

Torsten Arndt und Karsten Stemmerich

Zur Bedeutung der Hintergrundbelastung bei toxikologischen Untersuchungen an historischem Schriftgut

The Significance of Background Concentration When Testing Historical Documents for Toxic Substances

Leserzuschrift zu „Der Umgang mit potentiell arsenbelasteten Bibliotheksbeständen an der Universitätsbibliothek Kiel – ein Werkstattbericht“. In: Bibliotheksdienst 57.9 (2023), S. 487–502

Readers' letter referring to „Dealing with Potentially Arsenic-Contaminated Books at Kiel University Library – A Progress Report“ (Bibliotheksdienst 57.9 [2023], p. 487–502)

<https://doi.org/10.1515/bd-2024-0041>

Zusammenfassung: Im 19. Jahrhundert wurden zur Gestaltung von Büchern oft prächtige schwermetallhaltige Pigmente verwendet. Ist das in unseren Bibliotheken und Museen bewahrte historische Schriftgut dadurch „Gefährlich Schön“ (Hawksley)? Geht von den auf den Buchschnitten und -einbänden aufgelagerten und zum Teil auch im Staub enthaltenen arsenhaltigen Pigmenten eine Gesundheitsgefährdung aus? Wir gehen diesen Fragen nach, indem wir die an der Universitätsbibliothek Kiel erhobenen Daten in Bezug zur natürlichen Arsen-Hintergrundkonzentration sowie zur täglichen obligaten Arsenaufnahme setzen.

Schlüsselwörter: Arsen, Hintergrundkonzentration, Schweinfurter Grün

Abstract: Books in the 19th century often contained rich heavy-metal pigments used to beautify their design. But are historical documents held by our libraries and museums therefore „toxically gorgeous“ (Hawksley)? Are arsenic-containing pigments applied to book cuts and bindings and contained in dust particles a serious

Prof. Dr. Torsten Arndt: torsten.arndt@bioscientia.de

Dr. Karsten Stemmerich: torsten.arndt@bioscientia.de

health risk? We scrutinize the issue by correlating the data collected in Kiel with the natural background concentration of arsenic and the daily intake in contexts of everyday life.

Keywords: Arsenic-based pigments, background concentration, Schweinfurt Green, Paris Green

Mit Interesse haben wir den Beitrag von Bruns et al. [1] zum „*Umgang mit potentiell arsenbelasteten Bibliotheksbeständen an der Universitätsbibliothek Kiel*“ gelesen. Die Autorinnen berichten darin unter anderem über „*Luft- und Staubmessungen*“ in den von ihnen als problematisch klassifizierten Bibliotheksräumen und führen aus: „*Der Anteil der gefundenen Arsenpartikel in der Luft lag dabei bei 6,7 bzw. 6,3 ng/m³ und somit an der Grenze des Messbaren. Das Betreten der Magazinräume wurde vor diesem Hintergrund als gefahrlos eingeschätzt.*“

Weiter führen die Autorinnen aus: „*Zudem hat man von fünf Signaturengruppen mit grünen Farbschnitten* [es soll sich hierbei um das problematische arsenhaltige Schweinfurter Grün handeln] *Staubproben genommen und bei vier Signaturen Arsen in einer durchschnittlichen Konzentration von 1,9–7,9 µg* [das Bezugssystem fehlt] *nachgewiesen. Staub musste also als potentielle Gefahrenquelle weitestgehend ausgeschaltet und die Verbringung von Stäuben in andere Gebäudeteile verhindert werden.*“ Anschließend werden die eingeleiteten Maßnahmen von den Autorinnen vorgestellt und diskutiert.

Für die aus unserer Sicht ausstehende toxikologische Bewertung der Messergebnisse ist es wichtig, sich die natürlichen Arsenquellen in Erinnerung zu rufen. Sie prägen die vom Menschen unabhängige und nicht beeinflussbare sog. Arsen-Hintergrundkonzentration in Boden, Wasser und Luft.¹ Die Annahme einer zusätzlichen Arsenbelastung durch „*arsenbelastete Bibliotheksbestände*“ kann nur durch Differenzbildung aus gemessener Arsenaufnahme während eines normalen Arbeitstages in den Bibliotheksräumen minus Arsenaufnahme infolge der Hintergrundkonzentration bestätigt oder falsifiziert werden.

