

Stellungnahme 038/2025

doi <https://doi.org/10.17590/20250922-104850-0>

22. September 2025

Küchenutensilien aus Metall: Gehen Stoffe ins Essen über?

Ergebnisse der Überwachungsbehörden geben keinen Anlass zur Besorgnis

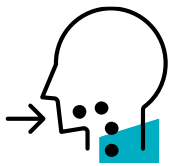
In Kürze

- In vielen Küchen kommen unbeschichtete und emaillierte Metallgegenstände wie Töpfe, Pfannen und Besteck täglich mit Lebensmitteln in Kontakt. Dabei können kleine Mengen an Elementen aus den Materialien in Lebensmittel übergehen und so vom Menschen aufgenommen werden.
- Für die Freisetzung von Elementen aus unbeschichteten und emaillierten Metallgegenständen in Lebensmittel gibt es in der EU bisher keine gesetzlichen Grenzwerte; allerdings gibt es eine technische Leitlinie des Europarats zu Metallen und Legierungen sowie eine technische Norm für emaillierte Gegenstände im Lebensmittelkontakt.
- Im Jahr 2022 wurden im Rahmen eines bundesweiten Monitorings 194 Metallgegenstände untersucht, sowohl unbeschichtete als auch emaillierte Gegenstände. Die Überwachungsbehörden der Bundesländer haben dabei geprüft, welche Elemente in welchen Mengen aus den Materialien in Lebensmittel übergehen können.
- Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat die Ergebnisse dieser Untersuchung ausgewertet und eingeschätzt, ob die freigesetzten Mengen zu gesundheitlichen Risiken führen könnten. Dafür wurden aus den Werten der gemessenen Elementfreisetzungen die täglichen Aufnahmemengen abgeschätzt. Diese wurden anschließend mit gesundheitlichen Richtwerten (HBGV = „Health-Based Guidance Value“) oder toxikologischen Referenzwerten verglichen.
- Die meisten untersuchten Gegenstände setzten nur sehr geringe Mengen an Elementen frei. Aus Sicht des BfR sind diese Produkte daher für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.
- Einige Gegenstände trugen jedoch deutlich zur täglichen Aufnahme bestimmter Elemente bei, vor allem wenn auch andere Quellen wie Lebensmittel berücksichtigt

werden. Das BfR empfiehlt Herstellern solcher Gegenstände, Materialien und Produktionsprozesse zu verbessern, um die Elementfreisetzung in Lebensmittel weiter zu reduzieren.

- Nur einzelne Gegenstände zeigten Elementfreisetzungen, die zu einer Überschreitung der abgeleiteten HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerte und damit zu einer Erhöhung des Risikos für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen führen könnten. Aus toxikologischer Sicht sind diese Gegenstände nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.

Wie gelangen Stoffe aus Metall-Küchenutensilien in den Körper?



Die Aufnahme von Stoffen aus Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall erfolgt **oral** über Lebensmittel. Während der Zubereitung, der Lagerung oder beim Verzehr von Lebensmitteln können kleine Mengen an Elementen aus unbeschichteten oder emaillierten Gegenständen wie Töpfen, Pfannen, Blechen, Geschirr oder Besteck in die Lebensmittel übergehen.

Gibt es einen gesundheitlichen Richtwert?



Ja, für die meisten Elemente, die aus den Materialien freigesetzt werden können, existieren **gesundheitliche Richtwerte** (HBGV = „Health-Based Guidance Value“). Sie beschreiben eine Stoffmenge, bei deren Aufnahme keine gesundheitlichen Risiken für Verbraucherinnen und Verbraucher zu erwarten sind.

Für einige Elemente konnte kein HBGV abgeleitet werden, entweder weil die Datenbasis dafür nicht aussagekräftig genug war oder weil es für das betreffende Element nach aktuellem Kenntnisstand keine Aufnahmemenge ohne gesundheitliches Risiko gibt.

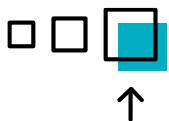
Für Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall existieren bisher **keine einheitlichen gesetzlichen Grenzwerte**, allerdings gibt es eine technische Leitlinie des Europarats zu Metallen und Legierungen sowie eine technische Norm für emaillierte Gegenstände im Lebensmittelkontakt.

Besteht ein gesundheitliches Risiko?



Die meisten untersuchten Gegenstände setzten nur sehr geringe Mengen an Elementen frei. Aus Sicht des BfR sind diese Produkte daher für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet. Bei einzelnen Produkten wurden jedoch unter den hier angenommen Verwendungsbedingungen die abgeleiteten gesundheitlichen Richtwerte überschritten. In diesen Fällen kann für Verbraucherinnen und Verbraucher ein erhöhtes Gesundheitsrisiko resultieren.

Wie ist die Qualität der Datenlage?



Die Qualität der Datenlage ist **hoch**. Von den Überwachungsbehörden der Bundesländer wurden insgesamt 194 unbeschichtete oder emaillierte Metallgegenstände untersucht. Durch das etablierte Auswahlverfahren für die Proben ergibt sich aus Sicht des BfR eine für den Markt insgesamt repräsentative Stichprobe. Dennoch könnten auch Gegenstände mit höheren Elementfreisetzungen als hier beschrieben auf dem Markt sein.

Für die meisten Elemente, insbesondere die, für die eine Freisetzung häufig beobachtet wurde, ist die toxikologische Datenlage gut. Für einige Elemente gibt es jedoch nur unvollständige Daten oder Studien von geringer Aussagekraft.

Wie kann das Gesundheitsrisiko verringert werden?



Der Staat kann – wie bisher auch – durch die Überwachungsbehörden der Bundesländer und regelmäßig durchgeführte Monitoringprogramme die Qualität der vermarkteten Gegenstände kontrollieren und bewerten.



Die meisten untersuchten Gegenstände setzten nur sehr geringe Mengen an Metallen frei. **Produzenten** der Gegenstände mit zu hohen Elementfreisetzung sollten ihre Rohstoffe und ihren Produktionsprozess prüfen und anpassen, um gesundheitliche Risiken für Verbraucher zu reduzieren.



Verbraucherinnen und Verbraucher sollten die Hinweise der Hersteller zur Verwendung, Reinigung und Behandlung der Gegenstände vor dem ersten Gebrauch befolgen.

1 Einleitung

Unbeschichtete und emaillierte Metallgegenstände für den Kontakt mit Lebensmitteln sind in der Küche allgegenwärtig, z. B. Töpfe, Pfannen, Backbleche und Besteck. Werden Elemente aus diesen Gegenständen freigesetzt, können sie in Lebensmittel übergehen und mit diesen zusammen aufgenommen werden. Derzeit gibt es in der EU keine harmonisierten gesetzlichen Grenzwerte für die Freisetzung von Elementen aus diesen Metallgegenständen. Es gibt jedoch Empfehlungen des Europarats für die Freisetzung aus unbeschichteten Metall-Lebensmittelkontaktmaterialien (EDQM, 2024) und die Norm DIN EN ISO 4531:2022 für emaillierte Gegenstände für den Kontakt mit Lebensmitteln.

Im Jahr 2022 untersuchten die deutschen Überwachungsbehörden der Bundesländer die Freisetzung von Elementen aus Metall-Lebensmittelkontaktmaterialien im Rahmen des Monitoringprogramms. Es wurde die Freisetzung von 21 verschiedenen Elementen aus insgesamt 194 unbeschichteten oder emaillierten Metallgegenständen untersucht.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat die Ergebnisse des Monitorings zum Anlass genommen, die mögliche Aufnahme der freigesetzten Elemente über Lebensmittel gesundheitlich zu bewerten. Dazu wurden die aus den freigesetzten Mengen abgeschätzten täglichen Aufnahmemengen der Elemente mit den aus aktuellen Studien abgeleiteten gesundheitsbasierten Richtwerten (HBGV, „Health-Based Guidance Value“) bzw. toxikologischen Referenzwerten verglichen.

Der Vergleich der Freisetzungsmengen mit den Höchstwerten aus der oben genannten Norm sowie der Technischen Leitlinie des Europarates zeigte, dass die überwiegende Mehrheit der

unbeschichteten und emaillierten Metallgegenstände nur geringe Mengen an Elementen freisetzt. Die Risikobewertung auf Basis der durchgeführten Expositionsschätzung ergab, dass diese Gegenstände für den Lebensmittelkontakt geeignet sind. Mit Blick auf die Gesamtexposition unter Berücksichtigung möglicher weiterer Aufnahmequellen (wie z. B. Lebensmittel), tragen einige Gegenstände jedoch aus Sicht des BfR zu viel zur täglichen Aufnahme bestimmter Elemente bei. Das BfR empfiehlt, dass die Hersteller dieser Gegenstände ihre Rohstoffe und Herstellungsprozesse überprüfen, um die Elementfreisetzung weiter zu senken. Nur einzelne Gegenstände zeigten Elementfreisetzungen, die zu einer Überschreitung der abgeleiteten HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerte und damit zu einer Erhöhung des Risikos für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen führen könnten. Aus toxikologischer Sicht sind diese Gegenstände nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.

2 Gegenstand der Bewertung

Im Jahr 2022 haben Überwachungsbehörden aus 10 Bundesländern unbeschichtete und emaillierte Küchengegenstände aus Metall hinsichtlich der möglichen Freisetzung von Elementen in Lebensmittel untersucht. Derzeit existieren in der EU keine gesetzlichen Grenzwerte für die Freisetzung von Elementen aus Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall oder aus emaillierten Lebensmittelkontaktmaterialien. Gemäß den gesetzlichen Anforderungen müssen Lebensmittelkontaktmaterialien jedoch dem aktuellen technischen Standard entsprechen und dürfen keine Stoffe in Mengen an Lebensmittel abgeben, die ein Gesundheitsrisiko für Verbraucherinnen und Verbraucher darstellen können. In seiner kürzlich aktualisierten Technischen Leitlinie zu Metallen und Legierungen im Lebensmittelkontakt hat der Europarat als Auslegung dieser allgemeinen Gesetzesvorschrift spezifische Freisetzungsgrenzwerte (SRLs, „Specific release limits“) für eine Vielzahl von Elementen abgeleitet (EDQM, 2024). Für emaillierte Metallgegenstände gibt es die ebenfalls kürzlich überarbeitete Norm DIN EN ISO 4531:2022, die Freisetzungsgrenzwerte für emaillierte Gegenstände im Lebensmittelkontakt enthält (DIN EN ISO, 2022).

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat die Ergebnisse des Monitorings zum Anlass genommen, die Freisetzung der 21 analysierten Elemente aus metallischen Lebensmittelkontaktmaterialien nach den aktuellen toxikologischen Erkenntnissen zu bewerten.

3 Ergebnis

Für die Beurteilung der sachgerechten Herstellung der unbeschichteten Gegenstände aus Metall wurden die Elementfreisetzungen im dritten nacheinander durchgeführten Migrationstest mit den SRLs der 2024 veröffentlichten Technischen Leitlinie des Europarates zu Metallen und Legierungen im Lebensmittelkontakt (EDQM, 2024) verglichen. 99,1 % der 115 untersuchten Proben hielten diese Beurteilungswerte im dritten Migrat ein. Lediglich eine Probe (gusseiserne Pfanne) war auffällig und zeigte erhöhte Freisetzungen von Eisen und Cobalt. Die Elementfreisetzungen in das dritte Migrat wird für die Bewertung von Gegenständen für den Mehrfachgebrauch (wie Besteck, Pfannen, Tassen etc.) verwendet, da es die langfristige, wiederholte Freisetzung von Stoffen realistischer abbildet als das erste Migrat.

Für die Beurteilung der sachgerechten Herstellung emaillierter Gegenstände wurden die Grenzwerte für die Elementfreisetzung der DIN EN ISO 4531:2022 herangezogen. Hier lagen die Freisetzungsmengen aus 53,2 % der 79 untersuchten Proben im dritten Migrat unterhalb aller jeweiligen Grenzwerte.

Es ist anzumerken, dass von insgesamt 194 Proben bei 24 Proben die Freisetzung eines einzigen Elementes den jeweiligen Grenzwert und bei 14 Proben die Freisetzung mehrerer Elemente die jeweiligen Grenzwerte überschritt. Am häufigsten überschritt die Aluminiumfreisetzung den Grenzwert (33 Proben). Die insgesamt hohe Anzahl an Proben (80,4 %), die alle Freisetzungsgrenzwerte einhalten, macht deutlich, dass die Herstellung solcher Produkte mit niedrigen Elementfreisetzungsmengen möglich ist. Die Hersteller der Gegenstände mit zu hohen Elementfreisetzungsmengen sollten ihre Rohstoffe und ihren Produktionsprozess entsprechend prüfen und anpassen, um die Elementfreisetzung weiter zu reduzieren.

Ausgehend von den Elementfreisetzungsmengen der jeweiligen Metallgegenstände im dritten Migrat wurde eine Expositionsabschätzung durchgeführt. Für eine Risikobewertung wurde die Exposition gegenüber den freigesetzten Elementen anschließend mit den jeweiligen tolerierbaren täglichen Aufnahmemengen (TDI) oder vergleichbaren gesundheitsbasierten Richtwerten (HBGV, „health-based guidance value“) verglichen. Wenn die Aufnahme der Elemente aus anderen Quellen als Lebensmittelkontaktmaterialien den jeweiligen HBGV bereits nahezu oder vollständig ausschöpft, wurden zusätzlich Allokationsfaktoren in die Betrachtung einbezogen. Für Arsen, Beryllium, Blei und Thallium konnte kein HBGV abgeleitet werden – für Beryllium und Thallium wegen unzureichender Datenlage und für Arsen und Blei, da für diese Elemente nach aktuellem Stand der Forschung keine Aufnahmemenge ohne nachteilige gesundheitliche Auswirkungen bekannt ist. In der EU ist für das Risikomanagement in solchen Fällen das ALARA-Prinzip anzuwenden (ALARA, „As Low As Reasonably Achievable“, so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar). Für den Fall einer unvermeidbaren Freisetzung dieser Elemente aus Lebensmittelkontaktmaterialien wurden daraus resultierende Aufnahmemengen identifiziert, die keinesfalls überschritten werden sollten.

