

Untersuchung von Muttermilchproben der Probenbank des Umweltbundesamtes auf Metalle

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (BMASGPK), Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: Christina Hartmann, Kathrin Gosch, Ivo Offenthaler, Maria Uhl (Umweltbundesamt GmbH)

Wien, 2025. Stand: 5. März 2026

ISBN-Nr.: (nur für Printpublikationen; die ISBN-Vergabe erfolgt über die interne E-Mail-Adresse publikationen@sozialministerium.gv.at, Abt. I/1)

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Im Falle von Zitierungen (im Zuge von wissenschaftlichen Arbeiten) ist als Quellenangabe anzugeben: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (BMASGPK) (Hg.); Titel der jeweiligen Publikation, Erscheinungsjahr.

Diese und weitere Publikationen sind kostenlos über das Broschürenservice des Sozialministeriums unter www.sozialministerium.gv.at/broschuerenservice sowie unter der Telefonnummer 01 711 00-86 25 25 zu beziehen.

Inhalt

Zusammenfassung	5
Summary	7
1 Einleitung	9
2 Übersicht.....	11
2.1 Studienziele.....	11
2.2 Studienbeschreibung	11
2.3 Chemische Analytik und Untersuchungsumfang.....	13
2.4 Statistik und Umgang mit Daten.....	14
2.4.1 Berechnung der Verzehrsmengen	15
3 Untersuchte Substanzen	17
3.1 Aluminium.....	17
3.2 Arsen	18
3.3 Blei	20
3.4 Cadmium.....	21
3.5 Nickel	22
3.6 Quecksilber	23
3.7 Metalle aus essenziellen Spurenelementen.....	25
3.7.1 Chrom.....	26
3.7.2 Eisen	27
3.7.3 Kobalt	28
3.7.4 Kupfer.....	29
3.7.5 Mangan.....	31
3.7.6 Molybdän	32
3.7.7 Selen.....	32
3.7.8 Zink.....	33
4 Ergebnisse	35
4.1 Beschreibung der Studienpopulation	35
4.2 Exposition und Bewertung.....	40
4.2.1 Aluminium	46
4.2.2 Arsen.....	47
4.2.3 Blei.....	48
4.2.4 Cadmium	49
4.2.5 Nickel.....	50
4.2.6 Quecksilber.....	51

4.2.7 Chrom.....	54
4.2.8 Eisen.....	56
4.2.9 Kobalt.....	60
4.2.10 Kupfer.....	60
4.2.11 Mangan.....	64
4.2.12 Molybdän.....	65
4.2.13 Selen.....	68
4.2.14 Zink.....	71
5 Erkenntnisse und Ausblick.....	76
Tabellenverzeichnis.....	81
Abbildungsverzeichnis.....	82
Literaturverzeichnis.....	83
Abkürzungen.....	97

Zusammenfassung

Muttermilch ist die natürliche und ideale Ernährung für Säuglinge. Wird ein Säugling gestillt, sind in den ersten Lebensmonaten keine zusätzlichen Nahrungsmittel oder Flüssigkeiten für seine Gesundheit und Entwicklung erforderlich. Je nach Entwicklung des Säuglings wird empfohlen, mit der Beikost etwa im sechsten Lebensmonat zu beginnen – nicht vor Beginn des fünften Monats und nicht nach Ende des sechsten Monats.

Neben allen relevanten Nährstoffen und Bestandteilen, die unter anderem für das Immunsystem und das Wachstum wesentlich sind, können auch Schadstoffe in der Muttermilch enthalten sein. Diese stellen einen Indikator für die Exposition von Mutter und Kind mit gesundheitsschädlichen Substanzen dar. Die Identifizierung und das laufende Monitoring dieser Belastungen sind angezeigt, damit Risiken besser abgeschätzt und Expositionen verringert werden können.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 150 Muttermilchproben der Probenbank des Umweltbundesamtes auf Schwermetalle und essenzielle Spurenelemente chemisch-analytisch untersucht. Die Studienteilnehmerinnen im Alter von 21–44 Jahren gaben dazu zwischen 2021 und 2025 einmalig eine Muttermilchprobe ab. Untersucht wurden die Schwermetalle Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber sowie die Spurenelemente Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen und Zink.

Jedes der untersuchten Metalle wurde in zumindest einer Muttermilchprobe nachgewiesen, wobei die Spurenelemente Eisen, Kupfer, Selen und Zink in allen Proben zu finden waren. Die höchste Konzentration von 7.300 µg/l wurde für Zink gemessen.

Die Schwermetalle wurden mit einer Nachweisrate von 2,7–89 % in den Muttermilchproben detektiert, wobei Arsen den geringsten und Quecksilber den höchsten Anteil verzeichnete. Die höchste Maximalkonzentration lag bei 910 µg/l für Aluminium. Überschreitungen von tolerierbaren Aufnahmemengen zeigten sich nur in einzelnen Proben für Aluminium, Blei und Nickel. Für Arsen wurde der Margin of Exposure-Approach zur Einschätzung der erhaltenen Ergebnisse angewendet. Es zeigte sich, dass trotz der geringen Detektionsrate ein mögliches Risiko für die Bevölkerung vorliegen könnte. Für Quecksilber wurden statistisch signifikante Zusammenhänge mit dem Verzehr von Fisch sowie dem Vorhandensein von Amalgamplomben identifiziert. Besonders für den Verzehr

von fettem räuberischen Fisch sollten die Ernährungsempfehlungen konkretisiert bzw. hervorgehoben werden. Ein Verzicht – besonders während Schwangerschaft und Stillzeit – ist empfohlen.

Von den untersuchten essenziellen Spurenelementen wurden Eisen, Kupfer, Selen und Zink in allen Muttermilchproben nachgewiesen. Auch Molybdän und Mangan fanden sich in der Mehrheit der Proben, während Chrom und Kobalt nur in einem geringen Anteil nachweisbar waren. Für die Konzentrationen von Eisen, Kupfer, Zink und Molybdän zeigte sich eine Abnahme in der Muttermilch mit fortschreitender Stilldauer. Die von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) und der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) empfohlenen täglichen Zufuhrmengen sowie die akzeptablen Aufnahmemengen der Europäischen Lebensmittelsicherheitsbehörde (EFSA) wurden für Kupfer in der Gruppe der Säuglinge unter vier Monaten überschritten. Für die Spurenelemente Eisen, Selen, Zink und Mangan wurden – basierend auf den berechneten täglichen Zufuhrmengen – Unterschreitungen der DGE-Empfehlungen besonders für Säuglinge unter vier Monaten beobachtet.

Generell zeigt die vorliegende Untersuchung, dass die Belastungen mit Schwermetallen weitgehend unter den gesundheitlich bedenklichen Konzentrationen liegen. Es ist jedoch anzumerken, dass Hintergrundbelastungen mit Schadstoffen heutzutage nicht vollständig vermieden werden können. Zahlreiche politische Strategien und Ziele sowie konkrete Bestimmungen dienen dazu, die Sicherheit von Lebensmitteln und Trinkwasser zu gewährleisten bzw. Schadstoffbelastungen längerfristig zu verringern. Da insbesondere Ungeborene und Säuglinge aufgrund ihrer Entwicklungsprozesse vulnerabel sind, sollten weitere Anstrengungen unternommen werden, um Expositionspfade aufzuzeigen und Expositionen zu minimieren. Konkrete Möglichkeiten zur Vermeidung von Schadstoffbelastungen über die Ernährung sollten verstärkt kommuniziert werden. Dies könnte dazu beitragen, die Schwermetallbelastung von Säuglingen möglichst gering zu halten.

Summary

Breast milk is the natural and ideal food for infants. If an infant is breastfed, no additional food or fluids are necessary for its health and development during the first months of life. Depending on the infant's development, it is recommended to start introducing complementary foods at around six months of age — not before the start of the fifth month and not after the end of the sixth month.

Breast milk contains all relevant nutrients and components relevant needed for e.g. immune system and grow but can also contain pollutants. These are an indicator for exposure of mother and child to harmful substances. Therefore, the identification and the continuous monitoring of these exposures are indicated to assess risks more adequately and to reduce exposures.

In the present study 150 breast milk samples of the Environment Specimen Bank of the Environment Agency Austria were analyzed for heavy metals and essential trace elements. The study participants were aged 21–44 and provided one breast milk sample between 2021 and 2025. The heavy metals aluminum, arsenic, lead, nickel and mercury were analysed, as well as the trace elements chromium, iron, cobalt, copper, manganese, molybdenum, selenium and zinc.

Each of the metals investigated was detected in at least one breast milk sample, with iron, copper, selenium and zinc found in all samples. The highest concentration was 7,300 µg/l for zinc.

Heavy metals were detected in 2.7 % to 89 % of the samples, with arsenic showing the lowest and mercury the highest proportion. The highest maximum concentration was 910 µg/l for aluminum. Exceedances of tolerable intakes were only found in some samples for aluminum, lead and nickel. For arsenic, the margin of exposure approach was applied to evaluate the results obtained, which showed that despite the low detection rate, there could be a potential risk to the population. For mercury, statistically significant correlations were identified with fish consumption as well as the presence of dental amalgam fillings. Dietary recommendations should be specified and emphasised, particularly for the consumption of fatty, predatory fish. It is recommended to avoid consumption, especially during pregnancy and breastfeeding.

Of the essential trace elements examined, iron, copper, selenium and zinc were detected in all breast milk samples. Molybdenum and manganese were also found in the majority of samples, while chromium and cobalt were only detectable in a small proportion. The concentrations of iron, copper, zinc and, to a moderate extent, molybdenum in breast milk decreased with increasing age of the child. The daily intake levels recommended by the German Nutrition Society (DGE) and the Austrian Nutrition Society (ÖGE) as well as the acceptable intake levels of the European Food Safety Authority (EFSA) were exceeded for copper in infants under four months of age. For the trace elements iron, selenium, zinc and manganese, based on the calculated daily intake amounts, levels below the DGE recommendations were observed, particularly for infants under four months of age.

In general, this study shows that heavy metal contamination of breast milk is largely below levels that pose a health risk. However, it should be noted that background contamination with pollutants cannot be completely avoided today. Numerous political strategies and objectives, as well as specific regulations, serve to ensure the safety of food and drinking water and to reduce pollution in the long term. Since unborn children and infants are particularly vulnerable due to their developmental processes, further efforts should be made to identify exposure pathways and minimize exposure. Concrete ways of avoiding exposure to pollutants through diet should be communicated more widely. This could help to keep heavy metal exposure in infants as low as possible.

1 Einleitung

Besonders in den ersten Monaten nach der Geburt ist Muttermilch die beste Ernährungsform für Säuglinge, da alle Nährstoffe für eine gesunde Entwicklung darin enthalten sind (BMASGPK, 2020). Auch für die Mütter ist Stillen von gesundheitlichem Vorteil. So kann beispielsweise das Risiko für Eierstock- und Brustkrebs reduziert werden (WHO, 2023a).

Muttermilch enthält alle für das Kind wichtigen Makro- und Mikronährstoffe (Fett, Proteine, Kohlenhydrate, Mineralstoffe und Vitamine) sowie Antikörper für das Immunsystem, Wachstumsfaktoren und lebende Zellen (BMASGPK, 2020). Im Allgemeinen sind die gesundheitlichen Vorteile des Stillens für die Kinder beträchtlich: Es senkt die Säuglingssterblichkeit und das Risiko für Krankheiten wie beispielsweise Übergewicht, Zahnfehlstellungen und Asthma (WHO, 2023a). Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt das ausschließliche Stillen in den ersten sechs Lebensmonaten (BMASGPK, 2020; WHO, 2023a). Ab einem Alter von etwa sechs Monaten steigt der Energie- und Nährstoffbedarf der Säuglinge an und die (zusätzliche) Gabe von Beikost wird notwendig, da dieser Mehrbedarf über die Muttermilch nicht mehr adäquat gedeckt werden kann. Das zusätzliche Stillen empfiehlt die WHO bis zu einem Alter von zwei Jahren oder darüber hinaus (WHO, 2023a).

Unmittelbar nach der Geburt ist die sogenannte Vormilch (Kolostrum) dickflüssig und gelblich und enthält viele Stoffe, die wichtig für die Immunabwehr des Neugeborenen sind. In den folgenden Tagen und Wochen verändert sich die Milchezusammensetzung, wobei ungefähr ab dem zweiten Tag nach der Geburt die Übergangsmilch (transitorische Milch) abgegeben wird. Etwa ab dem 14. Tag nach der Geburt wird die reife Muttermilch gebildet (BMASGPK, 2020).

Während der Stillzeit besteht für Mütter ein erhöhter Bedarf an Energie und Nährstoffen. Eine bedarfsgerechte und abwechslungsreiche Ernährung ist deshalb in dieser Phase besonders wichtig. Neben der notwendigen erhöhten Zufuhr an Energie, Vitaminen (z. B. Folsäure und B-Vitamine) und Mineralstoffen (z. B. Zink) wird auch der Verzicht auf bestimmte Lebensmittel empfohlen. Dies hat unterschiedliche Gründe: Zum einen reduziert sich das Risiko für Lebensmittelinfektionen (z. B. durch rohes oder unvollständig durchgegartes Fleisch oder Rohmilchprodukte), zum anderen kann die Aufnahme von

schädlichen Inhaltsstoffen (z. B. Nikotin und Alkohol) (BMASGPK, 2024a) sowie von Schadstoffen vermieden werden. Besonders für letztere ist Muttermilch ein Indikator für die Exposition von Mutter und Kind, da diese in die Muttermilch übergehen können. Vor allem persistente organische Schadstoffe, die lange in der Umwelt verbleiben, sich in Mensch und Tier anreichern und toxische Wirkungen haben können, werden in der Muttermilch nachgewiesen. Dazu zählen unter anderem per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), bestimmte Flammschutzmittel wie polybromierte Diphenylether, verschiedene Pestizide, Dioxine (Umweltbundesamt, 2025a) und Schwermetalle.

Ein Nachweis von Schadstoffen in der Muttermilch bedeutet nicht, dass eine unmittelbare Gesundheitsgefahr für das Kind besteht. Hintergrundbelastungen aufgrund natürlichen Vorkommens und anthropogenen Aktivitäten (Industrie, Verkehr, etc.) sind möglich und erwartbar. Mögliche gesundheitliche Risiken sind von Dauer und Höhe der Exposition abhängig und Muttermilch wird nur über einen begrenzten Zeitraum verzehrt. Sie bleibt die Ernährung der Wahl für Säuglinge und ist für ihre Entwicklung relevant. Dennoch ist es wichtig, die Exposition mit gesundheitsschädigenden Substanzen laufend zu beobachten, um mögliche Risiken besser einschätzen und etwaige (gesetzliche) Maßnahmen zur Verringerung einer Belastung setzen zu können (Umweltbundesamt, 2025a).

Für die vorliegende Studie wurden insgesamt 150 Muttermilchproben aus allen österreichischen Bundesländern auf verschiedene Schwermetalle sowie essenzielle Spurenelemente untersucht, um die Belastung bzw. Versorgung in der Muttermilch darzustellen.

2 Übersicht

2.1 Studienziele

In der Probenbank des Umweltbundesamtes werden seit dem Jahr 2020 Humanproben eingelagert, um diese in zukünftigen Studien untersuchen zu können (Umweltbundesamt, 2025b). Die Aufrechterhaltung und der Betrieb der Probenbank wird durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft finanziert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 150 Muttermilchproben der Probenbank chemisch-analytisch auf bestimmte Metalle untersucht, um die Exposition der Mütter sowie ihrer Säuglinge zu bestimmen. Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt lag auf möglichen Zusammenhängen zwischen den festgestellten Expositionen und Ernährungsgewohnheiten, Wohnumgebung, Lebensstil und Umweltbelastungen. Auch etwaige Unterschiede in den Expositionen je nach Region (z. B. Ost-West) oder Alter wurden analysiert. Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung wurden jenen aus anderen Studien, mit Fokus auf Europa, gegenübergestellt. Um die Exposition der Säuglinge gegenüber den untersuchten Metallen abschätzen zu können, wurden Verzehrsmengen über die Muttermilch berechnet und anschließend anhand von verfügbaren akzeptablen bzw. tolerierbaren Aufnahmemengen sowie Verzehrsempfehlungen interpretiert. Des Weiteren wurden Empfehlungen zum Lebensmittelverzehr für stillende Mütter im Zusammenhang mit den erhaltenen Studienergebnissen betrachtet.

2.2 Studienbeschreibung

Die vorliegende Studie umfasst die Untersuchung von Muttermilch von insgesamt 150 freiwillig teilnehmenden Müttern im Alter von ≥ 18 Jahren aus allen österreichischen Bundesländern. Die Muttermilchproben wurden auf unterschiedliche Metalle analysiert, wobei sowohl Schwermetalle als auch essenzielle Spurenelemente umfasst waren (siehe Kapitel 2.3) Die untersuchten Proben wurden im Zeitraum zwischen 2021 und 2025 als Gelegenheitsstichproben genommen.

Für die Studie liegt ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Wien vor (EK-Nummer 1020/2025). Für die Probensammlung im Zuge der Probenbank ist ebenfalls ein gültiges Ethikvotum vorhanden (EK-Nummer 1411/2021).

Es wurden Muttermilchproben von Müttern untersucht, die den nachfolgenden Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen.

Einschlusskriterien:

- Stillende gesunde Mütter und gesundes Kind
- Alter: ≥ 18 Jahre
- In Österreich ansässige Mütter
- Probandinnen, die nach persönlichem Wissensstand an keiner übertragbaren Infektionskrankheit (z. B. Hepatitis, HIV) leiden
- Abgabe der schriftlichen unterschriebenen Zustimmungserklärung zur Teilnahme an der Probenbank
- Abgegebene Probe und Fragebogendaten im Rahmen der Probenbank

Ausschlusskriterien:

- Männliche Studienteilnehmer
- Krankheit der Mutter oder des Kindes
- Alter: < 18 Jahre
- Fehlen der schriftlichen unterschriebenen Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Probenbank
- Probandinnen, die freiwillig aus der Probenbank ausscheiden

Für die Probenbank des Umweltbundesamtes können laufend Humanproben für zukünftige Studien gespendet werden. Weiters wird restliches Probenmaterial von abgeschlossenen Human-Biomonitoring-Studien in der Probenbank eingelagert, sofern hierfür ebenfalls ein Einverständnis der Teilnehmerin vorliegt. Die Entnahme der Muttermilch erfolgt durch die Teilnehmerin eigenständig zu Hause, wobei eine Milchpumpe verwendet werden kann. Die Teilnehmerin erhält eine Kühlbox aus Styropor mit allen relevanten Studienunterlagen, einen Becher für die Muttermilchprobe (200 ml, Polypropylen, vorgereinigt mit Methanol) sowie Kühlakkus für den Transport. Aus den Bundesländern erfolgt die Rückholung der Probe per Express mit einem Transportunternehmen, in Wien wird die Probe üblicherweise vom Studienpersonal persönlich abgeholt.

2.3 Chemische Analytik und Untersuchungsumfang

Die chemische Analyse der Muttermilch erfolgte durch das Labor der Umweltbundesamt GmbH. Die Muttermilchproben wurden mit konzentrierter Salpetersäure und einer Wasserstoffperoxid-Lösung (30 %) gemäß ÖNORM EN 13805:2014-11¹ mittels Mikrowellendruckaufschluss aufgeschlossen. Zur Bestimmung der Gehalte der Elemente Aluminium, Arsen, Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Nickel, Blei, Selen und Zink wurden die Aufschlusslösungen mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) nach EN ISO 17294-2:2023-10² analysiert. Für Quecksilber wurden die Aufschlusslösungen mittels Kaltdampf-Atomfluoreszenzspektrometrie (CV-AFS) nach EN ISO 17852:2008-01³ gemessen.

Die untersuchten Metalle sowie die entsprechenden Bestimmungsgrenzen (BG) und Nachweisgrenzen (NG) sind in Tabelle 1 angeführt.

In einer ersten Analyse wurden 100 Muttermilchproben auf die in Tabelle 1 angeführten Metalle untersucht. Basierend auf den erhaltenen Ergebnissen von Quecksilber bzw. Arsen sollten in der Folge zusätzlich Methylquecksilber (MeHg) und anorganisches Arsen bestimmt werden. Die ersten Messergebnisse in den 100 Proben zeigten allerdings, dass aufgrund der nachgewiesenen Quecksilberkonzentrationen und der BG von Methylquecksilber eine weiterführende Bestimmung nicht zielführend gewesen wäre. Auch eine nachfolgende Bestimmung von anorganischem Arsen war nicht angezeigt, da Gesamt-Arsen in nur vier Proben zu finden war. Durch den Entfall dieses Teils der geplanten Analysen wurden in einem zweiten Analysendurchgang in weiteren 50 Muttermilchproben die Metalle gemessen. Aus analytischen Gründen unterscheidet sich bei einigen Metallen die Höhe der entsprechenden NG bzw. BG zwischen erstem und zweitem Analysendurchgang, weshalb in Tabelle 1 beide Werte angegeben sind.

¹ Lebensmittel – Bestimmung von Elementspuren – Druckaufschluss, Ausgabedatum 15.11.2024

² Water Quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes, Ausgabedatum 18.10.2023

³ Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber – Verfahren mittels Atomfluoreszenzspektrometrie, Ausgabedatum 01.03.2008

Tabelle 1 Untersuchte Metalle und deren Nachweis- und Bestimmungsgrenzen

Substanz	Abkürzung	CAS-Nummer	NG [$\mu\text{g/l}$]	BG [$\mu\text{g/l}$]
Schwermetalle				
Aluminium	Al	7429-90-5	20 und 40	60 und 120
Gesamt-Arsen	As	7440-38-2	2,0	6,0
Blei	Pb	7439-92-1	0,20 und 1,0	0,60 und 3,0
Cadmium	Cd	7440-43-9	0,10	0,30
Nickel	Ni	7440-02-0	2,0	6,0
Quecksilber	Hg	7439-97-6	0,015	0,030
Metalle aus essenziellen Spurenelementen				
Chrom	Cr	7440-47-3	2,0 und 4,0	6,0 und 12
Eisen	Fe	7439-89-6	10 und 20	30 und 60
Kobalt	Co	7440-48-4	0,20	0,60
Kupfer	Cu	7440-50-8	1,0	3,0
Mangan	Mn	7439-96-5	0,20 und 1,0	0,60 und 3,0
Molybdän	Mo	7439-98-7	0,10 und 0,20	0,30 und 0,60
Selen	Se	7782-49-2	2,0	6,0
Zink	Zn	7440-66-6	2,0 und 4,0	6,0 und 12

Abkürzungen: BG, Bestimmungsgrenze; CAS, Chemical Abstract Service; NG, Nachweisgrenze.

2.4 Statistik und Umgang mit Daten

Die statistische Analyse der Messergebnisse und der mittels Fragebögen erhobenen Daten erfolgte mit Windows Excel und R Studio Version 4.5.0.

Messergebnisse unter der NG (d. h. nicht nachweisbar) wurden für die Statistik auf Null und Messergebnisse unter der BG auf $BG/2$ gesetzt.

Zur Identifizierung etwaiger Korrelationen erfolgte die Anwendung des Spearman-Korrelationskoeffizienten (r). Ausgenommen davon waren normalverteilte Daten, bei welchen nach einer ausreichenden Annäherung an eine Normalverteilung nach Box-Cox der Pearson-Korrelationskoeffizient angewendet wurde.

Die Metallkonzentrationen in unterschiedlichen Kategorien derselben Variable (z. B. Quecksilbergehalt nach unterschiedlichem Fischkonsum) wurden mit dem Wilcoxon-Rangsummentest auf signifikante Unterschiede geprüft.

Allfälligen multivariaten Zusammenhängen, wie etwa das gemeinsame Auftreten verschiedener Kontaminationen mit bestimmten Ernährungsgewohnheiten, wurde mit einer Faktorenanalyse nachgegangen. Hier wurde angenommen, dass den tatsächlich gemessenen Werten – insbesondere deren Korrelationen – gemeinsame Einflussfaktoren, wie z. B. Ernährungsmuster, zugrunde liegen. Die Auswahl der Faktoren erfolgte nach deren rein rechnerischer Bedeutung (dem Anteil an der Gesamtvarianz in den Daten, der sich mit dem jeweiligen Faktor allein rekonstruieren/erklären lässt). Die Interpretation der Faktoren orientierte sich an der sachlichen Plausibilität. Selbst wenn eine subjektiv schlüssige Interpretation gelang, darf dies nicht als Nachweis einer Kausalität missverstanden werden.

Zur Modellierung von möglichen Abhängigkeiten wurden Regressionsmodelle (lineare Regression und Quantilsregression) genutzt.

2.4.1 Berechnung der Verzehrsmengen

Um die Exposition der Säuglinge gegenüber den untersuchten Metallen theoretisch abschätzen sowie mit verfügbaren tolerierbaren bzw. akzeptablen Aufnahmemengen und empfohlenen Verzehrsmengen vergleichen zu können, wurden Aufnahme- und Verzehrsmengen berechnet. Dies erfolgte auf Grundlage der in den Muttermilchproben nachgewiesenen Metallkonzentrationen (in $\mu\text{g/l}$), dem angenommenen Körpergewicht des Säuglings (in kg) und der angenommenen durchschnittlichen sowie maximalen Muttermilchaufnahmemenge durch den Säugling pro Tag (in ml).

Da das Körpergewicht (KG) des Säuglings zum Zeitpunkt der Muttermilchprobenahme nicht bekannt war, wurde für die Berechnung ein Default von 6,1 kg für Säuglinge im Alter von 0–12 Monaten (EFSA, 2020a) sowie von 12 kg für Kleinkinder ab einem Jahr (EFSA, 2012a) herangezogen. Weiters wurde basierend auf EFSA (2020a) eine durchschnittliche vom Säugling verzehrte Muttermilchmenge von 800 ml sowie eine maximale Verzehrsmenge von 1.200 ml angenommen. Details zu den berechneten Aufnahmemengen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Übersicht über die berechneten Aufnahmemengen, die zugrundeliegenden Annahmen und Einheiten sowie ein Vergleich mit akzeptablen bzw. tolerierbaren Aufnahmemengen und Empfehlungen

	Abkürzung	Grundlage	Einheit	Vergleich mit
Tägliche Aufnahmemenge	DI	KG: 6,1 kg / 12 kg Verzehr: 800 ml / 1.200 ml	µg/kg KG/d	TDI, ADI, BMDL
Wöchentliche Aufnahmemenge	WI	KG: 6,1 kg / 12 kg Verzehr: 800 ml / 1.200 ml	µg/kg KG/Woche	TWI
Durchschnittliche Verzehrsmenge, maximale Verzehrsmenge	∅, MAX	Verzehr: 800 ml / 1.200 ml	µg/d	Empfohlene Zufuhr der DGE, sichere Aufnahmemenge, tolerierbare Aufnahmemenge, AI, UL, AR

Abkürzungen: ADI, Acceptable Daily Intake (Akzeptable tägliche Aufnahmemenge); AI, Adequate Intake (Adäquate Aufnahmemenge); AR, Average Requirement (Durchschnittlicher Bedarf); BMDL, Benchmark Dose Lower Confidence Limit; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; DI, Daily Intake (Tägliche Aufnahmemenge); KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; TDI, Tolerable Daily Intake (Tolerierbare tägliche Aufnahmemenge); TWI, Tolerable Weekly Intake (Tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge); UL, Upper Level (Oberes Limit); WI, Weekly Intake (Wöchentliche Aufnahmemenge); ∅, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge.

Der Vergleich der berechneten Aufnahme- und Verzehrsmengen mit tolerierbaren bzw. akzeptablen Aufnahmemengen sowie Empfehlungen kann nur als allgemeine Einschätzung auf Populationsebene bewertet werden. Dies liegt darin begründet, dass es sich erstens um theoretische Berechnungen basierend auf angenommenen Standard-Körpergewichten und täglichen Muttermilchaufnahmemengen handelt, da die genauen Gewichte und die Trinkmengen der Säuglinge zum Zeitpunkt der Probenahmen nicht bekannt waren, zweitens besonders bei Säuglingen ab 6 Monaten davon auszugehen ist, dass die untersuchten Metalle zusätzlich auch über Beikost und Getränke zugeführt wurden, und drittens die untersuchten Muttermilchproben einmalig zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Zeitraum von maximal 24 Stunden abgegeben wurden und deshalb nur die aktuelle Belastung widerspiegeln.

3 Untersuchte Substanzen

3.1 Aluminium

Mit einem Anteil von rund acht Prozent ist Aluminium (Al) das häufigste Metall in der Erdkruste und kommt vor allem in Form von Silikaten, Hydroxiden, Phosphaten und Sulfaten vor. Es gelangt sowohl durch natürliche Erosionsprozesse als auch durch anthropogene Aktivitäten in Boden und Wasser. Das Metall wird von Pflanzen aufgenommen, wodurch es auch in pflanzlichen Lebensmitteln vorkommt. Industriell wird Aluminium aus Bauxit gewonnen und in zahlreichen technischen und chemischen Anwendungen eingesetzt, darunter Legierungen, Verpackungen, Farben, Kosmetika und Arzneimittel sowie in der Wasseraufbereitung. Die Aufnahme kann über verschiedene Wege erfolgen, vor allem oral über Lebensmittel, jedoch auch dermal über kosmetische Produkte oder inhalativ (AGES, 2025a).