¹ Die nachfolgenden Ausführungen behandeln diese Thematik in einer verkürzten Form. Zu chemischen, physiologischen, pathophysiologischen, toxikologischen und gerichtsmedizinischen Details verweisen wir auf unsere dreiteilige, im Internet frei zugängliche, Übersicht „Arsen – Vom Fliegenteller zur Arseniksuppe“ in [2–4].

1 Wie gelangt Arsen in unsere Lebensumwelt?

Geogene Arsenquellen

Arsen ist ein natürlicher Bestandteil der Erde. Die Lithosphäre (Erdkruste und oberer Erdmantel) soll 40 Billionen (40×10^{12}) Tonnen Arsen speichern [5], die Hydrosphäre (Oberflächen- und Grundwasser) 2 bis 5 Milliarden ($2 \text{ bis } 5 \times 10^9$) Tonnen [5] und die Atmosphäre 800 bis 1.700 Tonnen [5]. In der Luft sind dies zumeist Arsenikpartikel [5].

Der natürliche Arsengehalt in von menschlicher Aktivität weitgehend unbelasteten Böden liegt bei < 1 bis 100 mg/kg, im Wasser bei 1 bis < 10 µg/L (geringfügig abweichend zwischen See-, Süß- und Grundwasser) und in der Luft bei 0,5 bis 1,0 ng je Kubikmeter (zu Details siehe [2]).²

Hauptquellen des natürlichen Arseneintrags in unsere Umwelt sind nach [5] der Vulkanismus und nach [6] zusätzlich die Mobilisation von Arsen aus Böden und Gesteinen durch Bakterien. In der Summe werden hierüber reichlich 40.000 Tonnen Arsen pro Jahr mobilisiert, das heißt hauptsächlich in die Atmosphäre entlassen und mit dem Staub und dem Regen auf die Oberflächengewässer und die Böden abgelagert.

2 Welche Beiträge liefern menschliche Aktivitäten? Anthropogene Arsenquellen

Wichtigste anthropogene Arsenquellen sind der Bergbau und das Hüttenwesen sowie die Verbrennung fossiler Energieträger [5]. Der Eintrag in die Umwelt wird weltweit auf 28.000 bis 54.000 Tonnen pro Jahr geschätzt [5]. Er entspräche damit in etwa der Menge des geogen mobilisierten Arsens (siehe oben).

Deutlich geringere Mengen stammen aus der vielfältigen Verwendung von Arsen(verbindungen) zum Beispiel in der chemischen Industrie (Holzschutzmittel), Elektrotechnik (Gallium-Arsenid-Halbleiter), Glasherstellung (Läuterungsmittel); zu Details siehe [2].

Arsenverbindungen finden auch in der Pharmaindustrie Verwendung: Die von der Weltgesundheitsorganisation jährlich aktualisierte „Model List of Essential Medicines“ (Liste der für die Weltgesundheit als unverzichtbar bewerteten Arzneien) enthält in der aktuellen Version drei arsenhaltige Präparate [7]: Arsentrioxid (syn. Arsenik in Infusionslösungen) und Realgar (eine Arsen-Schwefel-Verbindung

² 1 Milligramm [mg] = 1.000 Mikrogramm [µg] = 1.000.000 Nanogramm [ng].

in Tabletten) zur Behandlung einer speziellen Form der Leukämie sowie Melarso-
prol (eine organische Arsenverbindung in Injektionslösungen) bei Afrikanischer
Schlafkrankheit (Trypanosomiasis).

Diese geogenen und anthropogenen Arsenquellen führen zu einer permanen-
ten Arsenaufnahme mit der Nahrung und dem Trinkwasser.

3 Wieviel Arsen nehmen wir täglich auf?

Nahrung. Arsen findet sich regelmäßig in der Nahrung und im Trinkwasser. Die
höchsten Konzentrationen wurden in Fisch, Fischprodukten und Meeresfrüchten
gefunden. Der Mittelwert lag hier bei 1.430 µg/kg (= 1.430.000 ng/kg). Lebensmittel
vom Festland enthielten im Mittel nur 20 µg/kg (= 20.000 ng/kg) [8].