Bei 186 von 194 getesteten Proben resultierten die Elementfreisetzungsmengen in keiner Überschreitung eines HBGV oder toxikologischen Referenzwertes. Die übrigen 8 Gegenstände sollten aus Sicht des BfR nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln verwendet werden. Unter Anwendung von Allokationsfaktoren überschritten jedoch bei 39 Proben (20,1 %) die berechneten Expositionswerte die zugeordneten HBGV für eines oder mehrere Elemente bzw. die als maximale unvermeidbare Exposition gegenüber Arsen oder Blei angesehenen Werte. Bei den meisten dieser Proben traten Überschreitungen nur für ein einzelnes Element auf, während bei 11 Proben (5,7 %) mehrere Elemente betroffen waren. Da die Verwendung dieser Gegenstände wesentlich zur Gesamtaufnahme einiger Elemente beitragen kann, sollten die Hersteller nach Ansicht des BfR ihre Rohstoffqualitäten und Herstellungsverfahren so überarbeiten, dass die Exposition aus diesen Lebensmittelkontaktmaterialien unter den allozierten HBGV aller Elemente sowie unterhalb eines Expositionsbeitrags von 0,003 mg Blei/Person/Tag sowie 0,00036 mg Arsen/Person/Tag liegt.

Die überwiegende Mehrheit der unbeschichteten und emaillierten metallischen Materialien wies jedoch niedrige bis sehr niedrige Elementfreisetzungsmengen auf und ist für den Lebensmittelkontakt geeignet.

4 Begründung

4.1 Risikobewertung

4.1.1 Gefahrenidentifizierung

Küchengegenstände aus Metall, insbesondere emaillierte Küchengegenstände, können herstellungsbedingt eine Vielzahl verschiedener Elemente enthalten, darunter auch Schwermetalle wie Blei, Cadmium und Kobalt. Beim Kontakt mit Lebensmitteln ist es möglich, dass diese Elemente aus den Metallgegenständen herausgelöst werden und in Lebensmittel übergehen. Eine zu hohe Aufnahme solcher Elemente durch den Menschen kann ein erhöhtes Risiko für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen zur Folge haben. Die Art und Menge der freigesetzten Elemente ist von verschiedenen Faktoren abhängig, darunter von der Zusammensetzung des Kontaktmaterials und der Materialqualität der Gegenstände, der Temperatur und Art der Nutzung, der Art der Lebensmittel (z. B. saure, flüssige oder feste Lebensmittel) sowie der Dauer des Kontakts zwischen dem Metallgegenstand und dem Lebensmittel.

4.1.2 Gefahrencharakterisierung

Um die Menge der Elemente zu bestimmen, die sich bei Verwendung aus solchen Metallgegenständen herauslösen können, wurden Freisetzungsuntersuchungen für 21 verschiedene Elemente durchgeführt. Die Ergebnisse der Freisetzungsversuche zeigen, dass die meisten getesteten Bedarfsgegenstände nur geringe Mengen an Elementen freisetzen oder dass die Elementfreisetzungen sogar unterhalb der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze lagen. Um dennoch ein umfassendes Bild zu vermitteln, werden im Folgenden die toxikologischen Eigenschaften aller getesteten Elemente unabhängig vom Umfang der Freisetzung dargestellt. Zudem wird die Exposition gegenüber diesen Elementen aus anderen Quellen, etwa über die Nahrung, berücksichtigt. Wenn die Aufnahme aus solchen Quellen den jeweiligen HBGV bzw. toxikologischen Referenzwert bereits weitgehend oder vollständig ausschöpft, fließen zusätzlich Allokationsfaktoren in die Bewertung ein. Für die Verwendung von Allokationsfaktoren gibt es weltweit verschiedenste Vorgehensweisen (Greene et al, 2025). In dieser Stellungnahme wurde ein Allokationsfaktor in Höhe von 10 % verwendet, wenn der jeweilige HBGV durch die Aufnahme aus anderen Quellen zu mehr als 50 % ausgeschöpft wurde, und in Höhe von 20 %, wenn die Ausschöpfung mehr als 10 % beträgt. Sind zwar andere Aufnahmequellen bekannt, liegt die Aufnahme daraus jedoch unter 10 % der HBGV, wurde kein Allokationsfaktor verwendet. Für Arsen, Blei und Thallium, für die aus verschiedenen Gründen kein HBGV abgeleitet werden konnte, wurde ein Allokationsfaktor von 10 % des jeweiligen toxikologischen Referenzwertes verwendet.

4.1.2.1 Aluminium

Aluminium ist nach aktuellem Stand der Forschung nicht genotoxisch und nicht kanzerogen (COT, 2013; EFSA, 2008). Es wirkt jedoch neuro-, nieren- und reproduktionstoxisch (SCCS, 2014). Als kritischster Endpunkt wird die Entwicklungsneurotoxizität angesehen (EFSA, 2008). Aluminium wird nach oraler Aufnahme schlecht resorbiert, meist unter 1 % (BfR, 2019). Die Verteilung erfolgt in alle Gewebe, und eine Anreicherung von Aluminium findet insbesondere in den Knochen statt (COT, 2013; EFSA, 2008; JECFA, 2012). Aufgrund des Akkumulationsverhaltens und der beschriebenen adversen Effekte leitete die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) anstelle eines Werts für die tolerierbare tägliche

Aufnahme (TDI) für Aluminium eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme (TWI) von 1 mg/kg Körpergewicht (KG)/Woche ab (EFSA, 2008). Das Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) hat einen vorläufigen TWI (PTWI) von 2 mg/kg KG/Woche abgeleitet (JECFA, 2012).

Die Hauptexpositionsquelle für Aluminium sind Lebensmittel und Trinkwasser. Die EFSA schätzt die mittlere wöchentliche Aluminiumaufnahme eines Erwachsenen auf 0,2 bis 1,5 mg/kg KG/Woche (EFSA, 2008). Die dermale Aufnahme von Aluminium aus kosmetischen Mitteln, wie Antitranspirantien, leistet einen geringen Beitrag zur Gesamtexposition gegenüber Aluminium (BfR, 2023). Da die Aufnahme von Aluminium über Lebensmittel den EFSA-TWI von 1 mg/kg KG/Woche bereits ausschöpfen kann, sollte die Freisetzung von Aluminium aus Lebensmittelkontaktmaterialien möglichst gering sein. Für den Beitrag aus Lebensmittelkontaktmaterialien wird analog zu der Verordnung (EU) Nr. 10/2011 ein Allokationsfaktor von 10 % als geeignet angesehen. Die Freisetzung von Aluminium aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollte möglichst gering sein, jedoch sollte für eine 60 kg schwere Person aus Sicht des BfR eine orale Aufnahmemenge für Aluminium von 6 mg/Woche aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.2 Antimon

Von der EFSA wurde Antimon als nicht genotoxisch bewertet (EFSA, 2004). Antimontrioxid ist jedoch entsprechend der CLP-Verordnung harmonisiert als mögliches Karzinogen (Carc. 2) eingestuft. Für die Ableitung eines TDI wurde von der World Health Organization (WHO) eine orale subchronische Tierstudie mit Antimontrioxid zugrunde gelegt (Poon et al., 1998). Aus dem NOAEL („No observed adverse effect level“) von 6 mg/kg Körpergewicht wurde ein TDI von 6 µg/kg KG/Tag abgeleitet (WHO, 2003; WHO, 2022; Lynch et al., 1999).

Die mittlere tägliche Aufnahme von Antimon über die Nahrung wird von der Französischen Agentur für Nahrungssicherheit, Umwelt und Arbeitsschutz (ANSES) auf 0,03 µg/kg KG/Tag bei Erwachsenen und 0,04 µg/kg KG/Tag bei Kindern geschätzt (ANSES, 2011). Demnach liegt die ernährungsbedingte Exposition deutlich unter dem TDI, und die Anwendung eines Allokationsfaktors für den Beitrag aus Lebensmittelkontaktmaterialien ist nicht notwendig. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person eine orale Aufnahmemenge von 0,36 mg Antimon/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.3 Arsen

Arsen und anorganische Arsenverbindungen sind nach aktuellem Stand der Forschung karzinogen und reproduktionstoxisch (EFSA, 2024 a; IARC, 2012; BfR, 2015). Zudem induzieren sie DNA-Schäden, insbesondere klastogene und aneugene Effekte (EFSA, 2024 a). Da für genotoxisch-kanzerogene Wirkungen keine Auslöseschwelle existiert, wird für die Risikobewertung der „Margin of Exposure“ Ansatz verwendet. Dabei wird der Abstand (Margin) der täglichen Aufnahmemenge zu einem toxikologischen Referenzpunkt berechnet. Als Referenzpunkt hat die EFSA dabei das „Benchmark Dose Lower Confidence Limit“ (BMDL) basierend auf einer epidemiologischen Studie zu Hautkrebs verwendet (EFSA, 2024 a). Dieses BMDL stellt das untere Konfidenzlimit einer sogenannten „Benchmarkdosis“ (BMD) dar, bei der eine bestimmte Veränderung gegenüber der Kontrolle beobachtet werden würde. Für die genannte Studie leitete die EFSA 2024 einen BMDL₀₅ von 0,06 µg anorganisches Arsen/kg KG/Tag ab (EFSA, 2024 a). Aufgrund der genotoxischen und kanzerogenen Wirkung sollte die Aufnahme von Arsen so gering wie möglich sein.

Arsen wird hauptsächlich über die Nahrung aufgenommen und kommt insbesondere in Reis und anderen Getreiden vor. Für Reis(erzeugnisse) legt die Verordnung (EU) 2023/915 Höchstgehalte zwischen 0,03 und 0,30 mg anorganischem Arsen/kg Frischgewicht fest. Für Fruchtsäfte und Kleinkindnahrung liegen die Höchstgehalte zwischen 0,01 und 0,02 mg/kg. Laut EFSA (2021) beträgt die mittlere ernährungsbedingte Exposition gegenüber Arsen für Erwachsene zwischen 0,03 und 0,15 µg/kg KG/Tag. Die EFSA hat in ihrer Stellungnahme keine Empfehlung abgegeben, welcher Margin of Exposure ausreichend sicher wäre. In jedem Fall führt bereits die Exposition über die Nahrung zu sehr niedrigen Margins of Exposure. Generell sollte die Aufnahme von Arsen so gering wie möglich sein. Die Freisetzung von Arsen aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollte demnach so niedrig wie technisch möglich sein, und Lebensmittelkontaktmaterialien sollten aus Sicht des BfR nicht relevant zur Arsenexposition beitragen. Im Rahmen eines pragmatischen Ansatzes bei Vorliegen unvermeidbarer Arsenexpositionen aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollten diese einen Wert von 10 % des oben genannten BMDL₀₅ keinesfalls überschreiten (entspricht für eine 60 kg schwere Person einer Aufnahmemenge von 0,36 µg/Tag).

4.1.2.4 Barium

Barium kann nach oraler Aufnahme kardiovaskuläre Effekte auslösen, doch als sensitivste Endpunkte zählen Nephropathien (Kravchenko et al., 2014; EU-FORA, 2022). Das BfR sieht den von der Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) abgeleiteten und vom Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER) anerkannten TDI von 0,2 mg Barium/kg KG/Tag für die Risikobewertung als geeignet an (ATSDR, 2007; SCHER, 2012). Die Ableitung erfolgte auf Basis einer chronischen Studie an Mäusen (Referenzpunkt: BMDL₀₅ für nephrotoxische Effekte).

Die Aufnahme von Barium aus Lebensmitteln ist bei Erwachsenen mit 7,5 bis 9 µg/kg KG/Tag vernachlässigbar gering (Health Canada, 2005), so dass hier kein Allokationsfaktor angewendet wird. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person eine tägliche orale Aufnahmemenge aus Lebensmittelkontaktmaterialien von 12 mg Barium/Tag nicht überschritten werden.

4.1.2.5 Beryllium

Beryllium kommt in einigen Metallen und Legierungen in Form von Verunreinigungen vor, jedoch nur selten als Legierungskomponente. Es gibt nur wenige Daten zur Toxizität von Beryllium bei oraler Aufnahme, die meisten Studien wurden zur Bestimmung der inhalativen Toxizität durchgeführt. Zwar gab es den Versuch der WHO (2009) einen TDI abzuleiten, doch aufgrund der unzureichenden Datenlage sieht das BfR die Ableitung eines TDI für Beryllium als nicht angemessen an und kann somit auch keine tolerierbare tägliche orale Aufnahmemenge ableiten.

4.1.2.6 Blei

Blei ist entsprechend der CLP-Verordnung harmonisiert als reproduktionstoxisch (Repr. 1A) eingestuft und entsprechend als besonders besorgniserregender Stoff identifiziert. Das CONTAM-Panel der EFSA benennt kardiovaskuläre Effekte und Nierentoxizität bei Erwachsenen und Entwicklungs-Neurotoxizität für Kinder als kritischste gesundheitsrelevante Wirkungen von Blei (EFSA CONTAM, 2010). Nach aktuellem Wissensstand existiert für die beschriebenen Effekte keine Auslöseschwelle. Deshalb wurde von der EFSA kein Wert für die tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) für Blei festgelegt. Es wurde ein BMDL₀₁ Wert für

kardiovaskuläre Effekte von 1,5 µg/kg KG/Tag, ein BMDL₁₀ Wert für Nierentoxizität von 0,6 µg/kg KG/Tag und ein BMDL₀₁ Wert für Entwicklungs-Neurotoxizität in Kindern und Jugendlichen (Endpunkt: Erniedrigung des Intelligenzquotienten) von 0,5 µg/kg KG/Tag abgeleitet. Das BfR sieht als niedrigsten Wert den BMDL₀₁ für Entwicklungs-Neurotoxizität von 0,5 µg/kg KG/Tag als geeigneten Referenzpunkt für die Risikobewertung an.

