

Schwer-Metalle im Mineral-Wasser

Laura Kern WS 13/14, Hannes Schaller, WS 22/23

Inhalt

1	Schwermetalle	1
2	Funktion von Schwermetallen im Körper	2
3	Reaktionen im Körper bei Schwermetall-Überdosis	2
3.1	Aminosäuren/Oxidativer Stress	3
3.2	Nervensystem	4
4	Mineral-Wasser	4
4.1	Definition „Mineral-Wasser“	4
4.2	Die wichtigsten Elemente der Erd-Kruste	5
4.3	Entstehung von Mineral-Wasser	5
5	Der Löse-Vorgang	6
6	Versuch zum Löslichkeitsprodukt	7
7	Löslichkeit in Wasser	8

Einstieg: Viele kämpfen zur Erkältungszeit oft lange mit verschiedensten Krankheits-symptomen. Diesbezüglich wurde mir als Tipp immer geraten eine Zinktablette zu nehmen. Das solle helfen, das Immunsystem zu entlasten und sei dabei noch gut für den Stoffwechsel. Zink scheint also gut für uns zu sein. Gleichzeitig gehört Zink aber auch zu den Schwermetallen, zu denen auch Blei und Quecksilber gehören, die ja wiederum be-kanntermaßen giftig sind.

1 Schwermetalle

Was zu den Schwermetallen gehört, kann von unterschiedlichen Eigenschaften abhän-gen.

„Unter „Leichtmetallen“ versteht man Metalle, deren Dichten unterhalb von 5 g/cm^3 lie-gen. Alle übrigen Metalle heißen „Schwermetalle“ (Holleman 2017, S. 1141).

Andernorts werden Schwermetalle über die Kernstabilität definiert. Die höchste Kernsta-bilität im Periodensystem hat Eisen. Jegliches Metall mit größerer Nukleonen-Zahl, wie aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** hervorgeht, weist eine ge-ringere Bindungsenergie pro Nukleon auf, was es nach dieser Definition zum Schwerme-tall macht.

Unterteilbar ist diese Kategorie der Metalle dann noch weiter nach verschiedenen Maß-stäben, welche auch von der gewählten Definition abhängen. Für Folgendes relevant ist dabei eine Unterscheidung in für den menschlichen Körper essenzielle und nichtessen-zielle Schwermetalle. Essenzielle Schwermetalle sind für unser Überleben notwendig und

nehmen Schlüsselfunktionen in biologischen Prozessen ein. In der richtigen Dosierung sind diese gesund, in einer zu hohen Konzentration sind sie allerdings schädlich. Nicht essenzielle Schwermetalle weisen für uns keinen Nutzen im Körper auf und sind lediglich toxisch.