Die größte Menge an Aluminium nimmt die Allgemeinbevölkerung über die Nahrung auf, wichtige Quellen sind dabei Getreideprodukte, Backwaren, Milchprodukte, einige Gemüsesorten, Innereien, Meeresfrüchte und bestimmte Säuglingsnahrung. Dies liegt zum einen am natürlichen Vorkommen des Metalls in bestimmten Lebensmitteln, zum anderen trägt der Einsatz von Aluminiumverbindungen bei der Verarbeitung, der Verpackung und der Lagerung von Lebensmitteln sowie in Zusatzstoffen zur Aufnahme bei (AGES, 2025a; EFSA, 2008). Das deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung gibt als Aluminiumquellen auch Instant-Teegetränke, gemischte Rohkostsalate, Teegetränke und Kakao- und Schokoladenerzeugnisse an (BfR, 2020). Besonders aufgrund des leichten Gewichts und der guten Wärmeleitfähigkeit wird Aluminium in Koch- und Küchenutensilien wie beispielsweise Espressokochern, Backblechen oder Pfannen verwendet. Auch bei Lebensmittelverpackungen kommt es häufig zum Einsatz, z. B. in Getränkedosen, Mehrschichtverbunden (Tetra Pak), Folien und Menüschildern (AGES, 2025a). Bei einer unsachgemäßen Verwendung von beispielsweise Alufolie, Grillschalen aus Aluminium, unbeschichteten Alu-Menüschildern und -Geschirr kann es zu einer höheren Aufnahme von Aluminium kommen. Maßgeblich dafür ist die höhere Löslichkeit von Aluminium unter Säure- und Salzeinfluss, weshalb bestimmte saure oder salzhaltige Lebensmittel (z. B. aufgeschnittene Äpfel, Rhabarber, Tomaten, gesalzener Fisch, mariniertes Fleisch, Käse) nicht mit diesen Produkten in Kontakt kommen sollten (BfR,

2020). In kosmetischen Produkten kann Aluminium unter anderem in Deodorants enthalten sein (AGES, 2025a).

Nach der Aufnahme in den Körper verteilt sich Aluminium in alle Gewebe und reichert sich insbesondere in den Knochen an. Im Blut wird es hauptsächlich an das Transportprotein Transferrin gebunden und kann die Plazenta, den Fötus und das Gehirn erreichen. Es verweilt lange Zeit in den Organen, bevor es über den Urin wieder ausgeschieden wird (EFSA, 2008). Obwohl Aluminium weit verbreitet ist, gibt es kaum Hinweise darauf, dass die orale Aufnahme für den Menschen akut toxisch ist (WHO, 2022). Im Jahr 2008 leitete die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA für Aluminium eine tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) von 1 mg/kg KG/Woche ab (EFSA, 2008). Zu möglichen chronischen Wirkungen gibt es zahlreiche Studien und bereits 2014 hat das Bundesministerium für Gesundheit im Sinne des Vorsorgeprinzips empfohlen, die Aluminiumexposition der Verbraucherinnen und Verbraucher in körpernahen Bereichen (wie z. B. Kosmetika, Lebensmittel, Lebensmittelkontaktmaterialien) so weit wie möglich zu reduzieren (BMG, 2014).

3.2 Arsen

Arsen (As) ist ein toxisches Halbmetall, das in der Umwelt als Bestandteil zahlreicher Mineralien vorkommt und sich auch durch natürliche Prozesse wie Vulkanausbrüche verteilt. Der anthropogene Ursprung von Arsen liegt im Bergbau, in der Metallverarbeitung und der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Zudem wurde in der Vergangenheit Arsen in Pflanzenschutz-, Dünge- und Holzschutzmitteln verwendet, diese Anwendungen sind heute jedoch verboten (AGES, 2024a).

Arsen kommt in unterschiedlichen chemischen Formen vor, wobei anorganische Verbindungen als deutlich toxischer gelten. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stuft anorganisches Arsen, basierend auf dem nachweislich erhöhten Risiko für Haut-, Lungen- und Blasenkrebs, als für den Menschen kanzerogen ein (AGES, 2024a).

Für die Bevölkerung in Europa ist die Ernährung die Hauptquelle für Arsen – vor allem durch den Konsum von Reis und Reisprodukten, aber auch durch Getreide und Getreideerzeugnisse. Trinkwasser trägt hingegen weniger zur Gesamtaufnahme bei (EFSA, 2024a). Auch in Fisch und Schalentieren kann Arsen akkumulieren, wobei es sich dabei vorrangig um Arsen in seiner organischen Form – Arsenobetain – handelt, das weitaus

weniger schädlich ist (ATSDR, 2007). Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) sieht die Aufnahme von anorganischem Arsen über Lebensmittel weiterhin als gesundheitlich bedenklich an (EFSA, 2024a). Raucherinnen und Raucher sind durch den natürlichen Gehalt an anorganischem Arsen in der Tabakpflanze durch den Tabakrauch exponiert; die Belastung war jedoch früher erheblich höher, da Tabakpflanzen mit Insektiziden behandelt wurden, die Bleiarsonat enthielten (WHO, 2019a).

Die Verstoffwechslung von anorganischem Arsen im Körper ist ein komplexer Prozess, der hauptsächlich in der Leber stattfindet. Zuerst wird die weniger toxische Form Arsenat in die giftigere Form Arsenit umgewandelt. Daraufhin erfolgt die schrittweise Methylierung und die Ausscheidung als Monomethylarsonat und Dimethylarsinat (EFSA, 2024a). Anorganisches Arsen und seine methylierten Abbauprodukte werden hauptsächlich über den Urin ausgeschieden, wobei die Halbwertszeit im Körper etwa zwei bis drei Tage beträgt. Anorganisches Arsen kann die Plazentaschranke durchdringen. Im Gegensatz dazu gelangt nur ein sehr geringer Teil des anorganischen Arsens in die Muttermilch (AGES, 2024b). Eine akute orale Dosis von 1 bis 5 mg Arsen/kg KG kann tödlich sein und schädigt fast alle Organsysteme, insbesondere den Magen-Darm-Trakt, das Herz-Kreislauf-System, die Nieren und das Nervensystem. Eine chronische Aufnahme ist mit schweren Langzeitschäden verbunden, darunter Hautveränderungen, neurologische Störungen sowie Entwicklungsstörungen bei Föten und Säuglingen (EFSA, 2024a).

Die EFSA zog in ihrer Neubewertung von anorganischem Arsen im Jahr 2024 den BMDL05 (Benchmark Dose Lower Confidence Limit) von 0,06 µg/kg KG/d als Referenzpunkt heran. Dieser umfasst Hautkrebs als den kritischen gesundheitlichen Effekt. Anorganisches Arsen ist ein genotoxisches Karzinogen und hat zusätzlich epigenetische Wirkungen. Da hier theoretisch jede Exposition ein Risiko darstellen könnte, ist es schwer, einen sicheren Schwellenwert anzugeben. Deswegen wendet die EFSA den Ansatz der Margin of Exposure (MOE) an, um das Risiko auch ohne Grenzwert einschätzen zu können (EFSA, 2024a). Die Basis für die Berechnung des MOE ist der Quotient aus einem Referenzpunkt (z. B. eine Dosis, bei der eine messbare schädliche Wirkung beobachtet wird) und der tatsächlichen oder errechneten Exposition einer bestimmten Population (EFSA, 2023a). Das heißt, je größer die MOE, desto geringer ist die gesundheitliche Bedenklichkeit, da ein großer Sicherheitsabstand der Exposition zum toxikologischen Referenzpunkt besteht. Basierend auf Expositionsdaten ermittelte die EFSA MOE zwischen 2 und 0,4 für durchschnittliche erwachsene Konsumentinnen und Konsumenten und zwischen 0,9 und 0,2 als 95. Perzentile. Eine MOE von 1 würde gemäß EFSA einer Exposition entsprechen, die

gesundheitliche Bedenken aufwirft. In jüngeren Altersgruppen ist die Exposition mit anorganischem Arsen über die Nahrung höher und dementsprechend sind die MOE-Werte kleiner. Da dies aber laut Einschätzung der EFSA nicht zwingend bedeutet, dass Kinder einem höheren Risiko ausgesetzt sind, weil nämlich die Effekte auf langfristige Expositionen zurückzuführen sind, kommt die EFSA zum Schluss, dass Kinder von dieser Risikobeschreibung erfasst sind (EFSA, 2024a).

3.3 Blei

Blei (Pb) ist ein giftiges Schwermetall, das auf natürliche Weise unter in der Erdkruste vorkommt und durch Erosion von Gesteinen und durch Vulkane verteilt wird. Einen großen Anteil am Blei in der Umwelt haben anthropogene Aktivitäten, wie beispielsweise die Verhüttung und der Bergbau von Metallen sowie die Batterieherstellung. Auch Munition und Wasserleitungen können aus Blei bestehen. Früher wurde das Metall außerdem in Benzin und Farben verwendet (AGES, 2024c).

Blei kommt als anorganisches und organisches Blei vor. Die Aufnahme durch den Menschen erfolgt primär über Lebensmittel und Wasser sowie Boden, Luft und Staub. Durch den Staub sowie durch Niederschläge kann es auf Früchte und Blätter gelangen, weshalb besonders Obst sowie oberirdisch wachsendes Gemüse mit großen Oberflächen belastet sein können. Auch Lebensmittel tierischen Ursprungs, wie Wurst- und Fleischwaren, können – aufgrund von pflanzlichen, mit Blei kontaminierten Futtermitteln – eine Quelle darstellen. Weiters ist eine Aufnahme über Trinkwasser aus Bleileitungen möglich (AGES, 2024c). Durch die Jagd mit konventioneller Munition (Bleimunition) kann auch der Verzehr von Wildfleisch wie Reh, Hirsch oder Wildschwein eine Aufnahmequelle sein (BfR, 2011). Besonders für Kinder stellt außerdem die orale Aufnahme von kontaminiertem Boden und Staub eine Quelle dar (EFSA, 2025a).

Nach der Aufnahme in den Körper gelangt Blei ins Blut, wo es – gebunden an die roten Blutkörperchen – in Organe wie Leber, Niere und Gehirn transportiert wird und sich dort anreichert. Im Körper wird Blei besonders in den Knochen gespeichert, von wo es allmählich wieder ins Blut freigesetzt wird. Dies kann unter anderem besonders bei Veränderungen des Kalziumstatus während Schwangerschaft und Stillzeit erfolgen. Dadurch kann der Fötus über die Plazenta bzw. das Neugeborene über die Muttermilch einer Exposition ausgesetzt sein (AGES, 2024c; EFSA, 2025a).

Die akute Toxizität von Blei ist sehr gering (EFSA, 2025a). Eine chronische Exposition kann u. a. neurologische, renale, hämatologische, immunologische und reproduktionstoxische Effekte sowie Auswirkungen auf die Entwicklung haben (ATSDR, 2020). Besonders relevant sind die neurologischen Wirkungen: Eine chronische Exposition mit anorganischem Blei kann primär das zentrale Nervensystem betreffen. Besonders das sich entwickelnde Gehirn ist vulnerabel und es können bereits geringe Bleiexpositionen zu Neuroentwicklungsstörungen führen. Bei Erwachsenen kann es zur Störung der kognitiven Funktion (wie des Kurzzeitgedächtnisses), zu psychiatrischen Symptomen und motorischen Störungen kommen. Weiters wurden in Studien Zusammenhänge mit einem erhöhten Blutdruck und chronischen Nierenerkrankungen bereits bei geringen Bleimengen identifiziert (EFSA, 2025a). Für Blei existiert kein so geringes Level, dass es keine schädlichen Auswirkungen haben kann (EFSA, 2025a; WHO, 2024a): Nach aktuellem Wissensstand gibt es für bestimmte gesundheitliche Effekte wie der Neurotoxizität bei Kindern und u. a. der Nierentoxizität bei Erwachsenen keinen sicheren Schwellenwert. Im Jahr 2010 berechnete die EFSA BMDLs (Benchmark Dose Lower Confidence Limits) von 0,5 µg/kg KG/d für die Entwicklungsneurotoxizität bei Kleinkindern, von 1,5 µg/kg KG/d für die kardiovaskulären Effekte bei Erwachsenen und von 0,63 µg/kg KG/d für die Nierentoxizität bei Erwachsenen (EFSA, 2025a).

3.4 Cadmium

Cadmium (Cd) ist ein toxisches Schwermetall, das sowohl durch natürliche Prozesse wie Gesteinsverwitterung und vulkanische Aktivität als auch durch industrielle Emissionen, Metallverarbeitung, Abfallverbrennung und den Einsatz von Düngemitteln und Klärschlamm in die Umwelt gelangt. Bei Düngemitteln spielt der mineralische Phosphordünger aus sedimentären Rohphosphaten eine relevante Rolle, da diese von Natur aus Cadmium enthalten (UBA, 2025).

Cadmium liegt in der Regel nicht in metallischer Form, sondern als anorganische Verbindung wie Cadmiumchlorid, -oxid oder -sulfat vor. Über Boden und Wasser kann es von Pflanzen aufgenommen werden, wobei Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Anbauweise und Düngemiteinsatz die Aufnahme beeinflussen. In der Nahrungskette reichert sich Cadmium vor allem in tierischem und pflanzlichem Gewebe an (AGES, 2024d).

Tabakblätter nehmen von Natur aus hohe Mengen an Cadmium auf. Deshalb stellt das Rauchen von Zigaretten eine bedeutende Expositionsquelle dar. Dabei reichert sich Cadmium insbesondere in der Niere an (WHO, 2019b). Bei Nichtraucherinnen und Nichtrauchern erfolgt die Aufnahme hauptsächlich über die Ernährung, wobei nur ein geringer Anteil (3–5 %) des aufgenommenen Cadmiums tatsächlich resorbiert wird. Im menschlichen Körper wird das Metall jedoch über lange Zeiträume in Leber und Nieren gespeichert und weist eine biologische Halbwertszeit von 10 bis 30 Jahren auf. Besonders empfindlich reagiert das Nierengewebe, wo sich Cadmium im Verlauf einer chronischen Exposition ansammelt und zu Funktionsstörungen sowie sekundär zu einer Entmineralisierung der Knochen führen kann. Die IARC stuft Cadmium als krebserregend für den Menschen ein. Faktoren wie Eisenmangel, Mehrfachgeburten oder bestehende Vorerkrankungen können die Aufnahme und Toxizität zusätzlich begünstigen (EFSA, 2009). Nicht aufgenommenes Cadmium wird rasch über den Stuhl ausgeschieden, während bereits resorbiertes Cadmium sehr langsam aus dem Körper über Urin und Stuhl entfernt wird (Umweltbundesamt, 2011).

Besonders belastet können pflanzliche Lebensmittel wie Ölsaaten, Algen, Kakaobohnen, Getreide, Wildpilze, Nüsse und bestimmte Gemüsesorten sein. Auch tierische Lebensmittel wie Innereien und Meeresfrüchte können erhöhte Werte aufweisen. Jedoch tragen vor allem Lebensmittel, die regelmäßig und in größeren Mengen konsumiert werden, wie Getreide und Gemüse, am meisten zur Gesamtaufnahme bei (AGES, 2024d; WHO, 2019b).

Die EFSA hat für Cadmium eine TWI von 2,5 µg/kg KG festgelegt (EFSA, 2009).

3.5 Nickel

Nickel (Ni) ist ein natürlich vorkommendes Übergangsmetall in der Erdkruste, das sowohl über natürliche Prozesse als auch durch menschliche Einflüsse in Lebensmittel und Trinkwasser gelangen kann. Dabei tritt es meist in der stabilen zweiwertigen Form (Ni²⁺ bzw. Ni(II)) auf. Nickel ist ein Spurenelement, das der menschliche Körper benötigt und deshalb über die Nahrung aufgenommen werden muss. Eine zu hohe Aufnahme kann zu negativen gesundheitlichen Effekten führen. Besonders bei chronischer oraler Aufnahme sowie bei akuter sehr hoher Aufnahme kann es zu Vergiftungserscheinungen kommen. Weiters ist Nickel ein relevantes Kontaktallergen und häufigster Auslöser von solchen Allergien (AGES, 2021).

Nickel wird weltweit in großen Mengen für Edelstahl, Legierungen, Pigmente und Batterien verwendet. Es kommt in vielen Alltagsgegenständen wie Kochgeschirr, Schmuck, Geldmünzen, Kleidung und Metallspielzeug vor, wodurch eine Exposition nahezu unvermeidbar ist. Als Kontaktallergen darf es beispielsweise in Kosmetika nur in technisch unvermeidbaren Mengen enthalten sein. Pflanzliche Lebensmittel wie Nüsse, Vollkornprodukte und Hülsenfrüchte enthalten höhere Nickelgehalte, tierische Produkte sind vergleichsweise nickelarm. Die Aufnahme über die Ernährung, die Luft oder das Rauchen liegt bei 1–10 % und kann durch bestimmte Lebensmittel oder in der Schwangerschaft und Stillzeit variieren (AGES, 2021).

Nach der Aufnahme wird Nickel im gesamten Körper verteilt und kann die Plazentaschranke passieren. Ein Teil des Nickels wird – gebunden an Serumproteine wie Albumin – im Blut transportiert. Die Ausscheidung erfolgt primär über den Urin und teilweise auch über die Muttermilch. Studien zeigen, dass sich Nickel nach wiederholter oraler Einnahme nicht signifikant in den Geweben anreichert (EFSA, 2020b).

Eingeatmete Nickelsalze gelten als krebserregend für den Menschen, metallisches Nickel als möglicherweise krebserregend. Für die Aufnahme über die Ernährung ist kein Krebsrisiko nachgewiesen. Nickel kann Hautsensibilisierungen hervorrufen, wobei systemische Kontaktekzeme vor allem bei bereits sensibilisierten Personen auftreten (WHO, 2022).

Laut EFSA liegt die durchschnittliche tägliche Aufnahme von Nickel bei älteren Menschen bei etwa 1,9 µg/kg und bei Kleinkindern bis zu 14,6 µg/kg. Getreide und Getreideprodukte sind in allen Altersgruppen die Hauptquelle der Exposition, was auf die zentrale Rolle in der Ernährung zurückzuführen ist (EFSA, 2020b).

Die EFSA legt für Nickel eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) von 13 µg/kg KG/d fest. Der kritische Effekt für diese Ableitung umfasst ekzematöse Entzündungsreaktionen der Haut bei nickelempfindlichen Personen (systemische Kontaktdermatitis) bei akuter oraler Exposition (EFSA, 2020b).

3.6 Quecksilber

Quecksilber (Hg) ist ein Schwermetall, welches unter anderem durch Verwitterung von Gesteinen und durch vulkanische Aktivitäten natürlich in der Umwelt vorkommt.

Zusätzlich erfolgt ein Eintrag aus anthropogenen Quellen wie beispielsweise durch den Bergbau, Verbrennungsprozesse oder die Industrie (UBA, 2016a). Die vom Menschen verursachten Einträge machen den größten Anteil des Umwelteintrags aus (WHO, 2024b).

Quecksilber liegt in unterschiedlichen Formen vor. Diese umfassen elementares (metallisches) Quecksilber, anorganisches Quecksilber (z. B. Quecksilberchlorid) und organisches Quecksilber (z. B. Methylquecksilber). Alle diese Formen wirken toxisch auf das Nerven-, Verdauungs- und Immunsystem sowie auf Lunge, Niere, Haut und Augen. Besonders relevant ist das Methylquecksilber (MeHg), welches durch bestimmte Bakterien in der Umwelt aus anorganischem Quecksilber gebildet wird. Methylquecksilber ist bioakkumulierend und reichert sich über die Nahrungskette unter anderem in Fischen an (WHO, 2024b).

Alle Menschen sind zu einem gewissen Anteil mit Quecksilber exponiert und die Aufnahme in den Körper erfolgt vorrangig durch Einatmen von elementarem Quecksilber aus industriellen Prozessen und durch den Verzehr von bestimmten Lebensmitteln wie Fisch (WHO, 2024b). Weitere relevante Quellen sind Amalgamfüllungen (UBA, 2016a), berufliche Expositionen und Tabakrauch (Umweltbundesamt, 2012). Die Aufnahme in den Körper erfolgt inhalativ, oral oder über die Haut (WHO, 2024b). Quecksilber ist sowohl für Menschen als auch für Tiere toxisch und reichert sich im Körper an (UBA, 2016a). Eine hohe Exposition kann zu neurologischen Störungen sowie Verhaltensstörungen führen. Symptome sind hierbei unter anderem Tremor (Zittern), Gedächtnisverlust, Schlaflosigkeit, neuromuskuläre Effekte, Kopfschmerzen sowie kognitive und motorische Störungen. Auch die Niere kann in ihrer Funktion – bis hin zum Versagen – gestört werden. Anorganische Quecksilber-Salze sind für Haut, Augen und Verdauungstrakt ätzend und können bei oraler Aufnahme ebenfalls nierentoxisch wirken (WHO, 2024b).

Quecksilber ist bei nahezu allen Menschen im Blut oder Urin nachweisbar, wobei die gemessenen Gehalte so gering sind, dass üblicherweise kein Gesundheitsrisiko besteht. Dennoch ist es möglich, dass einzelne Personen bedenkliche Quecksilbermengen aufnehmen, unter anderem über den Verzehr von bestimmten Fischarten. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass sensible Bevölkerungsgruppen wie Schwangere bei ihrer Ernährung darauf achten, nicht zu häufig räuberischen Meeresfisch (z. B. Thunfisch) zu verzehren (UBA, 2016b).

Als Hauptquelle für die Belastung mit Methylquecksilber wurde laut EFSA in Europa für alle Altersgruppen Fisch identifiziert (vor allem Thunfisch, Schwertfisch, Kabeljau,

Weißfisch und Hecht). Bei Kindern kommt zu diesen Fischarten auch noch Seehecht hinzu. Es zeigte sich, dass die Belastung über Lebensmittel bei Verbraucherinnen und Verbrauchern mit einem häufigen und hohen Verzehr von Fisch im Vergleich zur Gesamtbevölkerung circa doppelt so hoch ist (EFSA, 2012b). Auch in Österreich wurde die Quecksilberbelastung in Fischen untersucht: Die AGES stellte Überschreitungen der gesetzlichen Quecksilber-Höchstgehalte unter anderem in Proben von Thunfischen und Schwertfischen fest (AGES, 2025b).

Für anorganisches Quecksilber und Methylquecksilber hat die EFSA eine TWI abgeleitet. Dieser liegt für anorganisches Quecksilber bei 4 µg/kg KG/Woche und für Methylquecksilber bei 1,3 µg/kg KG/Woche (EFSA, 2012c).

Die US-amerikanische Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) veröffentlichte 2024 ihren Bericht zur Bewertung von Quecksilber. Dabei wurden basierend auf aktuellen wissenschaftlichen Daten minimale Risikolevel (Minimal Risk Levels, MRL) abgeleitet. Diese beschreiben jene berechneten Mengen einer Substanz, die eine Person in einem bestimmten Zeitraum (kurzfristig, mittelfristig oder langfristig bzw. chronisch) verzehren bzw. einatmen kann, ohne dass ein messbares Gesundheitsrisiko feststellbar ist. Eine Exposition über dem entsprechenden MRL bedeutet aber noch nicht, dass gesundheitliche Probleme auftreten (ATSDR, 2024c). Für die mittelfristige Aufnahme von anorganischen Quecksilbersalzen wurde ein MRL von 0,01 µg/kg/d und für die chronische orale Aufnahme von organischem Quecksilber (Methylquecksilber) ein MRL von 0,1 µg/kg/d abgeleitet (ATSDR, 2024b).

Kürzlich erteilte die Europäische Kommission der EFSA ein Mandat zur Evaluierung des ATSDR-Berichts zu Quecksilber. Es soll überprüft werden, ob die Notwendigkeit einer TWI-Überarbeitung seitens der EFSA besteht, da einzelne MRL geringer als diese liegen (Jank, persönliche Mitteilung). Daraus könnten sich auch Auswirkungen auf die geplante Aktualisierung der Risiko-Nutzen-Bewertung des Fischverzehrs durch die EFSA ergeben (EFSA, 2014e; EFSA, 2015).

3.7 Metalle aus essenziellen Spurenelementen

Essenzielle Spurenelemente sind notwendig für den Körper, können jedoch bei zu hoher Aufnahme toxisch wirken (AGES, 2015). Nachfolgend sind die in der aktuellen Muttermilch-Studie untersuchten essenziellen Spurenelemente näher beschrieben.

3.7.1 Chrom

Chrom ist ein in der Umwelt weit verbreitetes Element, das in der trivalenten (Cr(III)) und hexavalenten Form (Cr(VI)) vorkommt. Es entstammt sowohl natürlichen als auch anthropogenen Quellen. Industriell wird Chrom bei der Gerbung von Leder, in Pigmenten, Keramik, Glas und Chromlegierungen eingesetzt. Die Hauptexposition der Allgemeinbevölkerung erfolgt über Luft, Wasser, Nahrung und Hautkontakt, wobei Menschen in der Nähe industrieller Anlagen oder Deponien am stärksten mit Cr(VI) exponiert sind. Cr(III) kommt vor allem in Lebensmitteln wie Fleisch, Fisch, Meeresfrüchten, Getreideprodukten sowie in einigen Früchten und Gemüsesorten vor, wobei frische Lebensmittel meist geringe Mengen aufweisen (WHO, 2020).

Cr(III) gilt zwar als essenzielles Spurenelement, da es vermutlich für die Wirksamkeit von Insulin bei der Stoffwechselregulierung von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen notwendig ist (WHO, 2020), die Mechanismen für diese Funktion sowie die wesentlichen Funktionen im Stoffwechsel sind aber noch nicht belegt. In Tiermodellen hat sich gezeigt, dass es zu einem Cr(III)-Mangel keine konsistenten Ergebnisse und keine Hinweise auf die Essenzialität gibt. Die EFSA verweist in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme zu Chrom darauf, dass die Annahme, dass Cr(III) für den Menschen essenziell ist, fast ausschließlich auf Fallberichten beruht: Beim Menschen gibt es Hinweise auf Verbesserungen im Zusammenhang mit einer Supplementierung bei Patientinnen und Patienten unter parenteraler Ernährung, aber die Daten liefern insgesamt keine ausreichenden Informationen. Die EFSA kommt in ihrer Bewertung zum Schluss, dass weder ein durchschnittlicher Bedarf noch Referenzwerte für eine Aufnahme von Cr(III) definiert werden können und dass es keine Hinweise auf positive Auswirkungen der Aufnahme bei gesunden Personen gibt (EFSA, 2014a).

Laut Studien zeigte eine Chromaufnahme von bis zu 1 mg/d keine schädliche Wirkung. Die EFSA leitet für Cr(III) eine TDI von 300 µg/kg KG/d ab (EFSA, 2014a).

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) und die Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) geben folgende Schätzwerte für eine angemessene Cr(III)-Zufuhr an: 1-10 µg/d für Säuglinge im Alter von bis zu 4 Monaten, 20–40 µg/d für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten und 20–60 µg/d für Kinder im Alter von 1 bis 4 Jahren (DGE, 2025).

Hinsichtlich des Cr(VI) wird davon ausgegangen, dass der Großteil der oral aufgenommenen Menge im Magen zu Cr(III) reduziert wird, welches eine schlechte Bioverfügbarkeit aufweist und nur schwer in Zellen aufgenommen werden kann. Im

Gegensatz zu Cr(III) kann Cr(VI) die Zellmembran durchdringen (EFSA, 2014b). Die Toxizität von Chrom hängt von seiner Oxidationsstufe und dem Aufnahmeweg ab. Während Cr(III) als kaum toxisch gilt, ist Cr(VI) toxisch (WHO, 2020). Die IARC klassifiziert Cr(VI) als kanzerogen für den Menschen. Nach der Aufnahme von Cr(VI) in die Zelle erfolgt die Reduktion zu Cr(III), wobei Chrom-DNA-Addukte gebildet werden und oxidativer Stress entsteht. Beide Wirkmechanismen können zur Genotoxizität und Karzinogenität von Cr(VI) beitragen. Für Substanzen, die sowohl genotoxisch als auch kanzerogen sind, empfiehlt die EFSA die Anwendung des MOE-Approach (vgl. 3.2). Als Referenzpunkt wird ein BMDL10 für kombinierte Adenome und Karzinome des Dünndarms bei Mäusen von 1 mg Cr(VI)/kg KG/d angenommen (entspricht 1.000 µg/kg KG/d). Eine MOE von 10.000 oder höher ist weniger bedenklich (EFSA, 2014b).

3.7.2 Eisen

Eisen (Fe) ist ein in Mineralien und Böden vorkommendes Metall, das zu den häufigsten Metallen der Erdkruste zählt und für die meisten Lebewesen ein essenzielles Spurenelement darstellt. Als zentraler Bestandteil des Hämoglobins in roten Blutkörperchen ermöglicht es den Transport von Sauerstoff von der Lunge zu den Körpergeweben („Häm-Eisen“). Weiters ist es Bestandteil von vielen Stoffwechsellzymen, die für das Nervensystem, das Immunsystem und die Entgiftung wesentlich sind. Im Körper gibt es bestimmte Speicher und Transportsysteme für Eisen, ein Teil des aufgenommenen Metalls wird wieder ausgeschieden (LGL, 2020c).

Eisen kann über tierische und pflanzliche Lebensmittel aufgenommen werden, wobei eine Aufnahme von Häm-Eisen (zweiwertiges Eisen) mit einer Aufnahmerate von 20–30 % leichter erfolgt. Häm-Eisen findet sich in tierischen Lebensmitteln wie Fleisch, Fisch, Wild und Geflügel. Die Aufnahme von Eisen aus pflanzlichen Lebensmitteln (dreiwertiges Eisen) erfolgt hingegen nur mit Aufnahmeraten von wenigen Prozentpunkten, da hier Eisen-Verbindungen vorliegen, die schlechter resorbiert werden. Die Aufnahme kann aber in Kombination mit Vitamin C verbessert werden (LGL, 2020c; DGE, 2023).

