtschaft mit der Interpretation der Urankonzentrationen basierend auf den Grundwasseruntersuchungen der oberflächennahen Grundwasserkörper im Jahr 2013 beauftragt. Im Fokus stehen dabei jene Messstellen, deren Urangelhalte über 15 µg/l liegen und die sich nicht unmittelbar als geogen bedingt auf den geologischen Untergrund zurückführen lassen. Den Schwerpunkt hierbei bildet der Seewinkel, da für diesen Grundwasserkörper an elf von 24 Messstellen Urankonzentrationen über dem Parameterwert der Trinkwasserverordnung ermittelt wurden. Dies entspricht einem Drittel aller österreichweit beprobten Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l. Die übrigen, bundesweit verteilten Messstellen umfassen zum Teil auch Standorte, deren erhöhte Urankonzentrationen sich auf Basis des bisherigen geologisch-geochemischen Kenntnisstandes auf geogene Quellen zurückführen lassen.

Ziel des Projektes ist idealerweise die Zuordnung der auffälligen Urangelhalte zu einem geogenen oder anthropogenen Ursprung. Da diese Zuordnung nicht immer eindeutig nachweisbar ist, sollen Ansatzpunkte für die Entwicklung einer Bewertungsstrategie diskutiert werden. Das Vorgehen hinsichtlich einer Bewertung der Herkunft der auffälligen Urangelhalte soll anhand des Seewinkels entwickelt werden, sich jedoch auch auf andere Regionen (z.B. Weinviertel/Niederösterreich) bzw. einzelne Messstellen übertragen lassen.

INSBESONDERE SOLL IM RAHMEN DES GEGENSTÄNDLICHEN PROJEKTES AUF FOLGENDE FRAGESTELLUNGEN EINGEGANGEN WERDEN:

- Welche Eintragungspfade für Uran existieren?
- Welche Prozesse beeinflussen Eintrag und Mobilität von Uran?
- Welche Prozesse können ausgeschlossen werden?
- Wie kann eine bestmöglich abgesicherte Bewertung einer geogenen oder anthropogenen Herkunft des Urans vorgenommen werden?

NACHFOLGEND WIRD KURZ DIE HERANGEHENSWEISE IM RAHMEN DES VORLIEGENDEN PROJEKTES ERLÄUTERT:

Zum einen wurden im Seewinkel umfangreiche Erhebungen hinsichtlich Geologie, Hydrogeologie, Böden, Hydrochemie sowie messstellenspezifischer Kennwerte durchgeführt. Weiterhin wurde im Juni 2015 im Umweltbundesamt ein Erfahrungsaustausch mit ExpertInnen durchgeführt, die sich bereits mit Uran in der Umwelt beschäftigt haben bzw. bei denen davon ausgegangen werden konnte, dass ihre Expertise bei dieser Thematik hilfreich sein könnte.

IM EINZELNEN WURDEN IM RAHMEN DES ERFAHRUNGSUSTAUSCHES FOLGENDE THEMEN DISKUTIERT:

- Verhalten von Uran aus phosphathaltigen Düngern im System Wasser-Boden-Pflanze,
- Urangelhalte des Untergrundes aus Bachsedimentgeochemie, Aeroradiometrie und Gesteinsanalysen,
- Mobilitätsverhalten von Uran und Modellierungsansätze.

Ausgehend von umfangreichen Literatur- und Internet-Recherchen und den Beiträgen des Erfahrungsaustausches wird im vorliegenden Bericht der bisherige Kenntnisstand diskutiert, bewertet und schließlich werden Empfehlungen hinsichtlich des weiteren Vorgehens zur Klärung von zumindest bereichsweise fraglichen Urankonzentrationen skizziert.

3 GRUNDLAGEN

3.1 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

URAN IST EIN IN GESTEINEN DER ERDKRUSTE natürlich vorkommendes schwach radioaktives Schwermetall. Die hohe Affinität zu Sauerstoff bedingt als typisches Vorkommen Uranverbindungen in Form von Oxiden. Ein bekanntes uranhaltiges Mineral ist beispielsweise Pechblende (Uraninit UO_2). Uranvorkommen sind u. a. an Granite mit ihren Gangfüllungen bzw. metamorphe granitische Gesteine (z. B. Granitgneise) gebunden. In Österreich finden sich uranhaltige Gesteine beispielsweise in der Böhmisches Masse, d. h. im Untergrund des Wald- und Mühlviertels. Aber auch im alpinen Bereich wie z. B. in den Zentralalpen / Hohe Tauern finden sich Gesteinsformationen mit uranhaltigen Gesteinen (BERKA et al. 2014). In solchen Regionen kann das Grundwasser lokal geogen bedingt höhere Urankonzentrationen aufweisen, so wie auch für andere Metalle in Österreich geogen bedingt regional bzw. lokal höhere Konzentrationen im Grundwasser beobachtet werden (BMLFUW 2012).

Uran ist ein ubiquitäres Element, das sich nicht nur in der Erdkruste, sondern natürlicherweise auch in (sehr) geringen Konzentrationen im Wasser, im Boden und in der Luft findet. Die natürlichen Urangehalte in den jeweiligen Umweltkompartimenten variieren und können aufgrund anthropogen bedingter Einträge ansteigen wie beispielsweise durch die Nuklearindustrie, den Einsatz abgereicherten Urans in panzerbrechender Munition, die Verbrennung von Kohle oder die Aufbereitung von Phosphaterzen für mineralische Düngemittel. Eine wesentliche Eigenschaft für die Mobilität von Uran ist u. a. die Wasserlöslichkeit der verschiedenen Uranverbindungen in Abhängigkeit von den vorliegenden Redoxverhältnissen und dem pH-Wert (siehe Kapitel 3.2).

In Bezug auf die menschliche Ernährung ist für Uran keine biologische Funktion bekannt, d.h. Uran stellt kein essentielles Element für den menschlichen Organismus dar. Mit der Nahrung bzw. dem Trinkwasser aufgenommenes Uran wird während der Magen-Darm-Passage lediglich in geringen Mengen absorbiert, d.h. die Bioverfügbarkeit des Urans über diesen Aufnahmepfad in den Körper ist relativ gering. Etwa ein Drittel des aufgenommenen Urans wird im Körper zurückgehalten. Absorbiertes Uran gelangt in das Blut und reichert sich zunächst in den Nieren und der Leber an, später auch in den Knochen. Diese stellen letztlich den maßgeblichen Speicher für Uran im Körper dar, da das Uranylion anstelle des Calciumions in Hydroxylapatit eingelagert wird, einem Biomineral, das eine wesentliche Komponente des Skelettes bildet. Die humantoxische Wirkung von Uran liegt primär in der Nierentoxizität begründet und beruht darauf, dass aufgenommenes Uran vornehmlich über die Nieren ausgeschieden wird (EFSA 2009).

3.2 MOBILITÄTSVERHALTEN VON URAN

URAN KANN IN VERSCHIEDENEN WERTIGKEITSSTUFEN vorliegen. In der Natur dominieren vier- und sechswertige Verbindungen. Die Spezierung des Urans bedingt ganz wesentlich dessen Mobilitätsverhalten in Boden und Wasser, das maßgeblich durch pH-Wert¹ und Redoxpotenzial² beeinflusst wird (Abbildung 3).

Weitere wesentliche, die Speziesverteilung beeinflussende Faktoren sind Adsorption an Eisenoxidhydroxid (HfO)-Phasen (amorphes Eisen), Austauschprozesse, Komplexbildung sowie Lösungs- und Fällungsprozesse.

¹ pH ist die Abkürzung für potentia hydrogenii. Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität einer Lösung. Er beschreibt, ob eine Lösung sauer ($\text{pH} < 7$), neutral ($\text{pH} = 7$) oder basisch ($\text{pH} > 7$) ist.

² Das Redoxpotenzial (Reduktions-Oxidations-Potenzial) beschreibt das Verhältnis von oxidierten und reduzierten Stoffen in einem System. Die Grundlage bilden Elektronenübertragungsreaktionen: Oxidation steht für die Abgabe von Elektronen, Reduktion für die Aufnahme von Elektronen. Redoxpotenziale können zwischen +800 mV (stark oxidierend) und -300 mV (stark reduzierend) variieren. Hohe Potenziale sind charakteristisch für ein sauerstoffreiches Milieu mit großen Anteilen von oxidierten Verbindungen. Ein niedriges Potenzial weist auf Sauerstoffmangel hin, einhergehend dem Auftreten reduzierter Verbindungen sowie organischer Substanz. Die meisten Redoxreaktionen sind abhängig vom pH-Wert.

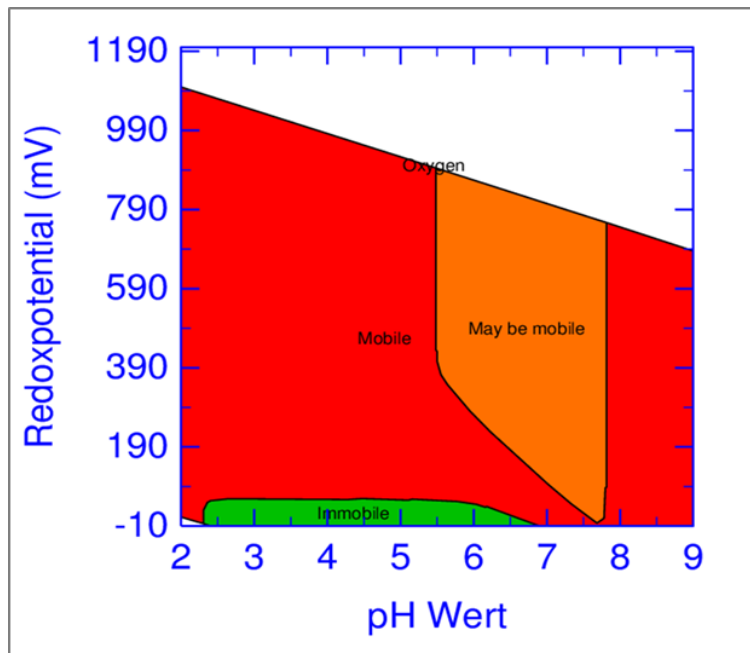


Abbildung 3: Einfluss von pH-Wert und Redoxpotential auf die Mobilisierung von Uran (A. Leis, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

Im oxidierenden aquatischen Milieu kann Uran leicht mobilisiert werden (z.B. aus Gesteinen) und liegt als sechswertiges Uranylion (UO_2^{2+}) vor, das eine gute Wasserlöslichkeit aufweist – beispielsweise aufgrund der Bildung stabiler Komplexe. Im reduzierenden sowie im sehr sauren Milieu liegt vorwiegend vierwertiges, kaum lösliches, immobiles Uran vor.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht, wie der pH-Wert bei oxidierenden Verhältnissen die Verteilung der verschiedenen Uranspezies steuert.

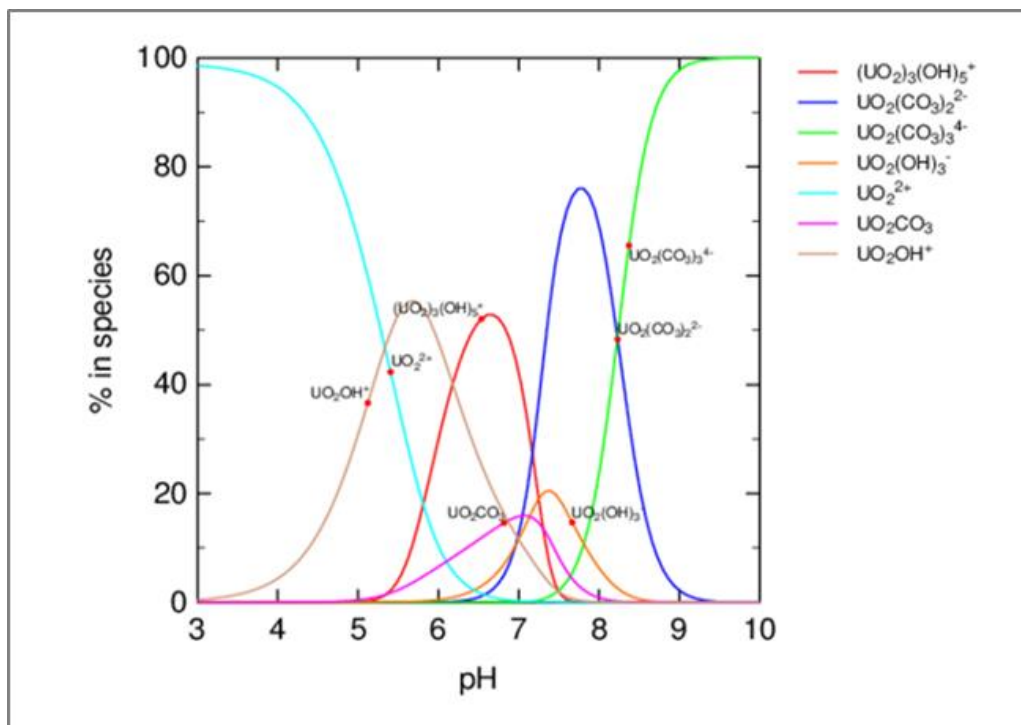


Abbildung 4: Verteilung von Uranspezies in Abhängigkeit vom pH-Wert unter oxidierenden Verhältnissen (A. Leis, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

Komplexbildung kann die Löslichkeit von Uran erhöhen, beispielsweise sind die stabilen Uranyl-Carbonato-Komplexe (insbesondere Hydrogencarbonate) gut wasserlöslich und mobil (Abbildung 5). Andere Komplexverbindungen können wiederum weniger gut löslich sein. Generell erhöht Komplexbildung jedoch die Mobilität von Uran.

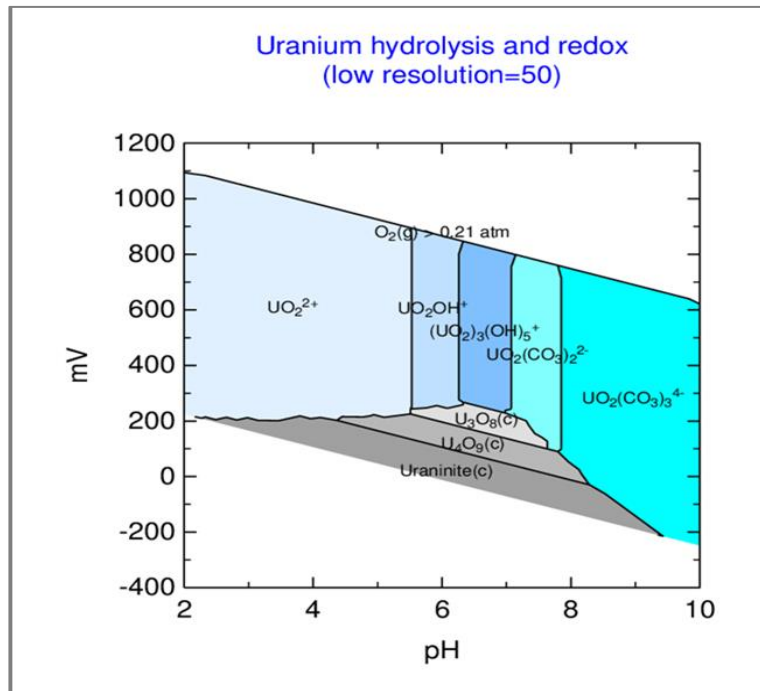


Abbildung 5: Bildung von Uranyl-Carbonato-Komplexen (A. Leis, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

Die Speziesverteilung von Uran in Gegenwart von Eisenoxidhydroxid (HfO)-Phasen mit großen Oberflächen ist in Abbildung 6 dargestellt. Diese amorphen Eisenverbindungen binden Uran, das somit immobilisiert wird. Bei niedrigen pH-Werten lösen sich die HfO-Phasen unter Freisetzung des Urans auf.

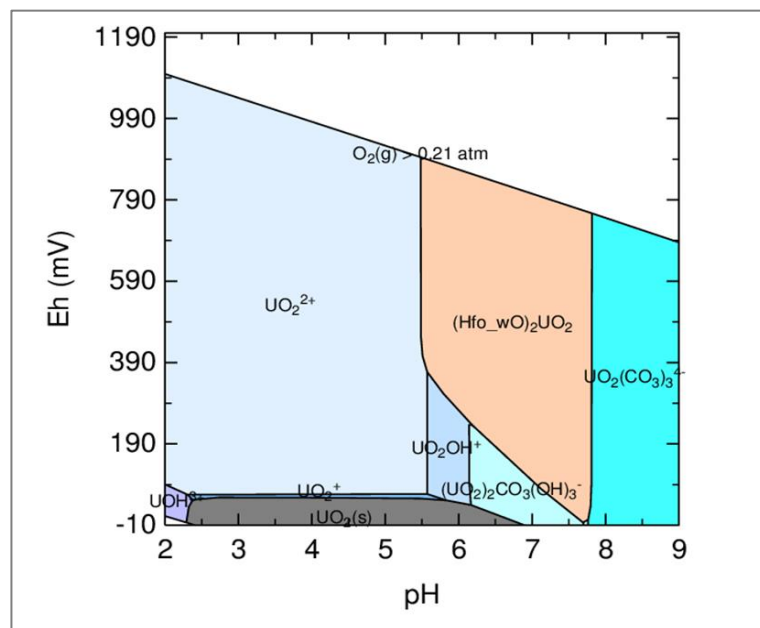


Abbildung 6: Speziesverteilung von Uran in Gegenwart von Eisenoxidhydroxid (HfO)-Phasen (A. Leis, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

Die Verteilung des Urans im System Boden-Wasser wird neben der Adsorption an amorphes Eisenoxid-hydroxid zudem durch die Sorption an organische Bodensubstanz beeinflusst. Kolloidale Huminstoffe können Uran durch Komplexbildung binden. Dieses kolloidal gebundene Uran wird im Boden im Allgemeinen wenig verlagert und ist damit kaum im Grundwasser nachweisbar, kann jedoch in Gebieten mit (an)moorigen Verhältnissen zu einer Anreicherung von Uran führen. In Moorböden kommt es aufgrund des hohen Anteils organischer Substanz und der damit verbundenen Adsorption zu einer Anreicherung von Uran, das als sechswertiges Uranylion gebunden wird. Aufgrund der Reduktion zu vierwertigem Uran bilden sich unter normalen pH-Bedingungen im reduzierenden, d.h. sauerstoffarmen bis sauerstofffreien Milieu, letztlich schwerlösliche immobile Uranverbindungen, die im Boden angereichert werden können. Auch die Bindung an Tonminerale kann in einer sekundären Anreicherung resultieren.

Das Mobilitätsverhalten von Uran kann beispielsweise mittels hydrogeochemischer Modellrechnungen analysiert werden. Diese Modellierungen können zum einen zu einem generellen Verständnis der Prozesse führen, welche die Speziation des Urans beeinflussen. Zum anderen können mit Hinblick auf veränderte Randbedingungen (z.B. pH-Wert, Redoxpotenzial) Änderungen des Mobilitätsverhaltens von Uran prognostiziert werden. Dies ist insbesondere als Grundlage für Risikowertungen von Bedeutung.

4 EINTRAGSPFADE

HINSICHTLICH DER HERKUNFT VON URAN im Grundwasser ist eine Reihe potenzieller Eintragungspfade denkbar, die im Folgenden vorgestellt werden. Im Rahmen des vorliegenden Berichtes wird angestrebt, diese verschiedenen Eintragungsmöglichkeiten zu verifizieren bzw. auszuschließen.

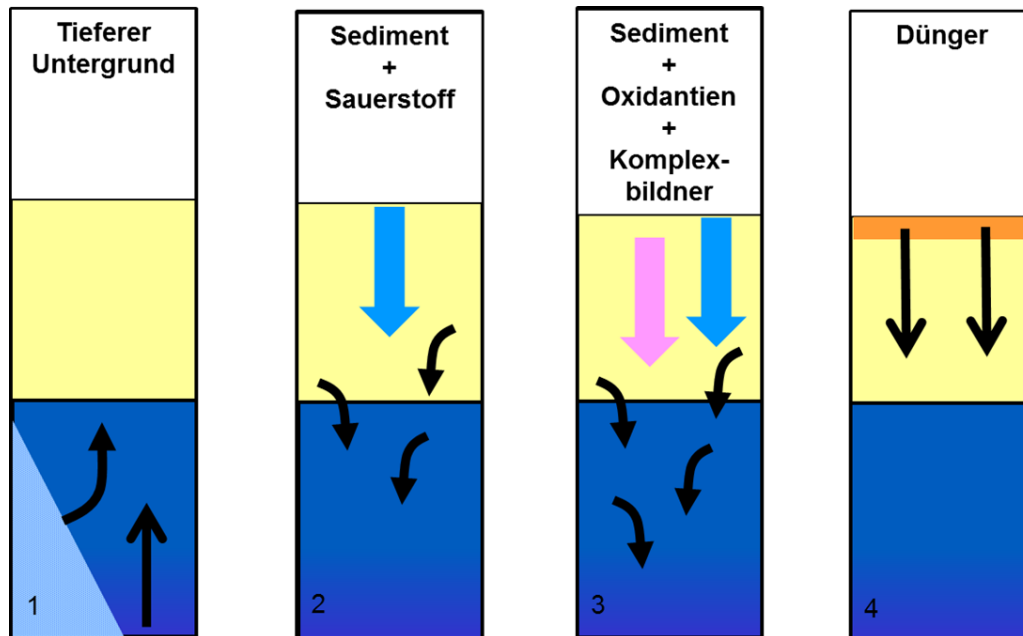


Abbildung 7: Potenzielle Eintragungspfade für erhöhte Urangelhalte im Grundwasser (LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE MECKLENBURG-VORPOMMERN 2012).

Auch wenn geogene Uranquellen im Seewinkel auf den ersten Blick wenig plausibel erscheinen, so kann deren Existenz dennoch per se nicht ausgeschlossen werden. Es ist durchaus möglich, dass geogene Einträge in das oberflächennahe Grundwasser zum einen aufgrund aufsteigender uranhaltiger Tiefengrundwässer erfolgen können, zum anderen ist auch eine Mobilisierung des Urans durch den im Wasser gelösten Sauerstoff aus Matrixkomponenten des Aquifers selbst denkbar.

Hinsichtlich anthropogener Quellen liegt der Fokus auf dem Einsatz von Phosphatdüngern in der Landwirtschaft und dem damit verbundenen potenziellen Eintrag von Uran in das Grundwasser.

Eine Zwischenstellung nimmt eine mögliche Überlagerung anthropogener und geogener Prozesse ein. Uran kann auch in Folge von menschlicher Tätigkeit eingetragener Oxidationsmittel (z.B. Nitrat aus Wirtschaftsdüngern) aus dem Untergrund gelöst werden.

4.1 TIEFENGRUNDWÄSSER UND MINERALWÄSSER IM SEEWINKEL

IM SEEWINKEL TRETEN UNTERHALB des SW-Abfalls der Parndorfer Platte zwischen Neu-siedl am See und Mönchhof, aber auch in anderen Bereichen, Brunnen mit zumeist artesisch gespannten, vergleichsweise gering mineralisierten Tiefengrundwässern auf (Abbildung 8). Eine umfassende hydrogeologische Charakterisierung dieser Vorkommen wurde erstmals von TAUBER et al. (1959) durchgeführt. Demnach ist im Seewinkel und der angrenzenden Parndorfer Platte in den besser durchlässigen Sand- und Kieshorizonten des Pannoniums ein relativ gering mineralisiertes, mobiles, gespanntes bis artesisch gespanntes Tiefengrundwasserstockwerk ausgebildet (geologischer Schnitt siehe Abbildung 9). TAUBER (1963) nimmt als Einzugsgebiet die Parndorfer Platte an.