Die Exposition des Menschen gegenüber Blei erfolgt hauptsächlich über Lebensmittel, wie Getreideprodukte, und Trinkwasser. Bei Erwachsenen liegt die tägliche Bleiaufnahme über die Nahrung durchschnittlich bei 0,36 bis 1,24 µg/kg KG/Tag, bei Kindern sogar durchschnittlich bei 0,80 bis 3,10 µg/kg KG/Tag (EFSA CONTAM, 2010). Diese nahrungsbedingte Aufnahme liegt bereits deutlich oberhalb des von der EFSA abgeleiteten BMDL₀₁ Wertes von 0,5 µg/kg KG/Tag. Aktuellere Zahlen aus Deutschland schätzen die tägliche nahrungsbedingte Bleiaufnahmemenge von Erwachsenen mit 0,07 bis 0,17 µg/kg KG/Tag allerdings als deutlich niedriger ein (Kolbaum et al., 2019). Nichtsdestoweniger ergeben sich daraus sehr niedrige Margins of Exposure. Generell sollte die Aufnahme von Blei so gering wie möglich sein. Die Freisetzung von Blei aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollte demnach so niedrig wie technisch möglich sein, und Lebensmittelkontaktmaterialien sollten aus Sicht des BfR nicht relevant zur Bleiexposition beitragen. Dieser Beitrag sollte jedoch einen Wert von 10 % des oben genannten BMDL₀₁ keinesfalls überschreiten. Unvermeidbare Bleiexpositionen aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollten für eine 60 kg schwere Person entsprechend eine tägliche orale Aufnahmemenge von 3 µg Blei/Tag nicht überschreiten.

4.1.2.7 Cadmium

Entsprechend der CLP-Verordnung ist Cadmium harmonisiert als karzinogen, vermutlich reproduktionstoxisch und vermutlich mutagen (Carc. 1B, Repr. 2, Muta. 2) eingestuft. Cadmium und einige seiner Verbindungen sind als besonders besorgniserregende Stoffe identifiziert und dürfen auf Grundlage der REACH-Verordnung nur eingeschränkt verwendet werden (ECHA, 2016 a). Die EFSA sah keine Evidenz, dass Cadmium nach oraler Aufnahme als Karzinogen wirkt (EFSA, 2009). Als kritischster Effekt bei Cadmium-Langzeitexposition gilt die Nierentoxizität. Mit diesem Endpunkt leitete das CONTAM-Panel der EFSA für Cadmium einen TWI von 2,5 µg/kg KG/Woche ab (EFSA, 2009).

Die Hauptexpositionsquelle für Cadmium sind Lebensmittel wie Getreide, Gemüse und stärkehaltige Wurzeln (BfR, 2009). Die mittlere wöchentliche Cadmiumaufnahme über die Nahrung wurde von der EFSA auf 2,04 µg/kg KG/Woche geschätzt (EFSA, 2012 a). Da diese mittlere Exposition über die Nahrung bereits große Teile des TWIs ausschöpft, wird für die Exposition von Cadmium aus Lebensmittelkontaktmaterialien der Allokationsfaktor von 10 % angewendet. Die Freisetzung von Cadmium aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollte so gering wie möglich ausfallen, jedoch für eine 60 kg schwere Person eine tolerierbare orale Aufnahmemenge aus Lebensmittelkontaktmaterialien von 0,015 mg Cadmium/Woche aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschreiten.

4.1.2.8 Chrom

Chrom kommt in der Natur hauptsächlich als Chrom(III) vor. In Lebensmitteln, die typischerweise einen leicht sauren pH-Wert aufweisen, sind höher oxidierte Chromverbindungen wie Chrom(VI)-Verbindungen nicht stabil und zersetzen sich zu Chrom(III)-Verbindungen. Das CONTAM-Panel der EFSA beschloss deshalb, alle Chromwerte in Lebensmitteln als Chrom(III) zu betrachten. Es leitete einen TDI von 0,3 mg/kg KG/Tag für

Chrom aus dem niedrigsten NOAEL einer Tierstudie zur chronischen oralen Toxizität ab (EFSA CONTAM, 2014).

Die mittlere Chromaufnahme über die Nahrung wird von der Deutschen, Österreichischen und Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung auf 61 bis 84 µg/Tag geschätzt (D-A-CH, 2019; BfR, 2021). Für Kinder schätzt die EFSA die durchschnittlichen Aufnahmemengen für Chrom zwischen 54,3 und 83,4 µg/Tag (EFSA CONTAM, 2014). Demnach liegt die ernährungsbedingte Exposition deutlich unter dem TDI und die Anwendung eines Allokationsfaktors ist nicht notwendig. Für eine 60 kg schwere Person sollte aus Sicht des BfR eine tägliche orale Aufnahmemenge für Chrom von 18 mg/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.9 Cobalt

Cobalt ist in der CLP-Verordnung als karzinogen, reproduktionstoxisch und vermutlich mutagen (Carc. 1B, Repr. 1B, Muta. 2) eingestuft (ECHA, 2016 b). Das BfR legt für seine Risikobewertung in Anbetracht mangelnder neuerer Studien zur chronischen Toxizität von Cobalt den konservativen TDI der französischen Agentur für Lebensmittelsicherheit (AFFSA) zugrunde. Dieser stützt sich auf eine subakute Humanstudie nach oraler Cobalt-Aufnahme, mit dem hämatologischen Endpunkt der Cobalt-induzierten Polyzythämie (Davis et al., 1958). Aus dieser Studie leitete die AFFSA einen TDI von 1,6 µg Cobalt/kg KG/Tag ab (AFFSA, 2010). Neuere tierexperimentelle Daten stützen diesen Wert ebenfalls (Danzeisen et al., 2020). Das Staatliche Institut für Volksgesundheit und Umwelt der Niederlande (RIVM) leitete zuvor einen TDI von 1,4 µg/kg KG/Tag aus mehreren Studien zum Konsum Cobaltsalz-haltiger alkoholischer Getränke mit dem Endpunkt der Kardiomyopathie ab (RIVM, 2001). Das BfR folgt dieser Ableitung aufgrund von diversen Widersprüchen in der Originalliteratur nicht, sondern verwendet den TDI der AFFSA von 1,6 µg Cobalt/kg KG/Tag (BfR, 2020).

Die tägliche Aufnahmemenge von Cobalt liegt laut EFSA zwischen 0,005 und 0,029 mg Cobalt/Tag (EFSA, 2012 b). Da entsprechend der TDI bereits zur Hälfte durch andere Quellen ausgeschöpft sein kann, sieht das BfR es als gerechtfertigt an, einen Allokationsfaktor von 20 % der akzeptablen täglichen Aufnahmemenge für den Beitrag von Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall anzuwenden.

Für die Festlegung eines spezifischen Freisetzungsgrenzwertes (SRL) für Cobalt aus unbeschichteten Metallgegenständen legte der Europarat im Rahmen der Technischen Leitlinie zu Metallen und Legierungen einen SRL von (gerundet) 0,02 mg/kg Lebensmittel(simulanz) für Cobalt fest (EDQM, 2024). Da Cobaltoxid notwendig für die Herstellung und Funktion von Emaille ist, legt die DIN EN ISO 4531:2022 für emaillierte Lebensmittelkontaktgegenstände einen deutlich höheren SRL für Cobalt von 0,1 mg/kg Lebensmittel(simulanz) fest. Bei der (konservativen) Standardannahme von 60 kg Körpergewicht und 1 kg Lebensmittelverzehr/Tag wäre der TDI damit bereits ausgeschöpft. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person jedoch unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Cobalt-Aufnahmemenge von 0,02 mg/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.10 Eisen

Eisen ist in der Umwelt und im menschlichen Körper allgegenwärtig, zum Beispiel als Bestandteil der roten Blutkörperchen, im Hämoglobin. Sowohl eine Unterversorgung als auch eine Überversorgung mit Eisen kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Eine

chronisch überhöhte Eisenzufuhr kann mit Organschäden, zum Beispiel an der Leber oder dem Magen-Darm-Trakt, einhergehen. Dies zeigte sich bei Personen mit gestörter Regulation der Eisenaufnahme oder Menschen, die über 15 Jahre täglich Nahrungsergänzungsmittel mit Eisengehalten im Bereich von 100 - 1000 mg zu sich genommen hatten. Das EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA) konnte im Jahr 2024 auf dieser Datenbasis kein „upper limit“ für die tägliche Eisenaufnahme ableiten, stellte aber fest, dass laut Studien eine Supplementierung von bis zu 25 mg Eisen pro Tag nicht zu adversen Effekten in Menschen führt. Zusammen mit der Hintergrundaufnahme berechnete die EFSA einen „safe level of intake“, also die sichere Einnahmemenge, für Eisen auf 40 mg/Tag für Erwachsene (EFSA NDA 2024). Die mittlere tägliche Eisenaufnahme liegt laut der Nationalen Verzehrstudie II bei Männern und Frauen im Alter von 14-80 Jahren jeweils bei 15,2 mg/Tag und 12,3 mg/Tag (MRI, 2022). Eisen ist ein notwendiger Bestandteil vieler Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall. Da die sichere Einnahmemenge von Eisen vermutlich deutlich unterhalb einer problematischen Aufnahmemenge liegt und diese ebenfalls nur zu etwa einem Drittel über die Nahrung ausgeschöpft wird, wird hier kein Allokationsfaktor verwendet. Für eine 60 kg schwere Person sollte aus Sicht des BfR eine tägliche orale Aufnahmemenge für Eisen von 40 mg/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.11 Kupfer

Ähnlich wie Eisen ist auch Kupfer ein essentielles Spurenelement für den Menschen und sowohl ein Mangel als auch eine übermäßige Exposition gegenüber Kupfer kann gesundheitsschädliche Auswirkungen haben. Eine vermehrte Kupferretention in der Leber gilt als Frühindikator für potenziell schädliche Auswirkungen durch eine chronisch überhöhte Kupferaufnahme (EFSA, 2023). Die EFSA legte ein „acceptable daily intake“ (ADI), eine zulässige Tagesdosis von 0,07 mg/kg KG/Tag fest (EFSA, 2023).

Die ernährungsbedingte Kupferexposition liegt laut EFSA für Erwachsene bei 0,015 bis 0,022 mg/kg KG/Tag (entspricht für eine 60 kg schwere Person 0,9 bis 1,32 mg/Tag) (EFSA, 2023). Dies deckt sich mit vorherigen Angaben der EFSA zur durchschnittlichen Kupferaufnahme in acht EU-Ländern, die bei Männern zwischen 1,27 und 1,67 mg/Tag und bei Frauen zwischen 1,15 und 1,44 mg/Tag lag (EFSA, 2015). Da die zulässige Tagesdosis durch die Aufnahme aus Lebensmitteln bereits zu einem beträchtlichen Teil ausgeschöpft wird, sieht das BfR die Anwendung eines Allokationsfaktors von 20 % als angemessen an. Demnach sollte für eine 60 kg schwere Person aus Sicht des BfR eine tägliche orale Aufnahmemenge für Kupfer von 0,84 mg/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.12 Lithium

Da Lithium therapeutisch eingesetzt wird, basieren die meisten toxikologischen Studien zu Lithium auf klinischen Untersuchungen von mit Lithium behandelten Patienten (EU-FORA, 2022). Zu den häufigsten beobachteten adversen Effekten zählen Nierenschädigungen und die Unterfunktion der Schilddrüse (McKnight et al., 2012). Lithiumsalze werden zur Therapie psychischer Störungen eingesetzt. Die US-amerikanische Umweltschutzbehörde (EPA) nutzt für die Ableitung einer vorläufigen chronischen Referenzdosis (RfD) die untere Grenze des therapeutischen Serum-Lithium-Konzentrationsbereichs als LOAEL (lowest-observed-adverse-effect-level). Dieser entspricht einer oralen Lithiumaufnahme von etwa 2,1 mg Li/kg KG/Tag. Mit einem Unsicherheitsfaktor von 1000 (10 für die Extrapolation von einem LOAEL auf einen NOAEL, 10 für Intraspeziesunterschiede und 10 um Unzulänglichkeiten in der Datenbank zu berücksichtigen), ergibt sich daraus eine RfD von 0,002 mg/kg KG/Tag (EPA,

2008). Aus dieser Studie konnte jedoch kein TDI für Lithium abgeleitet werden. Insgesamt liegen dem BfR keine neuen belastbaren toxikologischen Daten zu Lithium vor, so dass das BfR weiterhin analog zur technischen Leitlinie des Europarats zu Metallen und Legierungen dem 1991 vom RIVM abgeleiteten TDI von 0,008 mg/kg KG/Tag folgt (RIVM, 1991).

Die Lithiumexposition der Bevölkerung durch die Umwelt und Nahrungsaufnahme kann je nach Region erheblich variieren (Iordache et al., 2024). So wurde die durchschnittliche tägliche Aufnahme von Lithium bei Erwachsenen in Frankreich auf 48,2 µg/Tag (ANSES, 2011), in England auf 17 µg/Tag (Ysart et al., 1999) und in Italien auf 18,5 µg/Tag (Filippini et al., 2020) geschätzt. Für die Herstellung von Emailierungen ist Lithium ein notwendiges Matrixelement. Da die anderweitige Exposition gegenüber Lithium deutlich unterhalb des TDI liegt, wird es für die Risikobewertung der Exposition durch Lebensmittelkontaktmaterialien als vertretbar angesehen, den TDI ohne Anwendung eines Allokationsfaktors heranzuziehen. Für eine 60 kg schwere Person sollte aus Sicht des BfR eine tägliche orale Aufnahmemenge für Lithium von 0,48 mg/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.13 Mangan

Human- und Tierstudien belegen, dass Neurotoxizität der kritischste Effekt einer übermäßigen Manganaufnahme ist (EFSA NDA, 2023; Kern et al., 2010). Als toxikologischen Referenzwert verwendet die französische ANSES 55 µg/kg KG/Tag, abgeleitet aus einer Rattenstudie mit einem LOAEL von 25 mg/kg KG/Tag, wobei neurologische Effekte als Endpunkt verwendet wurden (ANSES, 2018; Valcke et al., 2018). Laut der EFSA-Opinion zu Mangan aus dem Jahr 2023 reichen jedoch viele Studien nicht aus, um eine klare Dosis-Wirkungs-Beziehung für Mangantoxizität zu zeigen und daraus eine tolerierbare Obergrenze für die tägliche Manganaufnahme abzuleiten. Dennoch ermittelte die EFSA ein „Safe level of intake“, bei dem mit hinreichender Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass keine schädlichen Auswirkungen auftreten. Dieser Wert liegt für Erwachsene bei 8 mg/Tag (EFSA NDA, 2023).

