

# Arsen im Trinkwasser – auch ein Schweizer Problem?

**In der Schweiz findet man vor allem im Jura und in den Alpen Gebiete mit erhöhten Arsengehalten. Durch Verwitterung und Erosion von arsenhaltigen Gesteinen gelangt Arsen in Böden, Sedimente und Gewässer. Im Trinkwasser wird der schweizerische Grenzwert von 50 µg Arsen pro Liter nicht überschritten. Hingegen werden in lokal begrenzten Gegenden in den Kantonen Tessin, Graubünden und Wallis Gehalte über dem von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Grenzwert für Trinkwasser von 10 µg Arsen pro Liter gefunden.**

Die Erdkruste enthält im Mittel 2 mg Arsen pro kg. Vergleicht man den Wert mit dem Vorkommen anderer Elemente wie z.B. Kupfer, Zink oder Blei, so ist das wenig. Arsen ist jedoch sehr ungleich verteilt, d.h., ein Gestein enthält entweder kein oder kaum Arsen (unter 1 mg pro kg Gestein), oder es liegt in grossen Mengen zwischen 50 mg und 500 g pro kg vor. Arsenreiche Zonen sind meist gut abgrenzbar und von wechselnder Grösse, typischerweise zwischen 1 m und einigen 100 m im Durchmesser (Abb. 1).

Bei natürlichem arsenhaltigem Material handelt es sich um:

- Erzlagerstätten, das sind grössere Massen von arsenhaltigen Mineralen, z.B. Sulfide und Arsenate, seltener Eisenoxide;
- grössere Gebiete von Gesteinen mit erhöhtem Arsengehalt, oft bedingt durch die Präsenz von eisenhaltigen Sulfiden oder Oxiden, z.B. Pyrit, Goethit, Hämatit.

Daneben kann man Arsen auf Deponien und Industriegeländen nachweisen. Diese Altlasten stammen überwiegend aus der Stadtgasproduktion, der Spezialglasproduktion oder aus alten Pflanzenschutzmitteln. Seit 1970 wird auf Arsen in Pflanzenschutzmitteln jedoch weitestgehend verzichtet.

## Transfer von Arsen in die Umwelt

Kommt arsenhaltiges Material in Kontakt mit zirkulierendem Wasser, gelangen erhebliche Arsenmengen in die Umwelt. Liegt das Material in grösseren Tiefen, wird Arsen oft durch Thermalquellen an die Oberfläche gebracht. Liegt es in oberflächennahen Zonen,

führen Verwitterung und Erosion zu einem bedeutenden Eintrag in die Umwelt. Dabei reichert sich Arsen entweder in Böden und Sedimenten an, oder es wird im Wasser verdünnt. Der Transport über mehrere 100 km erfolgt durch Flüsse oder Gletscher. In Böden, Sedimenten und in stehenden, partikelreichen Gewässern ist Arsen in der Regel durch Adsorption an Eisen- oder Aluminiumhydroxide und an Tonminerale gebunden. Trotzdem ist es unter gewissen Bedingungen wieder mobilisierbar: z.B. wenn der pH-Wert auf über 7,5 ansteigt, oder wenn die Bedingungen durch Sauerstoffmangel eisenreduzierend sind [1] (siehe auch Artikel von M. Berg, S. 12).

Auch durch Lufttransport kann Arsen in die Umwelt gelangen: Beispielsweise konnte die Windverfrachtung von arsenhaltigem natürlichem Feinstaub durch Moosanalysen nachgewiesen werden [2]. Ob durch Mikro-

organismen gebildete, gasförmige Arsen-Methylverbindungen in der Schweiz von Bedeutung sind, ist dagegen noch unklar.

## Natürliche Arsenvorkommen in der Schweiz

In der Schweiz gibt es insbesondere drei Gebiete mit erhöhten natürlichen Arsengehalten (Abb. 2):

- die Nordschweiz mit ihren zahlreichen arsenhaltigen Thermal- und Mineralquellen,
- den Jura mit seinen eisenhaltigen Kalken und Tonen
- sowie die Alpen, wo arsenhaltigen Erzlagerstätten und Kristallingesteine mit erhöhten Arsengehalten auftreten. Hinzu kommen vereinzelte Thermal- und Mineralquellen.

