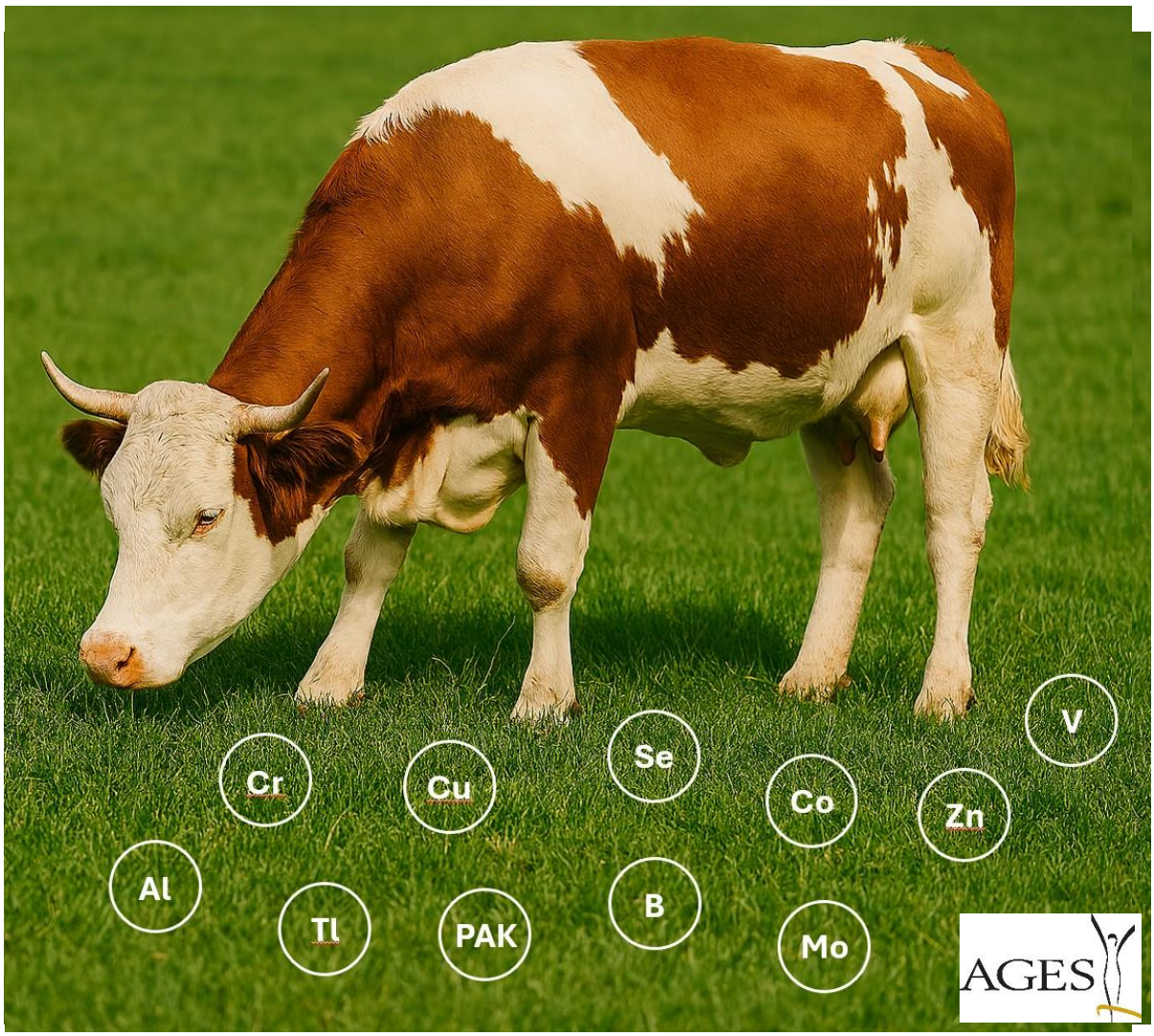
Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz,
Regionen und Wasserwirtschaft

DaFNE

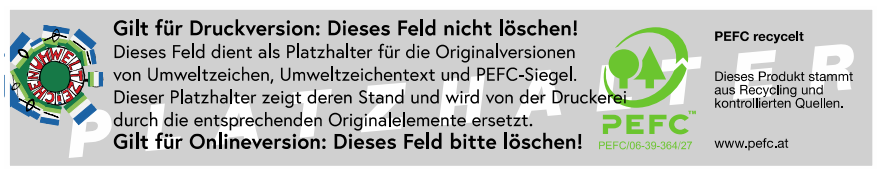
Action4Feed: Entwicklung von Aktions- und Alarmwerten für Elemente ohne gesetzliche Höchstwerte für ausgewählte Futtermittel

Forschungsprojekt Nr.: 102129



Impressum

Projektnehmer: AGES, Institut für Tierernährung und Futtermittel
Adresse: Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien
Projektleiterin: Irmengard Strnad
E-Mail: mailto:irmengard.strnad@ages.at
Finanzierungsstelle: Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Klima und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BMLUK)
Projektlaufzeit: 01.06.2025 – 31.12.2025
1. Auflage
Fotonachweis: Cover: Kuh auf Wiese durch Microsoft Copilot, bearbeitet © AGES



Wien, 16. Februar 2026

Inhalt

1 Zusammenfassung 5

2 Summary 6

3 Einleitung und Zielsetzung 7

3.1 Dosis-Wirkungs-Beziehung 9

3.2 Gefahrenbeschreibung 11

3.2.1 Aluminium (Al) 11

3.2.2 Bor (B) 12

3.2.3 Chrom (Cr) 13

3.2.4 Kobalt (Co) 13

3.2.5 Kupfer (Cu) 15

3.2.6 Molybdän (Mo) 16

3.2.7 Selen (Se) 17

3.2.8 Thallium (Tl) 18

3.2.9 Zink (Zn) 18

3.2.10 Vanadium (V) 20

3.2.11 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) 20

4 Rechtlicher Rahmen 23

4.1 Höchstgehalte 24

4.2 Aktionswerte 25

4.3 Alarmwerte 26

5 Methoden 27

5.1 Transferprozesse und Expositionsabschätzung 28

5.1.1 Expositionsabschätzung Lebensmittel 29

5.1.2 Expositionsabschätzung Futtermittel 40

5.2 Ableitung von Alarmwerten und Aktionswerten 46

5.2.1 Übernahme von vorhandenen Aktions- oder Alarmwerten 46

5.2.2 Ableitung eines Alarmwerts 47

5.2.3 Ableitung eines Aktionswertes 47

5.2.4 Sonderfälle bei der Ableitung von Aktions- und Alarmwerten 48

6 Ergebnisse 50

6.1 Carry-Over-Rate bzw. -Faktor 50

6.2 Abschätzung der Hintergrundbelastung in Futtermitteln auf Basis von AGES-Daten 50

6.3 Entscheidung für die Auswahl von Aktions- und Alarmwerten 51

6.4 Festgelegte Aktions- und Alarmwerte 51

6.5 Anmerkungen zu den festgelegten Aktions- und Alarmwerte 52

Tabellenverzeichnis 54

Abbildungsverzeichnis 55

Literaturverzeichnis 56

Abkürzungen 65

1 Zusammenfassung

Durch Umweltkontaminationen (Industriestandorte, Zwischenfälle), aber auch durch mit Altlasten kontaminierte Böden, in Einzelfällen auch geogenetisch, können Futtermittel mit diversen gesundheitlich relevanten Substanzen verunreinigt sein, die für Tier und Mensch ein Risiko darstellen. Eine Reihe von Stoffgruppen wird bereits in der Richtlinie 2002/32/EG über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung mit definierten Gehalten geregelt. Darüber hinaus gibt es entsprechend der Definition für unerwünschte Stoffe weitere Elemente, die in den Rahmen dieser Richtlinie fallen, jedoch bislang nicht mit Höchst- oder Richtwerten versehen sind. Mit dem Ziel, die Grundlage für eine einheitliche und transparente Betrachtung zu schaffen, sowie den Bewertungsaufwand in Bezug auf nicht geregelte unerwünschte Stoffe in Futtermitteln einzugrenzen, wurden in der vorliegenden Arbeit einerseits eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und andererseits verfügbaren Daten einbezogen, um Aktionswerte und Alarmwerte für die Einschätzung der Kontaminationslage ausgewählter Elemente in wichtigen Grundfuttermitteln (Heu, Gras- und Maissilage) für grasende Nutztiere (Rind und Schaf) abzuleiten.

Nach Sichtung der einbezogenen Literatur und der in der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) vorhandenen Daten für Futter- und Lebensmittel wurden insbesondere das AGES-Biomonitoring für Wiesengras und die Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) zu den betreffenden Elementen als beste Quelle für die Ableitung von Aktions- und Alarmwerten herangezogen.

2 Summary

Due to environmental contamination (industrial sites, incidents), but also due to contaminated soil from past industrial activity, and in some cases also due to geogenic factors, animal feed may be contaminated with various undesirable substances that are relevant to health and pose a risk to animals and humans. Several substance groups are already regulated in Directive 2002/32/EC on undesirable substances in animal feed with defined limits. In addition, according to the definition of undesirable substances, there are further elements that fall within the scope of this directive but have not yet been assigned maximum or guideline values. With the aim of creating a basis for a uniform and transparent approach and to limit the assessment effort regarding unregulated undesirable substances in feed, this study involved both a comprehensive literature review and the inclusion of available data to derive action values and alert values for assessing the contamination status of selected elements in important basic feedstuffs (hay, grass and maize silage) for grazing livestock (cattle and sheep).

After reviewing the literature and the data available at Austrian Agency for Health and Food Safety (AGES) for feed and food, the AGES biomonitoring for meadow grass and the guidelines from The Association of German Engineers (VDI) on the relevant elements were identified as the most valuable scientific sources for deriving action and alarm values.

3 Einleitung und Zielsetzung

Elemente kommen von Natur aus in der Erdkruste vor und können in ihren Konzentrationen zwischen den Regionen stark variieren [1,2]. Sie sind daher auch in natürlichen Gehalten oder aufgrund menschenverursachter Einträge (z.B. Industrieemissionen) in Futtermitteln pflanzlicher Herkunft vorhanden. Manche Elemente werden ebenso in Form von Zusatzstoffen oder Vormischungen dem Futter zugesetzt. Aus der Tierernährung und der Verstoffwechselung der Elemente im tierischen Organismus können diese Elemente auch in Lebensmittel tierischer Herkunft und somit in die Lebensmittelkette gelangen. Analysen von Futter- und Lebensmitteln, wie Milch und Fleisch, können aufschlussreich sein, um die Daten der Exposition und Versorgung von Tieren und somit auch von Menschen mit den Elementen abzuschätzen und potenzielle Schritte im Sinne der Gesundheit von Menschen und Tieren einzuleiten [3].

Einige Elemente erfüllen wichtige biochemische Aufgaben und sind in kleinen Mengen essenziell und für die Homöostase und optimale Stoffwechselfunktion und somit für die menschliche und tierische Gesundheit erwünscht (Mengen- und Spurenelemente) [1]. In der Tierfütterung spielen vor allem die Spurenelemente Eisen, Iod, Cobalt, Kupfer, Mangan, Selen und Zink eine bedeutende Rolle [4]. Aus diesem Grund gibt es für diese Elemente Versorgungsempfehlungen in der Tierernährung. Andere Elemente haben nur geringe oder keine physiologische Funktion im Sinne der Tiergesundheit und sind somit nicht essenziell. Sie gelangen trotzdem in die Futtermittel- bzw. Lebensmittelkette und können bei erhöhten Gehalten unerwünschte Wirkung auf die Gesundheit der Menschen und Tiere haben [1]. Dies gilt ebenso für essenzielle Spurenelemente, da auch diese ab einer gewissen Schwelle in toxikologisch relevanter Menge in Futter- und Lebensmitteln vorkommen können [1,5]. Aus diesem Grund regelt das Futtermittelrecht über die Richtlinie 2002/32/EG [6] die Höchstgehalte für eine Gruppe unerwünschter Substanzen, u.a. für die Elemente Fluor, Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber. Nach der Verordnung (EG) 1831/2003 [7] sind die Höchstgehalte und teilweise auch die Einsatzbedingungen für Zusatzstoffe in der Tierernährung verbindlich geregelt. Darüber hinaus gibt es entsprechend der Definition für unerwünschte Stoffe eine Reihe an weiteren Stoffen bzw. Stoffgruppen, für die bisher keine Höchstgehalte festgelegt sind.

Die Konzentration der hier betrachteten Elemente in Grobfuttermitteln variiert stark in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie z.B. Bodeneigenschaften, Düngung,

Pflanzenart, Vegetationsstadium und Art und Grad der Verarbeitung [8]. Die Konzentration dieser Stoffe in Lebensmitteln tierischer Herkunft, korreliert zum Teil mit der Menge der Elemente, die über das Futter aufgenommen und verstoffwechselt wurde [9]. Eine Studie der Universität für Veterinärmedizin Wien [10] zeigte, dass die Konzentrationen der Elemente, wie Cadmium oder Molybdän, im Kolostrum der Milchkühe innerhalb verschiedener Bezirke eines Bundeslands (Salzburg) variieren können.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ableitung von Aktions- und/oder Alarmwerten für die chemischen Elemente Aluminium (Al), Bor (B), Chrom (Cr), Cobalt (Co), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Selen (Se), Thallium (Tl), Zink (Zn), Vanadium (V) , sowie für die Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen und Chrysen. Fokus der Betrachtung sind mögliche Auswirkungen nicht geregelter Stoffe, sowie allfällige negative gesundheitliche Effekte bei partiell geregelten Elementen (Cu, Co, Mo, Se, Zn), deren natürliche Gehalte im Grundfutter bei der Zugabe als Futtermittelzusatzstoffe zu berücksichtigen sind. Als Matrix wurden Rauhfuttermittel (Heu, Grassilage, Maissilage) und als Zieltiere grasende Nutztiere, wie Rinder und Schafe, betrachtet.

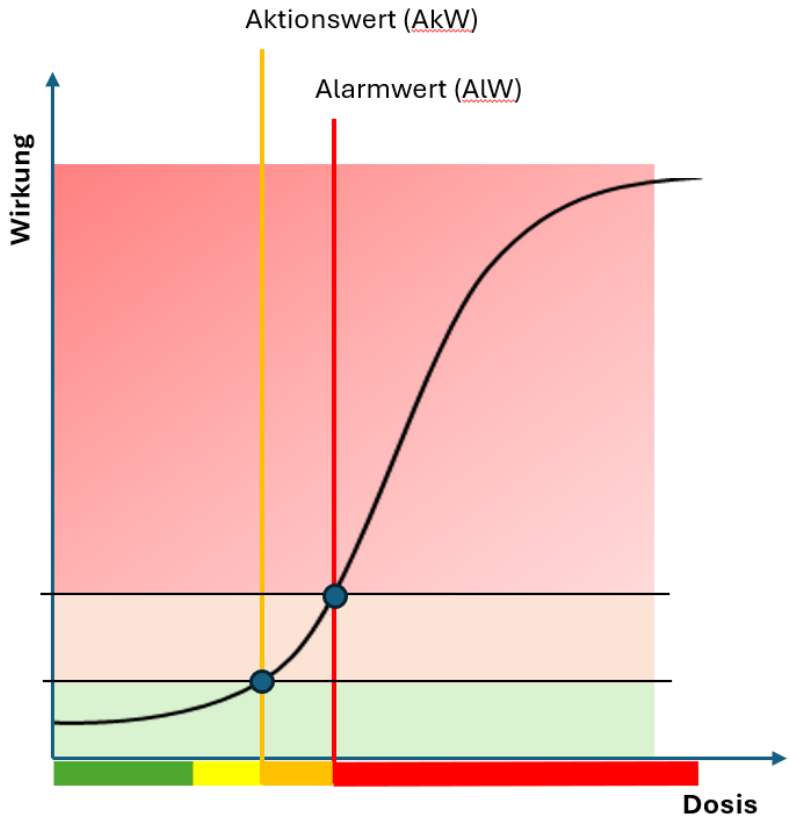
Sowohl den Wirtschaftsbeteiligten (Landwirt:innen, Futtermittelunternehmer:innen) als auch den Gutachter:innen und Behörden soll diese Unterlage als wissenschaftliche Grundlage für eine einheitliche Vorgangs- und Sichtweise für die Eigenkontrolle einerseits und die behördliche Futtermittelüberwachung und Maßnahmensetzung andererseits dienen. Damit ist eine gemeinsame Bezugsbasis für die meisten Anwendungsfälle gegeben und es kann eine zeitaufwendige Einzelfallprüfung entfallen. In bestimmten Fällen oder bei unklarer Faktenlage können die nachfolgend dargestellten Aktions- und Alarmwerte eine Einzelfallbewertung bzw. Risikoabschätzung nicht ersetzen. Dies gilt insbesondere für verdächtige Futtermittelproben, die aufgrund von auffälligen Elementgehalten in Lebensmitteln gezogen wurden. Hier sind neben den möglichen Gehalten im Futter auch alle sonstigen eruierten Begleitumstände einzubeziehen.

3.1 Dosis-Wirkungs-Beziehung

Die Auswirkung der steigenden Elementkonzentrationen auf die Tiergesundheit, sowie die Ableitung der tolerierbaren bzw. potenziell toxischen Gehalte lässt sich anhand der Dosis-Wirkungs-Beziehung darstellen. Abbildung 1 zeigt allgemein und schematisch, wie sich aus dem Zustand der optimalen Gesundheit (physiologisch unbedenkliche Elementgehalte) mit steigender Konzentration gesundheitlich relevante negative Auswirkungen auf das Tier entwickeln können, welche im schlimmsten Fall zum Tot führen. Die zunehmende Überversorgung (Versorgung über dem Bedarf hinaus) führt außerdem zur Senkung der Verwertung der Elemente [4].