Die Hauptaufnahmequelle für Mangan ist die Nahrung, insbesondere Lebensmittel aus Getreide sowie Obst, Gemüse und Nüsse können hohe Mangangehalte aufweisen. Die mittlere tägliche Manganaufnahme liegt laut EFSA bei Männern zwischen 2,60 und 5,25 mg/Tag und bei Frauen zwischen 2,20 und 4,69 mg/Tag (EFSA NDA, 2023). Diese Werte stimmen mit früheren Studien überein, wie etwa der französischen Total Diet Study, bei der die mittlere Exposition für Erwachsene bei 2,16 mg/Tag lag (ANSES, 2011), und der UK Total Diet Study, bei der die mittlere tägliche Aufnahme aus der Nahrung bei 62 µg/kg KG/Tag (ca. 3,7 mg/Tag bei 60 kg KG) für Erwachsene lag (FSA, 2014). Da die tägliche Aufnahme über die Nahrung bereits einen erheblichen Teil der sicheren Aufnahmemenge ausschöpft, wird für die Aufnahme aus Lebensmittelkontaktmaterialien ein Allokationsfaktor von 20 % angewendet. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine orale Aufnahmemenge von 1,6 mg Mangan/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.14 Molybdän

In verschiedenen Beobachtungsstudien wurde eine überhöhte Molybdänaufnahme mit Gelenkbeschwerden und Arthritis-ähnlichen Symptomen in Zusammenhang gebracht, jedoch fehlen verlässliche chronischen Studien am Menschen, die für eine Risikobewertung herangezogen werden können (Hosokawa et al., 1994; Vyskocil et al., 1999). Das Scientific Committee on Food (SCF) legte den „tolerable upper intake level“ (UL), also die tolerierbare

Obergrenze für die tägliche Gesamtaufnahme von Molybdän, auf 0,6 mg/Tag fest (SCF, 2000; EFSA, 2024 b). Die Grundlage für diesen Wert bildete eine Studie zu reproduktionstoxischen Effekten an Ratten, in der der NOAEL bei 0,9 mg/kg KG/Tag lag (Unsicherheitsfaktor: 100) (Fungwe et al., 1990).

Die mittlere tägliche Molybdänaufnahme von Erwachsenen liegt laut ANSES bei 93,9 µg/Tag und in Deutschland laut EFSA bei 58 µg/Tag (ANSES, 2011; EFSA, 2013). Da somit ein signifikanter Anteil des UL bereits durch andere Expositionsquellen ausgeschöpft ist, wird ein Allokationsfaktor von 20 % für die Aufnahme von Molybdän aus Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,12 mg Molybdän/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.15 Nickel

Elementares Nickel ist in der CLP-Verordnung als vermutlich karzinogen (Carc. 2) eingestuft. Eine Vielzahl löslicher Nickelverbindungen ist zudem als reproduktionstoxisch (Repr. 1B), karzinogen nach inhalativer Aufnahme (Carc. 1A) und vermutlich mutagen (Muta. 2) eingestuft. Nickel und seine Verbindungen sind ein häufiger Auslöser von Kontaktallergien. So sind etwa 15 % der deutschen Bevölkerung gegen Nickel sensibilisiert (BfR, 2012; Ahlström et al., 2019). Bei chronischer oraler Exposition gegenüber Nickel können verschiedene organschädigende Effekte (insbesondere an Leber und Nieren) sowie Schädigungen des Nerven- und Immunsystems auftreten. In ihrer letzten Neubewertung hat die EFSA einen TDI von 13 µg/kg KG/Tag abgeleitet, welchen das BfR für die Risikobewertung zu Grunde legt (EFSA CONTAM, 2020). Als sensitivster Endpunkt nach chronischer oraler Exposition wurde Reproduktionstoxizität (Verlust von Embryonen nach der Einnistung) in einer Studie an Ratten identifiziert. Während die WHO 2017 in ihren „Guidelines for Drinking-water Quality“ ausgehend von einer Studie zur Auslösung von Allergien bereits sensibilisierter Menschen durch Aufnahme von Nickel mit dem Trinkwasser noch einen TDI von 12 µg/kg KG/Tag ableitete, folgt sie seit dem Jahr 2022 ebenfalls dem EFSA TDI (WHO, 2017. WHO, 2022).

Die Hauptexposition gegenüber Nickel findet durch die Nahrung statt. Die von der EFSA berechnete mittlere nahrungsbedingte Nickerexposition liegt bei Erwachsenen in einem Bereich zwischen 2,90 und 3,41 µg/kg KG/Tag (0,174 mg/Tag bis 0,204 mg/Tag) (EFSA CONTAM, 2020). Angesichts möglicher toxikologischer Effekte und der Tatsache, dass ein signifikanter Anteil des TDI bereits durch andere Expositionsquellen ausgeschöpft ist, sollte eine Exposition der Verbraucher mit Nickel aus Lebensmittelkontaktmaterialien so gering wie möglich ausfallen, jedoch höchstens 20 % des TDI betragen. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,156 mg Nickel/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.16 Selen

Selen ist ein essentielles Spurenelement für den menschlichen Körper, eine chronisch erhöhte Selenzufuhr kann jedoch toxische Effekte auslösen, die häufig unter dem Sammelbegriff ‚Selenose‘ zusammengefasst werden. Dazu gehören strukturelle Schäden und der Verlust von Haaren und Nägeln sowie neurologische Störungen (ATSDR, 2003; Fairweather-Tait et al., 2011). Ein LOAEL-Wert für Alopezie als frühes Anzeichen einer Selenotoxizität wurde aus einer

großen randomisierten kontrollierten Studie am Menschen abgeleitet und liegt bei 330 µg/Tag (Lippman et al., 2009). Unter Anwendung eines Unsicherheitsfaktors von 1,3 leitete das NDA-Panel der EFSA daraus eine tolerierbare Obergrenze für die tägliche Gesamtaufnahme von 0,255 mg/Tag für die europäische Bevölkerung ab (EFSA NDA, 2023).

Die Hauptaufnahmequelle für Selen ist die Nahrung, insbesondere Milch- und Fleischprodukte, Fisch und Getreideprodukte. Die mittlere tägliche Aufnahme liegt bei Erwachsenen zwischen 42,7 und 65,6 µg/Tag bei Männern und zwischen 35,8 und 50,5 µg/Tag bei Frauen (EFSA NDA, 2023). Da die tägliche Selenzufuhr mit der Nahrung bereits einen signifikanten Teil der tolerierbaren täglichen Gesamtaufnahme ausschöpft, wird für die Aufnahme aus Lebensmittelkontaktmaterialien ein Allokationsfaktor von 20 % angewendet. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,051 mg Selen/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.17 Silber

Von der ECHA wurde im Rahmen der Biozid-Bewertung eine akzeptable tägliche Aufnahmemenge (ADI, „Acceptable Daily Intake“) für Silber von 0,9 µg/kg KG/Tag abgeleitet (EFSA and ECHA, 2021; ECHA, 2021). Diese wurde aus einem NOAEL-Wert von 9 mg Silber-Zink-Zeolith/kg KG/Tag berechnet (Umrechnungsfaktor 100 für Inter- und Intra-Speziesunterschiede sowie ein weiterer Faktor von insgesamt 100 zur Umrechnung von Silber-Zink-Zeolith auf freie Silberionen), der in einer Studie an Ratten ermittelt wurde und auf der Pigmentierung der inneren Organe beruht (Takizawa et al., 1992). Es sei darauf hingewiesen, dass dieser ADI als sehr konservativ angesehen werden kann, da eine Pigmentierung innerer Organe nicht zwangsläufig einen adversen Effekt darstellt. Zudem steht der ADI teilweise im Widerspruch zu Beobachtungen am Menschen: Nach Berechnungen der ANSES ist die mittlere Aufnahmemenge (siehe unten) bereits bis zu dreimal so hoch wie der ADI, ohne dass daraus eine Pigmentierung innerer Organe resultieren würde.

Silber kann über das Trinkwasser oder über die Nahrung aufgenommen werden, wo es auch als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen ist. Die ANSES schätzt die durchschnittliche tägliche Aufnahme von Silber für Erwachsene auf 1,29 bis 2,65 µg/kg KG/Tag (ANSES, 2011). Formal wäre demnach ein Allokationsfaktor von 10 % angemessen. Aufgrund des, wie oben beschrieben, sehr konservativ gewählten ADI und da die resultierende Aufnahmemenge im Vergleich zur sonstigen Aufnahme immer noch als sehr gering anzusehen ist, sieht das BfR einen Allokationsfaktor von 20 % für die Aufnahme von Silber aus Lebensmittelkontaktmaterialien als angemessen an. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,0108 mg Silber/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.18 Thallium

Thallium wird schnell und effizient resorbiert, wobei seine Ausscheidung hauptsächlich über die Nieren erfolgt (EPA, 2009). Bei chronischer Exposition gegenüber Thallium treten typischerweise neurologische Störungen sowohl sensorischer als auch motorischer Art und Haarausfall auf (EU-FORA, 2022; Cvjetko et al., 2010). Die Thalliumkonzentration im Urin gilt als zuverlässiger Indikator für die Thalliumexposition. Eine Exposition gegenüber 10 µg löslicher Thalliumverbindungen führt dabei zu einer Thalliumkonzentration von etwa 5 µg/l Urin (WHO, 1996). Die WHO stuft diese tägliche Aufnahmemenge als unwahrscheinlich ein,

schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu haben. Sie kam jedoch zu dem Schluss, dass sie aufgrund von Unsicherheiten zur Dosis-Wirkungs-Beziehung keinen gesundheitsbezogenen Grenzwert ableiten kann (WHO, 1996). Zu diesem Schluss kam die US-EPA ebenfalls (EPA, 2009, 2012). Sie schlägt einen „provisional screening value“ vor, der in bestimmten Fällen nützlich sein könnte. Der Wert beträgt 10 ng/kg KG/Tag und basiert auf einer subchronischen Studie an Ratten, bei denen Alopezie auftrat. Da die Unsicherheit in den Daten aus dem Tierversuch sehr hoch ist, scheint es zielführend, sich auf die epidemiologischen Daten zu stützen. Das Umweltbundesamt (UBA) hat auf der Grundlage einer epidemiologischen Studie einen deutlich niedrigeren Wert für die orale Thalliumexposition von 10 µg/Person/Tag ermittelt, bei dem davon ausgegangen wird, dass keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen resultieren (Brockhaus et al., 1981; UBA, 2011). Das BfR empfiehlt, dass die Gesamtaufnahme an Thallium aus allen Quellen 10 µg/Person und Tag nicht überschreiten sollte (BfR, 2004). Aufgrund bestehender Unsicherheiten in der zugrunde liegenden Datenlage ist der angegebene Wert nicht als gesundheitsbasierter Richtwert anzusehen. Hilfsweise wird dieser Wert zur Identifizierung einer nicht zu überschreitenden Aufnahmemenge durch die Freisetzung von Thallium aus Lebensmittelkontaktmaterialien herangezogen.

Die Aufnahme von Thallium über die Nahrung ist zwar gering, kann jedoch bei Erwachsenen bei 2 bis 5 µg/Tag liegen (Sherlock et al., 1986; FSA, 2014). Da die Aufnahme über die Nahrung bereits einen signifikanten Teil der maximalen Gesamtaufnahme ausschöpft und wegen Unsicherheiten in der Datenbasis wird ein Allokationsfaktor von 10 % für die Exposition gegenüber Thallium aus Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet. Dieses Vorgehen deckt sich mit den Empfehlungen des Europarats zu Freisetzungsgrenzwerten für Thallium aus unbeschichteten Metallgegenständen. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 10 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,001 mg Thallium/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.19 Vanadium

Vanadium ist nicht mutagen, kann jedoch zu numerischen und strukturellen Chromosomenschädigungen führen. Diese Effekte sind auf indirekte Mechanismen mit Schwellenwert zurückzuführen (ATSDR, 2012; EFSA, 2004). In Tierstudien wurden als Auswirkungen einer chronischen Vanadiumexposition Schäden an Nieren, Milz und Lunge beobachtet (EFSA, 2004; RAC, 2020). Die klinischen Erfahrungen am Menschen beschränken sich auf Studien mit einer kleinen Anzahl von Freiwilligen, in denen als sensitivster Endpunkt gastrointestinale Störungen beobachtet wurden. Die niedrigste Dosis einer Vanadiumverbindung, von der berichtet wurde, dass sie eine solche Wirkung hervorrief, betrug etwa 0,2 mg/kg KG/Tag (Dimond et al., 1963; EFSA, 2004). Eine Studie von 1997 mit einer 12-wöchigen oralen Exposition von Patienten gegenüber Vanadium bei der hämatologische und Blutdruckeffekte untersucht wurden, führte zur Ermittlung eines NOAEL von 0,12 mg/kg KG/Tag (Fawcett et al., 1997). Dieser NOAEL wurde sowohl von der Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2012) als auch vom International Council for Harmonisation (ICH) zur Berechnung gesundheitsbasierter Richtwerte herangezogen (Laupheimer et al., 2025). Der ICH leitete eine „permitted daily exposure“ (PDE), oder zulässige tägliche Exposition von 120 µg/Tag ab (ICH, 2022). Dieser Wert wird durch Ergebnisse einer neueren subchronischen Studie an Ratten und Mäusen unterstützt, bei der Veränderungen des Blutbildes als sensitivster Effekt identifiziert wurden (NTP, 2023). Hilfsweise zieht das BfR diesen Wert zur Identifizierung einer nicht zu überschreitenden

Aufnahmemenge durch die Freisetzung von Vanadium aus Lebensmittelkontaktmaterialien heran.

Vanadium kann über das Trinkwasser und die Nahrung aufgenommen werden und kommt z. B. in Meeresfrüchten und Pilzen in nennenswerten Mengen vor. Schätzungen der Gesamtaufnahme von Vanadium über die Nahrung beim Menschen reichen von 10 bis 60 µg/Tag (ICH, 2022). In der ANSES Total Diet Studie wurde die durchschnittliche tägliche Vanadiumaufnahme bei Erwachsenen auf 52 µg/Tag geschätzt (ANSES, 2011). Da die Aufnahme über die Nahrung bereits einen signifikanten Teil der maximalen Gesamtaufnahmemenge ausschöpft, wird ein Allokationsfaktor von 20 % für die Exposition gegenüber Vanadium aus Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 0,024 mg Vanadium/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.20 Zink

Zink ist ein essentielles Spurenelement und ein wichtiger Bestandteil vieler Metalloenzyme. Zink und Kupfer beeinträchtigen sich gegenseitig in ihrer Aufnahme, so kann eine erhöhte Aufnahme des einen zu einer verringerten Aufnahme des anderen aus dem Magen-Darm-Trakt führen. Die verminderte Kupferaufnahme gilt als sensitiver Parameter für eine erhöhte Zinkaufnahme. Dieser Endpunkt diente der UK-Expert Group on Vitamins and Minerals (EVM) sowie dem SCF zur Ableitung einer sicheren Obergrenze für die Zinkaufnahme von 25 mg/Tag (EVM, 2003; SCF, 2003). Diese tolerierbare Obergrenze für die tägliche Gesamtaufnahmemenge von Zink wurde 2024 von der EFSA erneut bestätigt (EFSA, 2024 b).