Zu einem Eisenmangel kann es durch Blutverlust, chronische Blutungen, erhöhten Bedarf (z. B. in der Schwangerschaft oder in Wachstumsphasen bei Säuglingen und Jugendlichen), durch eine mangelnde Aufnahme in den Körper (z. B. bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen) oder durch eine zu geringe Zufuhr über die Ernährung (z. B. durch Fehlernährung) kommen. Dies kann zur Eisenmangelanämie führen, bei welcher es unter anderem zu einem eingeschränkten Sauerstofftransport und einer verminderten

Sauerstoffversorgung im Körper kommt. Typische Symptome sind u. a. blasse Haut und Schleimhäute, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Leistungsminderung, Restless-Leg-Syndrom, Tachykardie und Entzündungen der Mundschleimhaut (BMASGPK, 2025).

Eine zu hohe systemische Eisen-Aufnahme kann toxisch auf Organe wirken. In ihrer Bewertung der Aufnahme von Eisen schlussfolgerte die EFSA aber, dass eine obere Grenze für die Aufnahme nicht festgelegt werden kann. Gesunde und termingerecht geborene Säuglinge können ihren Bedarf nach der Geburt nahezu ausschließlich über den vorhandenen Speicher decken. Wenn dieser erschöpft ist, steigt der Bedarf aus der Nahrung stark an und Säuglinge haben einen besonders hohen Eisenbedarf. Grundsätzlich hält die EFSA fest, dass für Säuglinge keine sichere Zufuhr von Eisen aus allen Aufnahmequellen festgelegt werden kann, da zuverlässige Daten dazu noch fehlen. Sie nennt aber sichere Aufnahmemengen für die zusätzliche (supplementierte) Eisenzufuhr. Unter supplementiertem Eisen wird hier die Eisen-Aufnahme aus angereicherten Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln verstanden, nicht aber Aufnahme aus Anfangsnahrung, Folgenahrung sowie aus Muttermilch. Die sicheren Aufnahmemengen für supplementiertes Eisen liegen bei Säuglingen im Alter von 4–11 Monaten, die einen höheren Bedarf haben, bei 5 mg/d sowie für Kinder im Alter von 1–3 Jahren bei 10 mg/d (EFSA, 2024b).

Die DGE und ÖGE geben folgende Schätzwerte für eine empfohlene Eisenzufuhr an: 0,3 mg/d für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten (gilt nicht für Unreifgeborene), 11 mg/d für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten und 7 mg/d für Kinder von 1–4 Jahren (DGE, 2025).

3.7.3 Kobalt

Kobalt (Co) ist ein natürlich vorkommendes Übergangsmetall. Es hat ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie Nickel und Eisen. In der Umwelt wird es auf natürliche Weise u. a. durch die Verwitterung von Gesteinen, Vulkanausbrüche und Waldbrände verteilt. Die primären anthropogenen Quellen sind fossile Brennstoffe, die Klärschlammaufbringung, Düngemittel, Bergbau und die Industrie (ATSDR, 2024a). Der industrielle Einsatz ist dabei vielfältig: Kobalt findet u. a. Verwendung in hitzeresistenten Legierungen und Hartmetallen, es dient als Katalysator bei chemischen Reaktionen und wird beim Schleifen und Schweißen eingesetzt. Weiters erfolgt der Einsatz in orthopädischen Medizinprodukten als Gelenksprothesen. Auch in Farben, in Lederwaren, Werkzeug, Modeschmuck, Porzellan und Piercings kann Kobalt enthalten sein und führt

zur blauen Farbgebung (LGL, 2020a). Eine relevante Quelle stellen auch wiederaufladbare Batterien dar. Weiters wird Kobalt als Futtermittelzusatzstoff verwendet (ATSDR, 2024a).

Kobalt(III) ist ein zentraler Bestandteil des essenziellen Vitamins Cobalamin (Vitamin B12), das für die Blutbildung und die Funktion des Nervensystems wichtig ist (EFSA, 2012d; WHO, 2006). Bei hohen Expositionen kann Kobalt jedoch gesundheitsschädlich sein (OECD, 2020). Kobalt(II) ist genotoxisch und hat CMR-Eigenschaften (kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch) (EFSA, 2012d). Bei Kontakt mit kobalthaltigen Gegenständen kann es zu Hautausschlägen, Hautrötungen und Akne kommen. Weiters kann es, ähnlich wie bei Nickel, zu einer allergischen Kontakt-Dermatitis führen. Eine chronische Aufnahme von Kobaltsalzen in großen Mengen von 20–500 mg/d ist mit Veränderungen im Blutbild, einer Schilddrüsenunterfunktion und einer Verschlechterung des Hör- und Sehvermögens assoziiert. Berufliche Expositionen wie das Arbeiten an Metallarbeitsplätzen stehen in Zusammenhang mit einer erhöhten Häufigkeit an Lungenkrebsfällen, wenn jahrelanger Kontakt mit kobalthaltigen Stäuben erfolgt ist (LGL, 2020a). Die IARC stuft metallisches Kobalt und lösliche Kobalt(II)-Salze als wahrscheinlich kanzerogen für den Menschen (Gruppe 2A) sowie Kobalt(II)oxid als möglicherweise kanzerogen für den Menschen (Gruppe 2B) ein (IARC, 2022).

Kobalt kommt im Boden in vielen Mineralien in Form verschiedener Salze vor und kann von Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden und so in Lebensmittel gelangen. Die relevanteste Aufnahmequelle ist die Ernährung, wobei das aufgenommene Kobalt meist in anorganischer Form vorliegt. Grünes Gemüse und frisches Getreide sind die kobaltreichsten Lebensmittel, während Milchprodukte und raffinierter Zucker am wenigsten Kobalt enthalten. Zusätzliche Expositionen können durch Rauchen und insbesondere durch berufliche Tätigkeiten z. B. in der Hartmetallherstellung oder beim Schweißen entstehen (LGL, 2020a).

Beim Menschen ist kein Kobaltmangel bekannt (Meißner und Arndt, 2017). Nach EFSA liegt für Erwachsene der gesundheitsbasierte Leitwert bei 0,0016 mg/kg KG/d für die orale Kobalt-Aufnahme (EFSA, 2012d). Einen eigenen DGE-Referenzwert für Kobalt gibt es nicht.

3.7.4 Kupfer

Das Übergangsmetall Kupfer (Cu) ist ein essenzielles Spurenelement, bei dem sowohl ein Mangel als auch eine zu hohe Aufnahme zu negativen gesundheitlichen Effekten führen kann (EFSA, 2023b). In der Umwelt kommt Kupfer primär als Sulfid- oder Oxidmineral in

Erzen vor und wird durch Bergbau, Verwitterung und Erosion verteilt. Aufgrund seiner Eigenschaften wird es unter anderem in Rohren, elektrischen Leitungen, Armaturen, Farbstoffen, Baumaterialien und in der Pyrotechnik verwendet. Ein weiteres relevantes Einsatzgebiet ist der Pflanzenschutz, wo Kupfer sowohl in der biologischen als auch der konventionellen Landwirtschaft zur Schädlingsbekämpfung verwendet wird (EFSA, 2023b; LGL, 2025). Weiters ist Kupfer in Lebensmittelverpackungen und verschiedenen Kochutensilien zu finden (LGL, 2025).

Hauptaufnahmequellen für den Menschen sind Lebensmittel und Wasser (WHO, 2022). Lebensmittel mit höheren Kupfergehalten sind unter anderem Nüsse und Ölsaaten, Kakao, Weizenkeime und -kleie, Hülsenfrüchte, tierische Innereien und bestimmte Käsesorten. Auch Trinkwasser kann eine Kupferquelle sein: Wenn Leitungen aus Kupfer bestehen, kann das Metall in Abhängigkeit vom pH-Wert in das Wasser übergehen (LGL, 2025).

Im Körper ist Kupfer am Eisenstoffwechsel beteiligt und Bestandteil vieler Enzyme und Proteine. Es spielt besonders bei Oxidations- und Reduktionsprozessen eine wichtige Rolle (BfR, 2023). Ungefähr die Hälfte des aufgenommenen Kupfers wird vom Körper adsorbiert, der Rest wird über die Galle ausgeschieden. Ein chronischer Mangel kann zu Anämie, neurologischen Störungen, Störungen des Knochenstoffwechsels, Haut- und Haarveränderungen und zu einem erhöhten Aneurysma-Risiko führen. Nicht nur ein Mangel, sondern auch ein chronischer Überschuss kann die Gesundheit beeinträchtigen. Grundsätzlich gibt es im Körper Mechanismen (die Kupferhomöostase), die bei einem Überschuss die Kupferaufnahme verringert und die Ausscheidung erhöht. Bei einer chronisch hohen Aufnahme kann es zu einer Überlastung dieser Mechanismen kommen. Eine chronische Kupfer-Vergiftung steht mit der Wilson-Krankheit in Verbindung, bei der aufgrund einer genetischen Störung die Ausscheidung von Kupfer beeinträchtigt ist. Durch die Ansammlung von Kupfer in der Leber kann es zu Leberschäden kommen. Besonders gefährdet sind Säuglinge und kleine Kinder, da sie noch keinen vollständig entwickelten Mechanismus zur Ausscheidung von Kupfer entwickelt haben (LGL, 2025).

Die DGE und ÖGE geben als Schätzwerte für eine angemessene Kupferzufuhr 0,2-0,6 mg/d für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten und 0,6–0,7 mg/d für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten an. Für Kinder im Alter von 1–4 Jahren liegt der Schätzwert bei 0,5-1,0 mg/d (DGE, 2025).

Die EFSA leitet eine akzeptable tägliche Aufnahmemenge (ADI) von 0,07 mg/kg KG/d ab. Da Kinder in der Wachstumsphase einen höheren Nährstoffbedarf haben, geht sie davon

aus, dass bei einer Kupfer-Belastung bis zur ADI sowohl eine Kupfer-Retention in der Leber als auch andere schädliche Auswirkungen unwahrscheinlich sind (EFSA, 2023b).

3.7.5 Mangan

Mangan (Mn) ist ein Übergangsmetall, das – meist zusammen mit Eisen – häufig in der Erdkruste vorkommt. Es wird vor allem für Stahl- und Eisenlegierungen genutzt, findet aber auch Anwendung in Düngemitteln, Tierfutter, Fungiziden, Lacken und Keramikglasuren (WHO, 2021). Mangan ist ein essenzielles Spurenelement und Bestandteil von Metalloenzymen, die im Stoffwechsel von Aminosäuren, Fetten und Kohlenhydraten eine wichtige Rolle spielen. Zu den Lebensmitteln, die reich an Mangan sind, zählen u. a. Nüsse, Schokolade, Getreideprodukte, Krebs- und Weichtiere, Hülsenfrüchte und Obst. Grundsätzlich ist die Absorption von Mangan aus dem Darm gering (<10 %), außerdem wird es schnell wieder über die Galle und weiter über den Stuhl ausgeschieden (EFSA, 2013a).

Bei Tieren wurden bei einem Mangel Wachstumsstörungen, Skelettanomalien, Fortpflanzungsstörungen, Ataxie bei Neugeborenen und Störungen des Fett- und Kohlenhydratstoffwechsels beobachtet. Im Gegensatz dazu gibt es beim Menschen nur wenige Hinweise auf einen Manganmangel und ein spezifisches Mangel-Syndrom wurde beim Menschen nicht beschrieben. Eine exzessive Aufnahme kann zu Manganismus, einer permanenten neurologischen Störung, führen (EFSA, 2013a).

Die EFSA veröffentlichte 2013 adäquate Aufnahmen (Adequate Intake, AI) in einem Bereich von 0,02–0,5 mg/d für Säuglinge im Alter von 7–11 Monaten. Diese Daten sollen die große Bandbreite an Mangan-Aufnahmen widerspiegeln, welche als angemessen erscheinen. Für Kinder im Alter von 1–3 Jahren liegt die adäquate Aufnahme für Mangan bei 0,5 mg/d (EFSA, 2013a).

Ein oberes Limit für die Mangan-Aufnahme konnte von der EFSA nicht abgeleitet werden. Es wurden aber sichere Aufnahmemengen ermittelt. Diese beziehen sich auf die Aufnahme aus allen Nahrungsquellen einschließlich angereicherter Lebensmittel und Nahrungsergänzungsmittel. Für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten ist die sichere Aufnahme bei 2 mg/d und bei Kindern im Alter von 1–3 Jahren bei 4 mg/d festgelegt (EFSA, 2023c).

Der DGE/ÖGE-Referenzwert für eine angemessene Manganzufuhr (Schätzwert) liegt bei Säuglingen im Alter von 5–12 Monaten bei 0,6–1,0 mg/d und bei Kindern im Alter von 1–4 Jahren bei 1,0–1,5 mg/d. Für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten liegt kein Referenzwert vor (DGE, 2025).

3.7.6 Molybdän

Molybdän (Mo) ist ein essenzielles Spurenelement und im Körper wesentlicher Bestandteil einiger wichtiger Enzyme, die am Stoffwechsel aromatischer Aldehyde und am Katabolismus schwefelhaltiger Aminosäuren und heterocyclischer Verbindungen wie beispielsweise Purinen beteiligt sind. Molybdän kommt in fast allen Lebensmitteln in Spuren vor, insbesondere in Hülsenfrüchten, Getreideprodukten, Innereien und Nüssen, wobei Getreideprodukte den größten Beitrag zur Aufnahme bei Erwachsenen leisten. Beim gesunden Menschen wurden keine Symptome eines Mangels beobachtet (EFSA, 2013b).

Die EFSA schlägt eine adäquate Molybdän-Aufnahmemenge für Säuglinge im Alter von 7–11 Monaten von 10 µg/d vor. Dieser Wert wurde aus den adäquaten Aufnahmemengen für Erwachsene extrapoliert, da für Säuglinge und Kinder kein durchschnittlicher Bedarf ermittelt werden konnte. Als oberes Limit für die Aufnahme von Molybdän wurde im Jahr 2000 von der EFSA für Kinder ab einem Jahr ein Wert zwischen 100 und 500 µg/d festgelegt (EFSA, 2013b).

Die DGE und ÖGE geben folgende Schätzwerte für eine angemessene Molybdänzufuhr an: 7 µg/d für Säuglinge im Alter von bis zu 4 Monaten, 20–40 µg/d für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten und 25–50 µg/d für Kinder im Alter von 1–4 Jahren (DGE, 2025).

3.7.7 Selen

Selen (Se) ist ein Halbmetall, das sowohl in anorganischer als auch in organischer Form in der Umwelt vorkommt. Als essenzielles Spurenelement ist es Bestandteil der Aminosäuren Selenomethionin und Selenocystein und damit Teil von Proteinen und Enzymen (LGL, 2020b), die unter anderem an der Regulation der Schilddrüsenhormone und am antioxidativen Schutz gegen freie Radikale beteiligt sind. Weiters ist Selen ein Baustein von Spermien (BMASGPK, 2024b).

Viele Lebensmittel enthalten Selen in geringen Mengen. In pflanzlichen Lebensmitteln können die Gehalte stark schwanken, da diese vom pH-Wert des Bodens abhängen. Gute Selenquellen sind Fleisch, Fisch und Eier, aber auch Pilze, Paranüsse, Spargel, Kohl- und Zwiebelgemüse sowie Linsen (BMASGPK, 2024b; LGL, 2020b).

Eine extrem hohe Aufnahme an Selen kann zu einer Vergiftung führen, die sich durch Herzversagen und Kammerflimmern äußern und bis zum Tod führen kann. Mögliche Folgen einer chronisch zu hohen Selenaufnahme sind Haarausfall, Verlust von Nägeln, Störungen des Nervensystems, Gelenkschmerzen, Müdigkeit, Übelkeit und Durchfall. Ein Zuviel an Selen kann sich auch durch einen Atemgeruch nach Knoblauch äußern. Ein Selenmangel durch eine zu geringe Aufnahme ist in Europa im Allgemeinen selten, kann aber bei sehr einseitigen Ernährungsweisen, wie beispielsweise einem schlecht durchgeführten Veganismus, auftreten. Eher entsteht ein Mangel bei einer gestörten Aufnahme in den Körper oder einem hohen Verlust (z. B. bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen, Mukoviszidose, Kurzdarmsyndrom, Niereninsuffizienz oder chronischer Dialyse). Ein Selenmangel kann sich unter anderem durch Muskelfunktionsstörungen, Beeinträchtigungen des Immunsystems und Störungen der Spermienbildung äußern. Ein Mangel in der Schwangerschaft kann zu einem verringerten Geburtsgewicht, Präeklampsie und Fehlgeburten führen (BMASGPK, 2024b).

Die EFSA leitete Referenzwerte für die Selen-Zufuhr über die Ernährung ab. Sowohl für Säuglinge im Alter von 7–11 Monaten als auch für Kinder im Alter von 1–3 Jahren liegt die adäquate Aufnahmemenge bei 15 µg/d (EFSA, 2014c). Weiters leitete die EFSA tolerierbare obere Aufnahmemengen für Selen ab, diese liegen bei Säuglingen im Alter von 4–6 Monaten bei 45 µg/d, bei Säuglingen im Alter von 7–11 Monaten bei 55 µg/d sowie bei Kindern im Alter von 1–3 Jahren bei 70 µg/d (EFSA, 2023d).

Grundsätzlich ist der genaue Selenbedarf nicht bekannt (BMASGPK, 2024b). Der von DGE und ÖGE empfohlene Schätzwert für eine angemessene Zufuhr liegt für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten bei 10 µg/d und für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten sowie für Kinder im Alter von 1–4 Jahren bei 15 µg/d (DGE, 2025).

3.7.8 Zink

Zink (Zn) ist ein Übergangsmetall und essenzielles Spurenelement, welches als Bestandteil und Aktivator vieler Enzyme im Körper an einer Reihe von Prozessen beteiligt ist. Dazu zählen der Auf- und Abbau von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen, das Empfinden von

Geschmack und Appetit sowie das antioxidative Schutzsystem gegen freie Radikale. Weiters spielt Zink eine relevante Rolle im Wachstum, für das Immunsystem, die sexuelle Entwicklung und die Reproduktion. Im Körper kann es nur begrenzt gespeichert werden, weshalb die Zufuhr über die Ernährung essenziell ist. Vor allem Fleisch (Rind, Schwein, Geflügel), Eier, Milch und Käse sind gute Zink-Lieferanten. Generell kann Zink aus tierischen Lebensmitteln besser als aus pflanzlichen aufgenommen werden. Eine gute pflanzliche Quelle stellen aber auch Vollkorngetreideprodukte dar (BMASGPK, 2024c).

Ein Zinkmangel kann durch eine sehr einseitige Ernährung oder durch Störungen der Aufnahme im Darm (z. B. bei chronischem Durchfall, künstlicher Ernährung oder bei großflächigen Verbrennungen) auftreten. Weiters liegt während der Wachstumsphase, in der Schwangerschaft und in der Stillzeit ein erhöhter Bedarf vor, was eine Unterversorgung begünstigen kann. Ein Mangel an Zink äußert sich unter anderem in einem verminderten Geschmackempfinden, Appetitlosigkeit, Hautveränderungen, gestörter Wundheilung, Haarausfall, Wachstumsverzögerungen, Infektanfälligkeit, Störungen in der männlichen Sexualentwicklung und Fruchtbarkeit sowie neuropsychischen Störungen. Auch eine zu hohe Zufuhr kann zu negativen gesundheitlichen Effekten führen. In sehr hohen Mengen ist Zink toxisch und führt unter anderem zu Störungen im Magen-Darm-Trakt und zu Fieber. Bei einer chronisch zu hohen Zufuhr kommt es zur hypochromen Anämie oder Neutropenie (BMASGPK, 2024c).

Die EFSA berechnete den durchschnittlichen Zinkbedarf (Average Requirement), der über die Ernährung abzudecken ist. Für Kinder ab 7 Monaten liegt dieser durchschnittliche Bedarf bei 2,4 mg/d und für Kinder von 1–3 Jahren bei 3,6 mg/d. Weiters wird eine Referenzaufnahme (Population Reference Intake) von 2,9–14,2 mg/d für Säuglinge und Kinder angegeben (EFSA, 2014d).

Der DGE-Referenzwert (Schätzwert) für die empfohlene Zinkzufuhr bei Säuglingen im Alter von 0–4 Monaten liegt bei 1,5 mg/d und bei Säuglingen im Alter von 4–12 Monaten bei 2,5 mg/d. Bei Kindern (1–4 Jahre) ist eine empfohlene Zufuhr von 3 mg/d angegeben (DGE, 2019).

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Studienpopulation

Untersucht wurden Muttermilchproben von insgesamt 150 Studienteilnehmerinnen im Alter von 21–44 Jahren (Mittelwert±Standardabweichung: 32,5±3,9 Jahre). Die Abgabe der Proben erfolgte im Zeitraum 2021 bis 2025 (Abbildung 1). Die größte Anzahl der teilnehmenden Mütter lebte zum Zeitpunkt der Probenahme in Wien (n=45), gefolgt von Niederösterreich (n=36). Die Verteilung über die Bundesländer ist in Abbildung 2 dargestellt. Des Weiteren wohnte die Mehrheit der Studienteilnehmerinnen bei der Probenahme in einer Stadt (49 %) oder Vorstadt (15 %), während in ländlicher Wohnumgebung 35 % der teilnehmenden Mütter lebten. Diese Verteilung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die anthropometrischen Daten der Studienteilnehmerinnen umfassten Körpergrößen im Bereich von 150–184 cm (157±5,8 cm), Körpergewichte im Bereich von 45–105 kg (66,8±10,5 kg) sowie Body Mass Indices (BMI) im Bereich von 17,2–34,3 kg/m² (23,7±3,3 kg/m²).

Abbildung 1 Verteilung (Anzahl) der Studienteilnehmerinnen (n=150) nach Jahr der Probenahme

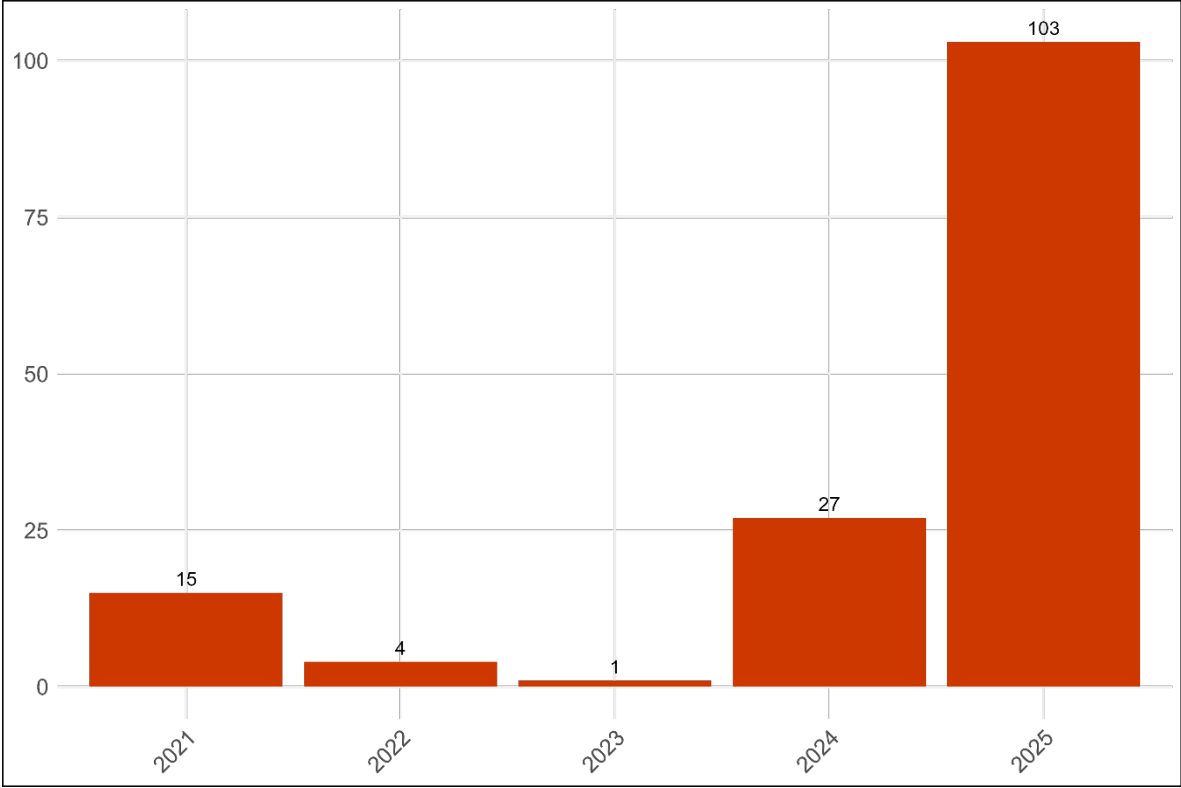


Abbildung 2 Verteilung (Anzahl) der Studienteilnehmerinnen (n=150) nach Bundesland

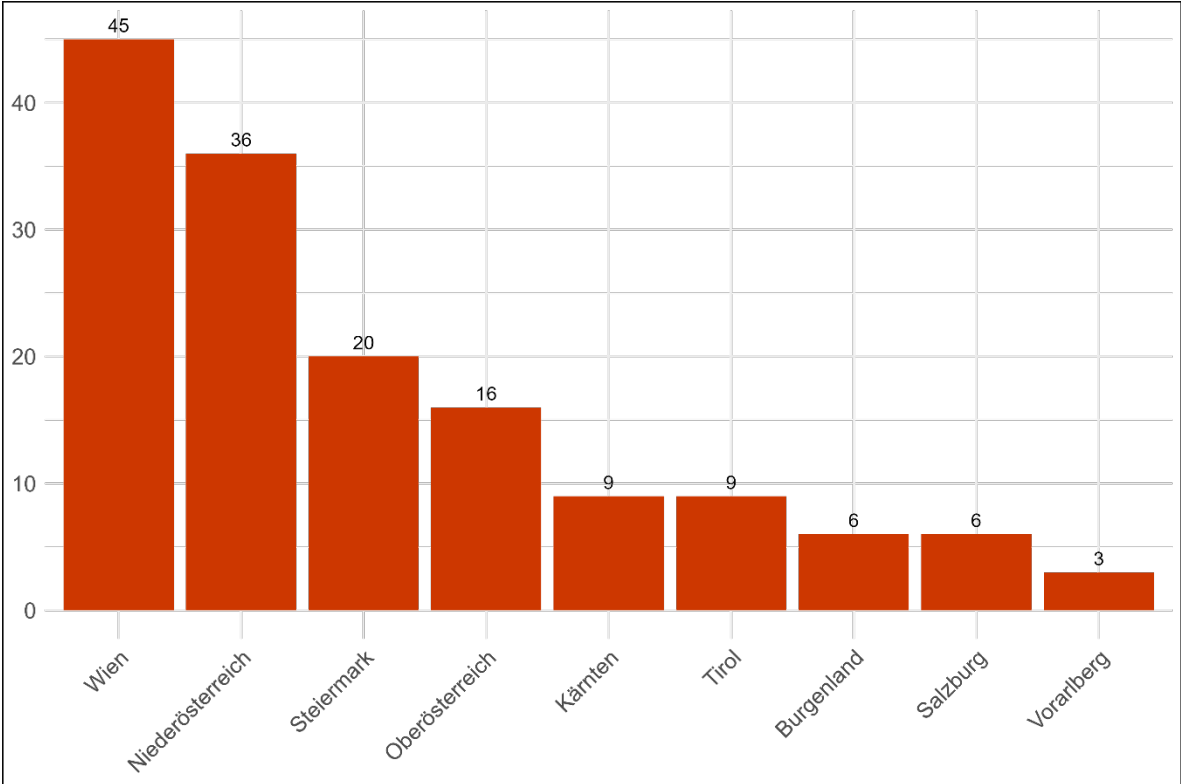
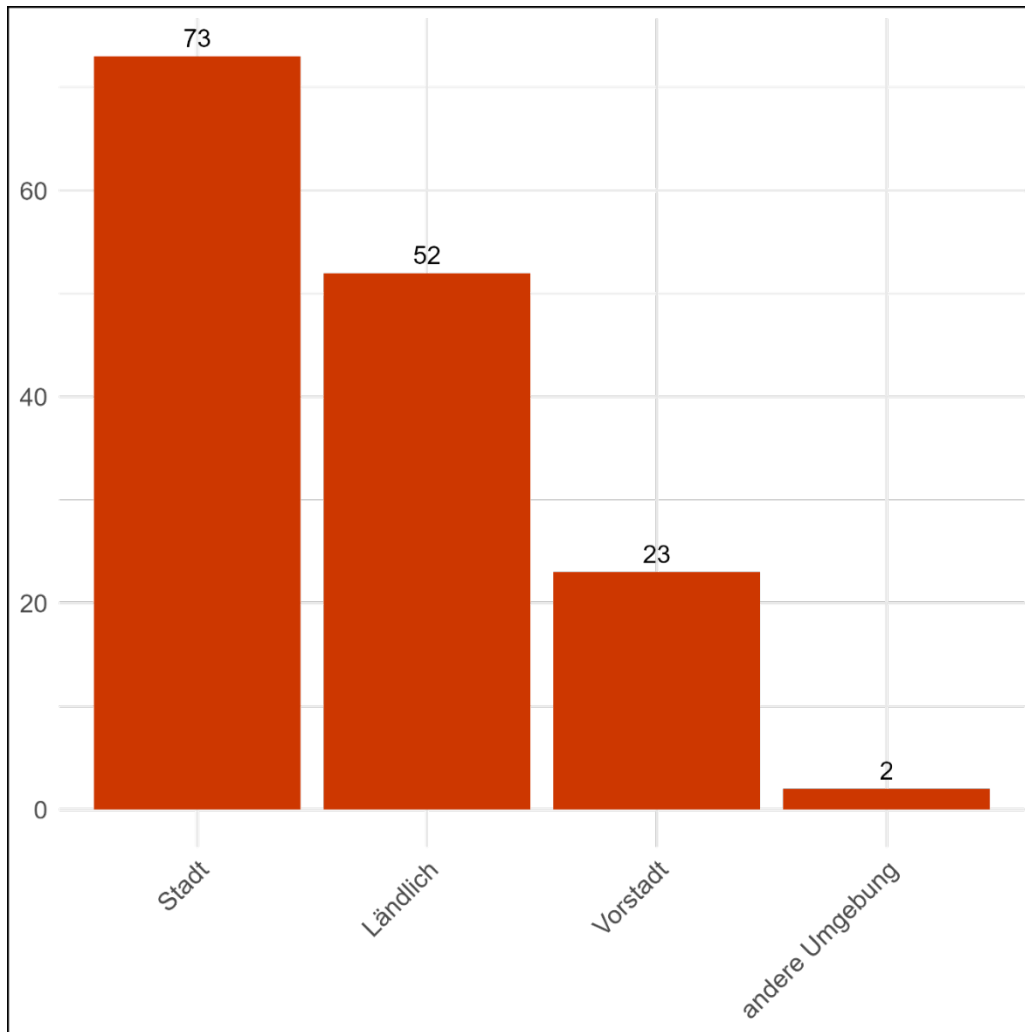
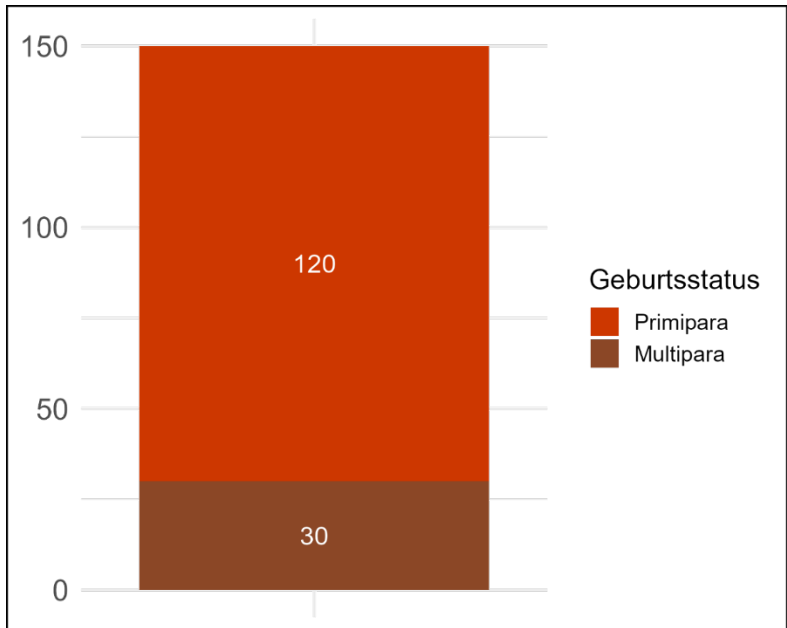


Abbildung 3 Verteilung (Anzahl) der Teilnehmerinnen (n=150) nach Wohnumgebung



80 % der Studienteilnehmerinnen waren erstgebärende Mütter ohne Mehrlingsgeburt (Primipara) und 20 % der Studienteilnehmerinnen hatten bereits vorher zumindest ein Kind geboren (Multipara) (Abbildung 4).