Die tägliche Arsenaufnahme mit Wasser und Nahrung liegt nach einer aktu-
ellen Studie aus dem Bundesinstitut für Risikobewertung in Deutschland bei 0,39
µg je kg Körpermasse (= 390 ng/kg) [9]. Für eine Person mit 70 kg Körpermasse ent-
spräche dies einer Arsenaufnahme von 27 µg/Tag (= 27.000 ng/Tag).³

Trinkwasser. Der Grenzwert für Arsen im Trinkwasser ist in Deutschland 10
µg/L (= 10.000 ng/L) [10]. Bei einer täglichen Wasseraufnahme von bis zu 2 Liter liegt
die Arsenaufnahme mit dem Trinkwasser also bei weniger als 20 µg je Tag (= 20.000
ng/Tag).

Atemluft. Ein erwachsener Mensch atmet je Minute etwa 8 Liter Luft ein (sog.
Atemminutenvolumen [11]). Dies entspricht einem Atemvolumen von circa 11,5
Kubikmeter je Tag. In Deutschland liegt die Arsenkonzentration in der Außenluft
bei 1 bis 15 ng Arsen je Kubikmeter [12]. Damit atmet ein Erwachsener etwa 12 bis
180 ng Arsen je Tag ein. Dieses liegt hauptsächlich in der Form von an Staubpartikel
gebundenem Arsenik vor.

Da die Staubpartikel größenabhängig nicht oder nicht vollständig resorbiert
werden können (siehe [3]), ist die effiziente Resorption in den Organismus deutlich
geringer. Dies ist aber in Anbetracht der ohnehin minimalen Mengen von wenigen
Nanogramm je Tag im Vergleich zur Arsenaufnahme mit der Nahrung und dem
Trinkwasser (mehrere Zehntausend Nanogramm je Tag) toxikologisch irrelevant.

³ Die Arsenzufuhr mit den o. g. Arzneien führt zu extrem hohen Arsenaufnahmen, tausendfach
über der durchschnittlichen täglichen Arsenaufnahme unter Normalbedingungen. Es handelt sich
hier allerdings um Extremfälle, die für die nachfolgenden Betrachtungen von untergeordneter
Bedeutung sind.

4 Wie wurde das Arsen in der Raumluft und im Staub bestimmt?

Raumluft. Es wurde die sog. „Einatembare Fraktion“ (syn. Gesamtstaub) bestimmt. Dazu wurde im Magazin der Bibliothek „... an vier Messpunkten zwischen den Regalen und neben den Arbeitsplätzen für ca. eine Stunde [die Raumluft] über einen Membranfilter gezogen und die Rückstände dann analysiert“ (Zitat aus [1]). Die am Filter festgehaltene Staubmasse wurde laut Prüfprotokoll durch Differenzwägung (Masse Filter beladen minus Masse Filter leer) bestimmt und anschließend einer Arsenbestimmung zugeführt.

Staub. Es wurde der auf den Buchschnitten ausgewählter Bücher (grüner Schnitt, passendes Erscheinungsjahr) aufliegende Staub abgesaugt und anschließend das darin enthaltene Arsen bestimmt. In einem Fall wurde der Staub eines einzelnen Bandes gefiltert und untersucht, in insgesamt vier weiteren Fällen wurde der Staub von zwei, drei, sechs und zwölf Bänden auf jeweils einem Filter (summarisch) gesammelt und analysiert. Der Arsengehalt jeder Staubprobe ($n = 5$) wurde schließlich durch die Anzahl der jeweils entstaubten Bände dividiert. Die oben zitierte Angabe „in einer durchschnittlichen Konzentration von 1,9–7,9 μg “, ist also als „in einer durchschnittlichen Konzentration von 1,9 bis 7,9 μg Arsen je Band“ zu lesen.⁴

5 Toxikologische Bewertung der Messergebnisse

Arsen und seine anorganischen Verbindungen gelten als „Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen und bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen Beitrag zum Krebsrisiko leisten“ [13, 14]. Daraus abgeleitet gilt ein Gebot, Einsatzgebiete, Einsatzmengen, Expositionsquellen und -risiken zu vermindern. Nimmt man die Technischen Regeln für Gefahrstoffe „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ – TRGS 910 [14] als Bewertungsgrundlage, so sind bei einem sich aus der Gefährdungsbeurteilung ergebenden „niedrigem Risiko“ „expositionsmindernde Verwendungsformen“, „räumliche Abgrenzung nach § 10 Absatz 3 GefStoffV“ und „Warn- und Sicherheitszeichen nach § 10 GefStoffV“ nur erforderlich, „wenn [dies] im Rahmen der Verhältnismäßigkeit möglich“ ist [14].