Mineral- und Thermalquellen werden durch Oberflächenwasser gespeist, das mehrere Kilometer tief in die Erdkruste eingedrungen ist. Die Thermalquellen Baden, Zurzach, Schinznach und Bad Säckingen in der Nordschweiz sind typische Beispiele und enthalten an der Fassung bis zu 130 µg Arsen pro Liter [3]. Dieses Arsen stammt aus den tiefliegenden Graniten und Schiefen des Schwarzwaldmassivs. Durch eine Aufbereitung der Rohwässer enthält das dem Kurgast zugängliche Trinkwasser jedoch meist unter 1 µg Arsen pro Liter (Abb. 3). Das gilt auch für die arsenhaltigen Mineral- und Thermalquellen Saxon, Leukerbad und St. Moritz in den Alpen. Nicht mehr genutzt werden dagegen die stark arsenhaltigen kalten Mineralquellen von Val Sinestra im Unterengadin mit einem Arsengehalt von bis zu 3 mg/l.

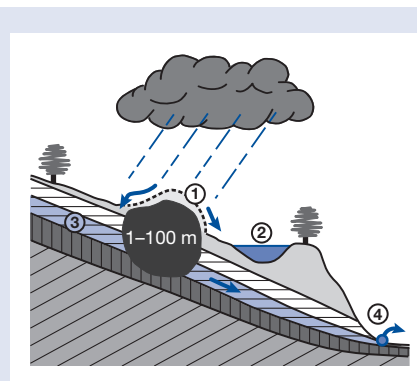


Abb. 1: Durch Verwitterung von arsenhaltigem Material (Silikatgesteine, Erze und Altlasten, schwarz) gelangt Arsen in (1) Böden und Sedimente, (2) Oberflächengewässer, (3) Grundwasser, (4) Quellwasser.