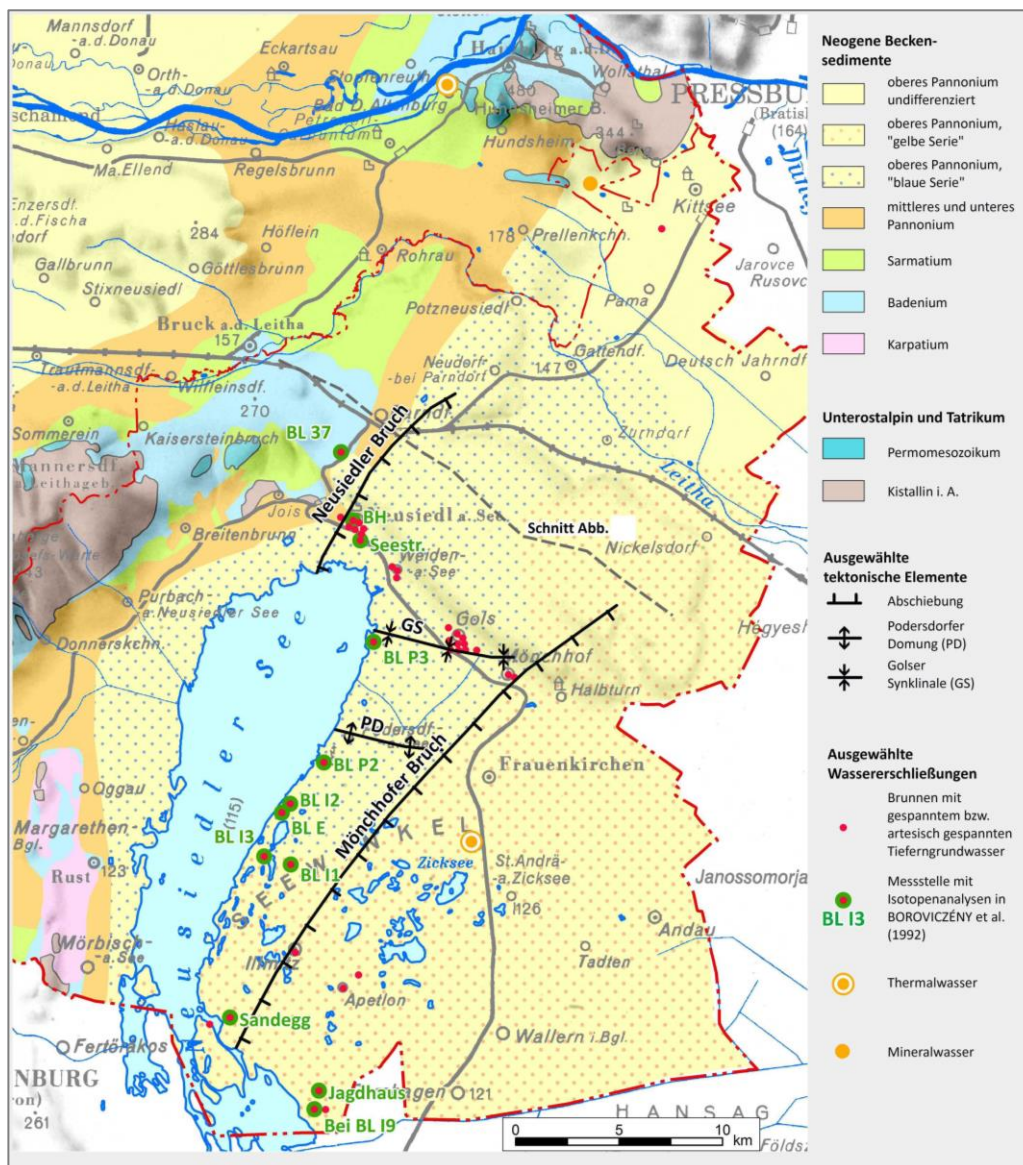


Abbildung 8: Geologie des Seewinkels. Quartär abgedeckt, ergänzt um ausgewählte tektonische Elemente aus TAUBER et al. (1959) und Erschließungen von tiefen Grundwässern nach TAUBER et al. (1959), BOROVIČZÉNY et al. (1992), WURM (2000), KOLLMANN et al. (2010) und SCHUBERT et al. (2003).

Anmerkung: Im März 2015 wurde seitens der Geologischen Bundesanstalt der Arteser in Sandegg und der Tiefbrunnen in Illmitz auf Uran beprobt.

Diese vergleichsweise mobilen und gering mineralisierten Tiefengrundwässer werden von stagnierenden Mineralwässern begleitet. Deren Genese wird in TAUBER (1963) eingehend erörtert. Bei diesen handelt es sich vor allem um seicht liegende Bitterwässer, die sich in den weniger durchlässigen pannonen Sedimenten über den vergleichsweise weichen Tiefengrundwässern befinden. Zudem werden die weichen Tiefengrundwässer von Mineralwässern mit höheren Gehalten an Natrium und Chlorid unterlagert. Folgende Prozesse können zu lokal sehr unterschiedlichen Ausprägungen des Lösungsinhaltes dieser Mineralwässer führen: Migration von Formationswässern, Ionenaustausch, sulfatreduzierende Bakterien und damit verbunden Oxidation von organischem Material, an Störungen aufsteigendes CO₂, CO₂-Entgasung im oberflächennahen Bereich, Einträge von Luftsauerstoff und Huminsäuren durch Sickerwässer und Oxidation von Pyrit in den Sedimenten des Pannoniums.

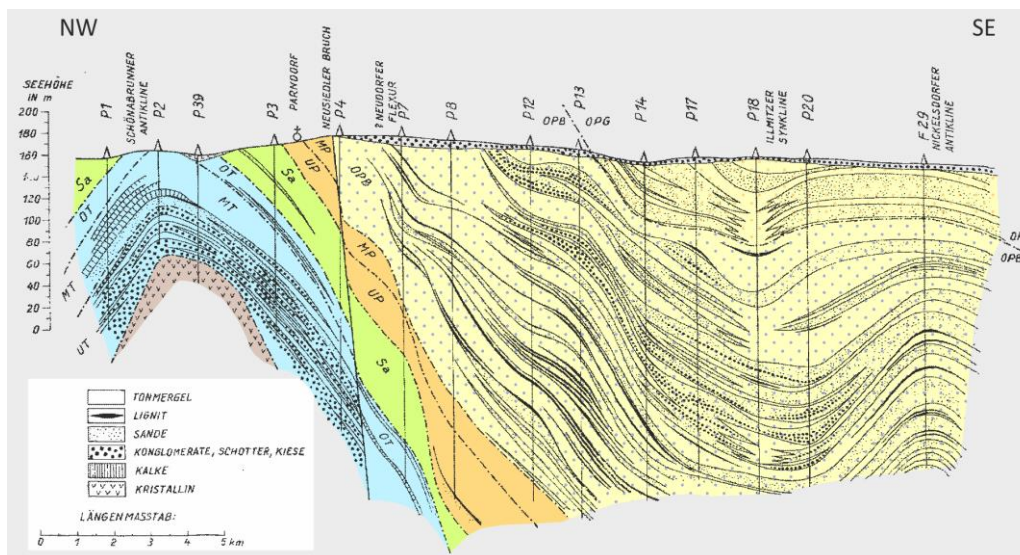


Abbildung 9: Geologischer Schnitt durch die Parndorfer Platte in NW-SE-Richtung. Verändert nach TAUBER et al. (1959).

Anmerkungen:

Lage und Legende siehe Abbildung 8.

OPG = oberes Pannonium, „gelbe Serie“ (Zone H), **OPB** = oberes Pannonium, „blaue Serie“ (Zone F und G),

MP = mittleres Pannonium (Zone E), **UP** = unteres Pannonium (Zone A bis D),

Sa = Sarmatium, **OT** = oberes Badenium, **MT** = mittleres Badenium, **UT** = unteres Badenium.

Am 25. März 2015 wurden seitens der Geologischen Bundesanstalt der Arteser in Sandeck (laut TAUBER et al. 1959 85 m tief) und ein Tiefbrunnen in Illmitz (St. Bartholomäus-Quelle; laut Schautafel bei Quelle liegt der Zielhorizont bei 180 bis 201 m unter GOK) hydrochemisch beprobt. Die Analysen sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Demnach war im Tiefbrunnen in Illmitz kein Uran festzustellen, während der Arteser in Sandeck etwa 3,8 µg/l Uran gelöst hatte. Bei der St. Bartholomäus-Quelle handelt es sich um Tiefengrundwasser, das durch am Mönchshofer Bruch aufsteigendes CO₂ und Formationswasser (höherer Chlorid-Gehalt) beeinflusst wird (vgl. TAUBER et al. 1959). Der Arteser in Sandeck ist einer jener Arteser, die am weitesten von der Parndorfer Platte entfernt sind. Bei ihm ist keine derartige Beeinflussung durch Formationswasser oder CO₂ zu erkennen.

Tabelle 3: Hydrochemische Analyse der Fachabteilung Geochemie der Geologischen Bundesanstalt zum Arteser in Sandeck und Tiefbrunnen in Illmitz (St. Bartholomäus-Quelle).

Bezeichnung	Illmitz, Arteser Sandeck	Illmitz, Bartholomäus-Quelle
Probenpunkt	H108-10010	H078-10010
Schüttung (l/s)	0,058	Pumpe
T (°C)	14,4	15,1
LF_Gel (µS/cm)	906	4030
pH_Gel	7,01	6,84
LF (µS/cm)	906	4027
pH	7,15	6,9
O ₂ (mg/l)	0,69	1,17
O ₂ (%)	6,7	12
Ca (mg/l)	65,8	89,0

Bezeichnung	Illmitz, Arteser Sandeck	Illmitz, Bartholomäus-Quelle
Mg (mg/l)	45,3	33,5
Na (mg/l)	77,6	917
K (mg/l)	2,86	8,76
Sr (mg/l)	0,683	0,682
Ba (mg/l)	0,188	0,254
Li (mg/l)	0,0575	0,245
Rb (mg/L)	0,000893	0,00707
Cs (mg/l)	< 0,0001	0,000176
GH (°dH)	19,7	20,2
KH (°dH)	28,0	112
NKH (°dH)	-8,31	-91,9
Fe (µg/l)	760	544
Mn (µg/l)	65,5	16,7
Al (µg/l)	21,4	23,5
V (µg/l)	< 0,1	< 0,1
Cu (µg/l)	1,09	< 0,1
Ni (µg/l)	1,08	0,837
Co (µg/l)	0,178	0,117
Cd (µg/l)	< 0,1	< 0,1
Pb (µg/l)	0,150	0,143
Zn (µg/l)	5,53	< 0,1
As (µg/l)	19,8	0,357
Cr (µg/l)	1,62	< 0,1
U (µg/l)	3,77	< 0,1
HCO ₃ (mg/l)	608	2437
F (mg/l)	0,18	1,35
Cl (mg/l)	8,67	274
NO ₃ (mg/l)	<0,50	<0,50
SO ₄ (mg/l)	13,7	<0,50

Anmerkungen: Lage und Legende siehe Abbildung 8. Die Probenahme erfolgte am 25. März 2015.

4.2 GEOLOGISCHER UNTERGRUND

IM JAHR 2014 WURDE an der Geologischen Bundesanstalt die hydrogeologische Themenkarte „Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000“ mit Erläuterungen publiziert (BERKA et al. 2014). Im vorliegenden Kapitel werden die im Rahmen dieser Arbeit zusammengestellten Uran- und Thorium-Analysen zum Untergrund (Gesamtgesteinsanalysen, Bachsedimentanalysen, Radiometrie) sowie ausgewählte, im Grundwasser gelöste Inhaltsstoffe wiedergegeben.

4.2.1 GRUNDWASSER

IM JAHR 2013 WURDEN an etlichen GZÜV-Grundwassermessstellen Uran-Konzentrationen über dem Parameterwert der Trinkwasserverordnung von 15 µg/l gemessen. Diese traten auch in Gebieten auf, in denen es aufgrund der Beschaffenheit des Untergrundes nicht von vornherein zu erwarten war. Während für die über dem Grenzwert von 15 µg/l Uran liegenden Konzentrationen in der Zentralzone der Alpen ein geogener Hintergrund plausibel erschien (uranhältige Orthogneise), war dies in den Niederungen im Osten des Bundesgebietes nicht zu erwarten. Dies betrifft im Besonderen den Seewinkel (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

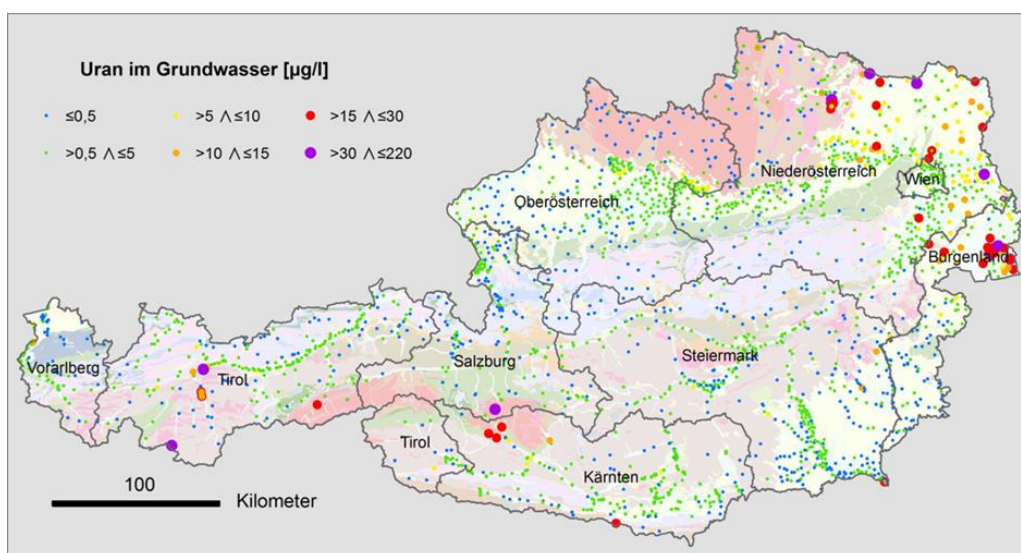


Abbildung 10: Urangelhalte im Grundwasser (BERKA et al. 2014; Analytik: Umweltbundesamt GmbH).

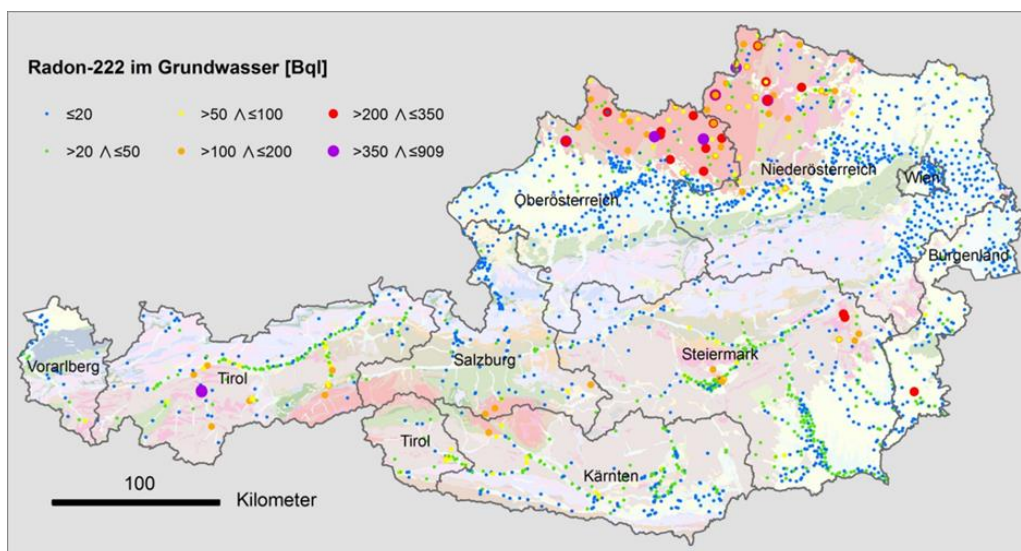


Abbildung 11: Radon-222-Gehalte im Grundwasser (BERKA et al. 2014; Analytik: AGES).

Während im Seewinkel, dem Wiener Becken bzw. dem Weinviertel hohe Urangelhalte im Grundwasser zu verzeichnen waren (Abbildung 10), konnte dieser Trend beim Tochternuklid Radon-222 nicht beobachtet werden (Abbildung 11). Radon-222 kann als Anzeiger für erhöhte Urangelhalte im Gestein betrachtet werden. Es ist ein Zerfallsprodukt aus der Zerfallsreihe des Uranisotops U-238. Radon-222 ist ein in Wasser relativ gut lösliches mobiles Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das aus dem umgebenden Gestein in das Grundwasser aufgenommen und dort transportiert werden kann. In Österreich sind die höchsten Medianwerte für Radon-222 im Grundwasser in der Böhmischer Masse und im Gebiet des Tauernfensters zu

verzeichnen, allerdings nicht im Osten Österreichs, wo jedoch – wie bereits oben angeführt – eine auffällige Häufung höherer Urankonzentrationen im Grundwasser auftritt.

Ebenso treten im Osten des Bundesgebietes die höchsten Nitratkonzentrationen im Grundwasser auf; diese weisen auf die intensive landwirtschaftliche Nutzung dieser Gebiete hin (Abbildung 12).

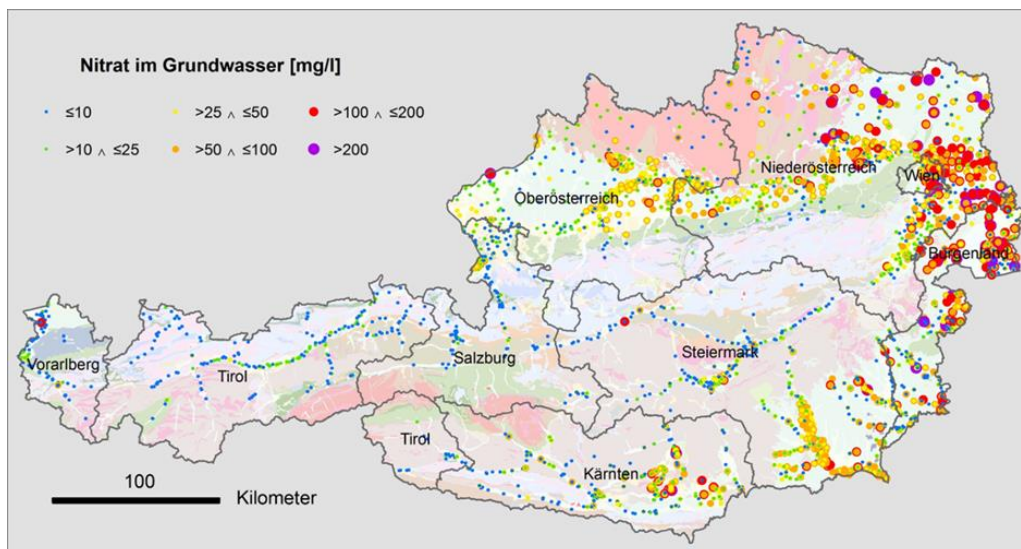


Abbildung 12: Nitratkonzentrationen im Grundwasser (Daten: GZÜV; G. Schubert, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

4.2.2 AERORADIOMETRIE

BEREITS SEIT 1982 WIRD das österreichische Bundesgebiet seitens der Geologischen Bundesanstalt aerogeophysikalisch untersucht (Hubschraubergeophysik). Dabei wird mittels Radiometrie auch die terrestrische Strahlung gemessen und u.a. die Äquivalentkonzentrationen für Uran und Thorium bestimmt (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Beide Elemente treten vor allem in Graniten und metamorphen Graniten (Orthogneisen) in höherer Konzentration auf.

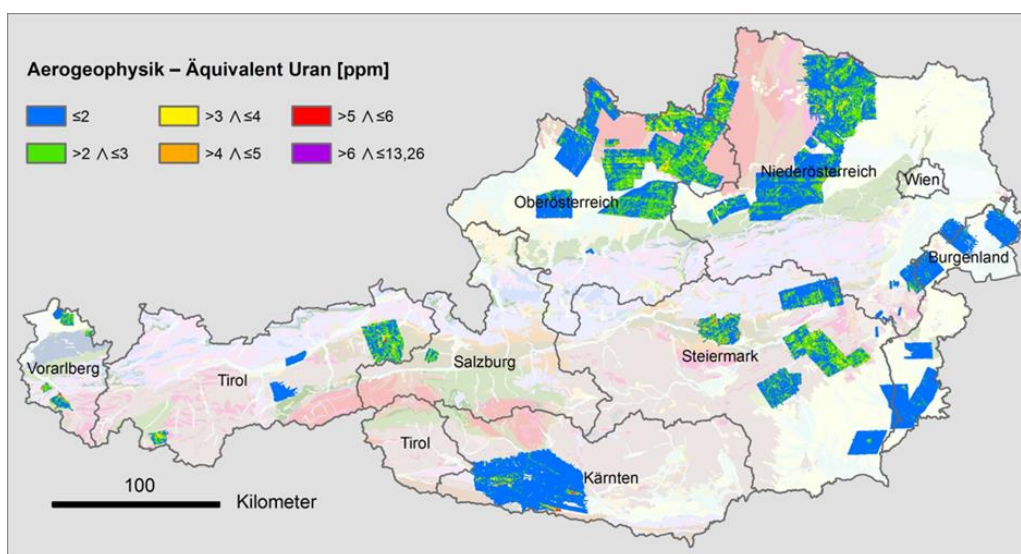


Abbildung 13: Äquivalentkonzentrationen für Uran aus terrestrischer Strahlung (BERKA et al. 2014).

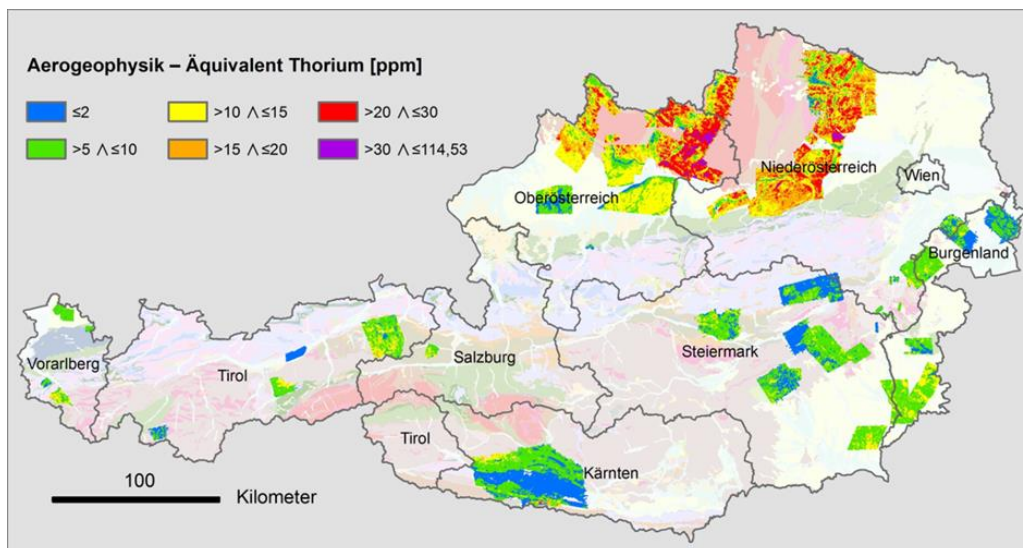


Abbildung 14: Äquivalentkonzentrationen für Thorium aus terrestrischer Strahlung (BERKA et al. 2014).

Für das Gebiet des nordwestlichen Seewinkels weisen die im Rahmen der Aeroradiometrie erhobenen Werte für Uran flächendeckend niedrige Werte auf, die deutlich unter jenen der nördlich angrenzenden Parndorfer Platte liegen (Abbildung 15). Im Seewinkel liegen die in Abbildung 15 dargestellten Werte (Zellgröße 50 m) zwischen 0 ppm und 4,92 ppm Uran, der Mittelwert beträgt 1,44 ppm Uran.

