



lebensministerium.at

Metalle im Grundwasser in Österreich

Karten und Erläuterungen





Nachhaltig für Natur und Mensch / Sustainable for nature and mankind

Lebensqualität / Quality of life

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich. / We create and we assure the requirements for a high quality of life in Austria.

Lebensgrundlagen / Bases of life

Wir stehen für vorsorgende Erhaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt. / We stand for a preventive conservation as well as responsible use of soil, water, air, energy and biodiversity.

Lebensraum / Living environment

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein. / We support an environmentally friendly development and the protection of living environments in urban and rural areas.

Lebensmittel / Food

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe. / We ensure sustainable production in particular of safe and high-quality food and of renewable resources

Impressum

Medieninhaber, Herausgeber, Copyright:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,
Referat VIII/1a,
Stubenring 1, 1010 Wien

Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

Gesamtkoordination:

Rudolf Philippitsch²
Harald Loishandl-Weisz¹

AutorInnen:

Uta Wemhöner¹
Christina Schartner¹
Harald Loishandl-Weisz¹
Gerhard Schubert³
Albert Schedl³

Karten (Methodik und Darstellung):

Christina Schartner¹
Harald Loishandl-Weisz¹
Irene Zieritz¹
Roland Herndler¹
Johannes Grath¹
Uta Wemhöner¹
Martin Kralik¹
Gerhard Schubert³
Rudolf Philippitsch²

Lektorat:

Maria Deweis¹

¹ Umweltbundesamt GmbH

² Lebensministerium

³ Geologische Bundesanstalt (im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH)

Layout:

Lebensministerium / Umweltbundesamt

Bildnachweis, Produktion und Druck:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Titelphoto:

Regelmäßig gewachsene, hochglänzende mm-große Arsenopyrit (Arsenkies)-kristalle in einem vererzten Quarzganggestein innerhalb eines kristallinen Schiefergesteins (Kärnten). Dieses Arsen-führende Eisensulfidmineral (FeAsS) stellt häufig auch das Ausgangsprodukt für die natürlich vorkommenden Arsengehalte in den Grundwässern dar.

© Rudolf Philippitsch, Lebensministerium

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Pflanzenfarben.

VORWORT

Das österreichische Programm zur Überwachung der Güte des Grundwassers leistet seit über 20 Jahren einen wichtigen Beitrag zur Beurteilung des Zustandes dieser lebensnotwendigen Ressource. Insbesondere die Tatsache, dass das Trinkwasser für die österreichische Bevölkerung fast zur Gänze aus den Grundwasservorkommen stammt, verdeutlicht die hohe Bedeutung des Überwachungsprogrammes zur Wassergüte. Über das bundesweite Messnetz zur Überwachung der Grundwasserqualität mit mehr als 2000 Messstellen wird in regelmäßigen Abständen eine Vielzahl verschiedenster Inhaltsstoffe erfasst, darunter auch Metalle, die sowohl natürlicher als auch anthropogener Herkunft sein können.

Für den vorliegenden Bericht wurden die österreichweit erhobenen Daten von elf relevanten Metallen systematisch ausgewertet, in Karten dargestellt und ihre Verteilung erläutert. Dieses Projekt ermöglicht erstmals einen umfassenden, flächenhaften und repräsentativen Überblick über die Verteilung dieser Metalle in den Grundwasservorkommen Österreichs.

Die Ergebnisse zeigen, dass es für die untersuchten Metalle im Grundwasser keine flächenhaften, signifikanten Probleme gibt. Mitunter erhöhte Konzentrationen, die über den Grenzwerten für das Trinkwasser liegen, treten nur vereinzelt auf und sind in der Regel auf die natürliche bzw. geologische Beschaffenheit des Untergrundes zurückzuführen.

INHALT

VORWORT	3
ZUSAMMENFASSUNG	6
1 Kartenerläuterungen.....	8
1.1 Einleitung.....	8
1.2 Methodik.....	8
1.2.1 Auswahl der Metalle	8
1.2.2 Datengrundlage und Zeitrahmen	9
1.2.3 Aggregierung und Darstellung der Daten	10
2 Hintergrundinformationen zu den Metallen und Interpretation der Karten.....	12
2.1 Aluminium (Al)	12
2.1.1 Allgemeines	12
2.1.2 Aluminium im Grundwasser.....	14
2.1.3 Interpretation.....	14
2.2 Arsen (As)	15
2.2.1 Allgemeines	15
2.2.2 Arsen im Grundwasser	18
2.2.3 Interpretation.....	19
2.3 Blei (Pb).....	21
2.3.1 Allgemeines	21
2.3.2 Blei im Grundwasser.....	23
2.3.3 Interpretation.....	23
2.4 Cadmium (Cd)	24
2.4.1 Allgemeines	24
2.4.2 Cadmium im Grundwasser	26
2.4.3 Interpretation.....	26
2.5 Chrom (Cr)	26
2.5.1 Allgemeines	26
2.5.2 Chrom im Grundwasser.....	28
2.5.3 Interpretation.....	28
2.6 Eisen (Fe).....	29
2.6.1 Allgemeines	29
2.6.2 Eisen im Grundwasser.....	31
2.6.3 Interpretation.....	31
2.7 Kupfer (Cu).....	32
2.7.1 Allgemeines	32
2.7.2 Kupfer im Grundwasser	34
2.7.3 Interpretation.....	34
2.8 Mangan (Mn)	35
2.8.1 Allgemeines	35
2.8.2 Mangan im Grundwasser.....	37
2.8.3 Interpretation.....	37
2.9 Nickel (Ni).....	37
2.9.1 Allgemeines	37
2.9.2 Nickel im Grundwasser	39
2.9.3 Interpretation.....	40
2.10 Quecksilber (Hg)	41
2.10.1 Allgemeines	41

2.10.2	Quecksilber im Grundwasser.....	43
2.10.3	Interpretation.....	43
2.11	Zink (Zn).....	43
2.11.1	Allgemeines	43
2.11.2	Zink im Grundwasser.....	45
2.11.3	Interpretation.....	45
3	Literaturverzeichnis	47
4	Rechtliche Grundlagen.....	52
5	ANHANG	53
5.1	Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes (Bach- und Flusssedimentgeochemie).....	53
5.2	Methodische Grundlagen der Bodenkarten des Bodeninformationssystems BORIS.....	55
5.2.1	Zusammenfassung	55
5.2.2	Methodik	55
5.2.3	Arsen.....	56
5.2.4	Blei	57
5.2.5	Literaturverzeichnis.....	58

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht „Metalle im Grundwasser in Österreich“ bietet erstmals einen umfassenden Überblick der Verteilung von elf relevanten Metallen in oberflächennahen Grundwasserkörpern für ganz Österreich im Sinne der Umsetzung des Wasserrechtsgesetzes (WRG 1959 i.d.g.F.) bzw. der Gewässerzustandüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.). Die verwendeten Daten basieren auf den bundesweit flächendeckenden Erhebungen im Rahmen der GZÜV aus den Jahren 2006 bis 2010.

Die Konzentrationen folgender Metalle im Grundwasser (gelöste Fraktion) wurden ausgewertet und zusammengefasst: Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom (gesamt), Eisen, Kupfer, Mangan, Nickel, Quecksilber und Zink. Auf Basis dieser Daten wurden elf thematische Einzelkarten und zwei Übersichtskarten entworfen. Diese werden im Textteil durch umfassende Erläuterungen ergänzt.

Für die thematischen Einzelkarten wurden alle entsprechenden Daten des Auswertzeitraums je Messstelle unter Bildung eines Medians aggregiert und dargestellt. Für die Klassifizierung der Grundwasserkörper wurde das gewichtete arithmetische Mittel der Messstellenmediane berechnet und dargestellt. In den Übersichtskarten werden die Konzentrationen der Metalle in Form von Tortendiagrammen je Grundwasserkörper abgebildet. Eine Übersichtskarte enthält zusätzlich Hintergrundinformationen zu oberflächennahen Grundwasserkörpern (Einzelgrundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern), die zweite Übersichtskarte beinhaltet zusätzliche Informationen zur Geologie Österreichs.

Neben den GZÜV-Daten zur Erstellung der Karten wurden weitere Datensätze zu Metallkonzentrationen im Grundwasser als zusätzliche Informationen zur Interpretation der GZÜV-Daten in diesen Bericht miteinbezogen, die jedoch nicht in die Karten dieses Berichtes eingeflossen sind. Die Bundesländer Kärnten, Salzburg, Tirol und Vorarlberg, die Geologische Bundesanstalt sowie die VERBUND Hydro Power AG stellten zusätzliche Datensätze zur Verfügung. Geogenes Vorkommen der Metalle bzw. anthropogene Ursachen für ermittelte Konzentrationen wurden u. a. anhand folgender Informationen diskutiert: Metalle in Bachsedimenten (THALMANN et al. 1989a, b), Metalle im Oberboden, GEOHINT (HOBIGER et al. 2004), Verdachtsflächenkataster sowie Altlastenatlas des Umweltbundesamt und weitere relevante Publikationen.

Insgesamt zeigen die Daten der GZÜV-Erhebungen aus den Jahren 2006 bis 2010 deutlich, dass sich die Konzentrationen für die meisten Metalle im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper generell auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und deutlich unterhalb der gesetzlichen Vorgaben aus der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW) und der Trinkwasserverordnung (TWV) liegen, teilweise sogar unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Ausnahmen bilden die Elemente Arsen, Eisen und Mangan. Hier bewirken natürliche Ursachen regional begrenzte Überschreitungen des gesetzlich definierten Schwellenwertes für Arsen gemäß QZV Chemie GW ($9 \mu\text{g/l}$) bzw. der Indikatorwerte für Eisen ($0,2 \text{ mg/l}$) und Mangan ($0,05 \text{ mg/l}$) gemäß Trinkwasserverordnung.

Bei Arsen ist insbesondere für etliche Grundwasserkörper in den Bundesländern Steiermark, Burgenland und Kärnten ein deutlicher geogener Einfluss auf die Arsenkonzentrationen im Grundwasser zu verzeichnen. Ursache sind die in diesen Regionen auftretenden Vererzungen mit deutlich ausgeprägten Arsenanomalien. Diese Anomalien spiegeln sich auch in den Arsengehalten des Oberbodens wider und werden durch Quellen wie das Projekt GEOHINT und einschlägige Publikationen bestätigt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Konzentration von Arsen im Grundwasser österreichweit betrachtet bei einer Mediankonzentration von $0,50 \mu\text{g/l}$ und einem 90 % Perzentil von $1,70 \mu\text{g/l}$ ausgesprochen niedrig ist.

Die Konzentrationen von gelöstem Eisen und Mangan im Grundwasser werden in Österreich erheblich von den Redoxverhältnissen in den Grundwasserkörpern beeinflusst. Grundwasserkörper mit niedrigen Sauer-

stoffgehalten des Grundwassers weisen im Allgemeinen höhere Eisen- und Mangankonzentrationen auf. Dies ist insbesondere bei den Grundwasserkörpern um das Steirische Becken, im Burgenland, im Nordosten Österreichs sowie in den Flusstälern der Alpen deutlich ausgeprägt, wo regional Überschreitungen der Indikatorwerte für Eisen und Mangan aufgrund der natürlichen Bedingungen zu verzeichnen sind. Für beide Elemente erfolgte die Festlegung der Indikatorwerte gemäß Trinkwasserverordnung im Hinblick auf technische Aspekte und ist explizit nicht toxikologisch begründet.

Der anthropogene Einfluss auf die gelösten Konzentrationen der Metalle im Grundwasser ist auf Basis der bisherigen Ergebnisse österreichweit sehr gering, erhöhte Konzentrationen sind zudem lokal begrenzt und in der Regel natürlich bedingt. Hinsichtlich der ausgewerteten Daten wird lediglich bei drei Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld ein direkter Zusammenhang zwischen einer höheren Chromkonzentrationen im Grundwasser und einer bekannten Altlast angenommen; die Chrom-Mediankonzentrationen der betreffenden Messstellen liegen jedoch sowohl unterhalb des Schwellenwertes für Chrom gemäß Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser als auch des Parameterwertes gemäß Trinkwasserverordnung.

Die insgesamt gute Grundwasserqualität in Bezug auf die in diesem Bericht ausgewerteten Metalle wird zudem regelmäßig durch die Jahresberichte zur Erhebung der Wassergüte in Österreich bestätigt, die vom BMLFUW (<http://www.lebensministerium.at/wasser>; <http://publikationen.lebensministerium.at>) und dem Umweltbundesamt (<http://www.umweltbundesamt.at/jb2010>) publiziert werden.

1 Kartenerläuterungen

1.1 Einleitung

Im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachung in Österreich werden auf Grundlage der Verordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.) neben zahlreichen anorganischen und organischen Substanzen auch regelmäßig Metalle im Grundwasser untersucht. Somit ist eine ausgezeichnete Datengrundlage gegeben. Die Ergebnisse werden regelmäßig in den Jahresberichten zur Erhebung der Wassergüte in Österreich zusammenfassend berichtet.

In dieser Arbeit wird erstmalig die Verteilung von ausgewählten Metallen in den oberflächennahen Grundwasserkörpern (keine Tiefen-, Thermal- oder Mineralwässer) Österreichs – im Sinne der Umsetzung des WRG 1959 i.d.g.F. bzw. der GZÜV 2006 i.d.g.F. – in Form von Karten (Übersichtskarten und thematische Einzelkarten) und dazugehörigen Kurzbeschreibungen bzw. Erläuterungen dargestellt. Während die Grundlage für die Erstellung der Karten auf den Daten der GZÜV basiert, finden bei den Erläuterungen zu den Karten auch Daten von anderen Projekten und Beprobungen Berücksichtigung. Diese zusätzlichen Angaben umfassen Datensätze aus den Bundesländern Salzburg, Tirol sowie Vorarlberg, der Geologischen Bundesanstalt sowie von der VERBUND Hydro Power AG Österreich.

Zusätzlich werden das geogene Vorkommen bzw. anthropogene Ursachen diskutiert. Dabei werden u. a. folgende Informationen herangezogen: GEOHINT (HOBIGER et al. 2004), Metalle in Bachsedimenten (THALMANN et al. 1989a, b), Metalle im Boden (z. B. Bodeninformationssystem BORIS des Umweltbundesamt, Umweltkontrollberichte), Verdachtsflächenkataster sowie Altlastenatlas des Umweltbundesamt¹ und weitere Informationen aus einschlägiger, veröffentlichter Fachliteratur.

In diesem Zusammenhang wird vollständigkeithalber auch auf die bereits veröffentlichte „Hydrochemische Karte Österreichs“ (UMWELTBUNDESAMT 2005) verwiesen, welche die chemische Zusammensetzung der Hauptelemente der heimischen Grundwässer beinhaltet (<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/hydrochem/>). Die seit 1991 erhobenen Qualitätsdaten österreichischer Grundwässer sind zudem über das Wasserinformationssystem Austria (WISA) im Internet über die H₂O-Fachdatenbank des Umweltbundesamtes öffentlich abrufbar (<http://wisa.lebensministerium.at>).

Eine grundlegende Darstellung des geologischen Aufbaus Österreichs und damit verbundener hydrochemischer Aspekte bieten die entsprechenden Kapitel des Jahresberichtes 1994 zur Wassergüte in Österreich (PHILIPPITSCH 1995).

1.2 Methodik

Die folgenden Kapitel stellen die methodischen Grundlagen zur Erstellung der Karten für die Verteilung von Metallen im Grundwasser dar. Die methodischen Grundlagen zur Untersuchung von Metallen in Bach- und Flusssedimenten sowie in Böden sind im Anhang dokumentiert.

1.2.1 Auswahl der Metalle

Aufgrund der Häufigkeit des Auftretens, der Relevanz der einzelnen Metalle im Grundwasser und der Verfügbarkeit von Daten wurden folgende Metalle für die Darstellung ausgewählt (in alphabetischer Reihenfolge):

- (1) Aluminium
- (2) Arsen
- (3) Blei

¹ Die Angaben zur Überprüfung von Messstellen in Hinsicht auf potenzielle Metallbelastungen durch Altlasten bzw. Altablagerungen für diesen Bericht basieren auf mündlichen Auskünften von S. Weihs vom Juni 2012 (Umweltbundesamt, Abteilung Altlasten).

- (4) Cadmium
- (5) Chrom (gesamt)
- (6) Eisen
- (7) Kupfer
- (8) Mangan
- (9) Nickel
- (10) Quecksilber
- (11) Zink

1.2.2 Datengrundlage und Zeitrahmen

1.2.2.1 Monitoring der Grundwasserqualität gemäß GZÜV

Österreich bezieht sein Trinkwasser fast ausschließlich aus Grundwasserreserven. Die flächendeckende Überwachung der Grundwasserqualität sowie -quantität ist dementsprechend von immenser Bedeutung, um eine kohärente und umfassende Übersicht über den chemischen Zustand des Grundwassers in jedem Einzugsgebiet zu erhalten. Die rechtliche Grundlage der Überwachung bildet die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV), basierend auf § 59e WRG 1959 i.d.g.F..

Die flächendeckende und repräsentative Überwachung der Grundwasserqualität erfolgt über ein Messnetz, das über ganz Österreich verteilt mehr als 2.000 Grundwassermessstellen umfasst. Das entspricht einem Verhältnis von einer Messstelle auf ca. 40 km² österreichisches Staatsgebiet. Die Messstellen sind jedoch nicht gleichmäßig verteilt, sondern entsprechend den Erfordernissen einer zweckmäßigen Überwachung des Grundwassers (z. B. höhere Messstellendichte bei erhöhtem Belastungs- und Gefährdungspotenzial des Grundwassers in intensiv genutzten Gebieten Österreichs). Die Grundwassermessstellen setzen sich aus Sonden, privaten Hausbrunnen, Quellen, Industriebrunnen und Wasserversorgungsanlagen zusammen.

Die Fläche Österreichs wird durch die Ausweisung von insgesamt 136 Grundwasserkörpern bzw. Gruppen von Grundwasserkörpern vollständig erfasst. Vertikal werden oberflächennahe Grundwasserkörper und Tiefengrundwasserkörper unterschieden. Die oberflächennahen Grundwasserkörper unterteilen sich in 64 Einzelporengrundwasserkörper und 63 Gruppen von Grundwasserkörpern. Es gibt 9 Tiefengrundwasserkörper, die jedoch in diesem Bericht ausgeklammert werden.

Der Beobachtungszyklus einer jeden Messstelle für die Beobachtung der Grundwässer gemäß GZÜV umfasst sechs Jahre. Dieser Zeitraum beinhaltet ein Jahr „Erstbeobachtung“ mit einem erweiterten Parameterumfang und anschließend fünf Jahre „Wiederholungsbeobachtungen“ mit einem festgeschriebenen Mindestumfang sowie relevanten Parametern der Erstbeobachtung. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Messreihen liegt also im Parameterumfang und der Messfrequenz. Die Grundwässer werden entsprechend der aktuellen Messreihe bzw. Belastungssituation ein- bis viermal jährlich untersucht.

Der zu untersuchende Parameterumfang ist in der GZÜV definiert; es sind zwei Parameterblöcke mit insgesamt 126 Parametern festgelegt:

- Parameterblock 1:
 - Probenahme- und Vor-Ort-Parameter (11 Parameter; z. B. organoleptische Parameter, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit)
 - Chemisch-analytische Parameter (17 Parameter; z. B. Gesamthärte, Nitrat, Chlorid, **Eisen gelöst, Mangan gelöst**)
- Parameterblock 2:
 - Gelöste Metalle (**Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink**)
 - Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (12 Parameter)
 - Pestizide (77 Parameter, unterteilt in neun Teilbereiche)

Die Karten dieses Berichtes wurden auf Basis der im Rahmen der GZÜV erhobenen Daten für die einzelnen Metalle (siehe oben) entworfen. Der zeitliche Rahmen der Datenbasis umfasst den Zeitraum von 2006–2010. Über 5 Jahre hinweg sind ausreichend viele Daten vorhanden, um eine solide Darstellung über ein Mittel der Metalle im Grundwasser in Österreich zu gewährleisten.

1.2.2.2 Weitere Daten aus Grundwasseruntersuchungen

Neben den GZÜV-Daten zur Erstellung der Karten wurden weitere Datensätze in diesen Bericht mit einbezogen. Diese zusätzlichen Angaben fanden Eingang in die Kapitel „Weitere Daten zum Grundwasser“ für die einzelnen Metalle sowie in die Interpretation. Für diese Daten wurde zunächst eine Bewertung hinsichtlich Qualität und Aktualität durchgeführt, gefolgt von einer Plausibilitätskontrolle. In einem nächsten Schritt wurden die Daten für einen besseren Überblick grafisch aufbereitet.

Da diese zusätzlichen Datensätze in unterschiedlicher Qualität vorliegen sowie verschiedene Bestimmungsgrenzen aufweisen und nur einzelne Regionen in unterschiedlichen Zeiträumen abbilden, wurden sie ausschließlich im Rahmen der Interpretation bei den Kartenerläuterungen verwendet. Für die Karten selbst wurde somit eine einheitliche Datengrundlage auf Basis der GZÜV-Erhebungen gewährleistet.

Im Einzelnen handelt es sich um folgende Datensätze verschiedener Institutionen mit Informationen zu Metallkonzentrationen im Grundwasser: Das Amt der Landesregierung Kärnten stellte zusätzliche Daten für Arsen zur Verfügung, die im Rahmen einer umfassenden Untersuchung zum Vorkommen von Arsen im Trinkwasser im Jahr 2003 erhoben wurden. Das Amt der Landesregierung Tirol übermittelte Daten, die bei der Untersuchung von Quellwässern auf Schwermetalle im Jahr 2001 generiert wurden. Weitere Daten zu einzelnen Regionen stammen aus den Bundesländern Salzburg für die Jahre 1997–2009 und Vorarlberg (hauptsächlich für Eisen, Kupfer und Zink) für die Jahre 2000 sowie 2002–2010. Umfangreiches Datenmaterial aus Untersuchungen von Grundwässern stellte auch die Geologische Bundesanstalt (GBA) zur Verfügung. Die VERBUND Hydro Power AG übermittelte Daten, die bei Grundwasseruntersuchungen für das Wasserkraftwerk Freudenuan an der Donau im Zeitraum 2006–2010 erhoben wurden.

1.2.3 Aggregation und Darstellung der Daten

Insgesamt beinhaltet der Bericht 13 unterschiedliche Karten – 11 Einzelkarten (eine für jedes Metall) und zwei Übersichtskarten. Die Erstellung dieser Karten wird in den beiden folgenden Kapiteln erläutert.

1.2.3.1 Einzelkarten

Die Einzelkarten basieren grundsätzlich auf der Einheit von Grundwasserkörpern und Gruppen von Grundwasserkörpern sowie den einzelnen Messstellen. Die Daten werden pro Metall und Grundwasserkörper bzw. Gruppe von Grundwasserkörpern aggregiert dargestellt; zusätzlich auch für jede einzelne Messstelle. Die Karten weisen somit eine flächenhafte Darstellung auf Basis von Grundwasserkörpern und eine punktuelle auf Basis von Messstellen auf.

Auf **Ebene der Messstellen** ist die jeweilige Konzentration des Metalls in Form eines statistischen Mittelwertes ersichtlich. Nachdem verschiedene Methoden und Kennwerte angewandt und gerechnet wurden, wurde der Darstellung eines Medians der Zeitreihe der Vorzug gegeben. Der Median ist sehr robust gegenüber Ausreißern und bietet somit die bestmögliche Darstellung der tatsächlich vorhandenen Mittelwerte der Metallkonzentrationen im Grundwasser Österreichs.

Der statistische Kennwert auf **Ebene der Grundwasserkörper** und Gruppen von Grundwasserkörpern ist das gewichtete arithmetische Mittel der Messstellen-Mediane. Durch die Gewichtung der Mittelwerte auf Basis von Thiessen-Polygonen wird sichergestellt, dass Gebiete mit einer hohen Anzahl von Messstellen nicht stärker in die Mittelwertbildung einfließen als jene mit weniger Messstellen.

Da im Laufe der Zeit aufgrund von verbesserten analytischen Methoden die Bestimmungsgrenze (BG) und die Nachweisgrenze (NG) Veränderungen unterliegen, war eine Lösung für die Darstellung dieser Werte erforderlich. Um das Rauschen, das durch die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen entsteht, zu eliminieren, wurden alle Berechnungen $< BG$ und $< NG$ auf die Hälfte der maximalen BG gesetzt.

1.2.3.2 Übersichtskarten

Die Konzentrationen der Metalle im Grundwasserkörper werden jeweils in Form von Tortendiagrammen abgebildet. Jedem Metall entspricht ein gleich großes Stück des Tortendiagramms. Die Höhe der Konzentration wird durch die Farbgebung dargestellt, wobei die Abstufung in %-Anteilen des jeweiligen Grenzwertes angegeben wird. Die Kriterien der Abstufung für die Farbgebung wurden auch für die Klasseneinteilung der Einzelkarten angewendet.

Der Bericht enthält zwei große Übersichtskarten, die sich nur durch den Kartenhintergrund unterscheiden: zum einen eine geologische Hintergrundkarte (BERKA et al., in Vorbereitung), zum anderen die Grundwasserkörpertypen (BMLFUW 2009). Die Konzentration der Metalle ist in Form von Tortendiagrammen je Grundwasserkörper dargestellt.

1.2.3.3 Schwellenwert – Grenzwert – Indikatorwert

Jene Metalle, für die ein Schwellenwert lt. QZV Chemie GW vorliegt, haben diesen als festgelegten Grenzwert. Für die Metalle **Aluminium**, **Eisen** und **Mangan** stellt der Indikatorwert lt. Trinkwasserverordnung (TWV) die 100 %-Marke dar. Ein Indikatorwert ist im Gegensatz zu einem Schwellen- bzw. Grenzwert ein Wert, der nicht überschritten werden soll. Liegt eine Überschreitung vor, ist das Trinkwasser jedoch immer noch genießbar. Der Ursache der Überschreitung muss auf den Grund gegangen werden und entsprechende Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer einwandfreien Wasserqualität sind einzuleiten.

Für **Zink** wurde als Obergrenze eine Empfehlung der WHO herangezogen. Dieser Wert wurde allerdings nicht aus gesundheitlichen Gründen festgelegt, sondern aufgrund der Beeinträchtigung von Geschmack und Aussehen (Trübung).

2 Hintergrundinformationen zu den Metallen und Interpretation der Karten

2.1 Aluminium (Al)

2.1.1 Allgemeines

2.1.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Aufgrund seiner Affinität zu Sauerstoff tritt Aluminium ausschließlich in oxidischen Verbindungen auf, nie in gediegener Form. Das wirtschaftlich wichtigste Aluminiummineral ist Bauxit (Gemenge verschiedener Aluminiumoxide und -hydroxide), das zur Aluminiumherstellung verwendet wird. Weitere bedeutende Aluminiumminerale sind beispielsweise Feldspäte, Glimmer, Granat, Türkis und Rubin (Aluminiumoxid mit eingelagertem Chrom(III)-oxid) (BINDER 1999). Reines Aluminium ist ein silberweißes, relativ weiches Leichtmetall, das sich sehr gut verformen lässt. Das Metall hat eine sehr niedrige Schmelz- und Siedetemperatur und verfügt über eine sehr gute thermische sowie elektrische Leitfähigkeit. An der Luft ist Aluminium durch die Bildung einer dicht anhaftenden, sehr widerstandsfähigen Oxidschicht beständig.

Saurer Regen erhöht den natürlichen Hintergrundgehalt von Aluminium in Wasser deutlich, beispielsweise durch die Mobilisierung von Aluminium aus Sedimenten aufgrund sinkender pH-Werte in Seen. Böden enthalten Aluminium in Form von Silicaten, Oxiden und Hydroxiden. Von großer Bedeutung für Böden sind die zu den Alumosilicaten zählenden Feldspäte und Glimmer, deren Verwitterungsprodukte ergeben die Tonminerale (z. B. Kaolinit, Montmorillonit). Aluminiumoxide und -hydroxide können bei Bodenversauerung in ionische Form übergehen und so eine toxische Wirkung auf Biota entfalten. Die Versauerung von Böden bewirkt zudem die Freisetzung von ionischem Aluminium aus Silicaten (MERIAN 1991).

