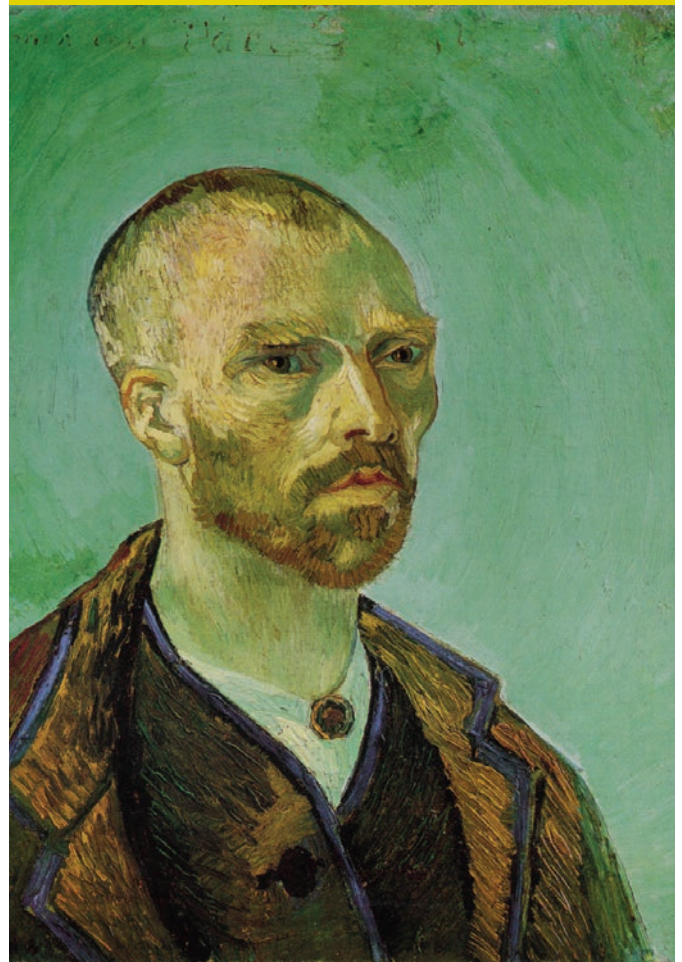


Arsen hat viele Facetten, doch allem voran ist es eine Gefahr für Millionen von Menschen weltweit

Die verschiedenen Eigenschaften von Arsen und dessen Verbindungen hat sich der Mensch im Laufe der Zeit zu Nutze gemacht: In der Antike benutzte man das rote und das gelbe Arsensulfid (As_2S_3 bzw. As_4S_4) als Schminke und Haarentfernungsmittel. In der Kunst wurden Arsenverbindungen als Pigmente gebraucht – so zum Beispiel in van Goghs «Selbstbildnis gewidmet Paul Gauguin» (1888). Sogenanntes «Schweinfurter Grün» (Kupfer(II)-arsenitacetat) verleiht dessen Hintergrund seine charakteristische Farbe. Und, um nur eine Verwendung aus der Medizin zu nennen: Das erste wirksame Mittel gegen Syphilis war die Arsenverbindung Arsphenamin (1910). Am bekanntesten ist das Element mit der Ordnungszahl 33 aber als Gift. Als Verunreinigung im Trinkwasser haben Menschen in verschiedenen Teilen der Erde bis heute damit zu kämpfen.

Mal gelb
mal grün
mal giftig



Für die grüne Farbe im Hintergrund verwendete Vincent van Gogh hochgiftiges Kupfer(II)-arsenitacetat. Die Abbildung zeigt ein Selbstbildnis des Künstlers, das er Paul Gauguin widmete.