Abbildung 4 Verteilung (Anzahl) erstgebärende (Primipara) und nicht erstgebärende (Multipara) Studienteilnehmerinnen



Die untersuchten Muttermilchproben wurden zwischen der zweiten und der 114. Woche nach der Geburt des Kindes genommen. Im Durchschnitt lag das Alter des Säuglings bei der Probenahme bei 22,6 Wochen. Die überwiegende Mehrheit der Probenahmen erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem die Säuglinge unter vier Monate alt waren (n=81), gefolgt von 4–12 Monaten nach der Geburt (n=49) und über einem Jahr (n=17). Bei drei Proben war das Alter des Säuglings bei der Probenahme unbekannt.

4.2 Exposition und Bewertung

Alle der insgesamt 14 untersuchten Metalle wurden in zumindest einer der analysierten Muttermilchproben nachgewiesen. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 3. Die essenziellen Spurenelemente Eisen, Kupfer, Selen und Zink konnten dabei in allen untersuchten Proben detektiert werden. Die höchsten Konzentrationen wurden für Zink identifiziert, wobei Werte bis zu 7.300 µg/l Muttermilch ermittelt wurden (Median: 1.300 µg/l). Bei den Schwermetallen lagen die Anteile der Nachweise in den Proben zwischen 2,7 % für Arsen und 89 % für Quecksilber. Die höchste Maximalkonzentration von 910 µg/l wurde in einer Muttermilchprobe für Aluminium identifiziert. Die NG und BG der Metalle sind in Tabelle 1 in Kapitel 2.3 angegeben.

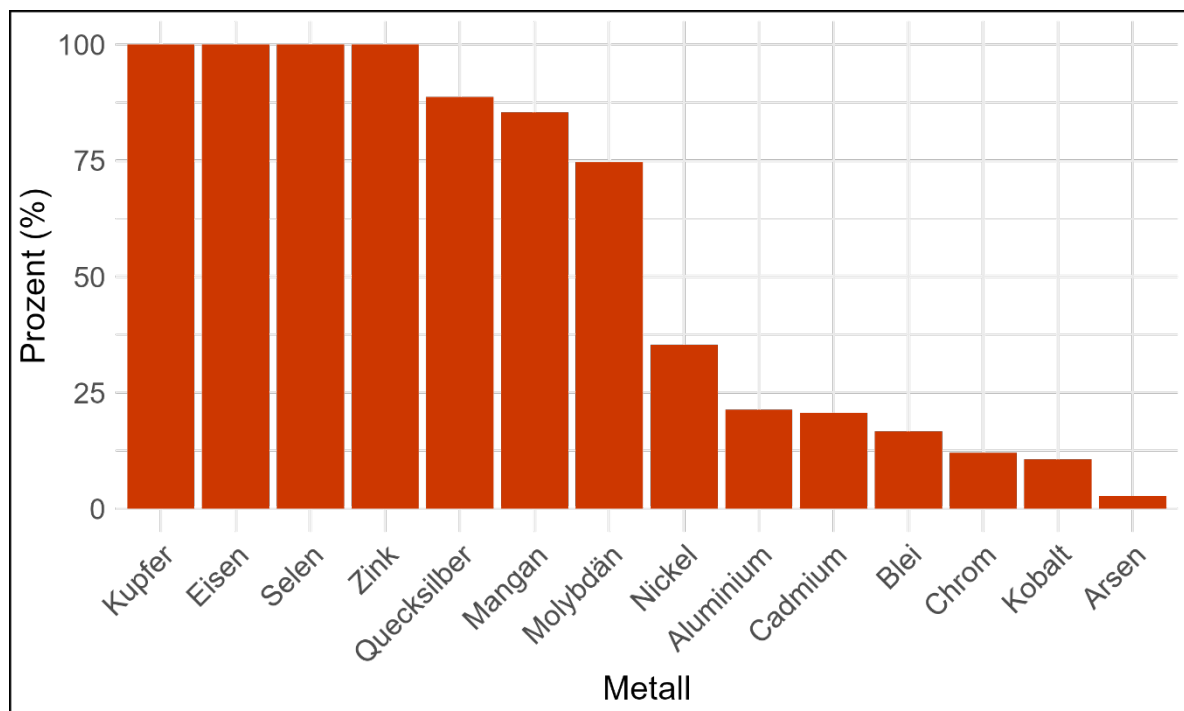
Tabelle 3 Nachgewiesene Metallkonzentrationen in Muttermilch (n=150)

Metall	Min. [µg/l]	Max. [µg/l]	Median [µg/l]	95P [µg/l]	DR [%]
Schwermetalle					
Aluminium	n.n.	910	n.n.	278	21
Arsen	n.n.	6,1	n.n.	n.n.	2,7
Blei	n.n.	7,7	n.n.	<BG (<1,5)	17
Cadmium	n.n.	1,6	n.n.	0,41	21
Nickel	n.n.	98	n.n.	13	35
Quecksilber	n.n.	0,77	0,053	0,28	89
Essenzielle Spurenelemente					
Chrom	n.n.	86	n.n.	6,0	12
Eisen	30	960	180	396	100
Kobalt	n.n.	0,91	n.n.	0,30	11
Kupfer	27	730	270	506	100
Mangan	n.n.	11	<BG (<1,5)	5,0	85
Molybdän	n.n.	29	0,90	7,3	75
Selen	6,6	28	12	19	100
Zink	46	7.300	1.300	3.800	100

Abkürzungen: BG, Bestimmungsgrenze; DR, Detektionsrate; Max., Maximum; Min., Minimum; n.n., nicht nachweisbar; 95P, 95. Perzentile.

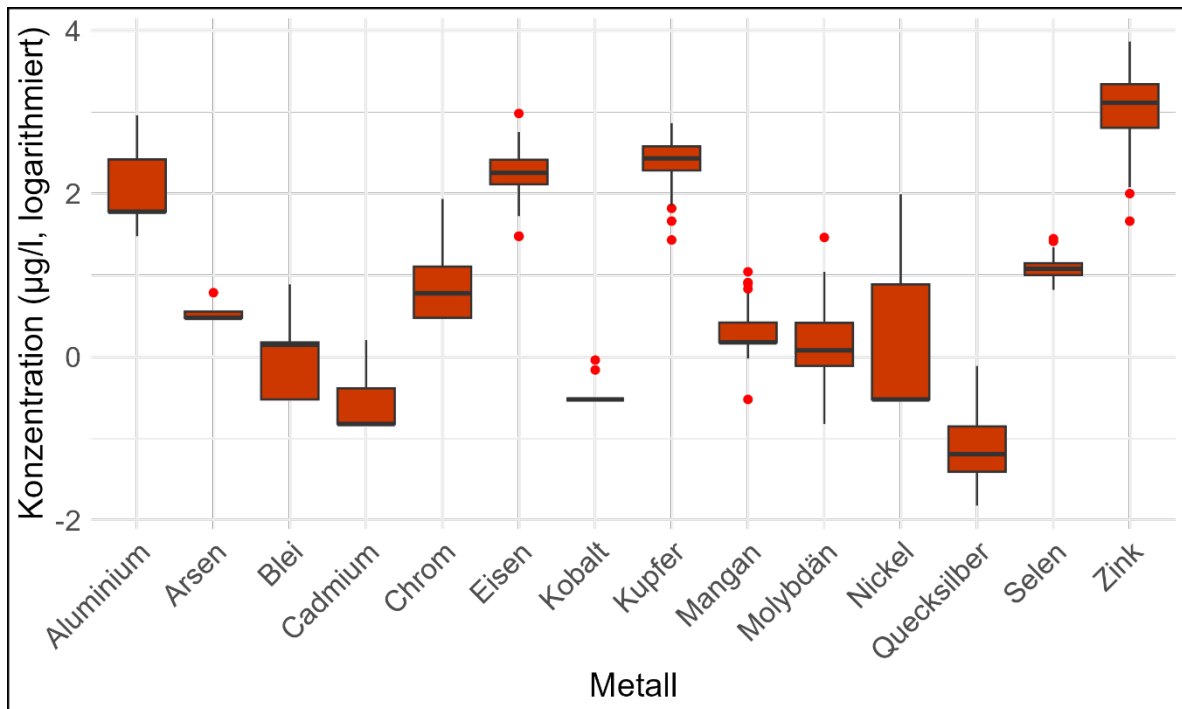
Abbildung 5 zeigt den Anteil der positiven Proben (>BG) für die untersuchten Metalle. Die essenziellen Spurenelemente Kupfer, Eisen, Selen und Zink wurden in allen analysierten Muttermilchproben nachgewiesen. Auch Mangan und Molybdän, ebenfalls essenzielle Spurenelemente, wurden mit 85 % sowie 75 % in einem Großteil der Proben detektiert. Chrom und Kobalt fanden sich hingegen in einem deutlich geringeren Anteil der Proben. Bei den Schwermetallen wurde Quecksilber in einem vergleichsweise hohen Anteil an Proben identifiziert (89 %). Die anderen untersuchten Schwermetalle wurden in deutlich weniger Muttermilchproben nachgewiesen: Nickel mit 35 %, Aluminium und Cadmium mit jeweils 21 %, Blei mit 17 % und Arsen mit 2,7 %.

Abbildung 5 Anteile der Muttermilchproben [%] mit nachweisbaren Metallkonzentrationen



Die Verteilung der in den Muttermilchproben nachgewiesenen Metallkonzentrationen wird mittels Boxplots graphisch in Abbildung 6 dargestellt.

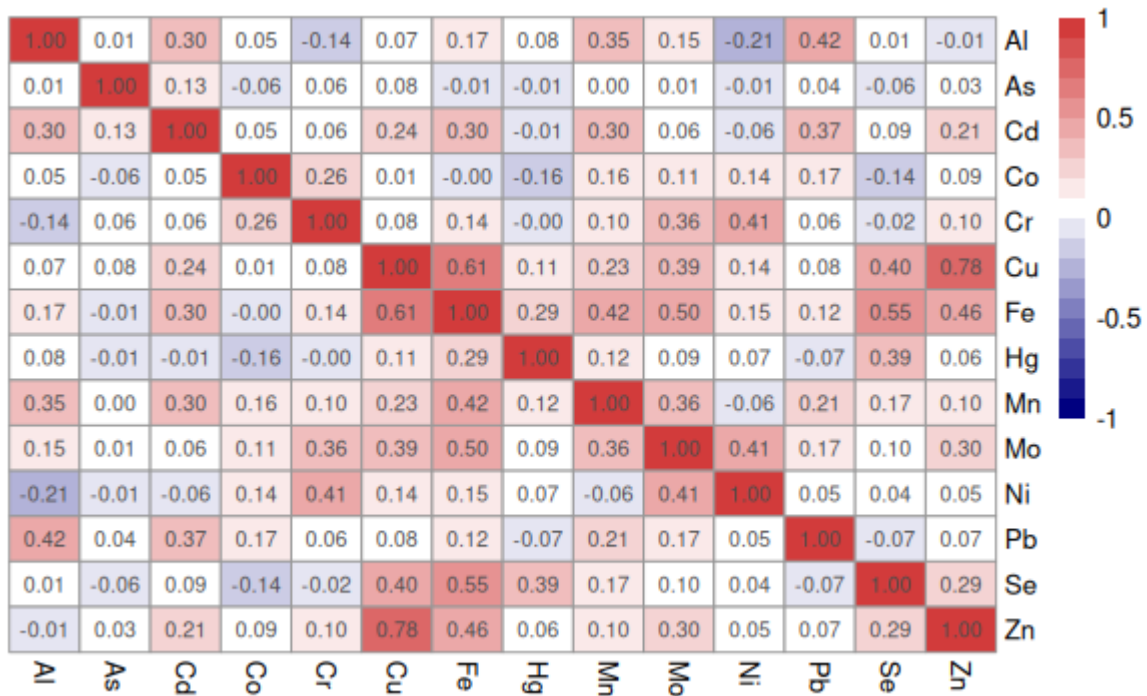
Abbildung 6 Verteilung der nachgewiesenen Metallkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch (n=150)



Die angegebenen Konzentrationen sind \log_{10} -transformiert, gezeigt werden die Streuung und die Medianwerte der Messdaten, Ausreißer als Punkte.

Abbildung 7 zeigt die Matrix der Korrelationen der untersuchten Metalle untereinander. Je intensiver die Farbgebung, desto stärker ist die Korrelation. Im Allgemeinen waren die Korrelationen aber nur schwach ausgeprägt. Eine nennenswerte korrelative Bündelung fand sich für Zink, Eisen und Kupfer. Dies war auch erwartbar, die genannten Metalle sind die drei häufigsten Spurenelemente im menschlichen Körper (Barceloux, 1999). Über weite Teile haben die drei Metalle ähnliche Aufnahmequellen, so kommt Zink vor allem in Fleisch, Käse und Getreide vor, Eisen vorrangig in Fleisch und Kupfer in tierischen Innereien, aber auch in Weizen, Hülsenfrüchten und Käse (vgl. Kapitel 3.7).

Abbildung 7 Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizient nach Spearman)



Des Weiteren wurde eine statistische Faktoranalyse durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass den Korrelationen gemeinsame Einflussfaktoren zugrunde liegen. In Abbildung 8 sind die Faktorladungen der mittels Fragebogen erhobenen verzehrten Lebensmittel durch die Studienteilnehmerinnen (Verzehrhäufigkeiten in den vier Wochen vor der Probenahme) und der gemessenen Metallkonzentrationen dargestellt.

Basierend auf den in den Muttermilchproben gemessenen Metallkonzentrationen erfolgte die Berechnung von täglichen und wöchentlichen Aufnahmemengen wie in Kapitel 2.4.1 beschrieben. Diese wurden mit tolerierbaren Aufnahmemengen verglichen, um die Ergebnisse bewerten zu können. Für die Schwermetalle sind die berechneten sowie die tolerierbaren Aufnahmemengen in Tabelle 4 angeführt. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln im Detail diskutiert.

Tabelle 4 Berechnete tägliche und wöchentliche Aufnahmen und tolerierbare Aufnahmemengen für Schwermetalle

Metall	Berechnete Aufnahme ¹			Tolerierbare Aufnahmemenge: Art (Quelle)
	DI [$\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$]	Bereich (Median;95P)		
		WI [$\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{Woche}$]	Wert	
Aluminium	-	\emptyset : 0–835 (0;220) MAX: 0–1.253 (0;330)	1.000 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{Woche}$	TWI (EFSA, 2008)
Blei	\emptyset : 0–1,0 (0;0,20) MAX: 0–1,5 (0;0,30)	-	0,5 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$	BMDL Entwicklungsneurotoxizität bei Kindern (EFSA, 2025a)
Cadmium	-	\emptyset : 0–1,5 (0;0,38) MAX: 0–2,2 (0;0,57)	2,5 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{Woche}$	TWI (EFSA, 2009)
Nickel	\emptyset : 0–13 (0;1,7) MAX: 0–19 (0;2,6)	-	13 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$	TDI (EFSA, 2020b)
Quecksilber	\emptyset : 0-0,10 (0,0070;0,037) MAX: 0-0,15 (0,055)	\emptyset : 0–0,71 (0,047) MAX: 0–1,1 (0,070;0,39)	4 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{Woche}$, 1,3 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{Woche}$; 0,01 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$, 0,1 $\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$	TWI für anorganisches Hg, TWI für MeHg (EFSA, 2012b); mittelfristiges MRL für anorganische Hg-Salze; chronisches MRL für organisches Hg ATSDR (2024b)

¹ Berechnung siehe Kapitel 2.4.1

Abkürzungen und Erläuterungen: BMDL, Benchmark Dose Lower Confidence Limit; d, Tag; DI, tägliche Aufnahmemenge; Hg, Quecksilber; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Aufnahme; MeHg, Methylquecksilber; MRL, Minimum Risk Level; TDI, tolerierbare tägliche Aufnahmemenge; TWI, tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge; WI, wöchentliche Aufnahmemenge; \emptyset , berechnete durchschnittliche Aufnahme; 95P, 95. Perzentile.

4.2.1 Aluminium

Aluminium wurde in insgesamt 11 Muttermilchproben in Konzentrationen über der BG ($>30 \mu\text{g/l}$ bzw. $>60 \mu\text{g/l}$) nachgewiesen. Die quantifizierbaren Gehalte lagen dabei zwischen $150 \mu\text{g/l}$ und $910 \mu\text{g/l}$ (Median: n.n., 95P: $278 \mu\text{g/l}$) (Tabelle 3). Auffallend war, dass die Nachweise fast ausschließlich in den im Jahr 2021 genommenen Muttermilchproben erfolgten. Nur eine Probe aus dem Jahr 2025 war ebenfalls positiv. Drei Muttermilchproben aus dem Jahr 2021 zeigten hingegen keine Aluminiumbelastung über der NG. Eine Erklärung, basierend auf den mittels Fragebogen erhobenen Daten, konnte für diese Beobachtung nicht gefunden werden. Weiters wurden keine statistischen Zusammenhänge zwischen den ermittelten Aluminiumkonzentrationen und den in der Studie erhobenen Parametern identifiziert.

Die von der EFSA abgeleitete TWI liegt für Aluminium bei $1.000 \mu\text{g/kg KG/Woche}$ (EFSA, 2008). Die berechneten durchschnittlichen wöchentlichen Aufnahmemengen (WI) durch den Säugling (vgl. Tabelle 4) lagen in der untersuchten Studienpopulation zwischen 0 und $835 \mu\text{g/kg KG/Woche}$ (Median: 0; 95P: $220 \mu\text{g/kg KG/Woche}$) und damit unter der TWI. Nur im Blick auf die berechnete maximale WI von $0\text{--}1.253 \mu\text{g/kg KG/Woche}$ (Median: 0; 95P: $330 \mu\text{g/kg KG/Woche}$) wurde die TWI in einer Probe überschritten.

Vergleicht man die Ergebnisse mit Untersuchungen von Aluminium in Muttermilch aus anderen Ländern, zeigt sich, dass die Expositionen in der aktuellen Studie merklich niedriger sind. So fand sich beispielsweise in einer spanischen Studienpopulation Aluminium in 94 % der untersuchten Proben in Konzentrationen von bis zu $1.135 \mu\text{g/l}$ (Median: $58 \mu\text{g/l}$). Eingeschlossen waren 83 Mütter im Alter von durchschnittlich $33,5 \pm 5,4$ Jahren, die in einem Zeitraum von 1–4 Wochen regelmäßig Muttermilchproben abgaben. Es handelte sich dabei um reife Milch, die zwischen Tag 20 und Tag 1.513 nach der Geburt abgenommen wurde. Die Proben wurden zwischen 2015 und 2018 gesammelt (Freire et al., 2023). Auch in einer Studie aus Polen wurden Aluminiumgehalte von bis zu $1.177 \mu\text{g/l}$ (Median: $222 \mu\text{g/l}$) in 30 % der Proben gemessen. In dieser Untersuchung wurde die Muttermilch von 30 ausschließlich stillenden Müttern, die 4–6 Wochen nach der Geburt ihre Probe abgaben, analysiert (Bzikowska-Jura et al., 2024). In einer Studie von Ventura et al. (2024), in welcher 30–60 Tage nach der Geburt abgegebene Muttermilchproben in Spanien untersucht wurden, wurde eine mediane Aluminiumkonzentration von rund $53 \mu\text{g/l}$ bestimmt.

4.2.2 Arsen

In insgesamt vier Muttermilchproben (2,7 %) konnte Arsen nachgewiesen werden, wobei in einer Probe aus dem Jahr 2021 eine Konzentration von 6,1 µg/l gemessen wurde. Die übrigen drei Proben enthielten Arsen in Gehalten unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze von 6,0 µg/l. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 angeführt.

Da in nur vier der 150 untersuchten Muttermilchproben positive Arsengehalte nachgewiesen werden konnten, wurde für Arsen keine induktive Statistik durchgeführt.

Zur Bewertung der Arsen-Ergebnisse wurde der MOE-Approach (EFSA, 2024a) angewendet (vgl. Kapitel 3.2). Für die Ermittlung der MOE wurde der Quotient aus dem Referenzpunkt für anorganisches Arsen (0,06 µg/kg KG/d) und der berechneten DI für Gesamt-Arsen herangezogen. In der vorliegenden Studienpopulation lagen die berechneten durchschnittlichen DI zwischen 0 und 0,80 µg/kg KG/d (Median: 0) und die maximalen DI zwischen 0 und 1,2 µg/kg KG/d (Median: 0). Die daraus ermittelten MOE für die Proben mit quantifizierbaren Werten lagen bei 0,075 und 0,15 für die durchschnittliche Aufnahme und bei 0,050 und 0,10 für die maximale Aufnahme. Eine kleinere MOE zeigt eine höhere und eine höhere MOE eine niedrigere Bedenklichkeit an. Die MOE dient zur Einschätzung und ist nicht direkt gleichzustellen mit Risiko (EFSA, 2025b). Für anorganisches Arsen wirft eine MOE von kleiner oder gleich 1 gesundheitliche Bedenken auf (EFSA, 2024). Die im Zuge der vorliegenden Studie berechneten MOE liegen unter 1. Da in den untersuchten Muttermilchproben Gesamt-Arsen bestimmt wurde, ist der Anteil an anorganischem Arsen in den Proben nicht bekannt. Weiters ist zu berücksichtigen, dass die DI mit Hilfe theoretischer und vereinfachender Annahmen zu Körpergewicht und Aufnahmemenge von Muttermilch ermittelt wurde. Zur genaueren Einschätzung des Risikos zu Arsen müssten genaue Verzehrsmengen sowie das genaue Gewicht des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme bekannt sein und es müsste zusätzlich die Konzentration an anorganischem Arsen ermittelt werden.

Mandiá et al. (2021) untersuchten 2018–2019 insgesamt 70 Muttermilchproben aus Spanien, die 7–10 Tage nach der Geburt abgenommen wurden. In diesen Proben lagen die mittleren Arsengehalte bei $1,11 \pm 0,171$ µg/l. In weiteren 70 Proben von reifer Muttermilch lagen die durchschnittlichen Arsengehalte bei $7,29 \pm 1,11$ µg/l. In einer weiteren spanischen Untersuchung von Ventura et al. (2024) wurde Arsen in Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, mit einem Median von 7,12 µg/l nachgewiesen. In der aktuellen österreichischen Studie liegt der Mittelwert der quantifizierbaren Arsengehalte in der Muttermilch bei 3,8 µg/l bzw. der Median bei

3,0 µg/l (beide Werte sind <BG). Diese mittleren Gehalte liegen im Vergleich zu den beiden angeführten Studien aus Spanien für reifere Muttermilch deutlich niedriger.

4.2.3 Blei

In 17 % der untersuchten Muttermilchproben wurde Blei in Konzentrationen von bis zu 7,7 µg/l nachgewiesen. Die 95P lag unterhalb der BG (Tabelle 3).

Statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Exposition und den mittels Fragebogen erhobenen Parametern konnten für Blei nicht identifiziert werden.

Basierend auf den gemessenen Bleikonzentrationen wurden durchschnittliche DI von 0–1,0 µg/kg KG/d (Median: 0; 95P: 0,20 µg/kg KG/d) sowie maximale DI von 0–1,5 µg/kg KG/d (Median: 0; 95P: 0,30 µg/kg KG/d) berechnet (vgl. Tabelle 4). Zur Bewertung wurde der BMDL von 0,5 µg/kg KG/d für die Entwicklungsneurotoxizität bei Kleinkindern (EFSA, 2025a) herangezogen. In drei Muttermilchproben überschritten sowohl die berechneten durchschnittlichen DI als auch die berechneten maximalen DI den BMDL.

In Muttermilch aus Spanien (Untersuchungszeitraum 2018–2019) fanden sich durchschnittlich $0,33 \pm 0,38$ µg Blei/l (n=70, Abgabe der Milch 7–10 Tage nach der Geburt) bzw. $0,30 \pm 0,23$ µg Blei/l (n=70, reife Milch) (Mandiá et al., 2021). Eine weitere spanische Studie berichtet von Bleigehalten <NG (0,01 µg/l) in Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden (Ventura et al., 2024). In Österreich wurde Blei in Muttermilchproben von 116 Müttern aus Wien, Tulln und Linz von Gundacker et al. (2002) untersucht (Abgabe der Proben $6,6 \pm 6$ Tage nach der Geburt). Die durchschnittlichen Bleigehalte lagen bei $1,63 \pm 1,66$ µg/l. In der aktuellen Studie wurden durchschnittliche Bleikonzentrationen in den Muttermilchproben von $0,26 \pm 0,89$ µg/l gemessen. Die Werte liegen also deutlich unter den Ergebnissen der älteren österreichischen Studie. Im Vergleich mit der Studie von Mandiá et al. (2021) sind die mittleren Gehalte geringfügig niedriger und im Vergleich mit Ventura et al. (2024) merklich höher.

In allen 30 untersuchten Muttermilchproben, die 4–6 Wochen nach der Geburt von ausschließlich stillenden Müttern in Polen abgegeben wurden, wurde Blei in Gehalten zwischen 3,66 und 6,96 µg/l (Median: 4,7 µg/l) nachgewiesen (Bzikowska-Jura et al., 2024). Zwar lag die maximale gefundene Bleikonzentration in dieser Studie niedriger als in der vorliegenden österreichischen Untersuchung, allerdings fielen sowohl der Median als auch die Nachweisraten deutlich höher aus.