Für die Konzentration von Aluminium im Grundwasser ist meist nicht allein die Lithologie des Einzugsgebietes ausschlaggebend. Vielmehr spielen auch andere Standortfaktoren wie der Untergrund, die Landschaftsnutzung sowie Böden und die Immissionssituation eine Rolle. Dies wirkt sich insbesondere auf Waldstandorte in kristallinen Gebieten und in stark immissionsbelasteten Gegenden aus. Die räumliche Verteilung der geogenen Hintergrundwerte von Aluminium im Grundwasser Österreichs wird von diesen Faktoren stark beeinflusst (HOBIGER et al. 2004).

Aluminium gehört aufgrund seiner einzigartigen chemischen und physikalischen Eigenschaften zu den wichtigsten Industriewerkstoffen. Reinstes Aluminium wird in der Elektrotechnik als Leitermaterial für Hochspannungsleitungen verwendet. Reines Aluminium findet Einsatz als Verpackungsmaterial und im Maschinenbau. Aluminiumlegierungen werden als Konstruktionsmaterial im Fahrzeugbau, in der Luftfahrtindustrie, im Schiffsbau und in der Bauindustrie eingesetzt. Rubin findet in der Lasertechnik als Lasermaterial Verwendung. Aluminiumsilicate (z. B. Kaolinit) sind ein wichtiger Rohstoff in der Porzellanherstellung. Österreichs größter Produzent von Aluminium-Halbzeug- und Gießereiprodukten für die weiterverarbeitende Industrie befindet sich in Ranshofen (Oberösterreich).

2.1.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Aluminium im Grundwasser gibt es keinen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). In der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gilt Aluminium als Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter). Entsprechend wird ein Indikatorwert für den Aluminiumgehalt im Trinkwasser angegeben. Ein Indikatorwert ist ein Wert, der nicht überschritten werden soll. Liegt eine Überschreitung vor, ist das Trinkwasser jedoch immer noch genießbar. Der Ursache der Überschreitung muss auf den Grund gegangen werden und entsprechende Sanierungsmaßnahmen sind einzuleiten.

Indikatorwert lt. TWV

200 µg/l (0,2 mg/l)

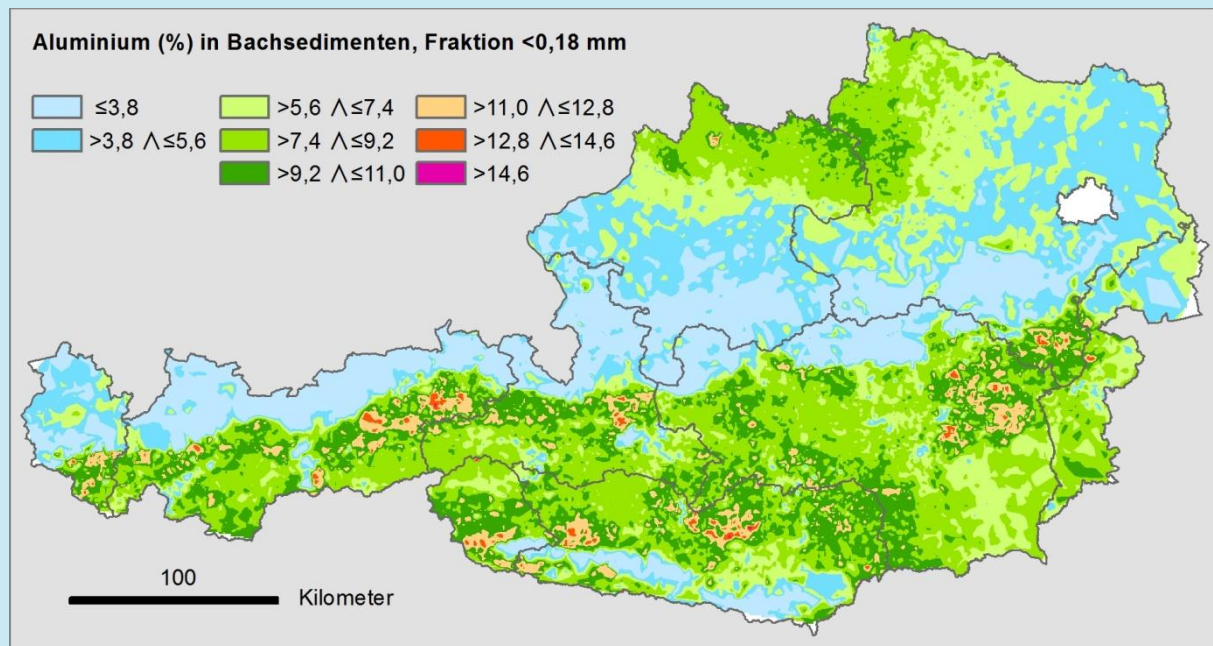
2.1.1.3 Natürliche Vorkommen

Aluminium ist ein lithophiles Hauptelement und als Bestandteil von Alumosilicaten am dritthäufigsten am Aufbau der Erdkruste beteiligt (THALMANN et al. 1989a, S. 38). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Aluminiumgehalt von 8,5 % auf: Ultrabasite 1 %, Basalte 9 % und Granite 8 %. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 8 %, Sandsteine 2,5 %, Karbonatgesteine 0,4 % und Böden 7 %.

Im Allgemeinen beträgt in natürlichen Grundwässern der in Lösung befindliche Aluminium-Gehalt nur wenige Hundertstel oder Zehntel mg/l. Werte über 1.000 µg/l geben einen Hinweis auf partikuläre Aluminium-Spezies (MATTHESS 1994, S. 329).

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. 1989b in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) zeigt für den geologischen Untergrund Österreichs ein mit diesen Richtwerten vergleichbares Bild. In den kalkalpinen Bereichen (Nördliche Kalkalpen, Radstädter Tauern, Lienzer Dolomiten, Gailtaler Alpen und Karawanken) treten naturbedingt vergleichsweise niedrige Aluminiumkonzentrationen auf, während beispielsweise in Granitgebieten bzw. Kristallingesteinen wie im Mühlviertel oder im Tauernfenster Aluminiumkonzentrationen um 8 % weit verbreitet sind (siehe Abbildung 1). Insbesondere die darin enthaltenen gesteinsbildenden Aluminium-führenden Silikatminerale (z. B. Feldspäte, Glimmer, Hornblenden, Granat) oder reine Aluminium-Oxidminerale (z. B. Disthen, Sillimanit, Andalusit, Spinell) sind die wesentlichen Aluminiumkomponenten, bei welchen durch Verwitterungsprozesse das Aluminium freigesetzt werden kann.

Abbildung 1: Aluminium in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Aluminium in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße. Die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

Besonders hohe Aluminiumgehalte sind in Bauxiten anzutreffen. Laut SCHROLL (1997a, S. 389) sind in Österreich Bauxitvorkommen „ausschließlich an die Abfolge der Gosau gebunden [...]. Es handelt sich durchwegs um geringmächtige (bis einige m) Ablagerungen von Karstbauxiten“; deren Al_2O_3 -Gehalt beträgt 50–

70 %, das entspricht 26,5–37,0 % Aluminium. Derartige Vorkommen treten nur lokal auf und sind daher zu klein, um sich in den Bachsedimenten widerzuspiegeln.

In Unterlaussa (Oberösterreich) wurde bis zum Jahr 1964 Bauxit abgebaut (KÖSTLER 2001). Weniger bedeutende Vorkommen gab es beispielsweise in Gröding-Glanegg sowie in Großmain (Salzburg) (GESELLSCHAFT FÜR SALZBURGER LANDESKUNDE, O.J.).

2.1.2 Aluminium im Grundwasser

2.1.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Die Daten der GZÜV zeigen an zwei Messstellen eine Überschreitung des Indikatorwertes von 200 µg/l, wobei der höchste Median einer Messstelle bei 560 µg/l liegt. Diese Messstellen befinden sich im Bereich der Böhmisches Masse und im Burgenland. An 92 % der Messstellen liegt der Median jedoch unterhalb der Bestimmungsgrenze. Im gewichteten Mittel der Grundwasserkörper gibt es keine Überschreitungen des Schwellenwertes. Das Ikvatal (GK100128) im Burgenland weist mit 69,6 µg/l den höchsten Mittelwert auf Grundwasserkörperebene auf.

2.1.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Von den durch MitarbeiterInnen der Fachabteilung Hydrogeologie der Geologischen Bundesanstalt in den letzten Jahren gesammelten gefilterten Wasserproben (Acetatfilter 45 µm; der Großteil der Proben stammt aus kalkalpinen Bereichen und der Böhmisches Masse) wiesen nur drei Proben Aluminium-Konzentrationen über dem Indikatorwert von 200 µg/l auf: zwei von Thermalwässern aus Bad Gastein (Kaiser Franz Josef Thermalquelle, 20.10.2010: 450 µg/l Al, Rudolfquelle, 20.10.2010: 550 µg/l Al) und eine Thermalwasserprobe aus Oberlaa (Oberlaa Thermal 2, 17.04.2009: 410 µg/l Al). Letztere Probe wurde unmittelbar nach dem Einsatz einer Mammutpumpe gezogen. Am 03.07.2009 waren im Überlauf nur noch 10 µg/l Al zu verzeichnen.

2.1.3 Interpretation

Im Rahmen des Projekts GEOHINT (HOBIGER et al. 2004) werden für Aluminium nur für die Grundwasserkörper Hügelland Raab Ost (GK100181), Hügelland zwischen Mur und Raab (GK100183) und Ikvatal (GK100128) zweite Hintergrundwerte² angegeben, die über dem Indikatorwert von 200 µg/l liegen. Diese Grundwasserkörper befinden sich im Südburgenland, in der Oststeiermark und im Umfeld des Ödenburger Gebirges.

Zwei Messstellen überschreiten den Indikatorwert von 200 µg/l: Die Messstelle PG10002932 im Grundwasserkörper Wulkatal (Aluminium-Medianwert 301 µg/l, GK100081) weist Sauerstoffgehalte > 7 mg/l auf, der pH-Wert liegt bei etwa 7,5. Diese Bedingungen schließen eine natürliche Mobilisierung von Aluminium eher aus (siehe auch Kapitel 2.1.1.1). Ein Altstandort bzw. eine Altablagerung als Ursache dieser Aluminiumgehalte ist im Umfeld der Messstelle jedoch nicht bekannt. Die Messstelle PG30900262 in der Böhmisches Masse (Aluminium-Medianwert 560 µg/l, GK100079) weist erheblich schwankende Sauerstoffgehalte zwischen 1 und 8 mg/l auf, der pH-Wert variiert zwischen 5 und 6,5. Diese zumindest zeitweise reduzierenden Bedingungen im sauren Milieu begünstigen die Mobilisierung von Aluminium und könnten eine höhere Konzentration im Grundwasser bewirken. Zudem gibt es im näheren Umfeld keinen bekannten Altstandort bzw. keine Altablagerung, die die ermittelten Aluminiumkonzentrationen als anthropogen verursacht begründen könnten.

Die im Ötztal (GK100010 Zentralzone) gelegenen GZÜV-Messstellen mit Aluminiumgehalten bis zu 75 % des Indikatorwertes weisen zum einen ein saures Milieu mit eher niedrigen Sauerstoffgehalten auf, was eine Mobilisierung von Aluminium begünstigen würde. Zum anderen verweist GEOHINT in diesem Gebiet auf

² Für manche geologisch-lithologische Einheiten sind neben den großräumig abgeleiteten geogenen ersten Hintergrundwerten für Grundwasser zusätzlich lokal und/oder kleinräumig weitere geogen bedingte Hintergrundwerte beschrieben, z. B. für ausgedehnte Vererzungen oder stark wechselnde lithologisch bedingte Hydrochemismen in Gruppen von Grundwasserkörpern. Für diese Fälle wurde ein zweiter Hintergrundwert abgeleitet (HOBIGER et al. 2004).

kleinräumig geogen bedingte höhere Aluminiumgehalte (2. Hintergrundwerte), die etwa in der Größenordnung der Aluminiumkonzentrationen der Messstellen liegen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Aluminiumkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und bis auf zwei Ausnahmen im Allgemeinen weit unterhalb des Indikatorwertes der TWV liegen.

2.2 Arsen (As)

2.2.1 Allgemeines

2.2.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Arsen ist auf der Erde in geringen Mengen ubiquitär verbreitet, gehört jedoch zu den selteneren Elementen. Überwiegend tritt Arsen in Mineralgesellschaften auf: häufig sind es gemischte Sulfide mit Eisen, Kupfer und Zink. Insbesondere die Erzminerale Arsenopyrit oder Arsenkies, Löllingit, Realgar und Auripigment sind wichtige Vertreter in den verschiedenen Erzvorkommen Österreichs.

Arsen in seiner gediegenen Form („Scherbenkobalt“) ist selten und ungiftig (BINDER 1999). Es oxidiert allerdings leicht zu arseniger Säure, die ebenso wie ihr Anhydrit („Arsenik“) und ihre Metallsalze, die Arsenate, hochgiftig ist (HÜTTER 1992).

Das Element Arsen existiert in drei verschiedenen Modifikationen. Die wichtigste ist graues Arsen, ein beständiges, aus stahlgrau metallisch glänzenden Kristallen bestehendes Halbmetall. Weitere Modifikationen sind gelbes Arsen (unbeständig, nichtmetallisch) und schwarzes Arsen (amorph, nichtmetallisch) (SCHRÖTER et al. 1995).

Arsen zeigt in den Umweltkompartimenten Atmosphäre, Wasser und Boden ein mobiles Verhalten (MERIAN 1991). Das Metall tritt sehr häufig, wenn auch nur in geringen Mengen, in Grund- und Oberflächengewässern auf. Dreiwertige Arsenverbindungen (Arsenite) sind relativ gut löslich in Wasser – verglichen mit fünfwertigen Arsenverbindungen (Arsenate) – und sind bei leicht reduzierenden Bedingungen im Grundwasser stabil. Im oxidierenden Milieu überwiegen Arsen(V)-Verbindungen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Durch Verwitterung arsenhaltiger Erze gelangt Arsen ins Grundwasser. Unter oxischen Bedingungen adsorbiert Arsenat an Eisen- und Mangan(hydr)oxide und ist somit nicht frei verfügbar. Im reduzierenden Milieu werden die Eisen- und Mangan(hydr)oxide reduziert, wodurch das gebundene Arsen wieder freigesetzt wird (FENT 2003). Im Boden kann Arsen neben anthropogenen Einträgen auch geogen und pedogen bedingt in Konzentrationen vorliegen, die über dem ÖNORM-Richtwert (ÖN L1075) liegen, beispielsweise beschrieben für die Arsenanomalie Feistritz am Wechsel (GÖD & HEISS 1996).

Metallisches Arsen wird als Legierungsmetall verwendet, hochreines Arsen findet in der Halbleitertechnik Verwendung. Intermetallische Verbindungen mit Gallium und Silicium sind wichtige Materialien zur Herstellung von Hochfrequenzbauelementen und in der Lasertechnik. Arsenhaltige Arzneimittel werden seit vielen Jahrhunderten eingesetzt. Aktuell findet ein entsprechendes Präparat beispielsweise in der Krebstherapie Anwendung (DEUTSCHES ÄRZTEBLATT 2010). In der Vergangenheit wurden Arsenverbindungen in großem Umfang in der Landwirtschaft zur Unkraut- und Schädlingsbekämpfung (Herbizide und Pestizide) eingesetzt sowie als Antifouling, Holzschutzmittel und zur Aufbereitung von Brauchwasser. Diese Anwendungen sind aufgrund des damit verbundenen Gefährdungspotenzials für Mensch und Umwelt mittlerweile untersagt (Chemikalien-Verbotsverordnung 2003).

2.2.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	9 µg/l
Parameterwert lt. TWV	10 µg/l

Für Arsen im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht.

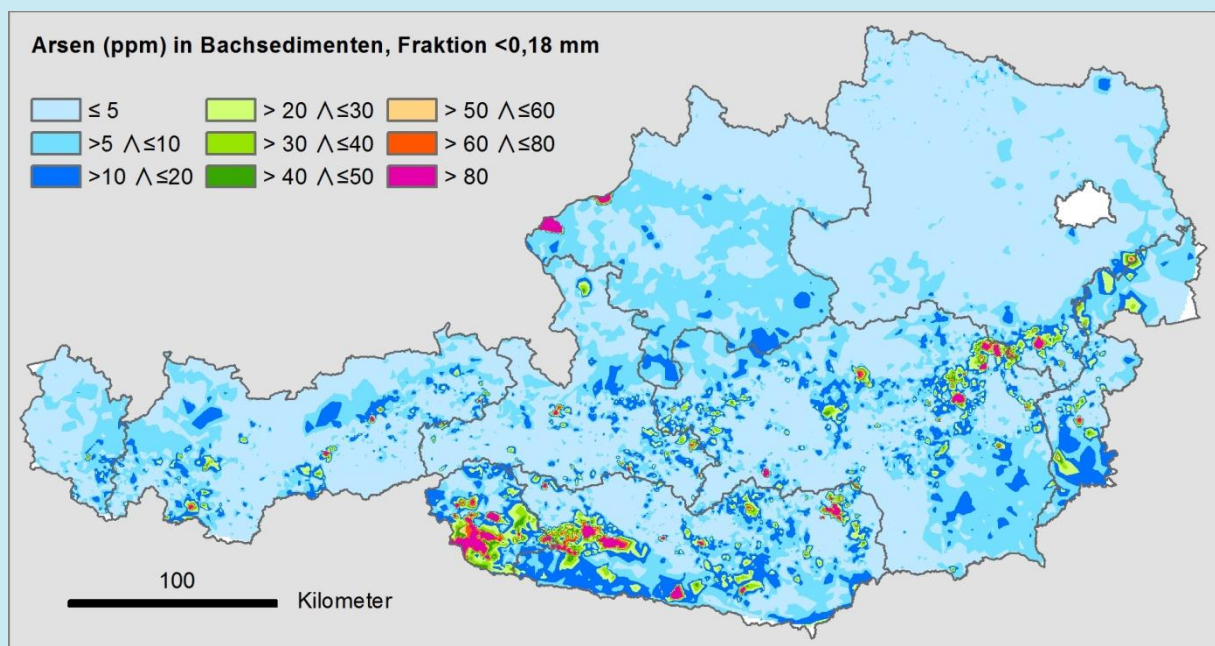
Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

2.2.1.3 Natürliche Vorkommen

Arsen ist ein chalkophiles Spurenelement. Es ist ein „Entgasungsprodukt der Erde, bedingt durch niedrige Sublimations- bzw. Siedepunkte des elementaren Arsens und zahlreicher Verbindungen“ (THALMANN et al. 1989a, S. 41). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Arsengehalt von 1,5 ppm auf, Ultrabasite 1 ppm, Basalte 2 ppm und Granite 1,5 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer bis 13 ppm, Sandsteine und Karbonatgesteine 1 ppm und Böden 6 ppm. Wesentlich höhere Konzentrationen können in vulkanogen-sedimentären Kieslagerstätten sowie in hoch- bis tiefhydrothermalen Erzmineralisationen verschiedener Art auftreten.

Aus dem aktuellen an der Geologischen Bundesanstalt vorliegenden Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. 1989b in Kartenform publiziert, weitere Messkampagnen in AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, 2b dokumentiert) ergibt sich für den geologischen Untergrund Österreichs hinsichtlich des Arsengehaltes folgendes Verteilungsmuster: Bereiche mit gehäuft auftretenden Arsenkonzentrationen über 50 ppm (Gehalte ab diesem Wert wurden in THALMANN et al. 1989b durch rötliche Farbtöne hervorgehoben) sind an die Zentralzone der Alpen gebunden (siehe Abbildung 2; die beiden im Westen Oberösterreichs auffallenden Maxima beruhen nur auf zwei einzelnen hohen Analysewerten).

Abbildung 2: Arsen in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

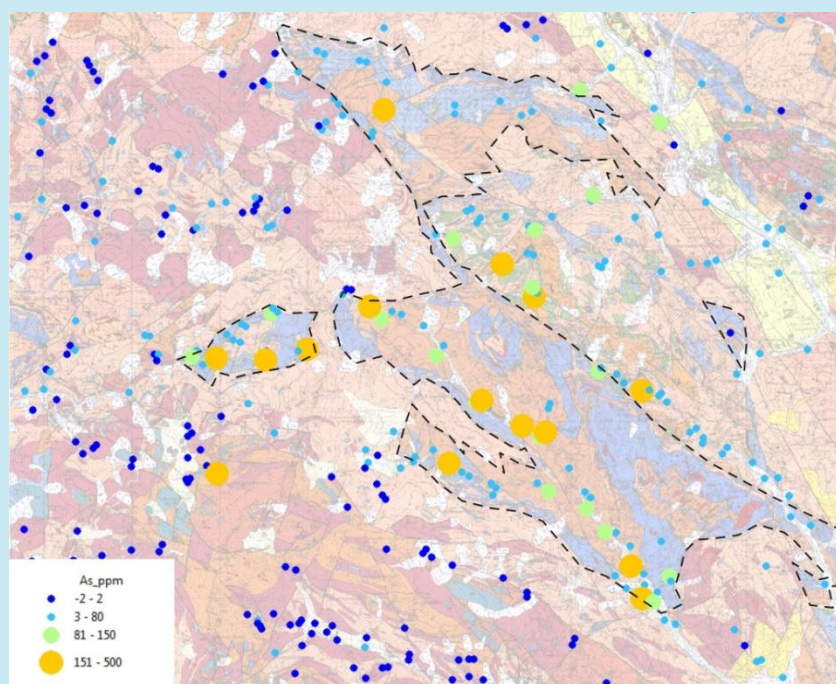
Erläuterung: Arsen in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße; die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an. Areale mit mehreren, über 50 ppm liegenden Analysen sind nur in der Zentralzone der Alpen zu verzeichnen; die beiden Maxima im Westen Oberösterreichs hingegen sind das Resultat von zwei einzelnen, besonders arsenreichen Proben.

Innerhalb der Zentralzone der Alpen heben sich folgende Gebiete aufgrund der höheren Arsengehalte deutlich vom Umfeld ab: Im Verbreitungsgebiet des Grundwasserkörpers Zentralzone (GK100010) sind signifikante Arsen-Anomalien bei Nauders, N' Matri am Brenner, E' Schwaz, SE' Kitzbühel und in den Dientener Bergen zu verzeichnen. Im GK100186 gibt es besonders starke Häufungen von hohen Arsengehalten, näm-

lich in den Defregger Alpen und in der Kreuzeckgruppe (siehe Abbildung 2). Im Grundwasserkörper Salzburger Hohe Tauern (GK100185) sind vor allem im Raum SE' des Murtörls und im GK100186 in der nördliche Saualpe Häufungen von höheren Arsengehalten in den Bachsedimenten zu verzeichnen. Eine ausge dehnte Häufung von höheren Konzentrationen tritt auch im Raum Kapfenberg-Neunkirchen auf (diese betref fen Teile von GK100086, GK100107, GK100109, GK100114 und GK100138).

Die edelmetallführenden Vererzungen im zentralen und südlichen Bereich der Kreuzeck-Goldeckgruppe, an die das Arsen gebunden ist, sind nach CERNY et al. (1997, S. 307) zum einen an Gänge „und/oder imprägnativ an Störungs- und Scherzonen alpinen Alters gebunden“. Zum anderen treten auch an Vulkanosedimente gebundene Erzvorkommen auf („massive Kieslager“, PAAR 1997, S. 301). Die Vererzungen im Süden der Defregger Alpen sind „offensichtlich gleichzeitig mit dem Nebengestein entstanden und örtlich durch die Ausläufer des Rieserferner Tonalits mobilisiert und überprägt worden“ (WEBER & TUFAR 1997, S. 300). Im Norden der Saualpe ist der Arsengehalt offenbar mit dem Preims-Komplex vergesellschaftet (siehe Abbil dung 3).

Abbildung 3: Arsen in Bachsedimenten im Norden der Saualpe.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, Geologie WEISSENBACH & PISTOTNIK 2000, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Arsen in den Bachsedimenten im Norden der Saualpe, NW' Wolfsberg; der Kartenausschnitt ist 20 km breit. Die strichlierte, schwarze Linie umgrenzt den vorwiegend aus Marmor und Schiefergneis bestehenden Preims-Komplex (WEISSENBACH & PISTOTNIK 2000). Der Preims-Komplex und sein Umfeld zeichnen sich in der Bachsedimentgeochemie durch Arsenskonzentrationen über 80 ppm aus.

Dieser besteht aus einer Abfolge von Schiefergneis und Marmoren (WEISSENBACH & PISTOTNIK 2000). GÖD & HEISS (2008, S. 26) nennen als Ursache eine „Realgar-Auripigment-ged. Arsen-Mineralisation, gebunden an autigene Breckzien innerhalb der ‚Preimser Marmore““. Zu den östlich Müzzuschlag gelegenen Arsen-Anomalien berichten GÖD & HEISS (2008, S. 27): Diese „sind lithologisch an Quarzphyllite (= [] ‚Hüllgesteine der Grobgnaisse‘) gebunden und lassen sich, mit Unterbrechungen, vom Raum Müzzuschlag/Pretul-Alm Richtung NE über rund 70 km bis ins Leithagebirge verfolgen [...]. Für den Bereich Müzzuschlag konnte als Ursache eine monominerale, ausnahmslos stratiform auftretende Arsenkiesmineralisation im Bereich der Pretul-Alm aufgefunden werden, doch ist anzunehmen, dass auch die weiteren Anomalien innerhalb der Grobgnaisse auf diesen Mineralisationstyp zurückzuführen sind.“ Mit der westlichsten der stärker ausgeprägten Arsen-Anomalien dieses Raumes, nämlich der NW' Feistritz am Wechsel gelegenen (im Grundwas-

serkörper Bucklige Welt GK100086), haben sich GÖD & HEISS (1996) näher befasst. Sie beschreiben eine Phyllitprobe mit Arsenkies und eine limonitisierte Hangbrekzie mit erhöhtem Arsengehalt. Im Zuge dieser Arbeit wurden auch Wasserproben analysiert (siehe unten).

Gold- und silberhaltige Arsenvererzungen wurden über Jahrhunderte an mehreren Stellen im Salzburger Lungau (Gebiet um Rotgülden) abgebaut (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 1998). Weitere Schwerpunkte des Abbaus von Arsenkies zur Gewinnung von Arsenik waren beispielsweise Gastein im Pongau, das Oberkärntner Pöllatal sowie die steirischen Bergbaue in Gasen-Straßegg, im Kothgraben bei Kleinfestritz und in St. Blasen-Karchau. Das damals gewonnene Arsenik war von großer wirtschaftlicher Bedeutung und wurde nach ganz Europa und bis in den Nahen Osten exportiert (HUBER 1988, AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG O.J.).