In Literatur und Film hat Arsen als Gift eine beispiellose Karriere hingelegt. In «Kabale und Liebe» lässt Schiller den Protagonisten Ferdinand von Walter und seine Geliebte den Arsentod sterben. Die unglücklich verheiratete Madame Bovary nimmt sich in Flauberts gleichnamigem Roman auf dieselbe Weise das Leben. Und im Filmklassiker «Arsen und Spitzenhäubchen» aus den 1940er Jahren verabreichen zwei «wohltätige» Damen einsamen älteren Herren Arsen, um sie von ihrem tristen Dasein zu erlösen. Beendet wurde diese Karriere wohl durch die Marshsche Probe, dank der Arsenvergiftungen seit 1836 posthum nachweisbar sind.

Reale Gefahr

Tatsächlich kostet Arsen bis heute viele Menschen das Leben, auch wenn kein Vorsatz besteht. Landwirtschaft und Industrie können zu erhöhten Arsenkonzentrationen im Grundwasser beitragen. Vor allem aber sind spezielle geologische Bedingungen dafür verantwortlich, dass sich in einigen Regionen der Erde erhöhte Mengen an arsenhaltigen Mineralien finden (zum Beispiel Realgar; siehe Abbildung 1). Besonders häufig betroffen ist geologisch junges Schwemmland, sprich Flussniederungen und die Deltas grosser Flüsse. Durch Auswaschung aus Sedimentpartikeln gelangt dieses Arsen in Form von Arsenit (AsO_3^{3-}) und Arsenat (AsO_4^{3-}) ins Grundwasser, wo es die lokale Bevölkerung gefährdet.

Bangladesch: vom Regen in die Traufe

Ein «Krisengebiet» ist Bangladesch. In den 1970er Jahren wurden tiefe Brunnen gebaut, um durch verseuchtes Oberflächenwasser verursachte Erkrankungen wie Cholera und Hepatitis zu reduzieren. Das Grundwasser ist zwar mikrobiell rein, enthält aber aufgrund der Zusammensetzung des Bodens hohe Arsenkonzentrationen. Die Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, kurz WHO) empfiehlt, dass der Arsengehalt von Trinkwasser 10 $\mu\text{g/L}$ nicht übersteigen soll. In vielen Ländern, darunter den USA und den EU-Staaten, ist dieser Grenzwert gesetzlich verankert.

Tabelle 1: Arsengrenzwerte in einigen Ländern

Land	Grenzwert
Argentinien	50 $\mu\text{g/L}$
Australien	7 $\mu\text{g/L}$
Bangladesch	50 $\mu\text{g/L}$
Chile	50 $\mu\text{g/L}$
China	50 $\mu\text{g/L}$
Ecuador	50 $\mu\text{g/L}$
EU	10 $\mu\text{g/L}$
Ghana	50 $\mu\text{g/L}$
Indien	50 $\mu\text{g/L}$
Japan	10 $\mu\text{g/L}$
Kanada	10 $\mu\text{g/L}$
Laos	10 $\mu\text{g/L}$
Mexiko	25 $\mu\text{g/L}$
Namibia	10 $\mu\text{g/L}$
Nepal	50 $\mu\text{g/L}$
Schweiz	50 $\mu\text{g/L}$
Syrien	10 $\mu\text{g/L}$
Taiwan	10 $\mu\text{g/L}$
USA	10 $\mu\text{g/L}$
USA: New Jersey	5 $\mu\text{g/L}$
Vietnam	50 $\mu\text{g/L}$



Abbildung 1. Arsen kommt in der Natur meist nicht in reiner Form vor. Eine häufig gefundene Verbindung ist Realgar (As_4S_4), hier auf einem Substrat aus Stibnit und Granit.

Eine Übersicht einiger Grenzwerte zeigt Tabelle 1. Schätzungen zufolge sind in Bangladesch rund 45 Millionen Menschen höheren Arsenkonzentrationen ausgesetzt, circa 20 Millionen sogar Konzentrationen, die den lokalen Grenzwert von 50 µg/L überschreiten¹. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Arsenkonzentration im Grundwasser in Bangladesch.