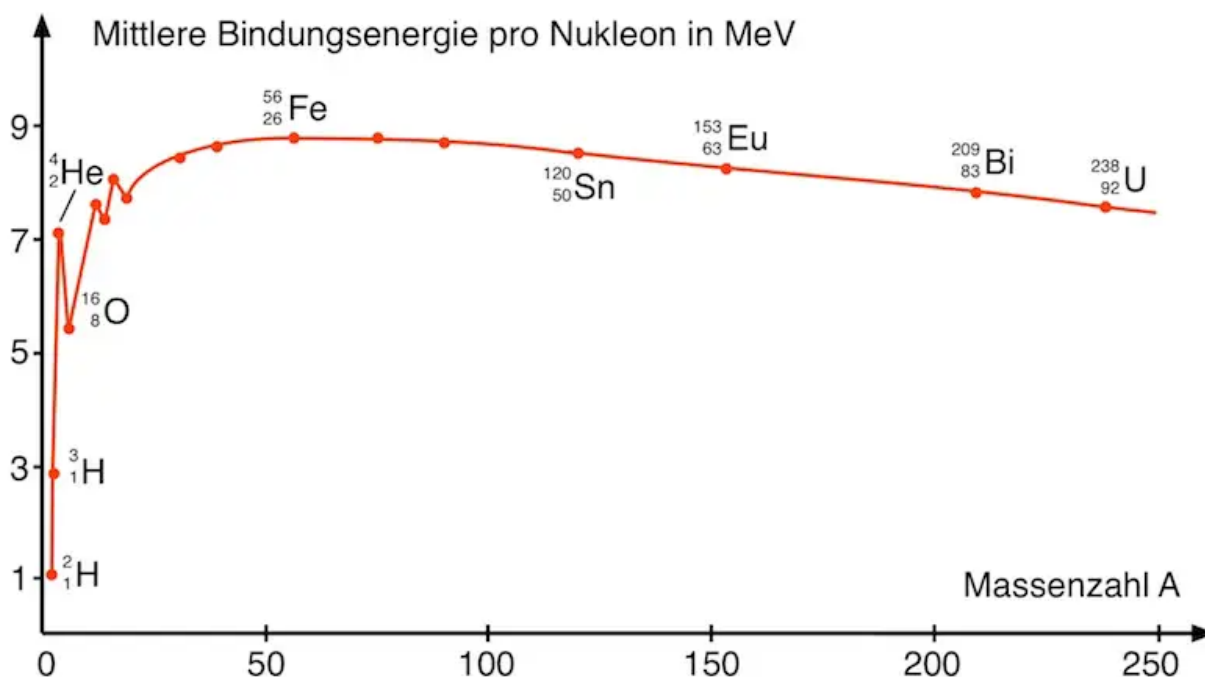


Abb. 1: Mittlere Bindungsenergie pro Nukleon in Abhängigkeit von der Massenzahl [11]

2 Funktion von Schwermetallen im Körper

Viele verschiedene Schwermetalle sind Teil von wichtigen Makromolekülen wie Enzymen in unterschiedlichen Bereichen des menschlichen Körpers. Aber auch in Pflanzen und Tieren spielen sie eine wichtige Rolle. So sind wichtige Biomoleküle wie das Sauerstofftransportprotein Hämoglobin ohne das Fe^{2+} -Kation in seinem Zentrum oder das „Zinkfingerprotein“ im Immunsystem, welches ohne das Zn^{2+} -Kation nicht existieren könnte.

3 Reaktionen im Körper bei Schwermetall-Überdosis

Die Reaktionen, die die Metalle eingehen, variieren nach Element stark. Wie giftig sie sind, ist dabei abhängig von der Art der Aufnahme. Dabei spielt auch die Stoffverbindung, in der sich das Schwermetall zum Zeitpunkt der Aufnahme befindet, eine große Rolle, da bedingt wird, in welcher Form das Metall vorliegt. So ist Chrom (III) für den Menschen ein essenzielles Ion und auch in vergleichsweise hoher Dosis verträglich, während Chrom (VI) schon bei sehr kleiner Dosis zu schweren Vergiftungserscheinungen führt und schnell tödlich ist, wobei die meisten elementaren Metalle nicht besonders giftig sind. Bei schneller Aufnahme in hoher Dosis spricht man bei Schwermetallvergiftungen von einer akuten Vergiftung, während man die Exposition und entsprechenden Aufnahme über längere Zeiträume hinweg in kleinerer Menge als chronische Vergiftung bezeichnet.

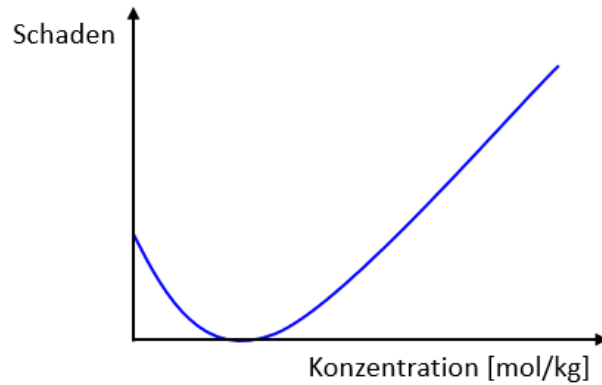


Abb. 2: Schaden/Konzentrationsdiagramm essenzielles Schwermetall

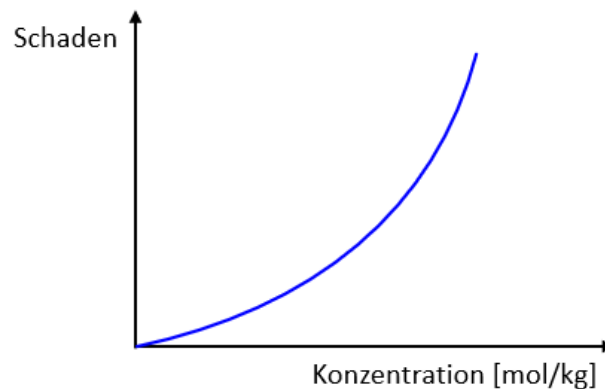
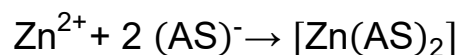