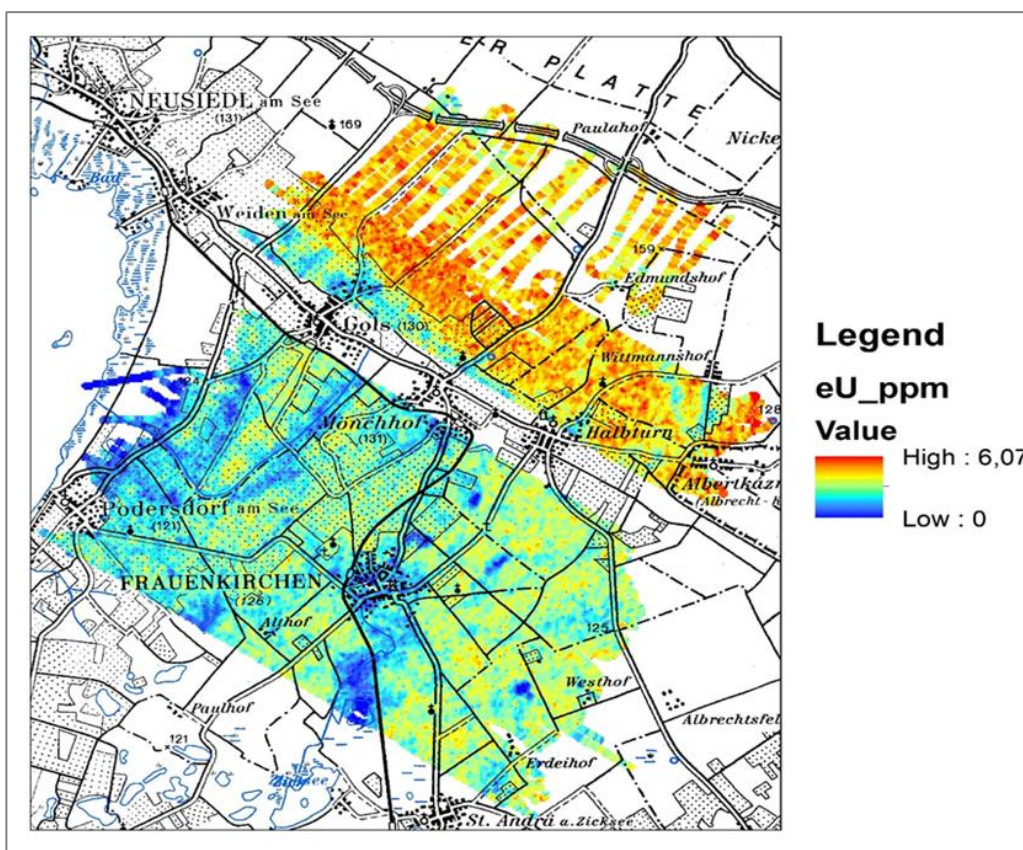


Abbildung 15: Seewinkel- Äquivalentkonzentrationen für Uran aus terrestrischer Strahlung (G. Schubert, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

4.2.3 BACHSEDIMENTANALYSEN

DIE GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT BESITZT einen österreichweiten Bachsediment-Geochemie-Datensatz zur Fraktion $< 0,18$ mm. Dieser umfasst auch Uran- und Thoriumanalysen. Die Verteilung der Probenahmepunkte ist nicht einheitlich: Während im Bereich der Böhmisches Masse und in der Zentralzone der Alpen eine sehr hohe Punktdichte gegeben ist, sind im Bereich der Molasse- und der Flyschzone, der Nördlichen Kalkalpen, der inneralpinen Becken sowie in den Gailtaler und Karnischen Alpen und in den Karawanken die Probenahmedichten geringer (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17).

Hohe Uran- und Thoriumgehalte sind insbesondere an die Granite der Böhmisches Masse und die Orthogneise der Zentralzone gebunden.

Für das Gebiet des Seewinkels liegen nur 12 Proben vor (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17). Diese weisen für Uran Werte zwischen 1,2 ppm und 5,1 ppm auf, für Thorium zwischen < 4 ppm (Bestimmungsgrenze) und ≤ 10 ppm.

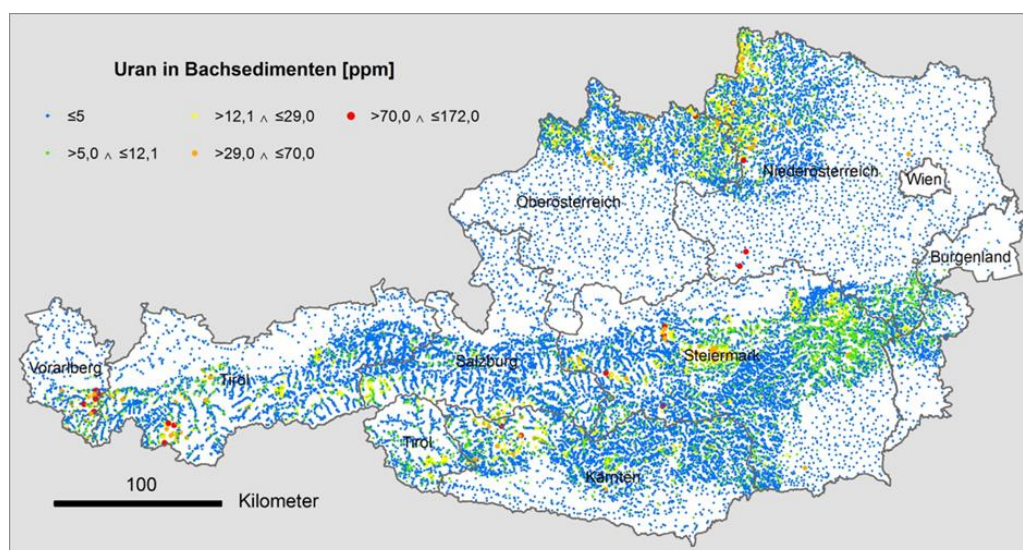


Abbildung 16: Urangelhalte in Bach- und Flusssedimenten (Fraktion $< 0,18$ mm) (BERKA et al. 2014).

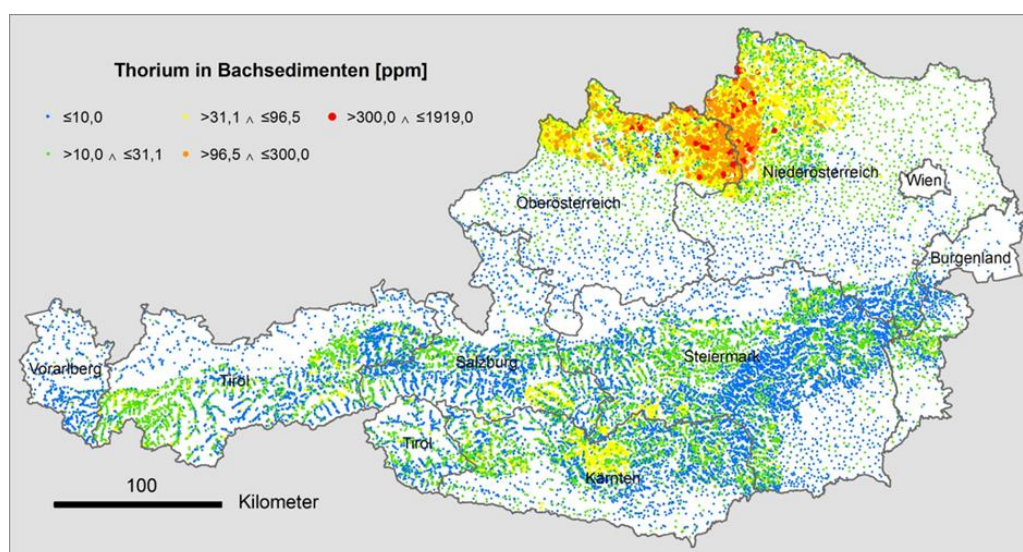


Abbildung 17: Thoriumgehalte in Bach- und Flusssedimenten (Fraktion $< 0,18$ mm) (BERKA et al. 2014).

4.2.4 GESTEINSANALYSEN

IM RAHMEN DER ERSTELLUNG der Radionuklidkarte wurde seitens der Geologischen Bundesanstalt auch eine umfangreiche Erhebung im Hinblick auf Gesamtgesteinsanalysen mit Uran- und Thoriumwerten durchgeführt. Derartige Analysen liegen vor allem in kristallinen Gebieten und zu Kohlevorkommen vor (siehe Abbildung 18). Lediglich im Bundesland Vorarlberg gibt es – veranlasst durch das Amt der Vorarlberger Landesregierung – flächendeckend derartige Analysen.

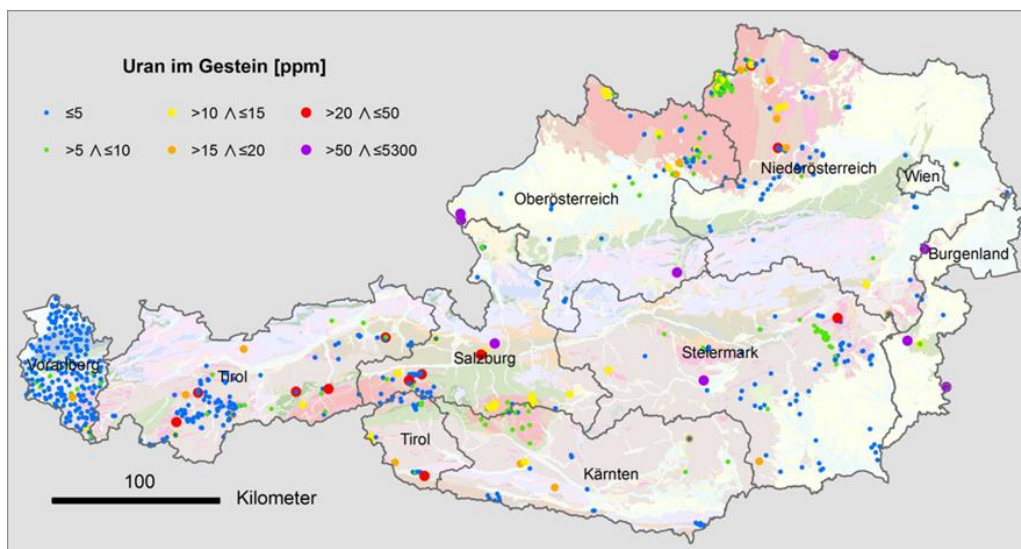


Abbildung 18: Uran im Gestein (BERKA et al. 2014).

Urangehalte über 50 ppm wurden nur in Kohlen oder unterordnet auch in kohlenstoffreichen Schiefen bestimmt. Aber auch Granite und Orthogneise zeichnen sich durch höhere Urangehalte aus – wenngleich nicht in einem Ausmaß wie die Kohlen. Die höheren Thoriumkonzentrationen sind an Granite bzw. Granitgneise gebunden (z.B. Böhmisches Massiv, Hohe Tauern).

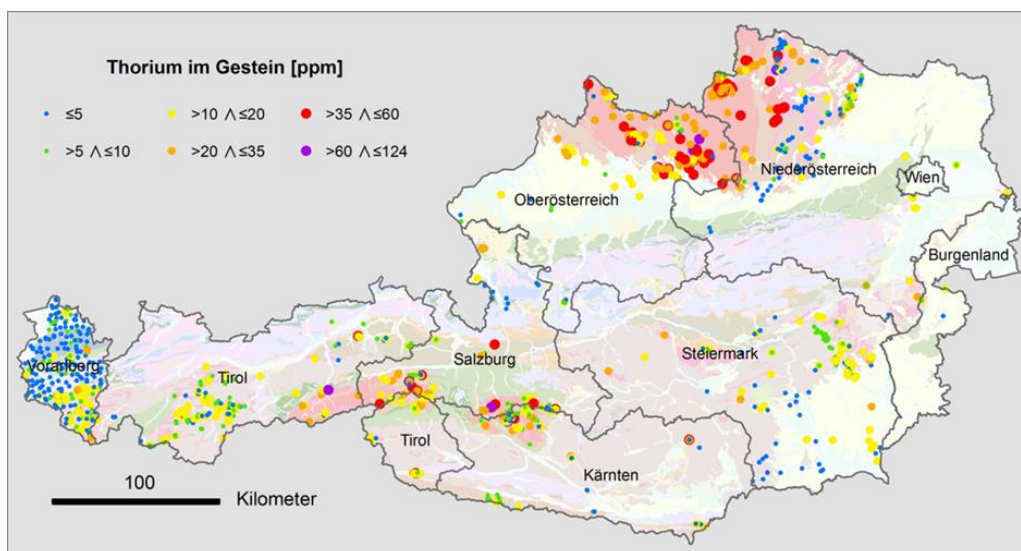


Abbildung 19: Thorium im Gestein (BERKA et al. 2014).

4.3 ÜBERLAGERUNG GEOGENER UND ANTHROPOGENER PROZESSE

URAN KANN NEBEN DEM im Wasser gelösten Luftsauerstoff auch durch weitere Oxidationsmittel (z.B. Nitrat aus Wirtschaftsdüngern) aus Gesteinen bzw. Sedimenten des Grundwasserkörpers gelöst werden. In etlichen Grundwasserkörpern Österreichs – so auch im Seewinkel – liegen teilweise hohe Nitratgehalte im Grundwasser vor (siehe Abbildung 12).

Nicht nur Nitrat kann Uran IV-Verbindungen aus Gesteinen zu wasserlöslichen Uran VI-Verbindungen oxidieren, auch reaktive Zwischenprodukte der Denitrifikation wie Nitrit und Stickoxide können Uran IV-Verbindungen oxidieren. Ferner kann Nitrat die Oxidation von Eisen II-Verbindungen zu reaktiven Eisen III-Verbindungen bewirken, die wiederum Uran IV-Verbindungen oxidieren können. In Summe bedeutet dies, dass eine Belastung des Grundwassers mit Nitrat bei entsprechendem geologischem Untergrund eine sekundäre Belastung des Grundwassers mit Uran auslösen kann (NOLAN & WEBER 2015). Beispielsweise konnte in Mecklenburg-Vorpommern (Deutschland) nachgewiesen werden, dass die nitratinduzierte Lösung von Uran aus kristallinen Geschieben skandinavischen Ursprungs bei entsprechenden physikochemischen Randbedingungen zu deutlich erhöhten Urangehalten im Grundwasser beitragen kann (SCHWERDTFEGGER 2015).

Redoxfronten nahe der Oberfläche können aufgrund wechselnder Mobilisierungs- und Festsetzungsprozesse Peaks und letztlich eine Akkumulation von Uran bewirken. So können auch niedrige Urangehalte im Wasser über längere Zeiträume hinweg in einer deutlichen Anreicherung von Uran resultieren.

Insofern kann die Kombination aus (relativ niedrig dosierten) Eintragsquellen von Uran (geogen oder auch anthropogen) sowie permanent ablaufender Mobilisierungs- und Festsetzungsprozesse im Untergrund als ein möglicher plausibler Ansatz zur Erklärung der hohen Urankonzentrationen im Grundwasser in Betracht gezogen werden.

4.4 PHOSPHATDÜNGER

IN DIESEM KAPITEL WERDEN die bislang vorliegenden Ergebnisse der Studie „Verhalten von Uran aus phosphathaltigen Düngern im System Wasser-Boden-Pflanze“ (DaFNE-Forschungsprojekt 100960) vorgestellt, die im Rahmen des Erfahrungsaustausches im Juni 2015 diskutiert wurden und zudem im Zwischenbericht der AGES vom Dezember 2014 zusammengefasst sind (BAUMGARTEN et al. 2014).

4.4.1 AUSGANGSSITUATION

DIE ZUR HERSTELLUNG VON PHOSPHATDÜNGERN verwendeten Phosphaterze enthalten oftmals Uran. In Abhängigkeit von der Lagerstätte variiert der Urangehalt der Phosphaterze zwischen 3 und 660 mg U/kg Erz. Die Ausbringung von Phosphordüngemitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kann somit zu einem Eintrag von Uran in den Boden führen.

Im Allgemeinen ist die Mobilität von Uran im Boden sowie die Aufnahme in Pflanzen eher gering. Im Boden kann Uran in mehreren Oxidationsstufen vorliegen, vorwiegend vier- und sechswertig. In primär gebildeten Mineralen liegt Uran überwiegend als U(IV) vor. Im reduzierenden Milieu sind vierwertige Uranverbindungen sehr stabil und damit nahezu unlöslich. Unter oxidierenden Bedingungen liegt Uran in wässrigen Lösungen vorwiegend in sechswertiger Form vor (Uranylionen), die in Anhängigkeit von den Redox- und pH-Verhältnissen stabile Komplexe bilden und somit eine gute Löslichkeit aufweisen.

Im gegenwärtig laufenden DaFNE-Forschungsprojekt wird untersucht, ob die Anwendung von uranhaltigen Phosphatdüngern zur Anreicherung von Uran im Boden, im Grundwasser oder in Pflanzen führen kann und somit auch die Gefahr der Aufnahme von Uran in die Nahrungskette besteht. Basierend auf den Ergebnissen soll die Einführung eines Grenzwertes für Uran in Düngemitteln diskutiert werden.

Mehrfach wurde bei den Versuchen im Rahmen des Projektes eine Korrelation zwischen Uran- und Cadmiumgehalten im Boden festgestellt, dabei lag der Urangehalt zumeist um den Faktor vier über dem Cadmiumgehalt. Es ist zu prüfen, ob eine gesicherte Korrelation zwischen beiden Schwermetallen vorliegt.

4.4.2 URAN IN DÜNGEMITTELN

DER URANGEHALT DER MINERALISCHEN PHOSPHORDÜNGER ist abhängig vom Urangehalt der verwendeten Phosphaterze. Gegenwärtig existiert in Österreich kein Grenzwert für Uran in Düngemitteln.

Im Rahmen des Projektes erfolgten Probenahmen und Analysen verschiedener phosphathaltiger mineralischer Düngemittel. Mit organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, Kalken und Kultursubstraten sowie Wirtschaftsdüngern wurde zudem eine Reihe weiterer Düngemitteltypen untersucht. Zusätzlich wurde der Cadmiumgehalt der Phosphordünger analysiert, da Cadmium als Schadstoff in Düngern relevant ist, anders als Uran jedoch über die Düngemittelverordnung 2004 i.d.g.F. detailliert reguliert ist.

Die im Rahmen des Projektes ermittelten Urangehalte verschiedener Düngemittel sind in der nachfolgenden Tabelle angeführt:

Tabelle 4: Zusammenfassung der Urangehalte in Düngemitteln (BAUMGARTEN et al. 2014).

Düngemitteltyp	Anzahl Proben	Uran [mg/kg]			Uran [mg/kg P ₂ O ₅]		
		Min	Max	Med	Min	Max	Med
Mineralische Phosphordünger	12	20	148	75	44	518	294
Mineralische Mehrnährstoffdünger	16	0,2	46	16	2,5	460	273
Organische und organisch-mineralische Dünger	12	0,1	3	0,2	n.a.	n.a.	n.a.
Kultursubstrate	27	0,1	1,7	0,4	n.a.	n.a.	n.a.
Wirtschaftsdünger	28	n.n.	0,77	0	n.a.	n.a.	n.a.

Anmerkungen:

n.n.	nicht nachweisbar
n.a.	nicht analysiert
Min	minimale Konzentration
Max	maximale Konzentration
Med	Mediankonzentration

Die Urangehalte der untersuchten Düngemittel variieren erheblich. Für mineralische Phosphordünger wurden Urangehalte zwischen 20 und 148 mg U/kg Dünger ermittelt. Organische bzw. organisch-mineralische Düngemittel sowie Kultursubstrate enthielten lediglich sehr wenig Uran. In Jauche und Rindergülle war Uran praktisch nicht nachweisbar, in Mistproben lagen die Gehalte geringfügig höher (max. 0,77 mg/kg in Geflügelmist).

4.4.3 PHOSPHOR-DÜNGUNGSVERSUCHE

DER POTENZIELLE EINFLUSS EINER LANGJÄHRIGEN hohen Phosphor-Düngung auf den Urangehalt im Ober- und Unterboden wurde anhand langjähriger Phosphor-Düngungsversuche der AGES untersucht.

In Fuchsenbigl (Marchfeld / Niederösterreich) und Rottenhaus (Alpenvorland nahe Wieselburg / Niederösterreich) wurden 1956 bzw. 1954 bis zum Jahr 2004 laufende Langzeitdüngungsversuche mit jeweils drei verschiedene Düngewarianten angelegt: Nulldüngung, 100 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr sowie 400 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr (mineralische Superphosphat-Düngung, Gaben liegen erheblich über der aktuell geltenden Düngempfehlung von 50 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr).

Im Herbst 2011 wurden an beiden Standorten in 0-25 cm und 25-50 cm Tiefe Bodenproben entnommen und untersucht. Die Ergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

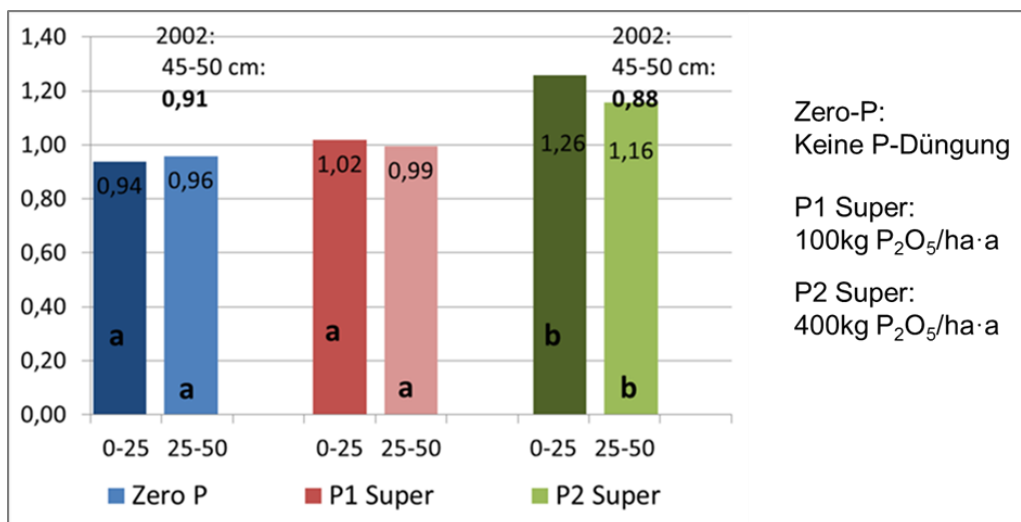


Abbildung 20: Phosphor-Düngungsversuch Fuchsenbigl (2012) – Urangelhalte im Boden (mg/kg) (BAUMGARTEN et al. 2014).

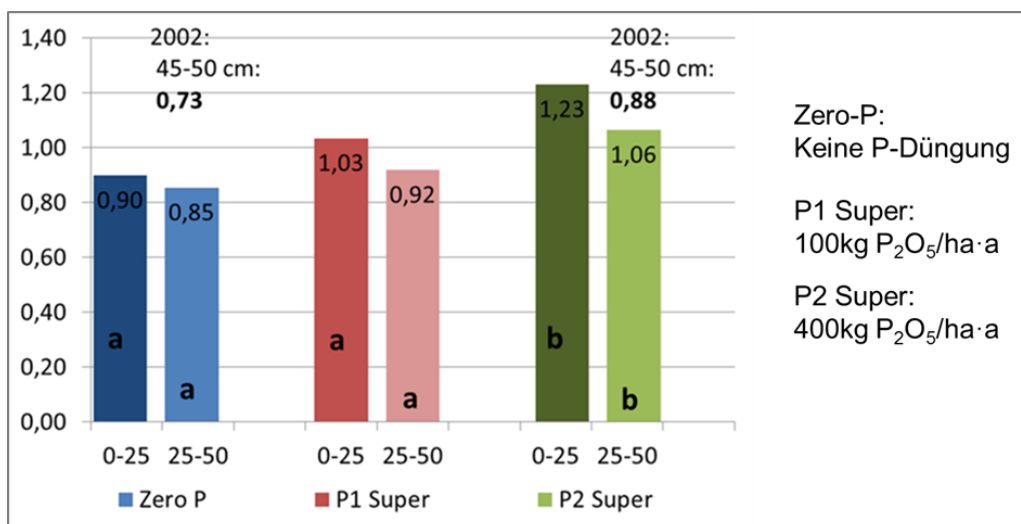


Abbildung 21: Phosphor-Düngungsversuch Rottenhaus (2012) – Urangelhalte im Boden (mg/kg) (BAUMGARTEN et al. 2014).

Nach einer jahrzehntelangen Düngegabe von 100 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr lag der Urangelgehalt der Bearbeitungsschicht bis 25 cm um ca. 0,10 mg/kg höher als bei der Nullvariante, diese Zunahme ist statistisch nicht signifikant. Bei der Variante mit stark überhöhter Superphosphatdüngung (400 kg P₂O₅ pro Hektar und Jahr) lag der Urangelgehalt im Oberboden im Vergleich mit der Nulldüngung auch acht Jahre nach Ende der Düngung um 0,32 mg/kg statistisch signifikant höher.

Auch im Unterboden (25-50 cm) waren bei dieser deutlich überhöhten Düngegabe noch statistisch signifikante Urananreicherungen nachweisbar, wobei die Verlagerung des Urans in diesem Fall auf die mechani-

sche Bewirtschaftung des Bodens (Pflugtiefe vorübergehend > 25 cm) zurückzuführen sein dürfte, die eine Verlagerung von Oberbodenmaterial in den Unterboden bewirkte. Diese Annahme wird durch die Untersuchung von Archivproben aus dem Jahr 2002 bestätigt, da bei keinem der beiden Standorte und keiner Düngungsvariante eine Verlagerung von Uran in tiefere Bodenschichten (45-50 cm) nachweisbar war (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21).

Auf allen Versuchsvarianten wurden im Jahr 2012 bzw. 2013 Kartoffeln und Winterweizen angebaut. Eine Aufnahme von Uran in die Kartoffelknollen und Weizenkörner war nicht nachweisbar (Urankonzentrationen < 0,0005 mg/kg Trockenmasse). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit der in der Literatur beschriebenen geringen Mobilität von Uran im System Boden-Pflanze.