Aufgrund der Beziehung von Dosis und Wirkung erscheint es sinnvoll, unterschiedliche Bereiche zu definieren. Unterhalb einer Aktionsschwelle (Aktionswert) befinden sich jene Gehalte, die sich einerseits durch die natürliche Hintergrundbelastung ergeben, aber im Fall von essenziellen Elementen auch den Bedarf der Tiere abdecken. Die natürliche Hintergrundbelastung kann dabei auch einen moderaten industriellen Einfluss berücksichtigen, der aber noch als gering und jedenfalls als gesundheitlich unbedenklich zu bewerten ist. Damit soll gewährleistet werden, dass allfällige Maßnahmen, wie z.B. Ursacherhebungen, nicht überproportional gesetzt werden müssen, wenn Futtermittel auch aus Regionen mit einem gewissen, vertretbaren Industrieeinfluss stammen und nicht nur aus entlegenen, ländlichen Gebieten. Über der Aktionsschwelle befindet sich jener Bereich, der eine erhöhte Belastung darstellt. Ab der Alarmschwelle sind gesundheitlich negative Effekte für Tiere und/ oder Menschen zu erwarten bzw. nicht mehr auszuschließen. Basierend auf bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurden für zahlreiche Elemente sogenannte maximal tolerierbare Gehalte in der Tierernährung festgelegt. Diese Werte gelten als sicher, da davon auszugehen ist, dass sie bei einer definierten Dauer der Verfütterung weder die Leistung noch die Gesundheit der Tiere beeinträchtigen.

Abbildung 1: Dosis-Wirkungs-Kurve für Elemente in der Tierernährung



	Farbe	Bedeutung
Abszisse (Dosis)		Hintergrundbelastung
		Leicht erhöhte Belastung
		Stark erhöhte Belastung
		Toxikologisch relevante Belastung
Ordinate (Wirkung)		Kein gesundheitlicher Nachteil
		Ursache sollte ermittelt/beseitigt werden
		Negativer gesundheitlicher Effekt

Ausschlaggebend für die Wirkung der erwünschten und unerwünschten Nährstoffe im Körper und den damit eingehenden potenziellen Gefahren für die Gesundheit der Tiere und Menschen ist deren Verwertung (Bioverfügbarkeit) bzw. deren Transfer (Carry-Over) aus dem Futter ins tierische Gewebe und somit in Lebensmittel tierischer Herkunft, wie beispielsweise Fleisch und Milch. Der Teil der Nährstoffe, der vom Körper aufgenommen und verwertet werden kann, wird als Bioverfügbarkeit bezeichnet. Diese kann erheblich streuen, ist dosis- und zeitabhängig und wirkt sich direkt auf die Carry-Over-Abläufe aus. Die Bioverfügbarkeit ist direkt abhängig von der Menge der Nährstoffe, aber auch der Quelle und Zusammensetzung der Lebens- bzw. Futtermittelration und der Freisetzung der Nährstoffe daraus, der Wechselwirkungen mit anderen Nährstoffen im

Verdauungstrakt, sowie einer Reihe physiologischer Prozesse, die beispielsweise durch das Alter oder den Gesundheitsstatus des Individuums beeinflusst werden können [4,5]. Die Gesamtheit dieser Prozesse entscheidet darüber, ob und in welchem Ausmaß unerwünschte Stoffe toxisch wirken und somit eine Gefahr für die Gesundheit darstellen. Die Übersicht der potenziellen Gefahren für die Gesundheit durch ausgewählte unerwünschte Stoffe, deren Höchstgehalte gesetzlich nicht geregelt sind und in der vorliegenden Arbeit thematisiert werden, ist im Kapitel 3.2 angeführt.

3.2 Gefahrenbeschreibung

3.2.1 Aluminium (Al)

Aluminium verfügt über keine essenziellen physiologischen Funktionen im menschlichen [11] und tierischen Organismus [8]. Aluminium ist das häufigste Mineral im Boden, gelangt aber nur in Spuren in die Bodenlösung und in das Grundwasser, da es meist in unlöslichen Silikatverbindungen vorliegt [8]. Lebensmittel, inklusive Lebensmittelzusatzstoffe und Lebensmittelkontaktmaterialien, stellen neben Trinkwasser die bedeutendste Quelle für die Aluminiumaufnahme dar. Laut der Expositionsabschätzung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) aus dem Jahr 2008 liegt die durchschnittliche Aluminiumaufnahme bei Erwachsenen zwischen 0,2 und 1,5 mg/kg Körpergewicht (KGW)/Woche [13]. Weder Milch/Milchprodukte noch Fleisch/Fleischprodukte/Innereien wurden als bedeutende Quellen in Hinblick auf die Exposition gegenüber Aluminium angeführt [13]. Auch Studien mit Ratten zeigten in der Vergangenheit, dass Aluminium mehr im Knochen- als in Weichteilgewebe akkumuliert [1]. Als sensibelste Endpunkte wurden von der EFSA neuro- und reproduktionstoxische Effekte in Tierversuchen identifiziert und als Basis für die Ableitung der tolerierbaren wöchentliche Aufnahme von 1 mg Aluminium/kg Körpergewicht für den Menschen herangezogen [13].

Durch Aufnahme aus aluminiumreichen Böden kann Aluminium in die Futtermittelkette gelangen. Aufgrund der vorhandenen Mengen in Böden sind bisher keine Mängel bei Haustieren bekannt. Zu den nennenswerten Quellen für den Eintrag in Futtermitteln zählen neben pflanzlichen Komponenten auch kontaminierte mineralische Zusatzstoffe, wie Zeolith und Bentonit [1, 8]. Die durchschnittliche Aufnahme von Aluminium bei Wiederkäuern liegt zwischen 30-500 mg/kg Trockenmasse (TM). Aluminium hat eine geringe Absorption nach der oralen Aufnahme (< 5 %) und akkumuliert in verschiedenen Organen und Geweben, bevor es zum Großteil über den Urin (~ 50 %) ausgeschieden wird.

Eine Korrelation zwischen den Gehalten in Serum und Milch der Milchkühe scheint es allerdings nicht zu geben [3, 8]. Aluminium interagiert mit anderen Elementen wie Calcium, Magnesium, Eisen und Zink. Obwohl allgemein wenige Daten zur Toxizität von Aluminium in der Tierernährung vorliegen, wurde in der Vergangenheit berichtet, dass hohe chronische Al-Aufnahmen (>1450 mg/kg TM) bei Schafen und Milchkühen an einer verminderten Futteraufnahme, Leistungsdepression und neurologischen Symptomen, wie Tetanie infolge Magnesiummangels, beteiligt sein könnten. Somit wurde die maximale tolerierbare Menge für Rinder und Schafe bei 1000 mg Al/kg TM definiert [1, 8].

3.2.2 Bor (B)

Bor ist ein natürlich vorkommendes Spurenelement in Böden und Pflanzen und besitzt gemäß der EFSA-Einschätzung aus dem Jahr 2013 bei Menschen keine physiologische Funktion im Sinne der Gesundheit. Die durchschnittliche Boraufnahme über die Nahrung liegt in Europa bei 1-3 mg/Tag und kommt hauptsächlich aus Getreideprodukten, Obst und Gemüse, sowie Nüssen und Hülsenfrüchten. Die EFSA identifizierte als sensibelsten Endpunkt in einer Studie an Ratten eine Verringerung des fötalen Körpergewichts und leitete eine tolerierbare Obergrenze für die tägliche Aufnahme von 10 mg Bor pro Person ab [56]. Sehr hohe Dosen (> 100 mg/kg Körpergewicht) können zu Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Hautreizungen und Nierenproblemen führen [55, 56].

Silagen und Heu enthalten typischerweise 10–300 mg Bor/kg TM, abhängig vom Boden-Borgehalt und der Düngung. Bei Nutztieren gilt Bor als nicht-essenzielles Spurenelement, kann aber in kleinen Mengen (< 1 mg/kg TM) positive Effekte haben. Bor beeinflusst die Schilddrüsenfunktion bzw. den Calcium-, Magnesium- und Phosphorhaushalt, insbesondere im Knochenstoffwechsel, und wird oft zum Zwecke der Verhinderung eines Calciummangels in der Fütterung eingesetzt. Bei Rindern wurden bei Gehalten von > 1g/kg toxikologische Symptome, wie Leistungsminderung und Dehydratation, Diarrhöe, sowie Störungen im Mineralstoffwechsel beobachtet. Es gibt nur wenige Studien zur Toxizität bei Bor-Überversorgung. Aufgrund der spärlich vorhandenen Daten wäre anzuregen, den Transfers in Lebensmittel tierischer Herkunft intensiver zu erforschen. Bor wird hauptsächlich über die Niere ausgeschieden und wurde bisher nur in Spuren in der Milch und im Muskelgewebe in Tierstudien nachgewiesen [8,54].

3.2.3 Chrom (Cr)

Chrom hat durch seine verstärkende Insulinwirkung Einfluss auf den Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsel des Menschen [11]. Lebensmittel sind die bedeutendste Quelle für die Aufnahme von Chrom. In der Natur kommt Chrom in erster Linie in 3-wertiger Form vor, während das giftigere 6-wertige Chrom selten, insbesondere in Trinkwasser, hauptsächlich infolge von Kontamination durch anthropogene Quellen, vorkommt. In ihrer Expositionsabschätzung aus dem Jahr 2014 schätzte die EFSA die durchschnittliche nahrungsbedingte Aufnahme von 3-wertigem Chrom bei Erwachsenen auf 0,8 – 1,6 µg/kg KG/Tag. Dabei trugen die Warengruppen „Milch und Milchprodukte“ und „Fleisch und Fleischprodukte, inklusive Innereien“ mit 8 % (Median) bzw. 7 % (Median) zur Gesamtexposition über die Nahrung bei. Die Absorption von Chrom ist beim Menschen gering. 3-wertiges Chrom verfügt über eine geringe Toxizität und ist nicht krebserregend. Basierend auf chronischen Tierstudien an Ratten und Mäusen, in denen keine adversen Effekte beobachtet wurden, leitete die EFSA eine tolerierbare tägliche Aufnahme von 300 µg/kg Körpergewicht für den Menschen ab [24].

Chrom hat auch im Tierkörper eine geringe Absorptionsrate (0,5 – 3%) und das absorbierte Chrom wird zum Großteil über die Nieren und zum Teil über die Milch ausgeschieden [14, 15]. Daten zum Chromgehalt in Muskeln von Rindern, die mit nicht supplementiertem Futter gefüttert wurden, sind sehr begrenzt. Eine Studie aus dem Jahr 1992 zeigte, dass die Konzentration im Muskel deutlich höher sein kann als in Leber und Niere [16]. Die Folgen einer akuten Chrom-Vergiftung beim Tier sind Appetitverlust, gastrointestinale Symptome, wie Diarrhöe oder Verstopfung, sowie neurologische Symptome in Form von Krämpfen oder Muskelzuckungen, bis hin zum Tod. Die verfügbaren Studien zur Toxizität der verschiedenen Chrom-Verbindungen in Tieren zeigten, dass die Auswirkungen von Störungen in Reproduktion und Entwicklung bis hin zu Kanzerogenität und Genotoxizität reichten [17]. Die niedrigste Menge an Chrom, bei der schädliche Auswirkungen beobachtet wurden (LOAEL), lag bei Gehalten von 30 mg/kg KGW/Tag in Studien mit Nagern [24]. Aufgrund verfügbarer Ergebnisse aus Studien mit Geflügel, Fischen und Nager wurden maximal tolerierbare Gehalte in der Wiederkäuerernährung von 100 mg Chrom/kg TM definiert [8].

3.2.4 Kobalt (Co)

Kobalt ist wichtiger Bestandteil von Vitamin B12 (Cobalamin) und somit ein essenzielles Spurenelement für Menschen und Tiere. In einer von der französischen Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

durchgeführten Studie wurde die tägliche Aufnahme von Kobalt über die Nahrung für französische Erwachsene auf 0,18 µg/kg KG/Tag geschätzt. Milch und Fleisch trugen jeweils zu 3 % zur Gesamtexposition über die Nahrung bei [34]. Die Absorption von Kobalt liegt in einem weiten Schwankungsbereich in Abhängigkeit von Faktoren wie der aufgenommenen Kobaltmenge und dem Vorhandensein von Eisen [11]. Für den Menschen sind Kobalt (II)-Ionen genotoxisch (in vitro und in vivo) und besitzen CMR-Eigenschaften (krebserzeugend, mutagen, reproduktionstoxisch). Die EFSA identifizierte Polyglobulie als sensitivsten Endpunkt für die Ableitung einer tolerierbaren täglichen Aufnahme für den Mensch von 1,6 µg/kg KGW [19]. Daten zur Krebsentstehung bei oraler Aufnahme von Kobalt sind nicht verfügbar, es gibt aber mögliche schwellenwertabhängige Effekte. Die geschätzte Aufnahme über Lebensmittel liegt 4–10-mal unter dem gesundheitsbasierten Richtwert, daher besteht kein akutes Risiko für den Menschen. Kobaltverbindungen sind haut- und augenreizend und können Allergien auslösen. Bezüglich der oralen Toxizität und den Langzeitwirkungen wird weitere Forschung empfohlen [19].

Für Wiederkäuer, die Vitamin B12 über die Darmflora (Mikroorganismen) synthetisieren können, ist Kobalt als Spurenelement essenziell [4]. Der Kobaltgehalt in Grundfuttermitteln kann variieren und durch Verunreinigungen aus dem Boden ansteigen. Als maximal tolerierbarer Gehalt in der Wiederkäuerernährung wurde ein Wert von 25 mg Kobalt/kg TM festgelegt. [8]. Da Futtermittel nur geringe natürliche Kobaltgehalte aufweisen, sind gesundheitliche Schäden durch hohe Mengen selten. Allerdings ist die Datenlage sehr begrenzt. Zu den meistbeobachteten Symptomen infolge hoher oraler Aufnahmen von Kobalt (akute Vergiftung, 100 mg Co/kg KGW) aus Studien mit Ratten und Schweinen zählen neurologische Symptome, Diarrhöe und eine erhöhte Mortalitätsrate. Wiederkäuer scheinen einen langanhaltenden, geringen Überschuss an Kobalt besser zu tolerieren, als eine hohe einmalige Dosis, was vermutlich auf die Empfindlichkeit der Pansenmikroflora zurückzuführen ist. Studien aus den 1950er Jahren zeigten, dass chronische Überversorgung mit Kobalt (> 4,4 mg/kg KGW) bei Wiederkäuern zu Leistungsdepression, Anämie, Anorexie und erhöhter Mortalität führen können. Dabei scheint der Eisengehalt wesentlich dazu beizutragen, die chronische Toxizität von Kobalt auszulösen. Konzentrationen an Selen, Vitamin E oder der Aminosäuren Methionin und Cystein im Futter scheinen ebenso eine Rolle für die Kobalttoxizität zu spielen. Aufgrund der wichtigen Rolle von Kobalt beim Wiederkäuer wäre anzuregen, die Toxizität dieses Elements bei dieser Tierart eingehender in Form von Studien zu erforschen.

3.2.5 Kupfer (Cu)

Kupfer ist ein essenzielles Spurenelement, das an zahlreichen Prozessen im Körper des Menschen beteiligt ist [11, 25]. In ihrer aktuellen Bewertung von Kupfer geht die EFSA davon aus, dass die nahrungsbedingte Aufnahme von Kupfer den bedeutendsten Expositionspfad darstellt. Die durchschnittliche nahrungsbedingte Aufnahme von Kupfer lag in der Expositionsabschätzung durch die EFSA für Erwachsene zwischen 0,015 mg/kg KGW/Tag (Ältere) und 0,022 mg/kg KGW/Tag bei (Säuglingen) [26]. Sowohl die Kategorien „Fleisch und Fleischprodukte“ als auch „Milch und Milchprodukte“ zählten zu den Lebensmittelkategorien, die hauptsächlich zur Gesamtexposition durch die Nahrung beitragen. Die Absorptionsrate von Kupfer beim Menschen ist vergleichsweise hoch (55-75 %) und sinkt mit steigendem Zinkgehalt [11]. Die chronische Kupfertoxizität hängt von der Kupferhomöostase und der Anreicherung im Körpergewebe ab. [11]. Bei einer Studie mit Ziegen wurde beobachtet, dass Kupfer am meisten in der Leber akkumuliert wird, fast um das 10-fache im Vergleich zum Muskelfleisch [46]. Die EFSA identifizierte die Retention von Kupfer in der Leber infolge einer chronisch überhöhten Aufnahme als sensibelsten Endpunkt für die Ableitung einer tolerierbaren täglichen Aufnahme für den Mensch von 0,07 mg Cu/kg KGW [26].