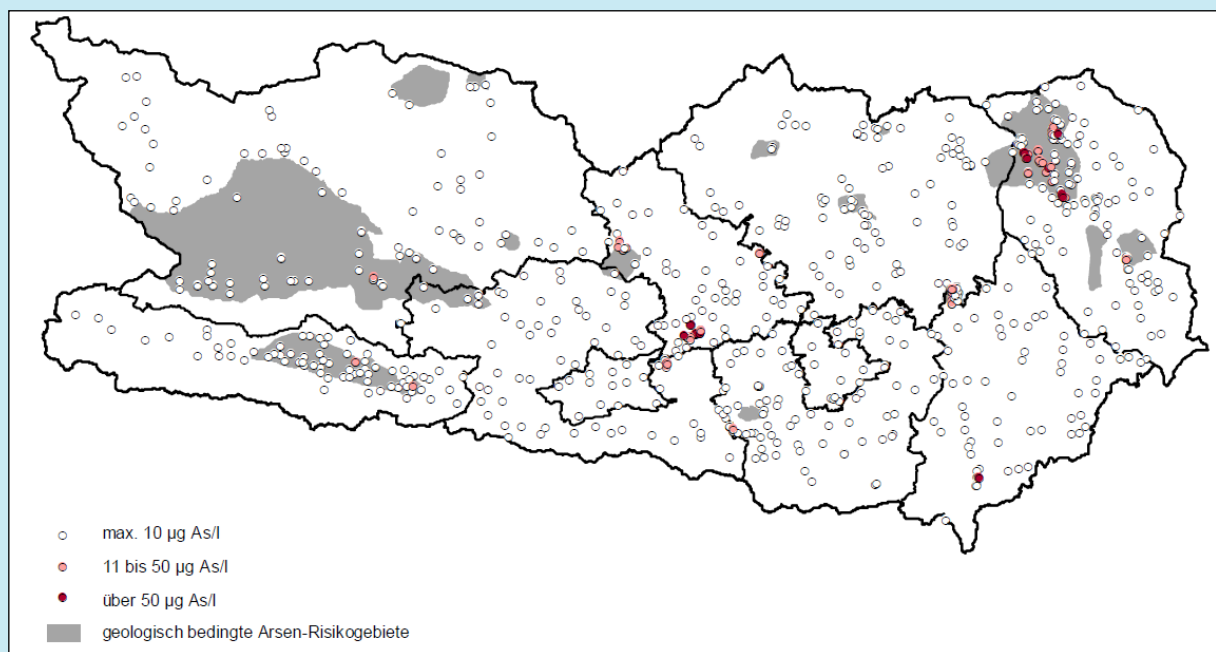
2.2.2 Arsen im Grundwasser

2.2.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Die Daten der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) zeigen über ganz Österreich verteilt einzelne Werte, die den Schwellenwert von $9 \mu\text{g/l}$ lt. QZV Chemie GW überschreiten. Von Vorarlberg über das Inn- und Ennstal bis hin zur Südost-Steiermark und dem Burgenland finden sich immer wieder höhere Arsenkonzentrationen. In der Steiermark und im Burgenland liegen die einzigen Grundwasserkörper, die im Mittel Schwellenwertüberschreitungen aufweisen. Es handelt sich hierbei um die Grundwasserkörper Hügelland zwischen Mur und Raab (GK100183), Hügelland Raab Ost (GK100181), Fischbacher Alpen (GK100137), Lafnitztal (GK100129), Feistritztal (GK100126) und Mittleres Ennstal (GK100039). Auch im Oberösterreichischen Innviertel, im Kärntner Drautal und im Lavanttal zeigen einzelne Messstellen höhere Konzentrationen an. Während das 90 % Perzentil von allen Messstellen-Medianen bei $1,70 \mu\text{g/l}$ und damit weit unterhalb des Schwellenwertes liegt, weist der höchste Median eine Konzentration von $110 \mu\text{g/l}$ auf. Insgesamt liegen 82,2 % aller Messstellen-Mediane unterhalb der maximalen Bestimmungsgrenze von $1 \mu\text{g/l}$.

2.2.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Abbildung 4: Arsen in Kärntner Trinkwässern.



Quelle: MATHIASCHITZ et al. 2003

Erläuterung: Ergebnisse der Trinkwasseruntersuchungen auf Arsen 2000–2002 (aus MATHIASCHITZ et al. 2003).

Im Bundesland Kärnten wurden in den Jahren 2000–2002 Trinkwässer gezielt auf Arsen untersucht (MATHIASCHITZ et al. 2003). In dieser Studie waren nördlich der Saualpe im Bezirk Wolfsberg gehäuft Arsenkonzentrationen über 10 µg/l festzustellen (Beprobung 2000/2001: 21 Analysen 11–50 µg/l und 8 Analysen > 50 µg/l, Maximum 510 µg/l; Beprobung 2002: 19 Analysen 11–50 µg/l und 4 Analysen > 50 µg/l, Maximum 490 µg/l). In diesem Gebiet treten auch erhöhte Arsenwerte in den Bachsedimenten konzentriert auf (siehe Abbildung 3). Die Lage der im Bezirk Wolfsberg betroffenen Messstellen deckt sich im Wesentlichen mit dem Verbreitungsgebiet des Preims-Komplexes (siehe Abbildung 4). Eine weitere Häufung von hohen Arsenkonzentrationen im Wasser zeichnete sich im Bezirk Feldkirchen ab. Hier kann jedoch keine Korrelation mit der Bachsedimentgeochemie festgestellt werden.

Besonders hohe Arsenkonzentrationen im Verbreitungsgebiet des Preims-Komplexes werden auch in ZÖTL & GOLDBRUNNER (1993) angegeben: Auf Seite 151 wird für die Auenquelle NW' Wolfsberg ein Arsengehalt von 20 µg/l und auf Seite 153 für die Franz-Kahler-Quelle in Bad Weißenbach eine Arsenkonzentration von 33 µg/l zitiert.

GÖD & HEISS (1996) beschreiben 14 Arsenanalysen im Grundwasser zur Bachsediment-Arsenanomalie im Raum NW' Feistritz. Die höchste in dieser Studie bestimmte Arsenkonzentration betrug 78 µg/l.

2.2.3 Interpretation

Von den GZÜV-Messstellen mit Schwellenwertüberschreitungen finden lediglich PG71503042 im Grundwasserkörper Zentralzone (E' Sillian, Arsen-Medianwert 64,6 µg/l, GK100186) und PG20923032 im Grundwasserkörper Lavanttal (Wolfsberg, Arsen-Medianwert 10,4 µg/l, GK100065) in ihrer Nähe ein Gegenstück in den Bachsedimenten. Bei fast allen GZÜV-Messstellen, die mit ihrem Medianwert den Schwellenwert übersteigen, gibt es im Datensatz der Bachsedimentgeochemie keine entsprechende positive Anomalie.

Regional besteht jedoch ein Zusammenhang zwischen höheren Arsenkonzentrationen im Grundwasser und geologisch bedingten höheren Arsenkonzentrationen im Oberboden. Dies trifft insbesondere auf die Steiermark zu, wo für eine Vielzahl von GZÜV-Messstellen in den Grundwasserkörpern Hügelland zwischen Mur und Raab (GK100183), Fischbacher Alpen (GK100137) sowie Oberes Ennstal (GK100040), Mittleres Ennstal (GK100039), Feistritztal (GK100126) und Lafnitztal (GK100129) Arsenkonzentrationen im Grundwasser zu verzeichnen sind, die über dem Schwellenwert von 9 µg/l liegen. Diese Gebiete decken sich mit Bereichen zum Teil höherer Arsenkonzentrationen im Oberboden (siehe Abbildung 5), die zumeist auf den geologischen Gegebenheiten des Untergrundes basieren (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1998–2011, GÖD & HEISS 2008). Anthropogene Belastungen des Bodens werden für die Steiermark hingegen nur kleinflächig vermutet. Zudem findet sich für die meisten GZÜV-Messstellen eine Übereinstimmung zwischen Arsenkonzentrationen oberhalb von 25 % des Schwellenwertes und den räumlich entsprechenden geogenen Hintergrundwerten für Arsen im Grundwasser (1. und 2. Hintergrundwerte), basierend auf Angaben des Projektes GEOHINT (HOBIGER et al. 2004).

Im Burgenland sind für etliche GZÜV-Messstellen im Bereich der Grundwasserkörper Hügelland Rabnitz (GK100146), Wulkatal (GK100081), Hügelland Raab Ost (GK100181), Seewinkel (GK100134) und Heideboden (GK100018) Arsenkonzentrationen über dem Schwellenwert von 9 µg/l zu verzeichnen. Mit Ausnahme des Grundwasserkörpers Heideboden decken sich auch hier diese Bereiche mit Gebieten höherer Arsenkonzentrationen im Oberboden. Insbesondere westlich sowie südlich des Neusiedler Sees können diese natürlichen Arsenanreicherungen im Boden mit den von GÖD & HEISS (2008) beschriebenen Arsenanomalien zwischen Mürzzuschlag und dem Leithagebirge erklärt werden. Für alle genannten Grundwasserkörper decken sich Arsenkonzentrationen oberhalb von 25 % des Schwellenwertes mit den räumlich entsprechenden geogenen Hintergrundwerten für Arsen im Grundwasser nach GEOHINT (1. und 2. Hintergrundwerte).

Die Messstellen mit Arsenwerten oberhalb von 75 % des Schwellenwertes im Inntal (GK100002), im Drautal (GK100059), in den Karawanken (GK100194) sowie im Ötztal (im GK100010 Zentralzone) liegen in Gebieten, in denen kleinräumig geogen bedingt höhere Arsengehalte vorliegen können (2. Hintergrundwerte). Zwei Messstellen mit Arsenkonzentrationen zwischen 25 % und 75 % des Schwellenwertes im Gailtal (GK100060) liegen ebenfalls im Bereich der als geogen ermittelten Hintergrundwerte für Arsen, basierend auf den Angaben von GEOHINT. Für die nähere Umgebung der Messstelle PG20316262 bei St. Stephan

a. d. Gail (Arsen-Mediankonzentration 38,7 µg/l) kann eine anthropogene Beeinflussung aufgrund bekannter Altstandorte und Altablagerungen mit Arsenbelastungen ausgeschlossen werden. Die in diesem Gebiet auftretenden Vererzungen weisen auf geogen bedingt höhere Arsengehalte im Grundwasser hin.

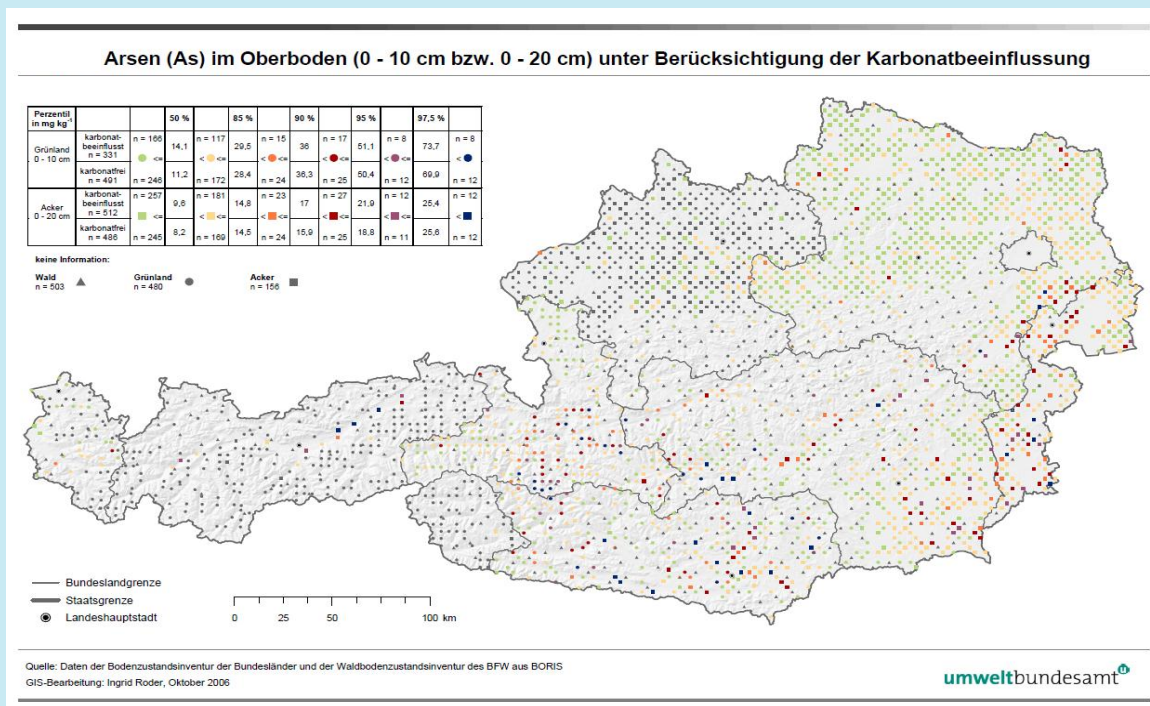
Die Messstelle mit einer Arsen-Mediankonzentration über dem Schwellenwert im Rheintal (GK100149) deckt sich gleichfalls mit den Angaben zu höheren geogenen Hintergrundgehalten von Arsen in diesem Gebiet nach GEOHINT.

Als mögliche Ursache für Arsen-Medianwerte oberhalb des Schwellenwertes im Bereich von Umhausen (Ötztal) könnte der Bergsturz von Köfels in Betracht gezogen werden. Bei der Analyse von Orthogneisen aus dem Raum Umhausen-Köfels wurde in Verbindung mit den primär analysierten Uran-Gehalten u. a. für Arsen eine hohe Variabilität mit fallweise deutlich erhöhten Werten (1 bis > 200 ppm) festgestellt (PURTSCHELLER et al. 1997). Die starke innere Zerrüttung der Bergsturzmasse könnte neue Wegbarkeiten für Wasser und eine verstärkte Auslaugung der Gesteine bewirkt haben.

Die Messstelle PG31600222 im Grundwasserkörper Weinviertel (Arsen-Medianwert 7,8 µg/l, GK100095) weist Sauerstoffgehalte von überwiegend < 1,5 mg/l auf, für die Messstelle PG41224022 im Grundwasserkörper Salzach – Inn – Mattig (Arsen-Medianwert 10 µg/l, GK100013) sind Sauerstoffgehalte von überwiegend < 0,5 mg/l zu verzeichnen. Die Sauerstoffgehalte für die Messstelle PG51201802 im Grundwasserkörper Pinzgauer Saalachtal (Arsen-Medianwert 19 µg/l, GK100005) liegen vornehmlich < 1 mg/l. Diese Redoxverhältnisse begünstigen die Löslichkeit von Arsenverbindungen, da die im reduzierenden Milieu vorliegenden dreiwertigen Arsenverbindungen relativ gut wasserlöslich sind. Die Mobilität von Arsen steigt somit an und in Folge ist eine zunehmende Konzentration im Grundwasser möglich (siehe Kapitel 2.2.1.1).

Insgesamt zeigen die Daten, dass sich die Arsenkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper für weite Teile Österreichs auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und weit unterhalb des Schwellenwertes der QZV Chemie GW liegen. Ausnahmen bilden wenige Grundwasserkörper und etliche Messstellen hauptsächlich in der Steiermark, im Burgenland und in Kärnten mit geogen bedingten Schwellenwertüberschreitungen.

Abbildung 5: Arsen im Oberboden (0–10 cm bzw. 0–20 cm) unter Berücksichtigung der Karbonatbeeinflussung.



Quelle: Umweltbundesamt (unpubl.): Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS

2.3 Blei (Pb)

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Blei in seiner gediegenen Form ist selten. Verbreitet sind Bleiverbindungen, die fast immer mit Sulfiden anderer Schwermetalle vergesellschaftet sind und oft auch Silber und Gold enthalten. Die wichtigsten Bleiminerale sind Galenit (Bleisulfid), Cerussit (Bleicarbonat) und Anglesit (Bleisulfat). Blei gehört zu den weniger häufigen Elementen auf der Erde (BINDER 1999).

Blei ist ein blauweißes, gut dehnbares Metall, das sich gut verarbeiten lässt. Es ist das weichste aller technisch verwendeten Schwermetalle. Blei ist ein reaktionsfähiges Metall, das an der Luft eine dichte, schwer lösliche basische Schutzschicht bildet, die vor weiterer Oxidation schützt. Luftfreies Wasser greift Blei nicht an. Bei Kontakt mit stärker carbonat- und sulfathaltigem Wasser kommt es zur Bildung einer dichten Schutzschicht von Bleicarbonat und Bleisulfat. Viele Bleiverbindungen sind generell schwer bis unlöslich in Wasser. Gut löslich hingegen sind Bleiacetate und Bleinitrate.

Hauptsächlich bedingt durch die frühere Verwendung von Blei als Antiklopfmittel in Kraftstoffen wurden große Mengen des Metalls freigesetzt und primär über den atmosphärischen Transportweg in der Umwelt deponiert. Bei Kontakt mit Wasser und Boden bildet Blei Verbindungen mit geringer Löslichkeit. Atmosphärisch deponiertes Blei wird im Boden in der oberen Bodenschicht (2–5 cm) zurückgehalten. Ein hoher Humusgehalt > 5 % und ein pH-Wert > 5 sind die wichtigsten Faktoren, um Blei im Boden zu immobilisieren (MERIAN 1991). Aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit natürlicher Bleiverbindungen sind die Blei-Gehalte in allen Grundwässern – mit Ausnahme im Bereich von Erzlagerstätten – naturgemäß sehr gering. Lokal können durch anthropogene Einträge, z. B. in der Nähe von Deponien, die Bleigehalte im Grundwasser deutlich höher ausfallen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992).

Blei ist für den Menschen stark toxisch und lagert sich in verschiedenen Teilen des Körpers ab. Bis es zu merklichen Symptomen kommt, bedarf es einer relativ langen Exposition. Während ein niedriger Gehalt von Blei im Blut noch symptomlos ertragen werden kann, bedeutet ein Gehalt von 700–800 µg/l Blei im Blut bereits eine akute Gefahr (HÜTTER 1992). Blei ist eines der wirtschaftlich wichtigsten Nichteisenmetalle. Es wird größtenteils zur Herstellung von Legierungen eingesetzt. Weiche Blei-Kupfer-Legierungen dienen zur Produktion von Kabelummantelungen, Dichtungen oder Isolierungen. In der Chemieindustrie wird Blei aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit als Gefäß- und Rohrmaterial für aggressive Flüssigkeiten verwendet. Bleiplatten dienen als Strahlenschutz gegen Röntgen- und Gammastrahlen. Bleiverbindungen finden Verwendung in Glaswaren, Keramik und als Stabilisatoren in Plastikmaterialien.

In der Vergangenheit wurden große Mengen Blei für die Herstellung von Batterien sowie Antiklopfmitteln verwendet. Bis in die 1950er-Jahre wurden Bleileitungen zur Trinkwasserversorgung in Häusern installiert. Aus diesen alten Hauswasserleitungen sowie aus Armaturen kann durch das Wasser Blei gelöst werden. Die Bleikonzentration im Trinkwasser kann so deutlich über dem zulässigen Höchstwert der Trinkwasserverordnung liegen. Die Bleilöslichkeit sinkt mit zunehmender Wasserhärte und längerer Nutzung der Leitungen und Armaturen durch die Bildung von Ablagerungen (im Normalfall Bleicarbonat und Bleisulfat) und der damit verbundenen geringeren Auslösung von Blei (MERIAN 1991, BMLFUW 2010).

2.3.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Blei im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	9 µg/l
Parameterwert lt. TWV	10 µg/l

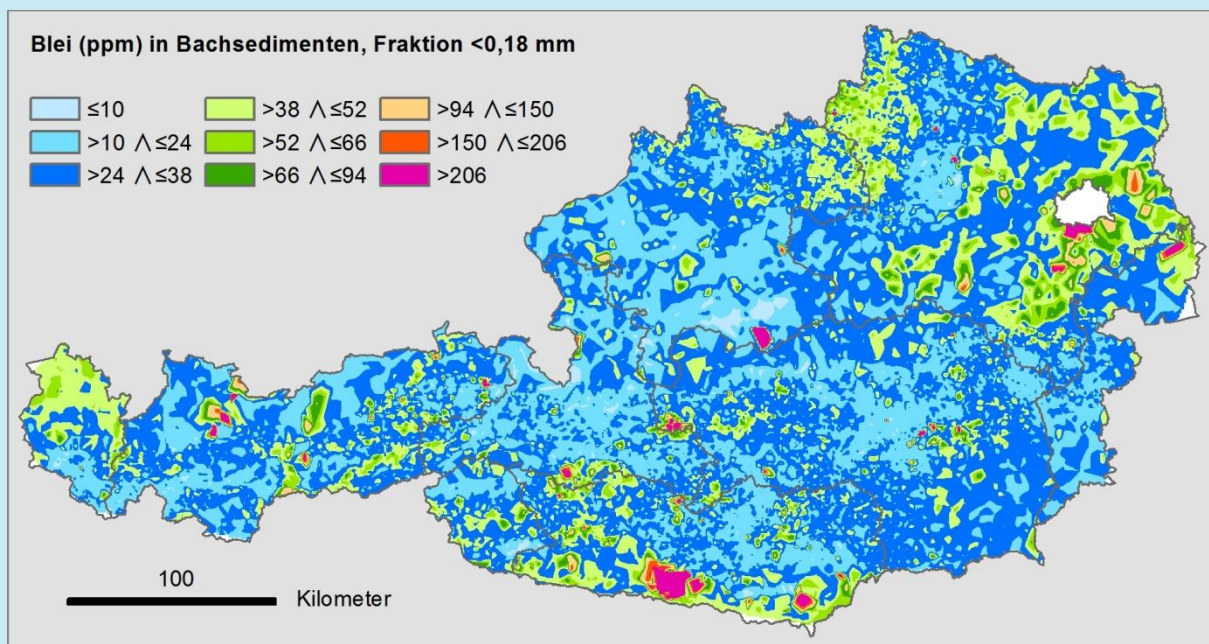
2.3.1.3 Natürliche Vorkommen

Blei ist ein Spurenelement, das mit der Alkalisierung der Magmen angereichert wird. Magmatogene Gesteine enthalten nach THALMANN et al. (1989a, S. 98) im Durchschnitt 12,5 ppm Blei; Ultrabasite 0,05 ppm, Basalte 4 ppm, Granodiorite 15 ppm und Granite 19 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 20 ppm, Sandsteine 7 ppm, Karbonatgesteine 9 ppm und Böden 10 ppm (2–200 ppm).

Nach MATTHESS (1994, S. 339) weisen Grundwässer aufgrund der geringen Löslichkeit von Bleiverbindungen und seiner geringen geochemischen Beweglichkeit meist keine nachweisbaren Bleimengen auf, höchstens einige µg/l bis 20 µg/l. Im Bereich von Erzlagerstätten wurden aber laut MATTHESS wesentlich höhere Bleigehalte beobachtet (Maximalwert: 1.300 µg/l).

In dem an der Geologischen Bundesanstalt vorliegenden Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert; weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) sind im ostalpinen Kristallin und in kalkalpinen Bereichen mehrere deutliche Anomalien ausgebildet, die auf mehrere Proben zurückgehen: NE' Imst Kalkalpen (GK100009 Nördliche Kalkalpen), bei Fulpmes (Grenzbereich Steinacher Trias-Kristallin der Stubai Alpen; GK100010 Zentralzone), E' Schwaz und in Alpbach (Grauwackenzone; GK100010 Zentralzone), bei Fieberbrunn (Grenzbereich Untertrias-Grauwackenzone), in den Schladminger Tauern (GK100052), in der Innerkrems (Grenzbereich ostalpines Kristallin-Mesozoikum-Paläozoikum der Gurktaler Decken; GK100186 Zentralzone), Villacher Alpe (Mesozoikum und Talfüllung; GK100077 Südliche Kalkalpen und GK100060 Gailtal), im Bereich Frohleitens-Arzberg (Grazer Paläozoikum; GK100110 Grazer Bergland westlich der Mur, GK100109 Grazer Bergland östlich der Mur [MUR] und GK100138 Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]). Des Weiteren sind im Tauernfenster in Kolm-Saigurn (GK100010 Zentralzone) und im Wiener Becken südlich von Wien (GK100024 Südliches Wiener Becken) deutliche Anomalien ausgebildet (siehe Abbildung 6). Letztere Anomalie könnte menschlichen Ursprungs sein. Die in der Karte stark hervortretende Anomalie bei Roßleithen bei Windischgarsten geht hingegen nur auf eine Analyse zurück, kommt aber aufgrund der hier gegebenen geringen Datendichte stark zur Geltung.

Abbildung 6: Blei in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Blei in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße. Die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

Die bekannteste Blei-Zinkerzlagerstätte Österreichs ist Bleiberg (CERNY 1989). Im Datensatz der Bachsedimentgeochemie (siehe Abbildung 6) ist im Umfeld dieser Lagerstätte die auffälligste Blei-Anomalie ausgebildet. Laut CERNY & SCHROLL (1999, S. 377–379) ist die Typuslagerstätte Bleiberg an den oberen Wettersteinkalk und Raibler Schiefer gebunden. In Bleiberg ist nicht nur die große Ausdehnung der Lagerstätte, sondern auch die hohe Vererzungsdichte bemerkenswert; letztere beträgt im oberen Wettersteinkalk 0,4 Mio. t Pb+Zn/km³.

Bis 1993 wurde in Bleiberg Bergbau betrieben. Bei dieser Lagerstätte handelte es sich um eine der europaweit bedeutendsten Blei-Zink-Erzlagerstätten.

Von untergeordneter Bedeutung und oft an die Gewinnung anderer Metalle gebunden war beispielsweise die Bleigewinnung im Raum Arzberg-Haufenreith (Steiermark) sowie bei Gastein im Pongau und bei Ramingstein im Lungau (Salzburg) (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 1998, NATURWISSENSCHAFTLICHER VEREIN FÜR STEIERMARK, o.J., WEISS 2005).

2.3.2 Blei im Grundwasser

2.3.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Die Karte auf Basis der GZÜV-Daten zeigt keine Überschreitungen des Schwellenwertes lt. Qualitätszielverordnung Chemie GW für Blei in Österreich. Es gibt nur wenige Messstellen-Mediane, die Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze von 1 µg/l aufweisen. Diese befinden sich überwiegend in Tirol, Salzburg, in der Region südlich von Linz, im Marchfeld und im Burgenland sowie im Drautal. Unterhalb der Bestimmungsgrenze befinden sich 98 % der Messstellen-Mediane. Der Maximalwert liegt bei 4,2 µg/l. Insgesamt befinden sich 21 Grundwasserkörper im Mittel zwischen den Konzentrationen 0,5 µg/l und 1 µg/l. Alle übrigen Grundwasserkörper liegen im Mittel unterhalb der Bestimmungsgrenze.

2.3.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Im Datensatz der Tiroler Landesregierung gibt es drei Analysen, die über dem Schwellenwert von 9 µg/l liegen; zwei stammen aus dem Raum Kitzbühel (19,9 µg/l und 13,1 µg/l), von denen die zweite auf der Blei-Anomalie der Bachsedimentgeochemie in Fieberbrunn zu liegen kommt, und eine stammt aus dem Süden der Deferegger Alpen (20,5 µg/l). Letztere Probe weist mit 10.400 µg/l auch den höchsten Zink-Gehalt dieses Datensatzes auf; beide Metalle treten häufig vergesellschaftet auf.

2.3.3 Interpretation

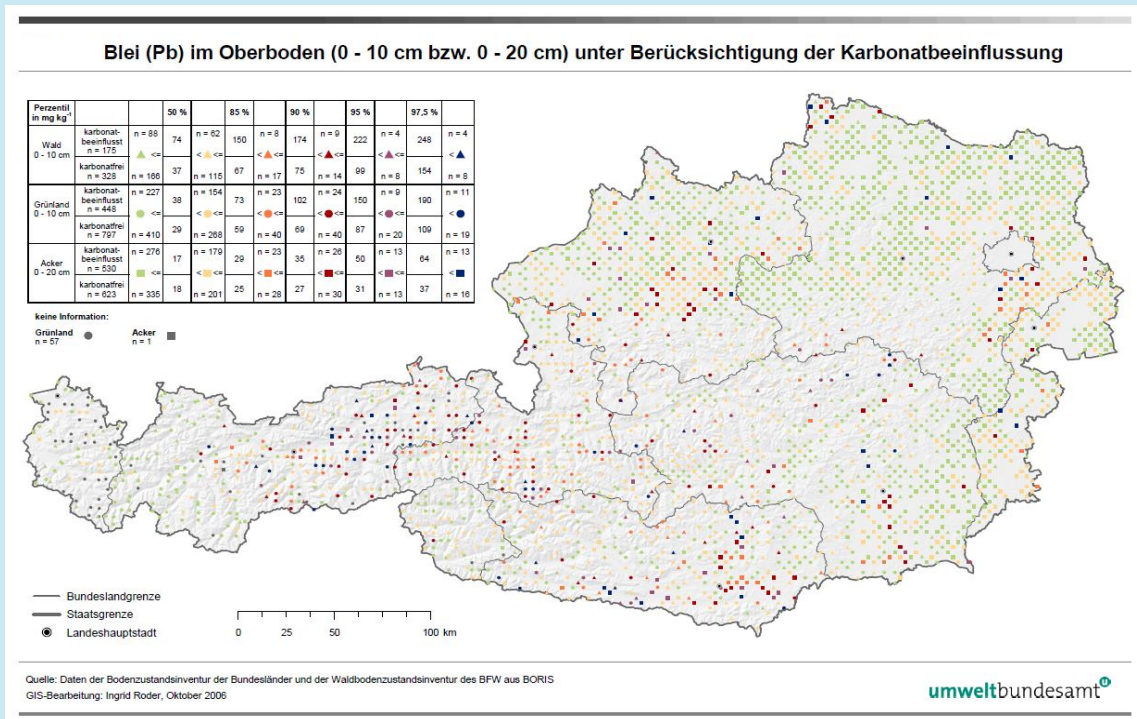
Die Medianwerte der GZÜV-Messstellen liegen alle unter dem Schwellenwert von 9 µg/l. Im Bereich von Vererzungen sind jedoch höhere Werte denkbar. Bis auf die GZÜV-Messstelle PG61032062 im Grundwasserkörper Sulm und Saggau (Blei-Medianwert 2,1 µg/l, GK100106) liegen alle Messstellen mit Bleikonzentrationen von 25–75 % des Schwellenwertes in Gebieten, die im Oberboden (siehe Abbildung 7) oder basierend auf Angaben von GEOHINT geogen bedingt im Grundwasser höhere Bleigehalte aufweisen. Für die nähere Umgebung der oben genannten Messstelle gibt es keine Hinweise auf eine anthropogene Beeinflussung aufgrund bekannter Altstandorte und Altablagerungen mit Bleibelastungen.