4.4.4 PRAXISSTANDORTE: GEHALTE IN OBERBÖDEN LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTER FLÄCHEN

ERGÄNZEND ZU DEN BÖDEN der Langzeitdüngungsversuche wurden Böden von konventionell bewirtschafteten Ackerstandorten (Praxisstandorte) mit hohen Phosphatgehalten hinsichtlich Uran, Cadmium und Phosphor analysiert. Zudem wurden Proben aus biologisch bewirtschafteten Betrieben untersucht.

Die Urangelhalte der österreichweit untersuchten landwirtschaftlich genutzten Flächen variieren zwischen 0,78 und 5,50 mg U/kg Boden liegen damit im Bereich der aus der Literatur bekannten Hintergrundgehalte unbelasteter Böden. Die höheren Werte sind geogen bedingt für das Wald- und Mühlviertel (Granite und Gneise der Böhmisches Masse) zu verzeichnen.

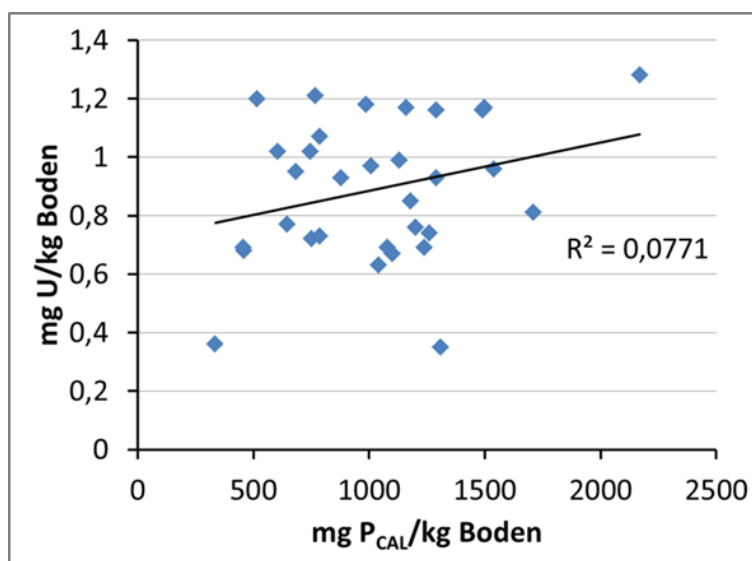


Abbildung 22: Praxisstandorte – Urangelhalte im Boden (mg/kg) (A. Baumgarten, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

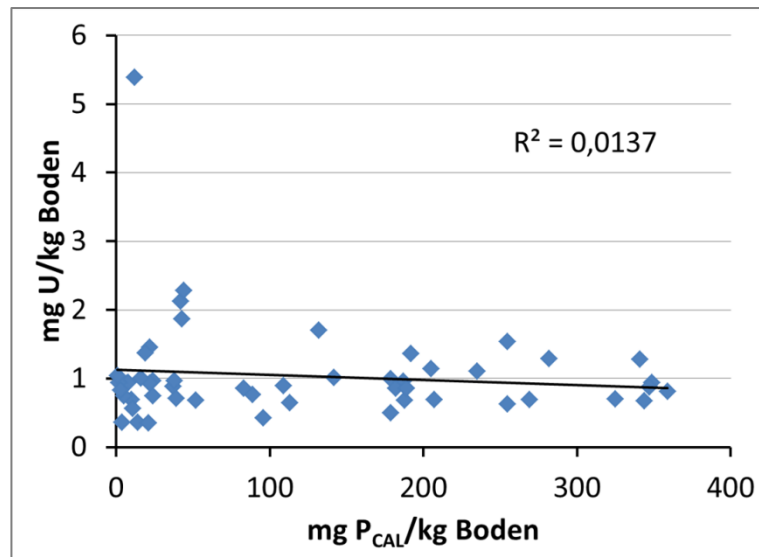


Abbildung 23: Praxisstandorte auf Silikat – Urangelhalte im Boden (mg/kg)
(A. Baumgarten, Erfahrungsaustausch Uran im Grundwasser, Juni 2015).

4.4.5 AUFNAHME VON URAN IN ERDELOSER KULTUR

WERDEN KULTUREN ERDELOS ANGEBAUT, so entfällt die Pufferwirkung des Bodens und ggf. in der Düngerlösung vorhandenes Uran könnte direkt von der Pflanze aufgenommen werden. Dieses Szenario wurde anhand von Gemüsepflanzen, die in Nährlösungen (Stammlösungen und Drainlösungen) kultiviert wurden, untersucht. Analysiert wurden die Nährlösungen sowie die Blätter und Früchte der Pflanzen.

In den Früchten (Paradeiser, Paprika, Gurken) war kein Uran nachweisbar. Blätter (Fruchtgemüsepflanzen und Blattgemüse) enthielten geringe Urangelhalte von max. 0,018 mg/kg Trockensubstanz. Anders als für Cadmium existieren gegenwärtig keine Grenzwerte für Uran in Gemüse.

4.4.6 SICKERWÄSSER AUSGEWÄHLTER LYSIMETERSTANDORTE

AN INSGESAMT DREI LYSIMETERSTANDORTEN des IKT Petzenkirchen nahe Lichtenwörth (Lage: siehe Abbildung 24) wurden mittels Saugkerzen in einer Tiefe von 1,50 m unter GOK Bodenlösungen entnommen. Alle drei Standorte lassen sich als stark kalkhaltige Tschernoseme mit mittlerem Humusgehalt im Oberboden und schwach humosen Unterboden charakterisieren (Abbildung 25).

Weiterhin wurden Sickerwasserproben an Messstellen auf Grünland des LFZ Raumberg-Gumpenstein entnommen. Im Rahmen des Mineraldüngerversuches Gumpenstein (N-P-K-Düngung) wurden im Zeitraum 2013 bis 2014 insgesamt neun Sickerwasserproben entnommen, im Zuge des parallel stattfindenden Wirtschaftsdüngerversuches (Gülle) im selben Zeitraum gleichfalls neun Sickerwasserproben.

In den untersuchten Sickerwässern der Messstellen des IKT (Lichtenwörth, in Summe 51 Analysen) lagen die Urangelhalte zwischen 2,2 und 4,6 µg/l, die Mediankonzentration beläuft sich auf 2,3 µg/l. In den Sickerwasserproben des Grünlanddüngerversuches in Gumpenstein war kein Uran nachweisbar. Drainagewässer von Flächen mit hohen Nährstoffgehalten (acht Analysen) enthielten bis zu 0,28 µg Uran/L, die Mediankonzentration beträgt 0,12 µg/l. Damit bewegen sich die Urankonzentrationen aller untersuchten Sickerwässer auf einem unauffälligen Niveau.

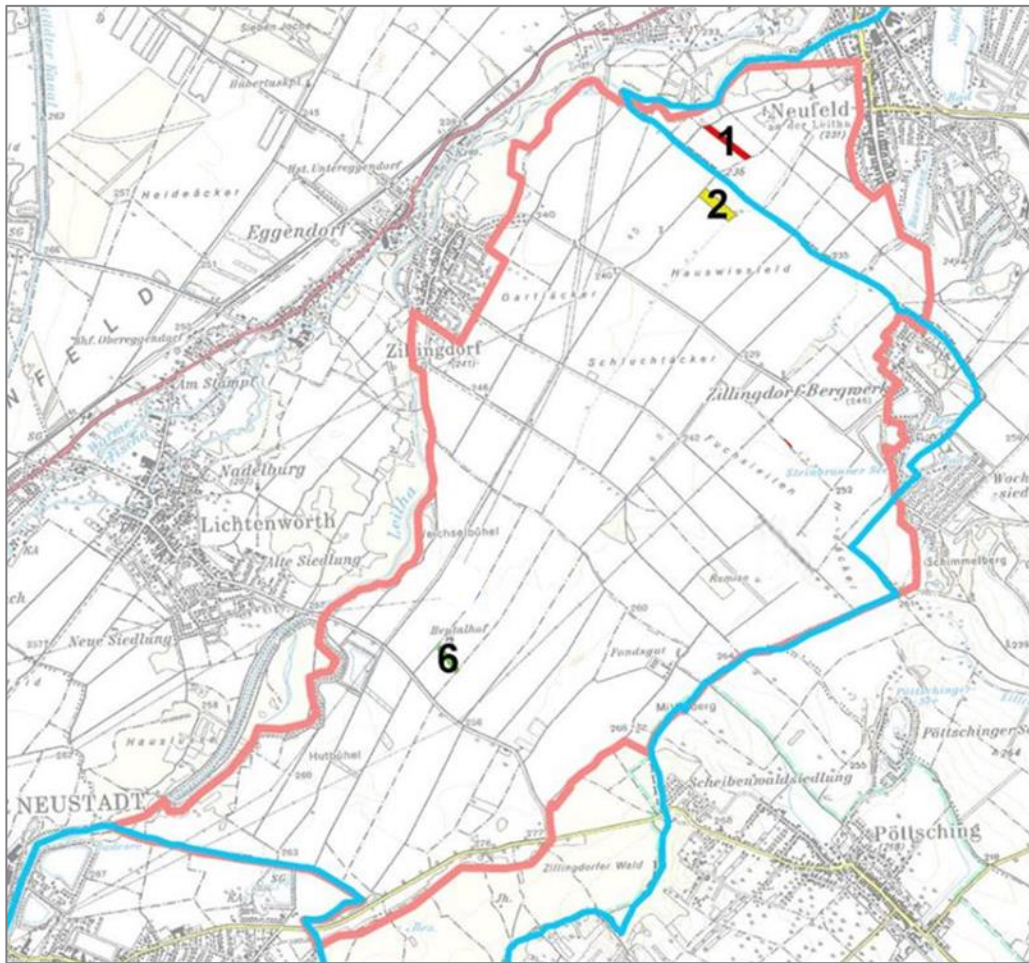


Abbildung 24: Beprobte Lysimeterstandorte (BAUMGARTEN et al. 2014).

Anmerkung: Die Bodenprofile der Standorte 1, 2 und 6 sind in Abbildung 25 ersichtlich.

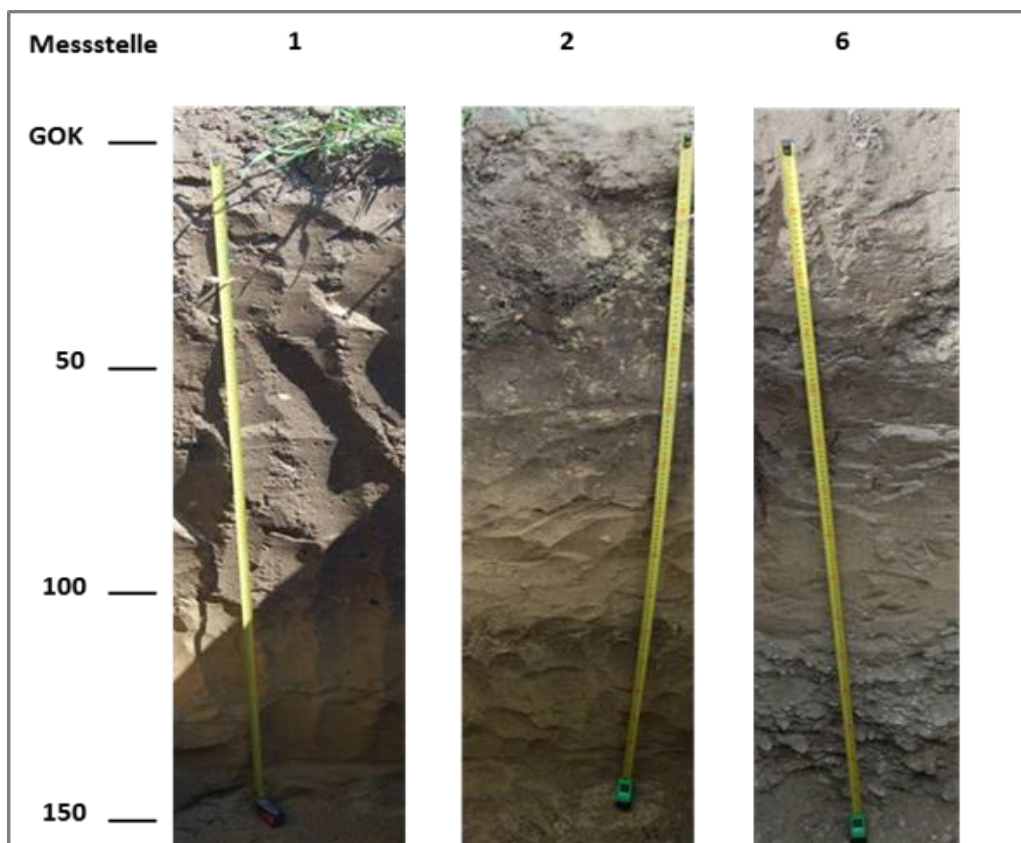


Abbildung 25: Bodenprofile der Lysimeterstandorte (BAUMGARTEN et al. 2014).

Anmerkung: Die Lage der Bodenprofile 1, 2 und 6 ist in Abbildung 24 ersichtlich.

4.4.7 MIKROLYSIMETER-VERSUCH

AM STANDORT LICHTENWÖRTH wurden Bodenproben aus vier verschiedenen Tiefen entnommen (20-27,5 cm; 60-67,5 cm; 90-97,5 cm und 130-137,5 cm) und daraus Mikrolysimeter mit je vier Replikaten je Tiefenstufe hergestellt (Abbildung 26). Die Mikrolysimeter wurden bis zur Erreichung eines konstanten Durchflusses mit deionisiertem Wasser beregnet. Anschließend erfolgte die flächige Applikation einer Uranlösung (Uranylнитrat) mit einer Aufbringungsmenge, die bei der Verwendung des Phosphordüngers mit dem höchsten Urangehalt (517,5 mg U/kg P_2O_5) und der Versorgungsstufe C (90 kg P_2O_5 /ha) entstehen würde. Nach Applikation der Uranlösung wurde die Beregnung unter denselben Bedingungen wie zuvor fortgesetzt. Seitdem wird wöchentlich der Durchfluss kontrolliert und eine Probe für die Urananalyse entnommen. Da bislang noch keine Durchbruchkurve für Uran festgestellt werden konnte, wird der Mikrolysimeterversuch bis Ende 2015 weiter fortgesetzt.

4.4.8 SONDIERUNG SEEWINKEL

DA INSBESONDERE DER SEEWINKEL von höheren Urangehalten im Grundwasser betroffen ist, wurden in diesem Gebiet umfangreiche Bodenuntersuchungen vorgenommen. Hierzu wurden Bodenproben auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit hohen Phosphatgehalten aus drei Tiefenstufen entnommen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) und hinsichtlich einer Reihe von Parametern analysiert (Schwermetalle, Nährstoffe, TOC, Humusgehalt etc.). Ein Gradient hinsichtlich der Urankonzentration war nicht feststellbar, in allen Tiefenstufen lagen ähnliche Gehalte vor.

Weitere Analysen – insbesondere im Bereich anmooriger Böden – sind derzeit in Bearbeitung. Eine Gesamtdarstellung der Bodenuntersuchungen im Seewinkel wird im Abschlussbericht des gegenwärtig noch

laufenden DaFNE-Forschungsprojektes „Verhalten von Uran aus phosphathaltigen Düngern im System Wasser-Boden-Pflanze“ publiziert werden.

4.4.9 FAZIT

MINERALISCHE DÜNGEMITTEL KÖNNEN bis zu 518 mg U/kg P₂O₅ enthalten. In anderen Düngemitteltypen konnten keine nennenswerten Urangelhalte nachgewiesen werden.

Eine Anreicherung von Uran im Oberboden konnte lediglich bei langjähriger, extrem überhöhter Phosphatdüngung nachgewiesen werden. Die Urangelhalte österreichweit untersuchter Oberböden landwirtschaftlich genutzter Flächen entsprachen denen unbelasteter Standorte. An den beprobten Praxisstandorten war kein Zusammenhang zwischen Phosphat- und Urangelhalten ersichtlich, auch eine Verlagerung von Uran in tiefere Bodenschichten konnte nicht festgestellt werden.

Sicker- und Drainwässer enthielten zum Teil geringe Urangelhalte. Es erfolgte keine Aufnahme von Uran in Feldfrüchte und Fruchtgemüse. Pflanzen enthielten sehr geringe Urankonzentrationen.

Untersuchungen im Seewinkel ergaben bislang weder Hinweise auf erhöhte Phosphatdüngung noch auf eine Verlagerung von Uran im Boden.

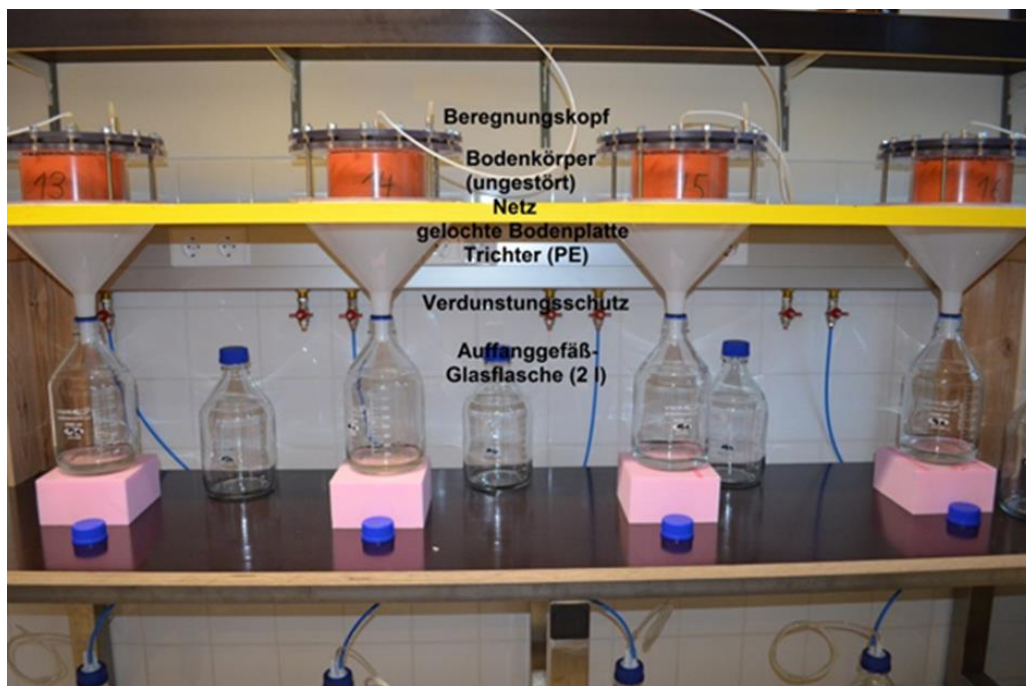


Abbildung 26: Mikrolysimeter (BAUMGARTEN et al. 2014).

5 SCHWERPUNKTREGION SEEWINKEL

WIE BEREITS EINGANGS ERWÄHNT, fokussieren die Erhebungen hinsichtlich Geologie, Hydrogeologie, Böden, Hydrochemie sowie messstellenspezifischer Kennwerte auf den Seewinkel, da für diesen Grundwasserkörper an elf von 24 Messstellen Urankonzentrationen über dem Parameterwert der Trinkwasserverordnung ermittelt wurden. Dies entspricht einem Drittel aller bundesweit beprobten Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g/l}$. Die übrigen, bundesweit verteilten Messstellen umfassen zum Teil auch Standorte, deren erhöhte Urankonzentrationen sich auf geogene Quellen zurückführen lassen. Die nachfolgenden messstellenbezogenen Auswertungen und Darstellungen umfassen ausschließlich die im Grundwasserkörper Seewinkel lokalisierten Messstellen mit Urankonzentrationen $> 15 \mu\text{g/l}$. Messstellen mit Urangelhalten unterhalb des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung sind nicht berücksichtigt.

5.1 GEOLOGISCHER UNTERGRUND

5.1.1 PETROGRAPHIE

GRUNDSÄTZLICH BILDEN QUARTÄRE KIESE mit Sanden als Nebenanteil den Aquifer des Seewinkels, die geologisch den jungpleistozänen Schotterfluren des südlichen Vorlandes der Parndorfer Platte entsprechen. Unter den jüngsten limnischen Seeschlamm-Ton Ablagerungen sind am Terrassenrandfuß zur Parndorfer Platte in der Senke von Gols zunächst holozäne bis pleistozäne deluviale Ablagerungen ausgebildet, gefolgt von fluviatilen Ablagerungen (Sand, Kies), teilweise mit äolischen Lößablagerungen aus dem oberen Pleistozän. Am meisten und geschlossen am weitesten verbreitet bis weit nach Ungarn hinein, sind mittelpleistozäne Schwemmfächerkiese mit Mächtigkeiten von 0 bis $> 15 \text{ m}$. Darunter liegen vermutlich durchwegs neogene, möglicherweise geschlossene Feinklastika des Pannon, die den Grundwasserstauer bilden (H₂O-FACHDATENBANK 2015).

Der morphologisch homogene Grundwasserkörper ist hydrogeologisch sehr inhomogen aufgebaut (REZABEK 1990). Aus den erhobenen Bohrprofilen, aber auch auf Grund der lokal stark voneinander abweichenden Ganglinienbilder, lässt sich die Inhomogenität innerhalb des quartären Grundwasserkörpers nachvollziehen.

In der nachfolgenden Tabelle sind den Bohrprofilen der Messstellen entnommene Angaben zur Lithologie im Filterbereich sowie zum relativen Grundwasserstauer zusammengestellt. Der relative Grundwasserstauer wird zumeist nicht erreicht. Die Mächtigkeit des quartären Sand-Kies-Körpers sowie die Tiefenlage der Staueroberkante variieren deutlich zwischen den Messstellen.

Tabelle 5: Auswertung der Bohrprofile der Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g/l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Teufe der Messstelle unter GOK (m)	Lithologie im Filterbereich der Messstelle	Relativer Grundwasserstauer
PG10002952	8,8	Sand, stark kiesig	nicht erreicht ($> 9 \text{ m}$)
PG10002962	7,8	Sand, vorwiegend stark kiesig	nicht erreicht ($> 7,8 \text{ m}$)
PG10002972	10,5	Sand, stark kiesig	nicht erreicht ($> 10,5 \text{ m}$)
PG10002982	8,5	Sand, stark fein- bis mittelkiesig	nicht erreicht ($> 8,5 \text{ m}$)
PG10003002	10,0	Sand, vorwiegend stark kiesig	nicht erreicht ($> 10,0 \text{ m}$)
PG10003012	9,0	Sand, stark fein- bis mittelkiesig	Schluff, leicht sandig (ab 8 m)

GZÜV-Nr.	Teufe der Messstelle unter GOK (m)	Lithologie im Filterbereich der Messstelle	Relativer Grundwasserstauer
PG10003072	9,5	Sand, leicht bis stark feinkiesig	nicht erreicht (> 9,5 m)
PG10003082	15	Fein- bis mittelkies, stark sandig; ab 10 m Fein- Mittelsand	nicht erreicht (ab 28,4 m Schluff, leicht sandig)
PG10003092	8,7	Sand, leicht bis stark kiesig	Schluff, leicht sandig (ab 7,7 m)
PG10003102	10,9	Sand, stark kiesig	nicht erreicht (> 11,0 m)
PG10003112	10,2	Sand, stark kiesig	Sand, stark schluffig, leicht feinkiesig (ab 9,2 m)

5.1.2 ROHSTOFFVORKOMMEN

IN DER METALLOGENETISCHEN KARTE von Österreich 1 : 500.000 (WEBER 1997) sind für das Gebiet des Seewinkels keinerlei Rohstoffvorkommen (d.h. Erzrohstoffe, Industriemineralien, Energierohstoffe) erfasst, die auf Uranvorkommen hindeuten würden.

5.1.3 RADIONUKLIDE IN BACHSEDIMENTEN

IN BACHSEDIMENTEN IST URAN vorwiegend an verwitterungsbeständige Schwerminerale gebunden (THALMANN et al. 1989). In der geologischen Themenkarte „Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000“ (BERKA et al. 2014) sind für das Gebiet des Seewinkels einige Daten für Uran-238 in Bachsedimenten enthalten (siehe Abbildung 27).