Durch seine essenzielle Funktion für die Aktivität einiger Enzyme, spielt Kupfer eine bedeutende Rolle in der Reproduktion und Knochenentwicklung der Nutztiere. Darüber hinaus ist Kupfer für die Bildung von Blutkörperchen und den Eisenstoffwechsel von zentraler Bedeutung [8]. Natürliche Gehalte in Grundfuttermitteln liegen zwischen 3- 10 mg Cu/kg TM. Die Bioverfügbarkeit aus solchen Futtermitteln ist für Wiederkäuer relativ gering [1, 8, 22]. Grundsätzlich können Rinder weniger effizient Kupfer absorbieren im Vergleich zu Schafen [8], was vor allem von der Fähigkeit der Kupfer-Ausscheidung über die Galle abhängt [22]. Die Wechselwirkung zwischen Kupfer, Schwefel und Molybdän hat eine entscheidende Bedeutung. Der Kupfermangel ist oft die Folge einer gestörten Kupferverwertung bei persistierender Manganüberversorgung (sekundärer Kupfermangel). Aufgrund dessen wird empfohlen, ein Cu: Mo - Verhältnis zwischen 6:1 und 10:1 in der Gesamtration anzustreben. Insbesondere Schafe reagieren äußerst empfindlich auf erhöhte Kupferaufnahmen (>10 mg Cu/kg TM bei geringen Mo-Gehalten), sodass eine hämolytische Krise, Anämie oder sogar Todesfälle infolge einer Kupferintoxikation bei dieser Tierart ein häufig beschriebenes Problem darstellen [1,26, 47]. Symptome einer Kupfervergiftung umfassen außerdem Diarrhöe, vermehrtes Speicheln, Leistungsdepression, Leber- und Nierenschäden, nervale Degeneration, sowie Kratzen. Bei Rindern treten diese ab Gehalten über 50 mg Cu/kg TM auf [1]. Somit wurden die maximal tolerierbaren Gehalte von 15 mg Cu/kg TM für Schafe bzw. 40 mg Cu/kg TM

für Rinder bei normalen Gehalten an Molybdän (1-2 mg/kg TM) und Schwefel (1,5-2,5 g/kg TM) festgelegt [1, 22]. In der wissenschaftlichen Stellungnahme der EFSA [22] wird eine Reduktion der Kupferaufnahme im Tierfutter auch im Zusammenhang mit der Gefahr für die Umwelt thematisiert. Dort erwähnte Studien zeigten, dass Gene für Kupfer- und Antibiotikaresistenz eine Ähnlichkeit aufweisen.

3.2.6 Molybdän (Mo)

Molybdän ist ein Bestandteil wichtiger Enzyme und somit für den Menschen ein essenzielles Spurenelement. Zu den molybdänreichen Lebensmitteln zählen unter anderem Milch und Milchprodukte, sowie Innereien (Leber und Nieren) [11, 29]. Die durchschnittliche Aufnahme von Molybdän über die Nahrung variiert in den europäischen Ländern, wie die Bewertung der EFSA aus dem Jahr 2013 verdeutlicht. Die durchschnittliche tägliche Aufnahme in Deutschland lag bei 58 µg Mo/Tag, während sie in anderen europäischen Ländern bei 79,6 µg/Tag bis 125 µg Mo/Tag lag [29]. Molybdän wird vom Menschen schnell und gut absorbiert (bis zu 80%) [11]. Im Jahr 2000 identifizierte das Scientific Committee on Food (SCF) reproduktionstoxische Effekte bei Ratten als sensibelsten Endpunkt für die Ableitung einer Obergrenze für die tägliche Gesamtaufnahme von 0,01 mg Mo/kg KGW [30].

Molybdängehalte in Grundfuttermitteln für Wiederkäuer spiegeln die Umweltbedingungen in hohem Maß wider und liegen in Europa in einem Bereich < 1 mg /kg TM bzw. < 3 mg/kg (Gras) [57]. Hohe Molybdänaufnahmen können bei Tieren zu Störungen im Stoffwechsel anderer Elemente führen, wie am Beispiel des Kupfers erklärt. Die Empfindlichkeit von Wiederkäuern gegenüber Molybdän hängt von der Kupfer- und Schwefelkonzentration im Futter, sowie von der Tierart (Rinder sind etwas empfindlicher), dem Alter und der Rasse ab. Jüngere Tiere reagieren besonders empfindlich und bei Schafen wurden rassespezifische Unterschiede festgestellt [17]. Das EFSA-Panel für Zusatzstoffe und Produkte oder Substanzen in der Tierernährung (FEEDAP) hat festgelegt, dass 2,5 mg Mo/kg Alleinfutter für Schafe als sicher gelten [57]. Eine klinische Toxizität tritt in der Regel bei einem absoluten Gehalt von > 100 mg Mo/kg TM oder bei einem Kupfer: Molybdän-Verhältnis von ≤ 2:1 auf. Sie stellt meist ein Herdenproblem dar, wobei die Morbidität bei > 80 % liegt. Eine klinische Toxizität wurde bei Schafen und Rindern bereits bei Gehalten von 25–50 mg Mo/kg TM beobachtet. Die Symptome umfassten Diarrhö, Depigmentierung, Lahmheit, neurologische Ausfälle, sowie Wachstums- und Fruchtbarkeitsstörungen [57]. Akute Vergiftungen können innerhalb weniger Tage zu Appetitverlust, Lethargie und im Extremfall zum Tod führen [1].

3.2.7 Selen (Se)

Selen ist ein essenzielles Spurenelement und spielt in zahlreichen Prozessen im menschlichen [11] und tierischen Organismus [1] eine wichtige Rolle. Die Expositionsabschätzung der EFSA im Jahr 2023 zeigte eine durchschnittliche Aufnahme von Selen über Lebensmittel von 42,7- 65,6 µg/Tag bei Männern und 35,8- 50,5 µg/Tag bei Frauen [31]. Die Absorption von Selen beim Menschen ist abhängig von der Konzentration des aufgenommenen Selens, sowie von Begleitsubstanzen und liegt zwischen 50 und 90 % [11, 31]. Für die Ableitung einer Obergrenze für die tägliche Gesamtaufnahme von Selen (3,6 µg/kg Körpergewicht) identifizierte die EFSA die Alopezie als sensibelsten Endpunkt und Frühindikator einer chronisch erhöhten Selenaufnahme. Neben Haar- und Nägel-Veränderungen, sowie Dermatitis, wird ein positiver und kausaler Zusammenhang zwischen der erhöhten Aufnahme von Selen und dem Risiko für Typ-2-Diabetes als wahrscheinlich betrachtet [31]. Hauptquellen von Selen für den Menschen sind Milchprodukte und Fleisch [20, 31]. Aufgrund großer Schwankungen im Selengehalt von Lebensmitteln und der breiten Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln wird vermutet, dass der EFSA-Grenzwert von 300 µg Se/Tag leicht überschritten wird [18].

Bei Nutztieren weist Selen aus Grobfutter eine durchschnittlich geringere Bioverfügbarkeit auf, als jene aus anorganischen Quellen. Der Gehalt in Pflanzen variiert stark und liegt üblicherweise zwischen 0,01-0,2 mg/kg TM bei Grünfutter und Silage [1, 5, 28]. Chronische Selenose (Überversorgung) bei Weidetieren äußert sich in Veränderungen des Haarkleides, der Haut und Hautanhangsgebilde, sowie Inappetenz, Lahmheit und Schädigungen von Leber und Nieren. Klinische Symptome wurden bei Rindern beobachtet, die über einen Zeitraum von mehr als 100 Tagen eine Selenaufnahme von über 0,25 mg/kg KGW erhielten. Bei neugeborenen Kälbern führte die Fütterung von Alleinfuttermitteln mit 10 mg Selen/kg zu Leistungsminderungen. Als letale Dosis für eine akute Intoxikation gelten 9- 20 mg Selen/kg KGW für Rinder bzw. 10- 15 mg Selen/kg KGW für Schafe [1]. Die lineare Beziehung zwischen dem Selengehalt im Futter und in der Milch scheint nur bis zu einer bestimmten Konzentration zu bestehen [21]. Studien mit unterschiedlichen Formen und Mengen supplementierten Selens zeigen, dass bei weiter steigenden Futterselengehalten die Selenkonzentration in der Milch nicht weiter zunimmt oder sogar abnimmt [23]. Das EFSA FEEDAP Panel erkannte in der letzten Bewertung der Verbrauchersicherheit aus dem Jahr 2024 bei der derzeit zulässigen Höchstmenge für Zusatzstoffe von insgesamt 0,5 mg Se/kg Alleinfutter ein Risiko für die Verbrauchersicherheit und forderte zusätzliche Daten zum Transfer und zur Akkumulation von Selen in tierische(n) Produkten [58].

3.2.8 Thallium (Tl)

Thallium ist ein hochgiftiges Schwermetall, dessen Verbindungen meist farb- und geruchlos sind. Die WHO schätzte die tägliche Aufnahme von Thallium durch den Menschen auf < 5 µg/Tag ein, hauptsächlich über Lebensmittel aufgenommen. Thallium wird schnell und gut absorbiert und hauptsächlich über den Harn ausgeschieden. Daher wird die Ausscheidung von Thallium über den Urin als zuverlässiger Indikator für die Exposition angesehen. Aufgrund von Unsicherheiten in der Bewertung konnte kein gesundheitsbasierter Richtwert abgeleitet werden. Die WHO ging allerdings in ihrer Bewertung davon aus, dass eine renale Ausscheidung von 5 µg/L, was einer täglichen Aufnahme von Thallium von 10 µg entspricht, keine negativen Effekte auf die menschliche Gesundheit hat [35]. Bereits geringe, langfristige Exposition kann neurotoxische und lebertoxische Effekte verursachen. Bei Kindern gibt es eine mögliche Beeinträchtigung von Lern- und Gedächtnisfunktionen. Die Datenlage ist sehr begrenzt, da keine routinemäßige Kontrolle in Lebensmitteln (und Futtermitteln, Anmerkung) erfolgt. Seitens der EFSA wird daher empfohlen, mehr Daten zum Vorkommen in pflanzlichen Produkten und der Ernährung von Kindern und Erwachsenen zu erheben [27].

Die Phytoverfügbarkeit von bestimmten Thallium-Verbindungen unterscheidet sich stark zwischen den Futterpflanzen unterschiedlicher Art, wodurch sich ein gewisses Risiko des Eintrags in die Futter- bzw. Lebensmittelkette ergibt [48]. Symptome einer chronischen Tl-Überversorgung bei Wiederkäuern sind Apathie, Inappetenz, Festliegen, Nasenausfluss, Pansenatonie und Wollausfall. Diese treten bei Gehalten > 8mg/kg KGW (Rind) bzw. 12 mg/kg KGW (Schaf) auf. Die minimale letale Dosis ist beim Rind oral 15 mg/kg KGW und beim Kalb 10 mg/kg KGW [49, 50]. In Tierstudien wurde gezeigt, dass Thallium hauptsächlich in der Leber akkumuliert [49]. Die Norm des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 2310 Blatt 29 [60] definiert die höchste täglich tolerierbare Thalliumdosis, die ein Tier aus Umwelteinwirkungen über die Futter- oder Wasseraufnahme aufnehmen darf, ohne gesundheitliche oder produktionseinschränkende Effekte auszulösen. Beim Schaf liegt die maximale Immissionsdosis (MID) bei 0,57 mg/kg TM. Dieser Wert wird mangels eigener Daten auch für Rinder verwendet.

3.2.9 Zink (Zn)

Zink ist ein essenzielles Spurenelement, das Bestandteil einer Vielzahl von Enzymen und an vielen Prozessen im Körper von Menschen und Tieren beteiligt ist. Dazu gehören z.B. DNA- Synthese, Zellteilung, Knochenaufbau, Haut, Haare und Nägel, kognitive Funktionen,

Fruchtbarkeit und Fortpflanzung, Stoffwechsel von Fettsäuren und das Immunsystem [4, 11, 42].

Für Menschen stellt rotes Fleisch eine bedeutende Quelle von Zink dar, während es in Milch in deutlich geringeren Konzentrationen vorkommt. Die durchschnittliche nahrungsbedingte Aufnahme von Zink lag nach Angaben des Scientific Committee on Food (SCF) im Jahr 2003 in Österreich bei 11,2 mg Zn/Tag [32]. Die Absorption und Bioverfügbarkeit von Zink hängen von zahlreichen nahrungsbedingten Faktoren ab. Grundsätzlich wird Zink aus tierischen Lebensmitteln besser verwertet als aus pflanzlichen. Höhere Gehalte an Calcium und Eisen wirken sich negativ auf die Zinkaufnahme aus. Zink und Kupfer beeinträchtigen sich gegenseitig in Hinblick auf die Absorption [11, 32]. Erhöhte Zinkgehalte fanden sich im Schinken und in der Leber von Ziegen, die 86 Tage lang mit experimentell mit Erde verunreinigter Silage gefüttert wurden [46]. Als sensibelster Endpunkt in der menschlichen Ernährung wurde vom Scientific Committee on Food (SCF) eine verringerte Absorption von Kupfer herangezogen und basierend darauf eine sichere Obergrenze für die tägliche Zinkaufnahme durch den Menschen von 0,36 mg/kg KGW abgeleitet [32]. Eine Überversorgung mit Zink kann zu unerwünschten Effekten wie gastrointestinale Beschwerden und Beeinträchtigung der Kupferabsorption führen [42].

Die Gehalte an Zink in Grundfuttermitteln reichen von 15-35 mg/kg TM und können in Regionen mit industrieller Belastung um das 5- bis 50-fache ansteigen [1, 59]. In der Tierernährung wird vor allem die erdige Verunreinigung der Grundfuttermittel mit hohen Mengen an Eisen als Risiko für antagonistische Effekte gegenüber der Zinkversorgung thematisiert [5]. Die scheinbare Zinkabsorption liegt bei ca. 20 %, wobei die Bioverfügbarkeit von der Pansenbeschaffenheit, dem Gehalt an Zink und der Zink-Quelle abhängt [1,8]. Der überwiegende Anteil an Zink akkumuliert im Muskelgewebe [4]. Maximal tolerierbare Gehalte in Futtermitteln liegen bei 300 bzw. 500 mg Zn/kg TM für Schafe bzw. Rinder [1]. Bei sehr hohen Zinkgehalten > 1000 mg/kg TM können Symptome akuter Toxizität, wie Erbrechen, Diarrhö, Schwäche und Tod auftreten. Als Folgen einer chronischen Zink-Überversorgung (> 700 mg Zn/kg TM) wurden verminderte Futteraufnahme, Leistungsminderung, Pankreatitis, sowie Cu-Mangel beschrieben [1, 4, 59]. EFSA empfiehlt die Verfütterung von max. 100 mg Zn/kg Alleinfutter, um toxische Effekte zu vermeiden [59].

3.2.10 Vanadium (V)

Bis dato wurden für Vanadium keine essenziellen Funktionen im menschlichen Körper identifiziert [11, 25]. Weder Fleisch noch Milch zählen zu den relevanten Quellen von Vanadium. Die Aufnahme über die Nahrung wird auf 10- 60 µg V/Tag geschätzt [33]. Eine Expositionsabschätzung durch die ANSES ergab eine durchschnittliche Aufnahme von 86 µg V/kg KGW/Tag für Erwachsene in Frankreich [34]. Die Absorption von Vanadium ist mit < 5 % gering [11, 33]. Als sensibelsten Endpunkt für die Ableitung einer "permitted daily exposure" von 2,4 µg/kg KGW hat das International Council for Harmonisation (ICH) hämatologische Effekte und Effekte auf den Blutdruck herangezogen [33]. Bei erhöhter Aufnahme kann es zu toxischen Effekten auf Nieren, Blut und möglicherweise das Nervensystem kommen. Die EFSA empfiehlt weitere Untersuchungen zu Kontaminationen und gesundheitlichen Risiken im Zusammenhang mit Lebensmitteln und insbesondere Tee [43].

Die Essenzialität von Vanadium für den Stoffwechsel von Tieren ist bislang umstritten. In den 1990er-Jahren wurden Mangelerscheinungen infolge eines Vanadiummangels bei Ratten und Ziegen beschrieben. Nachdem aber die biochemische Funktion von Vanadium nicht definiert werden konnte, wird es weiterhin als nicht essenziell für die Tierernährung eingestuft. Die Toxizität von Vanadium wurde bisher meist bei Mäusen und Hühnern untersucht. Dabei wurde vor allem von Leistungsdepression, Dehydratation, Diarrhöe, sowie Reproduktionsstörung und Störung der Eiqualität berichtet. Gastrointestinale Symptome, Dehydratation, Erschöpfung, Unterernährung, sowie Blutungen der inneren Organe wurden nach oraler Aufnahme von 20 mg V/kg KGW bei Kälbern beobachtet [1].

3.2.11 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Während die genannten chemischen Elemente sowohl durch natürliche als auch durch anthropogene Quellen in der Umwelt und folglich in Futtermitteln und Lebensmitteln vorkommen, handelt es sich bei PAK um Prozesskontaminanten, die durch unvollständige Verbrennungsprozesse von organischen Stoffen, wie beispielsweise Holz, Kohle, Benzin, Abfälle, Öl und Tabak, sowie durch Grillen, Braten, Räuchern oder Trocknen entstehen können [36]. Als bedeutendste PAK-Verbindung gilt Benzo[a]pyren (BaP), das als krebserregend und erbgutverändernd eingestuft wurde. Die EFSA gelangte in ihrer Bewertung zu dem Schluss, dass neben Benzo[a]pyren (BaP) drei weitere PAK- Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen und Chrysen- als sogenannte „PAK 4" zusammengefasst und als Markersubstanzen für das Vorkommen von PAK in Lebensmitteln herangezogen werden sollten [37].

