

Arsen im Trinkwasser – neuer Brennpunkt Vietnam

Arsen ist in einigen Ländern die wichtigste chemische Verunreinigung im Grund- und Trinkwasser. Besonders betroffen ist das Gebiet des Bengal-Deltas, wo 35 Mio. Menschen bereits seit 20–30 Jahren arsenhaltiges Wasser konsumieren und heute 1 Mio. Menschen an chronischer Arsenvergiftung leiden. Im Delta des Roten Flusses rund um die vietnamesische Hauptstadt Hanoi hat die EAWAG kürzlich ein weiteres Gebiet mit stark arsenbelastetem Grundwasser identifiziert. Im Extremfall ist in Vietnam die Belastung bis zu 300-mal höher als der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlene Richtwert von 10 µg Arsen pro Liter. Massnahmen zur Lösung des Arsenproblems umfassen die Entwicklung von kostengünstigen Nachweismethoden und Verfahren zur Arsenentfernung, aber auch die Information von Fachleuten und Beratung der politischen Instanzen.

In letzter Zeit haben Nachrichten über arsenhaltiges Trinkwasser weltweit für Schlagzeilen gesorgt. Es genügen bereits chronische Belastungen von 50 µg Arsen pro Liter, um nach 10–15 Jahren Gesundheitsprobleme auszulösen. Neuste toxikologische Studien erachten sogar Arsenkonzentrationen von 10 µg/l als gefährlich. Für den Krankheitsverlauf spielen die Exposi-

tionszeit und damit auch die im Körper angereicherte Arsenmenge eine wichtige Rolle. Erstes Krankheitssymptom ist eine veränderte Hautpigmentierung, die bis zum Hautkrebs führen kann (Abb. 1 Seite 13). Später kommen Herz- und Nervenprobleme hinzu und nach 15–30 Jahren ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass sich ein Lungen- Nieren- oder Blasenkrebs entwickelt.

Die Europäische Union erlaubt eine maximale Arsenkonzentration von 10 µg/l und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt den gleichen Wert als Richtlinie. Dagegen gilt in vielen Entwicklungsländern, aber auch in der Schweiz und in den USA ein Arsengrenzwert von 50 µg/l. Zur Zeit laufen in den USA Bestrebungen, den Grenzwert in naher Zukunft auf 5–10 µg/l herabzusetzen.

Arsen – ein globales Problem

Gebiete mit arsenhaltigem Trinkwasser sind rund um den Globus zu finden: Am bekanntesten sind Regionen in Taiwan, Chile, Argentinien, Mexiko, Ghana, Ungarn, Mongolei, Indien und Bangladesch [1]. Betroffen sind aber auch grössere Gebiete in den USA. Wenig oder noch gar nicht untersuchte Verdachtsflächen befinden sich in Nepal, Pakistan, Thailand, Laos, Kambodscha und Sumatra.

Zur Bekämpfung von ernsthaften Infektionskrankheiten, führte die UNICEF Ende der siebziger Jahren in Bangladesch die Nutzung des reichlich vorhandenen und keimfreien Grundwassers ein. Es wird in ländlichen Haushalten mit kleinen Handpumpen gefördert und ohne weitere Aufbereitung als Trinkwasser konsumiert (siehe Foto links). Positiv ist, dass Infektionskrankheiten und damit auch die Kindersterblichkeit seither stark zurückgegangen sind. Allerdings wurde nicht erkannt, dass das Wasser stark arsenhaltig sein kann. Erst als ab 1989 zunehmend Fälle von chronischer Arsenvergiftung diagnostiziert wurden, fand man, dass die Ursache im arsenverseuchten Grundwasser liegt. Es stellte sich heraus, dass es unter den dortigen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen zur reduktiven Auflösung arsenhaltiger Sedimente kommt. Die WHO bezeichnet die Arsenverschmutzung des Grundwassers in Bangladesch als «grösste Massenvergiftung in der Geschichte der Menschheit».