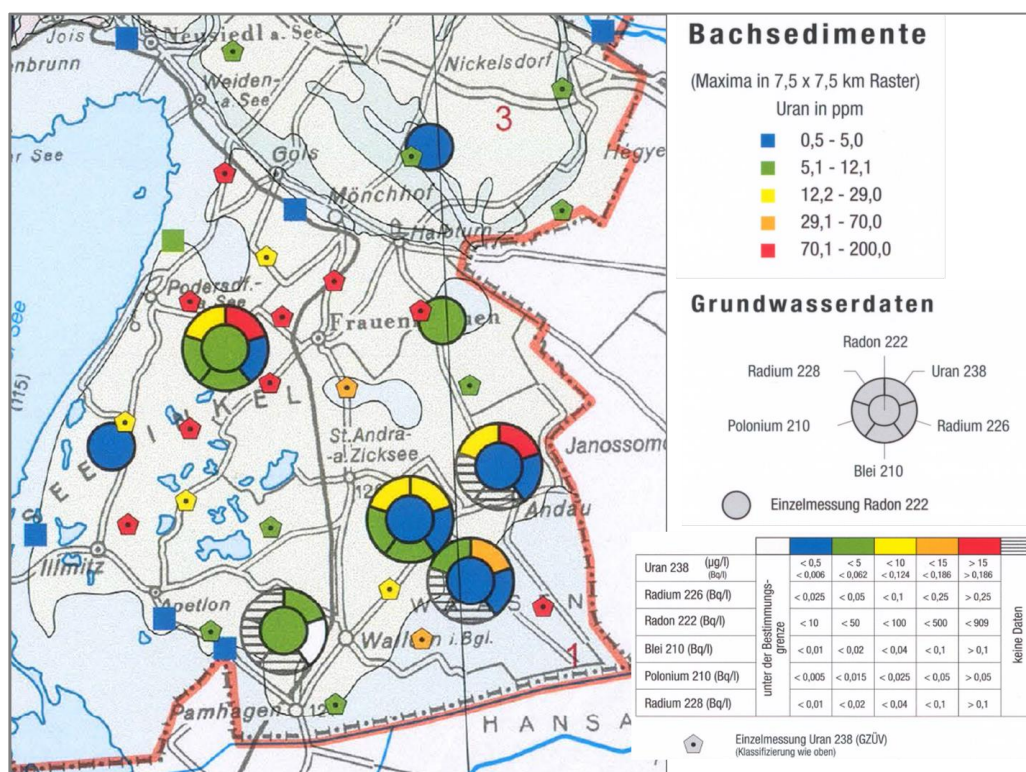


Abbildung 27: Radionuklide im Grundwasser des Seewinkels (Ausschnitt aus der geologischen Themenkarte „Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000“).

Für vier beprobte Standorte im Norden und Südwesten des Seewinkels wurden Urangelhalte < 5 ppm ermittelt. Ein Wert (nördlich von Podersdorf) fällt in die Klasse 5,0 – 12,1 ppm Uran. Diese wenigen Werte sind schwierig zu interpretieren, da neben der Herkunft des Ausgangsmaterials auch Faktoren wie Umlagerungen, physikalisch-chemische Prozesse etc. zu berücksichtigen sind (siehe auch Kapitel 4.2.3).

5.2 HYDROLOGIE

5.2.1 GRUNDWASSERFLURABSTAND

BASIEREND AUF DEN ABSTICHDATEN der GZÜV-Messstellen im 2. Quartal 2013 ist von einem Grundwasserflurabstand zwischen 2,0 und 5,4 m auszugehen (siehe Tabelle 6). Den mit 5,4 m größten Flurabstand weist die im Nordosten des Seewinkels gelegene Messstelle PG10003082 auf, die zugleich auch die tiefste der betrachteten Messstellen ist. Der Grundwasserstauer wird hier erst bei 28,4 m unter Gelände erreicht (siehe Tabelle 5). Insbesondere der seenahe Bereich weist sehr geringe Flurabstände auf, die einen äußerst starken Einfluss der Verdunstung auf das aus dem Zentralbereich des Seewinkels zuströmende Grundwasser bewirken.

Tabelle 6: Abstichdaten der Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Abstich (m)	Uran (µg/l)
PG10002952	2,2	65
PG10002962	2,0	34
PG10002972	4,3	31
PG10002982	2,8	16
PG10003002	3,0	40
PG10003012	3,3	20
PG10003072	4,2	16
PG10003082	5,4	18
PG10003092	4,2	17
PG10003102	3,9	16
PG10003112	3,1	31

Die Gegenüberstellung der Abstichwerte des 2. Quartals 2013 sowie der zeitgleich analysierten Urangelhalte der Messstellen zeigt keinen direkten Zusammenhang (Abbildung 28).

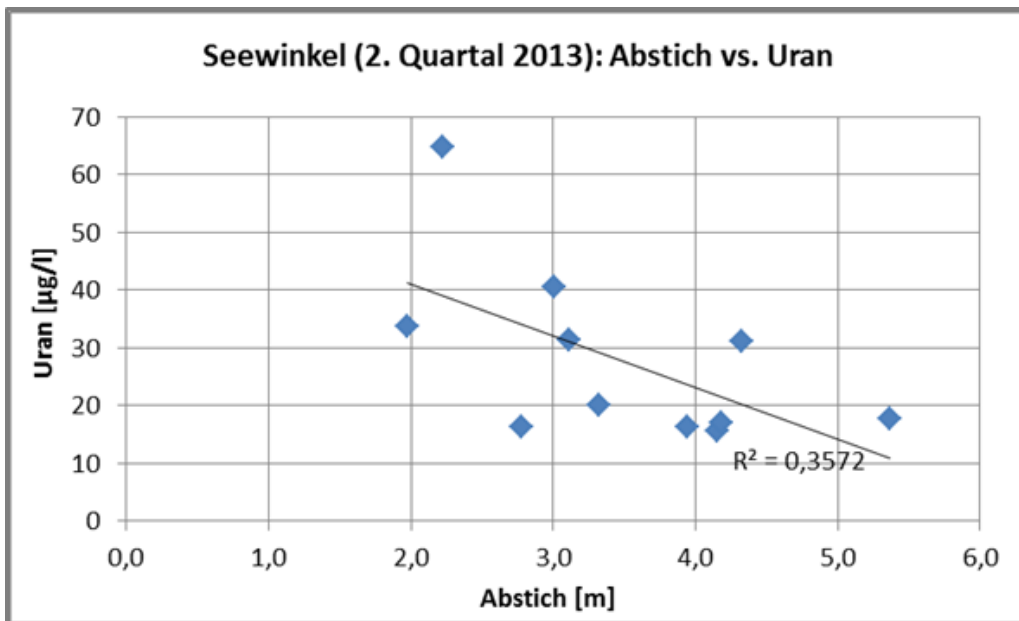


Abbildung 28: Abstiche der Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g/l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

5.2.2 NIEDERSCHLAG UND EVAPORATION

DIE LANGFRISTIGE MITTLERE JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME für das Gebiet des Grundwasserkörpers Seewinkel beträgt 538 mm mit einer Bandbreite von 493 bis 579 mm (H₂O-FACHDATENBANK 2015). Möglicherweise können die geringen Niederschlagsmengen aufgrund geringerer Verdünnungseffekte zu höheren Urankonzentrationen im Grundwasser beitragen, dieser Faktor ist jedoch keinesfalls allein ausschlaggebend und muss unter allen Umständen in Zusammenhang mit einer Vielzahl weiterer Standortbedingungen betrachtet werden.

5.2.3 GRUNDWASSERNEUBILDUNG

IN EINEM BEREICH von etwa 150-200 km² um Frauenkirchen beträgt die Grundwasserneubildung etwa 90 bis 150 mm/a, vorwiegend bedingt durch die Infiltration von Winterniederschlägen (HAAS et al. 1992). Zudem wird eine Dotation des quartären Seewinkelschotterkörpers aus dem Tertiär angenommen (REZABEK 1990). Eine Lokalisierung und Quantifizierung dieser Komponente war bislang nicht möglich.

5.2.4 GRUNDWASSERBILANZ

ÜBER EIN ZWISCHEN 1900 und 1960 gebautes System aus Kanälen und Drainagerohren wird Grundwasser aus dem Seewinkel abgezogen. Grundwasser exfiltriert in die zahlreichen Entwässerungskanäle des Hanság, für die der Einserkanal als Vorfluter fungiert, sowie in den Golser Kanal. In geringem Umfang wird auch der Podersdorfer Kanal durch Grundwasser dotiert (REITINGER & SCHMALFUSS 1993). In der Nähe des Einserkanals tritt in geringen Mengen Seewasser in den Grundwasserkörper über (DREHER 1986).

Die Wasserverluste durch die künstliche Entwässerung übertreffen im langjährigen Durchschnitt die Neubildungsrate. Ein engmaschiges System von Entwässerungsgräben leitet das Wasser in Richtung Einserkanal und damit letztlich zur Donau hin ab. Dies führte in vielen Bereichen zur Absenkung des Grundwasserspiegels. Mit gezielten Rückstaumaßnahmen wird im Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel versucht, die ehemals zumindest temporär überstauten Flächen wieder mit Wasser zu versorgen (BMLFUW 2014).

5.2.5 GRUNDWASSERABFLUSSRICHTUNG

AUSGEHEND VON EINEM BEREICH nahe Frauenkirchen erfolgt ein unterirdischer Zufluss praktisch in den ganzen Westen, Süden und Osten des Seewinkels (DREHER 1986). Der unterirdische Abfluss nach Westen in Richtung Neusiedlersee erfolgt in einem sehr geringen Ausmaß. Bedeutender ist die Grundwasserströmung in Richtung Süden und größtenteils nach Südosten zum Entwässerungssystem der Hanságkanäle (REITINGER & SCHMALFUSS 1993).

Allerdings kann nicht von einem zusammenhängenden Grundwasserkörper ausgegangen werden, sondern vielmehr von einem mosaikartigen System von Wasserkörpern geringer horizontaler und vertikaler Ausdehnung, die infolge stark schwankender Durchlässigkeiten auf komplizierte Weise miteinander zusammenhängen und kommunizieren und kaum Grundwasserbewegung aufweisen (BMLFUW 2014). Dies steht in einem scheinbaren Widerspruch zum regionalen Grundwasserschichtenplan, der eine gleichmäßige Grundwasserströmung zum Neusiedler See erwarten lässt (DREHER 1986).

Basierend auf Bohrungen, die im Rahmen der Studie „Wasserhaushalt Seewinkel“ (HAAS et al. 1992) abgeteuft wurden, sind in der folgenden Tabelle 7 hydrogeologische Angaben zu den Einzugsgebieten der Messstellen zusammengefasst. Durchlässigkeitsbeiwerte und Abstandsgeschwindigkeiten wurden anhand der Bohrprofile abgeschätzt.

Tabelle 7: Hydrogeologische Angaben zum Einzugsgebiet der Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Referenzbohrung	Teufe GW-Stauer unter GOK (m)	Beschreibung Grundwasserleiter	Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)	Abstandsgeschwindigkeit (m/d)
PG10002952	AN05 (N)	15	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), ca. 2 m Überdeckung durch nahezu undurchlässige Sedimente	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10002962	PO13 (NE)	29	durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff)	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10002972	SA05 (NW) SA06 (NW)	24 13	durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff)	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10002982	AN03 (NW)	20	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), ca. 3 m Überdeckung durch schwach durchlässiges Sediment	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003002	FR01 (NW)	10	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), ca. 1 m Überdeckung durch schwach durchlässiges Sediment	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003012	IL33(N)	10	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), ca. 2 m schwach	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1

GZÜV-Nr.	Referenzbohrung	Teufe GW-Stauer unter GOK (m)	Beschreibung Grundwasserleiter	Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)	Abstandsgeschwindigkeit (m/d)
			durchlässiger Horizont dem Stauer auflagernd		
PG10003072	NE09 (E)	10	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), ca. 3 m Überdeckung durch schwach durchlässiges Sediment	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003082	HA03 (N)	32	Vorwiegend durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff), oberflächennah 2 geringmächtige schwach durchlässige Horizonte	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003092	GO15 (E)	12	durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff)	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003102	FR05 (NE)	15	durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff)	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1
PG10003112	MÖ05 (NE)	13	durchlässiges Material (Kies + Sand, Kies + Schluff)	10^{-3} bis 10^{-4}	< 1

Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters variiert kleinräumig zwischen den verschiedenen Messstelleneinzugsgebieten. Die Bandbreite beläuft sich von knapp 10 m bis ca. 30 m. In allen Einzugsgebieten dominieren gut durchlässige Sedimente. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Mächtigkeit des Grundwasserkörpers im Einzugsgebiet der Messstelle und der Urankonzentration ist nicht ersichtlich.

5.3 BODEN

AUSGEWÄHLTE CHARAKTERISTIKA DER BÖDEN in den Einzugsgebieten der elf Messstellen des Seewinkels sind in Tabelle 8 angeführt (EBOD 2015). Bis auf eine Ausnahme lassen sich die Böden der Gruppe der Schwarzerden zuordnen. Tschernosem stellt den dominierenden Bodentyp dar. In Bereichen mit höherer Durchfeuchtung treten Feuchtschwarzerden in den Vordergrund. Einen weiteren Bodentyp aus der Gruppe der Schwarzerden stellen Paratschernoseme dar, die sich auf kalkfreiem feinem Lockermaterial entwickelt haben und eine gute Eignung als Weinbaustandorte aufweisen (LÖFFLER 1982).

Lediglich das Einzugsgebiet der Messstelle PG10002982 südöstlich von Andau befindet sich bereits im Hanság und umfasst dementsprechend vorwiegend Moor- und Anmoorböden mit einem sehr hohen Anteil organischer Substanz, die mäßig feuchte bis wechselfeuchte Verhältnisse aufweisen, während die Einzugsgebiete aller anderen Messstellen als vorwiegend trocken bis sehr trocken mit mittlerem Humusgehalt (d.h. 1,4 bis 4,0 % Humus; dominierend: Mull) beschrieben werden können. Der Kalkgehalt des Bodens variiert häufig kleinräumig zwischen schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig. Kalkfreie Böden bilden lediglich einen geringen Anteil in den Messstelleneinzugsgebieten.

Tabelle 8: Charakteristika der Böden im Einzugsgebiet der Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Bodentyp	Humusform	Humusgehalt
PG10002952	Tschernosem, Feuchtschwarzerde, Paratschernosem	Vorwiegend Mull, wenig Anmoormull	Vorwiegend mittelhumos
PG10002962	Tschernosem, Feuchtschwarzerde, Paratschernosem, etwas Niedermoor	Vorwiegend Mull, weniger Anmoormull und Anmoorhumus	Mittelhumos bis stark humos
PG10002972	Tschernosem, Feuchtschwarzerde, Paratschernosem	Vorwiegend Mull, weniger Anmoormull	mittelhumos
PG10002982	Anmoor, Niedermoor, Feuchtschwarzerde	Torf, Anmoorhumus, Mull	Stark humos bis mittelhumos, teilw. mehr als 30% (Masse) org. Substanz
PG10003002	Paratschernosem, Feuchtschwarzerde, Tschernosem	Vorwiegend Mull, wenig Anmoormull	Schwach humos bis mittelhumos
PG10003012	Tschernosem, Paratschernosem, Feuchtschwarzerde	Mull	Vorwiegend mittelhumos
PG10003072	Tschernosem, Feuchtschwarzerde, Paratschernosem	Mull	Mittelhumos bis stark humos
PG10003082	vorwiegend Paratschernosem	Mull	Schwach humos bis mittelhumos
PG10003092	Tschernosem, Feuchtschwarzerde	Mull	Mittelhumos bis stark humos
PG10003102	Tschernosem, Paratschernosem	Mull	Vorwiegend mittelhumos
PG10003112	Tschernosem, Feuchtschwarzerde, Paratschernosem	Mull, wenig Anmoormull	Mittelhumos
GZÜV-Nr.	Kalkgehalt	Bodenreaktion	Wasserverhältnisse
PG10002952	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig, kleinere Teile kalkfrei	Vorwiegend alkalisch, kleinere Teile neutral bis schwach sauer	Vorwiegend trocken bis mäßig trocken, kleiner Teil mäßig feucht
PG10002962	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig	Vorwiegend alkalisch	Trocken, in Lackennähe feucht bis nass

GZÜV-Nr.	Kalkgehalt	Bodenreaktion	Wasserverhältnisse
PG10002972	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig, teilw. kalkfrei	Vorwiegend alkalisch, teilw. schwach sauer bis sauer	Trocken bis mäßig trocken
PG10002982	mäßig kalkhaltig bis stark kalkhaltig, kleine Teile kalkfrei	Vorwiegend alkalisch, kleine Teile schwach sauer	Mäßig feucht bis wechsel-feucht
PG10003002	uneinheitlich: kalkfrei bis stark kalkhaltig	Schwach sauer bis sauer, alkalisch	Vorwiegend sehr trocken bis trocken, kleinere Bereiche gut versorgt
PG10003012	Überwiegend kalkarm bis kalkfrei, kleinere Bereiche schwach bis mäßig kalkhaltig	Vorwiegend alkalisch oder neutral, kleinere Teile sauer	Vorwiegend trocken bis mäßig trocken, kleinere Bereiche gut versorgt
PG10003072	Vorwiegend stark kalkhaltig, teilw. uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig	alkalisch	Trocken, teilw. gut versorgt
PG10003082	Überwiegend kalkfrei, kleinere Bereiche mäßig kalkhaltig	Vorwiegend schwach sauer bis sauer	sehr trocken bis trocken
PG10003092	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig	alkalisch	Vorwiegend trocken, kleinere Bereiche gut versorgt
PG10003102	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig, teilw. kalkfrei	Vorwiegend alkalisch, Teile schwach sauer bis sauer	Trocken bis sehr trocken
PG10003112	uneinheitlich: schwach kalkhaltig bis stark kalkhaltig, teilw. kalkfrei	Vorwiegend alkalisch	Vorwiegend trocken bis sehr trocken, kleine Bereiche gut versorgt

5.4 LANDNUTZUNG

DIE AUSWERTUNG ZUR LAGE der Messstellen hinsichtlich der Landnutzung erfolgte durch Verschneidung der Messstellenkoordinaten mit dem CORINE Landcover (Stand 2012) unter Einbeziehung eines Puffers von 100 m um jede Messstelle, um die Landnutzung in der näheren Umgebung berücksichtigen zu können, falls eine Messstelle im Randbereich einer CORINE-Klasse liegt. Fallen mehrere Nutzungsklassen in den Pufferbereich einer Messstelle, wurde die flächenmäßig dominierende Nutzungsart berücksichtigt. Die Auswertung ergab, dass alle elf Messstellen auf landwirtschaftlich genutzte Flächen entfallen, eine genauere Klassifizierung gemäß CORINE Landcover Level 3 ergänzt durch Angaben aus Orthophotos und Stammdatenblättern der Messstellen ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 9: Landnutzung im Umfeld der Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Vorwiegende Nutzung
PG10002952	Komplexe Parzellenstrukturen: Intensivkulturen (z.B. Gemüsebau), Weinbau
PG10002962	Wiesen und Weiden, Ackerland, Weinbau
PG10002972	Ackerland
PG10002982	Wiesen und Weiden (kaum Ackerland)
PG10003002	Ackerland
PG10003012	Weinbau
PG10003072	Ackerland, Wiesen und Weiden, Weinbau
PG10003082	Ackerland
PG10003092	Ackerland, Weinbau
PG10003102	Ackerland
PG10003112	Ackerland, Weinbau

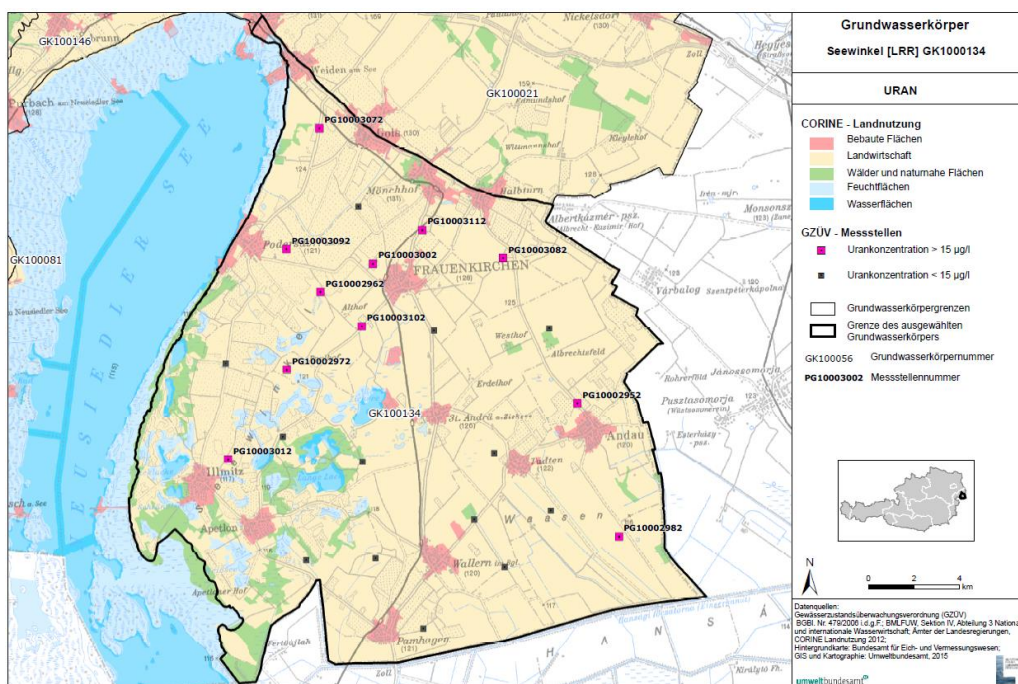


Abbildung 29: Landnutzung im Seewinkel (CORINE Landcover 2012).

Die Umgebung der Messstellen ist vorwiegend durch ackerbaulich genutzte Flächen und Weingärten geprägt. Lediglich die südöstlich von Andau im Hanság situierte Messstelle PG10002982 bildet eine Ausnahme. Aufgrund des (an)moorigen Untergrundes dominiert hier landwirtschaftliche Nutzung in Form von Wiesen und Weiden.

5.5 MESSSTELLENSPEZIFISCHE KENNWERTE

EINE ZUSAMMENSTELLUNG AUSGEWÄHLTER STAMMDATEN der Messstellen des Seewinkels mit Urankonzentrationen $> 15 \mu\text{g/l}$ wird in Tabelle 10 dargestellt. Bei allen Messstellen handelt es sich um Sonden mit Endteufen von knapp 8 m bis 15 m unter Geländeoberkante. Die Länge der Filterstrecken liegt mit einer Ausnahme zwischen 6 und 8 m. Lediglich die Messstelle PG10003082 im Nordosten des Seewinkels, die mit 15 m zugleich auch die größte Teufe aufweist, verfügt über eine 10 m lange Filterstrecke.

Tabelle 10: Ausgewählte Stammdaten der Messstellen mit Uragehalten $> 15 \mu\text{g/l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Art der Messstelle	Durchmesser der MST (mm)	Teufe der MST unter GOK (m)	Lage der Filterstrecke unter Geländeoberkante		Länge Filterstrecke (m)
				von (m)	bis (m)	
PG10002952	Sonde	125,0	8,8	1,8	7,8	6,0
PG10002962	Sonde	125,0	7,8	0,8	6,8	6,0
PG10002972	Sonde	125,0	10,5	2,5	9,5	7,0
PG10002982	Sonde	125,0	8,5	1,5	7,5	6,0
PG10003002	Sonde	125,0	10,0	2,0	9,0	7,0
PG10003012	Sonde	125,0	9,0	2,0	8,0	6,0
PG10003072	Sonde	125,0	9,5	2,5	8,5	6,0
PG10003082	Sonde	125,0	15,0	4,0	14,0	10,0
PG10003092	Sonde	125,0	8,7	1,7	7,7	6,0
PG10003102	Sonde	125,0	10,9	2,9	9,9	7,0
PG10003112	Sonde	125,0	10,2	1,2	9,2	8,0

Die Gegenüberstellung von Messstellentiefe und den im 2. Quartal 2013 ermittelten Uragehalten der Messstellen zeigt keinen Zusammenhang (Abbildung 30). Dies gilt auch für die Lage der Filteroberkante unter Gelände (Abbildung 31). Nahezu alle Messstellen weisen vergleichsweise ähnliche Teufen auf, die Urankonzentrationen variieren jedoch erheblich.