Die Expositionsabschätzung der EFSA im Jahr 2008 ergab eine durchschnittliche Aufnahme von BaP von 235 µg/Tag (entsprechend 3,9 µg/kg KGW/Tag für 60 kg schwere Person) und von den PAK 4 von 1168 µg/Tag (19,4 µg/kg KGW/Tag für 60 kg schwere Person). Meeresfrüchte und Produkte daraus sowie Getreide/Getreideprodukte trugen am meisten zur Exposition der Konsumenten gegenüber PAK 4 bei (289 ng/Tag bzw. 257 ng/Tag), gefolgt von Gemüse/Nüsse/Hülsenfrüchte (221 ng/Tag) und gegrilltem/geräuchertem Fleisch und Produkten daraus (195 ng/Tag). Bereits im Jahr 2002 definierte der Wissenschaftliche Lebensmittelausschuss (SCF), sowie das Gemeinsame FAO/WHO-Sachverständigengremium für Lebensmittelzusatzstoffe (JECFA) 16 PAK-Verbindungen, die sich in Tierversuchen als erbgutverändernd und mit Ausnahme einer Verbindung als krebserzeugend erwiesen hatten [38]. Aufgrund der potenziell gravierenden gesundheitsschädlichen Wirkungen dieser Substanzen beim Menschen kann für PAK keine Aufnahmemenge festgelegt werden, bei der ein gesundheitliches Risiko ausgeschlossen werden kann [37]. In Österreich sind die Höchstgehalte für PAK als Kontaminanten in Lebensmitteln im Rahmen der Verordnung (EU) 2023/915 geregelt, wobei das ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) angewendet wird [36].

Nach Sichtung zahlreicher Literatur und anderer Informationsquellen ist festzustellen, dass Daten aus der Praxis zur Beeinträchtigung von Nutztieren durch PAK-Exposition nicht vorliegen. Zusammengefasst in einem Review [52] zeigten Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen Beeinträchtigungen der Immunantwort, Auftreten von Leukämie, Tumoren der Leber, Lunge, Haut, Dickdarm und Harnblase unter Anwesenheit oder Injektion der PAK bei Mäusen. Laut Einschätzung der Arbeitsgruppe "Carry over unerwünschter Stoffe in Futtermitteln" in Deutschland weisen vorhandene wissenschaftliche Daten darauf hin, dass der Übergang von PAK aus Futtermitteln in Lebensmittel tierischer Herkunft gering ist, bedingt durch niedrige Absorption und effiziente Metabolisierung [53]. Aus diesem Grund wurden in der EU bisher keine Höchstgehalte für PAK in Futtermitteln festgelegt. Dennoch scheint es angezeigt, im Sinne von Guter Herstellungspraxis und ALARA das Ausmaß des Eintrages von Prozesskontaminanten in Rohstoffe, die zur Fütterung von Nutztieren und damit zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet werden, zu begrenzen. Da der Eintrag in erster Linie über Trocknungsprozesse geschieht, ist ein möglicher und erprobter Ansatz, einerseits die Art des Trocknungsverfahrens (möglichst indirekt) und im Falle der direkten Trocknung die Auswahl des Heizmaterials einzugrenzen. Die direkte Trocknung geschieht meist aus Kostengründen, da der unmittelbare Kontakt der Verbrennungsgase mit dem Trocknungsgut wesentlich effizienter ist und die betreffenden Anlagen technisch weniger aufwendig und damit billiger sind. Nach Erfahrungen der AGES im Rahmen der

Futtermittelkontrolle des Bundes werden seitens der Futtermittelunternehmer meist Gas oder Heizöl leicht bei direkter Trocknung eingesetzt und es zeigen sich hier kaum nennenswerte Belastungen an PAK. Im Gegensatz dazu wird empfohlen von anderen Heizmaterialien, wie Schweröl, Altöl und anderen „Problemstoffe“ abzusehen und diese nicht zu verwenden. Hackschnitzel/Holzpellets können laut Auskunft von Praxisbetrieben funktionieren, stellen aber erhöhte Anforderungen an die Prozessführung und die Qualität des Heizmaterials (vor allem Reinheit und Wassergehalt).

4 Rechtlicher Rahmen

Erzeugnisse, die zur Tierernährung bestimmt sind, dürfen nur dann aus Drittländern in die EU eingeführt, innerhalb der EU in Verkehr gebracht oder verwendet werden, wenn sie im Sinne von § 3 Futtermittelgesetz 1999 [67] in Verbindung mit § 2 Futtermittelverordnung [69] unverdorben, unverfälscht und von handelsüblicher Beschaffenheit sind. Sie dürfen bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahr für die Gesundheit von Menschen, Tieren oder für die Umwelt darstellen und die tierische Produktion negativ beeinträchtigen. Unter diesen Voraussetzungen sind Futtermittel, die potenziell gesundheitsgefährdend sind, als nicht sicher einzustufen, was gemäß Artikel 15 der Verordnung (EG) 178/2002 [68] ein Verbot des Inverkehrbringens und der Verfütterung an der Lebensmittelgewinnung dienende Tiere zur Folge hat.

Zum Zwecke der Bewertung und Überwachung bestimmter Stoffe, die in Futtermitteln vorhanden sind und eine Gefahr für die Gesundheit darstellen oder die tierische Produktion negativ beeinträchtigen können, legt das EU-Recht Grenzwerte an gewissen Stoffen fest. Zu solchen Stoffen gehören insbesondere die unerwünschten Stoffe in der Tierernährung gemäß der Definition nach Artikel 2 der Richtlinie 2002/32/EG [6]: „Unerwünschte Stoffe“ sind Stoffe oder Erzeugnisse, mit Ausnahme von Krankheitserregern, die in und/oder auf einem zur Tierernährung bestimmten Erzeugnis vorhanden sind und eine potenzielle Gefahr für die Gesundheit von Mensch oder Tier oder für die Umwelt darstellen. Diese Definition schließt auch Stoffe ein, für die es im Anhang der genannten Richtlinie keine festgelegten Höchstwerte gibt.

Darüber hinaus regelt das EU-Recht auf Basis eines Zulassungsverfahrens, an dessen Ende eine Zulassungsverordnung veröffentlicht wird, die Gehalte an einzelnen Zusatzstoffen, welche den Futtermitteln zugesetzt werden, um die Leistung und die Produktivität der Tiere positiv zu beeinflussen. Für die vorliegende Betrachtung sind dies Spurenelement-verbindungen (funktionelle Gruppe), die der Kategorie der ernährungsphysiologischen Futtermittelzusatzstoffe gemäß Anhang I der Verordnung (EG) 1831/2003 [7] zuzuordnen sind.

Neben den Höchstwerten sind für Spurenelemente, welche essenzielle Aufgaben im Sinne der Tiergesundheit übernehmen, auch Bedarfswerte definiert.

4.1 Höchstgehalte

Höchstgehalte sind rechtlich bindende und mit Rechtsakt (EU-Verordnung oder EU-Richtlinie) festgelegte, maximale Werte einer Substanz. Die Rechtsvorschriften legen für bestimmte Erzeugnisse Höchstgehalte an Stoffen fest, die nicht überschritten werden dürfen, da sie sonst die Gesundheit der Menschen oder Tiere gefährden oder die tierische Produktion negativ beeinträchtigen können und somit nicht sicher sind. In der Richtlinie 2002/32/EG [6] sind zum Beispiel die meist, -wenn auch fachlich nicht ganz korrekt-, als Gruppe der „Schwermetalle“ zusammengefassten Elemente Arsen (As), Blei (Pb), Quecksilber (Hg) und Cadmium (Cd) mit Höchstwerten in unterschiedlichen Futtermittelkategorien geregelt.

Neben den mit konkreten Höchstwerten geregelten Stoffen gibt es noch eine Reihe sonstiger unerwünschter Stoffe, die definitionsgemäß in den Geltungsbereich der Richtlinie 2002/32/EG [6] fallen. Diese Stoffe sind bei Auftreten in einem Futtermittel seitens der begutachtenden Stelle für die Überwachungsbehörde einer Einzelfall-Bewertung zu unterziehen und hinsichtlich ihres gesundheitlichen Gefährdungspotenzials einzuschätzen. Dabei werden unter Einbeziehung bekannter Daten aus Literatur oder Erkenntnissen von bestimmten Institutionen/Gremien (EFSA, WHO, BfR, etc.) mögliche Gefahren für das Nutztier, von diesem stammenden Lebensmittel oder die Umwelt bewertet und in einem Gutachten als Entscheidungsbasis für die zuständige Behörde zusammenfasst.

Höchstgehalte für Futtermittelzusatzstoffe im Geltungsbereich der Verordnung (EG) 1831/2003 [7] werden im Rahmen eines Zulassungsverfahrens mit Zulassungsverordnung festgelegt. Dabei hat der Antragsteller entsprechende Daten zu liefern, die einerseits die Wirksamkeit des Zusatzstoffes belegen und andererseits auch die Sicherheit bei bestimmungsgemäßer Verwendung untermauern. Ein seit April 2023 existierendes Online-Register aller aktuell zugelassenen Futtermittelzusatzstoffe (https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/feed-additives/search) und dessen Verlinkung mit dem jeweiligen Rechtstext ermöglicht einen niederschwelligen Zugang und damit Überblick zur aktuellen Zulassungssituation.

Höchstgehalte für Kontaminanten in Lebensmitteln sind in der Verordnung (EU) 2023/915 festgelegt [70]. Des Weiteren sind manche chemischen Elemente in der Verordnung (EG) 396/2005 mit Rückstandshöchstgehalten (RHG) bzw. in englischer Form als Maximum Residue Levels (MRL) geregelt [71].

4.2 Aktionswerte

Ein Aktionswert stellt keinen Grenzwert oder regulatorischen Höchstgehalt dar. Ziel des Aktionswertes ist das vorausschauende Vorgehen. Er dient als Orientierungshilfe für Behörden und Betriebe und zeigt die Notwendigkeit weiterer Untersuchung an. Daher dürfen Durchsetzungsmaßnahmen und/oder Warnmeldungen nur auf der Grundlage einer gesicherten Risikobewertung im Einzelfall erfolgen, nicht allein aufgrund der Überschreitung eines Aktionswertes. Aktionswerte sollen dazu dienen, diejenigen Fälle ausfindig zu machen, in denen es angezeigt ist, eine Kontaminationsquelle zu ermitteln und gemäß § 17 Abs. 5 Futtermittelgesetz 1999 [67] die Gebotenheit behördlicher Maßnahmen zur Mängelbehebung oder Risikominimierung zu erwägen. Im Folgenden werden nationale Aktionswerte, die nicht durch entsprechende EU-Regelungen festgelegt sind, für Österreich erstmals abgeleitet.

Als Referenz für die Festlegung von Aktionswerten in Futtermitteln wird das Biomonitoring der AGES (ausführlich beschrieben in der Ausgabe 2023 [41] und zuletzt 2025 [40] aktualisiert; nicht veröffentlichte Unterlagen für den AGES-internen Gebrauch) herangezogen. Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die maximale Hintergrundbelastung (OmH) wurden in diesem Zusammenhang mehrjährige Messungen an ländlichen bzw. industriefernen Standorten herangezogen. Die Auswertung und Ableitung von OmH erfolgte nach Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Nachdem Wiesengras unter den verwendeten Matrizes die größte Nähe zu Futtermitteln aufweist, werden die entsprechenden Ableitungen für Wiesengras als Basis verwendet. Nachdem der OmH den oberen Bereich der Hintergrundbelastung abbildet, wird als Aktionswert, welcher sich aus der Multiplikation des OmH mit dem Faktor 1,5 ergibt, die Einstufung „geringer Immissionseinfluss“ verwendet. Der Faktor 1,5 ist im Sinne einer Festlegung willkürlich gewählt und soll es ermöglichen, dass auch Produkte von Grünland- bzw. Ackerflächen von weniger entlegenen Gegenden oder aus der Nähe von Ballungsgebieten mit moderater Immissionsbelastung als Futtermittel eingesetzt werden können, ohne sofort nach einer ohnehin offensichtlichen und erwartbaren Ursache forschen zu müssen.

4.3 Alarmwerte

Als Alarmwerte werden Gehalte an Stoffen in Futtermitteln verstanden, die potenziell nachteilige gesundheitliche Effekte auf die Tiere bzw. indirekt über Lebensmittel tierischer Herkunft auf die Menschen hervorrufen können (§ 3 Abs. 2 FMG 1999). Ein Alarmwert ist ein nicht gesetzlich festgelegter Schwellenwert und liegt üblicherweise deutlich über dem jeweiligen Aktionswert. Mit diesem Wert soll die toxikologische Relevanz gegenüber der Zieltierart zum Ausdruck gebracht werden. Am besten erfolgt dies durch Verwendung der maximalen Immissions-Dosen (MID) nach den jeweiligen VDI-Richtlinien, die anhand von langfristigen Versuchen mit Nutztieren abgeleitet wurden, ergänzt um weitere Anhaltspunkte aus der Literatur.

Bei vorhandenen Carry-Over Daten zum Übergang eines Stoffes in das Lebensmittel kann der Alarmwert je nach Exposition des Menschen und Folgenabschätzung auch unterhalb der toxikologischen Relevanz für das Nutztier angesetzt werden. Dies ist bei Nutzung des MID als Alarmwert der Fall und hat somit den Vorteil, dass diese gegenüber vergleichbaren Quellen (zB. NRC – National Research Council USA) bereits mögliche Auswirkungen auf Lebensmittel berücksichtigen. Entsprechende Beschreibungen dazu finden sich in den einzelnen für diese Arbeit herangezogenen VDI-Richtlinien.

5 Methoden

Bei Futtermitteln wurde aufgrund der für alle in Frage kommenden Elemente vorliegenden Unterlagen auf die in den Blättern des VDI veröffentlichten Werte für beim Tier toxikologisch relevanten Gehalte zurückgegriffen. Diese Daten wurden mit solchen aus der Literatur gegengeprüft und auch mit in der AGES verfügbaren Untersuchungsdaten abgeglichen. Weiters wurden hinsichtlich der erwartbaren Hintergrundbelastung das regelmäßig durchgeführte Biomonitoring der AGES herangezogen und in diesem Zusammenhang die für Wiesengras erhobenen Werte verwendet, da diese Matrix die größte Ähnlichkeit mit den hier relevanten Futtermitteln aufweist. Tabelle 1 enthält die für die vorliegende Arbeit relevanten Daten aus dem nicht veröffentlichten AGES-Biomonitoring [40, 41].

Tabelle 1: AGES-Biomonitoring – auszugsweise Darstellung

Element	OmH Wiesengras (100 % TM)	OmH Wiesengras (88 % TM)	MID (100 % TM)	MID (88 % TM)
Aluminium (Al) mg/kg	115,4	101,6	568	500
Bor (B) mg/kg	27,3	31	k.A.	k.A.
Kobalt (Co) mg/kg	0,184	0,162	10-50(2)	10-50(2)
Chrom (Cr) mg/kg	0,695	0,622	56,8	50
Kupfer (Cu) mg/kg	14,76	12,99	11,4-22,7(3) 45,5(4) 114(5)	10-20(3) 40(4) 100(5)
Molybdän (Mo) mg/kg	4,15	3,66	5,7	5
Selen (Se) mg/kg	0,0486	0,0428	k.A.	k.A.
Thallium (Tl) mg/kg	0,075	0,066	0,57	0,5
Vanadium (V) mg/kg	0,25	0,22	11,4	10
Zink (Zn) mg/kg	61,4	54,0	341(6) 568(7)	300(6) 500(7)
PAK4 µg/kg	56,9 (1)	50,1	k.A.	k.A.

(1) PAK aus Frischmasse mit Faktor 10 auf Trockenmasse umgerechnet; (2) keine Angabe zum Trockenmasse-Bezug; (3) Schafe; (4) Aufzuchtrinder; (5) Milchkühe; (6) Schafe; (7) Rinder; OmH – Orientierungswert für die maximale Hintergrundbelastung; MID = maximale Immissionsdosis; TM = Trockenmasse; k.A.= keine Angabe

Weiters wurden aus dem AGES-Biomonitoring (Beurteilungshinweise) folgende Festlegungen übernommen:

- deutlicher Immissionseinfluss = Werte liegen ≥ 1,5 x OmH
- toxikologisch relevant sind Werte > MID

Vom AGES-Biomonitoring (Beurteilungshinweise) abweichende Werte zum MID:

- Für Kobalt beträgt die Schwelle für die toxikologische Relevanz 25 mg/kg TM [1, 8]
- Für Selen beträgt die Schwelle für die toxikologische Relevant 5 mg/kg TM [1, 4]

5.1 Transferprozesse und Expositionsabschätzung

Um eine Expositionsabschätzung im Sinne des Schutzes der Gesundheit von Menschen und Tieren vor unerwünschten Stoffen in der Ernährung durchzuführen, können Konzentrationen in Futtermitteln und ein quantifizierter Transfer der Stoffe in die Lebensmittel tierischer Herkunft, -das Carry-Over-, herangezogen werden. Bei dem quantifizierten Transfer unterscheidet man zwischen Transfer- oder Carry-Over-Rate (COR) und Carry-Over-Faktor (COF). Die Voraussetzung für die Berechnung dieser Werte ist die Stoffkonzentration, welche analytisch in den Matrizes Futter- und Lebensmittel erfassbar ist.