Blei kommt in Österreich sowohl geogen bedingt als auch durch anthropogene Einträge in die Umwelt vor. Diese Tatsache erschwert die Abgrenzung von geogenem zu anthropogen eingebrachtem Blei. Im Bereich der Südost-Steiermark und im Burgenland sind die geogenen Hintergrundwerte am höchsten. Sie bewegen sich teilweise zwischen 7,5 und 10 µg/l, also annähernd im Bereich des Schwellenwertes der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser und des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung. Insgesamt zeigen die GZÜV-Daten, dass die Bleigehalte im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper sehr niedrige Konzentrationen aufweisen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind.

Im Ostalpinen Kristallin sowie in der Region der Böhmisches Masse gibt es geogene Hintergrundwerte, die sich um ca. 4 µg/l Blei bewegen (HOBIGER et al. 2004). Diese teilweise bis 10 µg/l hohen Konzentrationen konnten in den Messstellen-Medianen der GZÜV nicht gefunden werden, was einerseits an der Mittelung der

Werte (es werden keine einzelnen Extremwerte herangezogen), oder auch an der Verteilung der Messstellen liegen kann.

Abbildung 7: Blei im Oberboden (0–10 cm bzw. 0–20 cm) unter Berücksichtigung der Karbonatbeeinflussung.



Quelle: Umweltbundesamt (unpubl.): Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS

2.4 Cadmium (Cd)

2.4.1 Allgemeines

2.4.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Elementares Cadmium kommt natürlicherweise nicht vor, auch reine Cadmium-Mineralien sind sehr selten. Häufig ist das Metall in isomorpher Form in Zinkmineralien eingebunden. Entsprechend ist der Abbau von Cadmium an Zinkvorkommen und deren Verhüttung gebunden. Cadmium gehört zu den selteneren Metallen auf der Erde (BINDER 1999).

Cadmium ist ein silberweißes, gut formbares, sehr weiches Schwermetall und ein relativ guter Leiter für elektrischen Strom und Wärme. Bei gewöhnlichen Temperaturen ist Cadmium an der Luft beständig. Cadmiumverbindungen mit Halogeniden, Nitrat oder Sulfat sind in Wasser löslich. Als Carbonat, Sulfid oder Oxid ist Cadmium wasserunlöslich. Fast alle Cadmiumverbindungen sind stark toxisch.

Der Hauptteil anthropogener Cadmiumemissionen stammt aus der Verhüttung von Zink und Eisen, der Industrie, fossilen Brennstoffen, Verkehr und Zigarettenrauch. Erhöhte Cadmiumgehalte in Böden können durch atmosphärische Einträge, nach der Verwendung von cadmiumhaltigen Mineraldüngern oder geogen bedingt vorliegen. Anreicherung von Cadmium in den oberen Bodenschichten geht teilweise auf die Bildung von Chelaten mit Huminsäuren zurück. Die bei der Verwitterung von carbonathaltigem Ausgangsgestein entstehenden Residualtone können im Boden ebenfalls erhebliche Cadmiummengen binden. Zudem ist die Auswaschung von Cadmium aus karbonatbeeinflussten Böden sehr langsam, was wiederum zu Anreicherungen führen kann (UMWELTBUNDESAMT 2001). Bei pH-Werten unter 6 steigt die Löslichkeit von Cadmium im Boden jedoch stark an und eine hohe geochemische Beweglichkeit ist zu beobachten (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1998–2011). Dies kann örtlich zu Problemen führen, da Cadmium in Abfällen

relativ leicht mobilisiert werden kann (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Auch aus verzinkten Rohrleitungen kann insbesondere durch weiche Wässer mit niedrigem pH-Wert Cadmium gelöst werden (HÜTTER 1992). Der größte Teil des produzierten Cadmiums wird als Korrosionsschutz für Eisen eingesetzt. Cadmiumseifen mit Fettsäuren dienen als Temperatur- und Lichtstabilisatoren für Kunststoffe und Farbpigmente. Cadmium wird in vielen Legierungen mit Kupfer, Nickel oder Silber verwendet. Entsprechend der Batterierichtlinie 2006/66/EG dürfen seit September 2008 cadmiumhaltige Batterien nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

2.4.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Cadmium im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

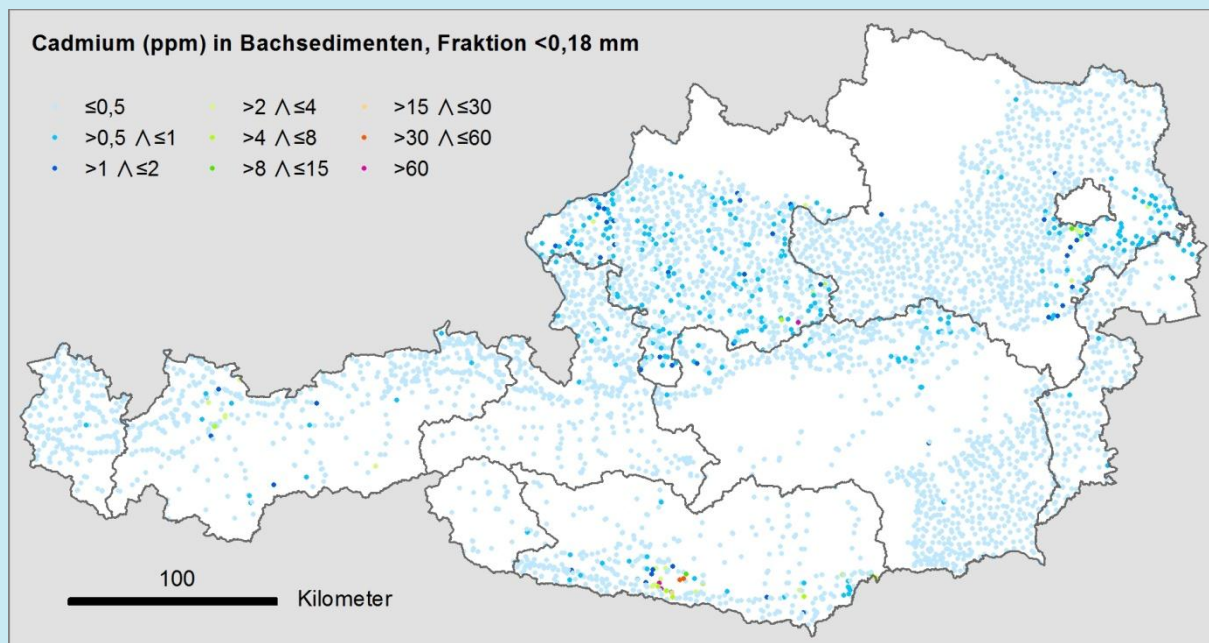
Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	4,5 µg/l
Parameterwert lt. TWV	5 µg/l

2.4.1.3 Natürliche Vorkommen

Cadmium ist ein seltenes, chalkophiles Spurenelement. CALLENDER (2004, S. 75) gibt folgende Werte an: Granite 0,15 ppm und 0,13 ppm, Basalte 0,2 ppm, Schiefer 1,4 ppm und 0,3 ppm, Sandstein < 0,03 ppm, Kalkstein 0,05 ppm und 0,03 ppm, Boden 0,06–0,35 ppm.

MATTHESS (1994, S. 336) führt beispielhaft Cadmium-Gehalte aus verschiedenen Grundwasserstudien an. Die Werte bewegen sich zwischen < 0,05 µg/l und 71 µg/l. In Grubenwässern können deutlich höhere Werte angetroffen werden (z. B. 41.100 µg/l).

Abbildung 8: Cadmium in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Cadmium in den Bachsedimenten - die Klassenbildung erfolgte über eine exponentielle Verteilung, die Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b;

PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) enthält zur Böhmisches Masse und zur Zentralzone der Alpen nur wenige Cadmium-Analysen (siehe Abbildung 8). Deutliche Cadmium-Anomalien weist dieser Datensatz im Raum NE' Imst Kalkalpen (GK100009 Nördliche Kalkalpen), im Wiener Becken südlich Wien (GK100024 Südliches Wiener Becken) und vor allem in der Villacher Alpe (Mesozoikum und Talfüllung; GK100077 Südliche Kalkalpen und GK100060 Gailtal) auf. Letztere Anomalie ist ident mit der Blei- und Zink-Anomalie im Umfeld der Lagerstätte Bleiberg (CERNY & SCHROLL 1995).

2.4.2 Cadmium im Grundwasser

Bei der GZÜV-Karte liegen die Messstellen-Mediane von Cadmium im Grundwasser Österreichs zu 99 % unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der maximale Wert beträgt 2,1 µg/l, was immer noch weit unter dem gesetzlichen Schwellenwert liegt. Die Messstellen mit Werten etwas oberhalb der Bestimmungsgrenze sind über ganz Österreich verteilt. Insgesamt gibt es 17 Grundwasserkörper, die im Mittel zwischen 0 und 25 % des Schwellenwertes nach QZV Chemie GW liegen. Alle anderen Grundwasserkörper liegen im Mittel unterhalb der Bestimmungsgrenze.

2.4.3 Interpretation

Bei Cadmium überschreiten keine Medianwerte der GZÜV-Messstellen den Schwellenwert von 4,5 µg/l. Bis auf eine Ausnahme liegen die Medianwerte der Messstellen im Bereich bis maximal 25 % des Schwellenwertes nach QZV Chemie GW. Lediglich für die Messstelle PG60910162 im Grundwasserkörper Mittleres Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur (Cadmium-Medianwert 2,1 µg/l, GK100099) liegt die Cadmiumkonzentration etwa bei der Hälfte des Schwellenwertes nach QZV Chemie GW. Für die nähere Umgebung dieser Messstelle sind gegenwärtig keine Altstandorte und Altablagerungen mit Cadmiumbelastungen bekannt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Cadmiumkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind, da sie weit unterhalb des Parameterwertes der TWV liegen.

2.5 Chrom (Cr)

2.5.1 Allgemeines

2.5.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Chrom ist in vielen häufig vorkommenden Mineralien der Erdkruste vertreten. In der Natur existiert Chrom nicht in elementarer Form (Ausnahme: Meteoriten). Das wichtigste Chrommineral, das auch zur Herstellung von Chrom verwendet wird, ist Chromit (Chrom-Eisen-Oxid) (BINDER 1999).

Chrom ist ein silbrig glänzendes Schwermetall. Reinstes Chrom ist sehr zäh und formbar. Durch Verunreinigungen mit Sauerstoff oder Wasserstoff wird es extrem hart und spröde. Bei gewöhnlichen Temperaturen, an feuchter Luft oder im Wasser ist Chrom sehr widerstandsfähig und oxidiert kaum.

Das Metall verhält sich geochemisch gesehen ähnlich wie Eisen oder Aluminium, ist jedoch deutlich seltener. Von sechs möglichen Oxidationsstufen kommen in Gesteinen und Grundwässern in der Regel nur Chrom(III)-Verbindungen natürlich vor. Dreiwertiges Chrom ist die stabilste Oxidationsstufe und entsprechende Chromverbindungen sind nur bei niedrigen pH-Werten wasserlöslich. Chrom(VI)-Verbindungen finden sich hauptsächlich in anthropogen beeinflussten Bereichen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Die Toxizität von Chrom ist abhängig von der Oxidationsstufe. Besonders toxisch wirken Chrom(VI)-Verbindungen (HÜTTER 1992).

Der größte Teil des produzierten Chroms wird in der Stahlindustrie als Legierungsmetall zur Herstellung von rostfreiem und hitzebeständigem Stahl eingesetzt. Die Verchromung von Metallgegenständen erhöht deren Korrosionsbeständigkeit. Chromverbindungen werden in einer Vielzahl von Pigmenten zur Herstellung von Farbstoffen, Kunststoffen oder Keramik eingesetzt. Chromverbindungen finden Verwendung beim Gerben von Leder (für die moderne Gerbung wird nur noch dreiwertiges Chrom eingesetzt, früher war sechswertiges

Chrom gebräuchlich), als Katalysatoren in der organischen Chemie, zur Holzimprägnierung und zur Produktion hochtemperaturbeständiger Werkstoffe aus keramischen und metallischen Grundstoffen.

2.5.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Chrom im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Dieser bezieht sich auf Chrom gesamt, d. h. die Gesamtbetrachtung gelösten drei- und sechswertigen Chroms. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	45 µg/l
Parameterwert lt. TWV	50 µg/l

2.5.1.3 Natürliche Vorkommen

Chrom ist ein lithophiles Spuren- bis Nebenelement mit geringer Mobilität. Es ist das Leitelement für Ultrabasite und Basite (THALMANN et al. 1989a, S. 59). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Chromgehalt von 100 ppm auf: Ultrabasite 3.000 ppm, ozeanische Tholeiitbasalte 300 ppm, Basalte 170 ppm, Granodiorite 20 ppm und Granite 4 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 90 ppm, Sandsteine 35 ppm, Karbonatgesteine unter 10 ppm und Böden 40 ppm (5–300 ppm).

Nach MATTHESS (1994, S. 331–332) ist in unkontaminierten Grundwässern Chrom in Spuren zwar weit verbreitet, in der Regel liegen die Konzentrationen jedoch unter 10 µg/l, höhere Werte sind selten. Der Autor führt dazu einige Beispiele an: In amerikanischen Wasserwerken beträgt der Medianwert 0,43 µg/l. Im Paradise Valley nördlich Phoenix, Arizona, wurde im Gesteinsschutt der Talfüllung das dreiwertige Chrom zu sechswertigem oxidiert, was zu Chrom-Konzentrationen zwischen 100 und 200 µg/l führte. Der pH-Wert des chromreichsten Wassers betrug dabei 9.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) zeigt in der Zentralzone der Alpen im Umfeld von Ultrabasiten und Metavulkaniten zahlreiche Häufungen von hohen Chrom-Gehalten auf (über 192 ppm, siehe Abbildung 9). Diese sind kombiniert mit hohen Nickel-Konzentrationen. Besonders deutliche Anomalien finden sich im Umfeld des Rechnitzer Fensters (Serpentinit und Grünschiefer, GK100139 Günser Gebirge, GK100180 Bucklige Welt und GK100181 Hügelland Raab Ost), bei Kraubath (Serpentinit bzw. Ultramafit, GK100116 Niedere Tauern einschl. Seckauer Tauern und GK100113 Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe), SE' Knittelfeld (Amphibole, GK100113 Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe), Hochgrößen südlich Liezen (Serpentinit bzw. Ultramafit, GK100052 Niedere Tauern einschl. Grauwackenzone) und bei Taxenbach (altpaläozoische Metabasite, GK100010 Zentralzone). Auch im Bereich von Gosaufentern in den Nördlichen Kalkalpen treten Chromgehalte über 192 ppm auf (siehe Abbildung 9); am deutlichsten ist die Anomalie bei Windischgarsten (GK100189 Nördliche Kalkalpen).

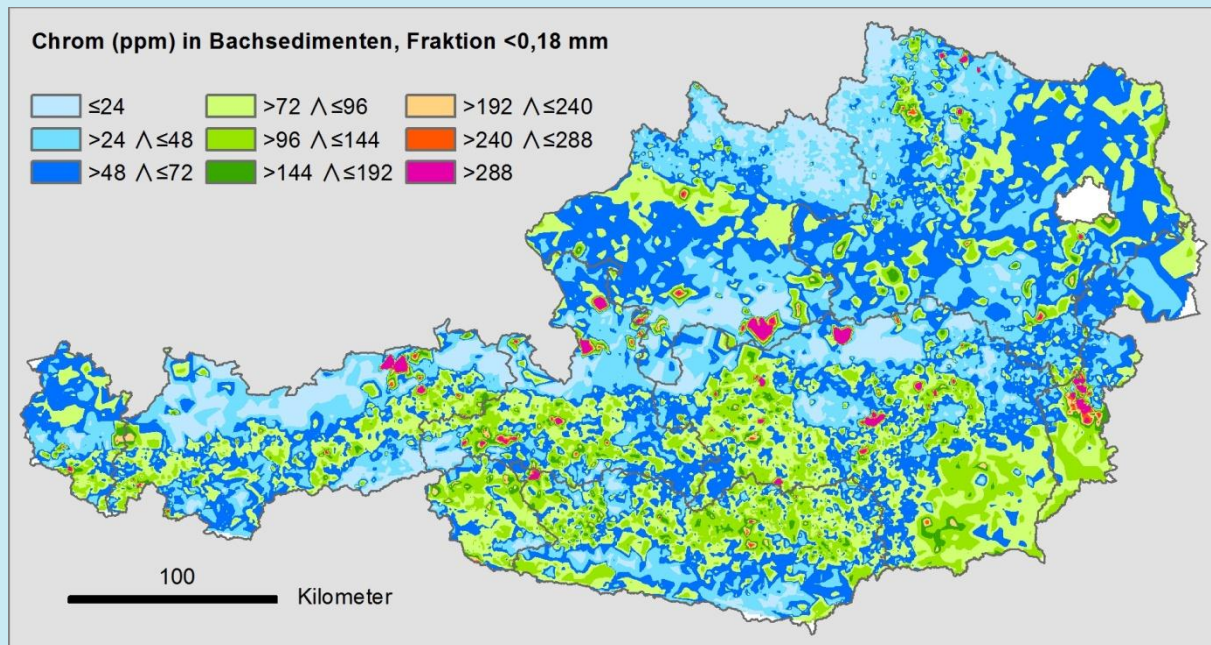
Auch in der Böhmischen Masse machen sich Ultrabasite und Metavulkanite durch erhöhte Nickel- und Chrom-Werte bemerkbar – so zum Beispiel bei St. Leonhard am Hornerwald (GK100190 Böhmische Masse). Eine Besonderheit in der Böhmischen Masse stellt der Rastenberger-Pluton dar (ebenfalls GK100190), da dieser als Granodioritintrusion hohe Chrom- und Nickel-Konzentrationen aufweist (Chrom z. T. über 192 ppm, siehe Abbildung 9). Die Ursache für diese für einen Granodiorit ungewöhnlichen Konzentrationen an Chrom und Nickel wird im tiefen Source dieses Gesteins gesehen (oberster Mantel und tiefe Kruste; FINGER et al. 2007).

Der Ultrabasitkomplex von Kraubath (KOLLEGER et al. 2007) ist der bedeutendste der Ostalpen. Seine Hauptmasse besteht aus Dunit mit Maschenserpentin, seitlich ist er in Antigoritserpentin umgewandelt. Sei-

ne Chromerze haben in der Vergangenheit bergbauliches Interesse gefunden. Das „Kernerz“, eines der Niveaus des Erzvorkommens, enthält 45–55 % Cr_2O_3 . Im Ultrabazit von Kraubath wurden auch Nickel-Gehalte bis zu 0,5 % beobachtet (WEBER & SCHROLL 1997, S. 296).

Chromit wurde z. B. nahe des Ortes Chromwerk bei Kraubath (Bezirk Leoben, Steiermark) abgebaut, wobei die wirtschaftliche Bedeutung des Chromitvorkommens begrenzt war (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, O. J.).

Abbildung 9: Chrom in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Chrom in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße. Die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

2.5.2 Chrom im Grundwasser

2.5.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Die vorliegende Karte basiert auf der Summe gelösten drei- und sechswertigen Chroms im Grundwasser. Unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen 86,3 % der Messstellen-Mediane von Chrom. Der Maximalwert beträgt 30 $\mu\text{g/l}$, was unterhalb des gesetzlichen Schwellenwertes von 45 $\mu\text{g/l}$ liegt. Die Messstellen mit messbaren Chromgehalten verteilen sich über das gesamte Bundesgebiet. Etwa 40 % aller Grundwasserkörper liegen im Mittel knapp über der Bestimmungsgrenze.

2.5.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Im Datensatz der VERBUND Hydro Power AG zum Donautal zwischen Leobendorf und Fischamend ist eine einzige Analyse mit einem Chrom-Gehalt über dem Schwellenwert enthalten. Die Messstelle liegt am Stadtrand Wiens bei Strebersdorf und weist 46 $\mu\text{g/l}$ Chrom auf.

2.5.3 Interpretation

Bei Chrom überschreitet kein Medianwert der GZÜV-Messstellen den Schwellenwert von 45 $\mu\text{g/l}$. Lediglich für vier Messstellen liegen Chromkonzentrationen in der Klasse von 25–75 % des Schwellenwertes vor. Drei dieser Messstellen mit Chrom-Mediankonzentrationen zwischen 16,8 und 22,1 $\mu\text{g/l}$ befinden sich in der Gemeinde Kappel am Krappfeld im Grundwasserkörper Krappfeld (GK100064). Die Chromgehalten im Grundwasser dieser Messstellen dürften auf die in der Nähe befindliche Deponie zurückzuführen sein, auf der von

1950–1992 Produktionsabfälle eines Industriebetriebes (Herstellung chemischer und metallurgischer Vorprodukte für industrielle Anwendungen) aus dem Standort Treibach-Althofen abgelagert wurden. Laut Altlastenatlas wurden für das Sickerwasser aus dem Deponiebereich zumindest zeitweise hohe Konzentrationen u. a. von Chrom beobachtet, allerdings mit sinkender Tendenz. Die letzte Schwellenwertüberschreitung für Chrom im Grundwasser wurde 1995 gemessen (UMWELTBUNDESAMT 2004).

Der Chromwert für die Messstelle PG61218032 bei Irdning im Grundwasserkörper Oberes Ennstal (Chrom-Medianwert 30 µg/l, GK100040) basiert auf einer Einzelmessung und ist insofern schwierig zu beurteilen. Für diese Messstelle liegen gegenwärtig keine Hinweise auf eine anthropogene Chrombelastung des Grundwassers aufgrund bekannter Altstandorte bzw. Altablagerungen vor. Im weiteren Gebiet der Messstelle etwas talaufwärts gibt der Steirische Bodenschutzbericht von 1998 (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESMINISTERIUM 1998–2011) eine lokale Grenzwertüberschreitung für Chrom im Oberboden an, die Ursache hierfür ist unbekannt.

Insgesamt zeigen die GZÜV-Daten, dass die Chromgehalte im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper durchweg sehr niedrige Konzentrationen unterhalb der in Kapitel 2.5.1.2 angeführten gesetzlichen Vorgaben aufweisen.

2.6 Eisen (Fe)

2.6.1 Allgemeines

2.6.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Eisen in elementarer Form ist sehr selten. Aufgrund seiner Reaktionsfreudigkeit existiert Eisen in der Natur fast ausschließlich in Verbindungen (Ausnahme: Meteoriten). Die verbreitetste Form sind Oxide, seltener sind Sulfide und Carbonate. Eisenerze sind Gesteine mit mindestens 20 % Eisengehalt. Das Metall wird aus Eisenerzen wie beispielsweise Hämatit, Limonit, Siderit, Ankerit, Magnetit oder Pyrit extrahiert (BINDER 1999).

Eisen ist ein glänzendes, weißes und gut dehnbares Schwermetall. Es ist reaktiv, an trockener Luft jedoch stabil durch die Bildung einer Schutzschicht aus Eisenoxid, die weitere Oxidation verhindert. Die an feuchter Luft sowie in sauerstoff- und kohlendioxidhaltigem Wasser entstehende Schicht aus Eisen(III)-oxidhydrat ist jedoch weich und porös und lässt die Zersetzung des Eisens weiter fortschreiten (Korrosion). Gut wasserlöslich sind Eisenverbindungen mit Halogeniden, Nitrat oder Sulfat, schwer bis nicht löslich sind Carbonate, Hydroxide, Oxide und Phosphate.

Eisen ist in fast allen natürlichen Gewässern zu finden. In Wasser unter aeroben Bedingungen fällt das Metall in seiner dreiwertigen Form als Eisenoxidhydrat aus. Diese Verbindung ist praktisch wasserunlöslich und kann andere Stoffe binden. Im stark reduzierenden Milieu, das im Grundwasser vorherrschen kann, werden diese dreiwertigen Eisenverbindungen zu zweiwertigen, gut wasserlöslichen Eisenverbindungen reduziert. Dadurch können hohe Eisenkonzentrationen entstehen und gebundene Stoffe wieder freigesetzt werden.

Eisen ist ein biologisch essenzielles Spurenelement, jedoch im Trinkwasser unerwünscht. Bei der Nutzung eisenhaltigen Wassers im Haushalt und in der Nahrungsmittelproduktion treten Verfärbungen auf und der Geschmack wird beeinträchtigt. Zudem bilden sich im Leitungssystem, insbesondere bei der Anwesenheit von Eisenbakterien, Ablagerungen und Verkrustungen (HÜTTER 1992).

Eisen ist das bedeutendste Gebrauchsmetall. Wichtige Eisenlegierungen sind Gusseisen und Stahl. Gusseisen wird für feste Maschinenbauteile eingesetzt. Stahl und eine Vielzahl verschiedener Stahllegierungen (z. B. Chromstahl, Manganstahl, Siliciumstahl) werden im Konstruktionsbereich sowie im Maschinen-, Apparate- und Werkzeugbau verwendet.

2.6.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Eisen im Grundwasser gibt es keinen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). In der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gilt Eisen als Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter). Entsprechend wird ein Indikatorwert für den Eisengehalt im Trinkwasser angegeben. Ein Indikatorwert ist ein Wert, der nicht überschritten werden soll. Liegt eine Überschreitung vor, ist das Trinkwasser jedoch immer noch genießbar. Der Ursache der Überschreitung muss auf den Grund gegangen werden und entsprechende Sanierungsmaßnahmen sind einzuleiten.

Indikatorwert lt. TWV

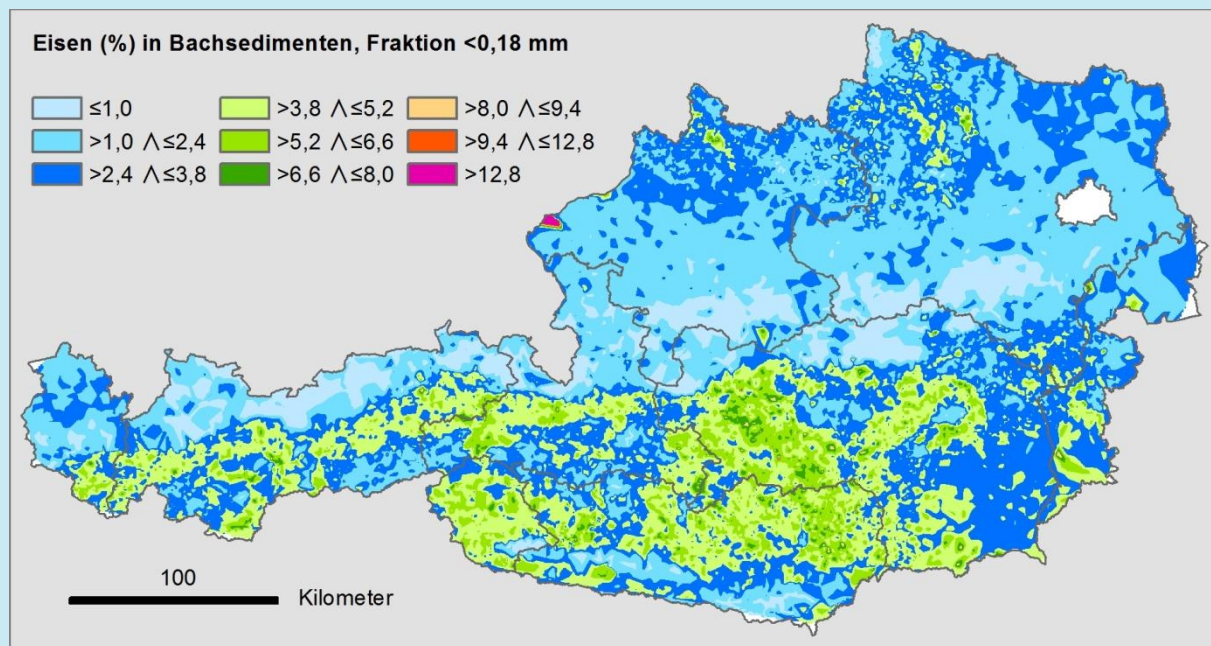
0,2 mg/l

2.6.1.3 Natürliche Vorkommen

Eisen ist ein gesteinsbildendes Hauptelement, das vierthäufigste in der Erdkruste, das dritthäufigste im Erdmantel und das häufigste im Erdkern (THALMANN et al. 1989a, S. 66). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Eisengehalt von 5,6 % auf: Ultrabasite 9,4 %, ozeanische Tholeiitbasalte 6,7, Basalte 8,65 %, Granodiorite 2,7 % und Granite 1,4 %. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 4,8 %, Sandsteine 1,0 %, Karbonatgesteine 0,4 % und Böden 2,1 %.