Die Hauptaufnahmekategorie für Zink ist die Nahrung, insbesondere Brot, Fleisch- und Milcherzeugnisse. Die mittlere tägliche Zinkaufnahme (inklusive Supplementeinnahme) liegt laut der Nationalen Verzehrstudie II bei Männern und Frauen im Alter von 14 – 80 Jahren bei 12,3 mg/Tag bzw. 9,5 mg/Tag (MRI, 2022). Da die Aufnahme über die Nahrung bereits einen signifikanten Teil der sicheren Obergrenze für die Zinkaufnahme ausschöpft, wird ein Allokationsfaktor von 20 % für die Exposition gegenüber Zink aus Lebensmittelkontaktmaterialien verwendet. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person unter Einbezug der Allokation von 20 % eine tägliche orale Aufnahmemenge von 5 mg Zink/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.21 Zinn

Die Absorption von Zinn und seinen anorganischen Verbindungen ist sehr gering. Die orale Aufnahme hoher Zinnmengen kann zu gastrointestinalen Beschwerden führen, so dass es gesetzliche Höchstgehalte (Verordnung (EU) 2023/915) für die Zinnkonzentration in Lebensmittelkonserven und Dosengetränken von 200 bzw. 100 mg/kg gibt. Laut WHO gibt es keine Hinweise auf eine chronische Zinntoxizität beim Menschen, so dass die Festlegung eines Richtwerts für Trinkwasser als nicht notwendig erachtet wurde (WHO, 2022). Bereits 2010 wurde die orale Toxizität von Zinn in einer 28-tägigen Studie an Ratten untersucht, wobei selbst bei der höchsten Tagesdosis von 1000 mg/kg KG keine schädlichen Wirkungen festgestellt werden konnten (ECHA, 2023). Da Zinn jedoch in Pulverform verabreicht wurde, ist diese Studie nicht repräsentativ für die Exposition des Menschen über die Nahrung, da Zinn dort meist in ionischer Form vorliegt. In einer subchronischen Studie aus dem Jahr 1973 mit Zinn(II)chlorid an Ratten wurden ab einer Konzentration von 0,3 % Zinnchlorid im Futter

Effekte wie Wachstumshemmung, reduzierte Nahrungsmittelleffizienz, leichte Anämie und histologische Veränderungen in der Leber beobachtet. Der NOAEL lag umgerechnet (vgl. EFSA, 2012 c) bei 81 mg/kg KG/Tag (de Groot et al., 1973).

Das RIVM leitete für die chronische Zinnexposition einen TDI von einem NOAEL-Wert einer Studie an Ratten ab (RIVM, 2009). Als sensitivste Endpunkte wurden die geringfügige Zunahme der Zinnakkumulation in den Knochen und die Abnahme der Futtereffizienz identifiziert. Aus dem NOAEL von 20 mg/kg KG/Tag und der Anwendung eines Unsicherheitsfaktors von 100 (10 für Inter- und 10 für Intraspezies-Variation) wurde der TDI von 0,2 mg/kg KG/Tag abgeleitet. Dieser TDI wird auch hier für die Risikobewertung herangezogen.

Die ANSES schätzt die mittlere tägliche Zinnaufnahme für Erwachsene über die Nahrung auf 3,9 µg/kg KG/Tag (ANSES, 2011). Demnach liegt die ernährungsbedingte Exposition deutlich unter dem TDI und die Anwendung eines Allokationsfaktors ist nicht notwendig. Aus Sicht des BfR sollte für eine 60 kg schwere Person eine tägliche orale Aufnahmemenge von 12 mg Zinn/Tag aus Lebensmittelkontaktmaterialien nicht überschritten werden.

4.1.2.22 Zusammenfassung und gesundheitsbasierte Richtwerte

Basierend auf vorhandenen toxikologischen Studien und entsprechenden Bewertungen anderer Behörden hat das BfR gesundheitsbasierte Richtwerte (HBGV) für 20 der 21 untersuchten Elemente abgeleitet. Zudem wurden bei Bedarf Allokationsfaktoren definiert, die den aus Sicht des BfR maximalen Anteil der Ausschöpfung des jeweiligen HBGV durch die Exposition über Lebensmittelkontaktmaterialien beschreiben. Unter Annahme einer Person mit 60 kg Körpergewicht wurden anschließend tägliche bzw. wöchentliche maximale tolerierbare Aufnahmemengen berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Gesundheitsbasierte Richtwerte (HBGV) und abgeleitete maximale tolerierbare Aufnahmemengen für 17 untersuchte Elemente. Das BfR empfiehlt, dass die in der letzten Spalte genannten Expositionsbeiträge aus Lebensmittelkontaktmaterialien (LKM) nicht überschritten werden sollten.

Element	Art des HBGV	Quelle	HBGV in mg/kg KG/Tag oder *Woche	Maximale tolerierbare Aufnahme in mg pro Person (60kg) und Tag oder *Woche	Allokationsfaktor (AF)	Empfohlene maximale Aufnahme aus LKM in mg/Person/ Tag oder *Woche
Aluminium	TWI	EFSA (2008)	*1	*60	10 %	*6
Antimon	TDI	WHO (2003)	0,006	0,36	-	
Barium	TDI	SCHER (2012)	0,2	12	-	
Cadmium	TWI	EFSA CONTAM (2012)	*0,0025	*0,15	10 %	*0,015
Chrom	TDI	EFSA CONTAM (2014)	0,3	18	-	
Cobalt	TDI	EFSA (2012)	0,0016	0,1	20 %	0,02
Eisen	Safe level of intake	EFSA NDA (2024)	-	40	-	
Kupfer	ADI	EFSA (2022)	0,07	4,2	20 %	0,84
Lithium	TDI	RIVM (1991)	0,008	0,48	-	
Mangan	Safe level of intake	EFSA NDA (2023)	-	8	20 %	1,6
Molybdän	UL	SCF (2006)	-	0,6	20 %	0,12
Nickel	TDI	EFSA CONTAM (2020)	0,013	0,78	20 %	0,156
Selen	UL	EFSA NDA (2023)	-	0,255	20 %	0,051
Silber	ADI	ECHA (2021)	0,0009	0,054	20 %	0,0108
Vanadium	PDE	ICH (2022)	0,002	0,12	20 %	0,024
Zink	UL	SCF (2003)	-	25	20 %	5
Zinn	TDI	RIVM (2009)	0,2	12	-	

Tabelle 2: Zur Orientierung herangezogene toxikologische Referenz- bzw. Orientierungswerte für die untersuchten Elemente, für die kein HBGV abgeleitet werden konnte. Die Freisetzung dieser Elemente aus Lebensmittelkontaktmaterialien (LKM) sollte aus Sicht des BfR so niedrig wie möglich sein und nicht relevant zur Exposition beitragen. Für unvermeidbare Expositionen aus Lebensmittelkontaktmaterialien sollten die in der Tabelle genannten maximalen täglichen Aufnahmemengen nicht überschritten werden. Für Beryllium konnte aufgrund der unzureichenden Datenlage weder ein HBGV noch ein toxikologischer Referenzwert abgeleitet werden.

Element	Toxikologischer Referenzwert	Quelle	Toxikologischer Referenzwert in mg/kg KG/Tag	Toxikologischer Referenzwert in mg pro Person (60kg) und Tag	Allokationsfaktor (AF)	Maximale unvermeidbare Exposition über LKM in mg/Person/ Tag
Arsen	BMDL ₀₅	EFSA (2024)	0,00006	0,0036	10 %	0,00036
Beryllium	-	-	-	-	-	-
Blei	BMDL ₀₁	EFSA (2010)	0,0005	0,03	10 %	0,003
Thallium	maximale Exposition	WHO (1996)	-	0,01	10 %	0,001

4.1.3 Elementfreisetzung und technische Bewertung

Für die nachfolgende Expositionsabschätzung zieht das BfR die vorliegenden Monitoringdaten der Überwachungsbehörden der Bundesländer zur Freisetzung von Elementen aus Metallgegenständen für den Lebensmittelkontakt aus dem Jahr 2022 heran. Dort wurden Freisetzungsuntersuchungen in Lebensmittelsimulanzien unter verschiedenen Testbedingungen durchgeführt.

Die zusammengefassten Ergebnisse der Freisetzungsversuche und die spezifischen Freisetzungsgrenzwerte (SRLs) des Europarates bzw. der DIN EN ISO 4531:2022 sind in Tabelle 2 dargestellt. Diese Grenzwerte dienen als Compliance-Kriterien zur Bewertung der technischen Eignung von Lebensmittelkontaktmaterialien. Der Vergleich der gemessenen Elementfreisetzungen mit diesen Grenzwerten wurde ergänzend vorgenommen. Für die Risikobewertung werden hingegen die abgeleiteten HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerte herangezogen.

Die Freisetzungsuntersuchungen für unbeschichtete Gegenstände wurden, angelehnt an die vorgeschriebenen Testbedingungen der Empfehlungen des Europarats, in künstlichem Leitungswasser sowie in 0,5%iger Zitronensäure durchgeführt (bei 40 °C/70 °C/100 °C). Angelehnt an die Norm DIN EN ISO 4531:2022 wurde für die emaillierten Gegenstände in 3%iger Essigsäure im Heißkontakt für 2 Stunden (70 °C oder 95 °C) und in 4%iger Essigsäure bei Raumtemperatur für 24 Stunden getestet. Die Auswahl der Temperatur richtete sich nach Art des Gebrauchs des jeweiligen Gegenstandes. So wurde beispielsweise ein unbeschichteter Kochtopf bei 100 °C, ein Kaffeelöffel bei 70 °C und ein Apfelteiler bei 40 °C getestet. Bei den emaillierten Gegenständen wurde beispielsweise ein Dessertteller bei 70 °C und eine Ofenform bei 95 °C getestet. Um die wiederholte Verwendung widerzuspiegeln, wurden drei aufeinanderfolgende Migrationen durchgeführt, und die Ergebnisse der 3. Migration wurden zur Bewertung verwendet.

Insgesamt wurden 194 Gegenstände untersucht, davon 115 unbeschichtete und 79 emaillierte Gegenstände. Es wurden die Elementlössigkeiten von 21 verschiedenen Elementen untersucht. Die Elemente Kupfer, Cobalt und Zink wurden bei allen Proben untersucht. Die Elemente Aluminium, Antimon, Barium, Cadmium, Blei, Chrom, Eisen, Lithium und Nickel wurden beim überwiegenden Anteil (über 75 %) der Proben untersucht und die Elemente Arsen, Beryllium, Mangan, Molybdän, Selen, Silber, Thallium, Vanadium und Zinn wurden bei weniger als 75 % der Proben untersucht. Die untersuchten Elemente richteten sich jeweils nach der analytischen Ausstattung der Untersuchungslabore.

Wie oben beschrieben, wurden für jedes Element Freisetzungsvorversuche in zwei Lebensmittelsimulanzien durchgeführt. Für die folgenden Auswertungen wurde jeweils der höhere gemessene Freisetzungswert herangezogen, um eine konservative, sogenannte „Worst-Case“-Abschätzung der Elementfreisetzung zu gewährleisten.

Die Mehrheit der getesteten Proben zeigte Freisetzungswerte unterhalb der jeweiligen SRLs. Dabei hielten 99,1 % der unbeschichteten Proben alle SRLs ein, während dies nur auf 53,2 % der emaillierten Proben zutraf. Insgesamt wurde bei 38 von 194 analysierten Proben mindestens ein SRL-Wert überschritten, wobei 37 dieser 38 Proben emailliert waren. Bei 24 der 38 Proben überschritt die Freisetzung eines einzigen Elements und bei 14 Proben die Freisetzung mehrerer Elemente den jeweiligen Freisetzungsgrenzwert. Aluminium ist das Element, das in den meisten Proben Freisetzungsmengen oberhalb des SRL aufweist. In der Neufassung der DIN EN ISO 4531:2022 wurde der Grenzwert für Aluminium auf 1 mg/kg Lebensmittelsimulanz abgesenkt, in der vorherigen Fassung von 2018 lag der SRL von Aluminium noch bei 5 mg/kg Lebensmittelsimulanz. Demnach wurde bei 33 Proben der neue Grenzwert von 1 mg/kg überschritten im Vergleich zu 2 Proben, bei denen der frühere SRL von 5 mg/kg überschritten wurde.

Tabelle 3: Elementfreisetzungsmengen in mg/kg Simulanz aus den untersuchten unbeschichteten und emaillierten Küchengegenständen und Vergleich mit den spezifischen Freisetzungslimits (SRL) laut Technischer Leitlinie des Europarats zu Metallen und Legierungen im Lebensmittelkontakt für unbeschichtete Metallgegenstände a bzw. laut der Norm DIN EN ISO 4531:2022 für emaillierte Metallgegenstände b.