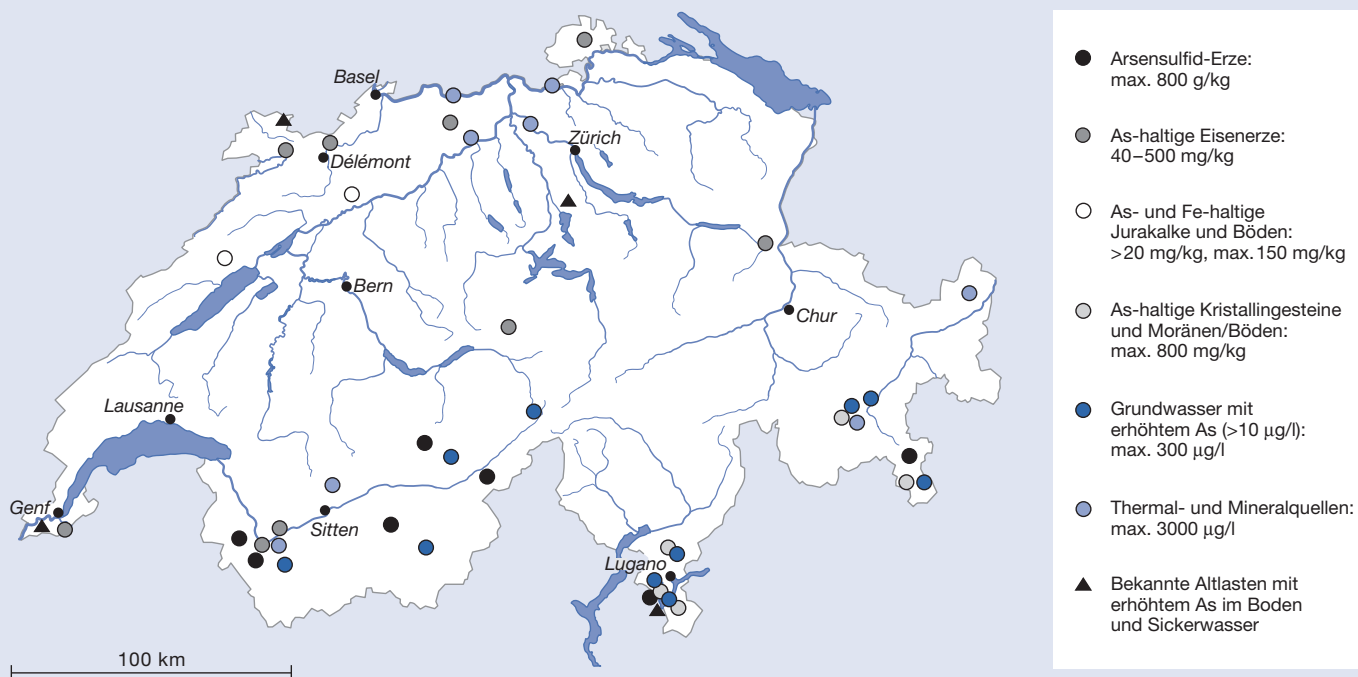


Abb. 2: Gebiete in der Schweiz mit erhöhten Arsengehalten. Erhöhte Werte im Grundwasser finden sich vor allem im Wallis, Tessin und Graubünden.

Im Jura gibt es drei Arsen führende und eisenreiche Gesteinsformationen: Die braunen Kalke des Doggers der mittleren Juraformation und die gelben Kalke der Kreideformation enthalten nur zwischen 10 und 20 mg Arsen pro kg Gestein. Durch Verwitterung reichert sich Arsen jedoch in den umliegenden Böden auf Gehalte von bis zu 150 mg/kg an. Diese eisenreichen Kalke sind vor allem im Solothurner, Aargauer und Neuenburger Jura verbreitet. Die Bohnerzformationen mit ihren Eisenknollen und roten Tonen treten sehr lokal im Juragebiet der Kantone Waadt, Jura (Délémont) und Schaffhausen auf. Bohnerze enthalten bis zu 500 mg Arsen pro kg Gestein. Ob auch hier eine Anreicherung der umliegenden

Böden stattfindet, ist jedoch noch nicht genauer untersucht. Alle bisher analysierten Grundwasserleiter und Pflanzen aus dem Jura enthalten nur sehr wenig Arsen: weniger als 1 µg Arsen pro Liter Wasser und maximal 500 µg Arsen pro kg pflanzliche Trockenmasse. Diese niedrigen Werte weisen auf eine starke Bindung des Arsens an Eisen hin.

Stärker belastete Gebiete liegen in den Schweizer Alpen, wo schwefel- und arsenreiche Erzlagerstätten und arsenhaltige kristalline Silikatgesteine wie z.B. Schiefer, Gneise und Amphibolite auftreten. Die zahlreichen kleinen Erzlagerstätten, die früher oft in kleinen Minen ausgebeutet wurden, erzeugen nur eine lokale Belastung der Umwelt. Von wesentlich grösser Bedeutung sind Gebiete, wo kristalline Gesteine mit erhöhten Arsengehalten grossflächig, d.h. über mehrere 100 km<sup>2</sup>, auftreten. Dies betrifft vor allem die Kantone Wallis, Tessin und Graubünden.

cantone und bei Barbengo-Morcote sowie in der benachbarten italienischen Provinz Varese. In etwa einem Dutzend Gemeinden werden Trinkwasserquellen genutzt, deren Arsengehalte zwischen 11 und 50 µg/l liegen. Diese Werte sind damit noch unterhalb des schweizerischen Grenzwertes von 50 µg Arsen pro Liter, aber über der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Konzentration von 10 µg/l. In zwei Fällen, bei Wasserproben aus Malcantone und dem benachbarten Italien, lagen die Werte jedoch um 80 bzw. 300 µg/l. Häufig liegen die betroffenen Quellgebiete in grösserer Entfernung von arsenhaltigen Erzlagerstätten, so dass als Quelle für das im Wasser gefundene Arsen nur die oft stark arsenhaltigen Moränen, Flusssedimente und Böden der betroffenen Einzugsgebiete in Frage kommen. Sie haben sich in den letzten 100 000 Jahren durch Verwitterung und Erosion der Erzlagerstätten gebildet und weisen Arsengehalte zwischen 100 und 800 mg/kg auf. Lokale pyrit- oder eisenoxidhaltige Gneise und Schiefer werden als Arsenquellen in der Gegend nördlich von Lugano vermutet. Die betroffenen Gebiete im Sottoceneri umfassen ca. 500 km<sup>2</sup> und betreffen ca. 5000 Einwohner.