4.2.4 Cadmium

Cadmium wurde in 21 % der untersuchten Muttermilchproben nachgewiesen. Die höchste Konzentration lag bei 1,6 µg/l. Die zweithöchste Konzentration umfasste mit 0,82 µg/l hingegen nur mehr die Hälfte des Maximalwerts. Die 95P war 0,41 µg/l und der Median lag unter der NG. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Statistisch zeigte sich ein leichter negativer Zusammenhang zwischen den Cadmiumgehalten und dem Alter des Kindes bei der Probenahme (Spearman $r=-0,20$, $p=0,017$).

Für Cadmium legte die EFSA eine TWI von 2,5 µg/kg KG/Woche fest (EFSA, 2009). Sowohl die berechneten durchschnittlichen WI von 0 bis 1,5 µg/kg KG/Woche als auch die maximalen WI von 0 bis 2,2 µg/kg KG/Woche (Tabelle 4) lagen in der aktuellen Studienpopulation unter dieser TWI.

Für eine österreichische Studie wurden in den Jahren 1999 und 2000 Muttermilchproben von 124 Müttern aus Wien, Tulln und Linz gesammelt und auf Cadmium untersucht. Die Proben wurden 2–15 Tage nach der Geburt abgegeben. Es erfolgte der Nachweis von Cadmium in Konzentrationen von bis zu 0,73 µg/l mit einem arithmetischem Mittelwert von $0,086\pm 0,085$ µg/l und einem Median von 0,063 µg/l (Gundacker et al., 2007). In der aktuellen Studie lag die Maximalkonzentration mit 1,6 µg/l mehr als doppelt so hoch als in der früheren österreichischen Studie. Da der Median in der aktuellen Untersuchung unter der NG lag, wurde zum Vergleich der Mittelwert herangezogen. Dieser war mit $0,070\pm 0,19$ µg/l etwas geringer als in Gundacker et al. (2007).

Neuere europäische Studien, wie beispielweise jene von Venturelli et al. (2025), zeigen Cadmiumgehalte in Muttermilch in Konzentrationen von bis zu 1,45 µg/l (Median: 0,020 µg/l, 75. Perzentile: 0,050 µg/l). In der genannten Studie erfolgte die Untersuchung von Proben von insgesamt 195 norditalienischen Müttern im Alter von 19–45 Jahren (durchschnittlich 33,1 Jahre), welche die Muttermilch 25–56 Tage nach der Geburt abgaben. In rund 25 % der analysierten Proben wurde Cadmium nachgewiesen. Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung in österreichischen Muttermilchproben zeigten mit 21 % eine ähnliche Nachweisrate und auch die Maximalkonzentration lag in einem sehr ähnlichen Bereich. Der Wert der 95P war in der aktuellen Studie aber deutlich höher als die verfügbare 75P der italienischen Studie.

In einer polnischen Studie (Bzikowska-Jura et al., 2024) wurde in allen 30 untersuchten Muttermilchproben, die 4–6 Wochen nach der Geburt abgegeben wurden, Cadmium detektiert. Die nachgewiesenen Gehalte lagen zwischen 0,13 und 0,41 µg/l, mit einem

Median von 0,20 µg/l und einer 95P von 0,37 µg/l. Der Anteil der Positivproben war in der vorliegenden österreichischen Studie deutlich geringer und die 95P in einem ähnlichen Bereich. Vergleicht man die Maximalkonzentrationen, dann zeigt die vorliegende Studie mit 1,6 µg/l einen deutlich höheren Gehalt, und auch die nächsthöhere Konzentration von 0,82 µg/l ist noch circa doppelt so hoch wie in der polnischen Studienpopulation.

Ventura et al. (2024) wiesen in ihrer spanischen Studie in Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, einen medianen Cadmiumgehalt von <NG (<0,10 µg/l) nach. Auch in der vorliegenden Studie lag der Median <NG (<0,10 µg/l).

4.2.5 Nickel

Nickel wurde in 35 % der untersuchten Muttermilchproben in Konzentrationen von bis zu 98 µg/l bzw. mit einer 95P von 13 µg/l nachgewiesen (Tabelle 3). Statistische Zusammenhänge zwischen den gemessenen Konzentrationen und potenziell relevanten, mittels Fragebogen erhobenen Daten wurden für Nickel nicht gefunden.

Für Nickel ist nach EFSA (2020b) eine TDI von 13 µg/kg KG/d festgelegt. Die berechnete durchschnittliche DI lag in der untersuchten Studienpopulation zwischen 0 und 13 µg/kg KG/d und die berechnete maximale DI zwischen 0 und 19 µg/kg KG/d (vgl. Tabelle 4). Damit war in einer Probe die durchschnittliche DI gleich hoch wie die TDI und in zwei Proben lagen die maximalen DI darüber (Werte: 14 µg/kg KG/d und 19 µg/kg KG/d).

In Muttermilchproben einer spanischen Studienpopulation aus 2018–2019 wurden in 70 Proben, die 7–10 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, durchschnittliche Nickelgehalte von $2,18 \pm 1,12$ µg/l gemessen, in weiteren 70 Proben, die nach dem 10. Tag nach der Geburt abgegeben wurden, lag der Durchschnittswert bei $2,35 \pm 2,69$ µg/l (Mandiá et al., 2021). Vergleicht man diese Ergebnisse mit der aktuellen Studie (Mittelwert±SD: $2,5 \pm 11$ µg/l), so ist der Mittelwert in einem ähnlichen Bereich, allerdings – aufgrund der großen Streuung der Messergebnisse – mit einer sehr hohen SD.

In einer weiteren spanischen Untersuchung von Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, wurde eine mediane Konzentration von 29,13 µg Nickel/l bestimmt (Ventura et al., 2024). Dieser Wert liegt deutlich über jenem der vorliegenden Studie (Median: <NG).

In einer Studie aus Norditalien (Muttermilch von 195 Frauen im Alter von 19–45 Jahren) wurde Nickel in 68,7 % der Proben in Gehalten von bis zu 49,73 µg/l (Median: 1,2 µg/l; 75P: 3,68 µg/l) nachgewiesen. Die Proben wurden 25–56 Tage nach der Geburt abgegeben (Venturelli et al., 2025). Im Vergleich dazu war in der vorliegenden Studie der Anteil der Nachweise mit 35 % deutlich geringer. Auch der Median war niedriger, allerdings fand sich ein rund doppelt so hoher Maximalwert.

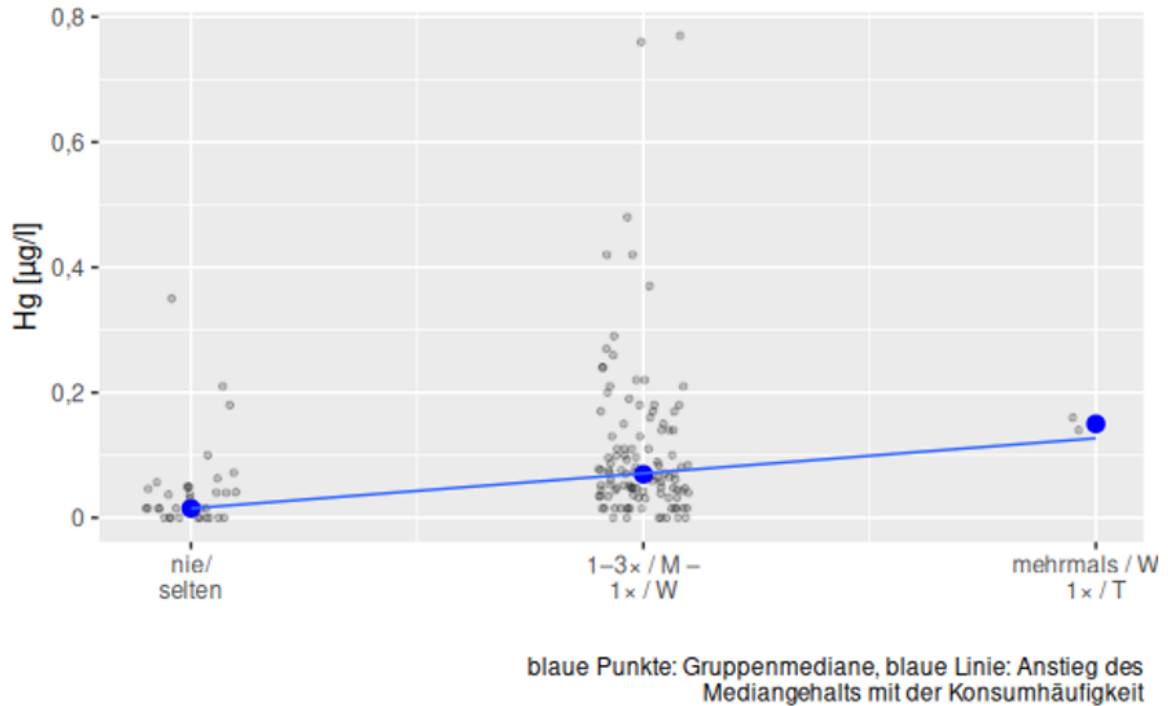
In einer polnischen Studie wurde in allen 30 untersuchten Proben (Abgabe der Muttermilch 4–6 Wochen nach der Geburt) Nickel in Gehalten von gerundet 1,5 bis 14,5 µg/l (Median: 3,9 µg/l) nachgewiesen (Bzikowska-Jura et al., 2024).

4.2.6 Quecksilber

In 89 % der untersuchten Muttermilchproben wurde Gesamt-Quecksilber nachgewiesen. Die Konzentrationen lagen bei bis zu maximal 0,77 µg/l mit einem Median von 0,053 µg/l und einer 95P von 0,28 µg/l (Tabelle 3).

Die statistische Analyse der in der Muttermilch gemessenen Quecksilbergehalte zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Häufigkeit des Konsums von Fisch durch die Mutter (Abbildung 9), wobei ein höherer Fischkonsum mit einem höheren Gehalt an Quecksilber in der Muttermilch assoziiert war.

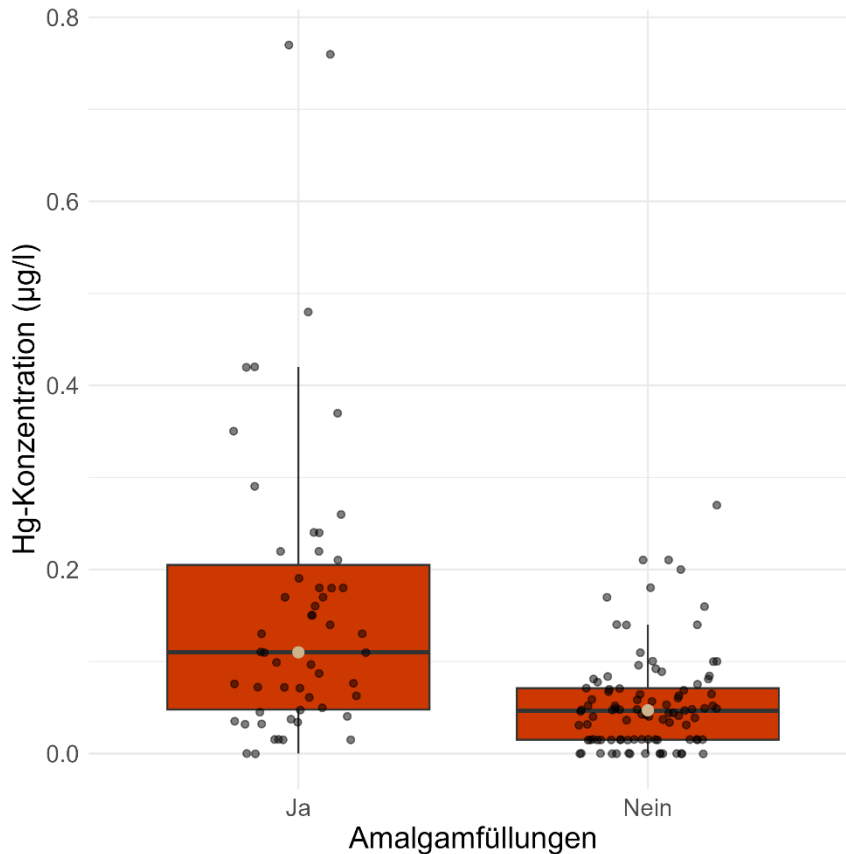
Abbildung 9 Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konsumhäufigkeit von Fisch und den Quecksilbergehalten [$\mu\text{g/l}$] in der Muttermilch (n=150; Quantilsregression)



Abkürzungen: M, monatlich; W, wöchentlich; Quantilsregression)

Weiters zeigte die multivariate Quantilsregression, dass Amalgamfüllungen signifikant mit der Quecksilberbelastung in der Muttermilch assoziiert sind. In Abbildung 10 ist die Verteilung der Quecksilberkonzentrationen bei Studienteilnehmerinnen mit und ohne Amalgamfüllungen graphisch dargestellt.

Abbildung 10 Verteilung (Boxplot) der Quecksilberkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch bei Studienteilnehmerinnen mit Amalgamfüllungen (ja) und ohne Amalgamfüllungen (nein) (n=150)



Basierend auf den ermittelten Quecksilber-Konzentrationen in der Muttermilch lagen die berechneten durchschnittlichen WI zwischen 0 und 0,71 $\mu\text{g/kg KG/Woche}$ und die maximalen WI zwischen 0 und 1,1 $\mu\text{g/kg KG/Woche}$ (vgl. Tabelle 4). Die EFSA leitete eine TWI für anorganisches Quecksilber von 4 $\mu\text{g/kg KG/Woche}$ ab (EFSA, 2012c). Diese wurde in der aktuellen Studie nicht überschritten. Es ist anzumerken, dass in der Studie Gesamt-Quecksilber gemessen wurde und deshalb der genaue Anteil an anorganischem Quecksilber nicht bekannt ist – da aber keine TWI-Überschreitung festgestellt wurde, liegen die Konzentrationen in den untersuchten Proben auch unter der TWI für anorganisches Quecksilber. Einen ebenfalls unbekanntem Anteil am gemessenen Gesamt-Quecksilber hat auch Methylquecksilber, dessen von der EFSA abgeleitete TWI bei 1,3 $\mu\text{g/kg KG/Woche}$ liegt (EFSA, 2012c). Auch diese TWI ist in der aktuellen Studienpopulation unterschritten.

ATSDR leitete für die mittelfristige Aufnahme von anorganischen Quecksilbersalzen ein MRL von 0,010 µg/kg KG/d sowie für die langfristige Aufnahme von organischem Quecksilber ein MRL von 0,10 µg/kg KG/d ab (ATSDR, 2024b). Basierend auf in den Proben gemessenen Quecksilberkonzentrationen lagen die berechneten durchschnittlichen DI bei 0-0,10 µg/kg KG/d sowie die maximalen DI bei 0-0,15 µg/kg KG/d (Tabelle 4). Rund ein Drittel der durchschnittlichen DI sowie rund die Hälfte der maximalen DI lagen über dem MRL für anorganische Quecksilbersalze. Da allerdings nicht davon auszugehen ist, dass ein großer Anteil des in den Muttermilchproben nachgewiesenen Quecksilbergehalts Quecksilbersalze umfassen, ist von keiner Bedenklichkeit auszugehen. Im Vergleich mit dem MRL für organisches Quecksilber wie Methylquecksilber lagen in zwei Proben die berechneten maximale DI mit jeweils 0,15 µg/kg KG/d über diesem Wert.

Eine österreichische Studie untersuchte die Quecksilbergehalte in Muttermilch von 116 Müttern im Alter von 29±5 Jahren aus Wien, Tulln und Linz. Die Proben wurden 6,6±6 Tage nach der Geburt genommen. Die durchschnittliche Quecksilberkonzentration lag bei 1,59±1,21 µg/l (Gundacker et al., 2002). In der aktuellen Studienpopulation waren die Konzentrationen mit durchschnittlich 0,093±0,12 µg/l deutlich niedriger. Auch im Vergleich mit weiteren europäischen Studien der letzten Jahre zeigten sich in der aktuellen Untersuchung geringere Belastungen, besonders bei Betrachtung der Mediane, der 95P und der Nachweisraten. So fanden sich in Muttermilchproben von ausschließlich stillenden polnischen Müttern (n=30, Abgabe der Proben 4–6 Wochen nach der Geburt) Quecksilberkonzentrationen zwischen 0,30-0,80 µg/l mit einem Median von 0,40 µg/l und einer 95P von 0,60 µg/l (Bzikowska-Jura et al., 2024). Eine Untersuchung in Slowenien, in welcher Muttermilch von 470 Erstgebärenden in den Jahren 2008–2009 und 2011–2014 gesammelt wurde, fanden sich Quecksilbergehalte von bis zu 3,39 µg/l (Median: 0,16 µg/l, P95: 0,99 µg/l) in 96 % der Proben. Diese wurden zumeist (73 %) 6–8 Wochen nach der Geburt sowie im Zeitraum von zwei Wochen bis sieben Monaten nach der Geburt abgegeben (Snoj Tratnik et al., 2019).

4.2.7 Chrom

Chrom wurde in 12 % der insgesamt 150 untersuchten Muttermilchproben in Gehalten von bis zu 86 µg/l nachgewiesen. Der Median lag bei <NG und die 95P bei 6,0 µg/l (Tabelle 3). Die aus den Ergebnissen der Analytik berechneten DI und Verzehrsmengen sind in Tabelle 5 für die verschiedenen Altersgruppen angeführt.

In der aktuellen Studie wurde Gesamt-Chrom analysiert, die darin enthaltenen Anteile an Cr(III) und Cr(VI) sind nicht bekannt. Um die Ergebnisse einschätzen zu können, wurden die ermittelten DI für Gesamt-Chrom mit der TDI der EFSA für Cr(III) verglichen. Die berechneten Verzehrsmengen wurden der von der DGE empfohlenen Zufuhr für Cr(III) gegenübergestellt. Des Weiteren erfolgte die Einschätzung der Ergebnisse anhand des MOE-Approach für Cr(VI) (vgl. Kapitel 3.7.1). Die berechneten durchschnittlichen DI lagen in der gesamten Studienpopulation zwischen 0 und 11 µg/kg KG/d (Median: 0; 95P: 0,79 µg/kg KG/d) und die maximalen DI zwischen 0 und 17 µg/kg KG/d (Median: 0; 95P: 1,2 µg/kg KG/d). Alle DI lagen deutlich unter der TDI für Cr(III) von 300 µg/kg KG/d (EFSA, 2014a). Die berechneten Verzehrsmengen beliefen sich in der gesamten Studienpopulation auf 0–69 µg/d für die durchschnittliche Aufnahme und auf 0–103 µg/d für die maximale Aufnahme. Für die einzelnen Altersgruppen empfiehlt die DGE verschiedene Cr(III)-Aufnahmemengen, diese sind in Tabelle 5 angegeben. In der Altersgruppe der 0–4 Monate alten Säuglinge lagen 88 % unter der empfohlenen Zufuhr, in der Altersgruppe der 4–12 Monate alten Säuglinge bis zu 98 % und in der Gruppe der Kleinkinder ab einem Jahr 100 %. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass besonders bei Kindern ab ungefähr sechs Monaten eine zusätzliche Cr(III)-Aufnahme durch Beikost erfolgt. Zudem ist die Essenzialität von Cr(III) nicht eindeutig geklärt (vgl. Kapitel 3.7.1).

Die MOE für Cr(VI) in der vorliegenden Studienpopulation wurden mit 89-2.542 für die durchschnittliche Aufnahme und mit 59-1.694 für die maximale Aufnahme berechnet. Für genotoxische, kanzerogene Substanzen wie Cr(VI) nimmt man an, dass eine MOE von >10.000 weniger bedenklich ist (EFSA, 2014b). Die errechneten MOE in der vorliegenden Studie liegen deutlich darunter, was unter einer Annahme, dass das gesamte aufgenommene Chrom Cr(VI) wäre, eine Bedenklichkeit aufzeigen würde. Davon ist aber nicht auszugehen.

Tabelle 5 Berechnete tägliche Aufnahmemengen [µg/kg KG/d], berechnete Verzehrsmengen [µg/d], tolerierbare tägliche Aufnahmemengen, empfohlene Zufuhr und Anteile unter der empfohlenen Zufuhr für Chrom

Altersgruppe	n	DI [µg/kg KG/d] Bereich (Median;95P)	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	TDI Cr(III) (EFSA, 2014) [µg/kg KG/d]	Anteil über TDI Cr(III) [%]	Empfohlene Zufuhr Cr(III) (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter der empfohlenen Zufuhr [%]
--------------	---	--	---	---------------------------------------	-----------------------------	--	---

0–4 Monate	80	Ø: 0–2,5 (0;0,83) MAX: 0–3,7 (0;1,2)	Ø: 0–15 (0;5,0) MAX: 0–23 (0;7,6)	300	Ø: 0 MAX: 0	1–10	Ø: 88 MAX: 88
4–12 Monate	51	Ø: 0–11 (0;0,79) MAX: 0–17 (0;1,2)	Ø: 0–69 (0;4,8) MAX: 0–103 (0;7,2)	300	Ø: 0 MAX: 0	20–40	Ø: 98 MAX: 96
>1 Jahr	16	Ø: 0–0,40 (0;0,10) MAX: 0–0,60 (0;0,15)	Ø: 0–4,8 (0;1,2) MAX: 0–7,2 (0;1,8)	300	Ø: 0 MAX: 0	20–60	Ø: 100 MAX: 100
Keine Alters- angabe	3	0	0				

¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag. Abkürzungen und Erläuterungen: Cr(III), trivalentes Chrom; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; DI, tägliche Aufnahmemenge; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; n, Anzahl; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; TDI, tolerierbare tägliche Aufnahmemenge; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

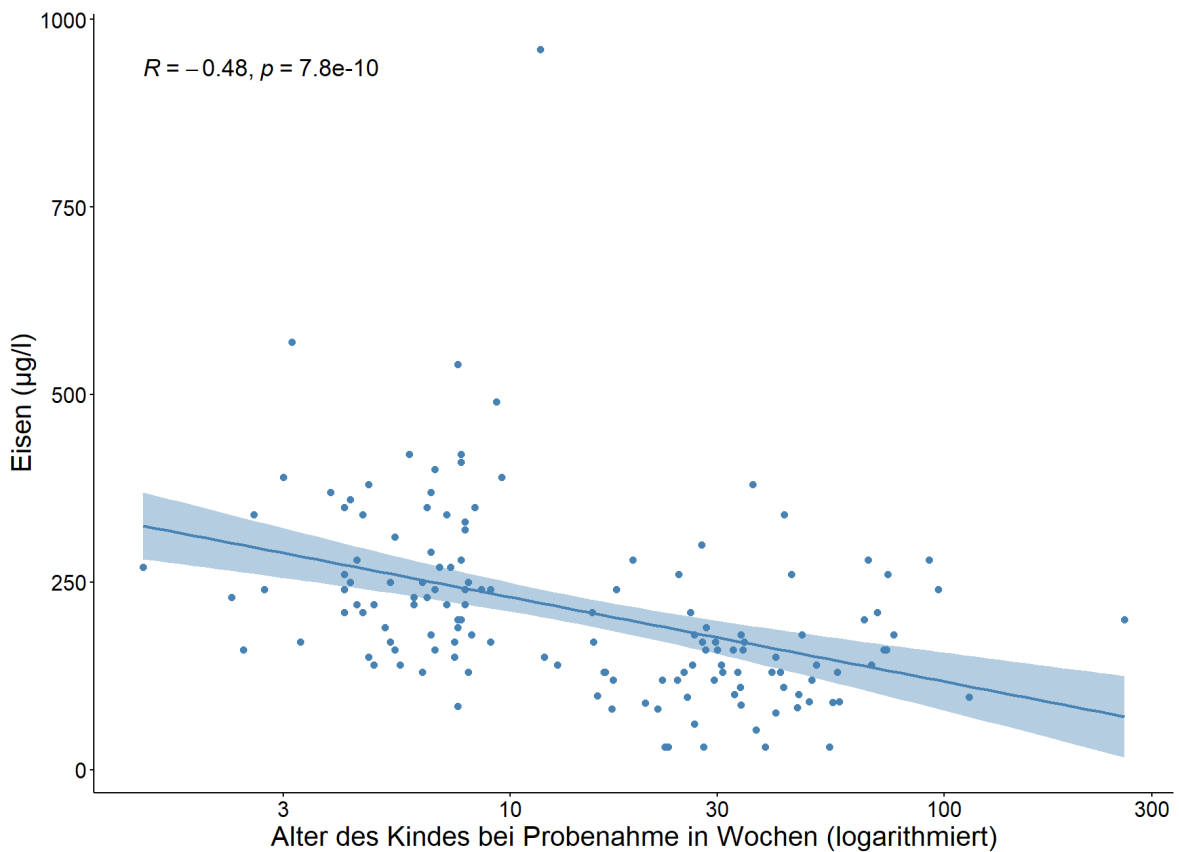
In 41,5 % der Muttermilchproben (Abgabe 25–56 Tage nach der Geburt) von 195 stillenden Müttern aus Norditalien im Alter von durchschnittlich 33,1 Jahren wurde Chrom mit einem Maximalwert von 4,48 µg/l, einem Median von 0,090 µg/l und einer 75P von 0,93 µg/l nachgewiesen (Venturelli et al., 2025). Bzikowska-Jura et al. (2024) wiesen in allen Muttermilchproben von 30 ausschließlich Stillenden aus Polen (Abgabe 30–60 Tage nach der Geburt) Chromgehalte zwischen 0,41 und 4,12 µg/l mit einem Median von 1 µg/l nach. In einer spanischen Untersuchung lag der Median in 30–60 Tage nach der Geburt genommenen Muttermilchproben bei 5,95 µg/l (Ventura et al., 2024). Verglichen mit diesen europäischen Studien wurden in den Positivproben der vorliegenden Studie deutlich höhere Chromgehalte von bis zu 86 µg/l nachgewiesen. Die Detektionsrate war in der aktuellen Studie allerdings geringer, was vermutlich auf die – im Vergleich – höhere NG zurückzuführen ist.

4.2.8 Eisen

In allen 150 untersuchten Muttermilchproben konnte Eisen nachgewiesen werden. Die gemessenen Konzentrationen lagen zwischen 30 und 960 µg/l, mit einem Median von 180 µg/l und einer 95P von 396 µg/l (Tabelle 3). Mit zunehmendem Alter des Kindes, und

damit mit steigender Stilldauer, nahmen die Eisenkonzentrationen in der Muttermilch statistisch signifikant ab ($r=-0,48$) (Abbildung 11). Ein weiterer ebenfalls statistisch signifikanter, aber vergleichsweise schwächer ausgeprägter Zusammenhang wurde zwischen der nachgewiesenen Eisenkonzentration in der Muttermilch und dem Alter der Mutter identifiziert ($r=-0,23$), wobei die Gehalte mit steigendem Alter der Mutter abnahmen.

Abbildung 11 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Eisenkonzentration in der Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]



Korrelation nach Spearman; in Blau ist die Regressionslinie mit dem 95 % Konfidenzintervall dargestellt.

Die berechneten Verzehrsmengen von Eisen lagen in der aktuellen Studienpopulation – basierend auf einer angenommenen durchschnittlichen Aufnahme – zwischen 24 und 768 $\mu\text{g/d}$ (Median: 144 $\mu\text{g/d}$, 95P: 316 $\mu\text{g/d}$) sowie – basierend auf einer angenommenen maximalen Aufnahme – zwischen 36 und 1.152 $\mu\text{g/d}$ (Median: 216 $\mu\text{g/d}$, 95P: 475 $\mu\text{g/d}$).

Die berechneten Verzehrsmengen sind nach Altersgruppen in Tabelle 6 angeführt. EFSA (2024b) gibt für Säuglinge im Alter von 4–11 Monaten eine sichere Aufnahmemenge für supplementiertes Eisen von 5.000 µg/d und für Kinder im Alter von 1–3 Jahren von 10.000 µg/d an. Da sich diese Werte auf die Eisenaufnahme aus angereicherten Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln beziehen, wurden sie nur zur Einschätzung der berechneten Aufnahmemengen herangezogen. Die sicheren Aufnahmemengen für supplementiertes Eisen wurden in keiner der untersuchten Muttermilchproben überschritten, sondern lagen um ein Vielfaches darunter.

Die DGE sowie die ÖGE empfehlen als Schätzwert für eine empfohlene Eisenzufuhr 300 µg/d für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten, sowie eine Eisenzufuhr von 11.000 µg/d für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten und von 7.000 µg/d für Kinder zwischen 1 und 4 Jahren (DGE, 2025). Für die Altersgruppen ab 4 Monaten lagen alle berechneten Aufnahmemengen unter den Referenzwerten, es ist aber zu berücksichtigen, dass Kinder in diesem Alter zusätzlich zur Muttermilch Beikost (empfohlen ab 6 Monaten) erhalten, was zu einer zusätzlichen Eisenaufnahme führen kann. In der Altersgruppe der Säuglinge bis zu 4 Monaten lagen 86 % (basierend auf der angenommenen durchschnittlichen Muttermilch-Verzehrmenge) bzw. 55 % (basierend auf der angenommenen maximalen Muttermilch-Verzehrmenge) unter dem entsprechenden Schätzwert.

Tabelle 6 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/d], sichere Aufnahmemengen für supplementiertes Eisen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Eisen

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	Sichere Aufnahme -menge ² (EFSA, 2024b) [µg/d]	Anteil über der sicheren Aufnahme -menge [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter der empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 65–768 (192;339) MAX: 97–1.152 (288;508)	-	-	300	Ø: 86 MAX: 55
4–12 Monate	51	Ø: 24–304 (104;232) MAX: 36–456 (156;348)	5.000	Ø: 0 MAX: 0	11.000	Ø: 100 MAX: 100

>1 Jahr	16	Ø: 24–224 (128;224) MAX: 36–336 (192;336)	10.000	Ø: 0 MAX: 0	7.000	Ø: 100 MAX: 100
Keine Altersangabe	3	Ø: 96–176 (96;168) MAX: 144–264 (144;252)				

¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag.