Element-lössigkeit	Probenart	Proben-anzahl	Mittel-wert	Median	Maxi-mum	90. Perzentil	SRL	Proben > SRL
Alumi-nium	unbeschichtet	115	0,0305	0,012	0,681	0,05	5	0
	emailliert	73	1,86	0,871	43,0	3,426	1	33
Antimon	unbeschichtet	110	0,000818	0,0005	0,00318	0,0015	0,04	0
	emailliert	70	0,00609	0,0015	0,077	0,0138	0,04	1
Arsen	unbeschichtet	92	0,000253	0,00015	0,00158	0,0005	0,002	0
	emailliert	46	0,000347	0,000379	0,002	0,0005	0,002	0
Barium	unbeschichtet	100	0,0139	0,009	0,033	0,033	1,2	0
	emailliert	79	0,685	0,025	18,3	1,05	1,2	6
Beryllium	unbeschichtet	37	0,000755	0,0003	0,003	0,0025	0,01	0
	emailliert	25	0,00021	0,0003	0,0003	0,0003	/	0
Blei	unbeschichtet	104	0,000417	0,0003	0,00573	0,001	0,01	0
	emailliert	70	0,0760	0,000539	4,62	0,0146	0,01	7
Cadmium	unbeschichtet	111	0,000219	0,00015	0,0044	0,0005	0,005	0

Element-lässigkeit	Probenart	Proben-anzahl	Mittel-wert	Median	Maxi-mum	90. Perzentil	SRL	Proben > SRL
	emailliert	62	0,0123	0,000247	0,721	0,00190	0,005	3
Chrom	unbeschichtet	115	0,0162	0,005	0,348	0,0399	1	0
	emailliert	74	0,114	0,0015	7,74	0,0323	1	1
Cobalt	unbeschichtet	115	0,00227	0,00045	0,143	0,0025	0,02	1
	emailliert	79	0,0552	0,00355	1,55	0,0854	0,1	5
Eisen	unbeschichtet	100	25,5	0,15	2490	1,10	40	1
	emailliert	77	157	0,050	12000	0,50	/	0
Kupfer	unbeschichtet	115	0,0306	0,0055	0,15	0,15	4	0
	emailliert	79	0,107	0,016	0,888	0,50	4	0
Lithium	unbeschichtet	107	0,00151	0,00075	0,013	0,005	0,048	0
	emailliert	69	0,0824	0,0085	2,37	0,0973	0,48	4
Mangan	unbeschichtet	72	0,105	0,0125	4,9	0,114	0,55	1
	emailliert	56	1,65	0,025	84,8	0,5	0,55	2
Molybdän	unbeschichtet	52	0,00153	0,0005	0,0133	0,00485	0,12	0
	emailliert	35	0,00130	0,00015	0,009	0,004	0,12	0
Nickel	unbeschichtet	112	0,00282	0,00105	0,032	0,00556	0,14	0
	emailliert	66	0,0176	0,00199	0,507	0,0361	0,14	2
Selen	unbeschichtet	23	0,00294	0,00375	0,00375	0,00375	/	0
	emailliert	30	0,00244	0,0015	0,0104	0,005	/	0
Silber	unbeschichtet	19	0,00301	0,0025	0,006	0,0055	0,08	0
	emailliert	17	0,000804	0,000487	0,0015	0,0015	0,08	0
Thallium	unbeschichtet	54	0,000053	0,000025	0,00015	0,00015	0,001	0
	emailliert	39	0,000204	0,000025	0,0005	0,0005	/	0
Vanadium	unbeschichtet	52	0,00142	0,0009	0,02	0,0025	0,01	1
	emailliert	35	0,0128	0,00075	0,413	0,00194	0,01	1
Zink	unbeschichtet	115	0,0559	0,0225	2,29	0,150	5	0
	emailliert	79	0,110	0,035	1,23	0,50	5	0
Zinn	unbeschichtet	42	0,00794	0,003	0,03	0,0240	100	0
	emailliert	32	0,00231	0,00015	0,0279	0,0105	/	0

^a verwendete Lebensmittelsimulanzen: künstliches Leitungswasser und 0,5%ige Zitronensäure je nach Art der Verwendung des Gegenstandes getestet bei 40 °C/70 °C/100 °C für 30 min oder 2 Stunden. Es wurde für jeden Gegenstand der jeweils höhere Freisetzungswert herangezogen.

^b verwendete Lebensmittelsimulanzen: 3%ige Essigsäure im Heißkontakt für 2 Stunden (70 °C oder 95 °C) und in 4%ige Essigsäure bei Raumtemperatur für 24 Stunden. Es wurde für jeden Gegenstand der jeweils höhere Freisetzungswert herangezogen.

Insgesamt zeigt sich, dass – von der Aluminiumfreisetzung aus emaillierten Proben abgesehen – für alle Elemente die technischen Anforderungen von der überwiegenden Mehrheit der untersuchten Gegenstände eingehalten werden. Bei einzelnen Gegenständen, die zum Teil erhebliche Überschreitungen eines oder mehrerer SRLs aufweisen, sollten die

Hersteller nach Ansicht des BfR ihre Rohstoffqualitäten und Herstellungsverfahren überprüfen oder die Verwendung der Produkte insbesondere für heiße saure Lebensmittel ausschließen.

4.1.4 Expositionsschätzung und Risikocharakterisierung

Um die tatsächliche Exposition gegenüber den untersuchten Elementen durch verzehrte Lebensmittel, die mit Küchengegenständen aus Metall in Kontakt gekommen sind, abzuschätzen, wurden folgende Verzehrsmengen angenommen: Für Gegenstände mit großen Fassungsvermögen von mehr als 1 L (Kochtöpfe, Bräter, Backbleche etc.) wurde davon ausgegangen, dass eine erwachsene Person 1 kg Lebensmittel pro Tag verzehrt, die mit diesen Gegenständen in Kontakt gekommen sind. Für Gegenstände, die kleinere Fassungsvermögen (Tassen, Cocktailshaker) bzw. umhüllende Volumina (Besteck, Rührbesen, Pizzascheider etc.) als 1 L hatten, wurde davon ausgegangen, dass das gesamte für den Test verwendete Volumen an Lebensmittelsimulanz der täglichen Verzehrmenge entspricht, da die im Haushalt mit diesen Gegenständen in Kontakt kommenden Lebensmittel meist deutlich kleinere Volumina als 1 L besitzen. Anschließend wurde die tägliche oder wöchentliche Aufnahmemenge für die jeweiligen Elemente mit den im Abschnitt 4.1.2 (siehe auch Tabelle 1) genannten HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerten für einen 60 kg schweren Erwachsenen verglichen. Wo als notwendig erachtet, wurde zudem ein Allokationsfaktor (Tabelle 1) berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

Rechenbeispiel 1:

Ein emaillierter Topf wies im dritten Migrat eine Aluminiumfreisetzung in 3%ige Essigsäure (2 Stunden bei 95 °C) bzw. 4%ige Essigsäure (24 Stunden bei 22 °C) von 3,04 bzw. 8,27 mg/kg Simulanz auf. Das Simulanzvolumen betrug 750 ml. Zur Berechnung wurde der höhere Freisetzungswert aus der Bestimmung in 4%iger Essigsäure für 24 Stunden bei 22 °C verwendet. Nach den oben beschriebenen Annahmen ergab sich folgende wöchentliche Exposition:

$$\text{Exposition} = 8,27 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} * 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{Tag}} / 60 \text{ kg KG} * 7 \frac{\text{Tage}}{\text{Woche}} = 0,724 \frac{\text{mg}}{\text{kg KG} * \text{Woche}}$$

Aus diesen Werten ergibt sich entsprechend eine Überschreitung des SRL für Aluminium aus Emaille (1 mg/kg) sowie der allozierten 10 % der tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemenge für Aluminium (HBGV = 1 mg/kg KG/Woche) – nicht aber eine Überschreitung des HBGV selbst.

Rechenbeispiel 2:

Ein emailliertes Backblech wies im dritten Migrat eine Cobaltfreisetzung in 3%ige Essigsäure (2 Stunden bei 95 °C) bzw. 4%ige Essigsäure (24 Stunden bei 22 °C) von 0,35 mg/kg Simulanz bzw. < Bestimmungsgrenze (0,004 mg/kg Simulanz) auf. Das Simulanzvolumen betrug 1410 ml. Zur Berechnung wurde der höhere Freisetzungswert aus der Bestimmung in 3%iger Essigsäure für 2 Stunden bei 95 °C verwendet. Nach den oben beschriebenen Annahmen ergab sich folgende tägliche Exposition:

$$\text{Exposition} = 0,35 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} * 1 \frac{\text{kg}}{\text{Tag}} / 60 \text{ kg KG} = 0,0058 \frac{\text{mg}}{\text{kg KG} * \text{Tag}}$$

Aus diesen Werten ergibt sich entsprechend sowohl eine Überschreitung des SRL für Cobalt (0,1 mg/kg) als auch der tolerierbaren täglichen Aufnahmemenge für Cobalt (HBGV = 0,0016 mg/kg KG/Tag, bei einer 60 kg schweren Person 0,1 mg/Tag).

Insgesamt führt die Freisetzung von Elementen aus der überwiegenden Zahl der getesteten Proben nicht zu einer Überschreitung der abgeleiteten HBGV – auch unter Einbeziehung der Allokationsfaktoren. Die berechneten Margins of Exposure waren für Arsen für alle Proben und für Blei für die überwiegende Zahl der Proben (deutlich) größer als 1. Die berechnete Exposition überschreitet bei insgesamt 8 (von 194) Proben einen oder mehrere HBGV bzw. entspricht einem Margin of Exposure für Blei von weniger als 1. Es handelt sich bei diesen 8 Proben um sieben emaillierte Küchengegenstände und einen ohne Beschichtung. Diese Gegenstände sind aus Sicht des BfR nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.

Sonderfall Cobalt: Die Freisetzung von Cobalt aus 5 Proben (4 davon emailliert) führt zu einer Überschreitung des HBGV von 0,1 mg/Tag (für eine 60 kg schwere Person). Diese Gegenstände sind aus Sicht des BfR nicht für den täglichen Gebrauch im Lebensmittelkontakt geeignet. Die Cobaltfreisetzung aus weiteren 6 Proben führt zu einer Überschreitung des allozierten HBGV von 0,02 mg/Tag, aber nicht zu einer Überschreitung des HBGV selbst. Der Beitrag dieser Gegenstände zur Gesamtexposition gegenüber Cobalt ist aus toxikologischer Sicht als zu hoch zu bewerten. Allerdings kann auf Cobaltoxid als Haftvermittler für die Herstellung und Funktion von emaillierten Oberflächen nicht gänzlich verzichtet werden. Für den Einsatz von Cobalt für Lebensmittelkontaktmaterialien aus Emaille gilt entsprechend das ALARA-Prinzip ‚As Low As Reasonably Achievable‘. Das bedeutet, dass der Einsatz und die Freisetzung von Cobalt in Lebensmittel ‚so niedrig wie vernünftigerweise möglich‘ sein sollen. Die Vielzahl emaillierter Gegenstände, deren Cobaltfreisetzung nicht in einer Überschreitung des allozierten HBGV für Cobalt resultierte, zeigt, dass dies technisch möglich ist.

Unter Einbeziehung der Allokationen von 10 - 20 % für Elemente, bei denen auch eine signifikante Exposition aus anderen Quellen stattfindet, resultieren für 39 Proben Überschreitungen der allozierten HBGV, oder der auch bei unvermeidbarer Freisetzung als maximaler Expositionsbeitrag für Blei (0,003 mg/Person/Tag) bzw. Arsen (0,00036 mg/Person/Tag) angesehene Wert war überschritten. Die Elemente, für die bei den meisten Proben Überschreitungen auftraten, sind Aluminium, Arsen, Blei und Cobalt. Bei 28 von 39 Proben traten Überschreitungen für ein einzelnes Element auf, bei 11 Proben (5,7 % aller Proben) waren mehrere Elemente betroffen. Es handelt sich bei diesen 11 Proben um zehn emaillierte Küchengegenstände und einen ohne Beschichtung. Da die Verwendung dieser Gegenstände wesentlich zur Gesamtaufnahme einiger Elemente beiträgt, sollten die Hersteller nach Ansicht des BfR ihre Rohstoffqualitäten und Herstellungsverfahren so überarbeiten, dass die Exposition aus diesen Lebensmittelkontaktmaterialien unter den allozierten HBGV aller Elemente sowie unterhalb eines Expositionsbeitrags von 0,003 mg Blei/Person/Tag sowie 0,00036 mg Arsen/Person/Tag liegt.

Erwartungsgemäß treten erhöhte Elementfreisetzungen tendenziell beim Testen in sauren Simulanzien und bei erhöhter Temperatur auf – also für Gegenstände wie Töpfe, Bräter und Ofenbleche. Für Elemente, für die der SRL-Wert häufig überschritten wurde, ergibt sich auch tendenziell häufiger eine Überschreitung des jeweiligen HBGV/toxikologischen Referenzwertes bzw. des allozierten Anteils daran.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Risikobewertung auf Basis der durchgeführten Expositionsschätzung ergab, dass die überwiegende Zahl der emaillierten oder

unbeschichteten Lebensmittelkontaktmaterialien aus Metall für den Lebensmittelkontakt geeignet ist. Mit Blick auf die Gesamtexposition unter Berücksichtigung möglicher weiterer Aufnahmequellen (wie z. B. Lebensmittel), tragen einige Gegenstände jedoch aus Sicht des BfR zu viel zur täglichen Aufnahme bestimmter Elemente bei. Das BfR empfiehlt, dass die Hersteller dieser Gegenstände ihre Rohstoffe und Herstellungsprozesse überprüfen, um die Elementfreisetzung weiter zu senken. Nur einzelne Gegenstände zeigten Elementfreisetzungen, die zu einer Überschreitung der abgeleiteten HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerte und damit zu einer Erhöhung des Risikos für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen führen könnten. Aus toxikologischer Sicht sind diese Gegenstände nicht für den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet.