Abb. 3: Schaden/Konzentrationsdiagramm nicht essenzielles Schwermetall

Ist zu wenig eines spezifischen Schwermetalls vorhanden, kommt es zu Mangelerscheinungen, während auch bei einer Überdosis der Schaden im Körper zunimmt. Bei nicht essenziellen Schwermetall steigt der Schaden mit der Dosis immer weiter an. Auch steigt der Schaden, den nichtessenzielle Schwermetalle im Körper verursachen oft exponentiell mit erhöhter Konzentration.

3.1 Aminosäuren/Oxidativer Stress



Zink (II)-Verbindungen beispielsweise reagieren in hoher Konzentration mit verschiedenen Aminosäuren (AS). Dabei besetzen die Schwermetall-Ionen wichtige Schlüsselstellen des Proteins, was eine Veränderung in der Sekundär- und Tertiärstruktur hervorruft, was oft irreversibel ist. Stoffe, welche diese Beschädigung von Proteinen bewirken, bezeichnet man als denaturierend. Bei der Reaktion von Zink (II)-Verbindungen mit Aminosäuren in Hühner-Eiweiß als Beispiel fällt ein flockiger Niederschlag aus. Die betroffenen Stoffe sind nach der Reaktion, die ihre Sekundär- und Tertiärstruktur verändert hat, nun nicht mehr in der Lage, die für den Körper wichtigen Funktionen zu übernehmen. So resultiert eine zu hohe Dosierung von Zink potenziell in Beschwerden im Magen-Darm-Trakt.