In sauerstoffhaltigen Grundwässern ist nach MATTHESS (1994, S. 310) Eisen nicht oder nur in Spuren nachweisbar. Im reduzierenden Milieu treten häufig Werte zwischen 1 und 10 mg/l auf.

Abbildung 10: Eisen in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Eisen in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße; die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an. Die beiden Maxima am Inn in Oberösterreich gehen auf zwei einzelne Proben zurück.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) zeigt für den geologischen Untergrund Österreichs ein mit diesen Richtwerten vergleichbares Bild. In den Nördlichen Kalkalpen sind über weite Bereiche Eisen-

Konzentrationen unter 1 % verbreitet, während beispielsweise in der Grauwackenzone oder der Glocknerdecke aufgrund des hohen Anteils an Grüngesteinen zumeist Werte um 5 % zu verzeichnen sind (siehe Abbildung 10).

Die bedeutendste Eisenerzlagerstätte Österreichs ist der Steirische Erzberg. Bei diesem handelt es sich um eine ausgedehnte Siderit-Ankeritvererzung in devonischen Karbonaten der Grauwackenzone (Norische Decken). Die Lagerstätte führt Siderit (> 50 Mol.-% FeCO_3), begleitet von Ankerit, Dolomit, Calcit und Quarz, Pyrit, z. T. auch Hämatit, Serizit, Chlorit, Metaanthrazit und Semigraphit (SCHROLL 1997b, S 338; SCHULZ et al. 1997).

Am Steirischen Erzberg werden seit vielen Jahrhunderten in großem Umfang wirtschaftlich bedeutende Eisenerzvorkommen abgebaut (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, O. J.). In Kärnten wird derzeit in Waldenstein (Lavanttal) Eisenerz abgebaut (BMWFJ 2011), historisch war der Abbau am Hüttenberger Erzberg von Bedeutung.

2.6.2 Eisen im Grundwasser

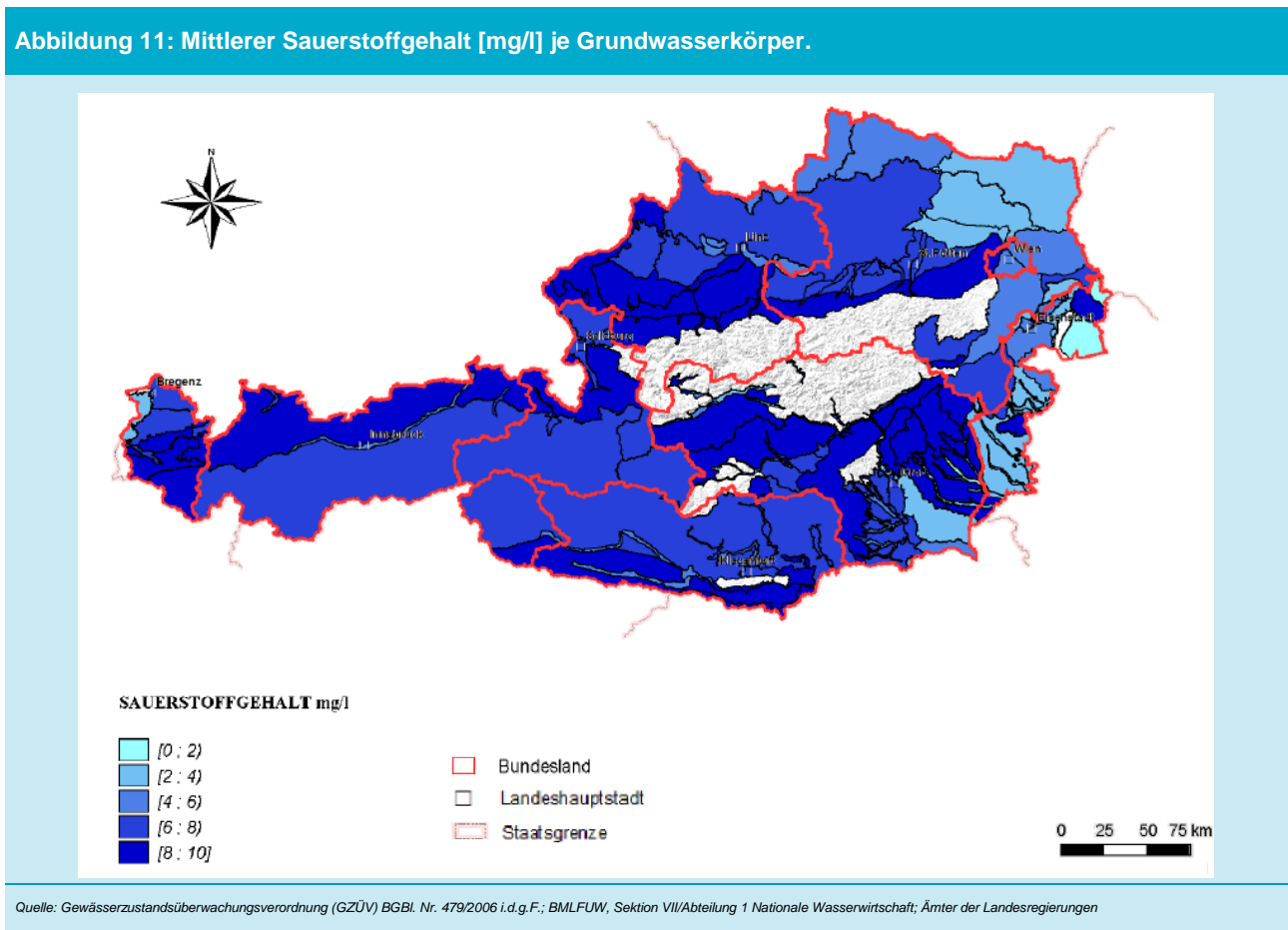
2.6.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Für 84,6 % aller Messstellen liegt der Medianwert für Eisen unterhalb der Bestimmungsgrenze, das 90 % Perzentil beträgt 0,03 mg/l. An 133 Messstellen liegen die Mediane der GZÜV-Daten über dem Indikatorwert lt. Trinkwasserverordnung. Diese finden sich über das gesamte Bundesgebiet verteilt. In 24 Grundwasserkörpern wird der Indikatorwert im Mittel überschritten.

2.6.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Der Datensatz der Vorarlberger Landesregierung weist im Rheintal gehäuft Werte auf, die deutlich über dem Indikatorwert von 0,2 mg/l liegen; der Maximalwert beträgt 24 mg/l.

2.6.3 Interpretation



Im Rahmen des Projekts GEOHINT (HOBIGER et al. 2004) werden für zahlreiche Grundwasserkörper erste Hintergrundwerte für Eisen angegeben, die über dem Indikatorwert von 0,2 mg/l liegen. Diese konzentrieren sich um das Steirische Becken und das Burgenland sowie im Norden Österreichs zwischen Innviertel und nördlichem Waldviertel. Zudem weisen die meisten Grundwasserkörper in den Alpentälern, insbesondere dem Rheintal, erste Hintergrundwerte über 0,2 mg/l auf.

Grundwasserkörper mit niedrigen Sauerstoffgehalten (siehe Abbildung 11) weisen, bedingt durch das reduzierende Milieu, im Allgemeinen hohe Eisenkonzentrationen auf, teilweise über dem Indikatorwert der Trinkwasserverordnung von 0,2 mg/l, da bei diesen Redoxverhältnissen leicht lösliche zweiwertige Eisenverbindungen vorliegen (siehe Kapitel 2.6.1.1). Dies betrifft insbesondere Flusstäler der Alpen und die im Zusammenhang mit höheren geogenen Hintergrundwerten (GEOHINT) zuvor genannten Grundwasserkörper. Ausnahmen bilden die Grundwasserkörper Salzach-Inn-Mattig (GK100013) und Zentralzone (GK100186), deren mittlere Eisenkonzentration oberhalb von 0,2 mg/l liegt, da sich in diesen Grundwasserkörpern jeweils eine Messstelle mit Eisenkonzentrationen über dem Indikatorwert befindet. Für die Berechnung der Mittelwerte je Grundwasserkörper wurden die Messstellenmediane auf der Basis von Thiessen-Polygonen gewichtet (siehe Kapitel 1.2.3.2). Bedingt durch die Gewichtung der Messstellen wurde in diesen beiden Fällen der gesamte Grundwasserkörper entsprechend klassifiziert, auch wenn alle weiteren Messstellen Eisengehalte deutlich unterhalb von 0,2 mg/l aufweisen. Die Eisengehalte von > 0,2 mg/l der beiden entsprechenden Messstellen selber sind durch Sauerstoffgehalte von größtenteils < 1 mg/l begründet.

2.7 Kupfer (Cu)

2.7.1 Allgemeines

2.7.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Kupfer ist ein ubiquitär verbreitetes Metall, das überwiegend in Erzen, seltener elementar vorkommt. Typisch ist die Vergesellschaftung mit Eisen, Nickel, Blei, Silber und Gold. Wichtige Kupfererze sind beispielsweise Chalkopyrit (Kupferkies), Chalkosin (Kupferglanz) und Bornit (Buntkupfererz).

Kupfer ist ein rotes, ziemlich hartes und gut dehnbares Schwermetall mit guten Verarbeitungseigenschaften und weist unter allen Metallen neben Silber die beste Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität auf. An trockener Luft ist Kupfer beständig. Viele Kupferverbindungen sind farbig. Wasserlösliche Kupferverbindungen sind Halogenide, Sulfat und Nitrat; Hydroxid, Oxid, Sulfid und Carbonat sind wasserunlöslich.

Die Bewegung von Kupfer aus dem Ausgangsgestein in Böden ist abhängig von der Verwitterung, dem Prozess der Bodenbildung, dem Redoxpotenzial, der Menge organischen Materials im Boden und insbesondere dem pH-Wert. Kupfer ist in Böden überwiegend an die organische Substanz sowie an Mangan- und Eisenoxide sehr fest gebunden (SCHEFFER et al.1992). Saure Bedingungen fördern die Löslichkeit von Kupferverbindungen. Im basischen Milieu fällt Kupfer tendenziell aus (MERIAN 1991).

Bei der Zersetzung kupferhaltiger sulfidischer Erze in O₂-haltigem Wasser können bis zu ca. 0,05 mg/l in Lösung gehen. Für Wasserorganismen sind diese Gehalte bereits toxisch. Da die natürlichen Gehalte von Kupfer im Grundwasser relativ niedrig sind, stammen höhere Kupfergehalte häufig aus anthropogenen Quellen wie industriellen Abwässern oder Pestiziden sowie aus Korrosionserscheinungen an Armaturen und Leitungen. Für den Menschen ist Kupfer ein essenzielles Spurenelement und unentbehrlich für die Zellatmung. Der Tagesbedarf von 2–3 mg wird durch die Nahrungsaufnahme gedeckt. Im Trinkwasser ist ein geringer Kupfergehalt unbedenklich, jedoch verleihen bereits 2 mg/l dem Wasser einen metallischen Geschmack (HÜTTER 1992).

Als reines Metall findet Kupfer Verwendung in der Elektroindustrie, im Apparate- und Maschinenbau, als Dachmaterial oder für Wasserleitungen. Es gibt eine Vielzahl von Kupferlegierungen, da diese prinzipiell sehr korrosionsbeständig sind, beispielsweise mit Zink (Messing), Zinn (Bronze), Mangan (Manganin) oder Nickel (Nickelin). Manganin und Nickelin werden für elektrische Widerstände eingesetzt. Kupferverbindungen werden in Kunstdüngern und aufgrund ihrer bioziden Wirkung in Pflanzenschutzmitteln (z. B. im Wein- und Hopfenanbau) verwendet.

2.7.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Kupfer im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

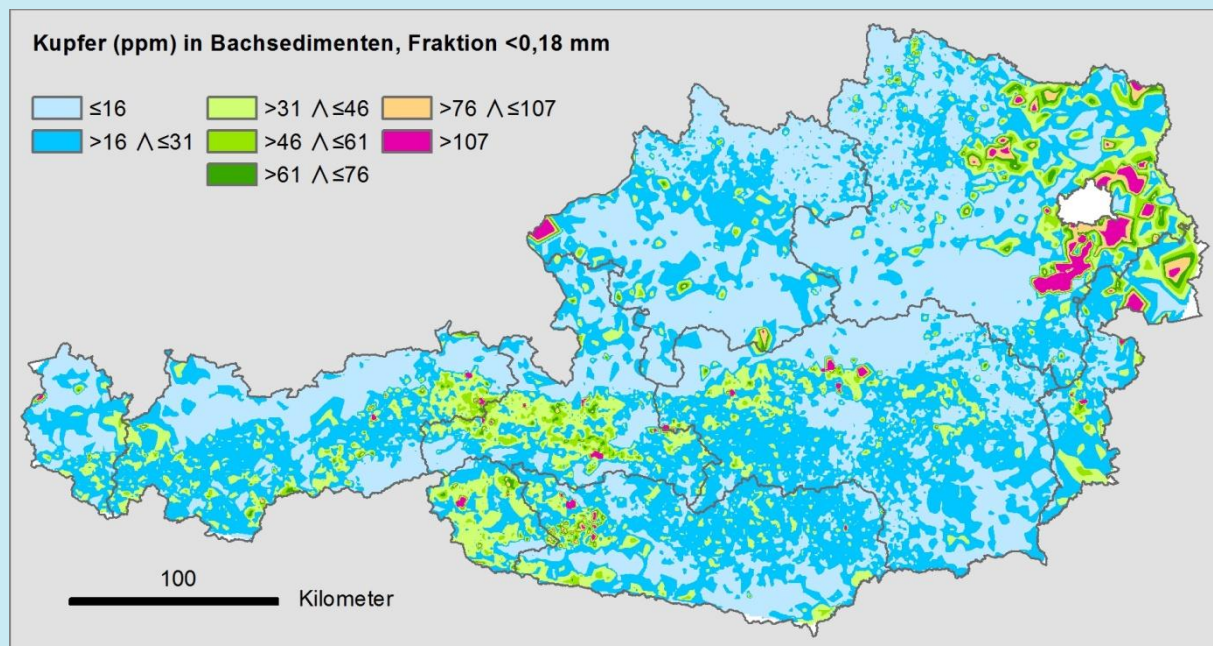
Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	1.800 µg/l
Parameterwert lt. TWV	2.000 µg/l

2.7.1.3 Natürliche Vorkommen

Kupfer ist ein chalkophiles Spurenelement. Die höchsten Kupferkonzentrationen treten in basischen und intermediären Gesteinen auf (THALMANN et al. 1989a, S. 62–63). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Kupfergehalt von 55 ppm auf: Ultrabasite 10 ppm, Basalte 87 ppm, Granodiorite 30 ppm und Granite 10 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 45 ppm, Sandsteine 5 ppm, Karbonatgesteine 4 ppm und Böden 12 ppm (2–100 ppm).

Laut MATTHESS (1994, S. 333–334) ist der Kupfergehalt süßer Grundwässer im Allgemeinen gering. Im Bereich von Kupfererzvorkommen kann er aber deutlich höher werden. Noch höhere Konzentrationen können in Grubenwässern oder im Bereich von Halden auftreten, der Autor führt dazu Kupferkonzentrationen zwischen 312 mg/l und 45.633 mg/l als Beispiele an.

Abbildung 12: Kupfer in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Kupfer in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße. Die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) zeigt für das Element Kupfer ein sehr unruhiges

Bild (siehe Abbildung 12). Eine sehr stark ausgeprägte Anomalie ist im Wiener Becken (GK100020 Marchfeld, GK100024 Südliches Wiener Becken) zu beobachten, diese ist vermutlich auf den menschlichen Einfluss in diesem Ballungsraum zurückzuführen. Das Maximum bei Burghausen am Inn sowie jene im Waldviertel und im Nordburgenland sind nicht signifikant, da sie auf Einzelwerte zurückgehen und nur aufgrund der geringen Datendichte in diesem Raum so deutlich zum Ausdruck kommen. Für den geogenen Hintergrund signifikant sind jedoch die Anomalien der westlichen Grauwackenzone (Schwaz bis Radstadt; GK100001 Großsache, GK100010 Zentralzone und GK100055 Salzburger Hohe Tauern), des Penninikums des Tauernfensters zwischen Brenner und Radstädter Tauern (GK100010 Zentralzone), in den Deferegger Alpen (GK100186 Zentralzone) und die deutlicher ausgeprägte Anomalie im Bereich der Kreuzeckgruppe (GK100186 Zentralzone). Weiter im Osten treten in den Schladminger Tauern (GK100052 Niedere Tauern einschließlich Grauwackenzone und GK100185 Salzburger Hohe Tauern), S' Öblarn (GK100052), in den Eisenerzer Alpen (GK100047 Grauwackenzone und GK100108 Grauwackenzone Mitte) und im Raum Stadtschlaining (Penninikum des Rechnitzer Fensters; GK100139 Günser Gebirge) gut belegte Kupfer-Anomalien auf.

In WEBER et al. (1997) werden zahlreiche, in Österreich liegende Kupfererzvorkommen beschrieben. Diese konzentrieren sich auf die Zentralzone der Alpen. Die wohl bedeutendste ist die seit der Bronzezeit genutzte Lagerstätte bei Mitterberg (Salzburg), die das größte Kupfererzvorkommen der Ostalpen darstellt. Dieses ist an altpaläozoische Metasedimente und -vulkanite der Grauwackenzone gebunden. Dieser Bergbau gehörte bis zu seiner Schließung 1977 zu den größten Kupferbergbauen Europas (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, O. J.). Die bedeutendste Kupferlagerstätte im Tauernfenster befindet sich in Hüttschlag im Großarlital (WEBER et al 1997, S. 272).

2.7.2 Kupfer im Grundwasser

Bei der GZÜV-Karte sind für 56,1 % der Messstellen Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze zu verzeichnen. Das 90 % Perzentil der Messstellen-Mediane beträgt 3,60 µg/l. Der maximale Messstellen-Median liegt bei 120 µg/l, was weit unter dem gesetzlichen Schwellenwert von 1.800 µg/l liegt. Bei ca. 80 % aller Grundwasserkörper liegt das Mittel der Messstellen-Mediane über der Bestimmungsgrenze, aber unterhalb von 25 % des Schwellenwertes gemäß QZV Chemie GW.

2.7.3 Interpretation

Die Median-Konzentrationen aller GZÜV-Messstellen liegen unterhalb der Nachweisgrenze oder betragen maximal 120 µg/l. Dies bedeutet, dass sich die Kupferkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper österreichweit auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind, da sie weit unterhalb der in Kapitel 2.7.1.2 aufgeführten gesetzlichen Vorgaben liegen.

Für Oberflächengewässer definiert die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG) eine härteabhängige Umweltqualitätsnorm von 1,1–8,8 µg/l, die also weit unter dem Grundwasserschwellenwert der QZV Chemie GW liegt. Die Güteziele beruhen auf der Toxizität gegenüber Biota; beispielsweise reagieren Fische und Mikroorganismen ausgesprochen empfindlich auf Kupfer. Die Umweltqualitätsnorm ist die maximal zulässige Zusatzkonzentration zum geogenen Hintergrund und bezieht sich auf die gelöste Fraktion (Filtration über ein 45 µm Filter). Da Grundwasser wesentlich zum Abfluss der Oberflächengewässer beiträgt, kann es somit einen relevanten Eintragspfad für Kupfer in Oberflächengewässer darstellen.

2.8 Mangan (Mn)

2.8.1 Allgemeines

2.8.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Elementares Mangan kommt in der Natur nicht vor, Manganverbindungen sind dagegen weit verbreitet. Wichtige Manganminerale sind Pyrolusit (Weichmanganerz), Kryptomelan und Braunit (Hartmanganerz). Mangan- und Eisenerze sind oft vergesellschaftet. Im Vergleich zu Eisen kommt Mangan weit weniger häufig vor, das geochemische Verhalten ist jedoch dem von Eisen in mancher Hinsicht sehr ähnlich.

Mangan ist ein sehr schweres, sprödes, weißgraues Metall, das in vielen physikochemischen Eigenschaften Eisen sehr ähnlich ist. Mangan kann in seinen Verbindungen alle Oxidationsstufen einnehmen. Die beständigste Oxidationsstufe ist zweiwertiges Mangan. Leichtlöslich in Wasser sind Mangansulfat, Manganchlorid, Mangannitrat und das Permanganat-Ion. In Wasser schwerlösliche Manganverbindungen sind Oxide, Carbonat, Sulfid und Silicatverbindungen.

Der Eintrag von Mangan in Böden erfolgt größtenteils über atmosphärische Deposition mit einer Anreicherung in den oberen Bodenschichten. In Böden liegt Mangan vor allem in Form von Manganoxiden sowie in Silicaten und in Carbonaten gebunden vor. Mangan bildet von allen Schwermetallen die am wenigsten stabilen Komplexe (SCHEFFER et al. 1992).

Meist kommen Eisen und Mangan gemeinsam im Grundwasser vor, wobei der Mangangehalt deutlich niedriger liegt. Viele Reaktionen von Mangan im Grundwasser werden durch den Eh-/pH-Wert bestimmt (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Ähnlich wie bei Eisen wirkt sich der Mangangehalt des Trinkwassers nachteilig auf die Parameter Färbung (Bildung eines schwarzen Niederschlags bei Luftkontakt), Trübung und Geruch aus. In Trinkwasserleitungen bilden sich bei Anwesenheit von Eisen- und Manganbakterien Ablagerungen und Verkrustungen, die eine Verkeimung des Trinkwassers begünstigen und die Leitungen zusetzen (UMWELTBERATUNG, O. J.).

Das Haupteinsatzgebiet für Mangan ist die Herstellung von Legierungen. Bei der Stahlproduktion wird das Metall zum Binden von Sauerstoff und Schwefel genutzt. Manganverbindungen werden in Alkali-Mangan-Batterien, als Katalysatoren, Futtermittelzusatz, Dünger, Fungizide, Pigmente oder Holzschutzmittel verwendet.

2.8.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Mangan im Grundwasser gibt es keinen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). In der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gilt Mangan als Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter). Entsprechend wird ein Indikatorwert für den Mangangehalt im Trinkwasser angegeben. Ein Indikatorwert ist ein Wert, der nicht überschritten werden soll. Liegt eine Überschreitung vor, ist das Trinkwasser jedoch immer noch genießbar. Der Ursache der Überschreitung muss auf den Grund gegangen werden und entsprechende Sanierungsmaßnahmen sind einzuleiten.

Indikatorwert lt. TWV

0,05 mg/l

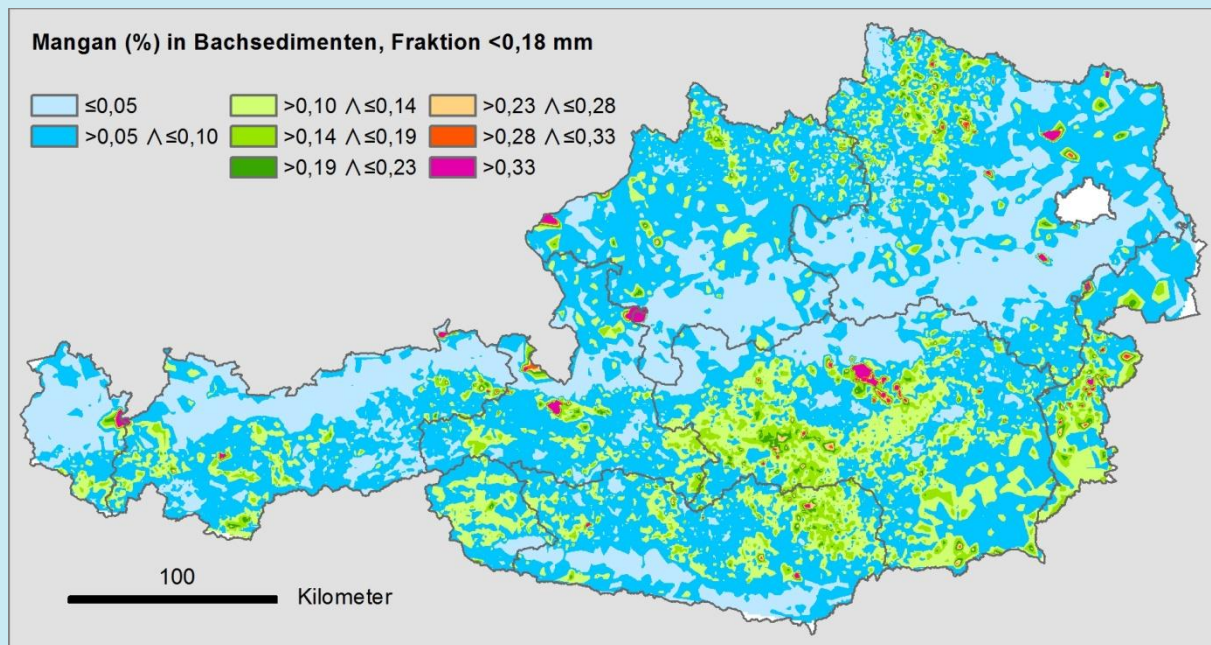
2.8.1.3 Natürliche Vorkommen

Mangan ist ein lithophiles Spurenelement, das als Übergangselement der Eisengruppe nahesteht. Das Fe/Mn-Verhältnis beträgt in magmatischen Gesteinen etwa 35–90. Im sedimentären Zyklus erfolgt eine Abtrennung vom Eisen. Kristallchemisch folgt Mangan auch dem Calcium (THALMANN et al. 1989a, S. 80). Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Mangangehalt von 0,095 % auf: Ultrabasite 0,104 %, Basalte 0,150 %, Granodiorite 0,054 % und Granite 0,039 %. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 0,085 %, Sandsteine 0,005 %, Karbonatgesteine 0,070 % und Böden 0,080 %.

Nach MATTHESS (1994, S. 311–313) ist Mangan in den meisten Grundwässern allenfalls nur in Spuren feststellbar. Selbst unter reduzierenden Bedingungen beträgt die Mangan-Konzentration selten mehr als 1 mg/l. Höhere Gehalte wurden vor allem in Thermalwässern beobachtet.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, bb) weist vier ausgedehnte Maxima auf, die auf einer größeren Anzahl von Analysen basieren. Eine von diesen liegt in den Nördlichen Kalkalpen nördlich des Arlbergs (GK100009 Nördliche Kalkalpen), zwei in der Grauwackenzone bei Dienten (GK100010 Zentralzone) und bei Eisenerz (GK100047, GK100099, GK100108, GK100114 und GK100115) und eine in der Umgebung der Rechnitzer Schieferinsel (GK100127, GK100132, GK100139, GK100146 und GK100181). Die Maxima in der Molassezone und jenes in der Umgebung von St. Wolfgang im Salzkammergut gehen auf nur wenige Analysen zurück, was in Abbildung 13 aufgrund der geringen Datendichte überproportional große Anomalien hervorruft.

Abbildung 13: Mangan in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Mangan in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße; die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an. Die Maxima in der Molassezone und jenes in der Umgebung von St. Wolfgang im Salzkammergut gehen auf nur wenige Analysen zurück.