In Bangladesch leiden heute bereits mehr als 1 Million Menschen an chronischer Arsenvergiftung, Tendenz steigend. Die



Nguyen Viet Thanh, EAWAG

In Bangladesch und Vietnam stellt arsenhaltiges Grundwasser, das mittels einfacher Handpumpen gefördert wird, ein grosses Gesundheitsrisiko dar. Szene aus einem ländlichen Privathaushalt in Vietnam.

erste systematisch durchgeführte Studie zur Grundwasserqualität in Bangladesch zeigte, dass 25% der Bewohner Wasser mit Arsenkonzentrationen von mehr als 50 µg/l konsumieren [2].

Natürliche Arsenvorkommen in Flusssedimenten

Arsen gelangt mehrheitlich durch natürliche Prozesse in das Grund- und Trinkwasser (siehe auch Artikel von H.-R. Pfeifer und J. Zobrist, S. 15). Durch Verwitterung arsenhaltiger Mineralien wird Arsen aus dem Gestein gelöst. Das gelöste Arsen wiederum adsorbiert stark an Eisen(hydr)oxid-haltige Partikel, die von Flüssen transportiert und bevorzugt in Sedimenten von Flussdeltas abgelagert werden. Arsen bleibt im Sediment gebunden und beeinflusst die Grundwasserqualität nicht, wenn das Wasser sauerstoffhaltig ist. Stehen die Sedimente hingegen mit sauerstoffarmem Grundwasser in Kontakt, werden die arsenhaltigen Eisen(hydr)oxidpartikel durch mikrobielle Aktivität aufgelöst und das Arsen wird erneut freigesetzt [3]. Dieser Vorgang findet auch im Bengal-Delta statt, das von den Flüssen Ganges und Brahmaputra gebildet wird, und ist die Ursache für die Arsenbelastung der im Delta liegenden Länder Bangladesch und West Bengalen (indischer Bundesstaat) [4].

Neuster Brennpunkt: Delta des Roten Flusses in Vietnam

Da das Delta des Roten Flusses im Norden von Vietnam ähnliche geologische und hydrogeologische Eigenschaften wie das Bengal-Delta aufweist, vermutete die EAWAG auch in dieser Region eine erhöhte Arsenbelastung des Grundwassers. Im Rahmen einer langfristigen Forschungszusammenarbeit der EAWAG mit der Vietnamesischen Nationalen Universität, die von der schweizerischen Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) finanziert wird, wurden deshalb 1998 erstmals Grundwasserproben aus Hanoi durch die EAWAG untersucht. Aufgrund der positiven Befunde

führte die EAWAG von April 1999 bis Juli 2000 mehrere systematische Messkampagnen durch [5, 6]. Dabei wurde Grundwasser

- aus 68 Grundwasserschöpfstellen von zufällig ausgewählten Privathaushalten in den ländlichen Distrikten A–D rund um Hanoi
- sowie rohes und aufbereitetes Trinkwasser der 8 grössten Trinkwasserwerke in der Stadt Hanoi untersucht.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Messkampagne vom September 1999 in den Distrikten A–D. Dort überschritten 50% der Proben den vietnamesische Grenzwert von 50 µg Arsen pro Liter, wobei der Mittelwert aller Proben bei 159 µg/l lag. Spitzenwerte von 3000 µg Arsen pro Liter wurden im Distrikt D südlich von Hanoi gemessen. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse von drei Messkampagnen für die Distrikte A–D als kumulative Häufigkeiten zusammengefasst.



Abb. 1: Hautkrebs, häufiges Symptom bei fortgeschrittener Arsenvergiftung.