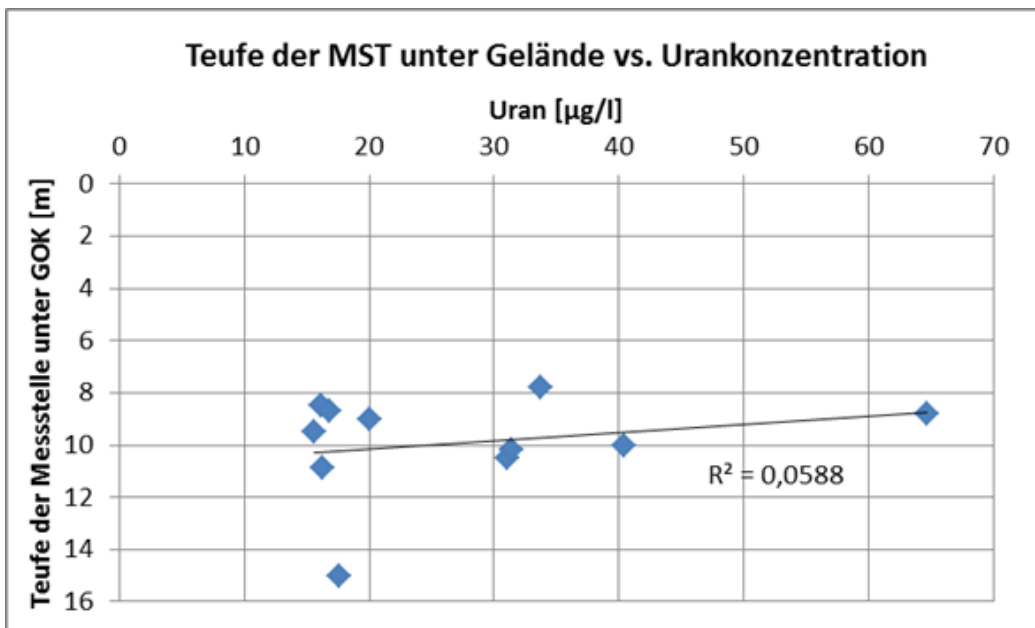


Abbildung 30: Teufe der Messstellen unter Gelände (Messstellen mit Uragehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel).

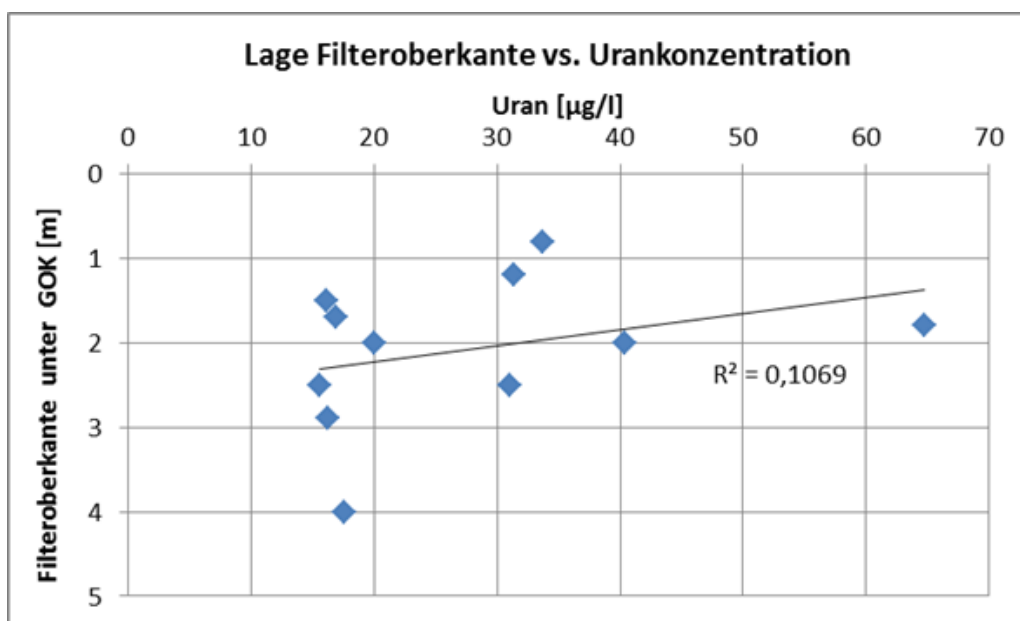


Abbildung 31: Lage der Filteroberkante unter Gelände (Messstellen mit Uragehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel).

5.6 HYDROCHEMISCHE PARAMETER

IN DIESEM KAPITEL ERFOLGT die Darstellung einer Reihe wesentlicher Parameter zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit für jene Messstellen des Seewinkels mit Urankonzentrationen über 15 µg/l. Die Daten wurden zeitgleich mit den Uragehalten im 2. Quartal 2013 erhoben und werden nachfolgend gemeinsam mit diesen graphisch dargestellt, um allfällige Zusammenhänge zwischen Uran und den ausgewählten hydrochemischen Parametern zu veranschaulichen.

5.6.1 MILIEUPARAMETER

DIE SPEZIIERUNG VON URAN und das damit verbundene Mobilitätsverhalten werden wesentlich durch den pH-Wert und das Redoxmilieu beeinflusst. Da Redoxmessungen im Rahmen der GZÜV nicht durchgeführt werden, wird stattdessen der Sauerstoffgehalt des Grundwassers als Annäherung zur Abschätzung des Gehaltes an freiem verfügbaren Sauerstoff herangezogen.

In Abbildung 32 ist ersichtlich, dass sich die pH-Werte des Grundwassers an jenen Messstellen des Seewinkels mit Urankonzentrationen $> 15 \mu\text{g/l}$ im 2. Quartal 2013 in einem sehr engen, schwach alkalischen Bereich bewegen (pH-Werte von 7,2 bzw. 7,3), eine offensichtliche Korrelation mit dem pH-Wert liegt nicht vor.

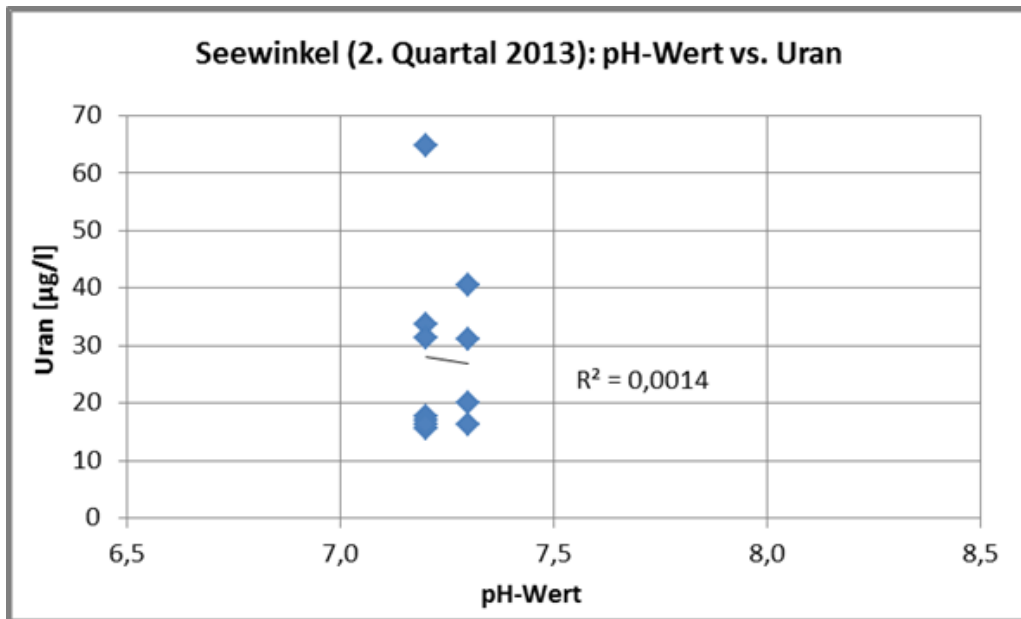


Abbildung 32: pH-Werte der Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g/l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

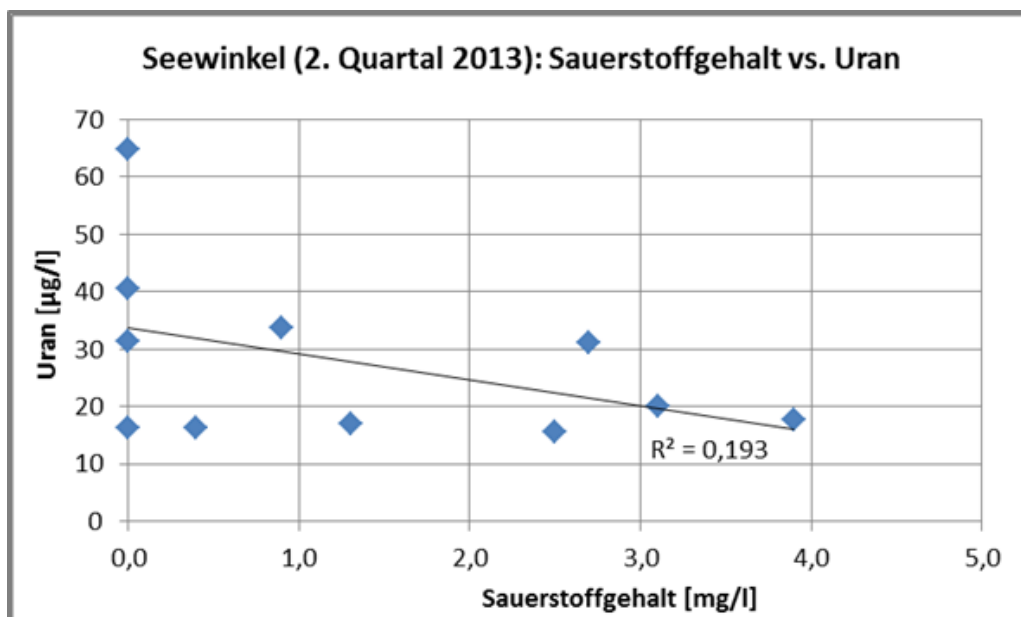


Abbildung 33: Sauerstoffgehalte der Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g/l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

Abbildung 33 illustriert, dass die Sauerstoffgehalte der Messstellen niedrig sind (< 4 mg/l), teilweise ist das Grundwasser (fast) sauerstofffrei (v.a. Messstellen im Hanság), ein einfacher Zusammenhang mit den ermittelten Urangelhalten lässt sich nicht ableiten. Tendenziell begünstigt ein reduzierendes Milieu die Immobilisierung von Uran aufgrund von Ausfällungen oder der Adsorption an organisches Material (ECHEVARRIA et al. 2001).

In Tabelle 11 sind für die Messstelle PG10002952 in der Umgebung von Andau, die im Jahr 2013 die höchste Urankonzentration aller Messstellen im Seewinkel aufwies, die Urankonzentrationen der Jahre 2009, 2013 und 2014 gemeinsam mit den zeitgleich ermittelten Daten für Sauerstoffgehalt und Abstich zusammengefasst.

Die seit Errichtung der Messstelle im Jahr 1996 erfassten Daten für Sauerstoffgehalt und Abstich sind graphisch in Abbildung 34 dargestellt. Zum Zeitpunkt der Beprobung war das Grundwasser jeweils praktisch sauerstofffrei. Für den Abstich sind vergleichsweise ähnliche Werte zu verzeichnen, der pH-Wert liegt im gesamten Zeitraum 1996 bis 2014 zwischen 7,0 und 7,4.

Die Urankonzentrationen der Jahre 2009 und 2013/2014 weichen andererseits sichtlich voneinander ab. Abbildung 34 verdeutlicht, dass in den Monaten vor der Beprobung jeweils andere Bedingungen als zum Zeitpunkt der Probenahme vorlagen. Ein damit einhergehender Einfluss auf die erhobenen Urankonzentrationen kann nicht ausgeschlossen werden.

Tabelle 11: PG10002952 - Urankonzentrationen in den Jahren 2009, 2013 und 2014.

Probenahmedatum	03.05.2009	02.07.2013	25.06.2014
Abstich [m]	2,08	2,22	2,78
Sauerstoffgehalt [mg/l]	0,2	0,0	0,3
Uran [µg/l]	22,1	64,7	63,0

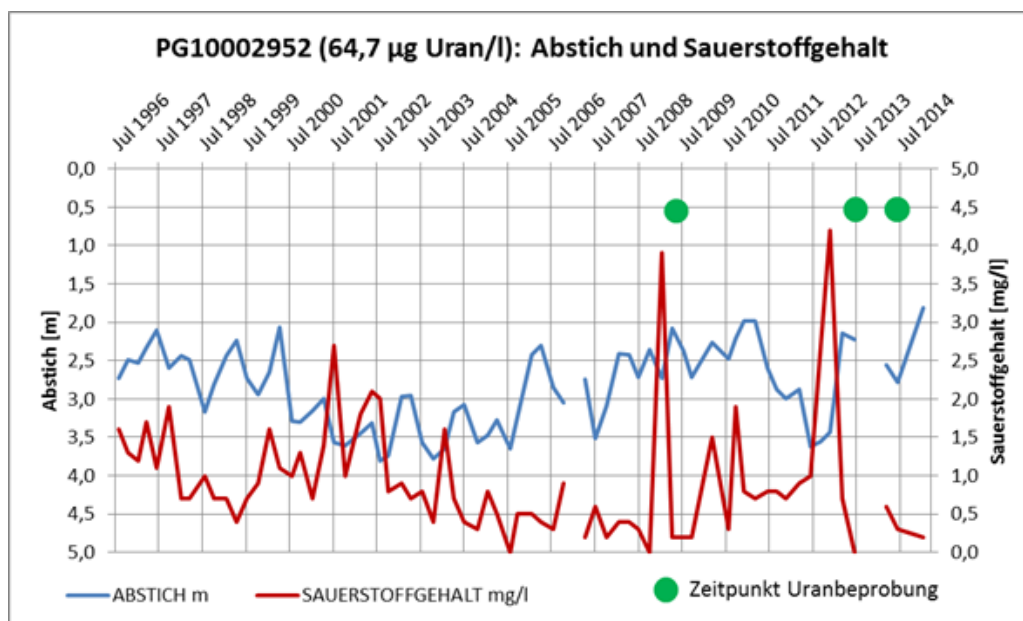


Abbildung 34: PG10002952 – Abstich, Sauerstoffgehalt und Zeitpunkte der Uranbeprobung.

5.6.2 SUMMENPARAMETER

DIE ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT an den elf Messstellen zeigt eine Bandbreite von ca. 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wobei die meisten Messstellen Werte im Bereich von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aufweisen (Abbildung 35). Die vergleichsweise hohe Gesamtmineralisation ist zum einen natürlich bedingt, zum anderen ist auch ein gewisser Beitrag aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung in den Einzugsgebieten der Messstellen in Betracht zu ziehen.

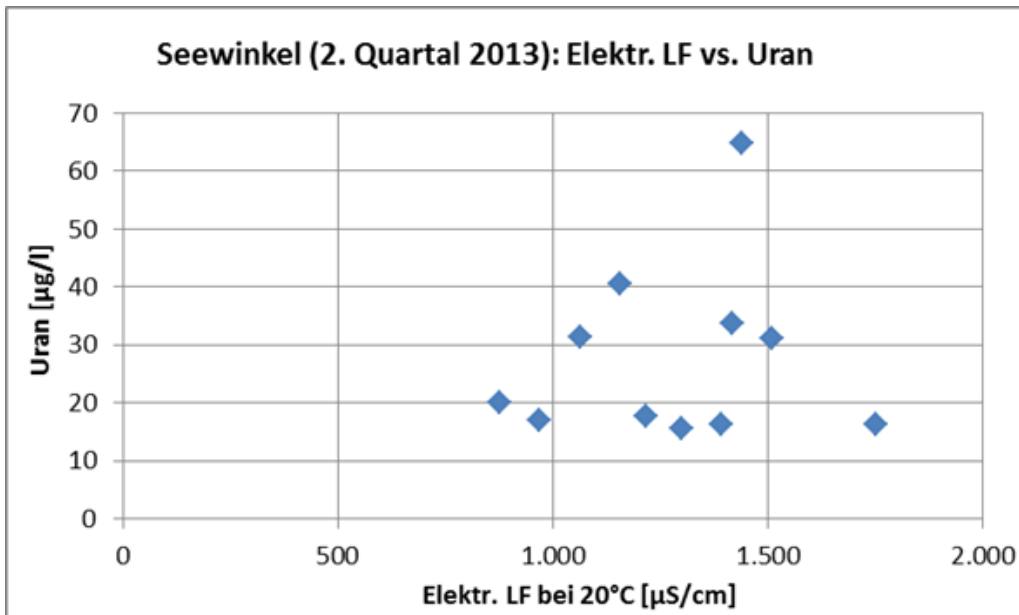


Abbildung 35: Elektrische Leitfähigkeit (bei 20°C) an den Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g}/\text{l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) streut an den Messstellen in einem Bereich zwischen 1,8 und 2,9 mg/l (Abbildung 36).

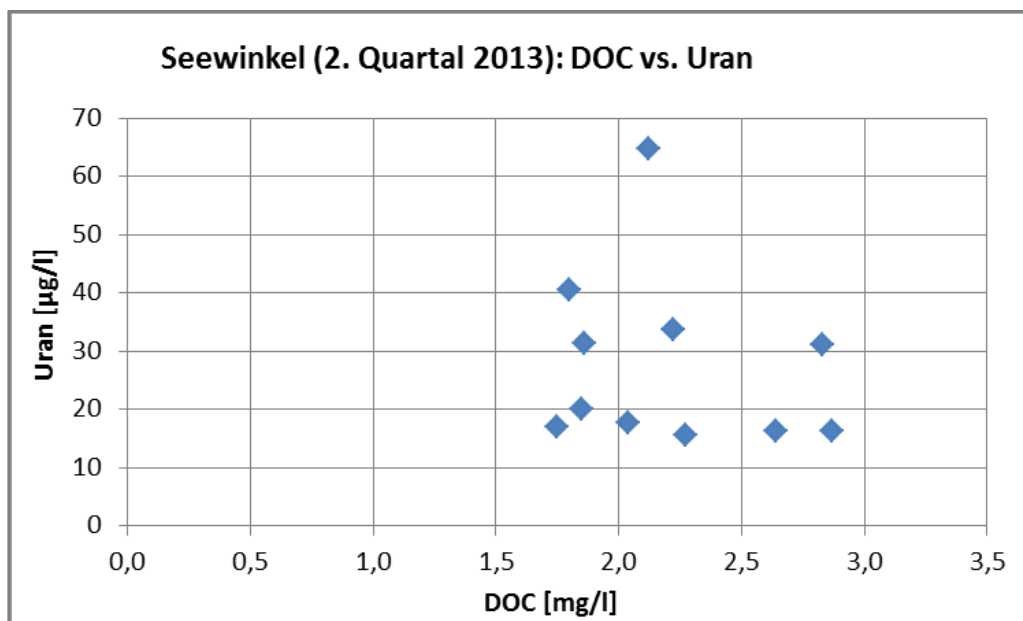


Abbildung 36: Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) an den Messstellen mit Urangelhalten $> 15 \mu\text{g}/\text{l}$ im Grundwasserkörper Seewinkel.

5.6.3 HAUPTINHALTSSTOFFE

DIE HYDROGENCARBONAT-KONZENTRATION an den elf Messstellen zeigt eine Bandbreite von ca. 340 mg/l bis 430 mg/l (Abbildung 37). Hydrogencarbonat stellt insofern einen bedeutsamen Parameter dar, als dass die Bindung von Uran in Form stabiler Uranyl-Carbonato-Komplexe (insbesondere Hydrogencarbonate) zu dessen Mobilisierung beiträgt.

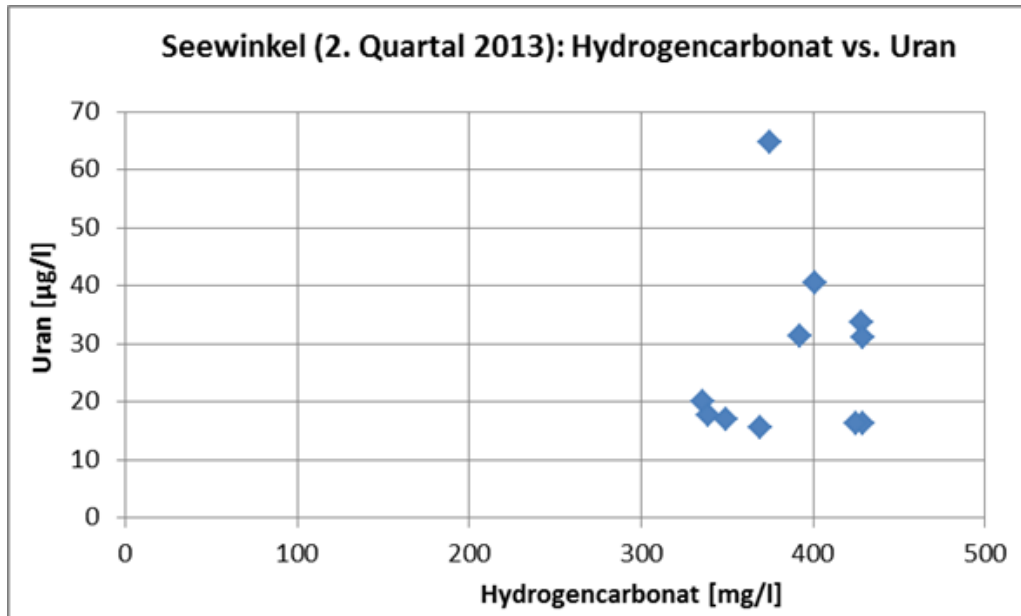


Abbildung 37: Hydrogencarbonatkonzentrationen an den Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Die Sulfatkonzentrationen im Grundwasser des Seewinkels sind bekanntermaßen natürlich bedingt häufig sehr hoch. Von den elf betrachteten Messstellen weisen nahezu alle Messstellen Werte > 225 mg/l (Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW) auf. Lediglich für drei Messstellen sind Sulfatgehalte etwas unterhalb von 225 mg/l zu verzeichnen (Abbildung 38).

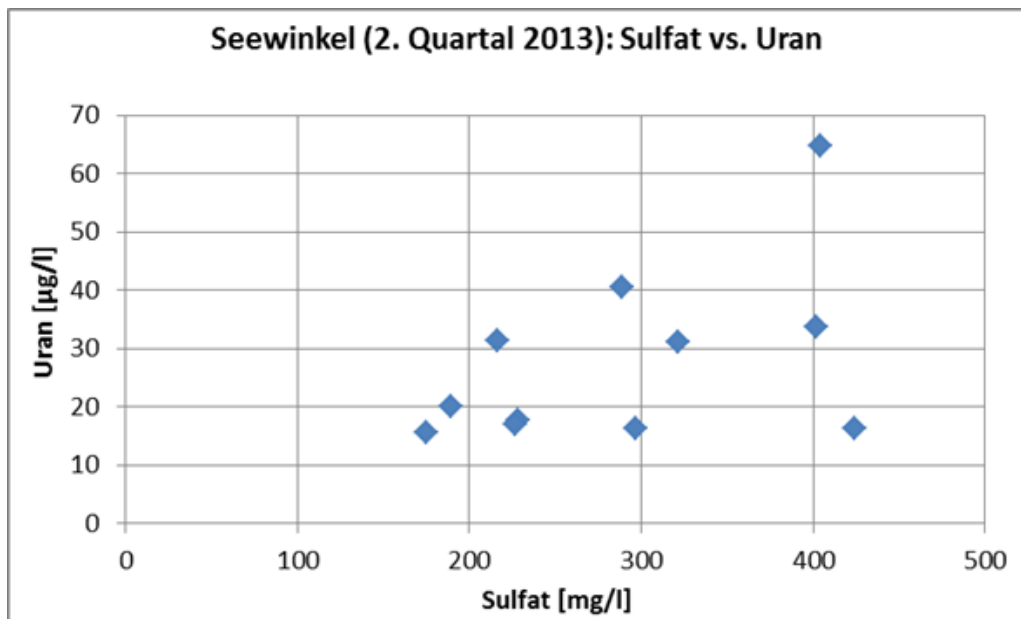


Abbildung 38: Sulfatkonzentrationen an den Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Sulfat kann beispielweise auch im Zuge der Oxidation von Pyrit (FeS_2) gebildet werden. Als Oxidationsmittel kann neben Sauerstoff beispielsweise auch Nitrat fungieren. Auf diesem Weg können neben geogen bedingt höheren Sulfatkonzentrationen auch Denitrifikationsprozesse - ausgelöst durch anthropogene Nitrateinträge - erhöhte Sulfatgehalte des Grundwassers bewirken.

Die Chloridkonzentrationen liegen zwischen 20 und 290 mg/l (Abbildung 39) und sind im Allgemeinen aufgrund der natürlichen Standortbedingungen des Seewinkels vergleichsweise hoch.