Arsenhaltiges Kulturgut und die hier diskutierten arsenfarbenthaltigen Schriften sind ein „Gefahrstofftechnischer Spezialfall“, weil sie weder durch weniger

⁴ Wir danken den Autorinnen von [1] für die Möglichkeit zur Einsicht in den entsprechenden Prüfbericht.

problematische Alternativen ersetzt, noch entsorgt werden können⁵. Es gilt deshalb umso mehr, die drei Expositionswege und die mit ihnen verbundenen Expositionsrisiken für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Bibliotheken, Sammlungen und Museen zu betrachten.

Inhalatives Expositionsrisiko. Die Luftkonzentrationen an den vier Messplätzen im Magazin der Universitätsbibliothek Kiel lagen mit $< 5 \text{ ng Arsen/m}^3$ ($n = 2$) und 6,3 bzw. 6,7 ng Arsen/m^3 erheblich unter der in [14] für Arsenverbindungen festgelegten „Akzeptanzkonzentration“ von $0,83 \mu\text{g/m}^3$ ($= 830 \text{ ng/m}^3$).⁶ Das inhalative Expositionsrisiko wäre damit gemäß [14] als „*niedriges Risiko*“ zu bewerten.

Gleichzeitig liegen die im Magazin gemessenen Arsenkonzentrationen in der Raumluft im mittleren Bereich der Arsenkonzentration in der Außenluft Deutschlands (siehe oben). Damit ergibt sich auch aus dem Vergleich mit der Arsen-Hintergrundbelastung kein erhöhtes inhalatives Expositionsrisiko durch den Aufenthalt im beprobten Raum.

⇒ **Eine toxikologisch relevante, über der Hintergrundbelastung liegende inhalative Arsenaufnahme aus der Raumluft in den beprobten Räumen ist unwahrscheinlich.**

Staubproben. Die von ausgewählten Büchern mit dem aufliegenden Staub abgesaugte durchschnittliche Arsenmenge lag zwischen $< 0,5 \mu\text{g je Band}$ ($= < 500 \text{ ng/Band}$) und 1,9 bis 7,9 $\mu\text{g je Band}$ ($= 1.900 \text{ bis } 7.900 \text{ ng/Band}$) [1]. Für die Bewertung eines damit unter Umständen verbundenen Expositionsrisikos fehlen grundlegende Daten:

1. Staubmenge, die durch Herausnehmen eines Buches aus dem Regal mobilisiert wird: Diese Staubmasse wird geringer sein, als die über einen Staubsauger gewinnbare. Es ist zudem äußerst unwahrscheinlich, dass der auf dem Buchschnitt und zwischen den Seitenkanten befindliche Staub vollständig aufgewirbelt und somit für die Atemwege zugänglich gemacht wird.
2. Staubmenge, die aus dem aufgewirbelten Staub tatsächlich eingeatmet wird: Es erscheint ausgeschlossen, dass der partiell aufgewirbelte und sich räumlich ausbreitende Staub vollständig inhaliert wird.
3. Arsenresorption aus den eingeatmeten Staubpartikeln: Diese ist von der Staubpartikelgröße und der Löslichkeit der Arsenverbindung abhängig. Schweinefur-

⁵ Ob Schadstoffe an Museumsgut und in Bibliotheksbeständen tatsächlich unter die Technischen Regeln wie die TRGS 910 fallen, wäre ggf. juristisch zu klären.

⁶ „Die Akzeptanzkonzentration ist ein verbindlicher Beurteilungsmaßstab, der für bestimmte krebserzeugende Stoffe im Rahmen des Maßnahmenkonzeptes in der TRGS 910 festgelegt ist. Es ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die bei 40-jähriger arbeitstäglichlicher Exposition mit dem Akzeptanzrisiko assoziiert ist. Bei Unterschreitung wird das Risiko einer Krebserkrankung als gering und akzeptabel angesehen.“ (Zitat aus [15]).

ter Grün ist, typisch für Pigmente, kaum wasserlöslich, sodass allein deshalb eine geringfügige Arsenresorption zu erwarten ist.