Arsen – ein weit verbreitetes Problem

Eine aktuelle Publikation legt nahe, dass auch grosse Teile Chinas von dem Problem betroffen sind. Basierend auf Daten aus Geologie, Topographie und Bodenbeschaffenheit sagt das verwendete statistische Modell vorher, dass beinahe 20 Millionen Menschen in Risikogebieten für erhöhte Arsenkonzentrationen leben². Erhöhte Arsenkonzentrationen im Grundwasser gibt es nach Angaben der WHO ausserdem in Argentinien, Chile, Indien, Mexiko und den USA.

Zuverlässige und schnelle Arsenbestimmung

Die Einhaltung des Grenzwertes wird mit apparativ häufig sehr aufwändigen, spektroskopischen Methoden überwacht. Eine günstige und einfache Alternative zur spektroskopischen Bestimmung von Arsen bietet die Voltammetrie mit der scTRACE Gold (Abbildung 3). Die Nachweisgrenze des Sensors liegt deutlich unter dem für Trinkwasser gültigen Grenzwert von 10 µg/L – bei einer Konzentration von 5 µg/L erzielt die Elektrode eine Wiederfindung von gut 95 %. Abbildung 4 zeigt eine solche Bestimmung. Der Sensor ermöglicht daher eine einfache und zuverlässige Überwachung des Arsengehalts in Trinkwasser. Die Analysenzeit beträgt pro Probe etwa 10 Minuten.

Die Handhabung der scTRACE Gold ist denkbar einfach. Sie vereint alle drei für die Messung benötigten Elektroden. Um die scTRACE Gold in Betrieb zu nehmen, wird sie einfach auf

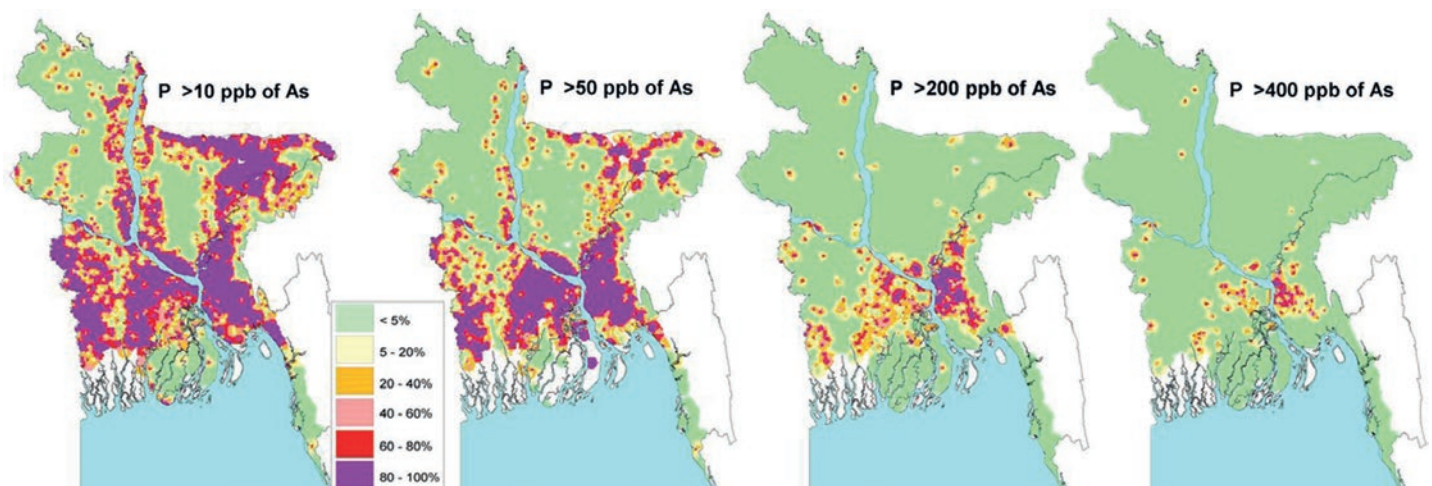


Abbildung 2. Die vier Karten von Bangladesch zeigen die Wahrscheinlichkeit (P), dass die Arsenkonzentration im Grundwasser einen bestimmten Wert überschreitet (10 ppb, 50 ppb, 200 ppb bzw. 400 ppb; 1 ppb entspricht 1 µg/L). Grosse Teile der Bevölkerung haben demzufolge mit Konzentrationen zu kämpfen, die den WHO-Richtwert von 10 µg/L überschreiten, zum Teil um ein Vielfaches. Quelle: <http://www.geog.cam.ac.uk/research/projects/arsenic/maps.html> (2. Dezember 2013)