² Sichere Aufnahmemenge für supplementiertes Eisen (aus angereicherten Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln).

Abkürzungen und Erläuterungen: d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; n, Anzahl; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

In den vergangenen Jahren wurden in verschiedenen europäischen Ländern Studien zu Eisen in Muttermilch durchgeführt. In einer spanischen Untersuchung aus den Jahren 2018 und 2019 wurden in 70 Muttermilchproben (Abgabe 7–10 Tage nach der Geburt) durchschnittliche Eisengehalte von $185 \pm 78 \mu\text{g/l}$ gemessen. In 70 weiteren reiferen Muttermilchproben lagen die durchschnittlichen Gehalte bei $177 \pm 94 \mu\text{g/l}$ (Mandiá et al., 2021). In der aktuellen österreichischen Studie lagen die durchschnittlichen Eisenkonzentrationen in der Muttermilch bei $211 \pm 120 \mu\text{g/l}$ und damit etwas höher als in der spanischen Untersuchung. In der Muttermilch von in den Jahren 2013 und 2014 beprobten Müttern aus der Schweiz ($n=32$) wurde Eisen mit einem medianen Gehalt von $360 \mu\text{g/l}$ gemessen. Die Proben wurden bis 8 Wochen nach der Geburt gesammelt (Sabatier et al., 2019). Mit $396 \mu\text{g/l}$ lag der Median in der aktuellen Untersuchung in einem vergleichbaren Bereich (vgl. Tabelle 3). In Spanien erfolgte der Nachweis von Eisen in allen der insgesamt 34 untersuchten Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgenommen wurden. Der Median lag bei $549 \mu\text{g/l}$ (Ventura et al., 2024) und damit deutlich höher als in der aktuellen Studie. Bei einer Untersuchung von stillenden Frauen in Norditalien mit einem durchschnittlichen Alter von 33,1 Jahren wurde in allen 195 untersuchten Proben Eisen in Konzentrationen von bis zu $1.107 \mu\text{g/l}$ (Median: $265 \mu\text{g/l}$; 75P: $375 \mu\text{g/l}$) nachgewiesen. Die Muttermilchproben wurden 25–56 Tage nach der Geburt abgegeben (Venturelli et al., 2025). Diese Untersuchungsergebnisse zeigen etwas höhere Eisengehalte als die vorliegende Studie. In einer 2015–2017 in Polen durchgeführten Studie erfolgte die Untersuchung von 24-Stunden-Muttermilchproben ($n=43$), welche ein, drei sowie sechs Monate nach der Geburt gesammelt wurden. Einen Monat nach der Geburt lagen die in allen Muttermilchproben nachgewiesenen

Eisengehalte zwischen 210 und 310 µg/l (Median: 250 µg/l). In den Muttermilchproben, die drei Monate nach der Geburt abgegeben wurden, fand sich Eisen in 95 % der Proben in Konzentrationen von bis zu 240 µg/l (Median: 200 µg/l) und in Proben, die sechs Monate nach der Geburt abgegeben wurden, in 79 % der Proben in Konzentrationen von bis zu 210 µg/l (Median: 170 µg/l) (Zielinska-Pukos et al., 2024).

4.2.9 Kobalt

Der Nachweis von Kobalt erfolgte in 11 % der 150 untersuchten Muttermilchproben. Die höchste gemessene Konzentration lag bei 0,91 µg/l, der Median <NG und die 95P bei 0,30 µg/l (Tabelle 3). Statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen und den mittels Fragebögen erhobenen Parametern konnten für Kobalt nicht identifiziert werden.

Die Berechnung der täglichen Aufnahmemengen erfolgte über die in der Muttermilch gemessenen Kobaltkonzentrationen. Für die gesamte Studienpopulation lagen die durchschnittlichen DI bei 0–0,12 µg/kg KG/d (Median: <NG; 95P: 0,039 µg/kg KG/d) und die maximalen DI bei 0–0,18 µg/kg KG/d (Median: <NG; 95P: 0,059 µg/kg KG/d).

Für Kobalt sind keine Referenzwerte für eine empfohlene Zufuhr abgeleitet. Nichtsdestotrotz ist das Spurenelement essenziell, da es ein wesentlicher Bestandteil von Vitamin B12 ist und auch für die adäquate Aufnahme des Vitamins benötigt wird.

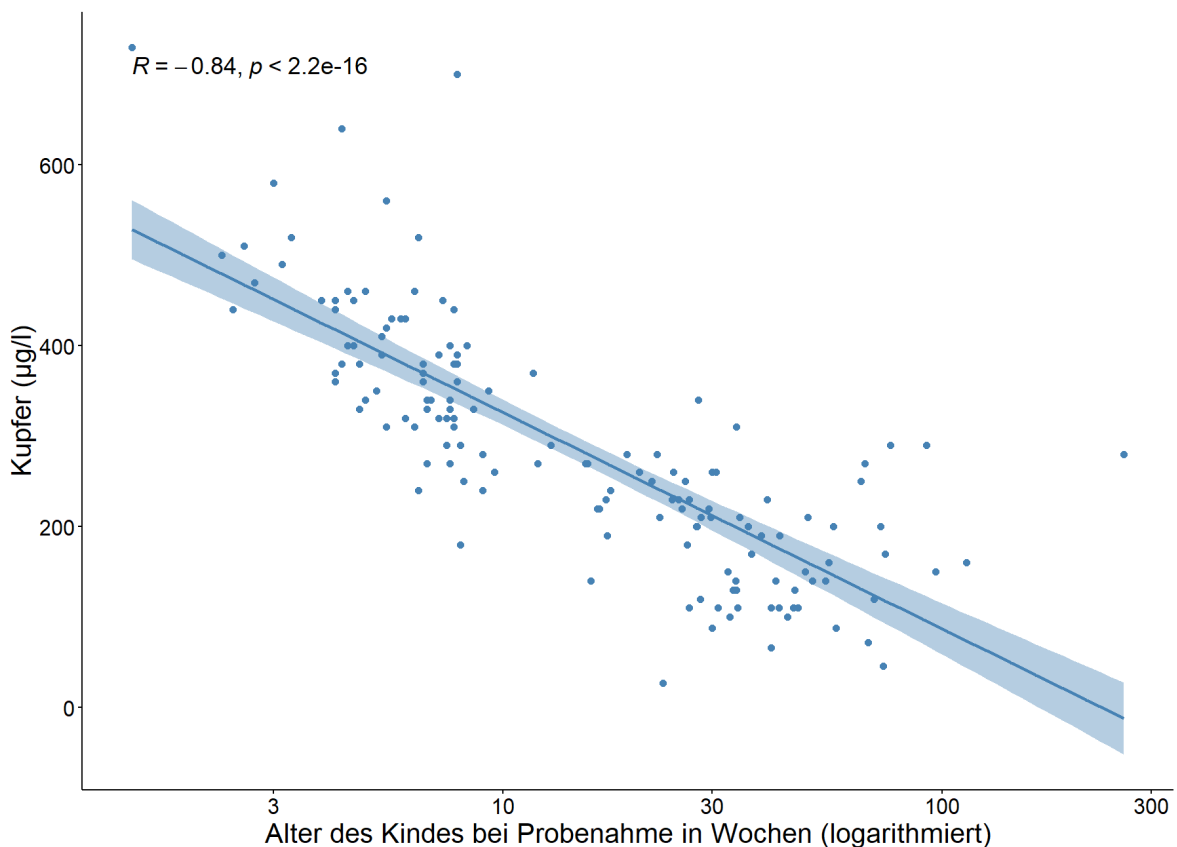
Die in der vorliegenden Studie ermittelten Gehalte sind mit anderen europäischen Untersuchungen von Kobalt in Muttermilch vergleichbar; die gemessenen Konzentrationen liegen in einem ähnlichen Bereich: In 30 % der Proben von ausschließlich stillenden Müttern aus Polen (n=30, Abgabe der Muttermilch 4–6 Wochen nach der Geburt) wurden Kobaltgehalte von bis zu 0,36 µg/l nachgewiesen. Der Median lag bei 0,05 µg/l (Bzikowska-Jura et al., 2024). In einer spanischen Untersuchung in 30–60 Tage nach der Geburt abgegebenen Muttermilchproben lag der Median bei 0,21 µg Kobalt/l (Ventura et al, 2024).

4.2.10 Kupfer

Kupfer wurde in allen 150 untersuchten Muttermilchproben in Konzentrationen zwischen 27 und 730 µg/l (Median: 270 µg/l, 95P: 506 µg/l) nachgewiesen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgelistet. Es wurde eine statistisch signifikante Abnahme der nachgewiesenen

Kupfergehalte in der Muttermilch mit zunehmender Stilldauer identifiziert ($r=-0,84$). Graphisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 12 dargestellt. Auch in Zusammenhang mit dem steigenden Alter der Mutter wurde eine statistisch signifikante Abnahme der Kupferkonzentrationen festgestellt. Der Effekt war aber nur moderat ($r=-0,33$).

Abbildung 12 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Kupferkonzentration in der Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]



Korrelation nach Spearman; in Blau ist die Regressionslinie mit dem 95 % Konfidenzintervall dargestellt.

Basierend auf den in den Muttermilchproben nachgewiesenen Konzentrationen wurden die Kupfer-Verzehrmengen durch die Säuglinge berechnet. Dabei ergaben sich für die gesamte Studienpopulation durchschnittliche Verzehrsmengen von 22–584 $\mu\text{g/d}$ (Median: 216 $\mu\text{g/d}$, 95P: 404 $\mu\text{g/d}$) und maximale Verzehrsmengen von 32–876 $\mu\text{g/d}$ (Median: 324 $\mu\text{g/d}$, 95P: 607 $\mu\text{g/d}$). Die Verzehrsmengen nach den unterschiedlichen Altersgruppen sind in Tabelle 7 im Detail angeführt.

Kupfer ist ein essenzielles Spurenelement, für welches die DGE als Schätzwerte für die angemessene tägliche Zufuhr zwischen 200 und 1.000 µg/d angibt (für Säuglinge bzw. Kleinkinder, abgestuft nach Alter) (DGE, 2025). In der aktuellen Studie lag der Anteil jener Proben, die – basierend auf den durchschnittlichen Verzehrsmengen – unter den empfohlenen Mengen von 200–600 µg/d lagen, bei 8,8 %. Zieht man die maximalen Verzehrsmengen heran, waren es 1,3 %. Über den empfohlenen Zufuhrmengen in dieser Altersgruppe lagen bei Betrachtung der maximalen Verzehrsmengen 10 %. In der Altersgruppe der 4–12 Monate alten Säuglinge lagen alle Kupfer-Verzehrsmengen unter der DGE-Empfehlung von 600–700 µg/d. Für Kinder über einem Jahr empfiehlt die DGE eine tägliche Kupferzufuhr von 500–1.000 µg/d. Auch hier lagen alle berechneten Verzehrsmengen unter diesem Bereich.

Für Kupfer gibt die EFSA eine ADI von 70 µg/kg KG/d an (EFSA, 2023b). Es ist anzumerken, dass die ADI – bei Annahme eines Körpergewichts von 6,1 kg – für Säuglinge bis zu einem Jahr einer Aufnahme von 427 µg/d entspricht und – bei Annahme eines Körpergewichts von 12 kg – für Kinder ab einem Jahr 840 µg/d beträgt. Diese Werte liegen in einem ähnlichen Bereich wie die DGE-Empfehlungen. Überschreitungen der ADI wurden in der Gruppe der 0–4 Monate alten Säuglinge identifiziert, wobei 6,3 % der berechneten durchschnittlichen Verzehrsmengen und 56 % der berechneten maximalen Verzehrsmengen über der ADI lagen.

Tabelle 7 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/kg KG/ und µg/d], akzeptable tägliche Aufnahmemengen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Kupfer

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/kg KG/d] ^{1,2} Bereich (Median;95P)	ADI (EFSA, 2023b) [µg/kg KG/d]	Anteil über ADI [%]	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ² Bereich (Median;95P)	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 18–96 (49;74) MAX: 28–144 (73;110)	70	Ø: 6,3 MAX: 56	Ø: 112–584 (296;449) MAX: 168–876 (444;673)	200–600	Ø: 8,8 MAX: 1,3
4–12 Monate	51	Ø: 3,5–45 (26;37) MAX: 5,3–67 (39;55)	70	Ø: 0 MAX: 0	Ø: 22–272 (160;224) MAX: 32–408 (240;336)	600–700	Ø: 100 MAX: 100

>1 Jahr	16	Ø: 3,1–19 (11;19) MAX: 4,6–29 (16;29)	70	Ø: 0 MAX: 0	Ø: 37–232 (128;232) MAX: 55–348 (192;348)	500–1.000	Ø: 100 MAX: 100
Keine Alters- angabe	3	Ø: 25–45 (34;44) MAX: 37–67 (51;65)			Ø: 152–272 (208;266) MAX: 228–408 (312;398)		

¹ Als Default wurde für Kinder <1 Jahr ein Körpergewicht von 6,1 kg und für Kinder >1 Jahr von 12 kg angenommen.

² Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag. Abkürzungen und Erläuterungen: ADI, akzeptable tägliche Aufnahmemenge; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; n, Anzahl; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

Im Vergleich mit früheren europäischen Studien lag der in der vorliegenden Studie ermittelte Maximalgehalt von 730 µg/l zumeist etwas höher, während der Median mit 270 µg/l geringer ausfiel.

Eine Untersuchung in Deutschland aus dem Jahr 2005 ermittelte, dass gestillte Säuglinge der Altersgruppe 0–4 Monate 150–320 µg Kupfer/d und jene der Altersgruppe >4 Monate 66–210 µg/d über die Muttermilch aufnahmen. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der mütterlichen Kupferaufnahme über die Ernährung und den Kupfergehalten in der Muttermilch konnte nicht identifiziert werden (BMU, 2005). Venturelli et al. (2005) wiesen in allen 195 untersuchten Muttermilchproben (Abgabe 25–56 Tage nach der Geburt) Kupfer in Konzentrationen von bis zu 836 µg/l nach. Der Median lag bei 408 µg/l und die 75P bei 459 µg/l. In Polen wurden in 30 Muttermilchproben von ausschließlich stillenden Frauen (Abgabe 4–6 Wochen nach der Geburt) Kupfergehalte zwischen 118 µg/l und 473 µg/l (Median: 333 µg/l) detektiert (Bzikowska-Jura et al., 2024). Eine spanische Studie von Ventura et al. (2024), welche Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, untersuchte, berichtete von Kupfergehalten in Muttermilch mit einem Median von 404 µg/l. In bis acht Wochen nach der Geburt abgegebener Muttermilch von in den Jahren 2013–2014 beprobten Müttern in der Schweiz (n=32) wurde Kupfer mit einem Median von 420 µg/l gemessen (Sabatier et al., 2019).

4.2.11 Mangan

Mangan wurde in 85 % der 150 untersuchten Muttermilchproben in Gehalten von bis zu 11 µg/l nachgewiesen. Der Median lag bei <BG (<1,5 µg/l) und die 95P bei 5,0 µg/l (Tabelle 3).

Basierend auf den Mangankonzentrationen in der Muttermilch wurden die durchschnittlichen Verzehrsmengen berechnet; diese lagen zwischen 0 und 8,8 µg/d (Median: 1,2 µg/d, 95P: 4,0 µg/d), die maximalen Verzehrsmengen bewegten sich zwischen 0 und 13 µg/d (Median: 1,8 µg/d, 95P: 6,0 µg/d). Nach Altersgruppen sind die Verzehrsmengen in Tabelle 8 angeführt.

Nach EFSA (2013) liegen die AI für Säuglinge im Alter von 7–11 Monaten in einem Bereich von 20–500 µg/d und für Kinder zwischen 1 und 3 Jahren bei 500 µg/d. Sowohl die berechneten durchschnittlichen als auch die berechneten maximalen Verzehrsmengen lagen in der aktuellen Studie deutlich unter diesen Empfehlungen. Es ist aber anzumerken, dass beim Menschen noch kein spezifisches Mangan-Mangelsyndrom beobachtet werden konnte (EFSA, 2013). Als sichere Aufnahmemenge für Mangan legte die EFSA außerdem für Säuglinge im Alter von 4–12 Monaten 2.000 µg/d und für Kinder im Alter von 1–3 Jahren 4.000 µg/d fest (EFSA, 2023c). Diese Werte wurden sehr deutlich unterschritten.

Der Schätzwerte der DGE und ÖGE für eine angemessene Manganzufuhr (600–1.000 µg/d für Säuglinge im Alter von 5–12 Monaten und 1.000-1.500 µg/d für Kinder im Alter von 1–4 Jahren) (DGE, 2025) wurden ebenfalls deutlich unterschritten.

Tabelle 8 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/d], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Mangan

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	AI (EFSA, 2013) [µg/d]	Anteil unter AI [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 0–6,5 (1,2;3,8) MAX: 0–9,7 (1,8;5,7)	-	-	-	-

4–12 Monate	51	Ø: 0–5,4 (1,2;3,4) MAX: 0–8,2 (1,8;5,1)	20–500	Ø: 100 MAX: 100	500–1.000	Ø: 100 MAX: 100
>1 Jahr	16	Ø: 0–8,8 (1,2;7,0) MAX: 0,0–13 (1,8;11)	500	Ø: 100 MAX: 100	1.000–1.500	Ø: 100 MAX: 100
Keine Altersangabe	3	Ø: 0,96–1,7 (1,2;1,6) MAX: 1,4–2,5 (1,8;2,4)				

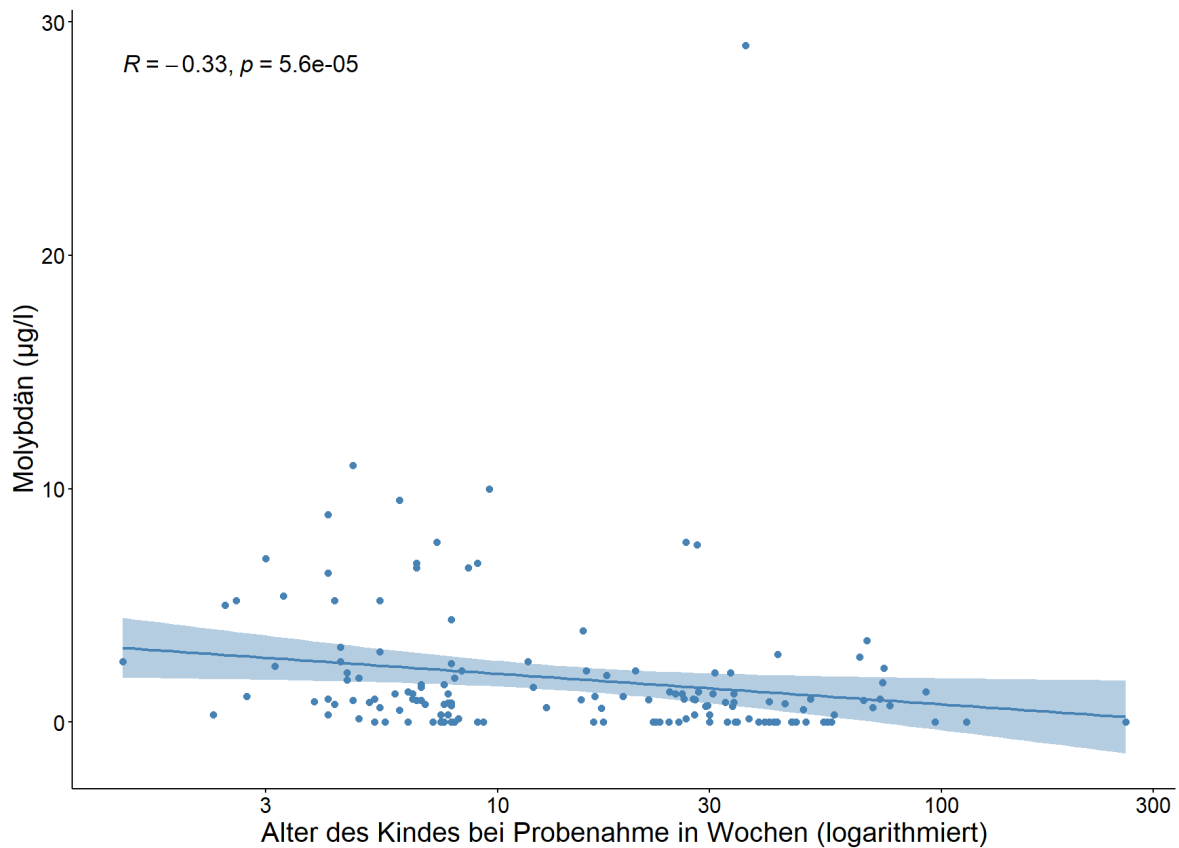
¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag. Abkürzungen und Erläuterungen: AI, Adäquate Aufnahmemenge; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; n, Anzahl; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

Mangan wurde in einer norditalienischen Studie in 99,5 % der untersuchten Muttermilchproben von 195 Müttern im Alter von 19–45 Jahren nachgewiesen. Die höchste Konzentration lag hier bei 31,09 µg/l, der Median bei 2,48 µg/l und die 75P bei 3,72 µg/l. Die Proben wurden 25–56 Tage nach der Geburt abgegeben (Venturelli et al., 2025). Von Bzikowska-Jura et al. (2024) wurden 30 Muttermilchproben aus Polen, die 4–6 Wochen nach der Geburt abgegeben wurden, untersucht. In allen Proben wurde Mangan in Gehalten zwischen 0,07 und 6,49 µg/l (Median: 1,64 µg/l) detektiert. In einer spanischen Untersuchung von Ventura et al. (2024) erfolgte der Nachweis von Mangan mit einer medianen Konzentration von 5,84 µg/l in Muttermilch, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurde. Vergleicht man die Mediane mit den Ergebnissen der vorliegenden österreichischen Untersuchung in 150 Muttermilchproben, so zeigen diese etwas geringere Gehalte.

4.2.12 Molybdän

In den untersuchten Muttermilchproben wurde Molybdän in Konzentrationen von bis zu 29 µg/l detektiert. Der Median lag bei 0,90 µg/l und die 95P bei 7,3 µg/l. Insgesamt erfolgte der Nachweis in 75 % der untersuchten Proben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 angeführt. Ein statistisch signifikanter, wenn auch schwacher, abnehmender Zusammenhang wurde zwischen dem Alter des Kindes bei der Probenahme bzw. der Stilldauer und den Molybdän-Gehalten festgestellt ($r=-0,33$) (Abbildung 13).

Abbildung 13 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Molybdänkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]



Korrelation nach Spearman; in Blau ist die Regressionslinie mit dem 95 % Konfidenzintervall dargestellt.

Für die gesamte Studienpopulation lagen die berechneten durchschnittlichen Verzehrsmengen im Bereich von 0–23 $\mu\text{g/d}$ (Median: 0,72 $\mu\text{g/d}$, 95P: 5,9 $\mu\text{g/d}$) und die maximalen Verzehrsmengen im Bereich von 0–35 $\mu\text{g/d}$ (Median: 1,1 $\mu\text{g/d}$, 95P: 8,8 $\mu\text{g/d}$). Tabelle 9 zeigt die berechneten Verzehrsmengen für die unterschiedlichen Altersgruppen.

Als adäquate Aufnahmemenge wird von EFSA (2013b) für Säuglinge (7–11 Monate) ein Wert von 10 $\mu\text{g/d}$ vorgeschlagen. Dieser Wert wurde mit einer Ausnahme von 23 $\mu\text{g/d}$ (berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge) bzw. 35 $\mu\text{g/d}$ (berechnete maximale Verzehrsmenge) in allen Proben unterschritten. Weiters ist für Kinder ab einem Jahr ein oberes Aufnahme-Limit von 100–500 $\mu\text{g/d}$ festgelegt (EFSA, 2013b). Dieses wurde nicht erreicht.

Die DGE und die ÖGE geben Schätzwerte für eine angemessene Molybdänzufuhr an, die je nach Alter zwischen 7 und 50 µg/d liegen (DGE, 2025). Basierend auf den durchschnittlichen Verzehrsmengen lag in der Gruppe der 0–4 Monate alten Säuglinge ein Anteil von 95 % unter dem entsprechenden Schätzwert von 7 µg/d. Basierend auf den maximalen Verzehrsmengen betrug der Anteil 86 %. In der Gruppe der 4–12 Monate alten Säuglinge wurde die angemessene Molybdän-Zufuhr von 20–40 µg/d nur in einem Fall eingehalten, die übrigen berechneten durchschnittlichen und maximalen Verzehrsmengen lagen darunter. In der Altersgruppe der über einjährigen Kinder konnte die empfohlene tägliche Molybdän-Zufuhr über den Verzehr von Muttermilch zur Gänze nicht erreicht werden. Es ist jedoch anzumerken, dass besonders ältere Säuglinge und Kleinkinder ihren Bedarf nicht ausschließlich über die Muttermilch decken, sondern auch Beikost erhalten.

Tabelle 9 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/d], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Molybdän

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	AI (EFSA, 2013b) [µg/d]	Anteil unter AI [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 0–8,8 (0,88;6,2) MAX: 0–13 (1,3;9,3)	-	-	7	Ø: 95 MAX: 86
4–12 Monate	51	Ø: 0–23 (0,54;4,2) MAX: 0–35 (0,82;6,3)	10	Ø: MAX:	20–40	Ø: 98 MAX: 98
>1 Jahr	16	Ø: 0–2,8 (0,66;2,4) MAX: 0–4,2 (0,99;3,6)	-	-	25–50	Ø: 100 MAX: 100
Keine Altersangabe	3	Ø: 0,12–0,57 (0,54;0,56) MAX: 0,18–0,85 (0,80;0,85)				

¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag.

Abkürzungen und Erläuterungen: AI, Adäquate Aufnahmemenge; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; n, Anzahl; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

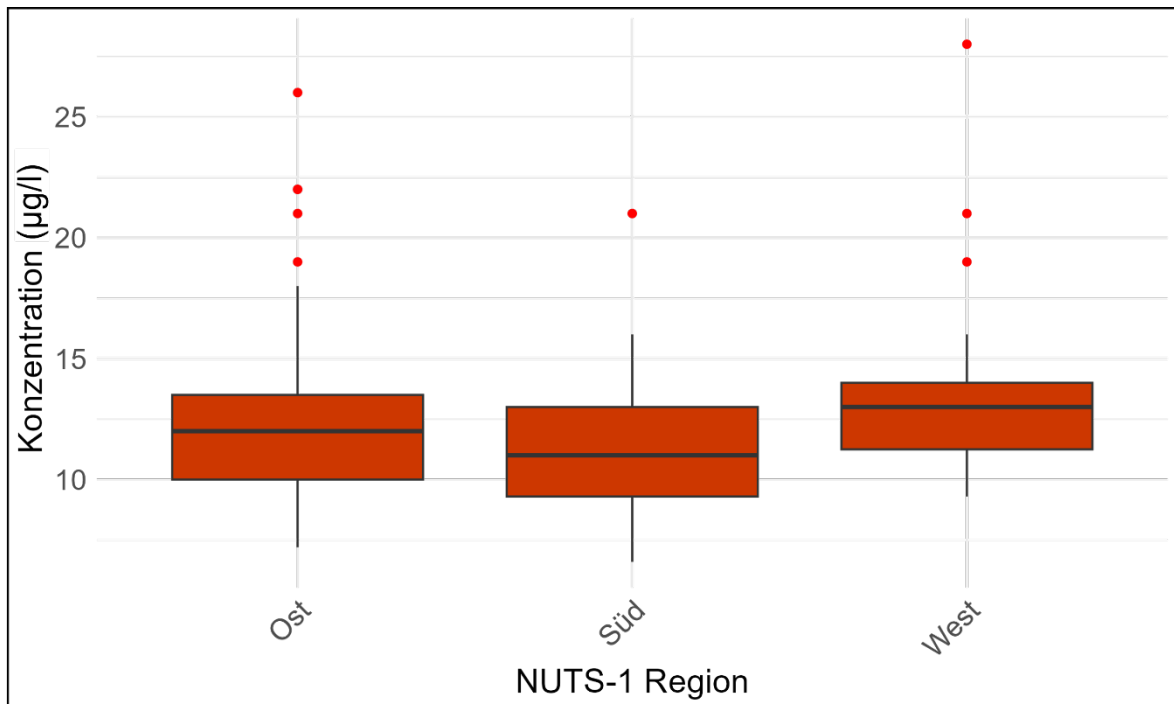
In Polen wurde Molybdän in allen 30 untersuchten Muttermilchproben, die 4–6 Wochen nach der Geburt abgegeben wurden, in Gehalten von 0,18 bis 4,32 µg/l (Median: 0,83 µg/l) nachgewiesen (Bzikowska-Jura et al., 2024). In der vorliegenden österreichischen Untersuchung lag der Median in einem ähnlichen Bereich. In einer spanischen Studienpopulation wurde für 30–60 Tage nach der Geburt abgegebene Muttermilchproben ein Median von 2,18 µg Molybdän/l ermittelt. Dieser Wert liegt deutlich über dem Median der aktuellen Studie.

4.2.13 Selen

Das essenzielle Spurenelement Selen wurde in allen der 150 untersuchten Muttermilchproben nachgewiesen. Die Gehalte lagen dabei in einem Bereich von 6,6–28 µg/l, mit einem Median von 12 µg/l und einer 95P von 19 µg/l (Tabelle 3).