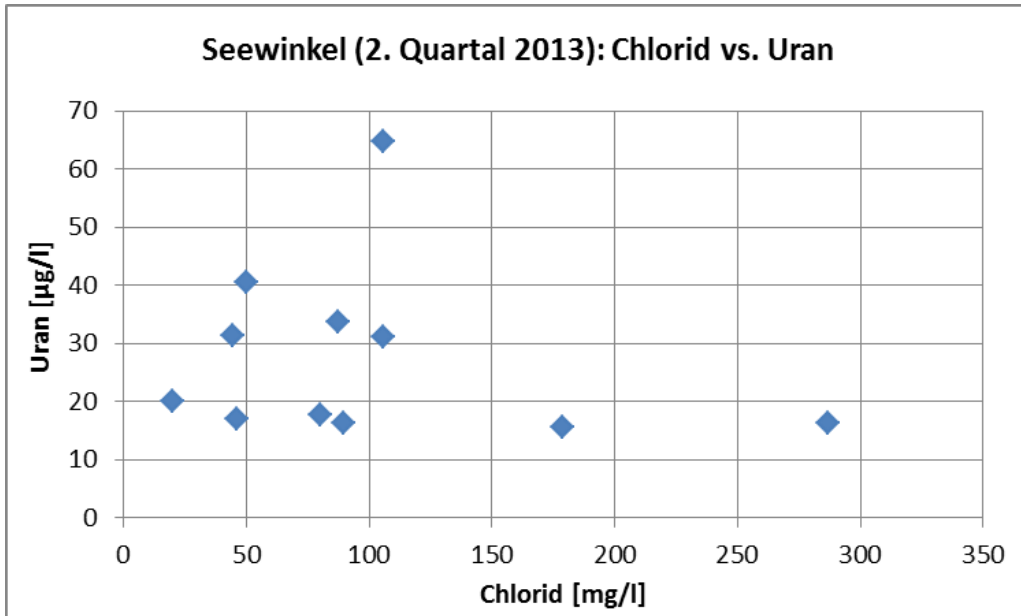


Abbildung 39: Chloridkonzentrationen an den Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

In Abbildung 40 ist ersichtlich, dass die Calciumkonzentrationen des Grundwassers an jenen Messstellen des Seewinkels mit Urankonzentrationen > 15 µg/l im 2. Quartal 2013 eine Bandbreite von rund 100 bis 200 mg/l aufweisen.

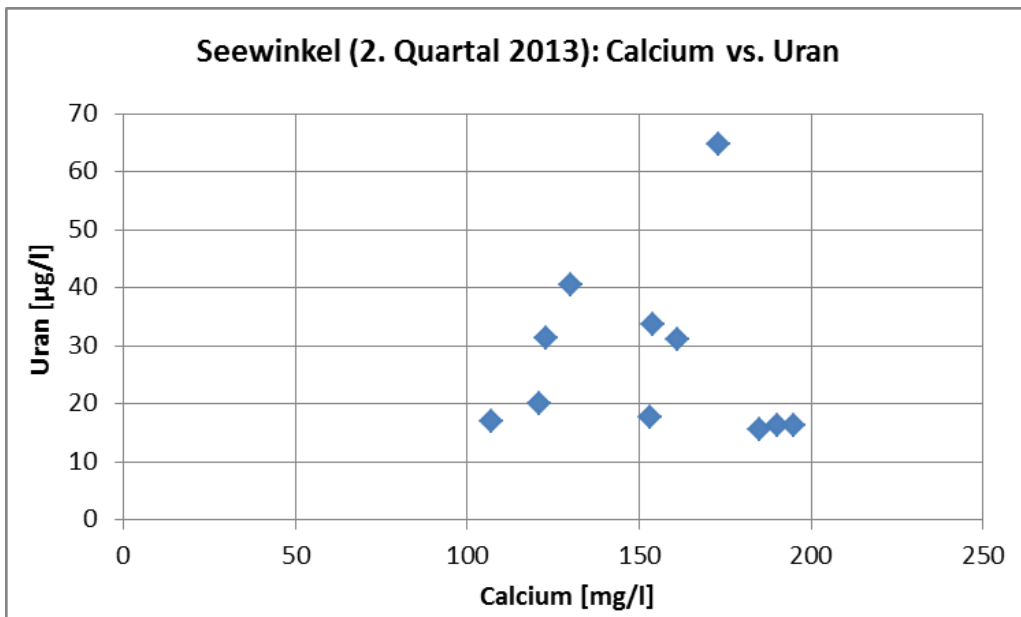


Abbildung 40: Calciumkonzentrationen an den Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

In Abbildung 41 ist ersichtlich, dass die Magnesiumkonzentrationen des Grundwassers an den elf Messstellen im 2. Quartal 2013 eine Bandbreite von ca. 40 bis knapp 80 mg/l aufweisen.

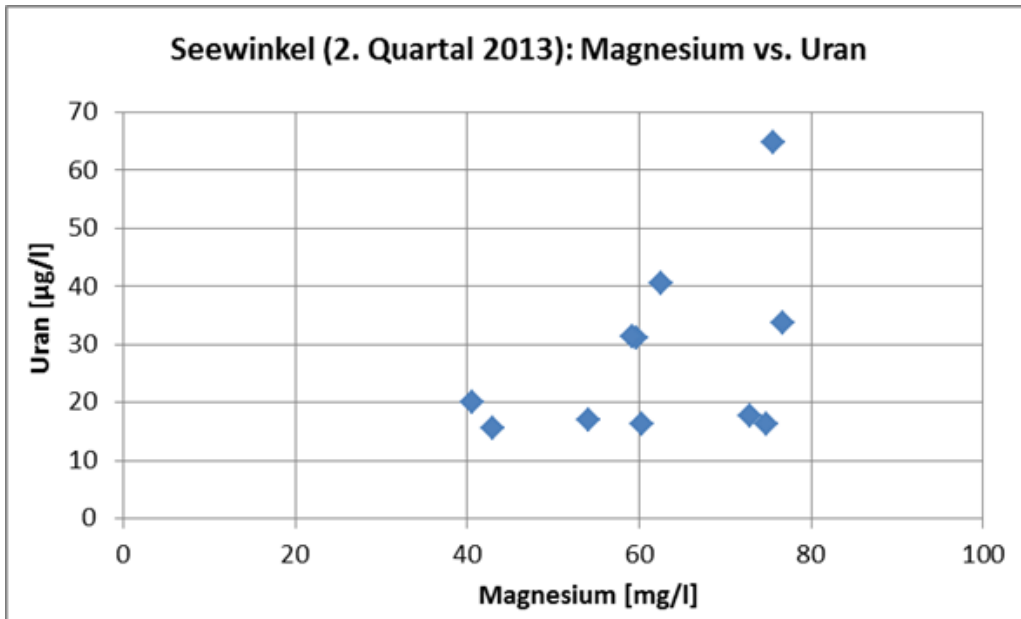


Abbildung 41: Magnesiumkonzentrationen an den Messstellen mit Urangehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Die Natriumkonzentrationen der Messstellen streuen enorm, die Bandbreite beträgt ca. 20 mg/l bis knapp 120 mg/l (Abbildung 44). Die insgesamt hohen, natürlich bedingten Natriumkonzentrationen sind an den speziellen Chemismus des Grundwassers im Seewinkel geknüpft.

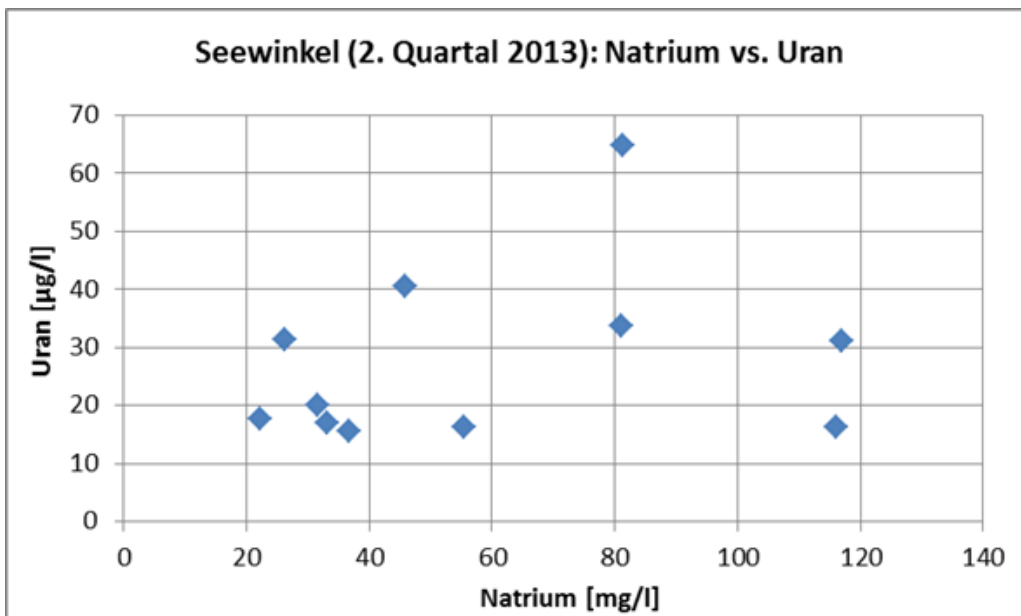


Abbildung 42: Natriumkonzentrationen an den Messstellen mit Urangehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Die Kaliumkonzentrationen (Abbildung 43) der betrachteten Messstellen liegen nahezu ausschließlich im Bereich von knapp 2 bis ca. 5 mg/l. Eine Ausnahme bildet PG10003112 nordöstlich von Frauenkirchen mit rund 11 mg Kalium/l.

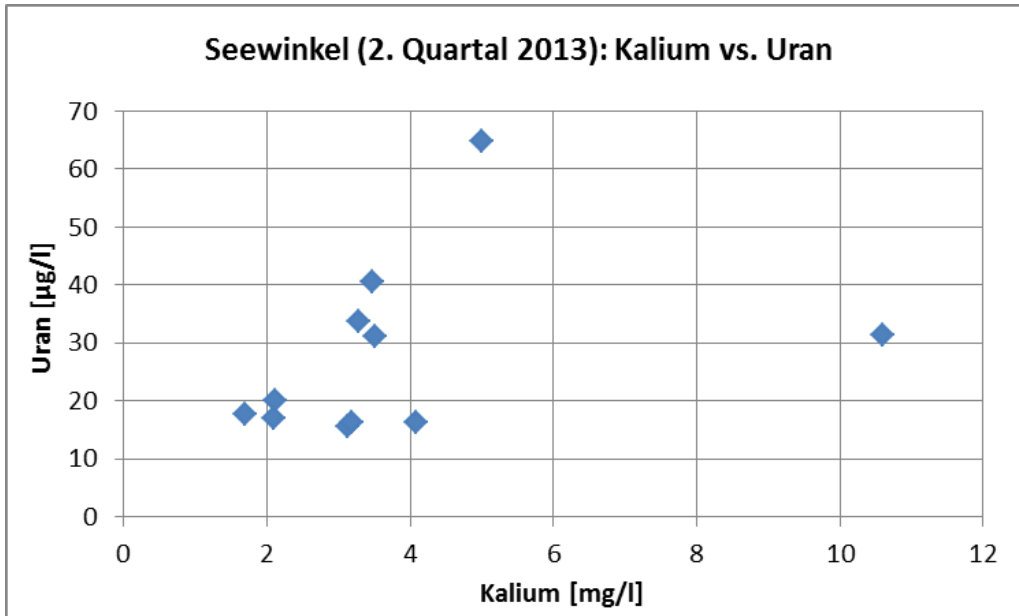


Abbildung 43: Kaliumkonzentrationen an den Messstellen mit Uragehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

5.6.4 NEBENINHALTSSTOFFE UND SPURENSTOFFE

OBWOHL DAS GRUNDWASSER der betrachteten Messstellen sauerstoffarm bzw. teilweise sauerstofffrei ist (siehe Abbildung 33), überschreiten die Nitratkonzentrationen großteils den Schwellenwert von 45 mg/l gemäß QZV Chemie GW, bedingt durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Seewinkels.

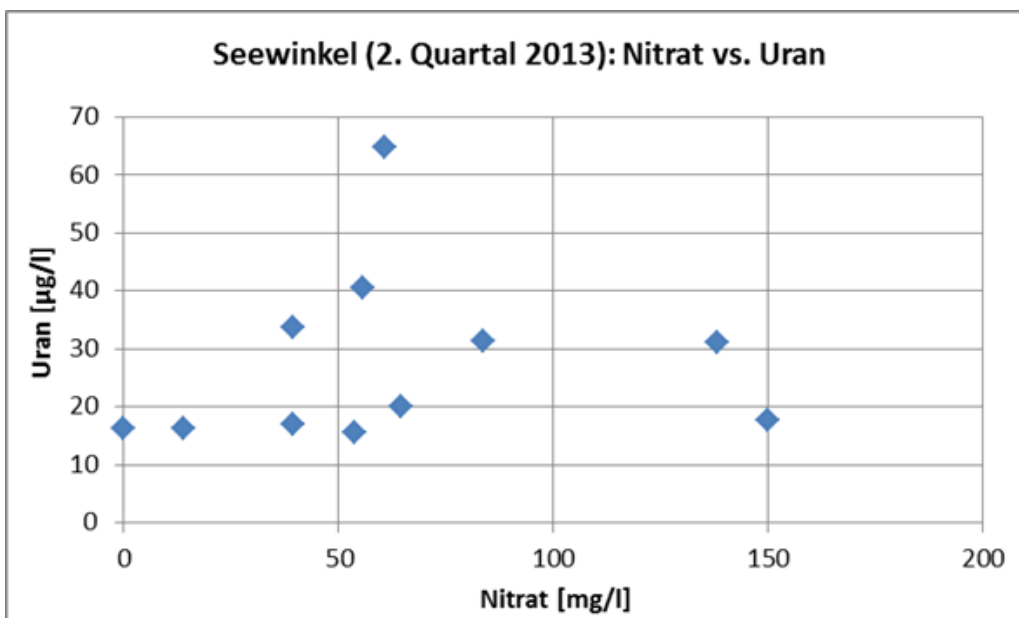


Abbildung 44: Nitratkonzentrationen an den Messstellen mit Uragehalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Mit Ausnahme zweier Messstellen war im 2. Quartal 2013 kein Ammonium quantifizierbar bzw. nachweisbar.

Die Orthophosphatkonzentrationen (Abbildung 45) der betrachteten Messstellen liegen mit Ausnahme einer Messstelle unter 0,05 mg/l. Eine Ausnahme bildet PG10003072 am Rande der Zitzmannsdorfer Wiesen westlich von Gols mit rund 0,5 mg/l.

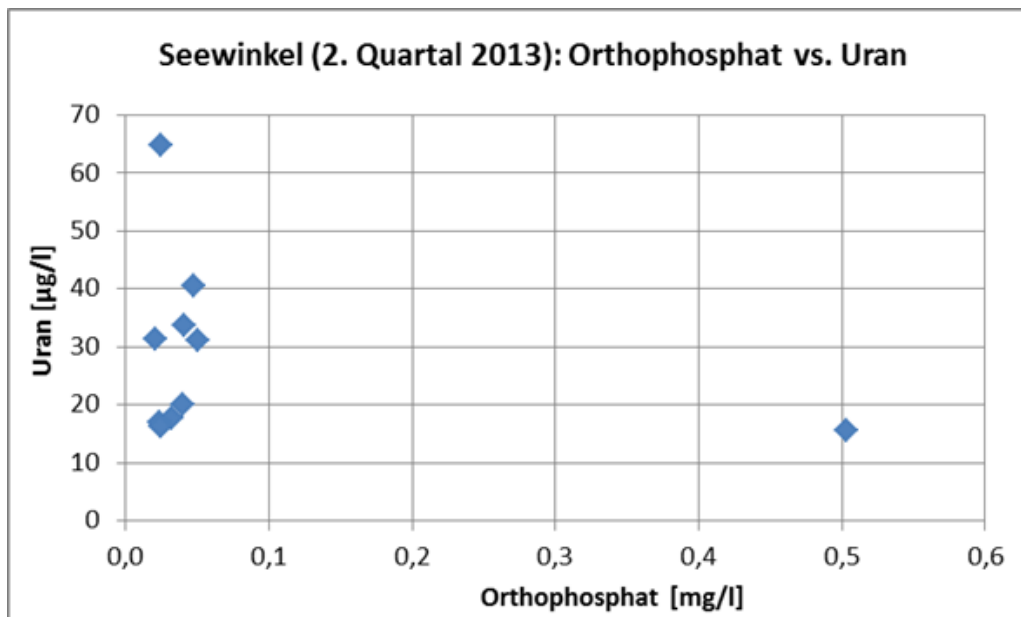


Abbildung 45: Orthophosphatkonzentrationen an den Messstellen mit Urangelhalten > 15 µg/l im Grundwasserkörper Seewinkel.

Hinsichtlich Bor wurden im 2.Quartal 2013 für die elf betroffenen Messstellen Konzentrationen von $\leq 0,1$ mg/l ermittelt.

Die im Rahmen der GZÜV untersuchten Metalle weisen im Grundwasser der Messstellen oftmals Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf. Lediglich für Eisen, Mangan, Kupfer und Zink lagen im 2. Quartal 2013 etliche quantifizierbare Konzentrationen je Element vor.

Nahezu alle Messstellen weisen sehr geringe Eisengehalte auf, die maximale Konzentration beträgt 0,05 mg/l. Eine Ausnahme stellt die südöstlich von Andau im Hanság gelegene Messstelle PG10002982 dar, die mit 4,3 mg/l bzw. 0,3 mg/l die mit Abstand höchste Eisen- bzw. Mangankonzentration aller Messstellen aufweist. Zudem war für Arsen eine Konzentration von 15 µg/l zu verzeichnen. Aufgrund der natürlichen Standortbedingungen im Hanság können diese hohen Konzentrationen verschiedener Metalle geogenen Quellen zugeordnet werden.

Kupfer und Zink konnten an fast allen Messstellen im 2.Quartal 2013 bestimmt werden. Aluminium, Chromgesamt, Nickel und Arsen konnten an jeweils maximal drei Messstellen bestimmt werden. Cadmium, Blei und Quecksilber konnten an keiner Messstelle quantifiziert werden. Ein Zusammenhang mit den Urankonzentrationen ist nicht ersichtlich.

5.7 RADIONUKLIDE

IN DER GEOLOGISCHEN THEMENKARTE „Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000“ (BERKA et al. 2014) sind für das Gebiet des Seewinkels etliche Daten für Uran-238 (zusätzlich zu den Urandaten der GZÜV 2013) sowie einige Radionuklide der Uran-Zerfallsreihe im Grundwasser enthalten (siehe Abbildung 46).

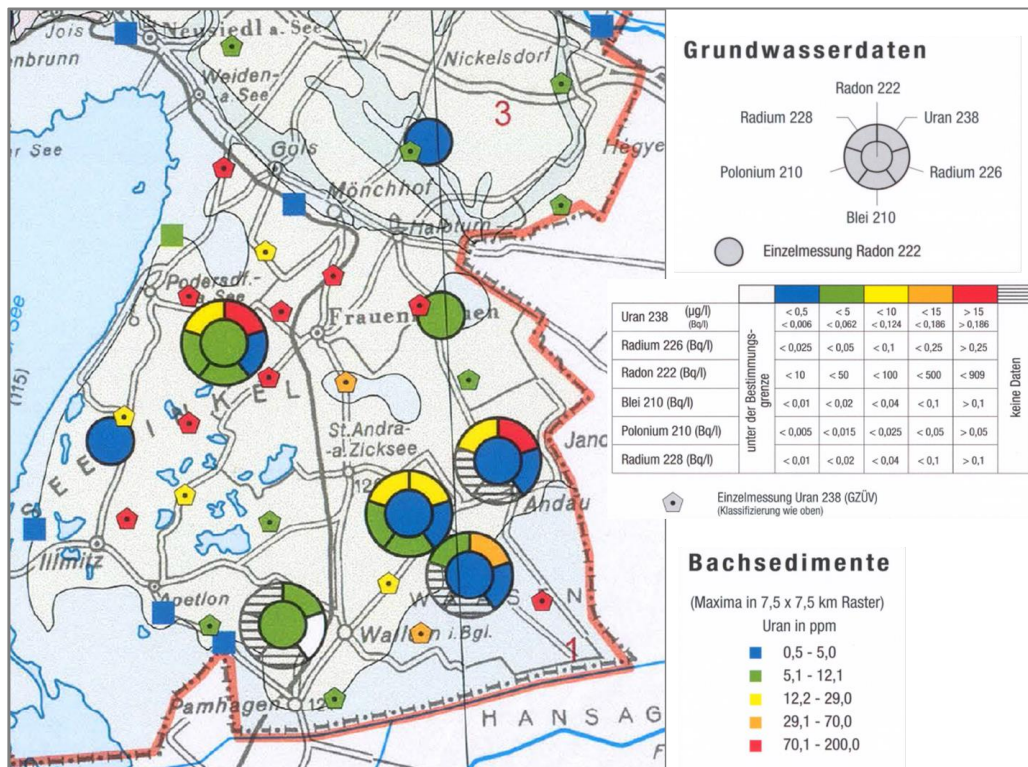


Abbildung 46: Radionuklide im Grundwasser des Seewinkels (Ausschnitt aus der geologischen Themenkarte „Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000“).

Hinsichtlich der außerhalb des Rahmens der GZÜV erhobenen Daten ist der niedrigste Urangelalt ($< 5 \mu\text{g/l}$) für eine Messung im Südwesten des Seewinkels zu verzeichnen, deren Urangelalt im Einklang mit drei GZÜV-Messungen im selben Bereich steht. Die vier anderen Messungen zeigen höhere Urangelalte, zum Teil über dem Parameterwert der Trinkwasserverordnung ($15 \mu\text{g U/l}$). Diese höheren Urangelalte gehen teilweise mit etwas höheren Radium-228-Gehalten einher, wobei Radium-228 nicht aus der Uran-238-Zerfallsreihe, sondern aus der Thorium-Zerfallsreihe stammt. Für die analysierten Radionuklide aus der Uran-Zerfallsreihe (Radium-226, Radon-222, Blei-210 und Polonium-210) sind durchweg geringe Gehalte zu verzeichnen.

5.8 TIEFENGRUNDWASSER

IM MÄRZ 2015 WURDEN seitens Geologischen Bundesanstalt im Seewinkel die St. Bartholomäusquelle in Illmitz (ehemaliger Arteser, jetzt Pumpbetrieb) sowie ein artesischer Brunnen in Sandeck (südwestlich von Illmitz) untersucht. Im Wasser der St. Bartholomäusquelle konnte kein Uran nachgewiesen werden, im Arteser Sandeck lag die Urankonzentration bei $3,8 \mu\text{g/l}$ (siehe Kapitel 4.1 und Tabelle 3). Dies ist insofern von Bedeutung, als dass aufsteigende Tiefen Grundwässer den quartären Grundwasserkörper dotieren könnten.

5.9 URANMESSUNGEN 2014

ZUR VERIFIZIERUNG DER IM RAHMEN der GZÜV im Jahr 2013 erhobenen Urangelalte wurden jene Messstellen, an denen Urankonzentrationen von mindestens $5 \mu\text{g/l}$ ermittelt wurden, im 2. Quartal 2014 nochmals untersucht. Für alle Messstellen des Seewinkels mit Konzentrationen $> 15 \mu\text{g/l}$ konnten die Urangelalte des Vorjahres bestätigt werden, für PG10003072 wurde 2014 ein sichtlich höherer Urangelalt ermittelt.

Tabelle 12: Urankonzentrationen der Jahre 2013 und 2014 im Grundwasserkörper Seewinkel.

GZÜV-Nr.	Uran (µg/l) (2. Quartal 2013)	Uran (µg/l) (2. Quartal 2014)
PG10002952	65	63
PG10002962	34	28
PG10002972	31	25
PG10002982	16	10
PG10003002	40	36
PG10003012	20	20
PG10003072	16	30
PG10003082	18	16
PG10003092	17	14
PG10003102	16	21
PG10003112	31	29

Anmerkung:

Die Tabelle beinhaltet ausschließlich jene Messstellen, die im Jahr 2013 Urankonzentrationen über 15 µg/l aufwiesen.

6 DISKUSSION

EINLEITEND WURDEN EINIGE HYPOTHESEN zur Herkunft des Urans im Grundwasser aufgestellt, die nachfolgend anhand der Ergebnisse des Erfahrungsaustausches zu Uran im Grundwasser (im Juni 2015 im Umweltbundesamt) sowie der speziell auf den Seewinkel fokussierten Datenerhebungen diskutiert werden.