Besonders Besorgnis erregend ist die Situation im Distrikt D: bei einem Mittelwert von 432 µg/l hatten 90% der untersuchten Proben Konzentrationen von 51–3000 µg/l. Auch das Grundwasser, das in der Stadt Hanoi für die Trinkwasseraufbereitung gefördert wird, ist arsenhaltig und weist Konzentrationen von bis zu 430 µg/l auf. Während der Aufbereitung wird Arsen zwar teilweise eliminiert, bei vier Wasserwerken blieben die Arsenkonzentrationen mit rund

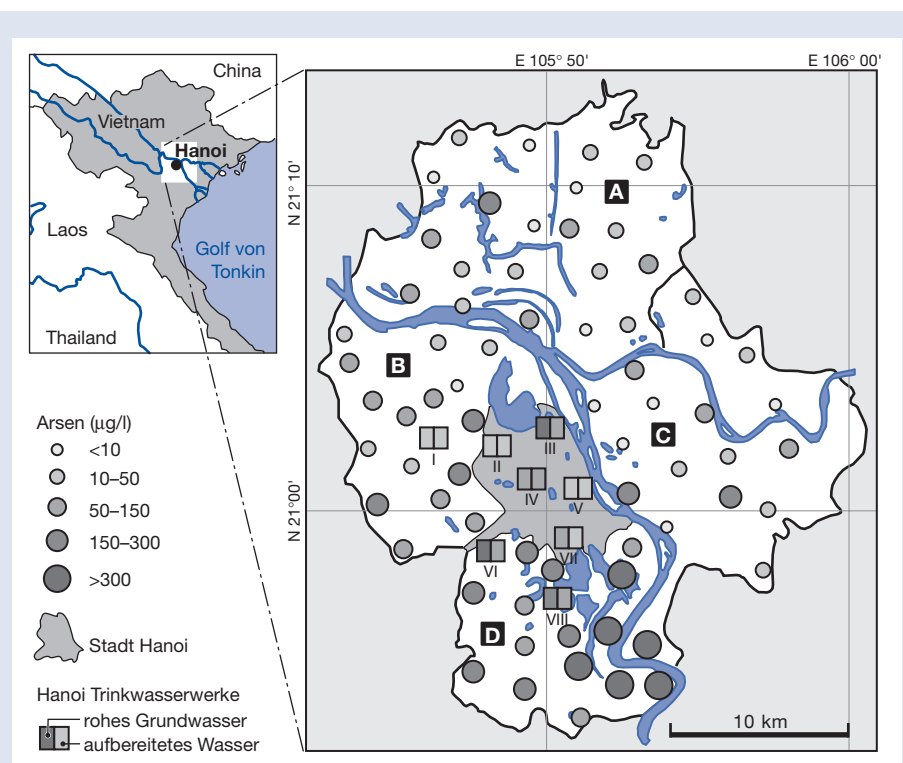


Abb. 2: Arsengehalte in Grundwasserproben aus Hanoi und Umgebung. In den ländlichen Distrikten A–D wurden 68 Proben von zufällig ausgewählten Haushalten analysiert. In der Stadt Hanoi wurde rohes Grundwasser und aufbereitetes Trinkwasser der 8 grössten Trinkwasserwerke untersucht. Messkampagne: September 1999. Nach [5].

90 µg/l dennoch deutlich über dem Trinkwassergrenzwert (Abb. 4).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung [5–7] bestätigen unsere Vermutung, dass im 11 000 km² grossen Delta des Roten Flusses 11 Mio. Menschen dem Risiko einer chronischen Arsenvergiftung ausgesetzt sind. Allerdings sind bisher noch keine Krankheitssymptome diagnostiziert worden. Ein Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass arsenbelastetes Grundwasser in Vietnam erst seit 7–8 Jahren als Trinkwasser genutzt wird. Gemäss Erfahrungswerten kann es aber bis zu 10 Jahre dauern, bis sich erste Symptome einer Arsenvergiftung manifestieren. Möglicherweise hat auch die im Vergleich zu Bangladesch wesentlich bessere allgemeine Ernährungssituation der vietnamesischen Bevölkerung einen verzögernden Einfluss auf den Krankheitsausbruch. In naher Zukunft muss jedoch trotzdem mit einer nicht zu unterschätzenden Zahl von Krankheitsfällen gerechnet werden.