Alarmiert durch die Resultate im Tessin, wurden 1998 auch die öffentlichen Trinkwasserversorgungen in Graubünden untersucht. Insgesamt 336 Trinkwasserproben sind auf ihren Arsengehalt geprüft worden: bei 312 Proben lag der Gehalt unter 10 µg/l, 21 Proben wiesen Werte zwischen 10 und

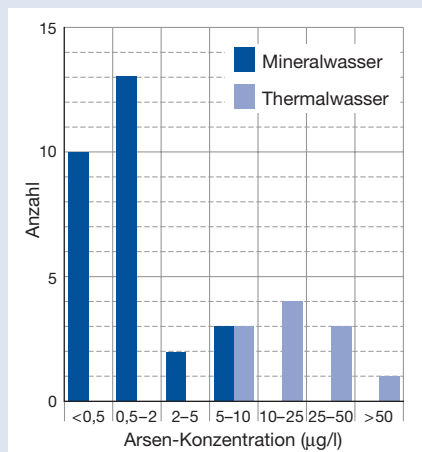
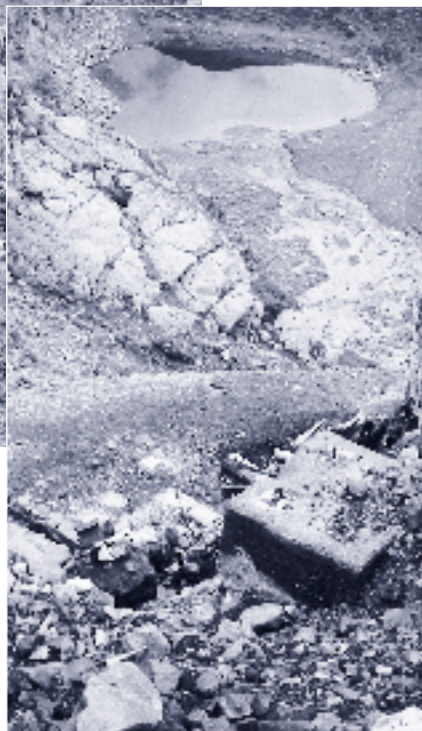


Abb. 3: Arsengehalte von genutzten Mineral- und Thermalwässern der Schweiz [nach 3].

### Ist Schweizer Trinkwasser mit Arsen belastet?

Im Tessin sind ab 1992 die Auswirkungen lokaler Arsenvorkommen auf die Umwelt untersucht worden [4]. Ausserdem wurden 1996 sämtliche öffentlichen Tessiner Trinkwasserversorgungen auf ihren Arsengehalt geprüft [5]. Dabei zeigten sich überraschende Resultate: Wasser mit einer Arsenbelastung von mehr als 10 µg/l findet sich nur in der Umgebung von Lugano (Sottoceneri), d.h. im Val Isone und im Val Colla, im Mal-



Fotos: H.-R. Pfeifer, Lausanne

Blick hinauf zum Eingang der stillgelegten Arsenmine von Salanfe im Unterwallis und hinab auf den unterhalb der Mine gelegenen Lac des Ottans. Zwischen 1904 und 1928 wurden hier über 700 Tonnen Arsen abgebaut. Böden und Gewässer rund um die Arsenmine sind stark belastet.



**Hans-Rudolf Pfeifer** ist Professor für Geochemie und Direktor des Geochemischen Labors der Erdwissenschaften der Universität Lausanne (Centre d'Analyse Minérale, BFSH 2, 1015 Lausanne). Er beschäftigt sich seit ca. 10 Jahren mit Umweltkontaminationen durch

Spurenelemente, insbesondere Arsen, in Wasser, Böden und Pflanzen und koordiniert den interdisziplinären Studiengang Umweltwissenschaften der «Ecole Lémanique des Sciences de la Terre et de l'Environnement» zusammen mit der Universität Genf.



**Jürg Zobrist**, anorganischer Chemiker in der Abteilung «Wasserressourcen und Trinkwasser» der EAWAG. Er befasst sich mit Prozessen, die die Qualität von Grundwasser und Fließgewässern bestimmen und für den Schutz der Wasserressourcen von Bedeutung sind.

50 µg/l auf und bei 3 Proben wurde der aktuelle schweizerische Grenzwert von 50 µg/l überschritten, wobei der Maximalwert bei 170 µg/l lag [6]. Betroffen sind vor allem das Puschlav und zwei Einzelquellen im Oberengadin. Im Puschlav handelt es sich eher um ein regionales Phänomen ähnlich wie im Tessin. Die Anzahl der betroffenen Personen ist noch nicht im Detail bekannt, da auch zahlreiche private Wasserfassungen belastet sind. Deshalb führt die ETH Zürich dort zur Zeit hydrogeologische Detailuntersuchungen durch.