3.2 Nervensystem

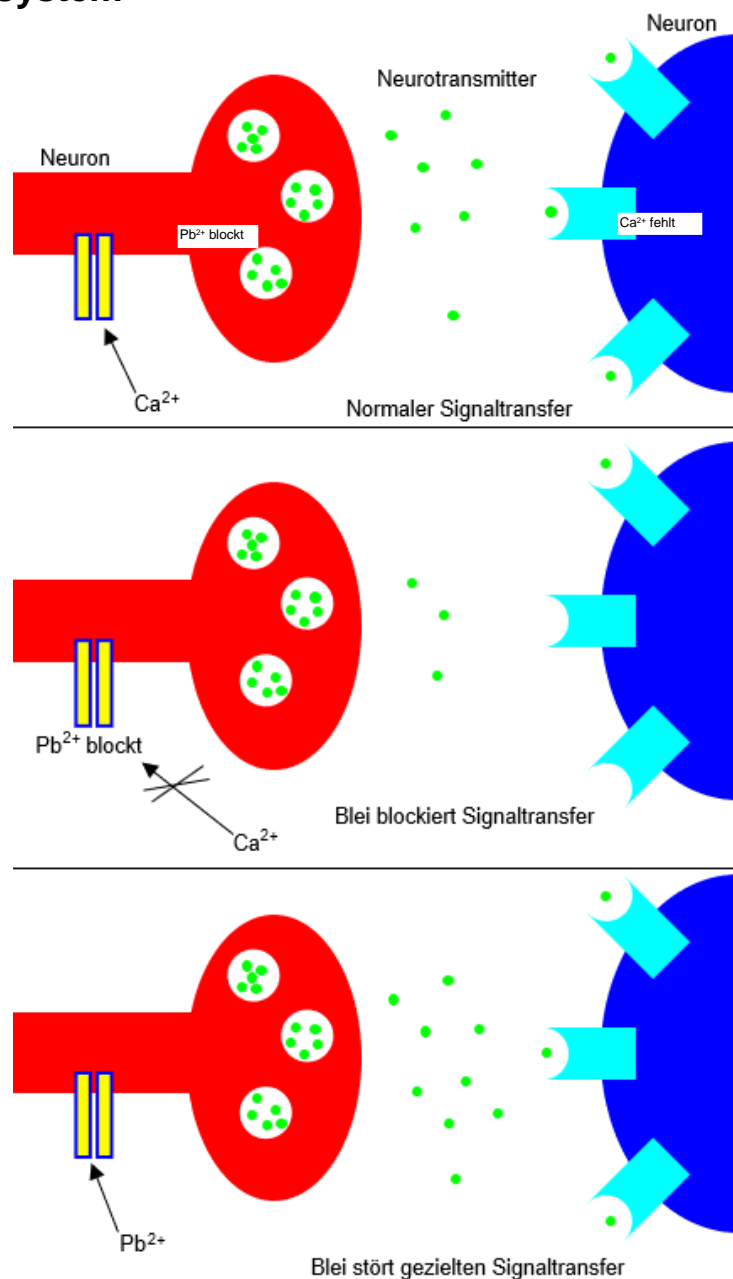


Abb. 4: Schwermetallreaktion im Nervensystem

Verschiedene Schwermetalle, unter anderem Blei, greifen stattdessen auch Neurotransmitter an. Dabei sorgen sie dafür, dass die Reizübertragung nicht abgebrochen wird, sodass konstante Signale gesendet werden, nicht mehr begonnen werden, sodass durch den Teil des Nervensystems dementsprechend gar keine Signale mehr gesendet werden oder falsche Signale gesendet werden. So kann eine Bleivergiftung zu schweren Nervenschäden führen und vor allem in jungen Jahren auch die geistige Intelligenz schädigen.

4 Mineral-Wasser

4.1 Definition „Mineral-Wasser“

Als Mineral-Wasser wird natürliches, aus einer Quelle gewonnenes und mit Mineral-Stoffen angereichertes Wasser bezeichnet.

4.2 Die wichtigsten Elemente der Erd-Kruste

Mineralwasser wird aus 150 – 1000 m Tiefe gewonnen. Für die Betrachtung der Entstehung von Mineral-Wasser ist es wichtig, zu wissen, welche Elemente die Erd-Kruste, in welchen Mengen enthält. Die wichtigsten Inhaltsstoffe sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgelistet.

Element	Boden/Mittelwert in g/kg Trocken-Substanz
Si	330
Al	70
Fe	40
Ca	15
K	14
N	2
P	0,8
Pb	0,03
Cd	0,0014

Tabella 1: Anteil der Elemente der Erd-Kruste in g/kg Trocken-Substanz

Diese Elemente liegen hauptsächlich in Verbindungen vor. An erster Stelle stehen dabei Silicate, gefolgt von Hydroxiden, Oxiden, Phosphaten, Sulfaten und Carbonaten. Schwer-Metalle wie Blei und Cadmium sind nur in sehr geringen Mengen in der Erd-Kruste enthalten. Haupt-Bestandteil der Erd-Kruste ist Silizium, gefolgt von Aluminium und Eisen.

4.3 Entstehung von Mineral-Wasser

Zunächst dringt Wasser als Niederschlag in den Boden ein. In einem Prozess von vielen Jahren sickert es durch verschiedene Erd- und Gesteins-Schichten, bis es sich in geschützten, unterirdischen Wasser-Vorkommen sammelt. Auf diesem langen Weg nach unten wird das Wasser durch die Filter-Wirkung der Gesteine gereinigt und mit Mineral-Stoffen angereichert. Je langsamer das Wasser durchsickert, desto mehr Mineral-Stoffe kann es lösen. Je nach Region bindet das Wasser unterschiedlich viele Mineral-Stoffe wie z. B. Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , Hydrogencarbonat oder Sulfat. Jedes Mineral-Wasser ist somit ein Spiegel-Bild seiner Herkunftsregion und ihrer typischen Gesteins-Formationen.