Lösungsansätze

Die vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass Massnahmen zur Lösung des Arsenproblems auf mehreren Ebenen angreifen müssen, denn es sind sowohl Millionen von Haushalten betroffen, die ihr Trinkwasser aus privaten Grundwasserbrunnen fördern, als auch kommunale Wasserversorger. Dabei geht es einerseits darum, geeignete Technologien für den Nachweis und die Arsenentfernung zu entwickeln, und andererseits um eine gezielte Informationspolitik. In diesem Sinne engagiert sich die EAWAG im Rahmen des übergeordneten Projekts «Nachhaltige Wasserwirtschaft in arsenbelasteten Gebieten Asiens», das sie

gemeinsam mit der Alliance for Global Sustainability finanziert.

Bereits seit einigen Jahren suchen verschiedene internationale Forschergruppen nach kostengünstigen und einfachen Verfahren zur Entfernung von Arsen aus Trinkwasser. An der EAWAG wurde eine Technik entwickelt, die auf Arsenoxidation und anschliessender Arsenfällung mittels Sonnenlicht basiert und ohne grossen Aufwand auf Haushaltsebene angewendet werden könnte (SORAS) [1, 8].

Ein weiteres Problem stellen die derzeit verfügbaren Arsenmessmethoden dar. In Bangladesch beispielsweise müssen aufgrund der lokal stark variierenden Arsenkonzentrationen 3 Mio. Brunnen analysiert werden, was die Kapazitäten der klassischen instrumentellen Arsenanalytik bei weitem übersteigt. Feldtest-Kits, die Arsen mit einer nasschemischen Methode nachweisen, haben sich bisher in der Praxis nicht zufriedenstellend bewährt. An der EAWAG wird daher an der Entwicklung eines einfach zu handhabenden Biosensors zur quantitativen Arsenbestimmung gearbeitet [9].

Zudem müssen sowohl die Bevölkerung als auch die politischen Instanzen in den besonders betroffenen Gebieten umfassend über die Arsenproblematik informiert werden. In Vietnam engagiert sich die EAWAG deshalb aktiv vor Ort. Sie berät nicht nur die zuständigen Regierungsstellen auf wissenschaftlich-technischer Ebene, sondern sucht auch den Dialog mit Fachleuten von anderen Forschungs- und Entwicklungsorganisationen.

Weiterführende Informationen zu den EAWAG-Aktivitäten im Spannungsfeld der weltweiten Arsenproblematik sind unter www.eawag.ch/arsen verfügbar.



Michael Berg ist Chemiker sowie Manager und wissenschaftlicher Berater der Forschungszusammenarbeit mit der Nationalen Universität in Vietnam. Er leitet an der EAWAG die Gruppe Schadstoffhydrologie im Forschungsbereich «Wasserressourcen und Trinkwasser». Forschungsgebiet: Vorkommen und Verhalten chemischer Verunreinigungen in der aquatischen und terrestrischen Umwelt.