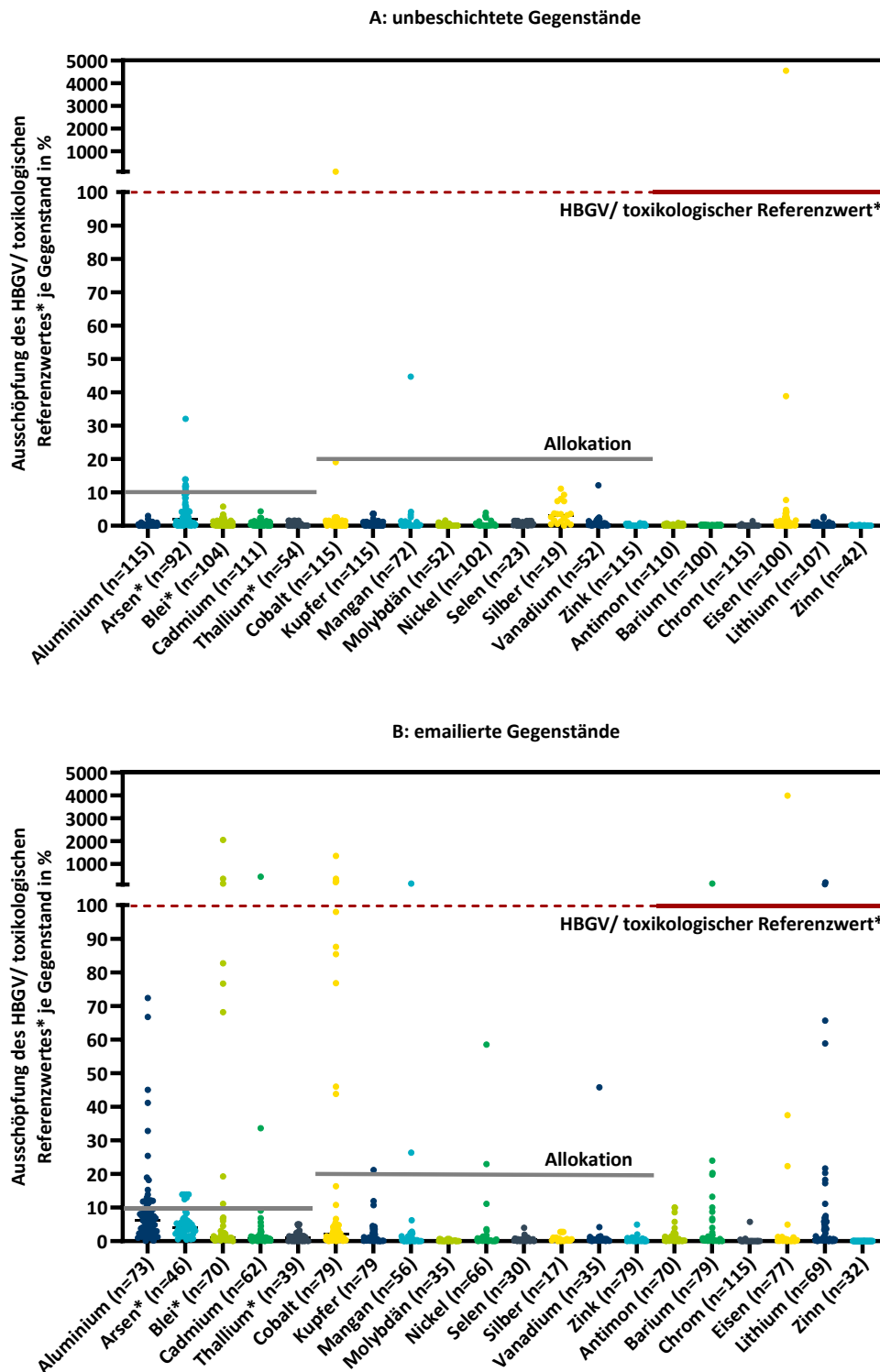


Abbildung 1: Vergleich der aus den (A) unbeschichteten und (B) emailierten Metallgegenständen freigesetzten Elementmengen mit den aus toxikologischen Studien abgeleiteten Gesundheitsbasierten Richtwerten (HBGV, rote Linie) mit Allokationsfaktoren (graue Linien bei 10 % oder 20 % des HBGV). * Für die Elemente Arsen, Blei und Thallium konnte kein HBGV abgeleitet werden, so dass für diese 3 Elemente die Exposition im Vergleich zum jeweiligen toxikologischen Referenzwert dargestellt ist (graue Linie bei 10 %: Expositionsbeitrag, der auch für unvermeidbare Freisetzung aus LKM nicht überschritten werden sollte). Für Beryllium konnte weder ein HBGV noch ein toxikologischer Referenzwert abgeleitet werden, deshalb ist Beryllium hier nicht dargestellt.

4.1.5 Betrachtung von Unsicherheiten

Unsicherheiten liegen in der vorliegenden Bewertung sowohl im Bereich der toxikologischen Ableitung von HBGV bzw. toxikologischen Referenzwerten als auch bei der analytischen Bestimmung der Elementfreisetzung und der Expositionsschätzung vor.

Im Bereich der Toxikologie sind Unsicherheiten vor allem auf eine unvollständige Datenlage oder Studien von niedriger Qualität zurückzuführen. Es wurde versucht, diesen Unsicherheiten zu begegnen, indem die Studien auf ihre Eignung hin geprüft und aus allen geeigneten Studien für ein Element jeweils diejenige mit dem niedrigsten NOAEL oder BMDL ausgewählt wurde und zudem geeignete Bewertungs- und Unsicherheitsfaktoren verwendet wurden. Dieses Vorgehen führt der Erfahrung nach meist zu einem konservativen HBGV bzw. toxikologischen Referenzwert.

Zur Bestimmung der Elementfreisetzungen wurden Lebensmittelsimulanzen und Prüfbedingungen verwendet, die den ungünstigsten realistischen Anwendungsfall beschreiben sollen. Dies bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass es Anwendungen (also bestimmte Lebensmittel, Kontaktzeiten und Temperaturen) gibt, bei denen deutlich geringere Mengen an Elementen übergehen als in den durchgeführten Tests. Mit Blick auf die Vielfalt an Anwendungen der meisten Küchengegenstände, führt das im Mittel eher zu einer Überschätzung der regelmäßigen Freisetzungsmengen.

Für die Abschätzung der Exposition durch Elementfreisetzungen aus den einzelnen Gegenständen wurde mit konservativen Annahmen gerechnet. Entgegen dieser Annahmen ist jedoch beispielsweise davon auszugehen, dass nur wenige der untersuchten Gegenstände täglich und über die gesamte Lebensdauer eines Menschen hinweg verwendet werden. Daher liegt die tatsächliche Exposition über einen bestimmten Gegenstand in der Regel niedriger als die hier berechneten Werte. Ein gutes Bild für die Exposition ergibt sich vor allem durch den Blick auf die Gesamtzahl untersuchter Gegenstände.

In der Gesamtbetrachtung der Unsicherheiten zeigt sich, dass die vorliegende Bewertung konservativ durchgeführt wurde und insbesondere die tatsächliche Exposition durch die Verwendung der untersuchten Gegenstände eher überschätzt wurde. Einzelne Gegenstände mit besonders hoher Elementfreisetzung können jedoch auch bei nicht-täglicher Nutzung erheblich zur Exposition beitragen.

5 Referenzen

AFSSA (2010): French Agency for Food Safety (AFSSA). 2010. Opinion of the French Food Safety Agency on a request for scientific and technical support regarding the migration of cobalt from porcelain oven-dishes intended to come in contact with food. AFSSA – Request no. 2010-SA-0095. <https://www.anses.fr/en/system/files/MCDA2010sa0095EN.pdf>

Ahlström et al. (2019): Ahlström M.G., Thyssen J.P., Wennervaldt M., Menné T., Johansen J.D. 2019. Nickel allergy and allergic contact dermatitis: A clinical review of immunology, epidemiology, exposure, and treatment. *Contact Dermatitis*. 81, 227–241. DOI: 10.1111/cod.13327

ANSES (2011): Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2011. Second French Total Diet Study (TDS 2) – Report 1 – Inorganic

contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens. ANSES. <https://www.anses.fr/en/system/files/PASER2006sa0361Ra1EN.pdf>

ANSES (2018): Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2018. Avis relatif à la détermination d'une valeur sanitaire maximale admissible pour le manganèse dans l'eau destinée à la consommation humaine [Opinion related to the determination of manganese maximal safety value allowed in drinking water]. ANSES Rapport No. EAUX2016SA0203, <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2016SA0203.pdf>

ATSDR (2003): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2013. Toxicological profile for selenium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (2007): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological profile for Barium and Barium compounds U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service.

ATSDR (2012): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2012. Toxicological profile for vanadium. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service.

BfR (2004): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2004. Thallium in natürlichem Mineralwasser. Aktualisierte Stellungnahme 003/2006 des BfR vom 14. Dezember 2004. https://www.bfr.bund.de/cm/343/thallium_in_natuerlichem_mineralwasser.pdf

BfR (2009): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2009. Cadmium in Lebensmitteln. BfR-Presestelle. ISBN: 3-938163-50-X. http://www.bfr.bund.de/cm/350/cadmium_in_lebensmitteln.pdf

BfR (2012): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2012. Nickel in Tätowiermitteln kann Allergien auslösen. Stellungnahme Nr. 012/2013 des BfR vom 25. Oktober 2012. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/nickel-in-taetowiermitteln-kann-allergien-ausloesen.pdf>

BfR (2015): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2015. Arsen in Reis und Reisprodukten - Stellungnahme Nr. 018/2015 vom 24.06.2015. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/arsen-in-reis-und-reisprodukten.pdf>

BfR (2019): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2019. Reduzierung der Aluminiumaufnahme kann mögliche Gesundheitsrisiken minimieren. Stellungnahme Nr. 045/2019 des BfR vom 18. November 2019. DOI: 10.17590/20191115-135258

BfR (2020): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2020. Geschirr aus Keramik: BfR empfiehlt niedrigere Freisetzungsmengen für Blei und Cadmium. Stellungnahme Nr. 043/2020 vom 21. September 2020. DOI: 10.17590/20200921-112429

BfR (2021): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2021. Höchstmengenvorschläge für Chrom in Lebensmitteln inklusive Nahrungsergänzungsmitteln. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/hoechstmengenvorschlaege-fuer-chrom-in-lebensmitteln-inklusive-nahrungsergaenzungsmitteln.pdf>

BfR (2023): Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). 2023. Neue Studien zu aluminiumhaltigen Antitranspirantien: Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Aluminium-Aufnahme über die Haut sind unwahrscheinlich. Stellungnahme 045/2023 vom 6. Oktober 2023. DOI: 10.17590/20231006-150131-0

Brockhaus et al. (1981): Brockhaus A., Dolgner R., Ewers U., Krämer U., Soddemann H., Wiegand H. 1981. Intake and health effects of thallium among a population living in the vicinity of a cement plant emitting thallium containing dust. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 48(4), 375-89. DOI: 10.1007/BF00378686

Cvjetko et al. (2010): Cvjetko P., Cvjetko I., Pavlica M. 2010. Thallium toxicity in humans. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*. 61(1), 111-9. DOI: 10.2478/10004-1254-61-2010-1976

COT (2013): Committee on toxicity of chemicals in food, consumer products and the environment (COT). 2013. Statement on the potential risks from aluminium in the infant diet. COT Statement 2013/01. <https://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/statealuminium.pdf>

D-A-CH (2019). Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (D-A-CH). 2019. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Bonn, 2. Auflage, 5., aktualisierte Ausgabe, 2019

Danzeisen et al. (2020): Danzeisen R., Williams D.L., Viegas V., Dourson M., Verberckmoes S., Burzlaff A. 2020. Bioelution, Bioavailability, and Toxicity of Cobalt Compounds Correlate. *Toxicological Sciences*. 174 (2), 311-325. DOI: 10.1093/toxsci/kfz249

Davis et al. (1958): Davis, J., Fields J. 1958. Experimental Production of Polycythemia in Humans by Administration of Cobalt Chloride. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 99 (2), 493-495. DOI: 10.3181/00379727-99-24395

De Groot et al. (1973): de Groot A.P., Feron V.J., Til H.P. 1973. Short-term toxicity studies on some salts and oxides of tin in rats. *Food and Cosmetics Toxicology*. 11/1, 19-30. DOI: 10.1016/0015-6264(73)90058-8

Dimond et al. (1963): Dimond E.G., Caravaca J., Benchimol A. 1963. Excretion, toxicity, lipid effect in man. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 12, 49-53. DOI: 10.1093/ajcn/12.1.49

DIN EN ISO (2022): DIN-Normenausschuss Materialprüfung. 2022. DIN EN ISO 4531:2022; Emails – Freisetzung aus emaillierten Gegenständen für den Kontakt mit Lebensmitteln – Prüfverfahren und zulässige Grenzwerte (ISO 4531:2022), Deutsche Fassung EN ISO 4531:2022

ECHA (2016 a): European Chemicals Agency (ECHA). 2016. ANNEX XVII TO REACH – Conditions of restriction, Restrictions on the manufacture, placing on the market and use of certain dangerous substances, mixtures and articles, Entry 23: Cadmium. <https://echa.europa.eu/documents/10162/3bfef8a3-8c97-4d85-ae0b-ac6827de49a9>

ECHA (2016 b): European Chemicals Agency (ECHA). 2016. Proposal for Harmonised Classification and Labelling - Substance Name: Cobalt. Dossier submitter: RIVM/SEC, Bureau REACH. <https://echa.europa.eu/documents/10162/d1ca0305-88d5-5b07-69ee-1f4312c1951f>; Summary of Classification and Labelling for Cobalt: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/34808>

ECHA (2021): European Chemicals Agency (ECHA). 2012. Competent Authority Reports, Evaluation of active substances: Silver zinc zeolite. Evaluating Competent Authority: Swedish Chemicals Agency. <https://echa.europa.eu/documents/10162/af925783-8a82-25d7-1bfd-ae6ee15b4ee7>

ECHA (2023): European Chemicals Agency (ECHA). 2023. Registered substances factsheet for Tin (CAS No 7440-31-5). <https://echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/15457/7/6/2>; zuletzt aufgerufen am 26.03.2025

EDQM (2024): European Directorate for Quality of Medicines & Healthcare (EDQM). 2024. Metals and alloys used in food contact materials and articles. Council of Europe, European Directorate for Quality of Medicines & Healthcare. ISBN 978-92-871-9437-4

EFSA (2004): EFSA Scientific Committee. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Vanadium. The EFSA Journal. 33, 1-22. DOI: 10.2903/j.efsa.2004.33

EFSA (2009): EFSA Scientific Committee. 2009. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on cadmium in food. The EFSA Journal. 980, 1–139. DOI: 10.2903/j.efsa.2009.980

EFSA (2012 a): EFSA Scientific Committee. 2012. Scientific report of EFSA - Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal. 10 (1), 2551. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2551

EFSA (2012 b): EFSA Scientific Committee. 2012. 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. EFSA Journal. 10(7), 2791. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2791

EFSA (2012 c): EFSA Scientific Committee. 2012. Guidance on selected default values to be used by the EFSA Scientific Committee, Scientific Panels and Units in the absence of actual measured data. EFSA Journal. 10(3), 2579. DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2579

EFSA (2013): EFSA Scientific Committee. 2013. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for molybdenum. EFSA Journal. 11(8), 3333. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3333

EFSA (2015): EFSA Scientific Committee. 2015. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper. NDA. EFSA Journal. 13(10), 4253. 10.2903/j.efsa.2015.4253.