THALMANN et al. (1989a, S. 83) führen die Mangananomalien von Dienten und Eisenerz sowie einige weitere, kleinere in der Zentralzone der Alpen auf Eisenspatmineralisationen zurück. SCHROLL (1999c) und GÖTZINGER (1999) beschreiben Manganerzbezirke in den nördlichen Kalkalpen. Demnach enthalten die Allgäuer Schichten in Tirol einen charakteristischen manganerzführenden Horizont mit Rhodochrosit-Pyritlagen, von dem das bekannteste und einst genutzte Vorkommen nördlich von Strengen am Arlberg liegt (SCHROLL 1999c, S. 353). Auch im Bundesland Salzburg sind schichtgebundene Manganerzlagerstätten bekannt, die ausschließlich an kieselig-mergelige Strubbergsschichten gebunden sind. Neben einer manganarmen Paragenese mit vorwiegend Mangancalcit gibt es eine manganreiche aus Calcit, Kutnahorit und Ca-Rhodochrosit. Die manganreichen Gesteine haben hier 15–20 Gew.-% MnO (GÖTZINGER 1999, S. 353–354), das entspricht umgerechnet 11,6–15,5 % Mangan.

Manganschiefer sind im Ostalpenraum weit verbreitet, aufgrund der geringen Mangangehalte (12–14 %) wirtschaftlich jedoch uninteressant (AUSTRIAN NATIONAL COMMITTEE OF GEOSCIENCES, o. J.). Das Eisenerz vom Steirischen Erzberg enthält 1,5–2 % Mangan. Mit der Gewinnung von Eisen war daher auch die Gewinnung von Mangan verbunden (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, o. J.).

2.8.2 Mangan im Grundwasser

2.8.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Für 84,4 % der Messstellen liegen die Mediane der GZÜV-Daten unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei 11,7 % der Messstellen überschreiten die Mediane der Mangankonzentrationen im Grundwasser den Indikatorwert lt. Trinkwasserverordnung. Das Maximum liegt bei 15,2 mg/l und befindet sich im Grundwasserkörper Feistritztal.

2.8.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Der Datensatz der Vorarlberger Landesregierung weist im Rheintal gehäuft Werte auf, die deutlich über dem Indikatorwert von 0,05 mg/l liegen; der Maximalwert beträgt 1,2 mg/l. Im Datensatz der VERBUND Hydro Power AG zum Donautal zwischen Leobendorf und Fischamend sind ebenfalls viele Analysen enthalten, die über dem Indikatorwert liegen. Hier beträgt das Maximum 4,65 mg/l.

2.8.3 Interpretation

Grundwasserkörper mit niedrigen Sauerstoffgehalten (siehe Abbildung 11) weisen, bedingt durch das reduzierende Milieu, Mangankonzentrationen auf, die teilweise über dem Indikatorwert von 0,05 mg/l liegen, da bei diesen Redoxverhältnissen leichtlösliche zweiwertige Manganverbindungen vorliegen (siehe Kapitel 2.8.1.1). Dies trifft insbesondere auf Flusstäler der Alpen und Grundwasserkörper im Nordosten Österreichs, im Burgenland und um das Steirische Becken zu. Ausnahmen bilden die Grundwasserkörper Südliches Wiener Becken – Ostrand (GK100176), Zentralzone (GK100186), Mitteres Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur (GK100099) und Lavanttal (GK100065), deren mittlere Mangankonzentration über 0,05 mg/l liegt, da sich in diesen Grundwasserkörpern jeweils ein bis zwei Messstellen mit Mangankonzentrationen über dem Indikatorwert befinden. Für die Berechnung der Mittelwerte je Grundwasserkörper wurden die Messstellenmediane auf der Basis von Thiessen-Polygonen gewichtet (siehe Kapitel 1.2.3.2). Bedingt durch die jeweilige Gewichtung der Messstellen wurde in diesen vier Fällen der gesamte Grundwasserkörper entsprechend charakterisiert, auch wenn alle weiteren Messstellen Mangan-Mediankonzentrationen deutlich unterhalb von 0,05 mg/l aufweisen.

2.9 Nickel (Ni)

2.9.1 Allgemeines

2.9.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Gediegenes Nickel tritt in der Natur nicht auf. Typische Vorkommen sind Verbindungen in Form von Sulfid, Silicat und Arsenid. Bedeutende Nickelminerale sind Pentlandit (Eisennickelkies), Garnierit oder Millerit (Gelbnickelkies). Nickel gehört zu den relativ häufigen Elementen auf der Erde, der Gehalt nimmt mit der Tiefe zu (BINDER 1999).

Nickel ist ein silberweißes, sehr zähes und gut dehnbares Schwermetall mit einem relativ hohen Korrosionswiderstand. Reines Nickel ist bei Raumtemperatur sehr widerstandsfähig gegen Luft, Sauerstoff und Wasser. Wärme und elektrischer Strom werden durch Nickel gut geleitet. Zweiwertige Nickelverbindungen mit Chlorid, Nitrat oder Sulfat sind gut wasserlöslich. Schwer wasserlöslich sind beispielsweise Nickeloxid und -hydroxid, Nickelcarbonat und Nickelphosphat.

Im Boden wird Nickel überwiegend durch Mangan-, Eisen- und Aluminiumoxide sowie durch Silicate gebunden (SCHEFFER et al. 1992). Im basischen Milieu tritt das Metall vorwiegend als unlösliches Nickelhydroxid

auf. Die meisten Nickelverbindungen sind im sauren Milieu gut wasserlöslich. Folglich bewirkt eine Versauerung des Bodens eine Mobilisierung von Nickel und den Eintrag ins Grundwasser.

Ähnlich wie Blei kann Nickel aus vernickelten Armaturen durch Wasser gelöst werden und zu erheblichen Belastungen des Trinkwassers führen (BMLFUW 2010). Nickel ist für den menschlichen Organismus ein essenzielles Spurenelement. Die häufigste Form von wasserlöslichem Nickel ist das Ni^{2+} -Ion, welches nur wenig toxisch ist. Von oral aufgenommenem Nickel werden lediglich bis zu 10 % resorbiert. Hohe Konzentrationen von Nickel können jedoch cancerogen wirken (FENT 2003).

Nickel ist Bestandteil von mehr als 3.000 metallischen Legierungen, es wird vorwiegend zur Stahlveredelung verwendet. Legierungen aus Nickel und Aluminium werden für die Herstellung von Magneten und in der Luftfahrt eingesetzt, Nickel-Kupfer-Legierungen zur Herstellung von Münzen. Das Metall ist außerdem Bestandteil von Pigmenten und von medizinischen Prothesen. Nickel-Textilfasern werden als Hitzeschutz verwendet.

2.9.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Nickel im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	18 µg/l
Parameterwert lt. TWV	20 µg/l

2.9.1.3 Natürliche Vorkommen

Laut THALMANN et al. (1989a, S. 92) ist Nickel ein „Spuren- bis Nebenelement der Eisengruppe mit siderophilen, chalkophilen und lithophilen Eigenschaften“. In basischen Magmen ist es mit Magnesium, Eisen, Cobalt, Chrom und Vanadium vergesellschaftet. Magmatogene Gesteine weisen im Durchschnitt einen Nickelgehalt von 75 ppm auf: Ultrabasite 2.000 ppm, Basalte 130 ppm, Granodiorite 15 ppm und Granite 5 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 68 ppm, Sandsteine 2 ppm, Karbonatgesteine unter 10 ppm und Böden 17 ppm (5–500 ppm).

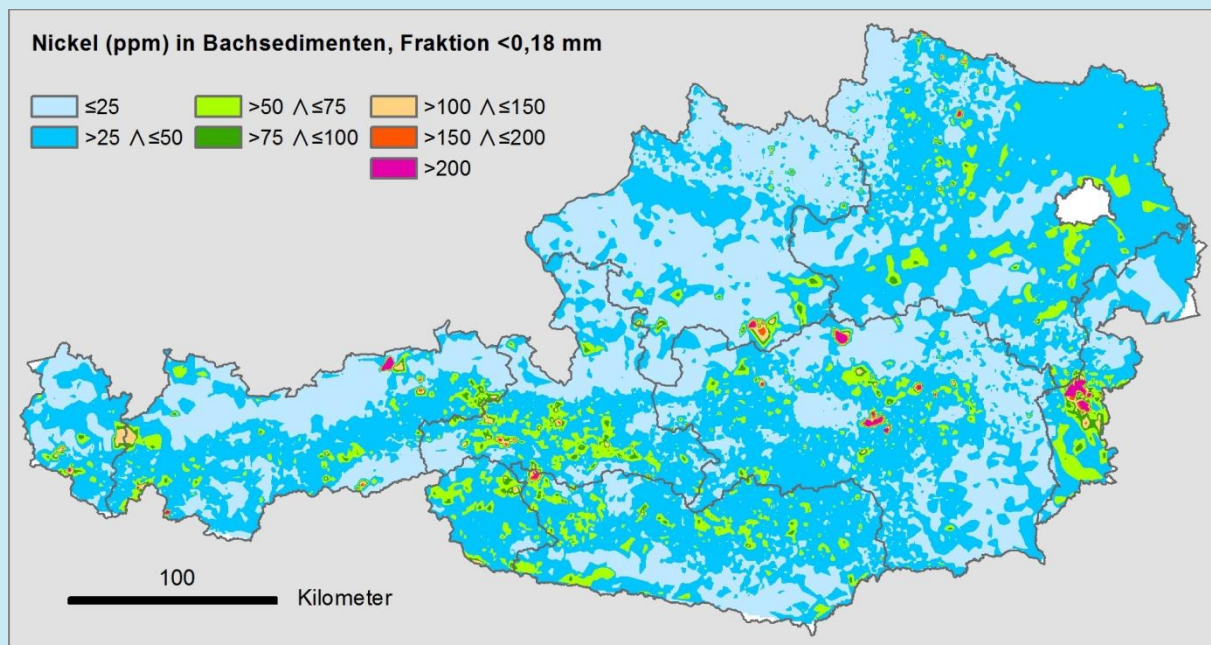
MATTHESS (1994, S. 333) gibt für Grundwässer beispielhaft Nickel-Gehalte an, von denen hier auszugsweise einige wiedergegeben sind: In amerikanischen Trinkwässern, die Grund- und oberirdisches Wasser erfassen, liegt der Nickelgehalt unter 2,7 µg/l. In einer mineralisierten Zone im südlichen Ural wurden im Grundwasser zwischen 400 und 40.000 µg/l Nickel festgestellt. Für Grubenwässer werden Werte bis 319.300 µg/l angegeben.

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) zeigt in der Zentralzone der Alpen im Umfeld von Ultrabasiten und Metavulkaniten zahlreiche Häufungen von hohen Nickel-Gehalten (über 100 ppm, siehe Abbildung 14). Diese sind kombiniert mit hohen Chrom-Konzentrationen. Besonders deutliche Anomalien sind zu verzeichnen im Umfeld des Rechnitzer Fensters (Serpentinit und Grünschiefer, GK100139 Günsler Gebirge, GK100180 Bucklige Welt und GK100181 Hügelland Raab Ost), bei Kraubath (Serpentinit bzw. Ultramafit, GK100116 Niedere Tauern einschließlich Seckinger Tauern und GK100113 Kritallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe), SE' Knittelfeld (Amphibole, GK100113), Hochgrössen südlich Liezen (Serpentinit bzw. Ultramafit, GK100052 Niedere Tauern einschließlich Grauwackenzone) und bei Taxenbach (altpaläozoische Metabasite, GK100010 Zentralzone). Auch im Bereich von Gosaufentern in den Nördlichen Kalkalpen treten Nickelgehalte über 100 ppm auf (siehe Abbildung 14); am deutlichsten ist die Anomalie bei Windischgarsten (GK100189 Böhmische Masse).

Auch in der Böhmisches Masse machen sich Ultrabasite und Metavulkanite durch erhöhte Nickel- und Chrom-Werte bemerkbar – so zum Beispiel bei St. Leonhard am Hornerwald (GK100190 Nördliche Kalkalpen). Eine Besonderheit in der Böhmisches Masse stellt der Rastenberger-Pluton dar (ebenfalls GK100190), da dieser als Granodioritintrusion hohe Chrom- und Nickel-Konzentrationen aufweist (Chrom z. T. über 100 ppm, siehe Abbildung 14). Die Ursache für diese für einen Granodiorit ungewöhnlichen Konzentrationen an Chrom und Nickel wird im tiefen Source dieses Gesteins gesehen (oberster Mantel und tiefe Kruste; FINGER et al. 2007).

Der Ultrabasitkomplex von Kraubath ist der bedeutendste der Ostalpen. Seine Hauptmasse besteht aus Dunit mit Maschenserpentin, seitlich ist er in Antigoritserpentin umgewandelt. Im Ultrabasit von Kraubath wurden Nickel-Gehalte bis zu 0,5 % beobachtet. Seine Chromerze haben in der Vergangenheit bergbauliches Interesse gefunden (WEBER & SCHROLL 1997, S. 296). Nickelerze wurden beispielsweise auch in den Schladminger Tauern im Bereich der Zinkwand (Steiermark) (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, o. J.) und im Gebiet um Leogang (Salzburg) abgebaut (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 1998).

Abbildung 14: Nickel in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Nickel in den Bachsedimenten - interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße. Die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

2.9.2 Nickel im Grundwasser

2.9.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Für 76,3 % aller Messstellen liegen die Nickel-Mediankonzentrationen unterhalb des Schwellenwertes von 18 µg/l. Das 90 % Perzentil beträgt 2 µg/l. Die Daten der GZÜV zeigen bei 9 Messstellen eine Überschreitung des gesetzlichen Schwellenwertes. Diese befinden sich in der Zentralzone, der Böhmisches Masse, im Ennstal, im Burgenland und in der Südsteiermark. Der höchste Messstellen-Median liegt bei 107 µg/l und wurde im Grundwasserkörper Oberes Ennstal gemessen. Es handelt sich hierbei um einen Hot-Spot, da alle umliegenden Messstellen Werte unter der Bestimmungsgrenze aufweisen. Die Mittel aller Grundwasserkörper liegen unterhalb des Schwellenwertes.

2.9.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Im Datensatz des Landes Tirol gibt es vier Messstellen, bei denen die Nickel-Konzentration über dem Schwellenwert von 18 µg/l liegt. Diese befinden sich bei Brixlegg im Grenzbereich Grauwackenzone - Nördliche Kalkalpen. Der höchste hier gemessene Wert beträgt 108 µg/l Ni. Der Chrom-Gehalt ist bei diesen Messstellen hingegen sehr niedrig, er beträgt max. 0,85 µg/l. Diese Nickelkonzentration könnte mit den Fahlerzen dieses Raumes in Verbindung stehen – in <http://www.silberbergwerk.at/geologie-122.aspx> (29.5.2012) wird für die Fahlerze ein Nickelgehalt von 0,00–0,20 % angegeben.

2.9.3 Interpretation

Mittlere Nickelkonzentrationen über 25 % des Schwellenwertes für die Grundwasserkörper Rabnitztal (GK100132), Stoobachtal (GK100135) und Hügelland Rabnitz (GK100146) stehen in Einklang mit höheren geogenen Nickelgehalten im Grundwasser, basierend auf Angaben aus dem Projekt GEOHINT, wobei zwei Messstellen mit Median-Nickelkonzentrationen über dem Schwellenwert auch über dem geogenen Hintergrundgehalt liegen. Insgesamt gibt es neun Messstellen, für die Mediankonzentrationen oberhalb des Schwellenwertes von 18 µg/l zu verzeichnen sind. Bei den Messstellen auf den Talböden und in den tertiären Becken passen die hohen Nickel-Gehalte im Wasser nicht mit der Bachsedimentgeochemie zusammen. Im Burgenland befinden sich drei Messstellen mit Mediankonzentrationen oberhalb des Schwellenwertes: PG10004022 (Nickel-Medianwert 35 µg/l), PG10003302 (Nickel-Medianwert 33 µg/l) und PG10003182 (Nickel-Medianwert 20,2 µg/l) im Süden des Oberpullendorfer Beckens. Diese Messstellen weisen Sauerstoffgehalte unterhalb von 2 mg/l im neutralen bis sauren Milieu auf. Diese Bedingungen können das Vorliegen leicht wasserlöslicher zweiwertiger Nickelverbindungen begünstigen (siehe Kapitel 2.9.1.1). Für diese Messstelle liegen keine Hinweise auf eine anthropogene Nickelbelastung des Grundwassers aufgrund derzeit bekannter Altstandorte bzw. Altablagerungen vor.

In Niederösterreich befinden sich drei Messstellen mit Mediankonzentrationen oberhalb des Schwellenwertes von 18 µg/l. Die Messstelle PG31100062 im Grundwasserkörper Böhmisches Massiv (Nickel-Medianwert 61 µg/l, GK100190) liegt in der Nähe der ehemaligen Deponie Horn (Schließung 2003). Gemäß den Angaben des Verdachtsflächenkatasters bzw. Altlastenatlas können im Grundwasser jedoch keine Schwermetalle mehr nachgewiesen werden, ein längerfristiger Einfluss auf das lokale Sauerstoffmilieu (reduzierende Verhältnisse) ist jedoch möglich. Für die Nickelkonzentrationen der Messstellen PG31500502 im Grundwasserkörper NO Alpenvorland (Nickel-Medianwert 47 µg/l, GK100032) und PG31100152 im Grundwasserkörper Böhmisches Massiv (Nickel-Medianwert 85 µg/l, GK100190) gibt es nach derzeitigem Stand keine Hinweise auf eine anthropogene Nickelbelastung des Grundwassers dieser Messstellen durch bekannte Altstandorte bzw. Altablagerungen. Insbesondere für die in der Böhmischen Masse gelegenen Messstellen können aufgrund der geologischen Situation (siehe Kapitel 2.9.1.3) höhere geogene Nickelgehalte des Grundwassers erwartet werden.

In der Steiermark befinden sich zwei Messstellen mit Mediankonzentrationen oberhalb des Schwellenwertes. Für die Messstelle PG60327022 (Nickel-Medianwert 19,5 µg/l) am Talboden SE' St. Martin im Sulmtal liegen nach derzeitigem Stand keine Hinweise auf eine anthropogene Nickelbelastung des Grundwassers durch bekannte Altstandorte bzw. Altablagerungen vor. Die Nickelkonzentration der Messstelle PG61218032 am Talboden des Ennstal bei Irnding im Grundwasserkörper Oberes Ennstal (Nickel-Medianwert 107 µg/l, GK100040) basiert auf einer Einzelmessung und ist insofern schwierig zu beurteilen. Für die nähere Umgebung dieser Messstelle sind gegenwärtig keine Altstandorte und Altablagerungen mit Nickelbelastungen bekannt. Im Gebiet um die Messstelle weist der Oberboden höhere Nickelkonzentrationen auf (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1998–2011). Für diese Messstelle ist zudem eine ebenfalls auf einer Einzelmessung ruhende Chromkonzentration von 30 µg/l im Grundwasser zu verzeichnen.

In Tirol gibt es zwei Messstellen mit Mediankonzentrationen oberhalb des Schwellenwertes von 18 µg/l. In der näheren Umgebung der Messstelle KK72130022 im Bereich des Engadiner Fensters (Penninikum) (Nickel-Medianwert 22 µg/l, GK100010 Zentralzone) sind keine Altstandorte und Altablagerungen mit Nickelbelastungen bekannt. Diese Messstelle befindet sich im Verbreitungsgebiet der Tasna-Decke (BRANDNER 1980). Diese tektonische Einheit enthält auch Ultrabasite (BERTLE 2007). Der ermittelte Nickel-Medianwert

könnte daher eine geogene Ursache haben. Für die Messstelle PG70316022 im Grundwasserkörper Zentralzone (Nickel-Medianwert 38 µg/l, GK100010) ist neben dem Nickelgehalt ebenfalls eine Eisen-Mediankonzentration über dem Indikatorwert zu verzeichnen. Diese Messstelle weist Sauerstoffgehalte < 2 mg/l und einen pH-Wert < 6 auf. Diese Bedingungen können die Mobilisierung von Nickel begünstigen (siehe Kapitel 2.9.1.1).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Nickelkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper bis auf wenige Ausnahmen sehr niedrige Konzentrationen aufweisen und im Allgemeinen deutlich unterhalb der in Kapitel 2.9.1.2 definierten gesetzlichen Vorgaben liegen.

2.10 Quecksilber (Hg)

2.10.1 Allgemeines

2.10.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Gediegenes Quecksilber ist sehr selten und flüchtig, es tritt aber überwiegend in Form von Verbindungen auf. Das wirtschaftlich wichtigste Quecksilbermineral ist Cinnabarit (Zinnober, Quecksilbersulfid). Quecksilber gehört zu den selteneren Elementen auf der Erde, ist jedoch in Spurenmengen ubiquitär verbreitet (BINDER 1999).

Quecksilber ist ein silberweißes, schweres metallisches Element, das einzige bei Raumtemperatur flüssige Metall. Quecksilber besitzt einen großen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten und eine hohe Oberflächenspannung. Viele Metalle lösen sich sehr gut in Quecksilber und bilden Legierungen, bekannt als Amalgame. Quecksilbernitratre sind gut in Wasser löslich, Oxide und Sulfide schwer bis nicht löslich.

Das Umweltverhalten und die Toxizität von Quecksilber sind stark von der chemischen Form der jeweiligen Quecksilberverbindung abhängig. Hierbei werden drei große Gruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften unterschieden: Metallisches Quecksilber (flüchtig oder gasförmig), anorganische und organische Quecksilberverbindungen. Das organische Methylquecksilber ist die mit Abstand toxischste Quecksilberverbindung.

Vor allem durch die Nutzung von Quecksilber im industriellen Bereich gelangen aber immer wieder größere Mengen in die Umwelt und somit auch in das Wasser. In der Atmosphäre kommt das Metall vorwiegend als elementares Quecksilber vor. Geologisch bedingt kann Quecksilber in Wässern im Bereich von Vorkommen von Zinnober oder Fahlerzen auftreten. Wasser enthält Quecksilber hauptsächlich in Form zweiwertigen Quecksilbers in komplexen Salzen, die an gelöstes partikuläres Material gebunden sind. Prinzipiell bindet sich Quecksilber stark an organische Bodenbestandteile und neigt daher erheblich zur Akkumulation. Die Mobilität im Boden und der nachfolgende Eintrag ins Grundwasser sind damit sehr eingeschränkt. Auswaschung von Quecksilber erfolgt nur aus stark sauren Böden (SCHEFFER et al. 1992). Anthropogene Ursachen für das Auftreten von Quecksilber im Grundwasser können Verunreinigungen durch Altlasten oder Deponien sein (GRUBER 1990).

Der Einsatz von Quecksilber ist aufgrund des damit verbundenen Gefährdungspotenzials für Umwelt und Mensch in vielen Bereichen stark rückläufig, beispielsweise ist der Einsatz als Pflanzenschutzmittel und Holzschutzmittel mittlerweile verboten. Quecksilber wird noch in wissenschaftlichen Instrumenten wie Manometern und Thermometern eingesetzt. Weitere Verwendungsgebiete sind Quecksilberdampflampen (z. B. Energiesparlampen, Leuchtstofflampen) und Amalgame für die Zahnmedizin. Eine umfassende Darstellung bezüglich noch zugelassener und bereits verbotener Verwendungen von Quecksilber sowie die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen bieten beispielsweise HILLENBRAND et al. (2006) und die Quecksilberverordnung (EG) Nr. 1102/2008.

2.10.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Quecksilber im Grundwasser gibt es in Österreich einen Schwellenwert, der auf der gesetzlichen Grundlage der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) beruht. Die Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gibt einen Parameterwert für die Konzentration dieses Metalls im Trinkwasser an.

Schwellenwert lt. QZV Chemie GW	0,9 µg/l
Parameterwert lt. TWV	1 µg/l

2.10.1.3 Natürliche Vorkommen

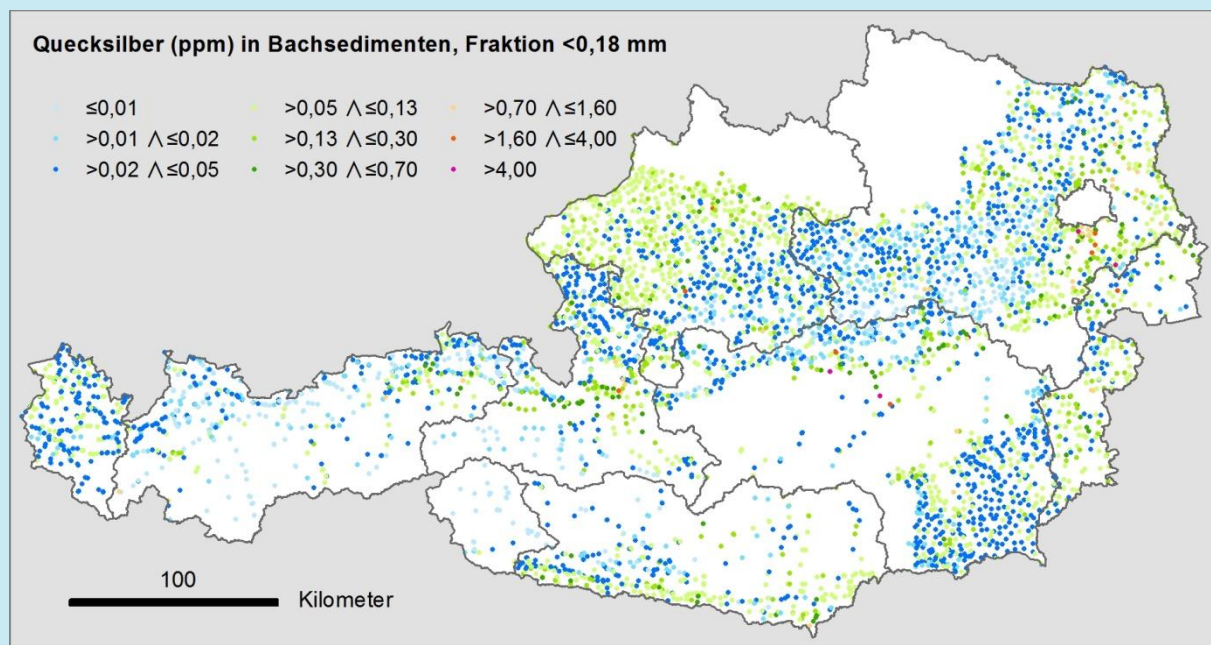
Laut FITZGERALD & LAMBORG (2004, S. 113–114) können in Intrusionsgesteinen und Vulkaniten höhere Quecksilber-Konzentrationen auftreten. Das gleiche gilt für Störungszonen und Sedimente mit einem hohen organischen Anteil. Die Autoren geben folgende Quecksilberkonzentrationen für ausgewählte Gesteine an: Ultrabasische Magmatite 0,0X ppm, Basalte 0,09 ppm, Granite 0,08 ppm, Syenite 0,0X ppm, Schiefer 0,4 ppm, Sandsteine 0,03 ppm, Karbonate, Tiefseesedimente 0,0X ppm, Tiefseetone 0,X ppm, wobei X die Größenordnung wiedergeben soll.

Nach MATTHESS (1994, S. 337) ist Quecksilber in den meisten Grundwässern nur in geringen Mengen vorhanden. Als Beispiel führt er holländische Wässer mit Hg-Konzentrationen zwischen 0,01 und 0,05 µg/l an. In Thermalwässern kann der Hg-Gehalt höher sein (z. B. 350 µg/l).

Der an der Geologischen Bundesanstalt vorliegende Datensatz der Bachsedimentgeochemie (weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b; PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) enthält für die Böhmisches Masse und die Zentralzone der Alpen nur wenige Quecksilber-Analysen (siehe Abbildung 15). Deutliche Quecksilber-Anomalien weist dieser Datensatz im Wiener Becken südlich Wien (GK100024 Südliches Wiener Becken) und Raum E' Werfenweng (Werfener Schichten, GK100009 Nördliche Kalkalpen und GK100010 Zentralzone) auf. Die erstgenannte Anomalie könnte auf menschlichen Einfluss zurückgehen.

Von WEBER et al. (1997) werden in der Zentralzone der Alpen einige kleine Quecksilber-Vorkommen angeführt, die zumeist an paläozoische Metasedimente und -vulkanite gebunden sind und von denen die bedeutendsten sich bei Stockenboi (E' des Weißensees/Kärnten) und bei Gratwein (N' Graz) befinden. Darüber hinaus ist Quecksilber häufig in Zinkblende und in Fahlerzen enthalten.

Abbildung 15: Quecksilber in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Erläuterung: Quecksilber in den Bachsedimenten- (die Klassenbildung erfolgte über eine exponentielle Verteilung, die Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an.