Tiefengrundwasser

Die Existenz aszendierender bzw. aufsteigender Tiefengrundwässer im Seewinkel, die den quartären ersten Grundwasserhorizont bzw. Aquifer dotieren, wird in der Literatur erwähnt. In zwei von der Geologischen Bundesanstalt auf Uran analysierten Tiefengrundwässern des Seewinkels war nur wenig Uran vorhanden (ca. 3,8 µg/l bzw. nicht nachweisbar). Des Weiteren konnte im Rahmen des Projektes Grundwasseralter (BMLFUW 2014) kein Hinweis auf einen Tiefengrundwassereinfluss im Bereich der untersuchten GZÜV-Messstellen festgestellt werden. Somit gibt es bislang keinen Anhaltspunkt, dass Uran über Grundwasser tiefer liegender Aquifere in nennenswerter Konzentration in das oberflächennahe Grundwasser eingetragen würde. Dennoch wird vorgeschlagen, weitere Arteser auf gelöstes Uran und ihre Beziehung zum obersten Grundwasserstockwerk gezielt zu untersuchen.

Geologischer Untergrund

Sowohl der tertiäre Untergrund des Seewinkels als auch der oberflächennahe Aquifer des Seewinkels sind vorwiegend nur generell petrographisch und stratigraphisch, nicht aber mineralogisch charakterisiert. Der sandig-kiesige Aufbau des quartären Grundwasserleiters ist bei allen Messstelleneinzugsgebieten in etwa vergleichbar. Die Mächtigkeit des Aquifers variiert relativ kleinräumig zwischen ca. 10 und 30 m. Die Grundwasserflurabstände der elf Messstellen liegen zwischen 2,0 und 5,4 m. Eine Abhängigkeit der Urankonzentrationen vom jeweiligen Flurabstand lässt sich auf Basis der gegenwärtig verfügbaren Daten nicht ableiten.

Gesteinsanalysen im Hinblick auf Uran liegen für die oberflächennahen Schichten nicht vor, ebenso fehlen mineralogische Untersuchungen, insbesondere der Schwermineralfraktion und organischer Komponenten. Damit ist eine direkte Zuordnung des Untergrundes als rein natürliche Quellursache für die erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser derzeit auch nicht möglich.

Grundwasserbeschaffenheit

Eine Vielzahl im 2. Quartal 2013 erhobener hydrochemischer Parameter wurde hinsichtlich möglicher Korrelationen mit den zeitgleich ermittelten Urangelhalten ausgewertet. Die beiden maßgeblichen Milieuparameter pH-Wert und Sauerstoffgehalt sind für alle Messstellen relativ ähnlich. Die pH-Werte liegen bei 7,2 bzw. 7,3. Die Sauerstoffgehalte sind gering (< 4 mg/l), an einigen Messstellen ist das Grundwasser praktisch sauerstofffrei. Eine Abhängigkeit der Urangelhalte von den Milieuparametern ließ sich nicht ableiten. Dies trifft auch auf die ausgewerteten Hauptionen, Metalle und weitere Inhaltsstoffe des Grundwassers zu. Auffällig ist, dass für den Großteil der Messstellen trotz nitratreduzierender Bedingungen Nitratkonzentrationen bis zu 150 mg/l zu verzeichnen sind.

Im Rahmen der Arbeiten zur Radionuklidkarte (BERKA et al. 2014) wurde festgestellt, dass Radon-222 das einzige Radionuklid war, dessen Konzentration im Grundwasser mit dem Urangelhalt des Untergrundes deutlich korreliert. Dementsprechend kann Radon-222 als Indikator für erhöhte Urangelhalte im Gestein bzw. Sediment berücksichtigt werden, auch wenn Gesteinsanalysen fehlen. Die Diskrepanz zwischen hohen Urankonzentrationen im Grundwasser des Seewinkels einerseits und niedrigen Gehalten ausgewählter Zerfallsprodukte des Urans (u.a. auch Radon-222) andererseits ist bemerkenswert und bedarf weiterführender Untersuchungen.

Ausbau der Messstellen

Bei den von hohen Urangelhalten im Grundwasser betroffenen Messstellen lässt sich weder mit der Endteufe noch mit der Filtertiefe ein Zusammenhang erkennen. Insgesamt können alle Messstellen als tendenziell seicht bezeichnet werden, die mit Abstand größte Endteufe beläuft sich auf 15 m unter Gelände. Ein Zu-

sammenhang zwischen dem ermittelten weiten Spektrum an Urankonzentrationen im Grundwasser und der Entnahmetiefe lässt sich demnach nicht ableiten.

Der Vergleich mit den in diesem Bericht nicht betrachteten 13 Messstellen des Seewinkels mit geringeren Urankonzentrationen (d.h. $< 15 \mu\text{g/l}$) zeigt zudem, dass hinsichtlich Teufe der Messstellen und Länge bzw. Lage der Filterstrecken keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Messstellen mit Urankonzentrationen unter und über dem Parameterwert der Trinkwasserverordnung bestehen.

Da alle Messstellen des Grundwasserkörpers Seewinkel in den Jahren 1995-1996 errichtet wurden, sollten auch nennenswerte Einflüsse aufgrund unterschiedlich fortgeschrittener Alterungsprozesse der Messstellen weitgehend ausgeschlossen sein.

Boden und Einsatz mineralischer Düngemittel

Die Einzugsgebiete aller Messstellen werden landwirtschaftlich genutzt, es dominieren ackerbaulich genutzte Flächen und Weingärten auf Schwarzerden mit überwiegend mittlerem Humusgehalt. In Abhängigkeit von Wasserverhältnissen und Ausgangsmaterial liegt in nahezu allen Einzugsgebieten ein Mosaik aus Tschernosem, Feuchtschwarzerde und Paraschwarzerde vor. Lediglich die südöstlich von Andau im Hanság situierte Messstelle PG10002982 bildet eine Ausnahme. Aufgrund des (an)moorigen Untergrundes wird das Einzugsgebiet durch landwirtschaftliche Nutzung in Form von Wiesen und Weiden geprägt. Der Gehalt des Bodens an organischer Substanz ist entsprechend hoch.

Die bislang im Rahmen des DaFNE-Projektes 100960 „Verhalten von Uran aus Phosphathaltigen Düngern im System Boden-Wasser-Pflanze“ (AGES 2014) durchgeführten Untersuchungen ergaben für den Seewinkel keinerlei Anhaltspunkte hinsichtlich überhöhter Phosphatdüngung, erhöhter Urangehalte im Oberboden oder einer Verlagerung von Uran in tiefere Bodenschichten.

Es zeigte sich, dass die an der Geologischen Bundesanstalt vorliegenden aerometrischen Daten, die im Seewinkel für Uran durchwegs geringe Äquivalentkonzentrationen aufweisen, im Einklang mit den Ergebnissen den Bodenanalysen der Profilstandorte der AGES stehen, bei denen die Urankonzentrationen im Boden im Bereich der Hintergrundwerte lagen.

Insgesamt entsprachen die Urangehalte österreichweit untersuchter Oberböden landwirtschaftlich genutzter Flächen denen unbelasteter Standorte, auf Praxisstandorten konnte kein Zusammenhang zwischen Phosphat- und Urangehalten festgestellt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der natürliche, schlecht wasserlösliche Urangehalt von Gesteinen/Sedimenten (dieser befindet sich im Normalfall in den Akzessorien) in der Regel um etwa zwei bis drei Zehnerpotenzen höher ist als jener des Grundwassers und daher eine Belastung des Oberbodens durch Dünger kaum messbar ist.

7 FAZIT

ANHAND DER BISLANG VERFÜGBAREN DATEN und Informationen können die hohen Urangehalte in Gebieten wie dem Seewinkel ohne bekannte geogene Quellen derzeit nicht nachvollzogen werden. Komplexe hydrochemische Prozesse steuern die Spezierung und damit die Mobilität von Uran, das in jedem Umweltkompartiment ein anderes Verhalten aufweist. Ein vertieftes Verständnis des Verhaltens von Uran als Folge der Interaktion zwischen Boden und Grundwasser in Abhängigkeit von wechselnden Randbedingungen erscheint als Schlüssel zur Erklärung der hohen Urankonzentrationen. Anzunehmen ist ein komplexes System mit verschiedenen Eintragspfaden, in dem sich natürliche und anthropogene Prozesse überlagern, die gegenwärtig nicht differenziert werden können, die in ihrer Gesamtheit jedoch offensichtlich zu einer (zumindest temporären) Mobilisierung von Uran aus der Feststoffphase beitragen und langfristig dessen Akkumulation bewirken.

Redoxfronten nahe der Oberfläche können aufgrund wechselnder Mobilisierungs- und Festsetzungsprozesse Peaks und letztlich eine Akkumulation von Uran bewirken. So können auch niedrige Urangehalte im Wasser über längere Zeiträume hinweg in einer deutlichen Anreicherung von Uran resultieren. Insofern erscheint die Kombination aus (niedrig dosierten) Eintragsquellen von Uran in den Boden sowie permanent ablaufender Mobilisierungs- und Festsetzungsprozesse im Untergrund als ein plausibler Ansatz zur Erklärung der hohen Urankonzentrationen im Grundwasser, der weiter zu untersuchen ist.

Denkbar ist auch, dass über Phosphatdünger lediglich sehr geringe Mengen Uran eingetragen werden, deren Gehalte im Boden sich im Rahmen natürlicher Hintergrundgehalte bewegen, aufgrund spezieller, natürlich ablaufender Prozesse jedoch eine Anreicherung in bestimmten Zonen des Untergrundes stattfindet.

Das Grundwasser des Seewinkels weist zum Teil hohe Nitratgehalte auf. Nitrat kann als Oxidationsmittel fungieren und somit zur Mobilisierung von Uran beitragen.

Um eine bestmöglich abgesicherte Bewertung einer geogenen oder anthropogenen Herkunft des Urans vornehmen zu können, werden zusätzliche Untersuchungen bzw. Erhebungen empfohlen, die im folgenden Kapitel skizziert werden.

8 EMPFEHLUNGEN

BASIEREND AUF DEN BISHERIGEN ERKENNTNISSEN werden nachfolgend Empfehlungen hinsichtlich des weiteren Vorgehens in Bezug auf die eingangs genannten Fragestellungen zusammengefasst. Die Empfehlungen fokussieren auf den Grundwasserkörper Seewinkel, da dieser die meisten Messstellen mit Urangelhalten über 15 µg/l aufweist, sollen jedoch letztendlich auch zur Aufklärung hoher Urankonzentrationen im Grundwasser anderer Regionen herangezogen werden können.

8.1 MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

BEVORZUGT WIRD URAN in akzessorische Minerale magmatischer Gesteine eingebaut (z.B. Zirkon, Monazit, Apatit). Diese Minerale weisen jedoch zum einen unterschiedliche Urangelhalte auf, zum anderen variiert die Verfügbarkeit des eingebundenen Urans je nach Mineral. Da bislang für das Gebiet des Seewinkels keine mineralogische Charakterisierung des Untergrundes für die ungesättigte Zone und den oberflächennahen Aquifer vorliegt und das geogene Potenzial für Uraneinträge somit unbekannt ist, werden entsprechende mineralogische Untersuchungen, d.h. Analysen der Schwermineralfraktion uranhaltiger Minerale, empfohlen.

8.2 UNTERSUCHUNGEN VON BODEN UND WASSER

UM DIE EXISTENZ EINER „ROLL FRONT“ eruieren zu können, sind weitere Untersuchungen der Urangelhalte des Grundwassers zu verschiedenen Zeitpunkten erforderlich. Zumindest jedes Quartal sollte im Laufe eines Jahres einmal beprobt werden. Ideal wäre eine monatliche Beprobung, um den Jahresgang der Urankonzentration bzw. saisonale Effekte in Abhängigkeit von wechselnden Redoxbedingungen oder die fortschreitende „roll front“ an der Messstelle erfassen zu können.

Im Rahmen der GZÜV wird das Redoxpotenzial, das wesentlichen Einfluss auf die Spezierung des Urans hat, nicht erhoben. Bei weiterführenden Untersuchungen sollte das Redoxpotenzial separat erfasst werden.

Empfohlen werden außerdem vertiefende Untersuchungen von Bodenprofilen, insbesondere zur Verteilung bzw. dem Vorliegen der verschiedenen Uranspezies. Da Uran an organische Bodensubstanz adsorbiert wird, sollten ergänzend Untersuchungen der organischen Substanz / Kolloide vorgenommen werden.

Des Weiteren liegen zurzeit nur zu zwei Tiefengrundwasserauftrieben Urananalysen vor. Um aufsteigende Tiefengrundwässer und auch Mineralwässer als Ursache für den erhöhten Urangelhalt der seichten Grundwässer ausschließen zu können, sollten weitere Arteser beprobt werden.

8.3 TIEFENORIENTIERTE UNTERSUCHUNGEN

IM EINZUGSGEBIET NAHE AUSGEWÄHLTER GRUNDWASSERMESSSTELLEN sollten „direct push“ Untersuchungen (händisch-mechanische Bohrungen mit Probenahme im Abstand von 1 m) durchgeführt werden, da für das Prozessverständnis die Erhebung tiefenabhängiger Daten hinsichtlich Urankonzentration, Redoxpotenzial, pH-Wert etc. unerlässlich ist. Zudem ist die Analyse redoxabhängiger Elemente (z.B. DOC, Sulfat, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Eisen, Mangan) sowie von Zerfallsprodukten der Uran-238-Zerfallsreihe wie beispielsweise Radon oder Radium in Erwägung zu ziehen.

In Bezug auf die Messstellenauswahl sollten u.a. Teufen und unterschiedliche Urangelhalte berücksichtigt werden. Insgesamt sollten etwa fünf unterschiedliche Standorte ausgewählt und untersucht werden.

8.4 RECHERCHEN

WEITERGEHENDE RECHERCHEN für die Region Seewinkel:

Zur Abschätzung der aufgetragenen Mengen an mineralischen Phosphatdüngemitteln in der Vergangenheit sind - falls möglich - über die Burgenländische Landwirtschaftskammer Angaben zur Art und Menge der eingesetzten Phosphatdünger zu erheben und den jeweiligen Einzugsgebieten der Grundwassermessstellen soweit wie möglich zuzuordnen.

Des Weiteren wird die Auswertung der Geothermiebohrung für die St. Martins Therme in Frauenkirchen bezüglich Uran nahegelegt.

8.5 MODELLIERUNG

BASIEREND AUF DEN GENERIERTEN DATEN der empfohlenen Untersuchungen könnte eine Modellrechnung vorgenommen werden, um die angenommenen Prozesse der Mobilisierung, Immobilisierung und Remobilisierung des Urans an der roll front zu simulieren und eine Risikobewertung vornehmen zu können.

8.6 ISOTOPIE

RADIOMETRISCHE ANALYSEN DER URANISOTOPE U-238 und U-234 bzw. die Bestimmung des Aktivitätsverhältnisses beider Isotope können Aufschluss hinsichtlich einer geogenen oder anthropogenen Herkunft des Urans geben. Derartige Analysen sind jedoch aufwändig und nicht unbedingt eindeutig zu interpretieren. Da zudem unklar ist, welche mineralischen Phosphatdünger in der Vergangenheit eingesetzt wurden, ist fraglich, ob Untersuchungen der Isotopenverhältnisse in diesem Fall tatsächlich zielführend sind.

9 LITERATUR

- BAUMGARTEN, A.; PFUNDTNER, E.; DERSCH, G.; LANDSTETTER, C.; KATZLBERGER, C.; LIEBMANN, B.; HUMER, F.; EDER, A.; KUMPAN, M.; HERNDL, M. & SPIEGEL, H. (2014): Verhalten von Uran aus Phosphat haltigen Düngern im System Boden-Wasser-Pflanze. Zwischenbericht Dezember 2014. AGES, Wien.
https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/35b4355335a2e202ca3bdb287de5cc09/zwischenbericht_uran_final.pdf
- BERKA, R.; KATZLBERGER, CH.; PHILIPPITSCH, R.; SCHUBERT, G.; KORNER, M.; LANDSTETTER, C.; MOTSCHKA, K.; PIRKL, H.; GRATH, J.; DRAXLER, A. & HÖRHAN, TH. (2014): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1 : 500.000. – 109 S., Wien.
http://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasserqualitaet/karte_radionuklide.html
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2012): PHILIPPITSCH, R.; LOISHANDL-WEISZ, H.; WEMHÖNER, U.; SCHATNER, CH.; SCHUBERT, G. & SCHEDL, A.: Metalle im Grundwasser in Österreich. Karten und Erläuterungen. Wien.
<http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/grundwasser/Metalle-im-Grundwasser-in-Oesterreich---Bericht-Erl-uterungen.html>
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2014): Grundwasseralter ausgewählter Grundwasserkörper, 2010-2014. Eferdinger Becken, Hügel-land Rabnitz, Ikvatal, Inntal, Seewinkel, Stremtal, Südliches Wiener Becken, Tullner Feld, Unteres Murtal, Vöckla-Ager-Traun-Alm, Weinviertel. Wien.
<http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/grundwasser/Grundwasseralter-ausgewaehlter-Grundwasserkoerper-2010-2014.html>
- BOROVICZÉNY, F., DEÁK, J., LIEBE, P., MAHLER, H., NEPEL, F., PAPESCH, W., PINCZÉS, J., RAJNER, V., RANK, D., REITINGER, J. SCHMALFUß, R. & TAKÁTS, T. (1992): Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie. 1980-1990. Forschungsprojekt im Rahmen des Abkommens über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen Österreich und Ungarn. – TU Wien, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Forschungsbericht, 16, 214 S., Wien.
- CORINE – COORDINATED INFORMATION ON THE EUROPEAN ENVIRONMENT (2012): BMLFUW, Abteilung IV/3 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; CORINE2012: Umweltbundesamt GmbH.
http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_projekte/rp_corine/
- DREHER, J; RAJNER, V.; RANK D. & REITINGER, J. (1986): Grundwasseruntersuchungen am Ostufer des Neusiedlersees und im Seewinkel; Biologische Station Neusiedlersee – BFB-Bericht 58.
- DÜNGEMITTELVERORDNUNG 2004 (BGBl. II Nr. 100/2004 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden.
- eBOD (2015): Digitale Bodenkarte von Österreich. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW). <http://www.bodenkarte.at/>

LITERATUR

- ECHEVARRIA, G.; SHEPPARD M.I. & MOREL J.L. (2001): Effects of pH on the sorption of uranium in soils. *Journal of Environmental Radioactivity* 53 (2001) 257-264.
- EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2009): Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from German Federal Institute for Risk Assessment (BfR) on Uranium in foodstuff, in particular mineral water. *The EFSA Journal* (2009) 1018, 1-59.
- GZÜV - GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNGSVERORDNUNG (BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.
- H₂O FACHDATENBANK (2015): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion IV/Abteilung 3 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.
- HAAS, P.; HAIDINGER, G.; MAHLER, H.; REITINGER, J. & SCHMALFUß, R. (1992): Grundwasserhaushalt Seewinkel. – *Forsch.Ber.* 14, Inst. f. Hydraulik, Gewässerkunde & Wasserwirtschaft, TU Wien, 62 S., Wien.
- KOLLMANN, W., BIEBER, G., ČORIĆ, S., HADFI, J., HOBIGER, G., MOSHAMMER, B., RABEDER, J. & RÖMER, A. (2010): Geologische Auswertung von hydrogeologischen Erkundungsbohrungen als Grundlage für eine erfolgreiche Tiefengrundwassererschließung im Neogen des nördlichen Burgenlandes. – *Jb. Geol. B.-A.*, 150, S. 351-387, Wien.
- LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE MECKLENBURG-VORPOMMERN (2012): Bestandsaufnahme zur Klärung erhöhter Uran-Gehalte im Grund- und Trinkwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Stand 05.04.2012.
- LÖFFLER, H. (1982): *Der Seewinkel. Die fast verlorene Landschaft.* Verlag Niederösterreichisches Pressehaus St. Pölten-Wien.
- NOLAN, J. & WEBER K.A. (2015): Natural Uranium Contamination in Major U.S. Aquifers Linked to Nitrate. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2015, 2, 215–220.
- REITINGER, J. & SCHMALFUSS, R. (1993): Ergebnisse des Forschungsprojektes „Wasserhaushaltsstudie Neusiedlersee“. *Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A.*, Band 14, 133-137.
- REZABEK, H.R. (1990–1992): *Grundwasserwirtschaft Seewinkel.* – Gruppe Wasser, Wien.
- SCHUBERT, G.; LAMPL, H.; SHADLAU, S.; WURM, M.; PAVLIK, W.; PESTAL, G.; BAYER, I.; FREILER, M.; SCHILD, A. & STÖCKL, W. (2003): *Hydrogeologische Karte von Österreich 1 : 500.000. Hydrogeological Map of Austria 1 : 500.000.* Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHWERDTFEGER, B. (2015): Uran und Co – die Folgen des Stickstoffeintrags. Erkenntnisse zur Ursachenhypothese. Arbeitsgruppe Uran am Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Vortrag am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover. <http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/97946>
- TAUBER, A. F.; KNIE, K.; GAMS, H. & PESCHEK, E. (1959): Die artesischen Brunnen des Seewinkels im Burgenland. – *Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer*, 3, 226-279, 7 Tafeln, Wien.

LITERATUR

- TAUBER, A. F. (1963): Neusiedler See – Mineralwässer und Mineralwasserlagerstätte. – Allgemeine Landestopographie des Burgenlandes, Bd. 2. (Der Verwaltungsbezirk Eisenstadt und die Freistädte Eisenstadt und Rust), 786-809, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt.
- THALMANN, F.; SCHERMANN, O.; SCHROLL, E.; HAUSBERGER, G., VOEST-ALPINE, BUNDESVERSUCHS- U. FORSCHUNGSANSTALT ARSENAL & GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (1989): Geochemischer Atlas der Republik Österreich. Böhmisches Masse und Zentralzone der Ostalpen – Bachsedimente. Textteil. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TRINKWASSERVERORDNUNG (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesminister für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- WEBER, L. (HRSG.) (1997): Metallogenetische Karte von Österreich 1 : 500.000 unter Einbeziehung der Industriemineral- und Energierohstoffe. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006): Guidelines for drinking-water quality, third edition.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION (2011): Guidelines for drinking-water quality, fourth edition.
http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/dwq_guidelines/en/
- WURM, M. (2000): Hydrogeochemische Methodik zur Klärung von Interaktionsprozessen von Formations-, Mineral-, Tiefengrund- und oberflächennahen Grundwässern im Einzugsgebiet des Neusiedlersees. Diplomarbeit, 73 S., Montanuniversität Leoben.

10 KONTAKTINFORMATIONEN ZU DEN AUTO- RINNEN UND TEILNEHMERINNEN DES ERFAH- RUNGSUSTAUSCHES „URAN IM GRUNDWAS- SER“

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

Dipl. Geoök. Uta Wemhöner

Tel.: +43-1-31304-3592

uta.wemhoener@umweltbundesamt.at

Mag. Franko Humer

Tel.: +43-1-31304-3470

franko.humer@umweltbundesamt.at

Univ.-Doz. Mag. Dr. Martin Kralik

T: +43-1-31304-3530

martin.kralik@umweltbundesamt.at

Geologische Bundesanstalt

Abteilung Hydrogeologie und Geothermie

Neulinggasse 38, 1030 Wien

Dr. Gerhard Schubert

Tel.: +43-1-7125674-331

gerhard.schubert@geologie.ac.at

Mag. Rudolf Berka

Tel.: +43-1-7125674-335

rudolf.berka@geologie.ac.at

AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH

Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung

Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien

Dr. Andreas Baumgarten

Tel.: +43-50555-34100

andreas.baumgarten@ages.at

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Forschungsgruppe Wasserressourcen und Umweltanalytik
Elisabethstraße 18/II, 8010 Graz

Dipl.Chem. Dr. Albrecht Leis

Tel.: +43-316-876 1485

albrecht.leis@joanneum.at

Universität Wien

Department of Environmental Geosciences
Althanstrasse 14 UZAI, 1090 Wien

Univ. Prof. Dr. Stephan Krämer

Tel.: +43-1-4277-53463

stephan.kraemer@univie.ac.at,

Dr. Jan Wiederhold

Tel.: +43-1-4277-53412

jan.wiederhold@univie.ac.at

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Abteilung IV/3: Nationale und internationale Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien

Dr. Rudolf Philippitsch

Tel.: +43-1-71100-7118

rudolf.philippitsch@bmlfuw.gv.at

DI Thomas Hörhan

+43-1-71100-2092

thomas.hoerhan@bmlfuw.gv.at



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.

UNSER ZIEL ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln.

Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

WIR ARBEITEN für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**