Die COR lässt sich anhand vorliegender Daten über die Konzentration des Stoffes im Futtermittel (cFutter) und der aufgenommenen Menge des Futtermittels (Futtermenge), beziehungsweise dessen Konzentration im Lebensmittel (cLM) in einer bestimmten Lebensmittelmenge (LMMenge) errechnen [5]. Die Beziehung lässt sich anhand folgender Formel (nach Handbuch der Futtermittel 2023 [5], modifiziert) darstellen:

$$COR\ (\%) = \frac{\mathrm{cLM} * \mathrm{LMMenge}}{\mathrm{cFutter} * \mathrm{Futtermenge}} * 100$$

Die COR ist der Anteil des aufgenommenen Stoffes, der nach einer bestimmten Zeit angereichert (Fleisch) oder ausgeschieden (Milch) wird. Je höher die COR eines Stoffes ist, desto mehr ist von dem Stoff im Fleisch und in der Milch zu finden.

Der Carry-Over-Faktor ist eine grobe Abschätzung der Übertragungsrate eines Stoffes zu einem bestimmten Zeitpunkt und folglich dessen Anreicherung im Körper der Tiere und somit in den Lebensmitteln tierischer Herkunft [5]. Es handelt sich um die analytisch nachgewiesenen Konzentrationen der Zielstoffe im Lebensmittel (cLM, Bsp. Milch, Fleisch)

oder in den Futtermitteln (cFutter), die für die Berechnung nach Handbuch der Futtermittel 2023 [5] (modifiziert), herangezogen werden:

$$COF = \frac{cLM}{cFutter}$$

In der vorliegenden Arbeit wurden die Studien berücksichtigt, die sich mit der Konzentration der ausgewählten Elemente in Futtermitteln und deren Transfer in Milch und Fleisch von Rindern und Schafen befassen. Bei der Auswahl der Literatur fanden weder die angewandten analytischen Methoden noch die Art der Futtermittel oder regionale Gegebenheiten Berücksichtigung. Ebenso wurden weder tierbezogene Faktoren wie Alter, Laktationsstadium noch Genetik einbezogen.

5.1.1 Expositionsabschätzung Lebensmittel

5.1.1.1 Methodik

Verzehrsdaten:
Für die Expositionsabschätzung wurden die Verzehrsdaten (chronische Aufnahme) von Erwachsenen im Alter von 18 bis 65 Jahren (n = 2196) herangezogen. Die Verzehrsdaten wurden mittels eines zweimaligen 24-h-Ernährungsprotokolls im Jahr 2014 erhoben und werden EU-weit in der EFSA Comprehensive European Food Consumption Database geführt [61; 62].

Tabelle 22 zeigt die für die Expositionsabschätzung herangezogenen Verzehrsdaten. Nachdem es keine Unterscheidung zwischen Kuhmilch und Schafmilch in der EFSA Comprehensive European Food Consumption Database gab, wurde in einem konservativen Ansatz sowohl für Kuhmilch als auch für Schafmilch von demselben Verzehr ausgegangen.

Tabelle 2: durchschnittliche chronische Verzehrsdaten österreichischer Erwachsener für relevante Warengruppen aus der Comprehensive European Food Consumption Database [62]

Lebensmittel	Expositionshierarchie gemäß EFSA Food Consumption Database	Verzehr (g/kg KG/Tag)
Milch (Kuh)	Milk	1,505
Milch (Schaf)	Milk	1,505
Fleisch (Rind)	Bovine fresh meat	0,270
Fleisch (Schaf)	Sheep fresh meat	0,014

Auftretensdaten der AGES:

In Summe wurden 2386 amtlich gezogene Lebensmittelproben (Zeitraum 2015 – Oktober 2025) berücksichtigt. Sämtliche Analysen wurden von der AGES durchgeführt. Zu den berücksichtigten Warengruppen zählten Kuhmilch, Schafmilch, Rindfleisch (roh) und Schaffleisch (roh). Nachdem es sich bei den vorliegenden Auftretensdaten teilweise um linkszensierte Daten handelte, wurden der Lower, Medium und Upper Bound-Ansatz herangezogen. Dabei wurden jene Messergebnisse, die unter der Bestimmungsgrenze lagen beim Lower Bound Ansatz (LB) auf null, beim Medium Bound Ansatz (MB) auf die Hälfte der Bestimmungsgrenze und beim Upper Bound Ansatz (UB) gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt [39].

Expositionsabschätzung:

Da für die jeweiligen tierischen Lebensmittel meist nur wenige bis keine Auftretensdaten vorlagen, wurde die Expositionsabschätzung in einem ersten Schritt unter Berücksichtigung des jeweiligen abgeleiteten Aktionswerts sowie Alarmwerts durchgeführt. Dazu wurden die österreichischen Verzehrsdaten (Mittelwert des Kollektivs) aus der EFSA Comprehensive European Food Consumption Database [62] herangezogen und mit dem jeweiligen abgeleiteten Aktions- beziehungsweise Alarmwert auf Basis 88 % Trockenmasse unter der Annahme eines Carry-over-Faktors vom Futtermittel auf Milch oder Fleisch in der Höhe von 1 (100 %) verknüpft. In jenen Fällen, bei denen sich für die verschiedenen Warengruppen eine Auslastung der toxikologischen Kennzahl von > 10 % zeigte, wurde die Expositionsabschätzung auf Basis der durch die AGES gemessenen Gehalte in tierischen Lebensmitteln herangezogen, um mangels entsprechender Carry-

over-Faktoren die tatsächliche Exposition über die jeweiligen Lebensmittel besser abschätzen zu können.

Risikocharakterisierung:

Für die Risikocharakterisierung der Elemente wurden vorrangig gesundheitsbasierte Richtwerte (Tolerable Daily/Weekly Intake – TDI/TWI, Acceptable Daily Intake – ADI) beziehungsweise tolerierbare Obergrenzen für die tägliche Gesamtaufnahme (Upper Level – UL) herangezogen. Dabei handelt es sich um die maximale Aufnahmemenge von Stoffen in Lebensmitteln, wie Nährstoffen oder Kontaminanten, die im Laufe eines Lebens täglich/wöchentlich verzehrt werden kann, ohne dass daraus eine gesundheitsschädliche Wirkung resultiert. Liegt die Exposition unterhalb des gesundheitsbasierten Richtwerts beziehungsweise des UL, kann von einem vernachlässigbaren gesundheitlichen Risiko ausgegangen werden, während bei einer Überschreitung negative gesundheitliche Auswirkungen nicht ausgeschlossen werden können [63; 64]. Sofern seitens der EFSA weder gesundheitsbasierte Richtwerte noch UL abgeleitet wurden, wurde auf adäquate Werte anderer Institutionen zurückgegriffen. Im Falle von Thallium konnte aufgrund von Unsicherheiten in der Bewertung bis dato kein toxikologischer Referenzwert abgeleitet werden. Hier wurde auf eine von der WHO abgeleitete Aufnahmemenge, die nicht überschritten werden soll, zurückgegriffen [35]. Im Falle von Vanadium wurde mangels adäquater toxikologischer Referenzwerte auf die von dem International Council for Harmonisation ICH abgeleitete permitted daily exposure/maximal akzeptierte tägliche Aufnahme von Verunreinigungen durch Elemente in pharmazeutischen Produkten zurückgegriffen [33]. Für die Risikocharakterisierung der Elemente wurde die errechnete Exposition mit der jeweiligen toxikologischen Kennzahl verglichen und die prozentuelle Auslastung der toxikologischen Kennzahl berechnet. Dabei wurde von einem Carry-over von 100 % ausgegangen.

Im Falle der genotoxischen und kanzerogenen PAK kann kein Schwellenwert, unterhalb dessen mit keinem nennenswerten Risiko gerechnet werden kann, festgelegt werden. Stattdessen wird der Margin of Exposure (MOE) Ansatz gewählt. Bei dem MOE-Ansatz handelt es sich um ein Konzept, das von der EFSA zur Charakterisierung möglicher Krebsrisiken infolge der Exposition gegenüber eines genotoxischen Kanzerogens vorgeschlagen wurde. Hierfür wird ein Referenzpunkt, meist auf Basis von Ergebnissen aus Tierstudien, an dem ein kleiner, aber messbarer Effekt eintritt, gewählt. Als Referenzpunkt empfiehlt die EFSA die Benchmark Dose (BMD) beziehungsweise BMDL10 (Benchmark Dose Lower Confidence Limit 10 %) (EFSA, 2005). Die MOE-Kalkulation basiert auf der

Berechnung des Verhältnisses zwischen der Benchmark Dose Lower Limit (BMDL10) und der geschätzten Exposition der jeweiligen Bevölkerungsgruppen. Dabei wurde von einem Carry-over von 100 % ausgegangen. Liegt der errechnete MOE über 10000, wurde die Exposition in Hinblick auf die öffentliche Gesundheit, als wenig bedenklich angesehen und daher als niedrige Priorität für Maßnahmen des Risikomanagements erachtet [64].

Die toxikologischen Kennzahlen der jeweiligen Substanzen sind in Tabelle 33 zusammengefasst.

Tabelle 3: Übersicht Toxikologische Kennzahlen für die Aufnahme der Elemente und PAK4 durch den Menschen

Substanz	Toxikologische Kennzahl
Chrom	0,3 mg/kg KGW/Tag (TDI) [24]
Vanadium	0,0024 mg/kg KGW/Tag (PDE) [33]
Aluminium	1 mg/kg KGW/Woche (TWI) [13]
Thallium	10 µg/Tag = 0,00014 mg/kg KGW/Tag (maximale Exposition) [35]
Molybdän	0,01 mg/kg KGW/Tag (UL) [30]
Kupfer	0,07 mg/kg KGW/Tag (ADI) [26]
Kobalt	1,6 µg/kg KGW/Tag (ADI) [19]
Selen	0,0036 mg/kg/KGW/Tag (UL) [31]
Zink	0,36 mg/kg KGW/Tag (UL) [32]
Bor	0,16 mg/kg KGW/Tag (UL) [56]
Summe PAK (4) - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	340 µg/kg KGW/Tag (BMDL10) [37]

TDI = tolerable daily intake/tolerierbare tägliche Aufnahmemenge; TWI = tolerable weekly intake/tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge; ADI = acceptable daily intake/akzeptierte tägliche Aufnahmemenge; UL = Upper Inake Level/ tolerierbare Obergrenzen für die tägliche Gesamtaufnahme; PDE = permitted daily exposure/maximal akzeptierte tägliche Aufnahme von Verunreinigungen durch Elemente in pharmazeutischen Produkten; BMDL = Benchmark Doser Lower Confidence Limit; KGW = Körpergewicht

5.1.1.2 Ergebnisse

Auftretensdaten

Die Ergebnisse der Auswertung der vorliegenden AGES-Daten von tierischen Lebensmitteln für definierte Elemente und PAK sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Auswertung zeigt, dass meist nur sehr wenige, bis keine Auftretensdaten in den relevanten tierischen Lebensmitteln erhoben wurden. Im Falle von Aluminium, Chrom, Cobalt, Thallium lagen die gemessenen Gehalte in nahezu allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze. Im Falle von Benzo[a]pyren lagen die Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

Tabelle 4 AGES Auftretensdaten in ausgewählten tierischen Lebensmitteln

Kategorie	Parameter	Anzahl	Anzahl < BG/n.n.	MW [MB] mg/kg (Min – Max)
Milch (Kuh)	Aluminium	61	51	0,092 (< BG - 0,677)
Milch (Schaf)	Aluminium	1	0	0,117 (0,117 - 0,117)
Fleisch (Rind)	Aluminium	0	0	-
Fleisch (Schaf)	Aluminium	0	0	-
Milch (Kuh)	Bor	5	5	0,190
Milch (Schaf)	Bor	0	0	-
Fleisch (Rind)	Bor	0	0	-
Fleisch (Schaf)	Bor	0	0	-
Milch (Kuh)	Chrom	43	40	0,002 (< BG - 0,010)
Milch (Schaf)	Chrom	0	0	-
Fleisch (Rind)	Chrom	6	1	0,065 (< BG - 0,141)
Fleisch (Schaf)	Chrom	0	0	-
Milch (Kuh)	Cobalt	28	26	0,0004 (< BG - 0,0009)

Kategorie	Parameter	Anzahl	Anzahl < BG/n.n.	MW [MB] mg/kg (Min – Max)
Milch (Schaf)	Cobalt	1	1	0,0004
Fleisch (Rind)	Cobalt	0	0	-
Fleisch (Schaf)	Cobalt	0	0	-
Milch (Kuh)	Kupfer	164	0	0,040 (0,003 - 0,457)
Milch (Schaf)	Kupfer	7	0	0,572 (0,031 - 1,947)
Fleisch (Rind)	Kupfer	1192	0	0,804 (0,0001 - 15,2)
Fleisch (Schaf)	Kupfer	213	0	0,748 (0,331 - 1,325)
Milch (Kuh)	Molybdän	254	0	0,133 (0,002 - 1,133)
Milch (Schaf)	Molybdän	1	0	0,041 (0,041 - 0,041)
Fleisch (Rind)	Molybdän	6	1	0,078 (< BG - 0,279)
Fleisch (Schaf)	Molybdän	0	0	-
Milch (Kuh)	Selen	39	0	0,014 (0,004 - 0,030)
Milch (Schaf)	Selen	1	0	0,030 (0,030 - 0,030)
Fleisch (Rind)	Selen	221	0	0,092 (0,008 - 0,431)
Fleisch (Schaf)	Selen	34	1	0,056 (< BG - 0,122)
Milch (Kuh)	Thallium	28	28	0,0002
Milch (Schaf)	Thallium	1	1	0,0002
Fleisch (Rind)	Thallium	0	0	-
Fleisch (Schaf)	Thallium	0	0	-
Milch (Kuh)	Vanadium	29	9	0,003 (< BG - 0,007)
Milch (Schaf)	Vanadium	1	0	0,002

Kategorie	Parameter	Anzahl	Anzahl < BG/n.n.	MW [MB] mg/kg (Min – Max)
				(0,002 - 0,002)
Fleisch (Rind)	Vanadium	2	0	0,020 (0,018 - 0,022)
Fleisch (Schaf)	Vanadium	0	0	-
Milch (Kuh)	Zink	39	0	3,94 (2,81 - 5,21)
Milch (Schaf)	Zink	1	0	4,52 (4,52 - 4,52)
Fleisch (Rind)	Zink	4	0	45,3 (35,0 - 59,8)
Fleisch (Schaf)	Zink	0	0	-
Milch (Kuh)	Summe PAK4	4	3	0,00003 (< BG - 0,0001)
Milch (Schaf)	Summe PAK4	0	0	-
Fleisch (Rind)	Summe PAK4	0	0	-
Fleisch (Schaf)	Summe PAK4	0	0	-
Gesamt		2386	171	

BG = Bestimmungsgrenze; MW = Mittelwert; MB = Medium Bound; Min = Minimum; Max = Maximum; n.n. = nicht nachweisbar; PAK = Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Expositionsabschätzung und Risikocharakterisierung:

Die Ergebnisse der Expositionsabschätzung auf Basis der abgeleiteten Aktionswerte auf Basis 88 % TM zeigen, dass die Auslastung der jeweiligen toxikologischen Kennzahl unter Annahme eines Carry-Overs von 100 % oft unter 10 % liegt. Bei Aluminium, Kobalt, Kupfer, Vanadium, Bor und Zink war die Auslastung der toxikologischen Kennzahl für Milch mit 23 %, 23 %, 42 %, 21 %, 34 % und 34 % in einem höheren Bereich (über 10% der toxikologischen Kennzahl). Im Fall von Thallium würde der festgelegte Aktionswert in der Theorie zur Überschreitung der toxikologischen Kennzahl bei Milch (Kuh/Schaf) führen (122 %), während die errechnete Auslastung in Fleisch (Rind) bei 22% liegt. Bei Milch ist davon auszugehen, dass der Carry-Over-Faktor wesentlich unter 100 % liegt, was eine Überschreitung der toxikologischen Referenzwerte unwahrscheinlich macht. Bei Fleisch liegt der COF in Ausnahmefällen über 100 %. Leider konnten für diese Elemente keine COF

eruiert werden, was möglicherweise auch daran liegt, dass sie bisher aus toxikologischer Sicht bei tierischen Produkten keine Priorität hatten.

Auch die Berechnungen der Exposition anhand des abgeleiteten Alarmwerts auf Basis 88 % TM zeigte eine deutliche Überschreitung der toxikologischen Kennzahl für Milch bei Thallium, Vanadium, Kobalt, Selen, Zink und Kupfer.

Dies ist in erster Linie auf die angenommene durchschnittliche chronische Verzehrsmenge zurückzuführen. Zieht man allerdings die gemessenen Gehalte in Lebensmitteln für die Expositionsabschätzung heran, so zeigen diese, dass im Falle von Thallium die Auftretensdaten für Milch unter der Bestimmungsgrenze liegen. Auch bei den restlichen Elementen lagen die Gehalte um ein Vielfaches unter dem Aktions- beziehungsweise Alarmwert, was zu einer marginalen Auslastung der jeweiligen toxikologischen Kennzahl führt. AGES-Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des Elementes Thallium in Fleisch liegen aktuell nicht vor. Der deutsche VDI ging in den VDI-Richtlinien für Thallium davon aus, dass Normalgehalte an Thallium in tierischen Geweben unterhalb von 0,05 mg/kg Frischmasse liegen [60]. Da sich Thallium gemäß des deutschen VDI bei höheren Thalliumaufnahmen neben Leber und Nieren in geringerem Ausmaß auch in Muskelgewebe anreichern kann, leitete der deutsche VDI MID-Werte (MID = Maximale Immissionswerte) für Thallium in Hinblick auf eine mögliche Anreicherung in tierischen Lebensmitteln ab. Bei Einhaltung des MID-Werts wird gemäß VDI die genannte Thalliumkonzentration in Muskelgewebe nicht überschritten. Diese MID-Werte stellen die in dem vorliegenden Bericht festgelegten Alarmwerte dar.