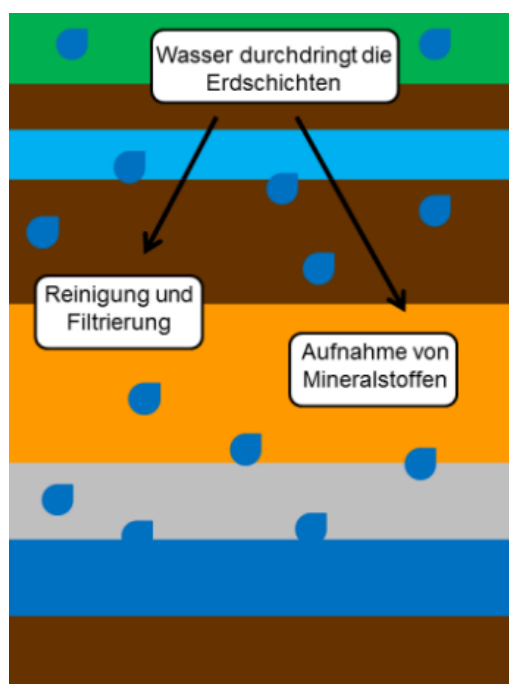


Abb. 5: Entstehung von Mineral-Wasser
 Grundwasser, Erd- und Gesteinsschichten, Mineralwasser

Aber auch Schwer-Metalle wie Pb, Cd, Hg oder Cr, die für den Menschen toxisch sind, sind in den Gesteins-Schichten enthalten und gehen über Jahre hinweg in Lösung. Dieser Vorgang ist eine Form der Verwitterung und somit eine von mehreren Möglichkeiten, wie Mineral-Stoffe, aber auch Schwer-Metalle ins Mineral-Wasser gelangen.

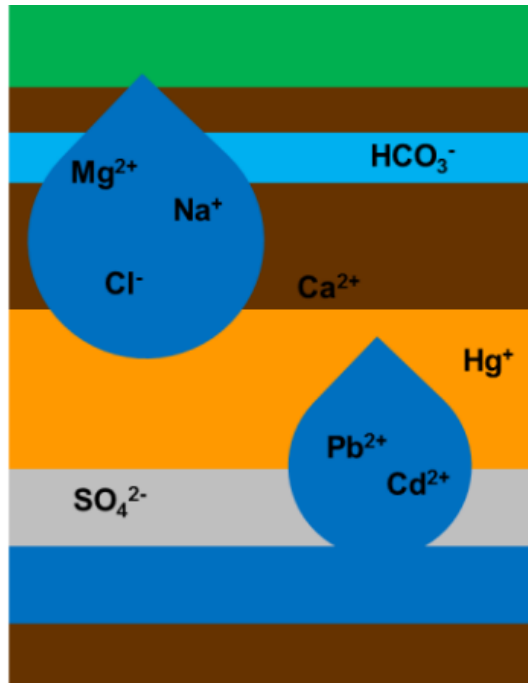


Abb. 6: Lösen von Mineral-Stoffen und Schwer-Metallen im Mineral-Wasser
 Grundwasser, Erd- und Gesteinsschichten, Mineralwasser

Um den Löse-Vorgang nachvollziehen zu können, muss man das Ganze auf Teilchen-Ebene betrachten.

5 Der Löse-Vorgang

Die Löslichkeit eines Stoffes ist die maximale Menge des Stoffes, die sich bei einer bestimmten Temperatur in einem Lösemittel, wie z. B. Wasser, löst. Jedes Metall besitzt die Fähigkeit, in wässrigen Lösungen Ionen zu bilden. Eine gesättigte Lösung liegt vor, wenn der feste Boden-Körper „AB“ im Gleichgewicht mit den Ionen „A⁺“ und „B⁻“ steht:



Zum Beispiel:



Beim Löse-Vorgang treten Ionen aus dem Kristall in die Lösung über und werden dabei hydratisiert. Im Gleichgewicht werden genauso viele Ionen-Paare $A^+ + B^-$ aus der Lösung im Kristall-Gitter eingebaut, wie aus dem Gitter in Lösung gehen. Durch die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf den Löse-Vorgang erhält man folgenden Zusammenhang:

$$K = \frac{c(A^+) \cdot c(B^-)}{c(AB)} \rightarrow K \cdot c(AB) = c(A^+) \cdot c(B^-)$$

$K \cdot c(\text{AB}) = \text{LP}_{\text{AB}} \rightarrow \text{Löslichkeitsprodukt}$

Bei einer gesättigten Lösung gilt:

$$c(A^+) * c(B^-) = L_{AB}$$

Bei einer ungesättigten Lösung gilt:

$$c(A^+) * c(B^-) < L_{AB}$$

Bei einer übersättigten Lösung gilt:

$$c(A^+) * c(B^-) > L_{AB}$$

6 Versuch zum Löslichkeitsprodukt

Das Löslichkeitsprodukt (LP) gibt an, wie gut löslich ein Stoff z. B. in Wasser ist.