2.10.2 Quecksilber im Grundwasser

Die Karte mit den GZÜV-Daten zeigt, dass die Messstellenmediane der Quecksilberkonzentrationen zu fast 100 % unterhalb der maximalen Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l liegen. Lediglich eine Messstelle in der Steiermark weist eine Konzentration von 0,4 µg/l auf und führt dazu, dass der Grundwasserkörper Murchbruchstal (GK100100) im Mittel über der Bestimmungsgrenze liegt. Alle übrigen Grundwasserkörper weisen Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

2.10.3 Interpretation

Bis auf eine Messstelle liegen alle Messstellenmediane für Quecksilber unterhalb der Bestimmungsgrenze. Im Gegensatz zu den Mediankonzentrationen aller anderen Messstellen basiert die Angabe für diese Messstelle auf einem einzigen Messwert für die Jahre von 2006–2010. Auch bei anderen Messstellen wurden vereinzelt Konzentrationen etwas oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen. Aufgrund der Berechnung der Mediane je Messstelle für die Messwerte von fünf Jahren fallen einzelne Konzentrationen knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze nicht mehr ins Gewicht. Demnach fügt sich diese Messstelle in das Gesamtbild ein. Zudem liegt die Quecksilberkonzentration dieser Messstelle deutlich unterhalb des Schwellenwertes von 0,9 µg/l.

Insgesamt zeigen die GZÜV-Daten, dass sich die Quecksilberkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper durchwegs auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind, da sie ausnahmslos weit unterhalb der in Kapitel 2.10.1.2 definierten gesetzlichen Vorgaben liegen.

2.11 Zink (Zn)

2.11.1 Allgemeines

2.11.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Gediegenes Zink kommt in der Natur nicht vor, ist aber in sehr vielen Mineralien der Erdkruste existent. Die wirtschaftlich wichtigsten Mineralien sind Zinksulfide wie Sphalerit (Zinkblende). Zinkerze sind oft mit Eisen, Cadmium, Kupfer und Blei vergesellschaftet.

Zink ist ein blauweißes Metall, das in gegossenem Zustand spröde ist, bei Temperaturen zwischen 120 und 150°C jedoch gut formbar wird. An trockener Luft oxidiert Zink, unter feuchten Bedingungen bildet sich auf der Oberfläche ein Zinkcarbonat, welches das Metall vor Korrosion schützt. Aufgrund seines amphoteren Charakters kann Zink eine Vielzahl von Salzen formen. Leicht löslich in Wasser sind Zinkchlorid und -sulfat. Praktisch unlöslich in Wasser sind Zinkoxid, -carbonat, -phosphat und -silicat sowie Zinksulfide und organische Komplexverbindungen.

Atmosphärischer Eintrag von Zink erfolgt hauptsächlich über nasse Deposition. Im Boden ist Zink bei gängigen pH-Werten eher mobil. Die Verfügbarkeit steigt mit sinkendem pH-Wert. In kalkreichen Böden bei pH-Werten im basischen Milieu ist die Verfügbarkeit von Zink reduziert. In Oberflächengewässern ist das Metall überwiegend an Schwebstoffe gebunden oder fällt mit Eisen- und Manganoxiden aus. Insbesondere bei pH-Werten < 7 im Grundwasser weisen viele Zinkverbindungen eine gute Löslichkeit auf.

Zink ist ein essenzielles Spurenelement für Organismen, erst sehr hohe Konzentrationen wirken toxisch. Es kommt in natürlichen Gewässern meist nur in geringen Konzentrationen vor. Wasser mit erhöhtem Chlorid- und Sulfatgehalt kann aus verzinkten Leitungen und Armaturen Zink herauslösen und so den Geschmack des Wassers beeinträchtigen sowie eine Trübung des Wassers verursachen (HÜTTER 1992).

Zink wird größtenteils als Korrosionsschutzmittel für Eisen und Stahl und zur Herstellung von Legierungen (Messing, Neusilber) verwendet. Zink wird in einer Vielzahl von Batterien eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete sind die Herstellung von Chemikalien, Farben, Emaile und Plastik sowie der medizinischen Bereich.

2.11.1.2 Schwellen- und Grenzwerte – gesetzlicher Hintergrund

Für Zink im Grundwasser gibt es weder einen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) noch einen Grenzwert für Zink im Trinkwasser lt. Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.). Die WHO gibt für das Trinkwasser die Empfehlung, dass die Zinkkonzentration 3.000 µg/l nicht überschreiten soll. Dies begründet sich allerdings nicht durch eine gesundheitliche Gefährdung, sondern aufgrund der Beeinträchtigung von Geschmack und Aussehen (WHO 2011).

Empfehlung der WHO

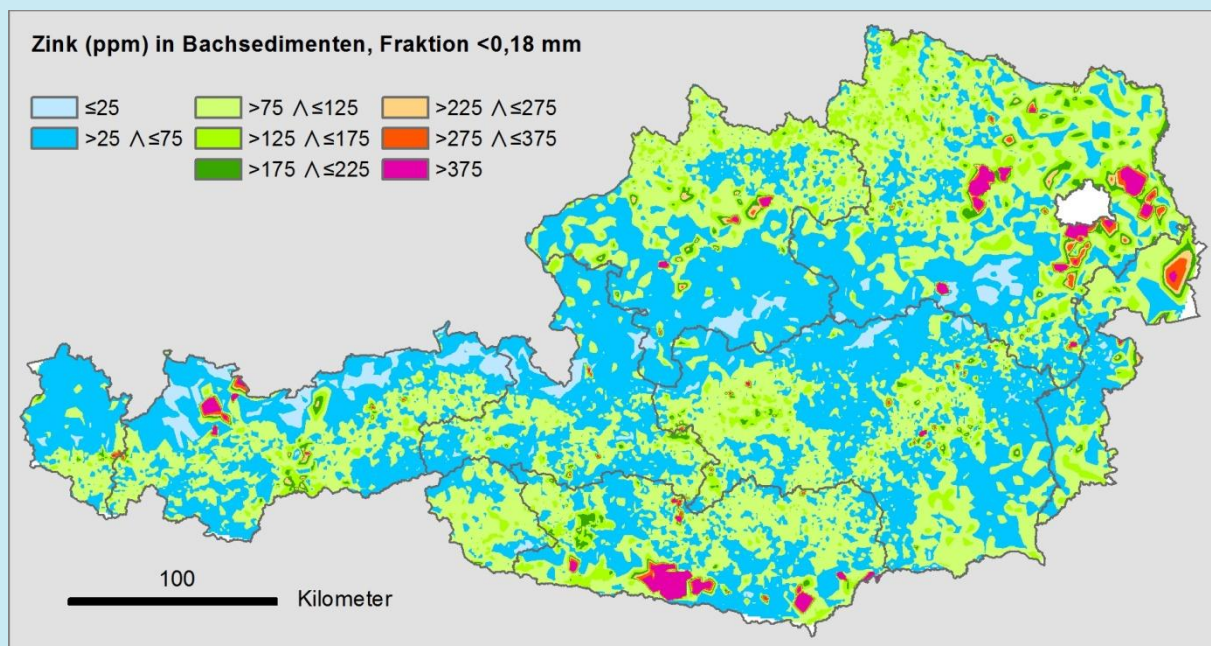
3.000 µg/l

2.11.1.3 Natürliche Vorkommen

Zink ist ein Spurenelement aus der Gruppe der Übergangselemente. Nach THALMANN et al. (1989a, S. 134) weisen magmatogene Gesteine im Durchschnitt einen Zinkgehalt von 70 ppm auf: Ultrabasite 50 ppm, Basalte 150 ppm, Granodiorite 50 ppm und Granite 51 ppm. Für sedimentogene Gesteine geben dieselben Autoren folgende Werte an: Tonschiefer 100 ppm, Sandsteine 40 ppm, Karbonatgesteine 21 ppm und Böden 50 ppm (10–300 ppm).

Nach MATTHESS (1994, S. 334–335) wird der Zinkgehalt selten durch die Löslichkeit des Zinks, sondern durch dessen Verfügbarkeit bestimmt. Grubenwässer können erhebliche Zink-Konzentrationen aufweisen (Werte bis 2.412 mg/l).

Abbildung 16: Zink in Bachsedimenten.



Quelle: Aktueller an der Geologischen Bundesanstalt vorliegender Datensatz zur Bachsedimentgeochemie, GIS-Bearbeitung G. SCHUBERT

Zink in den Bachsedimenten (interpoliert mittels Triangulation, gerastert auf 1 km Zellgröße; die Klassenbildung und Farbgebung lehnt sich an THALMANN et al. (1989b) an).

In dem an der Geologischen Bundesanstalt vorliegenden Datensatz der Bachsedimentgeochemie (Böhmische Masse und Zentralzone sind in THALMANN et al. (1989b) in Kartenform publiziert, weitere Messungen in unveröffentlichten Berichten: AUGUSTIN-GYURITS et al. 1997, 1998; KLEIN et al. 2005, 2007a, b, PFLEIDERER et al. 2010; SCHEDL et al. 2010 und WIMMER et al. 2002a, b) sind im ostalpinen Kristallin und in kalkalpinen Bereichen mehrere deutliche Anomalien ausgebildet, die auf mehrere Proben zurückgehen: Im Norden der

Verwallgruppe (GK100152 Kristallin und GK100010 Zentralzone), NE' Imst Kalkalpen (GK100009 Nördliche Kalkalpen), bei Fulpmes (Grenzbereich Steinacher Trias-Kristallin der Stubai Alpen; GK100010), E' Schwaz und in Alpbach (Grauwackenzone; GK100010), in den Schladminger Tauern (GK100052), in der Innerkrems (Grenzbereich ostalpines Kristallin-Mesozoikum-Paläozoikum der Gurktaler Decken; GK100186 Zentralzone), Villacher Alpe (Mesozoikum und Talfüllung; GK100077 Südliche Kalkalpen und GK100060 Gailtal), im Bereich Frohleitens-Arztberg (Grazer Paläozoikum; GK100110 Grazer Bergland westlich der Mur, GK100109 Grazer Bergland östlich der Mur [MUR] und GK100138 Grazer Bergland östlich der Mur [LRR]). Des Weiteren sind zwischen Vöcklabruck und Linz (GK100044 Vöckla – Ager – Traun - Alm und GK100045 Welser Heide), im Raum Traisenmauer-St. Pölten (GK100025 Traisental und GK100026 Tullnerfeld) und im Wiener Becken bei Wien (GK100020 Marchfeld und GK100024 Südliches Wiener Becken) deutliche Zink-Anomalien ausgebildet (siehe Abbildung 16). Die drei letztgenannten gehen wahrscheinlich auf menschlichen Einfluss zurück.

Die bekannteste Blei-Zinkerzlagerstätte in Österreich ist Bleiberg in Kärnten (CERNY 1989). Im Datensatz der Bachsedimentgeochemie (siehe Abbildung 16) ist im Umfeld dieser Lagerstätte die auffälligste Zink-Anomalie ausgebildet. Laut CERNY & SCHROLL (1999, S. 377–379) ist die Typuslagerstätte Bleiberg an den oberen Wettersteinkalk und Raibler Schiefer gebunden. In Bleiberg ist nicht nur die große Ausdehnung der Lagerstätte, sondern auch die hohe Vererzungsdichte bemerkenswert; Letztere beträgt im oberen Wettersteinkalk 0,4 Mio. t Pb+Zn/km³. Neben dem Bergbau in Bleiberg-Kreuth wurde beispielsweise auch bei Arztberg-Haufenreith (Steiermark) Zink als Beiprodukt gewonnen (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, o. J.).

2.11.2 Zink im Grundwasser

2.11.2.1 Beschreibung der GZÜV-Karte

Für 63,2 % der Messstellen-Mediane liegt die Zinkkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze. Das 90 % Perzentil befindet sich bei 121 µg/l. An drei GZÜV-Messstellen überschreiten die Mediane den von der WHO empfohlenen Grenzwert für Zink im Trinkwasser. Diese befinden sich in den Grundwasserkörpern Weststeirisches Hügelland, Drautal und Mittleres Murtal. Das Maximum liegt hier bei 13.110 µg/l. Auf Grundwasserkörperebene liegen 26 % der Grundwasserkörper im Mittel unterhalb der Bestimmungsgrenze, alle übrigen liegen nur knapp darüber.

2.11.2.2 Weitere Daten zum Grundwasser

Im Datensatz der Tiroler Landesregierung findet sich ein Analysewert, der über der Empfehlung der WHO von 3.000 µg/l liegt. Dieser stammt aus dem Süden der Deferegger Alpen und weist einen Zinkgehalt von 10.400 µg/l auf. Diese Probe weist mit 20,5 µg/l auch den höchsten Blei-Gehalt dieses Datensatzes auf.

2.11.3 Interpretation

Beim Element Zink liegt bei keinem der Grundwasserkörper der Mittelwert der GZÜV-Messstellenmediane über der Empfehlung der WHO von 3.000 µg/l. Nur bei drei in Tälern gelegenen Messstellen liegt der Medianwert darüber: PG20609082 im Grundwasserkörper Drautal (Zink-Medianwert 3.809 µg/l, GK100059), PG61032062 im Grundwasserkörper Sulm-Saggau (Zink-Medianwert 13.110 µg/l, GK100106) und PG60910162 im Grundwasserkörper Mittleres Murtal Knittelfeld bis Bruck/Mur (Zink-Medianwert 5.415 µg/l, GK100099). Für diese Messstellen gibt es im Datensatz der Bachsedimentgeochemie keine Entsprechung. Es liegen gegenwärtig keine Hinweise auf eine anthropogene Zinkbelastung des Grundwassers dieser Messstellen durch bekannte Altstandorte bzw. Altablagerungen vor. Bei zwei dieser Messstellen (PG20609082, PG60910162) wurde verzinktes Eisen als Material für die Fassung verwendet, was sich möglicherweise auf die Zinkkonzentration des Wassers auswirken könnte, da Wasser Zink aus dem Material auslösen kann (siehe Kapitel 2.11.1.1).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Zinkgehalte im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper bis auf Ausnahme weniger vereinzelt liegender Messstellen durchweg sehr niedrige Konzentrationen

aufweisen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind, da die Konzentrationen im Allgemeinen weit unterhalb der in Kapitel 2.11.1.2 dargestellten Empfehlung der WHO liegen.

3 Literaturverzeichnis

- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (1998): Bergbau- und Hüttenaltstandorte im Bundesland Salzburg. <http://www.salzburg.gv.at/pdf-bergbaubericht.pdf> (abgerufen am 16.Mai 2012)
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (o. J.): Bergbau in der Steiermark. http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10235637_46590/3572dea5/Bergbau_gesamt.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012)
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, LANDWIRTSCHAFTLICHES VERSUCHSZENTRUM STEIERMARK (1998–2011): Steiermärkische Bodenschutzberichte, Graz.
- AUGUSTIN-GYURITS, K.; HOLNSTEINER, R.; PIRKL, H.; NEINAVAI, H. & HAUSBERGER, G. (1997): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Niederösterreichs. Unveröffentl. Bericht, BFPZ Arsenal, Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K.; HOLNSTEINER, R.; PIRKL, H. & NEINAVAI, H. (1998): Umweltgeochemie der Flußsedimente Oberösterreichs. unveröffentl. Bericht, ÖFPZ Arsenal, Wien.
- AUSTRIAN NATIONAL COMMITTEE OF GEOSCIENCES (o. J.): <http://www.geo.ac.at/iris.htm> (abgerufen am 16.Mai 2012)
- BERKA, R.; HÖRHAN, Th.; KATZLBERGER, Ch.; PHILIPPITSCH, R. & SCHUBERT, G. (in Vorbereitung): Natürliche Radionuklide in den Grundwässern Österreichs 1:500.000. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- BERTLE, R.J. (2007): Unterengadiner Fenster. In: Friebe, J.G. (Red.): Geologie der Österreichischen Bundesländer, Vorarlberg. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- BINDER, H. H. (1999): Lexikon der chemischen Elemente, S. Hirzel Verlag, Stuttgart.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2009): Lage und Grenzen der Grundwasserkörper – Oberflächennahe Grundwasserkörper. Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): Berlakovich: Erhaltung der Trinkwasserqualität als oberstes Ziel. WasserCheck und Armaturenuntersuchung zeigen die möglichen Beeinträchtigungen durch die "Last-Mile" auf. Pressemitteilung vom 23.August 2010. Wien.
- BMWFJ – Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2011): Österreichisches Montanhandbuch 2011. Bergbau – Rohstoffe – Grundstoffe – Energie. 85. Jahrgang. Wien. <http://www.bmfj.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/MHB%202011.pdf> (abgerufen am 16.Mai 2012)
- BRANDNER, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol 1:300.000. In: Troger, E. (Hrg.) (1966): Tirol Atlas 1:300.000, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- CALLENDER, E. (2004): Heavy Metals in the Environment – Historical Trends. – In: Holland, H.D.; Turekian, K.K. & Lollar, B.S.: Treatise on Geochemistry. Volume 9. Environmental Geochemistry, S. 67–105, Elsevier.
- CERNY, I. (1989): Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums: Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. Archiv für Lagerstättenforschung, 11, S. 5–125, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1995): Heimische Vorräte an Spezialmetallen (Ga, In, Tl, Ge, Se, Te und Cd) in Blei-Zink- und anderen Erzen. Archiv für Lagerstättenforschung, 18, S. 5–33, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- CERNY, I.; PAAR, W.H. & MALI, H. (1997): Antimon- (Arsen-, Gold-, Blei-, Kupfer-) sowie Gold-Arsen-Erzbezirk Kreuzeck-Goldeckgruppe. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Göttinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 307–309, Geologische Bundesanstalt, Wien.

- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1999): Blei-Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 377-379, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- DEUTSCHES ÄRZTEBLATT (2010): <http://www.aerzteblatt.de/nachrichten/41975/Wie-Arsen-gegen-Krebs-wirkt> (abgerufen am 16.Mai 2012)
- FENT, K. (2003): Ökotoxikologie. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- FINGER, F.; GERDE, A.; JANOUŠEK, V.; RENÉ, M. & RIEGLER, G. (2007): Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. *Journal of Geosciences*, 52, S. 9–28.
- FITZGERALD, W.F. & LAMBORG, C.H. (2004): Geochemistry of Mercury in the Environment. In: Holland, H.D.; Turekian, K.K. & Lollar, B.S., *Treatise on Geochemistry*. Volume 9. Environmental Geochemistry, S. 107–148, Elsevier.
- GESELLSCHAFT FÜR SALZBURGER LANDESKUNDE (o. J.): Bauxitbergbau in Salzburg. http://www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/MGSL_118_0327-0340.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012)
- GÖD, R. & HEISS, G. (1996): Die Arsenanomalie Feistritz am Wechsel (Niederösterreich). *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*. Band 139, Heft 4, S. 437–444. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖD, R. & HEISS, G. (2008): Zur Geochemie des Arsens im Ostalpinen Altkristallin. Zusammenfassung neuerer Ergebnisse. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 77, S. 26-28, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZINGER, M.A. (1999): Manganerzbezirk östliche Kalkalpen. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 353-354, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GRUBER, J. (1990): Kärntner Grundwasser Kataster. Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15 Umweltschutz, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klagenfurt.
- HILLENBRAND, T.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; STRAUCH, M. & HEITMANN, K. (2006): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie: Datenblatt Quecksilber. <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/quecksilber.pdf> (abgerufen am 30.Mai 2012)
- HOBIGER, G.; KLEIN, P.; DENK, J.; GRÖSEL, K.; HEGER, H.; KOHAUT, S.; KOLLMANN, W.; LAMPL, H.; LIPIARSKI, P.; PIRKL, H.; SCHEDL, A.; SCHUBERT, G.; SHADLAU, S. & WINTER, P. (2004): GEOHINT – Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen, Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysedaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper) – (Zl. 70.215/08-VII 1/03). Unveröffentl. Bericht, Geologische Bundesanstalt und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- HUBER, A. (1988): Rohstoffsicherungsgebiete im Bezirk Murau (Steiermark). http://www.geologie.ac.at/filestore/download/AL0009_059_A.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012)
- HÜTTER, L. A. (1992): Wasser und Wasseruntersuchung: Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer, biologischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren; 5. erw. u. aktualisierte Auflage. Otto Salle Verlag, Frankfurt am Main; Verlag Sauerländer, Aarau, Frankfurt am Main, Salzburg.
- KLEIN, P.; PIRKL, H.; NEINAVAI, H.; SCHEDL, A. & ATZENHOFER, B. (2005): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Fluss-Sedimente Vorarlbergs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Vorarlbergs“, Projekt VA-19). Unveröffentl. Endbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.

- KLEIN, P.; PIRKL, H.; FRÖSCHL, H.; SCHEDL, A. & WIMMER, B. (2007a): Abschluss der umweltgeochemischen Untersuchung der Bach- und Fluss-Sedimente Burgenlands auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen (Sedimentfraktion < 40 µm und Gesamtdokumentation). unveröffentl. Endbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KLEIN, P.; SCHEDL, A.; PIRKL, H.; HASLINGER, E.; LIPIARSKI, P.; NEINAVAIE, H. & ATZENHOFER, B. (2007b): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen ("Umweltgeochemie Kärnten"). Probenahme/Analytik/Dokumentation. Unveröffentl. Endbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KOLLEGER, G.; Mogessi, A. & Mali, H. (2007): Geochemie und Vererzung im Kraubath-Massiv, südöstlich von Kraubath an der Mur, Steiermark, Österreich. *Joannea Min.*, 4, S. 53–97, Graz.
- KÖSTLER, H.J. (2001): Berichte der Geologischen Bundesanstalt. Band 53, S. 49-54. Geologische Bundesanstalt, Wien. http://www.geologie.ac.at/filestore/download/BR0053_049_A.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012).
- MATTHESS, G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers. 3. Überarbeitete Auflage, Gebrüder Borntraeger, 499 S., Berlin und Stuttgart.
- MATHIASCHITZ, M.L.; PRIDNIG, G.; KÖBLINGER, J. & SCHLAMBERGER, J. (2003): Arsen im Trinkwasser. Eine Untersuchung und Bewertung zum Vorkommen von Arsen im Kärntner Trinkwasser. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt.
- MERIAN, E. (1991): *Metals and Their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis, and Biological Relevance.* VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- NATURWISSENSCHAFTLICHER VEREIN FÜR STEIERMARK (o. J.): http://www.landmuseum.at/pdf_frei_remote/MittNatVerSt_67_0104-0115.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012).
- PAAR, W.H. (1997): Erzbezirk „Massive Kieslagen“ Kreuzeckgruppe. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung*, 19, S. 301, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PFLEIDERER, S.; SCHEDL, A.; NEINAVAIE, H. & PIRK, H. (2010): Umweltgeochemische Untersuchung von Bachsedimenten, Gesteinen, Böden und Grundwasser zur Charakterisierung geogen bedingter Hintergrundwerte im Stadtgebiet Wien („Umweltgeochemie Stadtgebiet Wien“). Unveröffentl. Endbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PHILIPPITSCH, R. (1995): B/ 2 Geologie. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrg.): *Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 1994*, 1-48, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- PURTSCHELLER, F.; STINGL, V.; TESSADRI, R.; MAIR, V.; PIRCHL, T.; SIEDER, G.; BRUNNER, P.; SCHNEIDER, P. & ENNEMOSER, O. (1997): Geologisch-petrographische Ursachen der Radonanomalie in Umhausen (Tirol). *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 88: 7–13. Wien.
- SCHEDL, A.; PIRKL, H.; NEINAVAIE, H.; PFLEIDERER, S.; LIPIARSKI, P. & HOBIGER, G. (2010): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen ("Umweltgeochemie Steiermark"). Unveröffentl. Endbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K.H.; SCHWERTMANN, U.; FISCHER, W.R.; RENGER, M. & STREBEL, O. (1992): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 13. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHLEYER, R. & KERNDORFF, H. (1992): *Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen: Eine Bestandsaufnahme für den vorbeugenden Grundwasserschutz sowie zur Erkennung von Grundwasserverunreinigungen.* VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge.

- SCHROLL, E. (1997a): Bauxitbezirk Nördliche Kalkalpen. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 389, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHROLL, E. (1997b): Sideritlagerstätte. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 338, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHROLL, E. (1999c): Manganzbezirk Nordtiroler Kalkalpen. – In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 353, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHRÖTER, W.; LAUTENSCHLÄGER, K.-H. & BIBRACK, H. (1995): Taschenbuch der Chemie. Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main.
- SCHULZ, O.; VAVTAR, R. & DIEBER, K. (1997): Die Siderit-Erzlagerstätte Steirischer Erzberg: Eine geowissenschaftliche Studie, mit wirtschaftlicher und geschichtlicher Betrachtung. Archiv für Lagerstättenforschung, 20, S. 65–178, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- THALMANN, F.; SCHERMANN, O.; SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G. (1989): Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1 000 000, Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm), Wien.
- THALMANN, F.; SCHERMANN, O.; SCHROLL, E.; HAUSBERGER, G., VOEST-ALPINE, BUNDESVERSUCHS- U. FORSCHUNGSANSTALT ARSENAL & GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (1989a): Geochemischer Atlas der Republik Österreich. Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen – Sachsedimente. Textteil. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- THALMANN, F.; SCHERMANN, O.; SCHROLL, E.; HAUSBERGER, G., VOEST-ALPINE, BUNDESVERSUCHS- U. FORSCHUNGSANSTALT ARSENAL & GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (1989b): Geochemischer Atlas der Republik Österreich. Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen – Sachsedimente. Kartenteil. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- UMWELTBERATUNG (o. J.): Wasser und Gesundheit – Eisen und Mangan im Trinkwasser.
<http://images.umweltberatung.at/html/wasser-und-gesundheit-eisen-mangan-ratgeber-wasser.pdf> (abgerufen am 30.Mai 2012)
- UMWELTBUNDESAMT (unpubl.): Freudenschuß, A.; Obersteiner, E. & Schwarz S.: Schwermetalle in Oberböden – Kartenband. Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS. Interner Bericht.
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Sechster Umweltkontrollbericht. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten. Monographien, Band M-168. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2005): Hydrochemische Karte Österreichs. 2. überarbeitete Auflage. Wien.
- WEBER, L. & SCHROLL, E. (1997): Chromit-Asbest-Magnetitbezirk Krauthochgrößen. In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 296-297, Geologische Bundesanstalt, Wien.

- WEBER, L. & TUFAR, W.H. (1997): Erzbezirk Deferegger Alpen („Muriden“). In: Weber, L.; Cerny, I.; Ebner, F.; Eichhorn, R.; Fettweis, G.B.L.; Frank, W.; Göd, R.; Götzinger, M.A.; Gräf, W.; Günther, W.; Höll, R.; Kirchner, E.C.; Köppel, V.; Mali, H.; Melcher, F.; Paar, W.H.; Prochaska, W.; Raith, J.G.; Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R.F.; Schroll, E.; Schulz, O.; Seemann, R.; Spieler, A.; Sterk, G.; Tufar, W.; Vavtar, F. & Weiss, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 300, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WEBER, L.; CERNY, I.; EBNER, F.; EICHHORN, R.; FETTWEIS, G.B.L.; FRANK, W.; GÖD, R.; GÖTZINGER, M.A.; GRÄF, W.; GÜNTHER, W.; HÖLL, R.; KIRCHNER, E.C.; KÖPPEL, V.; MALI, H.; MELCHER, F.; PAAR, W.H.; PROCHASKA, W.; RAITH, J.G.; RANTITSCH, G.; SACHSENHOFER, R.F.; SCHROLL, E.; SCHULZ, O.; SEEMANN, R.; SPIELER, A.; STERK, G.; TUFAR, W.; VAVTAR, F. & WEISS, A. (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 353, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WEBER, L.; CERNY, I.; EBNER, F.; EICHHORN, R.; FETTWEIS, G.B.L.; FRANK, W.; GÖD, R.; GÖTZINGER, M.A.; GRÄF, W.; GÜNTHER, W.; HÖLL, R.; KIRCHNER, E.C.; KÖPPEL, V.; MALI, H.; MELCHER, F.; PAAR, W.H.; PROCHASKA, W.; RAITH, J.G.; RANTITSCH, G.; SACHSENHOFER, R.F.; SCHROLL, E.; SCHULZ, O.; SEEMANN, R.; SPIELER, A.; STERK, G.; TUFAR, W.; VAVTAR, F. & WEISS, A. (1999): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, 607 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WEISS, A. (2005): Zur Geschichte des Bergbaus im Raum Arzberg-Haufenreith (Steiermark). Joannea Geologie Paläontologie. Heft 7, S. 4599-125. Graz.
http://www.museum-joanneum.at/upload/file/Geo7_08_Weiss_1_.pdf (abgerufen am 16.Mai 2012)
- WEISSENBACH; N. & PISTOTNIK; J. (2000): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50 000. 187 Bad Sankt Leonhard im Lavanttal: Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WIMMER, B.; AUGUSTIN-GYURITS K. & PIRKL, H. (2002a): Umweltgeochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Salzburgs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen. Unveröffentl. Bericht, ARC Seibersdorf, Seibersdorf.
- WIMMER, B.; AUGUSTIN-GYURITS, K. & PIRKL, H. (2002b): Umweltgeochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Tirols auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastung. Unveröffentl. Bericht, ARC Seibersdorf, Seibersdorf.
- WHO – World Health Organisation (2011): Guidelines for Drinking-water Quality – Fourth Edition.
- ZÖTL, J. & GOLDBRUNNER, J.E. (Red.) (1993): Die Mineral- und Heilwässer Österreichs. Geologische Grundlagen und Spurenelemente. Springer, Wien-New York.