Die Berechnung des MOE im Falle der PAK 4 auf Basis des abgeleiteten Aktionswerts zeigt, dass der MOE unterhalb von 10.000 liegt und somit der Sicherheitsabstand nicht ausreichend wäre, um von geringen Bedenken für die öffentliche Gesundheit ausgehen zu können. Betrachtet man die Auftretensdaten in Tabelle 4, so zeigt sich, dass der Mittelwert der in 4 Proben (Kuhmilch) gemessenen Gehalte deutlich unterhalb des Aktionswerts liegt und der MOE unter Berücksichtigung der gemessenen Gehalte in diesen Proben um einige Größenordnungen über dem MOE von 10000 liegt, was auf ein geringes Risiko negativer gesundheitlicher Effekte hindeutet. Weitere Auftretensdaten in anderen tierischen Lebensmitteln liegen aktuell nicht vor.

Die errechnete Auslastung der jeweiligen toxikologischen Kennzahl unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten für die toxischen Elemente in Lebensmitteln sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Tabelle 6 zeigt die errechneten MOE-

Werte für PAK 4 unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten.

Tabelle 5: Auslastung der toxikologischen Kennzahl unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten für die toxischen Elemente

Substanz	**Lebensmittel**	**Aktionswert (mg/kg)***	Auslastung Tox. Kennzahl (%) Basis: Aktionswert	Alarmwert (mg/kg)*	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: Alarmwert	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: AGES Auftretensdaten**
Aluminium	Milch (Kuh)	152	23	500	75	0,01
Aluminium	Milch (Schaf)	152	23	500	75	0,02
Aluminium	Fleisch (Rind)	152	4	500	13	Keine Daten vorhanden
Aluminium	Fleisch (Schaf)	152	0,2	500	1	Keine Daten vorhanden
Chrom	Milch (Kuh)	0,92	0,5	50	25	0,0001
Chrom	Milch (Schaf)	0,92	0,5	50	25	0,0001
Chrom	Fleisch (Rind)	0,92	0,08	50	4	0,01
Chrom	Fleisch (Schaf)	0,92	0,004	50	0,2	Keine Daten vorhanden
Vanadium	Milch (Kuh)	0,33	21	10	627	0,2
Vanadium	Milch (Schaf)	0,33	21	10	627	0,2
Vanadium	Fleisch (Rind)	0,33	4	10	112	0,2
Vanadium	Fleisch (Schaf)	0,33	0,2	10	6	Keine Daten vorhanden
Molybdän	Milch (Kuh)	5,48	0,01	5	0,01	0,0002
Molybdän	Milch (Schaf)	5,48	0,01	5	0,01	0,0001
Molybdän	Fleisch (Rind)	5,48	0,002	5	0,001	0,00002
Molybdän	Fleisch (Schaf)	5,48	0,0001	5	0,0001	Keine Daten vorhanden
Kupfer	Milch (Kuh)	19,5	42	40 100	86 215	0,1

Substanz	Lebensmittel	Aktionswert (mg/kg)*	Auslastung Tox. Kennzahl (%) Basis: Aktionswert	Alarmwert (mg/kg)*	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: Alarmwert	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: AGES Auftretensdaten**
Kupfer	Milch (Schaf)	19,5	42	20	43	1,2
Kupfer	Fleisch (Rind)	19,5	8	40 100	15 39	0,3
Kupfer	Fleisch (Schaf)	19,48	0,4	22,7	0,4	0,02
Thallium	Milch (Kuh)	0,1	108	0,5	538	0,2
Thallium	Milch (Schaf)	0,1	108	0,5	538	0,2
Thallium	Fleisch (Rind)	0,1	19	0,5	96	Keine Daten vorhanden
Thallium	Fleisch (Schaf)	0,1	1	0,5	5	Keine Daten vorhanden
Kobalt	Milch (Kuh)	0,24	23	22	2069	0,04
Kobalt	Milch (Schaf)	0,24	23	22	2069	0,04
Kobalt	Fleisch (Rind)	0,24	4	22	371	Keine Daten vorhanden
Kobalt	Fleisch (Schaf)	0,24	0,2	22	20	Keine Daten vorhanden
Selen	Milch (Kuh)	0,06	3	4,4	184	0,6
Selen	Milch (Schaf)	0,06	3	4,4	184	1,3
Selen	Fleisch (Rind)	0,06	0,5	4,4	33	0,7
Selen	Fleisch (Schaf)	0,06	0,02	4,4	2	0,0
Zink	Milch (Kuh)	81,1	34	500	209	1,6
Zink	Milch (Schaf)	81,1	34	300	125	1,9
Zink	Fleisch (Rind)	81,1	6	500	37	3,4
Zink	Fleisch (Schaf)	81,1	0,3	300	1	0,2
Bor	Milch (Kuh)	36,0	33,9	Kein Alarmwert abgeleitet	Kein Alarmwert abgeleitet	0,2

Substanz	Lebensmittel	Aktionswert (mg/kg)*	Auslastung Tox. Kennzahl (%) Basis: Aktionswert	Alarmwert (mg/kg)*	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: Alarmwert	Auslastung Tox. Ref-Wert (%) Basis: AGES Auftretensdaten**
Bor	Milch (Schaf)	36,0	33,9	Kein Alarmwert abgeleitet	Kein Alarmwert abgeleitet	Keine Daten vorhanden
Bor	Fleisch (Rind)	36,0	6,1	Kein Alarmwert abgeleitet	Kein Alarmwert abgeleitet	Keine Daten vorhanden
Bor	Fleisch (Schaf)	36,04	0,3	Kein Alarmwert abgeleitet	Kein Alarmwert abgeleitet	Keine Daten vorhanden

*auf Basis 88 % Trockenmasse; **meist nur geringe Anzahl an AGES-Auftretensdaten vorhanden

Tabelle 6: Auslastung toxikologischen Kennzahl unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten für die toxischen Elemente

Substanz	Lebensmittel	Aktionswert (µg/kg)*	MOE Basis: Aktionswert	MOE Basis: AGES Auftretensdaten**
Summe PAK 4	Milch (Kuh)	75,11	3012	6693714
Summe PAK 4	Milch (Schaf)	75,11	3012	Keine Daten vorhanden
Summe PAK 4	Fleisch (Rind)	75,11	16798	Keine Daten vorhanden
Summe PAK 4	Fleisch (Schaf)	75,11	313247	Keine Daten vorhanden

*auf Basis 88 % Trockenmasse; **meist nur geringe Anzahl an AGES-Auftretensdaten vorhanden

Unsicherheiten:

Die Expositionsabschätzung und Risikocharakterisierung sind mit einigen Unsicherheiten verbunden. Dies liegt zum einen daran, dass Verzehrsdaten per se mit Unsicherheiten behaftet sind, da von einer Verzehrserhebung eines Kollektivs auf die Gesamtbevölkerung geschlossen wird, der Befragungszeitraum nur 2 Tage umfasst und ein Bias bei den Angaben möglich ist. Zum anderen wurde für Schafmilch dieselbe Verzehrsmenge wie für Kuhmilch angenommen, da für diese Warengruppe keine konkreten Verzehrsdaten für Österreich vorlagen.

Für einige toxische Elemente wurden mangels entsprechender toxikologischer Daten keine gesundheitsbasierten Richtwerte, sondern andere Kenngrößen als Behelf herangezogen.

Da bis dato für nahezu alle toxischen Elemente sowie PAK keine Carry-over-Faktoren abgeleitet wurden, ist die Annahme eines Carry-overs von 100 % mit Unsicherheiten verbunden, die meist zu Über- oder in Ausnahmefällen auch zur Unterschätzung führen könnten. Um die Unsicherheiten diesbezüglich zu reduzieren, wurde die Expositionsabschätzung auf Basis des abgeleiteten Aktionswerts mit der Expositionsabschätzung auf Basis der gemessenen Gehalte in den jeweiligen tierischen Lebensmitteln verglichen. Hier ist allerdings darauf hinzuweisen, dass in den meisten Fällen nur bei einer geringen Anzahl an Proben Auftretensdaten erhoben wurden.

5.1.2 Expositionsabschätzung Futtermittel

5.1.2.1 Methodik

Untersuchungsdaten der AGES:
Im vorliegenden Projekt wurden bereits vorliegende Ergebnisse aus AGES-Daten in Grundfuttermitteln ausgewertet, die auf Konzentrationen der Zielelemente und PAK analytisch untersucht wurden. Die betreffenden Daten stammten sowohl aus Privatproben als auch aus Proben der Futtermittelkontrolle in den Bundesländern und auf Bundesebene. Aufgrund der im Projekt definierten Futtermittel für Zieltierarten (Rinder, Schafe) lag der Fokus auf Grundfuttermitteln (Heu, Gras- und Maissilage). Alle Futtermittelproben, welche in der AGES im Zeitraum 01.01.2007 - 31.12.2024 untersucht wurden, wurden berücksichtigt. Die Zuordnung der Futtermittelgruppe erfolge anhand der Probenbezeichnung (Heu, Gras- oder Maissilage) bzw. der Futtermittelart (Einzelfuttermittel). Die Proben ohne klar zuordenbare Bezeichnung wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Ebenso wurden Proben ausgeschieden, die im Rahmen der Erhebung von Umweltbelastungen gezogen wurden bzw. als Anlass- oder Verdachtsproben erkennbar waren.

Die Daten wurden ohne Beachtung der Herkunft der Proben und Kategorisierung (hoheitliche oder private Proben) ausgewertet. Eine Unterscheidung zwischen den

verschiedenen Schnittphasen im Falle von Heu wurde nicht getroffen. Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgte in Originalsubstanz. Zusätzlich wurden die Gehalte in Trockenmasse unter Annahme von 88 % bei Heu und jeweils durchschnittlich 35 % bei Gras- und Maissilage angegeben.

Tabelle 7: Gehalte an Elementen und Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Grundfuttermitteln (Heu, Gras- und Maissilage) aus AGES-Daten in mg/kg Originalsubstanz (OS)

Futtermittelart/ Parameter	Heu	Grassilage	Maissilage
Aluminium (Al)	372 ± 355	328 ± 186	21,3 ± 16,7
(mg/kg OS)	(28; 41,8-1731)	(12; 17,1-546)	(5; 11,6-51,0)
Bor (B)	6,58	5,26 ± 1,93	1,19 ± 0,35
(mg/kg OS)	(n = 1)	(12; 1,34-7,00)	(5; 0,96-1,80)
Chrom (Cr)	12,3 ± 11,8	0,66 ± 0,32	0,50 ± 1,01
(mg/kg OS)	(36; 0,51-45,5)	(13; 0,22-1,20)	(8; 0,06-2,99)
Kobalt (Co)	0,46 ± 0,99	0,15 ± 0,06	0,01 ± 0,007
(mg/kg OS)	(39; 0,056-6,37)	(12; 0,06-0,25)	(7; 0,005-0,02)
Kupfer (Cu)	9,25 ± 5,80	4,93 ± 4,80	3,69 ± 2,11
(mg/kg OS)	(69; 1,30-30,5)	(4; 1,30-12,0)	(3; 1,28-5,20)
Molybdän (Mo)	7,69 ± 8,45	12,2 ± 10,8	2,20 ± 2,82
(mg/kg OS)	(25; 0,73-36,0)	21; 0,14-42,9)	(11; 0,13-10,3)
Selen (Se)	0,043 ± 0,07	0,023 ± 0,019	0,009 ± 0,003
(mg/kg OS)	(157; 0,002-0,49)	(18; 0,002-0,072)	(6; 0,006-0,014)
Thallium (Tl)	0,009 ± 0,006	k.A.	k.A.
(mg/kg OS)	(25; 0,0002-0,022)		
Vanadium (V)	0,92 ± 0,75	1,12 ± 0,81	0,22 ± 0,17
(mg/kg OS)	(37; 0,07-3,17)	(15; 0,09-3,24)	(6; 0,056-0,54)
Zink (Zn)	30,4 ± 10,8	28,5 ± 9,9	19
(mg/kg OS)	(61; 14,6-57,8)	(3; 19,3-39,0)	(n = 1)
PAK 4	2,48 ± 3,23	k.A	k.A.
(µg/kg OS)	(4; 0,42-7,31)		

OS = Originalsubstanz (für Heu 88 % TM und für Silagen 35 % TM); PAK = Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe; k.A. = keine Angaben; Ergebnisse als Mittelwert ± Standardabweichung, in Klammer Probenzahl und Minimalwert - Maximalwert;

Expositionsabschätzung:

Die Expositionsabschätzung erfolgte unter Annahme von landestypischen Standard-rationen für Milchkühe, Mastrinder und Milchschafe, wobei hier nur die Grobfuttermittel Beachtung finden. Aus Fütterungsempfehlungen ist bekannt, dass sich unter Beachtung

der Wiederkäuergerechtigkeit sowohl die Ration der Milchkühe als auch der Mastrinder und Milchschafe zu mindestens 2/3 aus Grobfutter (Heu, Gras- und Maissilage) und maximal 1/3 aus Kraft- und Mineralfutter zusammensetzen soll [44, 65, 66].

Folgende Beispielrationen werden betrachtet [44, 66]:

- Milchkühe mit 20 kg TM-Aufnahme, davon 1 kg Heu, je 6,2 kg Mais- und Grassilage.
- Mastrinder mit 10 kg T-Aufnahme, davon 0,6 kg Heu, 1,5 kg Grassilage und 4,5 kg Maissilage.
- Milchschafe mit 3,1 kg TM-Aufnahme, davon 0,35 kg Heu, je 0,7 kg Mais- und Grassilage.

Daraus ergeben sich die Rationen in Originalsubstanz laut Tabelle 8.

Tabelle 8: Beispielrationen für Milchkühe und Mastrinder

Futterkomponente	Milchkühe	Mastrinder	Milchschafe
Heu (kg, 88 % TM)	1,14	0,70	0,40
Grassilage (kg, 35 % TM)	17,70	4,30	2,00
Maisilage (kg, 35 % TM)	17,70	12,90	2,00

TM = Trockenmasse

Aus den Futtermittel-Untersuchungsdaten wurden die Mittelwerte der einzelnen Elemente aus Tabelle 7 mit den jeweiligen Rationsanteilen hochgerechnet und in Tabelle 9 in Form der Gehalte je kg Futteraufnahme (mit 88 % Trockenmasse) dem Aktions- und Alarmwert gegenübergestellt.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Elementgehalte in den Rationen mit den Aktions- und Alarmwerten

Element (Basis 88 % TM)	Ration Milchkuh	Ration Mastrind	Ration Milchschaf	Aktionswert	Alarmwert
Aluminium (Al) (mg/kg)	291,04*	170,66*	242,11*	152,33	500
Bor (B) (mg/kg)	5,36	3,73	4,44	36,04	**
Chrom (Cr) (mg/kg)	1,52*	1,57*	2,07*	0,92	50
Kobalt (Co) (mg/kg)	0,15	0,10	0,14	0,24	22
Kupfer (Cu) (mg/kg)	7,19	k.A.	k.A.	19,48	100 (Milchkuh)
Kupfer (Cu) (mg/kg)	k.A.	6,60	k.A.	19,48	40 (Mastrind)
Kupfer (Cu) (mg/kg)	k.A.	k.A.	5,98	***	15 (Milchschaf)
Molybdän (Mo) (mg/kg)	11,61*	7,56*	9,11*	***	5
Selen (Se) (mg/kg)	0,03	0,02	0,02	0,06	4,4
Thallium (Tl) (mg/kg)	0,0005	0,0006	0,001	0,1	0,5
Vanadium (V) (mg/kg)	1,09*	0,73*	0,87*	0,33	10
Zink (Zn) (mg/kg)	38,56	34,12	30,62	81,05	500
PAK4 (µg/kg)	0,12	0,15	0,28	75,11	****

*Aktions-/Alarmwert überschritten; ** keine Daten verfügbar; *** Aktionswert über Alarmwert, daher nur Alarmwert; **** kein Alarmwert festlegbar; k.A. = keine Angabe.

Ergebnisse:
Der Abgleich mit den vorliegenden AGES-Untersuchungsdaten ergibt Überschreitungen der Aktionswerte für Aluminium, Chrom und Vanadium. Ähnlich ist die Situation bei Molybdän. Hier konnte kein Aktionswert festgelegt werden, da dieser über dem Alarmwert liegen würde. Es gilt also nur der Alarmwert, der in diesem Fall aufgrund der Untersuchungsergebnisse auch überschritten wurde.

Unsicherheiten:
Bei der vorliegenden Betrachtung wurden lediglich die Elementeinträge durch die Grobfutteranteile betrachtet, jene der restlichen Rationskomponenten blieben unberücksichtigt. Das spielt insbesondere für jene Elemente eine Rolle, die über zugelassene Spurenelementverbindungen gezielt supplementiert werden. Zugesetzt werden erfahrungsgemäß Kupfer, Zink, Selen und Kobalt, in seltenen Fällen auch Molybdän. Mit Ausnahme von Molybdän bleiben die anderen Elemente aber im vertretbaren Rahmen, da die Aktionswerte nicht ausgeschöpft werden. Lediglich bei Kupfer für Schafe gibt es keinen Aktionswert. In der Praxis der Mischfutterherstellung ist das Bewusstsein für die Problematik hoher Kupfergehalte aber gut verankert, sodass vielen Handelsfuttermitteln entweder gar keine oder nur sehr geringe Kupferdosen zugesetzt werden.