den Elektrodenschaft aufgesteckt, in die Probe eingetaucht und die Bestimmung kann gestartet werden. Durch die innovative Gold-Mikrodraht-Arbeits Elektrode entfällt eine aufwändige Vorbereitung und Konditionierung der Elektrode. Das spart Zeit. Zudem wird die Anwendung vereinfacht, da nicht mehr beurteilt werden muss, ob die Elektrode bereits einsatzbereit ist. Darüber hinaus sind die im Siebdruckverfahren hergestellten Referenz- und Hilfselektroden vollständig wartungsfrei.

Wie bei jeder Elektrode lässt auch bei der scTRACE Gold die Leistungsfähigkeit mit steigender Anzahl Bestimmungen nach. Dank der praktischen Steckkonstruktion, bei der lediglich der kostengünstige Sensor ausgewechselt wird, ist ein Austausch kein Problem. Dadurch sind zuverlässige Ergebnisse jederzeit gewährleistet.

Ein weiterer Vorteil der voltammetrischen Bestimmung der scTRACE Gold ist die Möglichkeit, allein durch die Wahl der Messparameter zwischen dem toxischeren As(III) und dem weniger toxischen As(V) zu unterscheiden. Die scTRACE Gold kann mit jedem Metrohm-Voltammetrie-Messstand verwendet werden.

Weitere Informationen zur scTRACE Gold und deren Handhabung gibt es im Prospekt (*Dokumentnummer: 8.109.5018*) und im Application Bulletin AB-416.



Abbildung 3. Die scTRACE Gold, bestehend aus Elektrodenschaft und Sensor.

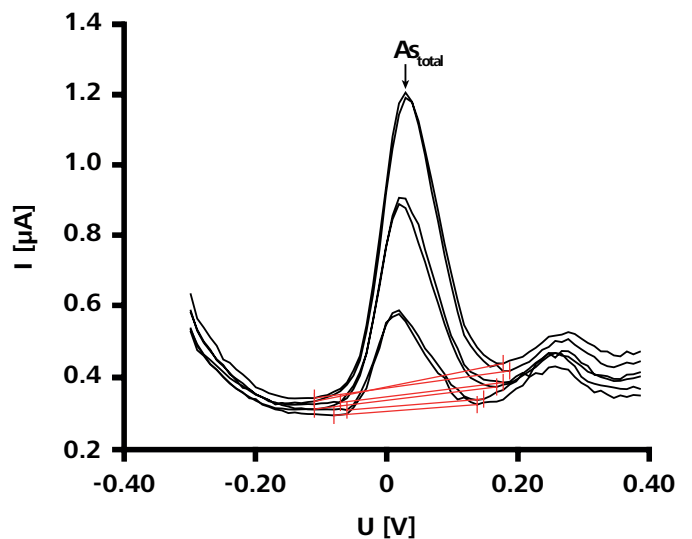


Abbildung 4. Zu sehen ist eine Arsenbestimmung an der scTRACE Gold in Mineralwasser mit zwei Standardadditionen. Von der Probe und den beiden Standardadditionen wurden jeweils zwei Replikationen gemessen. Gefunden wurde ein Arsengehalt von 4.9 µg/L.

Referenzen

- [1] Flanagan, S.V. et al. (2012) Bull. World Health Organ. 90, 839–846
- [2] Rodríguez-Lado, L. et al. (2013) Science 341(6148), 866–868