In Anbetracht dieser Unbekannten und wegen der zusätzlich im Raum stehenden ungeklärten Frage, wieviele Buchbewegungen (Bücher) je Arbeitstag, Woche und Jahr zu veranschlagen sind, ist es nicht möglich, die tatsächliche Arsenaufnahme aus den Analysedaten in [1] abzuleiten.

Um sich dem „wahren“ Wert der Arsenaufnahme aus dem Staub auf den Büchern zu nähern (sic!), wären Untersuchungen erforderlich, bei denen während eines gewöhnlichen Arbeitsalltags die Atemluft im Einatembereich durch am Körper getragene Pumpe/Filter-Systeme gefiltert und der auf dem Filter gesammelte Staub auf seinen Arsengehalt untersucht wird. Entsprechende Verfahren sind etabliert.

⇒ **Die Arsenaufnahme aus dem Staub auf den Büchern kann anhand der vorliegenden Daten nicht bewertet werden.**

Aufnahme über die Haut. In welchem Ausmaß Arsenverbindungen durch die Haut aufgenommen werden, ist kaum erforscht und aufgrund ethischer Grenzen für den Menschen auch kaum ermittelbar. In Studien mit Rhesusaffen sowie mit Leichenhaut vom Menschen wurden nur geringe Resorptionsraten von 1 bis 6 Prozent gefunden. Gegen eine starke dermale Resorption spricht auch der folgende Befund: Die Bevölkerung von Gebieten in den Anden mit endogen hohem Arsengehalt des Trinkwassers zeigte keine erhöhte Arsenausscheidung im Urin, wenn das Trinkwasser nur zur Körperpflege benutzt wurde (Details siehe [3]).

⇒ **Eine toxikologisch relevante dermale Resorption des Arsens aus Schweinfurter Grün ist unwahrscheinlich.**

Aufnahme über den Mund (oral). Unter Einhaltung minimaler hygienischer und auch buchkonservatorischer Grundsätze ist eine toxikologisch relevante orale Aufnahme von Arsenpigmenten unwahrscheinlich bzw. auszuschließen. Solche Grundsätze betreffen zum Beispiel ein Ess- und Trinkverbot während des Umganges mit (nicht nur arsenhaltigem) historischem Schriftgut und den Verzicht auf ein Anlecken der Finger zum leichteren Umblättern. Möglicherweise sollten im Umgang mit dem historisch oft wertvollen Schriftgut ohnehin aus konservatorischen Gründen Handschuhe getragen werden. Dies würde das schon sehr geringe Risiko einer oralen Arsenaufnahme aus arsenhaltigen Pigmenten oder Staub weiter absenken.

⇒ **Eine toxikologisch relevante orale Arsenaufnahme während der Arbeit mit dem arsenhaltigen Schriftgut ist bei Wahrung minimaler hygienischer Standards auszuschließen.**

6 Zusammenfassung

Eine toxikologisch relevante arbeitsplatzbedingt erhöhte Arsenaufnahme im beprobten Arbeitsumfeld des Magazins der Universitätsbibliothek Kiel lässt sich aus den vorliegenden Messergebnissen nicht ableiten.

Nach diesem Befund wären Maßnahmen wie das Einscannen und das Wegpacken verdächtiger oder nachgewiesener „arsenbelasteter“ [1] Bücher und das Zusammenstellen in separaten Räumen oder Regalen, zumindest aus toxikologischer Sicht, nicht erforderlich. Sie führen nach unserer Auffassung letztlich nur zu einer zusätzlichen Bewegung der Bestände, zur Aufkonzentrierung der mit Arsenfarben gestalteten Bücher in möglicherweise engen und schlecht belüfteten Räumen und damit zu einer erhöhten Arsenlast je Kubikmeter Raumluft.⁷

Abschließend möchten wir anmerken, dass arsenhaltige Farbpigmente nicht nur die vom Schweinfurter Grün bekannten Grüntöne liefern. Wir verweisen hierzu auf die in [16] publizierten Analysendaten zu historischen Tapeten aus dem Nationalarchiv London. Dort war Arsen nicht nur in grünen Farbelementen nachweisbar, sondern in einer insgesamt bunten Farbpalette.⁸ Eine Selektion von Büchern mit grünem Schnitt und/oder Einband würde deshalb für eine umfassende Bearbeitung der Thematik „Arsen im Schriftgut“ zu kurz greifen.