Auffällig bei den Ergebnissen ist weiters, dass die betrachteten Untersuchungsdaten allgemein, aber besonders in jenen Fällen, die eine Überschreitung der Aktions- bzw. Alarmwerte zeigen, eine starke (Chrom) bis sehr starke (Aluminium, Vanadium, Molybdän) Streuung aufweisen. Hier erreicht der Faktor zwischen niedrigstem und höchstem Wert eine Zahl bis zu > 300, was die Aussagekraft dieser Ergebnisse deutlich abschwächt. Zudem kommt in diesem Zusammenhang der Verdacht auf, dass nicht nur Stichproben aus weitgehend unbelasteten Gebieten untersucht wurden, sondern auch Verdachtsproben oder solche aus „Problemgegenden“, die bei der Eingrenzung des Datenmaterials nicht erkennbar waren und daher in die Auswertung eingeflossen sind. Für einzelne Elemente gibt es zudem nur sehr geringe Probenzahlen, wie z.B. allgemein für Bor und PAK, sowie insbesondere für Kupfer und Zink in Silagen.

5.2 Ableitung von Alarmwerten und Aktionswerten

Für nicht geregelte Stoffe bzw. Kontaminationen in Futtermitteln ist eine Risikobewertung im Hinblick auf die gesundheitlichen Auswirkungen auf Lebensmittel und/oder Tiere durchzuführen. Durch die Risikobewertung werden Aktions- bzw. Alarmwerte zur Vermeidung von negativen Effekten auf Tiere und Menschen abgeleitet. Aus Werten der üblichen Hintergrundbelastungen werden auf Basis von statistischen Kennzahlen Aktionswerte abgeleitet, die unter normalen Bedingungen eingehalten werden können. Bei Überschreitung dieser Aktionswerte sind die möglichen Ursachen für das erhöhte Auftreten zu eruieren, die Eintragswege der Kontamination zu identifizieren, um erforderlichenfalls geeignete Maßnahmen setzen oder veranlassen zu können.

Als mögliche Maßnahmen kommen u.a. in Frage:

- Begrenzung eines betroffenen Einzelfuttermittels in der Ration und/oder Ersatz durch eine weniger belastete Komponente.
- Information des Lieferanten.
- Je nach Kontaminant Änderung des Herstellungsverfahrens (z.B. anderes Heizmaterial bei direkter Trocknung).
- Entsprechende behördliche Maßnahmen mit der Vorgabe, auf gute Herstellungspraxis und ALARA-Prinzip zu achten.

Ist eine Substanz in der Richtlinie 2002/32/EG über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung [6] mit einem Höchstgehalt geregelt, ist dieser entscheidend für die Verkehrsfähigkeit eines Futtermittels. Die Ableitung eines Aktionswertes ist in diesem Fall grundsätzlich nicht notwendig.

Liegt kein Höchstgehalt für Futtermittel vor, so kann auf Aktions- bzw. Alarmwerte zurückgegriffen werden, um die Handlungsfähigkeit bei auffälligen Werten im Sinn der Futtermittelsicherheit zu gewährleisten. Die Ableitung erfolgt in mehreren Stufen und ist in Abbildung 2 dargestellt.

5.2.1 Übernahme von vorhandenen Aktions- oder Alarmwerten

Sollte kein Höchstgehalt für Futtermittel für die jeweilige Substanz vorliegen, kann im ersten Schritt geprüft werden, ob auf europäischer Ebene ein geeigneter nationaler

Höchstgehalt oder ein Aktions- oder Alarmwert existiert. Durch Zurückgreifen auf bereits vorliegende taugliche Werte können im Idealfall Missverständnisse durch unterschiedliche Höhen an Aktions- und Alarmwerten vermieden und Ressourcen zur Ableitung geschont werden.

Liegt weder ein Höchstgehalt noch ein Aktions- oder Alarmwert auf EU-Ebene oder auf Ebene eines EU - Mitgliedsstaaten vor, so wird basierend auf toxikologischen Daten beziehungsweise Auftretensdaten/Biomonitoringdaten ein Alarm- oder Aktionswert für die jeweiligen Substanzen in Futtermitteln abgeleitet.

5.2.2 Ableitung eines Alarmwerts

Grundsätzlich sollte ein Alarmwert so gesetzt werden, dass das Tier geschützt wird und bei den erzeugten tierischen Produkten die lebensmittelrechtlichen Höchstgehalte eingehalten werden können. Voraussetzung ist das Vorliegen robuster Carry Over Faktoren vom Futtermittel auf tierische Lebensmittel, andernfalls ist die Ableitung eines Alarmwertes nicht oder nur unter Worst-Case Annahmen (100% Carry-Over) möglich.

Dazu wird geprüft, ob von wissenschaftlichen Gremien für die jeweilige Substanz wissenschaftlich abgeleitete gesundheitsbasierte Richtwerte für Tiere abgeleitet (z.B. maximalen Immissions-Dosen (MID) des VDI) wurden, aus denen ein maximaler Toleranzwert bzw. Alarmwert in Futtermittel errechnet werden kann.

Liegt kein gesundheitsbasierter Richtwert für Tiere vor, so kann auf Basis von Höchstgehalten in Lebensmitteln oder eines auf Basis einer Risikobewertung für die menschliche Gesundheit ermittelten Toleranzwertes in Lebensmitteln ein Alarmwert für Futtermittel abgeleitet werden. Voraussetzung dafür ist allerdings das Vorliegen verlässlicher Carry-Over-Faktoren vom Futtermittel auf das tierische Lebensmittel sowie ein ADI für die menschliche Gesundheit. Andernfalls ist eine Ableitung eines Alarmwertes nicht oder nur unter „worst-Case“ Annahmen (z.B. 100% Carry-Over) möglich, was in vielen Fällen zu einer deutlichen Überschätzung des Risikos führen kann.

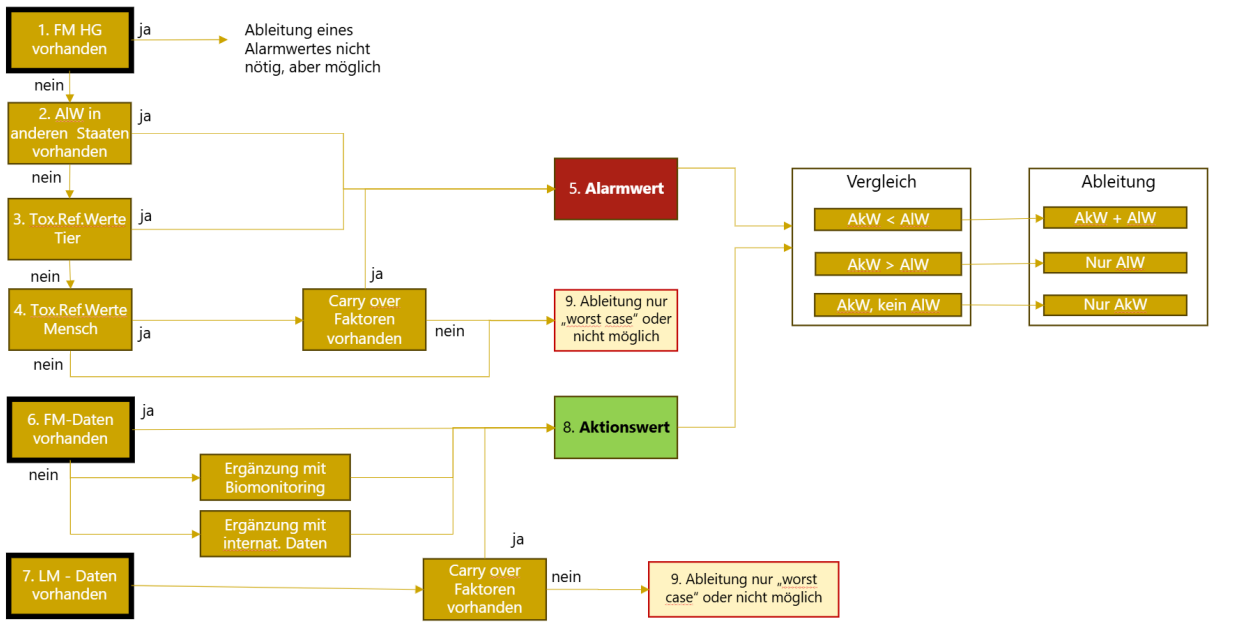
5.2.3 Ableitung eines Aktionswertes

Ein Aktionswert liegt üblicherweise unter einem Alarmwert und berücksichtigt, welche Schadstoffkontamination unter normalen landwirtschaftlichen Bedingungen nicht

überschritten werden. Diese Aktionswerte werden mit Hilfe von statistischen Auswertungen und Lagekennzahlen aus vorhanden Untersuchungen abgeleitet.

Auch hier kann mehrstufig vorgegangen werden und im Sinne der Ressourcenschonung und Vermeidung unterschiedlicher Aktionswerte werden bereits vorhandene taugliche Aktionswerte herangezogen. Daher werden in diesem Projekt die Orientierungswerte für die maximalen Hintergrundbelastungen (OmH) aus den Umweltbiomonitoringdaten der AGES [40] herangezogen. Da die OmH-Werte aus ländlichen Regionen oder solchen mit geringer Immissionsbelastung stammen, wird durch Multiplikation mit dem Faktor 1,5 ein Schwellenwert geschaffen, der zwischen geringer und deutlicher Immissionsbelastung unterscheidet. Erst bei Überschreitung des Aktionswertes (=OmH x 1,5) sollte der Ursache einer Kontamination in Form von Ursachenforschung/-ermittlung nachgegangen werden.

Abbildung 2: Ableitung von Alarmwerten (AlW) und Aktionswerten (AkW)



Abkürzungen: AkW- Aktionswert; AlW – Alarmwert; HG-Höchstgehalt (zugelassene Zusatzstoffe); FM – Futtermittel; LM – Lebensmittel; Tox.Ref.Werte Tier – toxikologische Referenz aus Literatur oder MID; MID (maximale Immissionsdosis) nach VDI; Tox.Ref.Werte Mensch – toxikologische Referenz

5.2.4 Sonderfälle bei der Ableitung von Aktions- und Alarmwerten

Im Optimalfall liegt ein abgeleiteter Aktionswert unter einem Alarmwert, d.h. die max. Hintergrundbelastung - multipliziert mit 1,5 - liegt unter dem Alarmwert, welcher nachteilige Effekte auf die Gesundheit von Tier und Mensch haben kann.

Liegt ein Aktionswert über dem Alarmwert, wird nur der Alarmwert herangezogen.

Ist, wie bei PAK 4 aufgrund der kanzerogenen Wirkung einzelner Kongenere eine Ableitung eines Alarmwertes nicht möglich, wird nur der Aktionswert fixiert. Das gleiche gilt bei Elementen, für die es keine oder zu wenig Daten zur Toxizität gibt.

6 Ergebnisse

6.1 Carry-Over-Rate bzw. -Faktor

Die Kenntnisse über die Carry-Over-Abläufe sind, im Sinne der Vermeidung von Kontamination von Lebensmitteln tierischer Herkunft mit unerwünschten Stoffen, unerlässlich. Die Literaturrecherche im Rahmen dieser Arbeit hat gezeigt, dass die vorliegenden Daten in diesem Zusammenhang teilweise nicht eindeutig zuordenbar sind. In bestimmten Fällen war unklar, ob es sich bei den Berechnungen um COR- oder COF-Werte handelt. Diese Unklarheit erschwert eine präzise Interpretation der Ergebnisse.

Aufgrund der mangelnden Literaturquellen zur COR wurde für die Bewertung der Expositionsschätzung zum Großteil die Berechnung der COF anhand der vorliegenden Daten aus den Studien herangezogen. Diese Daten müssen in der Bewertung mit Vorsicht betrachtet werden, da sie nur zur groben Schätzung des Transfers bzw. Anreicherung eines unerwünschten Stoffes zu einem bestimmten Zeitpunkt beitragen, ohne Berücksichtigung der Verfütterungsdauer und der Kinetik der analysierten Stoffe.

6.2 Abschätzung der Hintergrundbelastung in Futtermitteln auf Basis von AGES-Daten

Die Betrachtung der verfügbaren Untersuchungsdaten mehrerer Jahre sowohl aus Privatproben als auch von hoheitlichen Proben der Bundes- und Landesfuttermittelkontrolle haben gezeigt, dass viele Proben aus mit Industrie-Immissionen belasteten Gebieten stammen. Sofern diese Proben anhand der Probenbezeichnung erkennbar waren, wurden sie nicht beachtet. Bei einer Reihe von Proben war aber die Herkunft und auch der Grund für die Einsendung nicht ersichtlich, sodass aufgrund der starken Streuung der Elementgehalte (siehe Tabelle 7) angenommen werden muss, dass auch Verdachtsproben oder solche aus stark belasteten Gebieten in die Auswertung einbezogen wurden. Folglich ist davon auszugehen, dass die vorliegenden AGES-Daten für Heu, Gras- und Maissilage nicht repräsentativ für die Hintergrundbelastung der Herkunftsregionen in Österreich sind bzw. dass diese Belastung anhand der vorliegenden Durchschnittswerte überschätzt wird.

6.3 Entscheidung für die Auswahl von Aktions- und Alarmwerten

Die Expositionsabschätzung Lebensmittel hat gezeigt, dass die toxikologischen Kenndaten für Menschen deutlich unterschritten werden. Weiters wird in den VDI-Blättern für die hier relevanten Elemente darauf hingewiesen, dass bei der Festsetzung der Maximalen Immissions-Dosis (MID) für Futtermittel schon allfällige Auswirkungen auf Lebensmittel berücksichtigt wurden. Daher ist der MID nicht nur als Anhaltspunkt für die toxikologische Relevanz beim Tier zu sehen, sondern berücksichtigt bereits allfällige Überträge in die tierischen Lebensmittel Milch und Fleisch.

Bei den vorliegenden Untersuchungsdaten für die Futtermittel Heu, Gras- und Maissilage haben sich bei der Auswertung sehr große Streuungsbereiche ergeben, die die Aussagekraft von Durchschnittswerten relativieren und zudem Zweifel an der Repräsentanz für österreichische Verhältnisse aufkommen lassen. Die Ergebnisse legen nahe, dass auch Proben aus stark belasteten Gebieten oder konkrete Verdachtsproben mitberücksichtigt wurden, ohne dass dies aus der Probenbezeichnung erkennbar gewesen ist, und somit eine belastbare Aussage zur allgemeinen Hintergrundbelastung mit den hier relevanten Elementen nicht ableitbar ist.

Aus den vorgenannten Gründen wurde entschieden, dass für die Aktionswerte das Biomonitoring der AGES heranzuziehen ist, wobei der jeweilige Aktionswert durch Multiplikation des Orientierungswertes für die maximale Hintergrundbelastung (OmH) mit dem Faktor 1,5 ermittelt wird. Der damit erzielte Wert stellt die Schwelle zwischen geringer und deutlicher Immissionsbelastung dar und soll als Auslöser für die Suche und Eliminierung der Ursache dienen.

Die Alarmwerte orientieren sich mehrheitlich an den in den jeweiligen VDI-Blättern veröffentlichten MID bzw. wurden in Einzelfällen aus der Literatur abgeleitet (siehe dazu Verweise im nächsten Kapitel).

6.4 Festgelegte Aktions- und Alarmwerte

In der nachfolgenden Tabelle werden die festgelegten und ermittelten Aktions- und Alarmwerte abgebildet.

Tabelle 10: Aktions- und Alarmwerte für Elemente in Futtermitteln für Rinder und Schafe nach Biomonitoring der AGES, MID nach VDI und Literatur auf Basis 88 % Trockenmasse und 100 % Trockenmasse in runder Klammer.

Element/Stoffgruppe	Aktionswert	Alarmwert
Al – Aluminium (mg/kg)	152,33 (173,1)	500 (568)
B – Bor (mg/kg)	36,04 (40,95)	k.A.
Cr – Chrom (mg/kg)	0,92 (1,04)	50 (56,8)
Co – Kobalt (mg/kg)	0,24 (0,28)	22 (25)
Cu – Kupfer (Schafe, mg/kg)	[19,48 (22,14)]	15 (17) ***
Cu – Kupfer (Jungrinder, mg/kg)	19,48 (22,14)	40 (45,5)
Cu – Kupfer (Milchkühe, mg/kg)	19,48 (22,14)	100 (114)
Mo – Molybdän (mg/kg)	[5,48 (6,23)]	5 (5,7)
Se – Selen (mg/kg)	0,06 (0,07)	4,4 (5)
Tl – Thallium (mg/kg) *	0,1 (0,11)	0,5 (0,57)
V – Vanadium (mg/kg) *	0,33 (0,38)	10 (11,4)
Zn – Zink (Schafe, mg/kg)	81,05 (92,1)	300 (341)
Zn – Zink (Rinder, mg/kg)	81,05 (92,1)	500 (568)
PAK (4) – Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (µg/kg) **	75,11 (85,35)	k.A.

* Alarmwerte für Schafe werden auch für Rinder verwendet; ** PAK-Wert aus Frischmasse mit Annahme 10 % Trockenmasse umgerechnet; *** als Mittelwert des Bereiches nach VDI von 10-20; k.A. = keine Angabe; [ ] Aktionswert (teilweise) höher, als Alarmwert → nur Alarmwert anzuwenden.