Ein signifikanter Unterschied ($p=0,044$) konnte für Selen in Muttermilch je nach Region in Österreich (NUTS-1-Region) festgestellt werden, wobei ein West-Ost-Süd-Gefälle identifiziert wurde. Die Verteilung der nachgewiesenen Selenkonzentrationen (Boxplots) nach Region ist graphisch in Abbildung 14 dargestellt.

Abbildung 14 Verteilung der Selenkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch nach NUTS-1-Region



Ostösterreich (n=87): Burgenland, Niederösterreich, Wien; Südösterreich (n=29): Kärnten, Steiermark; Westösterreich (n=34): Oberösterreich, Salzburg, Tirol, Vorarlberg

Die durchschnittlichen und maximalen Verzehrsmengen wurden über die in der Muttermilch gemessenen Selenkonzentrationen berechnet und sind für die unterschiedlichen Altersgruppen in Tabelle 10 angeführt. Für die gesamte Studienpopulation lagen die Werte für die durchschnittliche Aufnahme zwischen 5,3 und 22 $\mu\text{g/d}$ (Median: 9,6 $\mu\text{g/d}$, 95P: 15 $\mu\text{g/d}$) und für die maximale Aufnahme zwischen 7,9 und 34 $\mu\text{g/d}$ (Median: 14 $\mu\text{g/d}$, 95P: 23 $\mu\text{g/d}$).

Die von der EFSA (2014c) festgesetzte adäquate Aufnahme von 15 $\mu\text{g/d}$ für Säuglinge im Alter von 7–11 Monaten und für Kinder im Alter von 1–3 Jahren wurde von der überwiegenden Mehrheit unterschritten, sowohl im Hinblick auf die durchschnittlichen als auch auf die maximalen Verzehrsmengen (genaue Anteile siehe Tabelle 10). Grundsätzlich ist in diesem Alter aber davon auszugehen, dass über Beikost die gesamte Selenaufnahme durchaus höher ist. Die ebenfalls von der EFSA festgesetzten tolerierbaren Aufnahmemengen für Säuglinge und Kinder ab 4 Monaten (EFSA, 2023d) wurden nicht überschritten.

Die DGE und die ÖGE setzen für die empfohlene Selenzufuhr Schätzwerte von 10 µg/d für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten sowie von 15 µg/d für ältere Säuglinge und Kinder bis 4 Jahre fest (DGE, 2025). Bei den jüngsten Säuglingen lagen die durchschnittlichen Verzehrsmengen in 55 % der Fälle unter der empfohlenen Zufuhr und die maximalen Verzehrsmengen lagen zu 100 % über der Empfehlung. In der Altersgruppe der 4–12 Monate alten Säuglinge wurde die empfohlene Zufuhr zu 96 % (durchschnittliche Verzehrsmenge) bzw. 73 % (maximale Verzehrsmenge) unterschritten. In der Altersgruppe der 1–4-jährigen Kinder waren es 88 % bzw. 44 %. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Gesamt-Selenaufnahme der älteren Säuglinge und Kleinkinder nicht ausschließlich über die Muttermilch, sondern auch über Getränke und Lebensmittel erfolgt.

Der genaue Selenbedarf ist allerdings nicht bekannt (BMASGPK, 2025b).

Tabelle 10 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/d], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, tolerierbare Aufnahmemengen und Anteile der Säuglinge über den tolerierbaren Aufnahmemengen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Selen

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95 P)	AI (EFSA, 2014c) [µg/d]	Anteil unter AI [%]	Tolerierbare Aufnahmemenge (EFSA, 2023d) [µg/d]	Anteil über tolerierbarer Aufnahmemenge [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 6,7–18 (9,6;15) MAX: 10–26 (14)	-	-	-	-	10	Ø: 55 MAX: 0
4–12 Monate	51	Ø: 5,3–22 (8,8;12) MAX: 7,9–34 (13;19)	15	Ø: 96 MAX: 73	45 (4–6 Monate) 55 (7–11 Monate)	Ø: 0 MAX: 0	15	Ø: 96 MAX: 73
>1 Jahr	16	Ø: 6,0–21 (11;18) MAX: 9,0–31 (16;28)	15	Ø: 88 MAX: 44	70	Ø: 0 MAX: 0	15	Ø: 88 MAX: 44

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [$\mu\text{g}/\text{d}$] ¹ Bereich (Median;95P)	AI (EFSA, 2014c) [$\mu\text{g}/\text{d}$]	Anteil unter AI [%]	Tolerierbare Aufnahme-menge (EFSA, 2023d) [$\mu\text{g}/\text{d}$]	Anteil über tolerierbarer Aufnahme-menge [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2025) [$\mu\text{g}/\text{d}$]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
Keine Altersangaben	3	\emptyset : 5,8–9,6 (5,9;9,2) MAX: 8,8–14 (8,9;14)						

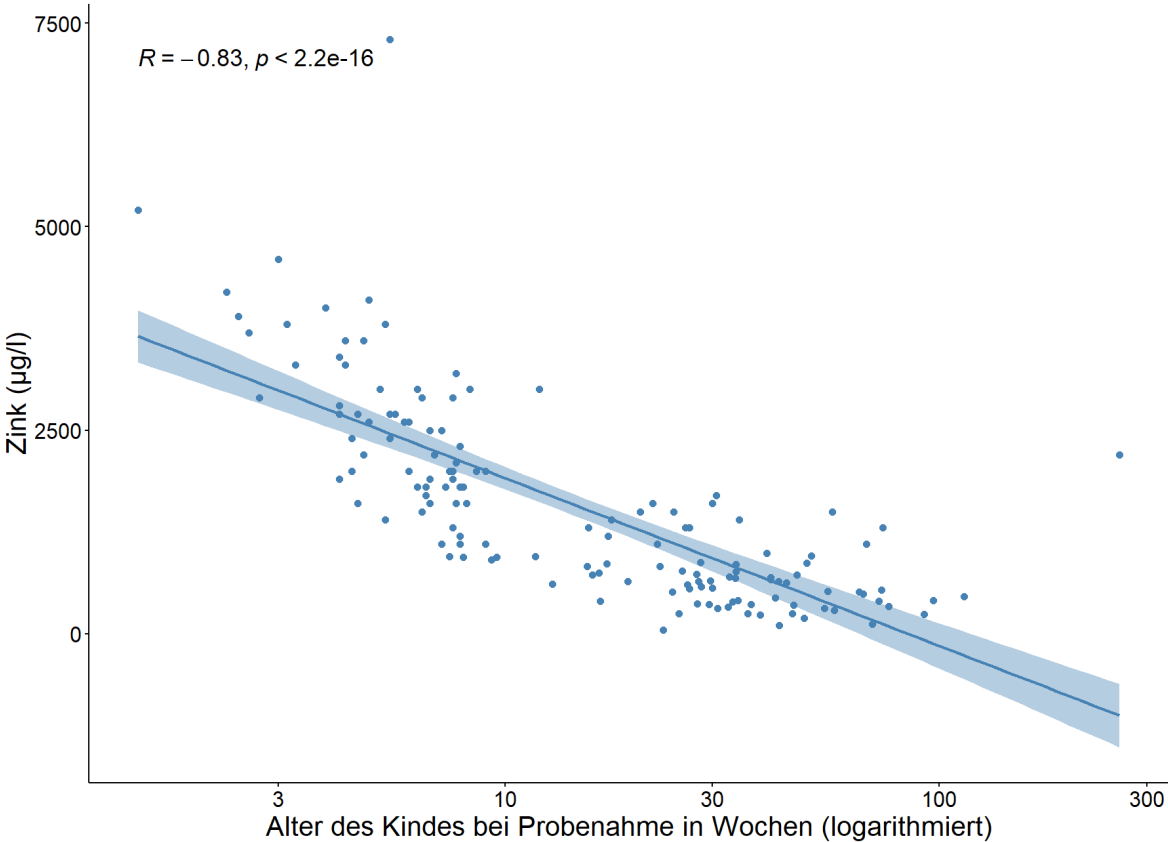
¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrsmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag. Abkürzungen und Erläuterungen: AI, Adäquate Aufnahmemenge; d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrsmenge; n, Anzahl; \emptyset , berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge; 95P, 95. Perzentile.

Vergleicht man die Ergebnisse der aktuellen Studie mit weiteren europäischen Untersuchungen von Muttermilch, so zeigen sich sehr ähnliche Selenkonzentrationen. Beispielsweise wurde in allen untersuchten Muttermilchproben von stillenden Frauen aus Norditalien (n=195) Selen in Gehalten von bis zu 22,53 $\mu\text{g}/\text{l}$ mit einem Median von 11,14 $\mu\text{g}/\text{l}$ und einer 75P von 13,44 $\mu\text{g}/\text{l}$ nachgewiesen. Diese Proben wurden 25–56 Tage nach der Geburt abgegeben (Venturelli et al., 2025). In Muttermilch von Schweizer Frauen (n=32), die in den Jahren 2013 und 2014 gesammelt wurde, wurde Selen mit einem medianen Gehalt von 14 $\mu\text{g}/\text{l}$ detektiert. Die untersuchten Proben wurden bis 8 Wochen nach der Geburt gesammelt (Sabatier et al., 2019).

4.2.14 Zink

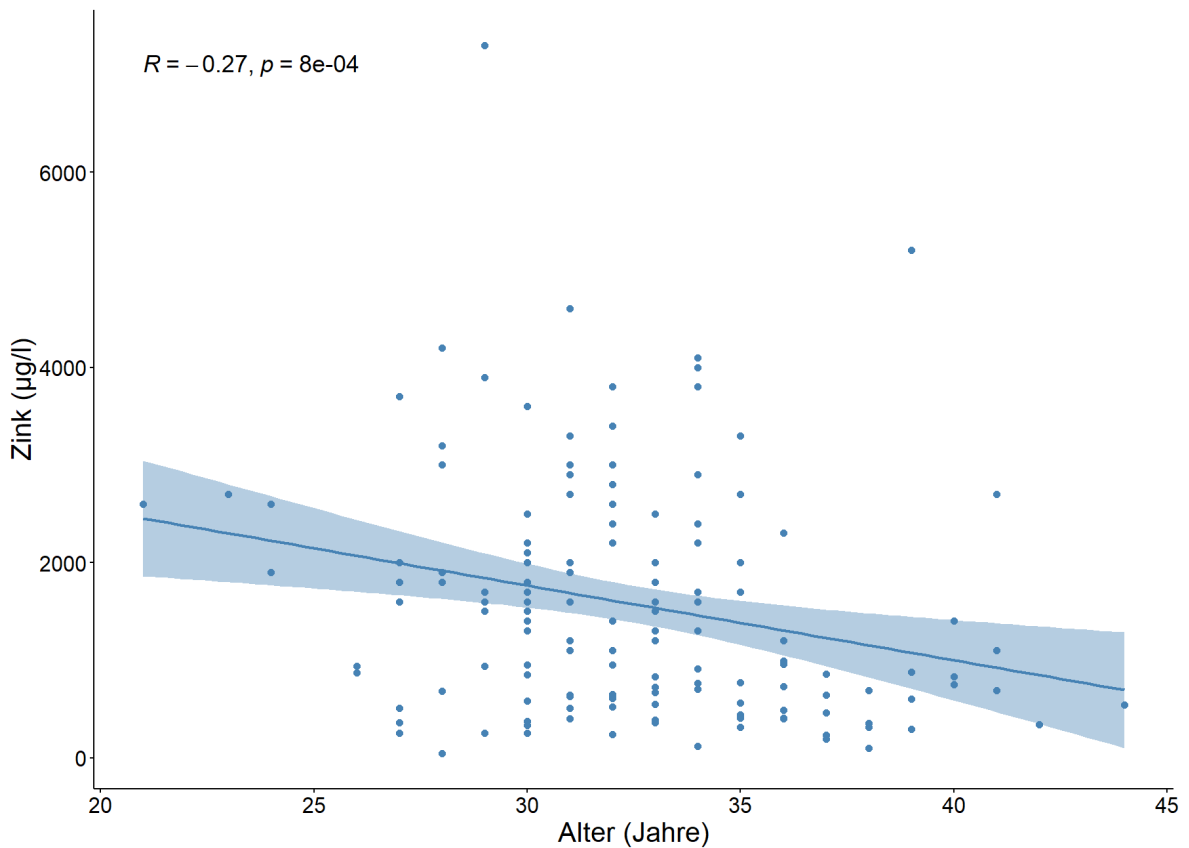
Das essenzielle Spurenelement Zink wurde in allen untersuchten Muttermilchproben in Konzentrationen zwischen 46 und 7.300 $\mu\text{g}/\text{l}$ nachgewiesen. Die mediane Konzentration lag bei 1.300 $\mu\text{g}/\text{l}$ und die 95P bei 3.800 $\mu\text{g}/\text{l}$. Eine statistisch signifikante, ausgeprägte Abnahme der Zinkgehalte in Muttermilch mit steigendem Alter der Säuglinge bei Probenahme und damit der Stilldauer wurde festgestellt ($r=-0,83$). Abbildung 15 zeigt diese Abnahme graphisch. Auch mit steigendem Alter der Mütter sanken die in den Muttermilchproben nachgewiesenen Zinkgehalte statistisch signifikant ($r=-0,27$), wenn auch deutlich weniger ausgeprägt (Abbildung 16).

Abbildung 15 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Zinkkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]



Korrelation nach Spearman; in Blau ist die Regressionslinie mit dem 95 % Konfidenzintervall dargestellt.

Abbildung 16 Zusammenhang zwischen dem Alter der Mutter [Jahr] und der Zinkkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]



Korrelation nach Spearman; in Blau ist die Regressionslinie mit dem 95 % Konfidenzintervall dargestellt.

Die errechneten durchschnittlichen Verzehrsmengen lagen für Zink zwischen 37 und 5.840 $\mu\text{g/d}$ (Median: 1.040 $\mu\text{g/d}$, 95P: 3.040 $\mu\text{g/d}$); die maximalen Verzehrsmengen bewegten sich zwischen 55 und 8.760 $\mu\text{g/d}$ (Median: 1.560 $\mu\text{g/d}$, 95P: 4.560 $\mu\text{g/d}$). Tabelle 11 zeigt die errechneten Verzehrsmengen für die unterschiedlichen Altersgruppen.

Der von der EFSA (2014d) ermittelte durchschnittliche Zinkbedarf von 2.400 $\mu\text{g/d}$ für Kinder ab sieben Monaten sowie von 3.600 $\mu\text{g/d}$ für 1–3-jährige Kinder wurde in der aktuellen Studienpopulation über die berechnete durchschnittliche sowie maximale Aufnahme über die Muttermilch nicht erreicht. Da in diesen Altersgruppen üblicherweise auch eine Zinkzufuhr über Beikost erfolgt, ist dies nicht als kritisch zu bewerten.

Verglichen mit der ebenfalls von der EFSA veröffentlichten Referenzaufnahme von 2.900–14.200 $\mu\text{g/d}$ (EFSA, 2014d) lagen alle berechneten Verzehrsmengen unter diesem Bereich.

Der DGE-Schätzwert für die empfohlene Zinkzufuhr von 1.500 µg/d für Säuglinge im Alter von 0–4 Monaten (DGE, 2019) wurde in der entsprechenden Altersgruppe von 40 % (bezogen auf die berechnete durchschnittliche Verzehrsmenge) bzw. von 19 % (bezogen auf die berechnete maximale Verzehrsmenge) unterschritten (vgl. Tabelle 11). In der Gruppe der 4–12 Monate alten Säuglinge wurde der Schätzwert von 2.500 µg/d in allen (100 %, durchschnittliche Verzehrsmengen) bzw. in nahezu allen Fällen (98 %, maximale Verzehrsmengen) unterschritten. Auch Kinder im Alter von mehr als einem Jahr unterschritten zu 100 % den Schätzwert für diese Altersgruppe von 3.000 µg/d mit der Zink-Aufnahme über die Muttermilch. Für die Einordnung der Ergebnisse ist zu beachten, dass Zink besonders von Kindern über 6 Monaten auch über die Beikost aufgenommen wird.

Tabelle 11 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [µg/d], durchschnittlicher Bedarf und Anteile unter dem durchschnittlichen Bedarf, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile unter der empfohlenen Zufuhr für Zink

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrsmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	AR (EFSA, 2014d) [µg/d]	Anteil unter AR [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2019) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
0–4 Monate	80	Ø: 320–5.840 (1.600;3.284) MAX: 480–8.760 (2.400;4.926)	-		1.500	Ø: 40 MAX: 19
4–12 Monate	51	Ø: 37–1.760 (520;1.280) MAX: 55–2.640 (780;1.920)	2.400 (ab 7 Monate)	Ø: 100 MAX: 100	2.500	Ø: 100 MAX: 98
>1 Jahr	16	Ø: 96–1.200 (380;1.080) MAX: 144–1.800 (570;1.620)	3.600	Ø: 100 MAX: 100	3.000	Ø: 100 MAX: 100
Keine Altersangabe	3	Ø: 552–1.360 (960;1.320)				

Altersgruppe	n	Berechnete Verzehrmenge [µg/d] ¹ Bereich (Median;95P)	AR (EFSA, 2014d) [µg/d]	Anteil unter AR [%]	Empfohlene Zufuhr (DGE, 2019) [µg/d]	Anteil unter empfohlenen Zufuhr [%]
		MAX: 828– 2.040 (1.440;1.980)				

¹ Berechnete durchschnittliche Verzehrmenge unter Berücksichtigung von 800 ml Muttermilch pro Tag, berechnete maximale Verzehrmenge unter Berücksichtigung von 1.200 ml Muttermilch pro Tag. Abkürzungen und Erläuterungen: AR, durchschnittlicher Bedarf (Average Requirement); d, Tag; DGE, Deutsche Gesellschaft für Ernährung; EFSA, Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde; KG, Körpergewicht; MAX, berechnete maximale Verzehrmenge; n, Anzahl; Ø, berechnete durchschnittliche Verzehrmenge; 95P, 95. Perzentile.

In verschiedenen europäischen Studien wurde Zink in Muttermilchproben untersucht. So erfolgte in den Jahren 2015–2017 in Polen die Untersuchung von 24-Stunden-Muttermilchproben (n=43), welche ein, drei sowie sechs Monate nach der Geburt gesammelt wurden. Einen Monat nach der Geburt lagen die nachgewiesenen Zinkgehalte mit einer Nachweisrate von 100 % im Median bei 2.200 µg/l, drei Monate nach der Geburt mit einer Nachweisrate von 95 % im Median bei 1.200 µg/l, und sechs Monate nach der Geburt mit einer Nachweisrate von 84 % im Median bei 800 µg/l (Zielinska-Pukos et al., 2024). In einer in Norditalien durchgeführten Studie von Venturelli et al. (2025) wurde in allen 195 untersuchten Muttermilchproben Zink in Konzentrationen von bis zu 5.214 µg/l nachgewiesen. Der Median lag bei 2.264 µg/l und die 75P bei 2.849 µg/l. In einer spanischen Untersuchung von Muttermilchproben, die 30–60 Tage nach der Geburt abgegeben wurden, wurde Zink mit einem Median von 2.099 µg/l nachgewiesen (Ventura et al., 2024). In Muttermilch von in den Jahren 2013 und 2014 beprobten stillenden Müttern aus der Schweiz (n=32) wurde Zink mit einem medianen Gehalt von 2.700 µg/l gemessen (Sabatier et al., 2019).

5 Erkenntnisse und Ausblick

Muttermilch als beste Nahrungsquelle

Muttermilch ist die beste Nahrungsquelle für Neugeborene und Säuglinge, da sie alle Nährstoffe enthält, die für eine gesunde Entwicklung des Kindes wichtig sind. Die positiven Effekte auf die Gesundheit sind beträchtlich, weshalb das ausschließliche Stillen in den ersten sechs Lebensmonaten sowie das zusätzliche Stillen zur Beikost bis zu einem Alter von zwei Jahren und darüber hinaus ausdrücklich empfohlen wird (BMASGPK, 2020; WHO, 2023b). Wird das Kind gestillt, ist für seine Gesundheit und Entwicklung in den ersten Lebensmonaten keine zusätzliche Nahrung oder Flüssigkeit notwendig. Je nach Entwicklung des Säuglings wird um den sechsten Lebensmonat – nicht vor Beginn des fünften bzw. nach Ende des sechsten Lebensmonats – empfohlen, mit Beikost zu beginnen (BMASGPK, 2014). Umso wichtiger ist es, dass Muttermilch eine sichere Nahrungsquelle für die Säuglinge darstellt. Schadstoffe können von der Mutter in die Muttermilch übergehen, die ein wichtiger Indikator für die Belastung von Mutter und Kind ist. Ein genereller Nachweis von problematischen Stoffen in der Muttermilch bedeutet nicht zwangsläufig eine unmittelbare Gesundheitsgefahr für das Kind, da diese von der Dauer und Höhe der Exposition abhängig ist. Hintergrundbelastungen aufgrund des natürlichen Vorkommens und anthropogener Aktivitäten wie z. B. Industrie und Verkehr sind unvermeidlich. Wichtig sind die Kenntnis und die laufende Beobachtung der Exposition mit gesundheitsschädlichen Substanzen. Damit können mögliche Risiken besser eingeschätzt und gesetzliche Maßnahmen zur Verringerung der Exposition gesetzt werden.

Annahmen zur Einordnung der Ergebnisse

Basierend auf den in den Muttermilchproben gemessenen Metallkonzentrationen wurden die theoretischen täglichen bzw. wöchentlichen Aufnahmemengen bzw. Verzehrsmengen berechnet. Dafür wurden Durchschnittswerte für das Körpergewicht der Kinder angenommen (6,1 kg für Kinder unter einem Jahr und 12 kg für Kinder über einem Jahr). Als durchschnittliche bzw. maximale tägliche Muttermilchverzehrsmengen wurden 800 ml und 1.200 ml herangezogen. Da es sich hier um theoretische Annahmen handelt, die auch die EFSA für Berechnungen heranzieht, können aus diesen Daten keine Schlussfolgerungen auf individueller, sondern nur auf Populationsebene gezogen werden.

Die berechneten Aufnahmemengen bzw. Verzehrsmengen wurden mit verfügbaren tolerierbaren, akzeptablen oder empfohlenen Aufnahmemengen verglichen, um die Ergebnisse hinsichtlich etwaiger Risiken oder einer möglichen Unterversorgung einordnen zu können.

Schwermetalle

In der vorliegenden Studie wurden die meisten untersuchten Schwermetalle nur in einem kleinen Anteil der Muttermilchproben nachgewiesen: Arsen, Blei, Aluminium, Cadmium und Nickel wurden mit Nachweisraten von 2,7 %, 17 %, 21 %, 21 % und 35 % bei den mit den eingesetzten Methoden erreichbaren Nachweisgrenzen detektiert. Die Ausnahme stellte Quecksilber dar, welches mit 89 % in der Mehrheit der untersuchten Proben gefunden wurde.

Bei den Schwermetallen Aluminium, Blei und Nickel zeigten sich nur in einzelnen Proben Überschreitungen von tolerierbaren Aufnahmemengen. Keine Überschreitung gab es bei Cadmium und Quecksilber. Im Vergleich mit früheren Muttermilch-Studien aus Österreich und aus anderen Ländern zeigten sich in der vorliegenden Studienpopulation geringere Aluminium- sowie Arsenexpositionen. Auch für Quecksilber wurden niedrigere Konzentrationen in der Muttermilch identifiziert. Variierende Ergebnisse (höhere, ähnliche, geringere Expositionen im Vergleich) lagen für Blei, Cadmium und Nickel vor.

Eine interessante Beobachtung war, dass *Aluminium* in quantifizierbaren Konzentrationen fast ausschließlich in Muttermilchproben detektiert wurde, die im Jahr 2021 gezogen wurden. Dies konnte nicht plausibel erklärt werden, ein Messfehler wird aufgrund der analytischen Qualitätssicherung jedenfalls ausgeschlossen.

Für *Arsen* wurde aufgrund der genotoxischen Kanzerogenität von anorganischem Arsen zur Einschätzung der Belastung der MOE-Approach nach EFSA (2024) angewendet. Als Worst-Case-Szenario wurde dabei angenommen, dass das in den Proben gemessene Gesamt-Arsen zu 100 % aus anorganischem Arsen besteht. Dies würde zumindest für die vier Positivproben eine Bedenklichkeit ergeben. Die EFSA stellte in ihrem Gutachten zu anorganischem Arsen (EFSA, 2024a) fest, dass in der europäischen Bevölkerung generell ein Expositionsniveau vorliegt, welches ein Gesundheitsrisiko darstellen kann. Dies scheint auch für die wenigen österreichischen Positivproben zuzutreffen. Um eine

Expositionsabschätzung auf individueller Ebene abgeben zu können, wäre es notwendig, die tatsächlichen Muttermilchverzehrsmengen sowie Körpergewichte der Säuglinge zu erheben und den Anteil des anorganischen Arsens zu bestimmen. Im Blick auf die gesamte Studienpopulation war der Anteil an Proben mit nachweisbarem Gesamt-Arsen sehr gering. Im Sinne des Vorsorgeprinzips könnten aber bestimmte Ernährungsempfehlungen, wie das ausreichende Waschen von Reis vor der Zubereitung, besser beworben werden.

Für *Cadmium* wurde eine statistisch signifikante Abnahme der Konzentrationen in der Muttermilch mit zunehmender Stilldauer beobachtet. Das zeigte sich bereits auch in anderen Studien (z. B. Chao et al., 2014). Cadmium reichert sich im Körper an und hat dort lange Halbwertszeiten. Neben einer Ausscheidung über den Urin scheidet die Mutter Cadmium auch über die Muttermilch aus (Yurdakök, 2015). Dies erklärt auch die geringeren Cadmiumgehalte in der Muttermilch bei fortschreitender Stilldauer.

Im Vergleich zu den anderen gemessenen Schwermetallen wurde Gesamt-*Quecksilber* in der überwiegenden Mehrheit der untersuchten Muttermilchproben nachgewiesen. Zwar wurden die von der EFSA veröffentlichten TWI für anorganisches Quecksilber sowie für Methylquecksilber nicht überschritten, und auch im Vergleich mit anderen Studien war die Belastung in der Muttermilch geringer, aber es zeigten sich statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den gemessenen Konzentrationen und dem Fischkonsum sowie dem Vorhandensein von Amalgamplomben. Diese Ergebnisse sind nicht überraschend und unterstreichen, dass Fisch und Amalgam relevante Aufnahmequellen sind.

Dementsprechend empfiehlt die AGES für Babys, Kleinkinder, Frauen mit Kinderwunsch, Schwangere und Stillende auf Raubfische wie Thunfische, Schwertfische, Heilbutt und Hecht aufgrund der hohen Quecksilberbelastung zu verzichten (AGES, 2025c). Auch in den aktualisierten Ernährungsempfehlungen für Schwangere, Stillende und Frauen mit Kinderwunsch (AGES, BMASGPK & DVS, 2025) wird auf eine mögliche höhere Methylquecksilberbelastung in fettreichen Fischen hingewiesen und ein Verzicht auf diese Fischarten empfohlen. Mit dieser Hilfestellung können die gesundheitlichen Vorteile genutzt und der regelmäßige Fischverzehr empfohlen werden.

Essenzielle Spurenelemente

Von den untersuchten essenziellen Spurenelementen konnten Kupfer, Eisen, Selen und Zink in allen Muttermilchproben detektiert werden. In der überwiegenden Mehrheit der

Proben fanden sich zudem Molybdän (75 %) und Mangan (85 %), während sich Kobalt und Chrom mit 11 % bzw. 12 % nur in einem geringen Anteil nachweisen ließen. Im Vergleich mit anderen europäischen Studien lagen die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Metallgehalte für Chrom höher, für Eisen und Kupfer in vergleichbaren Bereichen oder höher, für Kobalt und Selen in vergleichbaren Bereichen, für Molybdän und Zink in vergleichbaren oder geringeren Bereichen und für Mangan etwas geringer.

Eine statistisch signifikante *Abnahme der Konzentrationen mit fortschreitender Stilldauer* – und damit mit steigendem Alter des Säuglings zum Zeitpunkt der Probenahme – zeigte sich für Eisen, Kupfer und Zink sowie moderat für Molybdän. Die Zusammensetzung der Muttermilch ändert sich im Laufe der Laktationsperiode. Die Gehalte von bestimmten Mineralstoffen wie z. B. Eisen, Selen und Zink sinken während des Stillens mit der Zeit. Es wird davon ausgegangen, dass dies oft auf die kontinuierliche Zunahme des Milchvolumens stillender Mütter und der daraus resultierenden Verdünnung der Mineralstoffgehalte zurückzuführen ist. Zudem wird im Falle des Eisens ein Rückgang der Konzentrationen mit zunehmender Stilldauer auf den sinkenden Proteingehalt in reifer Milch zurückgeführt, da der größte Teil des Eisens an Proteine gebunden ist (Purkiewicz et al., 2023).

Für *Kupfer* wurden Überschreitungen der akzeptablen Aufnahmemengen der EFSA in der Gruppe der jüngsten Säuglinge unter vier Monaten beobachtet. Auch bei Betrachtung der entsprechenden DGE-Empfehlungen für eine ausreichende Zufuhr lagen in dieser Altersgruppe 10 % über dem Referenzwert. Gegebenenfalls ist zu überlegen, ob eine Identifizierung der Quellen für die Kupferaufnahme und die Verringerung der Kupferexposition auf Bevölkerungsebene notwendig sein könnte und falls ja, wie dies erreicht werden könnte.