Zudem wäre zu beachten, dass zur Buchgestaltung nicht nur arsenhaltige Pigmente, sondern auch Pigmente mit anderen Schwermetallen einen häufigen und breiten Einsatz fanden, zum Beispiel Blei in Bleiweiß, Cadmium in Cadmiumgelb, Chrom in Chromgrün, Kobalt in Kobaltblau und Quecksilber in Zinnober [18]. Ein Blick über die Buchreihen in den Regalen historischen Schriftguts macht dies schnell deutlich: Oft sieht man dort die Farbe Rot, die nach eigenen vorläufigen Analysen gewöhnlich auf Quecksilbersulfid (Zinnober) beruht, ein aufgrund seiner Strahlkraft hochgeschätztes und auch in der Malerei oft eingesetztes (ebenfalls schlecht wasserlösliches) Pigment [18].

Damit würde sich die „Arsen-Problematik“ im Umgang mit historischem Schriftgut in eine „Schwermetall-Problematik“ mit der Notwendigkeit von Multi-elementanalysen von großen Buchbeständen ausweiten. Wir halten dies nach dem derzeitigen Kenntnisstand allerdings für nicht begründet, organisatorisch kaum realisierbar und aufgrund der geringen toxikologischen Risiken für wirtschaftlich nicht vertretbar.

⁷ Auch in diesem Fall wären die Raumbelastung und die tatsächliche Staubaufnahme unter Arbeitsbedingungen (!) zu ermitteln und vor der Arsen-Hintergrundbelastung in als unproblematisch bewerteten Räumen und Sammlungsbeständen zu diskutieren.

⁸ Das äußerst lesenswerte Buch ist derzeit leider vergriffen. Eine ausführliche frei zugängliche Rezension hierzu erschien in [17].

Wir sehen stattdessen in den ohnehin vorgeschriebenen regelmäßigen arbeitsmedizinischen Untersuchungen die Möglichkeit, tatsächliche arbeitsbedingte Belastungen durch Arsenverbindungen zu erkennen, zum Beispiel anhand der Arsenausscheidung im Urin (akute Belastung) bzw. anhand des Arsengehaltes in Nagel- oder Haarproben (chronische Belastung). Zu Details der Labordiagnostik bei Verdacht auf Arsenbelastungen siehe [4].

7 Ausblick

Die Diskussion um den Umgang mit schadstoffbelastetem Kultur- und Schriftgut betrifft ein hochkomplexes Thema. Sie bedarf nach unserer Einschätzung dringend eines multidisziplinären Ansatzes, bei dem der toxikologische Blickwinkel ein wichtiger, aber dennoch nur einer von vielen sein sollte.

Sollten weiterführende Untersuchungen als erforderlich betrachtet werden, ist es von grundlegender Bedeutung, Vergleichsdaten zum Arsengehalt der Raumluft in nicht als problematisch klassifizierten Räumen und im Idealfall zusätzlich in der umgebenden Außenluft zu erheben. Ähnliches gilt für Staubuntersuchungen, bei denen nicht nur der Staub auf als verdächtig klassifizierten Büchern, sondern auch der Staub auf einer vergleichbaren Anzahl von zufällig (blind) gezogenen Büchern aus einem als unverdächtig geltendem Raum und Buchbestand untersucht werden muss.

Die Bestimmung der Arsen-Hintergrundkonzentration und der sich aus ihr ergebenden Arsen-Hintergrundbelastung sind essentiell. Nur so können über das „Normalmaß“ hinausgehende Arsenaufnahmen erkannt werden. Eine zum Beispiel arbeitsplatzbedingte inhalative Exposition ergibt sich dann „aus der Differenz zwischen der am Arbeitsplatz ermittelten Stoffkonzentration und der Hintergrundkonzentration“ [14]. Dies gilt allgemein für alle toxikologisch bedenklichen Stoffe und entspricht nationalen und internationalen Standards.

Literatur

- [1] Bruns, Jessica; Helmkamp, Kerstin; Sindt Ruth: Der Umgang mit potentiell arsenbelasteten Bibliotheksbeständen an der Universitätsbibliothek Kiel – ein Werkstattbericht. In: Bibliotheksdienst 57.9 (2023), S. 487–502.
- [2] Arndt, Torsten; Stemmerich, Karsten: Arsen – Vom Fliegenteller zur Arseniksuppe – Teil 1. In: Toxichem Krimtech 90 (2023), S. 87–109.
- [3] Arndt, Torsten; Stemmerich, Karsten: Arsen – Vom Fliegenteller zur Arseniksuppe – Teil 2. In: Toxichem Krimtech 90 (2023), S. 381–400.