Für das Wallis waren arsenhaltige Erzlager und Sedimente seit längerem bekannt [7], vor allem aus der Gegend von Martigny, im Nikolai- und Lötschental und im Goms. Arsenanalysen von Trinkwasser liegen jedoch erst seit 1999 vor. Sie ergaben, dass im Wallis ca. 14 000 Personen in Gebieten leben, in denen das Trinkwasser zwischen 12 und 50 µg/l As enthält [8].

## Risiken und mögliche Massnahmen

Obwohl noch nicht von allen Schweizer Gebieten Detailuntersuchungen vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass die durch Arsen verursachten Gesundheitsrisiken vor allem durch den Konsum von Trinkwasser mit erhöhten Arsengehalten bedingt sind. Dort, wo der Schweizer Grenzwert von 50 µg/l überschritten wurde, haben die Gemeinden meist sofort gehandelt, indem sie die betroffenen Wasserfassungen stillgelegt oder mit arsenfreiem Quellwasser verdünnt

haben. Längerfristig müssen jedoch an manchen Orten noch definitive Lösungen gefunden werden, um genügend arsenfreies Wasser für die nächsten 20–30 Jahre zu garantieren.

Vielfach ist vorgesehen, das Problem durch kostspielige Neuerschliessungen von Quellen und Grundwasserfassungen zu lösen. In manchen Fällen wäre aber auch der Einsatz einer Arsen-entfernenden Filtertechnik, z.B. Membran- oder Eisen- und Aluminiumhydroxid-Filter, in Betracht zu ziehen. Die geeigneten Lösungen und die dazu nötigen Investitionen hängen nicht zuletzt von der Entscheidung ab, ob der aktuelle Schweizer Arsengrenzwert für Trinkwasser von 50 µg/l auf den von der WHO empfohlenen und in der Europäischen Union bereits praktizierten Grenzwert von 10 µg/l gesenkt wird.

Für Böden existiert zur Zeit in der Schweiz noch kein Arsengrenzwert. Ausserhalb der hier beschriebenen belasteten Gebiete liegen die Werte für Landwirtschaftsböden meist unter 10 mg Arsen pro kg Boden [9], und auch bisher untersuchte Altlastengebiete enthalten oft weniger Arsen als natürlich kontaminierte Gebiete.

- [1] Zobrist J. (2000): Die Qualität von Grundwasser – Resultat biogeochemischer Prozesse. EAWAG news 49d, 15–17.
- [2] Schmid-Grob I., Thöni L., Hertz J. (1993): Bestimmung der Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz mit Moosanalysen. Schriftenreihe Umwelt 194, Bundesamt Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 173 S.
- [3] Högl O. (1980): Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Verlag Paul Haupt, Bern, 302 S.
- [4] Jäggi M., Derron M.-H., Rey D., Schlegel C., Dalla Piazza R., Dubois J.D., Mandia Y. (2000): Natural trace element input to the soil-water-plant system, examples of background and contaminated situations in Switzerland, Eastern France and Northern Italy. In: Markert B., Friese K. (eds.) Trace metals – their distribution and effects in the environment. Elsevier, Amsterdam, p. 33–86.
- [5] Jäggi M. (1997): Rapport d'esercizio 1997. Laboratorio cantonale del Ticino, p. 45–51.
- [6] Laut Angaben von O. Deflorin vom Kantonalen Laboratorium Graubünden.
- [7] Pfeifer H.-R., Hansen J., Hunziker J., Rey D., Schafer M., Serneels V. (1996): Arsenic in Swiss soils and waters and their relation to rock composition and mining activity. In: Prost R. (ed.) Contaminated soils: 3<sup>rd</sup> Internat. Conf. Biogeochemistry of Trace Elements, Paris, Colloque 85, INRA, Paris.
- [8] Laboratoire Cantonale du Valais (1999): Rapport annuel. Departement Transport, Equipement et Environnement, Sion, p. 22–25.
- [9] Knecht K., Keller T., Desaulles A. (1999): Arsen in Böden der Schweiz. Schriftenreihe FAL 32, Zürich-Reckenholz/Liebefeld Bern, 37 S.