Experiment: Löslichkeitsprodukt bei verschiedenen gesättigten Lösungen

Material:

- 2 Magnetrührer, heizbar
- 2 Rührstäbchen, ~Entferner
- 2 Bechergläser

Chemikalien:

- **Natriumcarbonat**
CAS-Nr.: 497-19-8



Achtung

H319

P260, P305+P351+P338

Durchführung: Einerseits werden 10 g Na_2CO_3 in 60 mL Wasser, andererseits in 60 mL einer fast gesättigten Na_2CO_3 -Lösung gelöst.

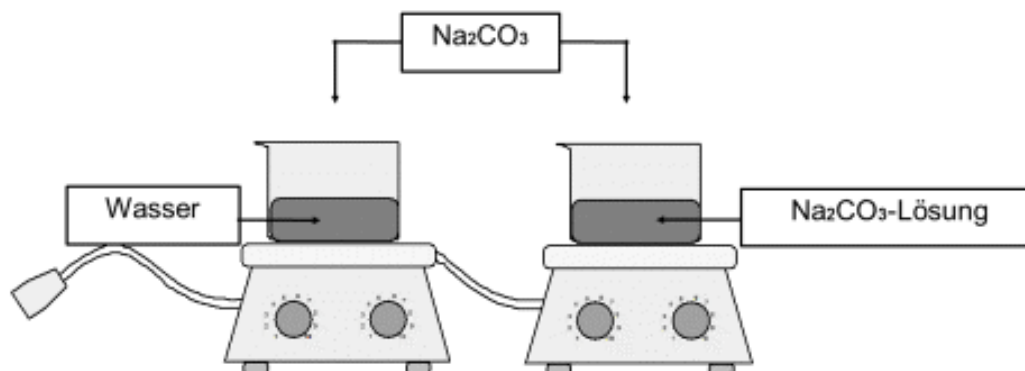


Abb. 7: Versuchsaufbau Löslichkeitsprodukt

Beobachtung: Na_2CO_3 löst sich nach kurzer Zeit vollständig in Wasser, in der fast gesättigten Na_2CO_3 -Lösung löst sich das Na_2CO_3 jedoch nicht vollständig.

Interpretation: Die fast gesättigte Na_2CO_3 -Lösung kann nur so viel Na_2CO_3 aufnehmen, bis sie gesättigt ist. Überschüssiges Na_2CO_3 kann nicht mehr gelöst werden. Das reine Wasser kann hingegen viel mehr Na_2CO_3 aufnehmen, da es noch völlig ungesättigt ist. Selbst nachdem 10 g Na_2CO_3 im Wasser gelöst sind, liegt noch keine vollständig gesättigte Lösung vor.

7 Löslichkeit in Wasser

Metallverbindung	Löslichkeitsprodukt bei 25°C in mol ² /l ²
PbCO ₃	3*10 ⁻¹⁴
CaCO ₃	5*10 ⁻⁹
MgCO ₃	3*10 ⁻⁵
Na ₂ CO ₃	2,5*10 ⁻⁶

Tabelle 2: Löslichkeitsprodukte in mol²/l² für verschiedene Metallverbindungen bei Raumtemperatur

Die Löslichkeitsprodukte von unterschiedlichen Verbindungen haben meist unterschiedliche Einheiten. Nur Löslichkeitsprodukte mit der gleichen Einheit sind direkt miteinander vergleichbar. Bei gleichen Einheiten kann man sagen, je kleiner das Löslichkeitsprodukt ist, desto schwerlöslicher ist die Verbindung.