Keine Überschreitungen von sicheren Aufnahmemengen waren bei Eisen, Mangan, Selen, Molybdän zu beobachten.

Unterschreitungen der Empfehlungen für eine tägliche Zufuhr wurden durchwegs für Eisen identifiziert. Auch für Mangan zeigten sich deutliche Unterschreitungen, allerdings konnte beim gesunden Menschen noch kein Mangan-Mangelsyndrom festgestellt werden. Bei Molybdän waren in der Altersgruppe der 0–4 Monate alten Säuglinge die berechneten Aufnahmemengen zumeist unter den DGE-Empfehlungen. Dies zeigte sich auch bei den älteren Säuglingen, wenn auch zu einem geringeren Anteil. Ein ähnliches Bild bot sich für Selen und Zink. Grundsätzlich ist besonders bei ausschließlich gestillten Säuglingen eine

ausreichende Zufuhr mit essenziellen Spurenelementen anzustreben. Bei Unterversorgungen sind mögliche Interventionen ärztlich zu besprechen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen jedenfalls darauf hin, dass Unterversorgungen auf Populationsebene mit bestimmten Spurenelementen wie Eisen, Selen und Zink, sowie Molybdän und Mangan vorliegen könnten. Dies sollte überprüft und beobachtet werden. Für ältere Säuglinge, welche die relevanten Spurenelemente nicht nur über die Muttermilch, sondern auch über Beikost aufnehmen, sind die Unterschreitungen – basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Muttermilchuntersuchung – weniger relevant.

Österreichische Gesundheitsziele

Auch die österreichischen Gesundheitsziele, die bis zum Jahr 2032 den Handlungsrahmen für eine gesundheitsfördernde Gesamtpolitik bilden, haben zum Ziel, die Konzentrationen an langlebigen Substanzen in Muttermilch zu verringern und einen langfristig abnehmenden Trend einzuleiten (Gesundheitsziel 4). Auch Schwermetalle sind langlebige Schadstoffe und unterliegen durch internationale Abkommen, wie z. B. dem Minamata-Übereinkommen zu Quecksilber, einem Minimierungsgebot. Die Bestimmung von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) sowie Schwermetallen in Muttermilchproben sind auch Wirksamkeitsindikatoren von Abkommen der Vereinten Nationen (UN) (BMASGPK, 2019).

Ernährungsempfehlungen

Für Schwangere und Stillende empfiehlt sich eine abwechslungsreiche Kost und die richtige und bedarfsgerechte Auswahl der Lebensmittel zur Deckung des erhöhten Bedarfs an Energie, Vitaminen und Mineralstoffen (BMASGPK, 2024a). Kommunikationsmaßnahmen sollen dazu beitragen, die Empfehlungen besser sichtbar und verständlich zu machen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Untersuchte Metalle und deren Nachweis- und Bestimmungsgrenzen	14
Tabelle 2 Übersicht über die berechneten Aufnahmemengen, die zugrundeliegenden Annahmen und Einheiten sowie ein Vergleich mit akzeptablen bzw. tolerierbaren Aufnahmemengen und Empfehlungen	16
Tabelle 3 Nachgewiesene Metallkonzentrationen in Muttermilch (n=150).....	40
Tabelle 4 Berechnete tägliche und wöchentliche Aufnahmen und tolerierbare Aufnahmemengen für Schwermetalle	45
Tabelle 5 Berechnete tägliche Aufnahmemengen [$\mu\text{g}/\text{kg KG}/\text{d}$], berechnete Verzehrsmengen [$\mu\text{g}/\text{d}$], tolerierbare tägliche Aufnahmemengen, empfohlene Zufuhr und Anteile unter der empfohlenen Zufuhr für Chrom	55
Tabelle 6 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{d}$], sichere Aufnahmemengen für supplementiertes Eisen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Eisen	58
Tabelle 7 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{kg KG}/$ und $\mu\text{g}/\text{d}$], akzeptable tägliche Aufnahmemengen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Kupfer	62
Tabelle 8 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{d}$], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Mangan.....	64
Tabelle 9 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{d}$], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Molybdän.....	67
Tabelle 10 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{d}$], adäquate Aufnahme und Anteile der Säuglinge unter der adäquaten Aufnahme, tolerierbare Aufnahmemengen und Anteile der Säuglinge über den tolerierbaren Aufnahmemengen, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile der Säuglinge unter der empfohlenen Zufuhr für Selen.....	70
Tabelle 11 Berechnete Verzehrsmengen über die Muttermilch [$\mu\text{g}/\text{d}$], durchschnittlicher Bedarf und Anteile unter dem durchschnittlichen Bedarf, empfohlene tägliche Zufuhr und Anteile unter der empfohlenen Zufuhr für Zink.....	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verteilung (Anzahl) der Studienteilnehmerinnen (n=150) nach Jahr der Probenahme	36
Abbildung 2 Verteilung (Anzahl) der Studienteilnehmerinnen (n=150) nach Bundesland .	37
Abbildung 3 Verteilung (Anzahl) der Teilnehmerinnen (n=150) nach Wohnumgebung	38
Abbildung 4 Verteilung (Anzahl) erstgebärende (Primipara) und nicht erstgebärende (Multipara) Studienteilnehmerinnen	39
Abbildung 5 Anteile der Muttermilchproben [%] mit nachweisbaren Metallkonzentrationen.....	41
Abbildung 6 Verteilung der nachgewiesenen Metallkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch (n=150)	42
Abbildung 7 Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizient nach Spearman).....	43
Abbildung 8 Darstellung der Faktorladungen (Positionierung entlang der beiden Gradienten) der verzehrten Lebensmittel und der Metallkonzentrationen in der Faktorenanalyse	44
Abbildung 9 Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konsumhäufigkeit von Fisch und den Quecksilbergehalten [$\mu\text{g/l}$] in der Muttermilch (n=150; Quantilsregression)	52
Abbildung 10 Verteilung (Boxplot) der Quecksilberkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch bei Studienteilnehmerinnen mit Amalgamfüllungen (ja) und ohne Amalgamfüllungen (nein) (n=150).....	53
Abbildung 11 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Eisenkonzentration in der Muttermilch [$\mu\text{g/l}$].....	57
Abbildung 12 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Kupferkonzentration in der Muttermilch [$\mu\text{g/l}$].....	61
Abbildung 13 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Molybdänkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]	66
Abbildung 14 Verteilung der Selenkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Muttermilch nach NUTS-1-Region	69
Abbildung 15 Zusammenhang zwischen dem Alter des Kindes zum Zeitpunkt der Probenahme [Woche] und der Zinkkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$].....	72
Abbildung 16 Zusammenhang zwischen dem Alter der Mutter [Jahr] und der Zinkkonzentration in Muttermilch [$\mu\text{g/l}$]	73

Literaturverzeichnis

AGES: AGES Risikoatlas. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2015. Online verfügbar unter: https://www.ages.at/download/sdl-eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJpYXQiOiJlE2MDk0NTkyMDAsImV4cCI6NDA3MDkwODgwMCwidXNlcil6MCwiZ3JvdXBzIjpbMCwtMV0slmZpbGUiOiJmaWxlYWRTaW4vQUdFU18yMDIyLzZfRk9SU0NIVU5HL1dpc3Nlbi1Ba3R1ZWxsL1Jpc2lrb3dhaHJuZWhtdW5nL0FHRVNfUmlzaWtvYXR5YXMucGRmliwicGFnZSI6MjM5MH0.8WfDTVSOQ4INGW16Zjw8266EA9hWrhZNBVI1UiVqIR8/AGES_Risikoatlas.pdf (13.10.2025)

AGES: Nickel in Lebensmitteln. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2021. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/forschung/wissen-aktuell/detail/nickel-in-lebensmitteln> (08.10.2025)

AGES: Arsen. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2024a. Online verfügbar unter: https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/arsen?sword_list%5B0%5D=arsen&no_cache=1 (09.10.2025)

AGES: Arsen in Trinkwasser. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2024b. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/forschung/wissen-aktuell/detail/arsen-in-trinkwasser> (09.10.2025)

AGES: Blei. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2024c. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/blei> (08.10.2025)

AGES: Cadmium. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2024d. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/cadmium> (09.10.2025)

AGES: Aluminium. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2025a. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/aluminium> (09.10.2025)

AGES: Quecksilber. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2025b. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/quecksilber> (08.10.2025)

AGES: Fisch. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, 2025c. Online verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/lebensmittelinformationen/fisch> (12.12.2025)

AGES, BMASGPK & DVSV: Ernährung in der Schwangerschaft. Programm „Richtig essen von Anfang an!“. Wien: Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, Dachverband der österreichischen Sozialversicherungen, 2025. Online verfügbar unter: https://www.richtigessenvonanfangan.at/wp-content/uploads/2025/07/2025_06_06_Ernaehrung_in_der_Schwangerschaft_Update_2023_barrierefrei_mit-LM-Tabelle_final.pdf (03.02.2026)

ATSDR: Toxic Substance Portal – Arsenic. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007. Online verfügbar unter: <http://medbox.iiab.me/modules/en-cdc/www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/faq.asp?id=19&tid=3> (05.12.2025)

ATSDR: Toxicological profile for Aluminium. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008. Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf> (09.10.2025)

ATSDR: Toxicological Profile for Lead. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2020. Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf> (05.12.2025)

ATSDR: Toxicological Profile for Cobalt. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024a. Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp33.pdf> (10.12.2025)

ATSDR: Toxicological Profile for Mercury. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024b. Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf> (26.01.2026)

ATSDR: Minimal Risk Levels. U.S., Atlanta, GA: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024c. Online verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/minimal-risk-levels/about/index.html> (26.01.2026)

Barceloux: Copper. Journal of Toxicology and Clinical Toxicology, 1999, 37(2):217-230. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1081/clt-100102421> (10.12.2025)

BfR: Fragen und Antworten zum Verzehr von Wild, das mit bleihaltiger Munition geschossen wurde. Deutschland, Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung, 2011. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/fragen-und-antworten/thema/fragen-und-antworten-zum-verzehr-von-wild-das-mit-bleihaltiger-munition-geschossen-wurde/> (08.10.2025)

BfR: EU-Höchstgehalte für anorganisches Arsen in Reis und Reisprodukten durch Verzehrsempfehlungen zum Schutz von Säuglingen, Kleinkindern und Kindern ergänzen. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 017/2015 des BfR vom 06. Februar 2014. Deutschland, Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung, 2014. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/eu-hoechstgehalte-fuer-anorganisches-arsen-in-reis-und-reisprodukten-durch-verzehrsempfehlungen-zum-schutz-von-saeuglingen-kleinkindern-und-kindern-ergaenzen.pdf> (19.11.2025)

BfR: Fragen und Antworten zu Aluminium in Lebensmitteln und verbrauchernahen Produkten. Deutschland, Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung, 2020. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/fragen-und-antworten/thema/fragen-und-antworten-zu-aluminium-in-lebensmitteln-und-verbrauchernahen-produkten/> (05.12.2025)

BfR: Aufnahme von Kupfer: In Spuren lebensnotwendig, in größeren Mengen riskant. Deutschland, Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung, 2023. Online verfügbar unter: <https://www.bfr.bund.de/fragen-und-antworten/thema/aufnahme-von-kupfer-in-spuren-lebensnotwendig-in-groesseren-mengen-riskant/> (05.12.2025)

BMASGPK: Empfehlung der Nationalen Ernährungskommission. Task Force: Kleinkinder, Stillende & Schwangere. Österreichische Stillempfehlungen. Wien: Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2014. Online verfügbar unter: <https://www.sozialministerium.at/dam/jcr:a81a5538-c104-4f1c-93f1->

[0f701ec0fb7e/%C3%96sterreichische%20Stillempfehlung%20BMSGPK%20CD.pdf](#)

(03.02.2026)

BMSGPK: Gesundheitsziel 4 Luft, Wasser, Boden und alle Lebensräume für zukünftige Generationen sichern. Bericht der Arbeitsgruppe. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, 2019. Online verfügbar unter:

<https://gesundheitsziele-oesterreich.at/website2024/wp-content/uploads/2024/02/gesundheitsziel-4.pdf> (10.12.2025)

BMSGPK: Stillen – gesunder Start ins Leben. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, 2020. Online verfügbar unter:

<https://www.gesundheit.gv.at/leben/eltern/nach-der-geburt/baby/stillen1.html> (03.12.2025)

BMSGPK: Ernährung in der Stillzeit. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024a. Online verfügbar unter:

<https://www.gesundheit.gv.at/leben/eltern/nach-der-geburt/baby/ernaehrung-stillen.html> (03.12.2025)

BMSGPK: Selen. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024b. Online verfügbar unter:

<https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/vitamine-mineralstoffe/spurenelemente/selen.html> (21.11.2025)

BMSGPK: Zink. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2024c. Online verfügbar unter:

<https://www.gesundheit.gv.at/leben/ernaehrung/vitamine-mineralstoffe/spurenelemente/zink.html> (21.11.2025)

BMSGPK: Eisenmangelanämie. Wien: Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2025. Online verfügbar unter:

<https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/blut/anaemie/eisenmangel.html#welche-funktionen-hat-eisen-im-koerper> (21.11.2025)

BMU: Transfer von Elementen in die Muttermilch. Deutschland, Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2005. Online verfügbar unter:

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/schriftenreihe_2005_654_muttermilch.pdf (21.11.2025)

BMG: Aluminium – Toxikologie und gesundheitliche Aspekte körpernaher Anwendungen. Wien: Bundesministerium für Gesundheit, 2014. Online verfügbar unter: [https://broschuerenservice.sozialministerium.gv.at/Home/Download?publicationId=345&attachmentName=Aluminium Toxikologie und gesundheitliche Aspekte körpernaher Anwendungen 2014.pdf](https://broschuerenservice.sozialministerium.gv.at/Home/Download?publicationId=345&attachmentName=Aluminium%20Toxikologie%20und%20gesundheitliche%20Aspekte%20k%C3%B6rpernaher%20Anwendungen%202014.pdf) (05.12.2025)

Bzikowska-Jura, A./Wesołowska, A./Sobieraj, P./Nawrocka, A./Filipek, A./Durkalec, M./Katrzyńska, D./Jedziniak, P.: Essential and non-essential element concentrations in human milk samples and the assessment of infants' exposure, 2024. Scientific Reports 14, 8140. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58683-7> (05.12.2025)

Chao, H./Guo, C./Huang, C./Chen, P./Li, H./Hsiung, D./Chou, Y.: Arsenic, Cadmium, Lead, and Aluminium Concentrations in Human Milk at Early Stages of Lactation, 2013. Pediatrics & Neonatology, 55(2). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2013.08.005> (05.12.2025)

DGE: Referenzwert Selen. Deutschland, Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2015. Online verfügbar unter: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/selen/> (19.11.2025)

DGE: Referenzwert Zink. Deutschland, Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2019. Online verfügbar: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/zink/> (19.11.2025)

DGE: Referenzwert Eisen. Deutschland, Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2023. Online verfügbar unter: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/eisen/> (19.11.2025)

DGE: DGE/ÖGE-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr Referenzwerte-Tool. Deutschland, Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2025. Online verfügbar unter: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte-tool/> (05.12.2025)

ECHA: RAC opinion on scientific evaluation of occupational exposure limits cobalt and inorganic cobalt compounds. Finnland, Helsinki: European Chemicals Agency, 2022. Online

verfügbar unter:

https://echa.europa.eu/documents/10162/7937606/final_rac_oel_opinion_cobalt_en.pdf/d96755b2-8bd0-afe7-ab94-0a2f263fc593?t=1675065309296 (05.12.2025)

EFSA: Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2008. EFSA Journal, 6(7), 754. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.754> (05.12.2025)

EFSA: Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2009. EFSA Journal, 7(3). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980> (05.12.2025)

EFSA: Guidance on selected default values to be used by the EFSA Scientific Committee, Scientific Panels and Units in the absence of actual measured data. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2012a. EFSA Journal 10(3):2579. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2012.2579> (17.11.2025)

EFSA: Quecksilber in Lebensmitteln – EFSA aktualisiert Bewertung des Risikos für öffentliche Gesundheit. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2012b. Online verfügbar unter: <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/121220> (08.10.2025)

EFSA: Scientific Opinion on the risk für public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2012c. EFSA Journal 10(12):2985. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985> (08.10.2025)

EFSA: Scientific Opinion on safety and efficacy of cobalt compounds (E3) as feed additives for all animal species: Cobaltous acetate tetrahydrate, basic cobaltous carbonate monohydrate and cobaltous sulphate heptahydrate, based on a dossier submitted by TREAC EEIG. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2012d. EFSA Journal 10(7):2791. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2012.2791>

EFSA: Scientific opinion on dietary reference values for manganese. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2013a. EFSA Journal 11(11):3419. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2013.3419> (21.11.2025)

EFSA: Scientific opinion on dietary reference values for molybdenum. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2013b. EFSA Journal 11(8):3333. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2013.3333> (21.11.2025)

EFSA: Scientific Opinion on Dietary Reference Values for chromium. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2014a. EFSA Journal 12(10):3845. Online verfügbar unter: [doi:10.2903/j.efsa.2014.3845](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3845) (21.11.2025)

EFSA: Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2014b. EFSA Journal 12(3):3595. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3595> (21.11.2025)

EFSA: Scientific Opinion on Dietary Reference Values for selenium. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2014c. EFSA Journal 12(10):3846. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2014.3846> (21.11.2025)

EFSA: Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2014d. EFSA Journal 12(10):3844. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2014.3844> (21.11.2025)

EFSA: Scientific Opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2014e. EFSA Journal 12(7): 3761. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2014.3761> (05.02.2026)

EFSA: Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood. Italien, Parma: Europäische Behörde für

Lebensmittelsicherheit, 2015. EFSA Journal 13(1):3982. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2015.3982> (05.02.2026)

EFSA: Chronic dietary exposure to inorganic arsenic. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2020a. EFSA Journal 19(1):6380. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2021.6380> (17.11.2025)

EFSA: Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2020b. EFSA Journal, 18(11). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268>

EFSA: Margin of Exposure. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2023a. Online verfügbar unter: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/margin-exposure> (04.12.2025).

EFSA: Scientific Opinion on the re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2023b. EFSA Journal 21(1):7728. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7728>

EFSA: Scientific opinion on the tolerable upper intake level for manganese. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2023c. EFSA Journal, 21(11), e8413. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2023.8413> (24.11.2025)

EFSA: Scientific opinion on the tolerable upper intake levels for selenium. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2023d. Online verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2023.7704> (21.11.2025)

EFSA: Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2024a. EFSA Journal, 22(1), e8488. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8488> (21.11.2025)

EFSA: Scientific opinion on the tolerable upper intake level for iron. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2024b. EFSA Journal 22, e8819. Online

verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2024.8819>
(21.11.2025)

EFSA: EFSA scientific report on dietary exposure to lead in the European population. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2025a. EFSA Journal 23, e9577. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9577> (08.10.2025)

EFSA: Statement on the use and interpretation of the margin of exposure approach. Italien, Parma: Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2025b. EFSA Journal 23, e9606. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9606> (05.12.2025)

Freire, C./Iribarne-Durán, L. M./Gil, F./Olmedo, P./Serrano-Lopez, L./Peña-Caballero, M./Hurtado-Suazo, J./Alvarado-González, N. E./Fernández, M. F./Peinado, F. M./Artacho-Cordón, F./Olea, N.: Concentrations and predictors of aluminium, antimony, and lithium in breast milk: A repeated-measures study of donors, 2023. Environmental Pollution, 319, 12091. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120901> (05.12.2025)

Gundacker, C./Pietschnig, B./Wittmann, K. J./Lischka, A./Salzer, H./Hohenauer, L./Schuster, E.: Lead and Mercury in Breast Milk, 2002. Pediatrics 110(5), S. 873-878. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1542/peds.110.5.873> (05.12.2025)

Gundacker, C./Pietschnig, B./Wittmann, K. J./Salzer, H./Stöger, H./Reimann-Dorninger, G./Schuster, E./Lischka, A.: Smoking, cereal consumption, and supplementation affect cadmium content in breast milk, 2007. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 17, S. 39-46. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500518> (05.12.2025)

IARC: IARC Monographs evaluate the carcinogenicity of cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy. Frankreich, Lyon: International Agency for Research and Cancer, 2022. Online verfügbar unter: <https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2022/04/Mono-131-QA.pdf> (05.12.2025)

LGL: Cobalt. Deutschland, Erlangen: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2020a. Online verfügbar unter: <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schwermetalle/cobalt/index.htm> (05.12.2025)

LGL: Selen. Deutschland, Erlangen: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2020b. Online verfügbar unter:
<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schwermetalle/selen/index.htm>
(21.11.2025)

LGL: Eisen. Deutschland, Erlangen: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2020c. Online verfügbar unter:
<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schwermetalle/eisen/index.htm>
(21.11.2025)

LGL: Kupfer. Deutschland, Erlangen: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2025. Online verfügbar unter:
<https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/schwermetalle/kupfer/index.htm>
(21.11.2025)

Mandiá, N./Bermejo-Barrera, P./Herbello, P./López-Suárez, O./Fraga, J. M./Fernández-Pérez, C./Couce, M. L.: Human Milk Concentrations of Minerals, Essential and Toxic Trace Elements and Association with Selective Medical, Social, Demographic and Environmental Factors, 2021. *Nutrients* 13, 1885, S. 1-21. Online verfügbar unter:
<https://doi.org/10.3390/nu13061885>

Meißner, D./Arndt, T.: Kobalt, 2017. Online verfügbar unter:
https://www.springermedizin.de/emedpedia/detail/lexikon-der-medizinischen-laboratoriumsdiagnostik/kobalt?epediaDoi=10.1007%2F978-3-662-49054-9_1707
(05.12.2025)

OECD: Reducing the health risks of the copper, rare earth and cobalt industries: Transition to a circular low-carbon economy. Frankreich, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 2020. Online verfügbar unter:
<https://doi.org/10.1787/88ce1db4-en> (05.12.2025)

Purkiewicz, A./Stasiewicz, M./Nowakowski, J. J./Pietrzak-Fiećko, R.: The Influence of the Lactation Period and the Type of Milk on the Content of Amino Acids and Minerals in Human Milk and Infant Formulas, 2023. *Foods* 12(10):3674. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/foods12193674> (05.12.2025)

Sabatier, M./Garcia-Rodenas, C. L./De Castro, C. A./Kastenmayer, P./Vigo, M./Dubascoux, S./Andrey, D./Nicolas, M./Payot, J. R./Bordier, V./Thakkar, S. K./Beauport, L./Tolsa, J./Fumeaux, C. J. F./Affolter, M.: Longitudinal Changes of Mineral Concentrations in Preterm and Term Human Milk from Lactating Swiss Women, 2019. *Nutrients* 11(8), 1855. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/nu11081855> (05.12.2025)

Snoj Tratnik, J./Falnoga, I./Mazej, D./Kocman, D./Fajon, V./Jagodic, M./Stajniko, A./Trdin, A./Šlejkovec, Z./Jeran, Z./Osredkar, J./Sešek-Briški, A./Krsnik, M./Kobal, A. B./Kononenko, L./Horvat, M.: Results of the first national human biomonitoring in Slovenia: Trace elements in men and lactating women, predictors of exposure and reference values, 2019. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 222, S. 563-582. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.02.008> (05.12.2025)

UBA: Häufige Fragen zu Quecksilber. Deutschland, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016a. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheits/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/haeufige-fragen-zu-quecksilber#wie-kommt-das-quecksilber-in-die-umwelt-> (09.07.2025)

UBA: Quecksilber – Risiko für Mensch und Umwelt? Deutschland, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016b. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/quecksilber-risiko-fuer-mensch-umwelt> (09.07.2025)

UBA: Düngemittel. Deutschland, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2025. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#duengemittel-was-ist-das> (10.12.2025)

Umweltbundesamt: Aktualisierung der Stoffmonographie Cadmium - Referenz- und Human-Biomonitoring (HBM)-Werte. Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Wien, Umweltbundesamt GmbH, 2011. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 54(8), S. 981–996. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00103-011-1327-9#> (05.12.2025)

Umweltbundesamt: Umwelt-Mutter Kind. Schadstoffexposition von schwangeren Frauen und Neugeborenen. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2012. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/angebot/analytik/um_muki_broschuer_e.pdf (08.10.2025)

Umweltbundesamt: Umweltschadstoffe in der Muttermilch. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2025a. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/stoffradar/stoffe/faqs-zu-umweltschadstoffe-in-der-muttermilch> (03.12.2025)

Umweltbundesamt: Probenbank des Umweltbundesamtes. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2025b. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/probenbank> (13.08.2025)

Ventura, E. F./Bernabeu, M./Callejón-Leblic, B./Cabrera-Rubio, R./Yeruva, L./Estañ-Capell, J./Martínez-Costa, C./García-Barrera, T./Collado, M. C.: Human milk metals and metalloids shape infant microbiota, 2024. Food & Function 15, 12134-12145. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1039/d4fo01929f> (05.12.2025)

Venturelli, F./Filippini, T./Ferrari, A./Paduano, S./Marchesi, I./Casali, M. E./Righi, E./Bargellini, A.: Risk assessment of trace elements in human breastmilk in a Northern Italy population, 2025. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 89, 127641. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2025.127641> (05.12.2025)

WHO: Cobalt and Inorganic Cobalt Compounds. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2006. Online verfügbar unter: http://www.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43426/9241530693_eng.pdf (13.10.2025)

WHO: Exposure to Arsenic: A Major Public Health Concern. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2019a. Online verfügbar unter: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/8faa31ae-de62-426c-bd2e-15c271b76bba/content> (09.10.2025)

WHO: Exposure to cadmium: a major public health concern. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2019b. Online verfügbar unter:

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/f190f2f1-f74d-48a3-823b-25f5d3af702b/content> (09.10.2025)

WHO: Chromium in drinking-water. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2020. Online verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338062/WHO-HEP-ECH-WSH-2020.3-eng.pdf?ua=1> (13.10.2025)

WHO: Manganese in drinking-water. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2021. Online verfügbar unter: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/63fd83e3-11a3-489c-a7d9-48eea2e889d8/content> (13.10.2025)

WHO: Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2022. Online verfügbar unter: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/69c17edd-ee26-425b-9d34-33799377e886/content> (09.10.2025)

WHO: Infant and young child feeding. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2023a. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/infant-and-young-child-feeding> (03.12.2025)

WHO: WHO Guideline for complementary feeding of infants and young children 6-23 months of age. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2023b. Online verfügbar unter: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/5abca011-4db2-4cf1-b959-45b756f7b600/content> (21.11.2025)

WHO: Lead poisoning. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2024a. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> (08.10.2025)

WHO: Mercury. Schweiz, Genf: World Health Organization, 2024b. Online verfügbar unter: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health> (09.07.2025)

Yurdakök K.: Lead, mercury, and cadmium in breast milk. Journal of Pediatric and Neonatal Individualized Medicine, 2015. JPNIM, 4(2), e040223. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.7363/040223> (09.12.2025)

Zielinska-Pukos, M. A./Michalska-Kacymirow, M./Kurek, E./Bulska, E./Grabowicz-Chądryńska, I./Wesołowska, A./Hamulka, J.: Breastmilk mineral composition among well-educated mothers from Central Poland – Associations with maternal dietary intake, dietary patterns and infant psychomotor development, 2024. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 83, 127393. Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2024.127393> (09.12.2025)

Abkürzungen

ADI	Akzeptable tägliche Aufnahmemenge (Acceptable Daily Intake)
AGES	Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
AI	Adäquate Aufnahmemenge (Adequate Intake)
Al	Aluminium
AR	durchschnittlicher Bedarf (Average Requirement)
As	Arsen
ATSDR	Agency für Toxic Substances and Disease Registry
BfR	Bundesinstitut für Risikoforschung
BG	Bestimmungsgrenze
BMASGPK	Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz
BMDL	Benchmark Dose Lower Confidence Limit
bzw.	beziehungsweise
CAS	Chemical Abstract Service
Cd	Cadmium
CMR	kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch
Cr	Chrom
Cr(III)	Trivalentes Chrom
Cr(IV)	Hexavalentes Chrom
Co	Kobalt
Cu	Kupfer
CV-AFS	Kaltdampf-Atomfluoreszenzspektrometrie
d	Tag
DI	Tägliche Aufnahmemenge (Daily Intake)
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
d. h.	das heißt
DNA	Desoxyribonukleinsäure

DR	Detektionsrate
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
EK	Ethikkommission
Fe	Eisen
Hg	Quecksilber
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research in Cancer)
ICP-MS	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie
KG	Körpergewicht
kg	Kilogramm
l	Liter
Max.	Maximum
MeHg	Methylquecksilber
mg	Milligramm
Min.	Minimum
ml	Milliliter
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
MOE	Margin of Exposure
MRL	Minimum Risk Level
NG	Nachweisgrenze
Ni	Nickel
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
ÖGE	Österreichische Gesellschaft für Ernährung
Pb	Blei
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
POPs	Persistente organische Schadstoffe

r	Spearman Korrelationskoeffizient
SD	Standardabweichung
Se	Selen
TDI	Tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (Tolerable Daily Intake)
TWI	Tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (Tolerable Weekly Intake)
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt Deutschland
UL	Oberes Limit (Upper Level)
μl	Mikroliter
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)
WI	Wöchentliche Aufnahmemenge (Weekly Intake)
z. B.	zum Beispiel
Zn	Zink
75P	75. Perzentile
95P	95. Perzentile