- [1] Hug S., Wegelin M., Gechter D., Canonica L. (2000): Nutzung von arsenhaltigem Grundwasser – katastrophale Folgen für Bangladesch. EAWAG news 49d, 18–20.
- [2] Kinniburgh D.G., Smedley P.L., Eds. (2000): Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh, Final Report Summary. Bangladesh Department for Public Health Engineering. British Geological Survey, Keyworth, UK. <http://www.bgs.ac.uk/arsenic>
- [3] Zobrist J., Dowdle P.R., Davis J.A., Oremland R.S. (2000): Mobilization of arsenite by dissimilatory reduction of adsorbed arsenate. Environmental Science and Technology 34, 4747–4753.
- [4] Nickson R., McArthur J., Burgess W., Ahmed K.M., Ravenscroft P., Rahman M. (1998): Arsenic poisoning of Bangladesh groundwater. Nature 395, 338.
- [5] Berg M., Tran H.C., Nguyen T.C., Pham H.V., Schertenleib R., Giger W. (2001): Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat. Environmental Science and Technology 35, 2621–2626.
- [6] Christen K. (2001): The arsenic threat worsens. Environmental Science and Technology 35, 285A–291A.
- [7] Giger W., Berg M. (2001): Arsenhaltiges Grundwasser in Hanoi – Schweizerisch-vietnamesische Forschungspartnerschaft. Neue Zürcher Zeitung, 22. August, S. 56.
- [8] Hug S.J., Canonica L., Wegelin M., Gechter D., von Gunten U. (2001): Solar oxidation and removal of arsenic at circumneutral pH in iron containing waters. Environmental Science and Technology 35, 2114–2121.
- [9] Baumann B. (2001): Einfach und schnell: Bakteriensuspension warnt vor Arsen. Chemische Rundschau, 22. Juni, S. 16.

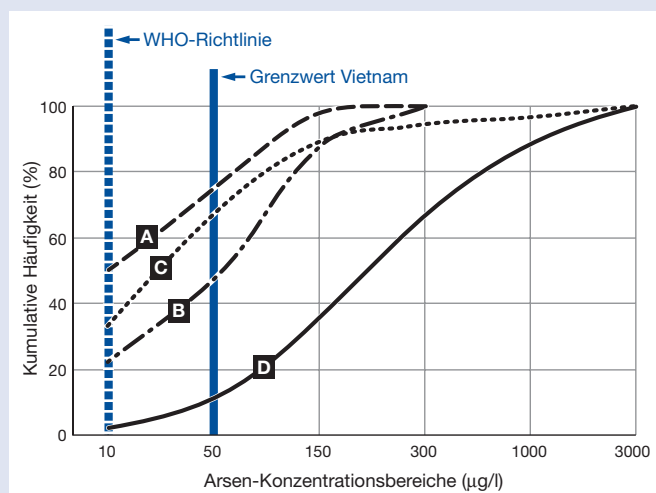


Abb. 3: Kumulative Häufigkeiten der gemessenen Arsengehalte in 196 Grundwasserproben aus Privathaushalten in den ländlichen Distrikten A–D rund um Hanoi. Messkampagnen: September und Dezember 1999 sowie Mai 2000. Nach [5].

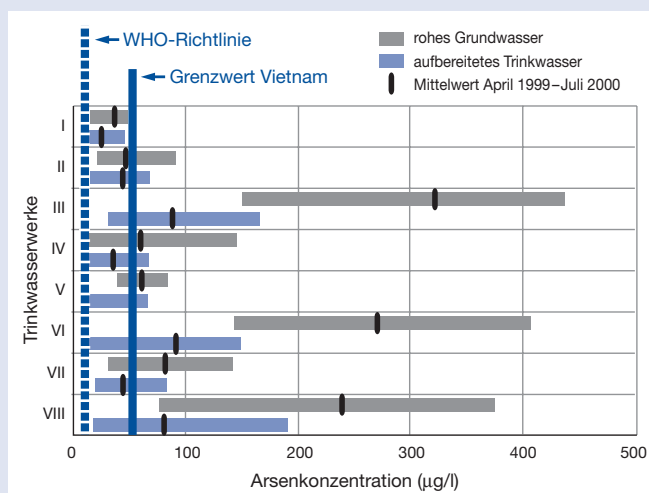


Abb. 4: Arsenkonzentrationen in rohem Grundwasser und aufbereitetem Trinkwasser der 8 Trinkwasserversorgungen Hanoi. Konzentrationsbereiche und Mittelwerte aus 7 Messkampagnen zwischen April 1999 und Juli 2000. Nach [5].