Schwermetall-Verbindungen wie beispielsweise PbCO₃ lösen sich wesentlich schlechter in Wasser als andere Metall-Verbindungen. Trotzdem geht ein sehr geringer Teil der Schwermetalle in Lösung. Das Ausmaß der Löslichkeit wird durch Faktoren wie Temperatur, Druck und pH-Wert beeinflusst. Die Löslichkeit wird umso besser, je höher die Temperatur und der Druck sind und desto saurer der Boden ist. Da Druck und Temperatur mit der Boden-Tiefe zunehmen, wird auch die Löslichkeit von Schwermetallen mit der Tiefe verbessert. Allerdings ist auch in 150 – 1000 m Tiefe die Konzentration an Schwermetall-Verbindungen im Wasser so niedrig, dass die Menge an gelösten Schwermetallen im Mineral-Wasser weit unter dem gesetzlich zugelassenen Wert liegt. Für Blei z. B ist der Grenzwert 10 µl/l.

Demnach ist Mineralwasser bedenkenlos trinkbar.

Zusammenfassung: Schwermetalle lassen sich unterscheiden zwischen für den Körper essenzielle und nicht essenzielle Metalle. Beide Gruppen sind allerdings bei falscher Dosierung schädlich bis tödlich, wobei sie oft an mehreren Stellen dem Körper schaden können. Dazu gehört die Störung des Nervensystems und Beschädigung von Enzymen, was unter anderem das Krebsrisiko erhöht. Diesbezüglich belegen strenge Richtlinien den Umgang und die Belastung mit Schwermetallen.

Abschluss: Eine Zinktablette in einer Flasche Sprudelwasser wird also keinen qualvollen Tod zu Folge haben, während eine Bleivergiftung schnell bleibende Schäden hinterlassen kann. Dabei gilt generell der Grundsatz „Die Dosis macht das Gift“. Verzichten können wir auf die potenziell gefährlichen Schwermetalle allerdings nicht. Während wir einige für Reaktionen in unserem Körper brauchen, sind andere wichtige Katalysatoren, die in vielen Bereichen der Industrie Verwendung finden.

Quellen:

1. Abendrot, M., Checínska, L. Kusz, J., Lisowska, K., Zawadzka, K. Felczak, A., Kalinowaska-Lis, U.: Zinc (II) Complexes with Amino Acids for Potential Use in Dermatology. In: Molecules. MDPI (Hrsg.) Volume 25, Issue 4. S. 951, 2020.
2. Holleman, A.: Anorganische Chemie. De Gruyter. 102. Auflage. Berlin. 2017.
3. Hufnagel, M.; Niemand, R.; Strauch, B.; Hartwig, A.: Essentielle Spurenelemente und toxische Metallverbindungen. In: Chemie in unserer Zeit, Gesellschaft Deutscher Chemiker (Hrsg). Volume 59, Issue 4. S. 292-299, 2019.
4. Larcher, W.: Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer. 6. Auflage. Stuttgart. 2001.
5. Riedel, E.; Janiak, C: Anorganische Chemie. De Gruyter. 8. Auflage. Berlin. 2011.
6. Zaworski, P., Gill, G.: Precipitation and recovery of proteins from culture supernatants using zinc. In: Analytical biochemistry. Volume 173, Issue 2. S. 440-444. 1988.
7. http://www.imn.htwk-leipzig.de/~stich/Bilder_UCH/IV.II.pdf, Stand 19.12.13 (Quelle verschollen, 16.03.23).
8. <https://www.mineralwasser.com/mineralwasser/naturprodukt-mineralwasser/so-entsteht-mineralwasser/>, Stand 16.03.23.
9. <https://www.mineralwasser.com/mineralwasser/naturprodukt-mineralwasser/kohlensaure-im-unterirdischen-mineralwasservorkommen/>, Stand 16.03.23.
10. <http://https://www.mineralwasser.com/mineralwasser/naturprodukt-mineralwasser/wie-mineralstoffe-ins-mineralwasser-gelangen/>, Stand 16.03.23.
11. <https://physikunterricht-online.de/jahrgang-12/aufbau-und-energie-der-kerne/>, Stand 16.03.23.
12. https://i0.wp.com/sitn.hms.harvard.edu/wp-content/uploads/2016/06/gearing_1.jpg, Stand 16.03.23.