6.5 Anmerkungen zu den festgelegten Aktions- und Alarmwerte

Für Bor gibt es kaum Literatur, auch wurde nach VDI kein MID festgelegt. Toxikologische relevante Gehalte werden unter normalen Bedingungen nicht erwartet.

Der MID für Kobalt wird nach VDI mit 10-50 mg/kg in Tierfutter ohne Angabe zur Trockenmassebasis angegeben. Hier wurde aus der Literatur [1, 8] ein Alarmwert von 25 mg/kg ausgewählt.

Bei Kupfer liegt der Aktionswert für Schafe aufgrund deren hoher Empfindlichkeit über dem Alarmwert, weshalb nur der Alarmwert zur Anwendung kommt. Der Kupfer-MID für

Schafe wird nach VDI als Bereich von 10-20 mg/kg angegeben, weshalb hier der Alarmwert im Mittel mit 15 mg/kg dargestellt und in der Literatur mit diesem Wert [1] bestätigt wird.

Molybdän ist das einzige Element, bei dem der Aktionswert für alle Nutztierarten den Alarmwert übersteigt. Entsprechend kommt hier nur ein Alarmwert zur Anwendung. Wie in der Gefahrenbeschreibung zu Molybdän ausgeführt wird, gibt es für dieses Element eine starke Wechselwirkung mit Kupfer, sodass im Anlassfall immer auch der jeweilige Kupfergehalt in die Bewertung einzubeziehen ist (bei ausreichend Kupfer gibt es eine bessere Verträglichkeit von höheren Molybdängehalten bei Rindern).

Für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK 4) wurde nur ein Aktionswert festgelegt, da aufgrund der kanzerogenen Wirkung einzelner PAK-Verbindungen kein Alarmwert ableitbar ist. Hier ist weiters anzumerken, dass die betrachteten Einzelfuttermittel Heu, Gras- und Maissilage in der Regel nicht einer direkten Trocknung ausgesetzt werden, was sich in Form der niedrigen Analysenwerte in den AGES-Futtermittelproben widerspiegelt.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: AGES-Biomonitoring – auszugsweise Darstellung 27
Tabelle 2: durchschnittliche chronische Verzehrsdaten österreichischer Erwachsener für relevante Warengruppen aus der Comprehensive European Food Consumption Database [62] 30
Tabelle 3: Übersicht Toxikologische Kennzahlen für die Aufnahme der Elemente und PAK4 durch den Menschen 32
Tabelle 4 AGES Auftretensdaten in ausgewählten tierischen Lebensmitteln 33
Tabelle 5: Auslastung der toxikologischen Kennzahl unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten für die toxischen Elemente 37
Tabelle 6: Auslastung toxikologischen Kennzahl unter Berücksichtigung des abgeleiteten Aktionswerts und der AGES Auftretensdaten für die toxischen Elemente 39
Tabelle 7: Gehalte an Elementen und Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Grundfuttermitteln (Heu, Gras- und Maissilage) aus AGES-Daten in mg/kg Originalsubstanz (OS) 42
Tabelle 8: Beispielrationen für Milchkühe und Mastrinder 43
Tabelle 9: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Elementgehalte in den Rationen mit den Aktions- und Alarmwerten 44
Tabelle 10: Aktions- und Alarmwerte für Elemente in Futtermitteln für Rinder und Schafe nach Biomonitoring der AGES, MID nach VDI und Literatur auf Basis 88 % Trockenmasse und 100 % Trockenmasse in runder Klammer. 52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dosis-Wirkungs-Kurve für Elemente in der Tierernährung 10
Abbildung 2: Ableitung von Alarmwerten (AlW) und Aktionswerten (AkW)..... 48

Literaturverzeichnis

1. National Research Council (NRC): Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press; 2005.

2. Boudebbouz, A/Boudalia, S/Bousbia, A/Habila, S/Boussadia, MI/Gueroui, Y: Heavy metals levels in raw cowmilk and health risk assessment across the globe: A systematic review. Science of the total Environment. 2021; 751(141830).

3. Monteverde V/Camilleri G/Arfuso F/Pennisi M/Perillo L/Patitò G et al.: Heavy Metal Levels in Milk and Serum of Dairy Cows from Different Farms Located near an Industrial Area. Animals 2022, 12(19):2574.

4. Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (Hg): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH 2023, Bd. 2023, 1. Aufl., S. 288.

5. Dänicke, GFS/Isselstein, J/Jeroch, H/Schenkel, H/Schöne, F/Steinhöfel, O/Windisch, W: Handbuch der Futtermittel; Herkunft, Eigenschaften, Verwendung: ERLING Verlag GmbH & Co. KG, Clenze 2023, 1. Aufl., S. 700.

6. Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 140 vom 30.05.2002. S. 10–22. Verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32002L0032].

7. Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe für die Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Union, L 268 vom 18.10.2003. S. 29–43. Verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32003R1831].

8. Suttle, N.: Mineral Nutrition of Livestock. Wallingford and Boston: CAB International 2022. 5. Aufl. S. 600.

9. Zhou, X/Qu, X/ Zhao, S et al.: Analysis of 22 Elements in Milk, Feed, and Water of Dairy Cow, Goat, and Buffalo from Different Regions of China. Biol Trace Elem Res 2017, 176 (1):120–9.

10. Lichtmannsperger, K/Hechenberger, N/Psenner, A/Marseiler, M/Hildebrand, A/Müller, E et al.: Macromineral, micromineral and metal concentration of bovine colostrum samples from Salzburg, Austria. Journal of Trace Elements and Minerals 2024, 10:100203.

11. Elmadfa, I/ Leitzmann, C: Ernährung des Menschen. Stuttgart: Ulmer Eugen Verlag 2023, 7. Aufl., S. 814.

12. International Agency for Research on Cancer (IARC): Chemical Agents and Related Occupations. In: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France: IARC 2012, Bd. 100F.

13. European Food Safety Authority (EFSA): Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). EFSA Journal 2008, 6(7):754.

14. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP), Bampidis, V/Azimonti, G/Bastos, MdL/Christensen, H et al.: Safety and efficacy of Availa®Cr (chromium chelate of DL-methionine) as a feed additive for dairy cows. EFSA Journal 2020, 18(2):e06026.

15. Wang, H/Jiang, Y/Tian, C/Pan, R/Dang, F/Feng, J/Li, M/Zhang, Y/Li, H/Man, C: Determination of the transfer of lead and chromium from feed to raw milk in Holstein cows. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess 2018, 35(10):1990-9.

16. Chang, X/Mowat, DN/Spiers, GA: Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. Canadian Journal of Animal Science 1992, 72(3): 663-669.

17. Olkowski AA: Livestock Water Quality: A Field Guide for Cattle, Horses, Poultry and Swine. Agriculture and Agri-Food Canada 2009. S. 180.

18. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D/ Castenmiller, J/ De Henauw, S/ Hirsch-Ernst, KI et al.: Safety of selenium-enriched biomass of Yarrowia lipolytica as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal 2020, 18(1):e05992.

19. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP): 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 2012, 10(7):2791.

20. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for selenium. EFSA Journal 2014, 12(10):3846.

21. Givens, DI/ Allison, R/ Cottrill, B/ Blake, JS: Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. J. Sci. Food Agric. 2004, 84: 811-817.

22. EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed): Scientific opinion on the revision of the currently authorised maximum copper content in complete feed. EFSA Journal 2016, 14(8):4563.

23. Moschini, M/ Battaglia, M/ Beone, GM/ Piva, G/ Masoero, F: Iodine and selenium carry over in milk and cheese in dairy cows: effect of diet supplementation and milk yield. Animal 2010, 4(1):147-55.

24. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain): Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. EFSA Journal 2014, 12(3):3595.

25. Scientific Committee on Food (SCF): Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. European Food Safety Authority 2006. Verfügbar unter: [http://www.efsa.europa.eu/de/ndatopics/docs/ndatolerableuil.pdf].

26. EFSA Scientific Committee, More, SJ/ Bampidis, V/ Benford, D/ Bragard, C et al.: Scientific Opinion on the re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. EFSA Journal 2023, 21(1):7728.

27. National Food Institute - Technical University of Denmark, Doulgeridou, A/ Amlund, H/ Sloth, JJ/ Hansen M: Review of Potentially Toxic

Rare Earth Elements, Thallium and Tellurium in Plant-based Foods. EFSA Journal 2020, 18(S1):e181101.

28. Gierus, M/ Schwarz, FJ/ Kirchgessner, M: Selenium supplementation and selenium status of dairy cows fed diets based on grass, grass silage or maize silage. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 2002. 86: 74-82.

29. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for molybdenum. EFSA Journal 2013, 11 (8):3333.

30. Scientific Committee on Food (SCF): Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Molybdenum. Scientific Committee on Food 2000. Verfügbar unter: [https://food.ec.europa.eu/document/download/7fa5625c-6327-4c44-a45f-3a5ddd43ef16_en].

31. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens), Turck, D/ Bohn, T/ Castenmiller, J/ de Henauw, S et al. Scientific opinion on the tolerable upper intake level for selenium. EFSA Journal 2023, 21(1):7704.

32. Scientific Committee on Food (SCF): Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Zinc. Scientific Committee on Food 2002. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out177_en.pdf].

33. International Council for Harmonisation (ICH): ICH Harmonised Guideline Q3D(R2) - Guideline for Elemental Impurities. 2013. Verfügbar unter: [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].

34. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES): Second French Total Diet Study (TDS 2) – Report 1 – Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens. ANSES 2011. Verfügbar unter: [https://www.anses.fr/en/system/files/PASER2006sa0361Ra1EN.pdf].

35. International Programme on Chemical Safety (IPCS): Environmental health criteria 182, Thallium. Geneva: World Health Organisation 1996. Verfügbar unter: [https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc182.htm].

36. Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit (AGES): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Steckbrief AGES 2025. Verfügbar unter: [https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak].

37. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. The EFSA Journal 2008, 724, 1–114.

38. Scientific Committee on Food (SCF): Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. Scientific Committee on Food 2002. Verfügbar unter: [https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-12/sci-com_scf_out153_en.pdf].

39. European Food Safety Authority (EFSA): Management of left-censored data in dietary exposure assessment of chemical substances. EFSA Journal 2010, 8(3).

40. Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit (AGES): Aktives und passives Monitoring, Orientierungswerte für Maximale Hintergrundgehalte (OmH). AGES 2025. (unveröffentlicht).

41. Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit (AGES): Beurteilungshinweise Biomonitoring. AGES 2023. (unveröffentlicht).

42. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies): Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to zinc and normal function of the immune system pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal 2014, 12(5):3653.

43. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food on a Request from the Commission on Vanadium Compounds as Sources for Vanadium. The EFSA Journal 2008 634, 1–15.

44. Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Tiefenthaller F: Rationsvorschläge Milchvieh, Leistungsgerechte Kraftfutterergänzung. Beratungsstelle Rinderproduktion OÖ 2020.

45. Kampf, D/ Losand, B: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. Frankfurt am Main: DLG e.V. 2025, 1. Aufl. Verfügbar unter: [https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Landwirtschaft/Tierhaltung/Futtermittel/Fachinfos/Rinder/Futterwerttabellen_fuer_Wiederkaeuer/DLG_Futterwerttabellen.pdf].

46. Martens, SD/ Majewska-Pinda, A/ Benkmann, A/ Zentek, J./Spolders, M/ Simon, A/ Schafft, A/ Steinhöfel, O: Influence of soil contamination before and after ensiling on mineral composition of grass silages, feed intake and carry-over to body tissue of goats. Journal of Animal and Feed Sciences 2018, 27(4):307–316.

47. Post, L/ Williams, S/ Applegate, C/ Jones, B/ Herrman, T/ Bailey, M: Risk Assessment of Copper and Molybdenum and Other Minerals in Feed Ingredients and Finished Feeds. Journal of Regulatory Science 2019, 7:1-9.

48. Tremel, A/ Masson, P/ Garraud, H/ Donard, OFX/ Baize, D/ Mench, M: Thallium in French agrosystems—II. Concentration of thallium in field-grown rape and some other plant species. Environmental Pollution 1997, 97(1):161-8.

49. Humphreys, DJ: Thallium. In: Humphreys, DJ (Hg.): Veterinary Toxicology. London: Baillières Tindall Verlag. 1988, S. 73-74.

50. Stöber, M: Thalliumvergiftung. In: Rosenberger, G (Hg.): Krankheiten des Rindes. Berlin: Blackwell-Wissenschafts-Verlag 1978, S. 1133.

51. Dmowski, K/ Rossa, M/ Kowalska, J, et al.: Thallium in spawn, juveniles, and adult common toads (Bufo bufo) living in the vicinity of a zinc-mining complex, Poland. Environ Monit Assess 2015, 187: 4141.

52. Şahin T, Dalga S, Olmez M: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Their Importance in Animal Nutrition. 2022; 10.5772/intechopen.101816.

53. BMLEH. Arbeitsgruppe "Carry over unerwünschter Stoffe in Futtermitteln" beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Votum zu Polyzyklischen

aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Futtermitteln vom 3. März 2004 2004. Verfügbar unter: [https://www.bmleh.de/DE/themen/tiere/futtermittel/ag-carry-over-pak.html].

54. Celik C, Cetinkaya N: Effects of Boron Supplementation in Dairy Cow Close-Up Rations on Colostrum Quality and Certain Blood Metabolites in Calves. Biological Trace Element Research. 2025;203(6):3075-87.

55. European Food Safety Authority (EFSA): Scientific Opinion on the re-evaluation of boric acid (E 284) and sodiumtetraborate (borax) (E 285) as food additives. The EFSA Journal 2013, 11 (10):3407.

56. EFSA Scientific Committee, Hardy, A/ Benford, D/Halldorsson, T/ Jeger, MJ et al.: Guidance on the assessment of the biological relevance of data in scientific assessments. EFSA Journal 2017, 15(8):4970.

57. EFSA Panel on Additives and Products or substances used in Animal Feed (FEEDAP), Bampidis, V/Azimonti, G/Bastos, MdL/Christensen, H et al. Safety and efficacy of a molybdenum compound (E7) sodium molybdate dihydrate as feed additive for sheep based on a dossier submitted by Trouw Nutrition International B.V. EFSA Journal. 2019, 17(2):e05606.

58. EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed), Bampidis, V/Azimonti, G/Bastos, ML/Christensen, H: Consumer safety of feed additives containing selenium. EFSA Journal 2024, 22(6), e8857.

59. EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed): Scientific Opinion on the potential reduction of the currently authorised maximum zinc content in complete feed. EFSA Journal 2014, 12(5):3668.

60. Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Maximale Immissions-Werte für Thallium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. 2000; VDI 2310, Blatt 29.

61. Department of Nutritional Sciences, University of Vienna, Austria, König, J/Hasenegger, V/ Rust. P:. EU Menu Austria: Food consumption data for Austrian adolescents, adults and pregnant women. EFSA supporting publication 2019, 16(12): EN-1754.

62. European Food Safety Authority (EFSA): Food consumption data: The Comprehensive Food Consumption Database. EFSA 2022. Verfügbar unter: [https://www.efsa.europa.eu/en/data-report/food-consumption-data].

63. European Food Safety Authority (EFSA): Glossary. EFSA 2025. Verfügbar unter: [https://www.efsa.europa.eu/en/glossary/tolerable-upper-intake-level].

64. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Glossar. BfR 2025. Verfügbar unter: [https://www.bfr.bund.de/glossar/].

65. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe und Ziegen. 48. Aufl., Nachdruck November 2024. Verfügbar unter [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_milchvieh-2024_lfl-information.pdf].

66. Österreichischer Bundesverband für Schafe und Ziegen: Fütterung von Schafen zur Milch- und Qualitätslämmererzeugung, Dezember 2021. Verfügbar unter [https://www.schafe-ooe.at/fileadmin/user_upload_schafe_ooe/broschueren/fuetterung_von_schafen_k3.pdf] .

67. Futtermittelgesetz 1999, konsolidierte Fassung. Verfügbar unter [RIS - Futtermittelgesetz 1999 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 22.12.2025].

68. Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. Verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002R0178-20240701].

69. Futtermittelverordnung 2010, konsolidierte Fassung. Verfügbar unter [RIS - Futtermittelverordnung 2010 - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 28.12.2025].

70. Verordnung (EU) 2023/915 der Kommission vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Verfügbar unter [https:// eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02023R0915-20251008].

71. Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Februar 2005 über Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs. Verfügbar unter [https://publications.europa.eu/resource/cellar/80729bc7-cfda-11f0-8da2-01aa75ed71a1.0005.02/DOC_1].

Abkürzungen

ADI	Acceptable daily intake
AkW	Aktionswert
ALARA	as Low As Reasonably Achievable
AlW	Alarmwert
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BaP	Benzo[a]pyren
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMD	Benchmark Dose
BMDL10	Benchmark Dose Lower Confidence Limit 10 %
COF	Carry-over Faktor
COR	Carry-over Rate
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
FEEDAP	EFSA-Panel für Zusatzstoffe und Produkte oder Substanzen in der Tierernährung
FM	Futtermittel
ICH	International Council for Harmonisation
KGW	Körpergewicht
MOE	Margin of exposure
MID	Maximale Immissionsdosis
MRL	Maximum Residue Level (Rückstandshöchstmenge)
NRC	National Research Council, USA
OmH	Orientierungswert für die maximale Hintergrundbelastung
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PDE	permitted daily exposure/maximal akzeptierte tägliche Aufnahme
SCF	Scientific Committee on Food (EFSA)
TDI	Tolerable Daily Intake
TWI	Tolerable Weekly Intake
TM	Trockenmasse
UL	Upper Level
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHO	World Health Organisation