4 Rechtliche Grundlagen

Batterierichtlinie (RL 2006/66/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG. ABl. Nr. L 266.

Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 (Chem-VerbotsV; BGBl. II Nr. 477/2003 i.d.g.F.): Verordnung über weitere Verbote und Beschränkungen bestimmter gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Fertigwaren.

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; 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.

ÖNORM L 1075 (2004): Grundlagen für die Bewertung der Gehalte ausgewählter Elemente in Böden. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.

Quecksilber-Verordnung: Verordnung (EG) Nr. 1102/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2008 über das Verbot der Ausfuhr von metallischem Quecksilber und bestimmten Quecksilberverbindungen und -gemischen und die sichere Lagerung von metallischem Quecksilber. ABl. Nr. L 304/75.

Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

Wasserrechtsgesetz (WRG 1959, BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.) : 215. Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

5 ANHANG

5.1 Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes (Bach- und Flusssedimentgeochemie)

Autor: Albert Schedl, Geologische Bundesanstalt

Die systematische flächendeckende Untersuchung des Bundesgebietes mittels Bach-/Flusssediment-Multielementanalytik wurde in Österreich 1978 durch eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Geologischer Bundesanstalt (Programmleitung/-koordination), BVFA Arsenal und VOEST-ALPINE (ab 1991 Büro Dr. Pirkl), gestartet und in einer ersten Phase durch die Herausgabe des „Geochemischen Atlas der Republik Österreich“ (THALMANN et al. 1989) im Jahr 1989 abgeschlossen. Wegen der primär rohstoffwirtschaftlichen Zielsetzungen dieses Forschungsprogramms konzentrierten sich diese Untersuchungen vor allem auf den Bereich der Böhmisches Masse und der Zentralzone (48 % der Gesamtfläche des Bundesgebietes).

Im ersten Programmabschnitt (Geochemischer Atlas) wurden als einheitliches Probenmedium Bachsedimente der Kornfraktion < 180 µm (aktives Feinsediment; überwiegend feinsandig-schluffig) herangezogen. Die Beprobungen (nach ÖNORM G 1031) bezogen sich dabei hauptsächlich auf Gerinne und Bäche in Kleinzugsgebieten und Nebenflüsse in den alpinen Tälern. Hauptvorfluter und Hauptflüsse wurden bewusst nicht beprobt, da das Programm hauptsächlich auf die Erhebung des geologischen Hintergrundes ausgerichtet war. Die Gesamtprobenzahl der im Atlas dargestellten Probenpunkte beträgt insgesamt 29.717. Mit einer Probendichte von etwa 1,4 Proben/km² war dieser erste Programmschritt auch im internationalen Vergleich sehr ambitioniert angelegt.

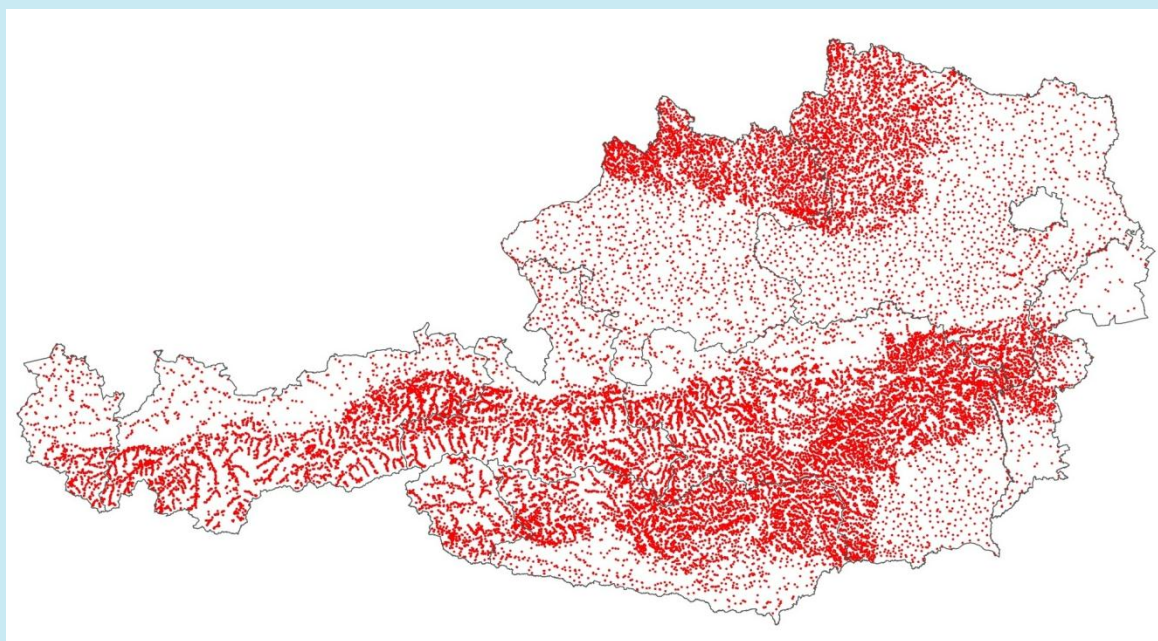
Von 1991 bis 2010 wurden in nachfolgenden Programmschritten mit veränderter Probendichte (4.761 Proben; 0,1 Proben/km²) und erweitertem Elementspektrum (43 Elemente) die bestehenden Beprobungslücken im Rahmen von gesonderten Bundesländerprojekten geschlossen. Die Schwerpunktsetzung der Programminhalte veränderte sich dabei zu allgemeinen geowissenschaftlichen und umweltgeochemischen Fragestellungen (z. B. Definition von geogenen Hintergrundgehalten von Schwermetallen für verschiedene Monitoringprogramme, Hinweise auf technogene Belastungen, Stoffflussdynamik im Verlauf von Flusssystemen, Bilanzierung von Stoffeinträgen etc.).

Einerseits wurde die Zielsetzung des „Geochemischen Atlas“ bezüglich einer Charakterisierung der geologisch bedingten Haupt- und Spurenelementverteilungen im Gewässersystem weiterverfolgt, andererseits wurde die Probepunktplanung in den nachfolgenden Ergänzungsprojekten auch darauf ausgerichtet, größere Emittenten und/oder Emissionsquellen (größere Siedlungsgebiete, Industrieanlagen, Kläranlagen oder Betriebsgebiete an Flüssen und Bächen) zu erfassen.

Zur besseren Charakterisierung umweltrelevanter Einflussfaktoren erfolgte – anlog zur WGEV-Sedimentbeprobung – eine Erweiterung des Beprobungsprogrammes um eine zweite Zielfraktion (Kornfraktion < 40 µm; möglichst feines Sediment; überwiegend schluffig).

Die Geländeuntersuchungen umfassten ab 1991 die routinemäßige Messung der wichtigsten Milieuparameter im Wasser und im wassergesättigten Sediment (Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Eh-Wert). An ergänzenden Laborparametern wurden des Weiteren TV und GV zur Quantifizierung des organischen Anteils bei 105 °C, 360 °C und 1.000 °C bestimmt. Die Durchführung der Multielementanalyse beider Sedimentfraktionen erfolgte mittels WD-RFA, ICP-OES, ICP-MS und AAS im GTI Arsenal bzw. später im ARC Seibersdorf. Bestimmt wurden beim ersten Programmabschnitt (Geochemischer Atlas) die Gesamtgehalte von insgesamt 35 Elementen (Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Ag, As, Ba, Be, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr). Das ergänzende Analysenprogramm der zweiten Programmphase (ab 1991) beinhaltet als zusätzliches Elementspektrum noch Si, Cd, Cl, F, Hg, Li, S und Se.

Während die Multielementanalysen für die Fraktion < 180 µm bundesweit vorliegen, fehlt die Analytik der 40 µm-Fraktion aufgrund der damaligen Finanzierungssituation in einigen Bundesländern (Oberösterreich, Salzburg und Tirol).



Quelle: Datensatz der Geologischen Bundesanstalt zur Bachsedimentgeochemie

Erläuterung: Lage der Probenpunkte der flächendeckenden bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie; Fraktion < 180 µm (Gesamtprobenzahl: 34.500; Geologische Bundesanstalt 1978–2010).

Flankierend zur Bachsedimentgeochemie wurden zur Trennung geogener von technogener Spuren- und Schwermetallverteilungen sowie zur Beurteilung des Einflusses technogener Prozesse in der Landschaft (Emissions-Immissions-Pfade) an ausgewählten Standorten auch ergänzende Schwermineralbeprobungen für mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen durchgeführt. Dieses Ergänzungsprogramm beschränkt sich auf die umweltgeochemischen Untersuchungen in Vorarlberg, Kärnten, Steiermark und Wien (alle unter der Projektleitung der Geologischen Bundesanstalt).

Aktuell sind Ergebnisse der Bach-/Flusssedimentbeprobungen und der Multielementanalytik in der Geologischen Bundesanstalt in einer zentralen Geochemie-Datenbank dokumentiert und GIS-mäßig aufbereitet. Die Bachsedimentgeochemiedaten wurden bisher nach einheitlichen uni- und multivariaten geostatistischen Methoden ausgewertet, interpretiert und in Atlasform dokumentiert (THALMANN et al. 1989; Bundesländerberichte 1997–2010; bundesweite Gesamtdokumentation 1978–2010, in Vorbereitung). Mit Analysendaten (35/43 Elemente) von 34.500 Probenpunkten ist die Bach- und Flusssedimentgeochemie bei Weitem der größte flächendeckende Multielementdatensatz in Österreich, was ihn für vielfältige Anwendungsbereiche so interessant macht.

Ein fixer Interpretationskatalog fehlte leider in der ursprünglichen Programmkonzeption zur bundesweiten Bachsedimentgeochemie. Die Untersuchungsergebnisse des „Geochemischen Atlas“ wurden ursprünglich primär nur hinsichtlich rohstoffrelevanter Anomalien ausgewertet. Durch die Modifizierung des Untersuchungsprogramms seit Beginn der 90er-Jahre in Richtung umweltgeochemischer Fragestellungen bieten sich jedoch zahlreiche zusätzliche Interpretationsroutinen mit Schnittstellen zu verschiedenen Umweltmonitoringprogrammen an. So können durch gezielte Aufbereitung und Interpretation der Geochemiedaten konkrete Aussagen hinsichtlich geogener Hintergrundwerte von Schwermetallen, technogener/anthropogener Belastungen, primärem Nährstoffangebot, Mobilität von Schwermetallen u. a. gemacht werden.

5.2 Methodische Grundlagen der Bodenkarten des Bodeninformationssystems BORIS

Die methodischen Grundlagen der Bodenkarten des Bodeninformationssystems BORIS des Umweltbundesamt werden in den folgenden Kapiteln auszugsweise aus UMWELTBUNDESAMT (unpubliziert) zusammenfassend zitiert.

5.2.1 Zusammenfassung

Für die Darstellung der räumlichen Verteilung von Schwermetallen in Oberböden erfolgte eine Gliederung (Stratifizierung) der Standorte nach der Landnutzung (Wald, Grünland und Acker) und der Karbonatbeeinflussung (karbonatbeeinflusst, karbonatfrei). Die Schwermetallgehalte der Böden wurden entsprechend den Stratifizierungsparametern nach Perzentilen (50., 85. 90., 95. und 97,5.) eingeteilt und in den Karten dargestellt. Diese Vorgehensweise ermöglicht einen Vergleich der Gehalte und Belastungen der Böden weitgehend unabhängig von der Landnutzungsart und dem Karbonatgehalt.

5.2.2 Methodik

Die Datenbasis der Karten bilden 10.000 Standorte des österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS des Umweltbundesamt. Von diesen Standorten wurden jene selektiert, die auf einem systematischen Raster liegen, die Landnutzungsverteilung in Österreich repräsentieren und die erforderlichen Daten aufweisen. In Summe ergeben sich so 503 Waldstandorte auf einem 8,7 x 8,7 km Raster (Waldbodenzustandsinventur des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft) sowie 1.302 Grünland- und 1.154 Ackerstandorte auf einem 4 x 4 km Raster (ausgewählte Standorte der Bodenzustandsinventuren der Bundesländer).

Stratifizierungsparameter sind einerseits Standorteigenschaften wie z. B. Landnutzung, Geologie, Ausgangsmaterial der Bodenbildung, Karbonatbeeinflussung oder andererseits Analyseparameter wie pH-Wert, Karbonatgehalt, Tongehalt, Boden-Schwereklassen oder organische Substanz. Bei den analysierten Parametern werden auf Basis der im Oberboden gemessenen Werte die einzelnen Standorte Klassen zugeordnet. Standorte der Landnutzung Wald sind in den Karten mit einem Dreieck, Grünlandstandorte mit einem Kreis und Ackerstandorte mit einem Quadrat gekennzeichnet. Die einzelnen Klassen werden durch unterschiedliche Farbgebung charakterisiert.

Bei dem Stratifizierungsparameter „Karbonatbeeinflussung“ werden zwei Klassen differenziert: „karbonatbeeinflusst“ (kb) und „nicht karbonatbeeinflusst“ (karbonatfrei – kf). Für jede Landnutzung (Acker, Grünland, Wald) werden sowohl für die karbonatbeeinflussten als auch für die karbonatfreien Standorte Referenzwerte berechnet. Dies ergibt somit für jedes Element maximal 6 verschiedene Referenzwerte.

Für jedes Element werden neben den 6 Referenzwerten (sechs 85. Perzentile) auch das jeweils 50., 90., 95. und 97,5. Perzentil angegeben. Das 97,5. Perzentil ist im geowissenschaftlichen Sinne häufig als Obergrenze der natürlichen Elementschwankungen in geologischen Materialien definiert (HINDEL et al. 1998, zit. in Labo 1998). Das 50. Perzentil (Median) ist der mittlere Wert des jeweiligen Datenkollektivs.

Standorte, deren Elementgehalte unterhalb des 50. Perzentils liegen, sind grün gefärbt. Elementgehalte zwischen dem Median und dem Referenzwert sind gelb dargestellt. Der Referenzwert – das 85. Perzentil – ist der erste Wert, der größer ist als 85 % aller Messwerte. Dies bedeutet, dass 85 % der Werte des ausgewählten Datenkollektivs unter dem Referenzwert liegen. Ab dem Referenzwert gilt es für jeden Standort zu hinterfragen, warum die Elementgehalte diese Höhe erreichen. Dies ist umso wichtiger, wenn Werte höhere Perzentile überschreiten. Die Elementgehalte von orange gefärbten Standorten liegen zwischen dem Referenzwert (85. Perzentil) und dem 90. Perzentil. Rot gefärbte Standorte liegen zwischen dem 90. und dem 95. Perzentil, violett gefärbte Standorte zwischen dem 95. und dem 97,5. Perzentil und blau gefärbte Standorte liegen darüber. Letztere Gruppen charakterisieren zum Teil besondere Belastungen.

Die Stratifizierung nach Karbonatbeeinflussung wurde auch deshalb gewählt, da aus bisherigen österreichweiten Erhebungen (Forstliche Bundesversuchsanstalt 1992; Umweltbundesamt 2004) deutlich hervorging, dass auf karbonatbeeinflussten Standorten beispielsweise die Cadmiumgehalte erheblich über jenen auf

karbonatfreien Standorten liegen. Um nun möglichst unabhängig von der Karbonatbeeinflussung der einzelnen Standorte einen Überblick über die Belastungssituation in Österreich zu erhalten, wurde die Darstellung über Perzentilbereiche gewählt.

So zählt z. B. ein Standort, der mit einem blauen Dreieck gekennzeichnet ist, zu jener Gruppe von Waldstandorten, die die höchsten 2,5 % der Elementgehalte aufweisen. Für Cadmium gilt dies einerseits für Werte, die knapp über $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ liegen, falls sie auf einem karbonatfreien Standort auftreten, andererseits für Werte über $6,9 \text{ mg kg}^{-1}$, falls sie auf karbonatbeeinflussten Standorten liegen. Diese Berechnungs- und Darstellungsform bietet die Grundlage, besondere Belastungssituationen, die unabhängig von der Karbonatbeeinflussung sind, klarer zu erkennen.

Da die Perzentile in der beschriebenen Weise auch für jede Landnutzungsform eigens berechnet, in den Karten jedoch mit denselben Farben je Perzentilbereich eingefärbt werden, können auch Belastungssituationen verschiedener Landnutzungsformen unmittelbar verglichen werden. Dies wäre bei der Darstellung von Absolutgehalten nicht möglich, da beispielsweise die Gehalte in Waldböden, einerseits bedingt durch die Filterwirkung der Bäume und andererseits durch die Probenahmetiefe (0–10 cm) meist deutlich über jenen in Ackerböden (Probenahmetiefe ist 0–20 cm) liegen.

Die vorliegenden Karten bieten somit eine gute Basis für das Erkennen jener Einflussfaktoren, die nicht durch die Landnutzung oder die Karbonatbeeinflussung verursacht werden.

5.2.3 Arsen

Die Grundlage für die Darstellung und Bewertung der Arsengehalte in Böden bilden die Daten von insgesamt 822 Grünland- und 998 Ackerstandorten der Bodenzustandsinventuren der Bundesländer. Die Untersuchungsstandorte sind dabei nicht gleichmäßig über das gesamte Bundesgebiet verteilt. So stehen in Tirol und Vorarlberg sowie in Oberösterreich nur an einzelnen Standorten Analysendaten über Arsen zur Verfügung.

Die Arsengehalte sowohl innerhalb einer Landnutzungskategorie als auch zwischen den Landnutzungsclassen für karbonatbeeinflusste und karbonatfreie Standorte unterscheiden sich hochsignifikant. Die Arsengehalte der Grünlandstandorte liegen dabei deutlich über jenen der Ackerstandorte. Ursachen dafür können die unterschiedlichen Beprobungstiefen und Bewirtschaftungsweisen von Acker- und Grünlandstandorten sein.

In der Karte ist die Perzentilverteilung der As-Gehalte in Grünland- und Ackerböden in einer Österreichkarte dargestellt. Dabei zeichnen sich recht deutlich Regionen ab, in denen hauptsächlich jene Standorte zu finden sind, die zur Gruppe mit den höchsten 10–15 % der As-Gehalte gehören (hier sei jedoch nochmals explizit auf die unterschiedlichen Absolutgehalten zwischen den Landnutzungsclassen und zwischen kb- und kf-Standorten hingewiesen!).

Da Arsen ein charakteristisches Element bei Erzvorkommen in den Ostalpen darstellt, überrascht es nicht, dass vorwiegend diese Standorte in Oberböden geogen bedingt hohe As-Gehalte aufweisen. Beginnend im Osten Österreichs zählen dazu Standorte im Bereich des Leitha- und Rosaliengebirges, im Mittel- und Südburgenland, in den Fischbacher Alpen und der Saualpe, entlang der Hohen und Niederen Tauern sowie im Bereich der Kreuzeckgruppe. Die Verzahnung von Arsenerzen mit Sulfiden von Blei, Zink, Kupfer sowie den Edelmetallen Silber und Gold führten vor allem in Regionen mit ehemals reger Bergwerkstätigkeit wie dem Pongau und z. T. dem Pinzgau und Lungau zu einer As-Anreicherung in Oberböden. Natürliche Verwitterungsprozesse und anthropogene Einflüsse bei der Verhüttung und Weiterverarbeitung der Erze führten zu einer Überlagerung der natürlichen As-Gehalte in den Oberböden (siehe auch Berichte der Bodenzustandsinventuren der Bundesländer, TOLLMANN 1977). Die erhöhte As-Konzentration in diesen Gebieten wird auch durch die Messungen der atmosphärischen Schwermetalldeposition mittels Moosen als Biomonitoren bestätigt (UMWELTBUNDESAMT 2009).

Die Verteilung der Standorte mit den höchsten 10–15 % der As-Gehalte zeigt größtenteils Übereinstimmung mit den höchsten 10 % der As-Gehalte in Bachsedimenten (GBA 1989). Ebenso weisen Auswertungen zu geogenen Grundgehalten in oberflächennahen Grundgewässern dieser Regionen höhere Hintergrundwerte auf (HOBIGER et al. 2004). Lediglich für jene Standorte, die in der Oststeiermark und sehr vereinzelt im nördli-

chen Niederösterreich sowie im südlichen Wiener Becken dieser Kategorie angehören, bietet ein vorwiegend geogen bedingter Einfluss keine ausreichende Erklärung. Hier dürften auch der emissionsbedingte Einfluss des Wiener Ballungsraums (Hausbrand, Wärmekraftwerke, Flughafen) sowie der Ferntransport aus slowakischen und polnischen Industrieregionen, in Kombination mit den Hauptwindrichtungen (WNW und SO) zum Tragen kommen. Auch für diese Gebiete gibt es eine gute Übereinstimmung mit den Depositionsmessungen an Moosen. Darüber hinaus kann die frühere Anwendung arsenhaltiger Pflanzenschutzmittel in landwirtschaftlichen Gebieten (v. a. in Weinbauregionen) als Verursacher höherer As-Gehalte in Böden nicht ausgeschlossen werden (UMWELTBUNDESAMT 2007, BIEBER & UHL 2005).

5.2.4 Blei

Die Grundlage für die Darstellung und Bewertung der Bleigehalte in Böden bilden die Daten von insgesamt 503 Wald-, 1.245 Grünland- und 1.153 Ackerstandorten der Bodenzustandsinventuren der Bundesländer und der Waldbodenzustandsinventur des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft.

Die Bleigehalte sowohl innerhalb der Landnutzungskategorien Wald und Grünland zwischen kb- und kf-Standorten als auch zwischen allen Landnutzungen innerhalb der kb- bzw. kf-Standorte unterscheiden sich hochsignifikant voneinander. Kein signifikanter Unterschied ergab sich für Ackerböden zwischen kb- und kf-Standorten. Die Bleigehalte sind auf kb-Waldstandorten am höchsten, während Ackerböden auf kf-Ausgangsmaterial die geringsten Gehalte aufweisen.

In der Österreichkarte ist die Perzentilverteilung der Pb-Gehalte in Wald-, Grünland- und Ackerböden dargestellt. Auch für Blei zeichnen sich sehr deutlich Regionen ab, in denen hauptsächlich jene Standorte zu finden sind, die zur Gruppe mit den höchsten 10–15 % der Pb-Gehalte gehören. Zum Teil lassen sich diese durch erhöhte geogene Grundbelastungen erklären. Bleierz führende Gesteine treten vor allem im kalkalpinen Bereich entlang des Drauzugs und im Gebiet der Koralpe, im steirischen Erzgebiet (Grauwackenzone – Eisenerz, Gußwerk) sowie im Bereich der Kreuzeckgruppe, im oberen Gasteiner- und Rauristal und im Unterinntal auf. Vereinzelt kam und kommt es in diesen Gebieten aufgrund von erzverarbeitenden Betrieben zu einer Überlagerung von geogenen und anthropogenen Anreicherungen in Böden. Zu den bekanntesten lokalen Belastungsgebieten zählen hier Brixlegg und Arnoldstein.

Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass der Einfluss ehemaliger Pb-Emissionen aus dem Kfz-Verkehr einen langen Memoryeffekt in Böden hat (geringe Verlagerung von Blei in Böden, stabile Bindung an die organische Substanz). Standorte rund um Ballungszentren sowie entlang hoch frequentierter Straßenzüge zählen daher auch zu jenen mit den prozentuell höchsten Pb-Gehalten (Unterinntal, südliches Wiener Becken, Raum Linz). Anzumerken ist, dass einige Bodenanalysen noch aus Zeiten vor dem Pb-Verbot als Kraftstoffadditiv stammen (z. B. Tirol, Ersterhebung 1989).

Ehemalige Schürfe auf Bleiglanz sind aus dem Gebiet nördlich des Nebelsteins (Böhmische Masse) bekannt, die im Süden dieses Gebietes zur Ansiedlung von Glasschleifereien führte. Lokal erhöhte Bodengehalte könnten damit erklärt werden (GBA 1989).

Die prozentuell geringsten Pb-Gehalte zeigen sich im Osten Österreichs (Großteil Niederösterreichs, Burgenland und Oststeiermark), in Osttirol und westlich von Imst in Tirol.

5.2.5 Literaturverzeichnis

- BIEBER, W. & UHL, A. (2005): Biomonitoring mit Flechten in Österreich – Eine Studie zur Luftgüte in der Steiermark und im Burgenland. Studie im Auftrag der Steirermärkischen und Burgenländischen Landesregierungen.
- HINDEL, R.; GEHRT, E.; KANTOR, W. & WEIDNER, E. (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. In: ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. & HARRESS, H.-M. (Hg.): Bodenschutz-Handbuch Kennziffer 1520. E. Schmidt Verlag, Berlin.
- HOBIGER, G.; KLEIN, P.; DENK, J.; GRÖSEL, K.; HEGER, H.; KOHAUT, S.; KOLLMANN, W.; LAMPL, H.; LIPIARSKI, P.; PIRKL, H.; SCHEDL, A.; SCHUBERT, G.; SHADLAU, S. & WINTER, P. (2004): GEOHINT – Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen, Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysedaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper) – (Zl. 70.215/08-VII 1/03). Unveröffentl. Bericht, Geologische Bundesanstalt und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (Hg.) (1992): Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien. Band I, II. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- GBA – GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (Hg.) (1989): Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000. Böhmisches Masse und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm). Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich. Band 1 – Die Zentralalpen. Deuticke, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (unpubl.): Freudenschuß, A.; Obersteiner, E. & Schwarz S.: Schwermetalle in Oberböden – Kartenband. Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS. Interner Bericht.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Schwarz, S. & Freudenschuss, A.: Referenzwerte für Schwermetalle in Oberböden. Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS. Monographien, Bd. M-0170. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Anderl, M.; Gangl, M.; Kampel, E.; Köther, T.; Lorenz-Meyer, V.; Muik, B.; Schodl, B. & Poupá, S.: Emissionstrends 1990–2005. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen mit Datenstand 2007. Reports, Bd. REP-0101. Umweltbundesamt. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Zechmeister, H., G. & Riss, A.: Biomonitoring der Schwermetalldeposition. Aufsammlung 2003. Umweltbundesamt, Wien.



Die Initiative GENUSS REGION ÖSTERREICH hebt gezielt die Bedeutung regionaler Spezialitäten hervor.
www.genuss-region.at



Österreichs erstes grünes Karriereportal für umweltfreundliche green jobs.
www.green-jobs.at



lebensministerium.at

Informationen zu Landwirtschaft, Wald, Umwelt, Wasser und Lebensmittel.
www.lebensministerium.at



Das Österreichische Umweltzeichen ist Garant für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen.
www.umweltzeichen.at



Das erste Webportal für nachhaltigen Konsum in Österreich.
www.bewusstkaufen.at



Das Internetportal der Österreichischen Nationalparks.
www.nationalparksaustria.at



Die Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums für aktiven Klimaschutz.
www.klimaaktiv.at



Die Kampagne vielfaltleben trägt bei, dass Österreich bei der Artenvielfalt zu den reichsten Ländern Europas gehört.
www.vielfaltleben.at



Die Jugendplattform zur Bewusstseinsbildung rund ums Wasser.
www.generationblue.at



www.mein-fussabdruck.at

Der Ökologische Fußabdruck ist die einfachste Möglichkeit, die Zukunftsfähigkeit des eigenen Lebensstils zu testen. Errechnen Sie Ihren persönlichen Footprint.
www.mein-fussabdruck.at