- [4] Arndt, Torsten; Stemmerich, Karsten: Arsen – Vom Fliegenteller zur Arseniksuppe – Teil 3. In: *Toxichem Krimtech* 91 (2024), S. 3–24.
- [5] Matschullat, Jörg: Arsenic in the Geosphere. In: *Science Total Environment* 249 (2000), S. 297–312.
- [6] Institut für Seltene Erden und Metalle AG: Arsen, <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/strategische-metalle-2/arsen> [Zugriff: 29.01.2024].
- [7] World Health Organization: Web Annex A. World Health Organization Model List of Essential Medicines – 23rd List, 2023. In: *The selection and use of essential medicines 2023: Executive summary of the report of the 24th WHO Expert Committee on the Selection and Use of Essential Medicines*, 24.– 28. April 2023, <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/371090/WHO-MHP-HPS-EML-2023.02-eng.pdf?sequence=1> [Zugriff: 29.01.2024].
- [8] Hackethal, Christin; Kopp, Johannes F; Sarvan, Irmela; Schwerdtle, Tanja; Lindtner, Oliver: Total arsenic and water-soluble arsenic species in foods of the first German total diet study (BfR MEAL Study). In: *Food Chemistry* 346 (2021) 128913.
- [9] Hackethal, Christin; Pabel, Ulrike; Jung, Christian; Schwerdtle, Tanja; Lindtner Oliver: Chronic dietary exposure to total arsenic, inorganic arsenic and water-soluble organic arsenic species based on results of the first German total diet study. In: *Science of the Total Environment* 859 (2023) 160261.
- [10] Zweite Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung – vom 20. Juni 2023. In: *Bundesgesetzblatt Nr. 159 (2023) vom 23. Juni 2023*, <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/verordnung/trinkwasserverordnung-2023.pdf> ([Zugriff: 29.01.2024].
- [11] Wikipedia: Atemminutenvolumen, <https://de.wikipedia.org/wiki/Atemminutenvolumen> [Zugriff: 29.01.2024].
- [12] Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes: Stoffmonographie Arsen – Referenzwert für Urin. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 46 (2003), S. 1098–1106.
- [13] Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-Liste 2023 – Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Mitteilung 59 der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, https://series.publisso.de/sites/default/files/documents/series/mak/lmbv/Vol2023/Iss1/Doc001/mbwl_2023_deu.pdf [Zugriff: 29.01.2024].
- [14] Technische Regeln für Gefahrstoffe „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen – TRGS 910“. Ausgabe: Februar 2014, in der Fassung vom 05.05.2023, Seite 10 und 17, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-910.html> [Zugriff: 24.01.2024].
- [15] Ausschuss für Betriebssicherheit, Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe und Ausschuss für Gefahrstoffe, ABS-, ABAS- und AGS-Geschäftsführung. Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) Fassung 02.06.2021, Ausgabe April 2009, S. 1–23.
- [16] Hawksley, Lucinda: *Gefährlich Schön – Giftige Tapeten im 19. Jahrhundert*. Hildesheim 2018.
- [17] Arndt, Torsten: Buchrezension zu „Gefährlich Schön – Giftige Tapeten im 19. Jahrhundert“ von Lucinda Hawksley, in der Übersetzung von Anke Albrecht. Hildesheim 2018. In: *Toxichem Krimtech* 86 (2019), S. 169–172.
- [18] Muntwyler, Stefan; Lipscher, Juraj; Schneider, Hanspeter: *Das Farbenbuch*. Elsau (Schweiz) 2022, S. 10–11.

Prof. Dr. Torsten Arndt

Klinischer Chemiker DGKL, Forensisch-Klinischer Chemiker GTFCh

Bioscientia Institut für Medizinische Diagnostik GmbH

Konrad-Adenauer-Straße 17

55218 Ingelheim

Deutschland

E-Mail: torsten.arndt@bioscientia.de

Dr. Karsten Stemmerich

Apotheker und staatl. geprüfter Lebensmittelchemiker

Bioscientia Institut für Medizinische Diagnostik GmbH

Konrad-Adenauer-Straße 17

55218 Ingelheim

Deutschland

E-Mail: torsten.arndt@bioscientia.de