EFSA (2021): EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. 2021. Scientific report on the chronic dietary exposure to inorganic arsenic. EFSA Journal. 19(1), 6380. DOI: 10.2903/j.efsa.2021.6380

EFSA (2023): EFSA Scientific Committee. 2023. Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. EFSA Journal. 21(1), 7728. DOI: 10.2903/j.efsa.2023.7728

EFSA (2024, a): EFSA Scientific Committee. 2024. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. EFSA Journal. 22, e8488. DOI: 10.2903/j.efsa.2024.8488

EFSA (2024, b): EFSA Scientific Committee. 2024. Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food (SCF) and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), European Food Safety Authority, 2024. <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2024-05/ul-summary-report.pdf>

EFSA and ECHA (2021): European, Food Safety Authority (EFSA) and European Chemicals Agency (ECHA). 2021. Memorandum of Understanding between the European Chemicals Agency (ECHA) and the European, Food Safety Authority (EFSA) Comparison of the evaluations

performed on silver compounds used as biocidal active substances in food contact materials (FCM) by EFSA and ECHA: <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2021-02/joint-efsa-echa-comparison-evaluations-performed-silver-compounds-biocidal-active-substances-fcm.pdf>

EFSA CONTAM (2010): EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM). 2010. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) on Lead in Food. EFSA Journal. 8 (4), 1570. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1570

EFSA CONTAM (2014): EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM). 2014. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. EFSA Journal. 12, 3595. DOI: 10.2903/j.efsa.2014.3595

EFSA CONTAM (2020): EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM). 2020. Scientific Opinion on the update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA Journal. 18(11), 6268. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.6268

EFSA NDA (2023): EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). 2023. Scientific opinion on the tolerable upper intake level for selenium. EFSA Journal. 21(1), 7704. DOI: 10.2903/j.efsa.2023.7704

EFSA NDA (2023): EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). 2023. Scientific opinion on the tolerable upper intake level for manganese. EFSA Journal. 21(11), e8413. DOI: 10.2903/j.efsa.2023.8413

EFSA NDA (2024): EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA). 2024. Scientific opinion on the tolerable upper intake level for iron. EFSA Journal. 22(6). DOI: 10.2903/j.efsa.2024.8819

EPA (2008): Environmental Protection Agency (EPA). 2008. Provisional Peer Reviewed Toxicity Values for Lithium (CASRN 7439-93-2). Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency EPA/690/R-08/016F

EPA (2009): Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Toxicological Review of Thallium and compounds (CAS No. 7440-28-0). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). U.S. Environmental Protection Agency. EPA/635/R-08/001F.

EPA (2012): Environmental Protection Agency (EPA). 2012. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Thallium and Compounds. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/690/R-12/028F

EU-FORA (2022): European Food Safety Authority (EFSA). 2022. Risk assessment of rare earth elements, antimony, barium, boron, lithium, tellurium, thallium and vanadium in teas. EFSA Journal. 20(S1):e200410, 12 pp. DOI: 10.2903/j.efsa.2022.e200410

EVM (2003): Expert Group on Vitamins and Minerals (EVM). 2003. Safe Upper Levels for Vitamins and Minerals. Food Standards Agency. ISBN 1-904026-11-7. <https://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/vitmin2003.pdf>

Fairweather-Tait et al. (2011): Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R., Ford D., Hesketh J.E., Hurst R. 2011. Selenium in human health and disease. Antioxidants and Redox Signalling. 14, 1337–1383. DOI: 10.1089/ars.2010.3275

Fawcett et al. (1997): Fawcett J.P., Farquhar S.J., Thou T., Shand B.I. 1997. Oral vanadyl sulphate does not affect blood cells, viscosity or biochemistry in humans. *Pharmacology & Toxicology*. 80, 202-206. DOI: 10.1111/j.1600-0773.1997.tb00397.x

Filippini et al. (2020): Filippini T., Tancredi S., Malagoli C., Malavolti M., Bargellini A., Vescovi L., Nicolini F., Vinceti M. 2020. Dietary Estimated Intake of Trace Elements: Risk Assessment in an Italian Population. *Exposure and Health*. 12, 641–655. DOI: 10.1007/s12403-019-00324-w

FSA (2014): Food Standards Agency (FSA). 2014. Total diet study: Metals and other elements - Data table, 2014. <https://www.food.gov.uk/research/chemical-hazards-in-food-and-feed/total-diet-study-metals-and-other-elementsdata-file>:
<https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/metals-exposure-data.xlsx>

Fungwe et al. (1990): Fungwe T.V., Buddingh F., Demick D.S., Lox C.D., Yang M.T., Yang S.P. 1990. The role of dietary molybdenum on oestrous activity, fertility, reproduction and molybdenum and copper enzyme activities of female rats. *Nutrition Research*. 10, 515-524. DOI: 10.1016/S0271-5317(05)80061-2

Greene et al. (2025): Greene C.W., Valcke M., Soshilov A.A., Levallois P., Goeden H.M. 2025. A review of common approaches to determining allocation factors and relative source contribution factors for drinking water contaminants: caveats and areas for improvement. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 162, 105886. DOI: 10.1016/j.yrtph.2025.105886

Health Canada (2005): Health Canada. 2005. Canadian total diet study. Ottawa, Ontario: Health Canada. http://www.hcsc.gc.ca/food-aliment/cs-ipc/fr-ra/e_tds.html

Hosokawa et al. (1994): Hosokawa S., Yoshida O. 1994. Clinical studies on molybdenum in patients requiring long-term hemodialysis. *ASAIO Journal*. 40(3), M445-449

IARC (2012): International Agency for Research on Cancer (IARC). 2012. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans - arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC Press, Lyon, France. 100C, 41-94. ISBN: 978 92 832 1320 8

ICH (2022): International Council for Harmonisation (ICH). 2022. ICH guideline Q3D (R2) on elemental impurities. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/international-conference-harmonisation-technical-requirements-registration-pharmaceuticals-human-use-ich-q3d-elemental-impurities-step-5-revision-2_en.pdf

Iordache et al. (2024): Iordache A.M., Voica C., Roba C., Nechita C. 2024. Lithium Content and Its Nutritional Beneficence, Dietary Intake, and Impact on Human Health in Edibles from the Romanian Market. *Foods*. 13(4):592. DOI: 10.3390/foods13040592

JECFA (2012): Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2012. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. World Health Organization. ISBN: 978 92 4 166065 5. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44813>

Kern et al. (2010): Kern C.H., Stanwood G.D., Smith D.R. 2010. Pre-weaning manganese exposure causes hyperactivity, disinhibition, and spatial learning and memory deficits associated with altered dopamine receptor and transporter levels. *Synapse*. 64(5), 363-78. DOI: 10.1002/syn.20736

- Kohlbaum et al. (2019): Kohlbaum A.E., Berg K., Müller F., Kappenstein O., und Lindtner O. 2019. Dietary Exposure to Elements from the first German Pilot Total Diet Study (TDS). Food Additives & Contaminants. Part A. 36 (12), 1822-1836. DOI: 10.1080/19440049.2019.1668967
- Kravchenko et al. (2014): Kravchenko J., Darrah T.H., Miller R.K., Lysterly H.K., Vengosh A. 2014. A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. Environmental Geochemistry and Health. 36, 797–814. DOI: 10.1007/s10653-014-9622-7
- Laupheimer et al. (2025): Laupheimer C.E., Kolianchuk Y., FitzGerald R.E., Wilks M.F., Jaksch A. 2025. Toxicological evaluation of vanadium and derivation of a parenteral tolerable intake value for medical devices. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 156, 105732. DOI: 10.1016/j.yrtph.2024.105732
- Lippman et al. (2009): Lippman S.M., Klein E.A., Goodman P.J., Lucia M.S., Thompson I.M., Ford L.G., Parnes H.L., Minasian L.M., Gaziano J.M., Hartline J.A., Parsons J.K., Bearden J.D., Crawford E.D., Goodman G.E., Claudio J., Winkquist E., Cook E.D., Karp D.D., Walther P., Lieber M.M., Kristal A.R., Darke A.K., Arnold K.B., Ganz P.A., Santella R.M., Albanes D., Taylor P.R., Probstfield J.L., Jagpal T.J., Crowley J.J., Meyskens F.L., Baker L.H., Coltman C.A. 2009. Effect of selenium and vitamin E on risk of prostate cancer and other cancers: the Selenium and Vitamin E Cancer Prevention Trial (SELECT). The Journal of the American Medical Association. 301, 39–51. DOI: 10.1001/jama.2008.864
- Lynch et al. (1999): Lynch B.S., Capen C.C., Nestmann E.R., Veenstra G., Deyo J.A. 1999. Review of subchronic/chronic toxicity of antimony potassium tartrate. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 30 (1), 9-17. DOI: 10.1006/rtph.1999.1312
- McKnight et al. (2012): McKnight R.F., Adida M., Budge K., Stockton S., Goodwin G.M., Geddes J. R. 2012. Lithium toxicity profile: a systematic review and meta-analysis. Lancet. 379, 721–749. DOI: 10.1016/S0140
- MRI (2022): Max Rubner-Institut (MRI). 2022. Nationale Verzehrsstudie II (NVS II), Ergebnisbericht 1 und 2. Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel.
<https://www.mri.bund.de/de/institute/ernaehrungsverhalten/forschungsprojekte/nvsii/erg-verzehr-naehrstoffe/>
https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVSII_Abschlussbericht_Teil_2.pdf
- NTP (2023): National Toxicology Program (NTP). 2023. NTP Technical Report on the Toxicity Studies of Sodium Metavanadate (CASRN 13718-26-8) and Vanadyl Sulfate (CASRN 27774-13-6) Administered in Drinking Water to Sprague Dawley (Hsd:Sprague Dawley® SD®) Rats and B6C3F1/N Mice: Toxicity Report 106. Research Triangle Park (NC): National Toxicology Program. DOI: 10.22427/NTP-TOX-106
- Poon et al. (1988): Poon R., Chu I., Lecavalier P., Valli V.E., Foster W., Gupta S., Thomas B. 1998. Effects of antimony on rats following 90-day exposure via drinking water. Food and Chemical Toxicology. 36 (1), 21-35. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9487361>
- RAC (2020): Committee for Risk Assessment (RAC). 2020. Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of divanadium pentaoxide; vanadium pentoxide. European chemicals agency. Report: CLH-O-0000006927-60-01/F. <https://echa.europa.eu/documents/10162/6c9565dd-6350-5498-4d9d-b239ddbc88c8>

Rahman et al. (2009): Rahman A., Vahter M., Smith A.H., Nermell B., Yunus M., El Arifeen S., Persson L.Å., and Ekström E.C. 2009: Arsenic Exposure During Pregnancy and Size at Birth: A Prospective Cohort Study in Bangladesh. *American Journal of Epidemiology*. 169 (3), 304-312. DOI: 10.1093/aje/kwn332

RIVM (2001): National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). 2001. Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM Report 711701 025. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

RIVM (2009): National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). 2009. Re-evaluation of some humantoxicological Maximum Permissible Risk levels earlier evaluated in the period 1991-2001, RIVM Report 711701092/2009. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701092.pdf>

SCF (2000): Scientific Committee on Food (SCF). 2000. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Molybdenum, European Commission. https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out80h_en.pdf

SCF (2003): Scientific Committee on Food (SCF). 2003. Opinion of the Scientific Committee on Food on the tolerable upper intake level of Zinc. European Commission. https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out177_en.pdf

SCHER (2012): Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER). 2012. Assessment of the tolerable daily intake of barium. European Union. DOI: 10.2772/49651

Sherlock et al. (1986): Sherlock J.C., Smart G.A. 1986. Thallium in foods and the diet. *Food Additives & Contaminants*. 3(4):363-70. DOI: 10.1080/02652038609373603

UBA (2011): Umweltbundesamt (UBA). 2011. Stoffmonographie Thallium – Referenz- und Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte für Thallium im Urin [Substance Monograph Thallium – Reference and Human-Biomonitoring- (HBM) Values for Thallium in Urine]. *Bundesgesundheitsblatt*. 54, 516-24. DOI: 10.1007/s00103-011-1252-y

Valcke et al. (2018): Valcke M., Bourgault M.H., Haddad S., Bouchard M., Gauvin D., Levallois P. 2018. Deriving a drinking water guideline for a non-carcinogenic contaminant: the case of manganese. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(6)1293. DOI: 10.3390/ijerph15061293

Vyskocil et al. (1999): Vyskocil A., Viau C. 1999. Assessment of molybdenum toxicity in humans. *Journal of Applied Toxicology*. 19, 185-192. DOI: 10.1002/(sici)1099-1263(199905/06)19:3<185::aid-jat555>3.0.co;2-z

WHO (1996): World Health Organization (WHO) & International Programme for Chemical Safety. 1996. Thallium. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/37751>. Report: <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc182.htm>

WHO (2003): World Health Organization (WHO). 2003. Antimony in Drinking-water – Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/antimony.pdf>

WHO (2017): World Health Organization (WHO). 2022. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition Incorporating the first addendum. ISBN 978-92-4-154995-0. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>

WHO (2022): World Health Organization (WHO). 2022. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition Incorporating the first and second addenda. ISBN: 978-92-4-004506-4. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>

Ysart et al. (1999): Ysart G., Miller P., Crews H., Robb P., Baxter M., L'Argy C.D., Lofthouse S., Sargent C., Harrison N. 1999. Dietary exposure estimates of 30 elements from the UK Total Diet Study. Food Additives & Contaminants, 16(9), 391–403. DOI: 10.1080/026520399283876

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine wissenschaftlich unabhängige Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH). Es schützt die Gesundheit der Menschen präventiv in den Tätigkeitsbereichen des Public Health und des Veterinary Public Health. Das BfR berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebens- und Futtermittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.

Impressum

Herausgeber:

Bundesinstitut für Risikobewertung

Max-Dohrn-Straße 8-10

10589 Berlin

T +49 30 18412-0

F +49 30 18412-99099

bfr@bfr.bund.de

bfr.bund.de

Anstalt des öffentlichen Rechts

Vertreten durch den Präsidenten Professor Dr. Dr. Dr. h. c. Andreas Hensel

Aufsichtsbehörde: Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

USt-IdNr: DE 165 893 448

V.i.S.d.P: Dr. Suzan Fiack



gültig für Texte, die vom BfR erstellt wurden

Bilder/Fotos/Grafiken sind ausgenommen, wenn nicht anders gekennzeichnet

BfR | Risiken erkennen –
Gesundheit schützen