

29. Mai 2026

BfR-MEAL-Studie zu Cadmium in Lebensmitteln: Gesundheitliche Beeinträchtigungen für die Mehrheit der Bevölkerung nicht zu erwarten

In Kürze

- **Cadmium in der Nahrungskette.** Cadmium kommt als seltenes Element in der Erdkruste vor. Es kann sowohl durch natürliche Prozesse (Vulkanausbrüche, Verwitterung von Gestein) aber auch durch menschliche Aktivitäten freigesetzt werden. In die Nahrungskette gelangt es, wenn es zum Beispiel von für die Lebensmittelproduktion genutzten Pflanzen und Tieren aufgenommen wird.
- **Cadmium im menschlichen Körper.** Das über die Nahrung aufgenommene Cadmium reichert sich aufgrund seiner langen biologischen Halbwertszeit von 10 – 30 Jahren im menschlichen Körper an, insbesondere in der Leber und den Nieren. Cadmium im menschlichen Körper wird mit einer Vielzahl von gesundheitlichen Beeinträchtigungen in Verbindung gebracht. Besonders empfindlich gegenüber Cadmium sind die Nieren. Weiterhin kann Cadmium zu einer Demineralisierung der Knochen führen.
- **BfR-MEAL-Studie.** Im Rahmen der Ernährungsstudie MEAL (Mahlzeiten für die Expositionsschätzung und Alytik von Lebensmitteln) wurde in Deutschland großflächig untersucht, in welchen Konzentrationen Stoffe durchschnittlich in Lebensmitteln enthalten sind. Dazu wurden Lebensmittel eingekauft, jeweils so zubereitet wie sie als fertige Gerichte typischerweise verzehrt werden und auf ihre Inhaltsstoffe hin analysiert – darunter auch auf Cadmium. So können Gehaltsänderungen, die ggf. im Zuge der Zubereitung der Mahlzeiten erfolgen, berücksichtigt werden. Die Studie berücksichtigt mehr als 90 Prozent der gesamten deutschen Lebensmittelpalette. Damit stehen repräsentative Daten hinsichtlich der durchschnittlichen Gehalte eines breiten Spektrums an Lebensmitteln zur Verfügung. Sie bieten damit eine sehr gute Basis für die Ermittlung der durchschnittlichen Exposition.
- **Auswertung der MEAL-Studienergebnisse für Cadmium.** Um für diese Stellungnahme die durchschnittliche nahrungsbedingte Cadmiumaufnahme der Bevölkerung in Deutschland schätzen zu können, wurden die Analyseergebnisse zu Cadmiumgehalten in Lebensmitteln aus der BfR-MEAL-Studie mit Verzehrdaten aus verschiedenen

Verzehrstudien für Kinder (KiESEL-Studie, EsKiMo II), Jugendliche und Erwachsene (NVS II) kombiniert.

- **Lebensmittel mit den höchsten Cadmium-Gehalten.** In der BfR-MEAL-Studie gehörten Steinpilze, Kakaopulver, Sonnenblumenkerne, Leinsamen und Algen zu den pflanzlichen Lebensmitteln mit den höchsten Gehalten. Bei den tierischen Lebensmitteln fanden sich die höchsten Cadmiumgehalte in Leber, Niere, Tintenfisch und Muscheln.
- **Lebensmittel mit dem höchsten Beitrag zur Cadmiumaufnahme in der Bevölkerung.** Für die Schätzung der Gesamtaufnahme spielt nicht nur der Gehalt, sondern auch die Verzehrmenge eine Rolle. So können auch Lebensmittel mit geringeren Cadmiumgehalten aber hohen langfristigen Verzehrmenngen einen erheblichen Beitrag zur Gesamtaufnahme leisten. Im Durchschnitt aller Befragten leisten „Getreide und Getreideprodukte“ in allen Altersgruppen mit 40 % bis 50 % den höchsten Beitrag zur Cadmiumaufnahme. Darunter sind es vor allem Weizenprodukte, wie Weißbrote/Brötchen, Teigwaren, Vollkorn- und Graubrote. Aber auch Kartoffeln sind bei allen betrachteten Altersgruppen unter den drei Lebensmitteln mit dem höchsten Beitrag zur Cadmiumexposition zu finden. Die Hauptgruppe „Kartoffeln und Kartoffelprodukte“ leistet mit 13 % bis 15 % den zweithöchsten Anteil an der Exposition. Weizen- und Kartoffelprodukte weisen zwar nicht die höchsten Gehalte auf, die Cadmiumbelastung ergibt sich aber aus den hohen Mengen, in denen sie von der Gesamtbevölkerung verzehrt werden.

Bei Kindern nehmen Verzehrende von Spinat bzw. Rahmspinat am meisten Cadmium auf. Spinat gehört zu den zehn Lebensmitteln mit den höchsten Gehalten aus der BfR-MEAL-Studie. Rahmspinat hat durch die weiteren Zutaten etwas geringere Gehalte, wird jedoch deutlich häufiger verzehrt.

- **Fazit.** Für den Großteil der Bevölkerung liegt die Cadmiumaufnahme unterhalb des gesundheitsbasierten Richtwerts TWI (Tolerable Weekly Intake) von 2,5 µg/kg Körpergewicht und Woche und es besteht eine niedrige Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen. Bei bestimmten Bevölkerungsgruppen ist die aus den MEAL-Daten ermittelte Exposition gegenüber Cadmium höher. So überschreitet die Exposition bei Kindern bestimmter Altersgruppen, abhängig von den verzehrten Lebensmitteln, den TWI.
- **Empfehlungen für Verbraucherinnen und Verbraucher.** Da Cadmium durch natürliche Prozesse (Vulkanausbrüche, Verwitterung von Gestein) aber auch durch menschliche Aktivitäten freigesetzt wird und in die Nahrungskette gelangt, lässt sich das Vorkommen von Cadmium in Lebensmitteln nicht vollständig vermeiden. Eine vielfältige, abwechslungsreiche und bunte Lebensmittelauswahl hilft jedoch dabei, den Eintrag unerwünschter Stoffe, wie das Cadmium, möglichst niedrig zu halten und sorgt darüber hinaus für eine ausgewogene Nährstoffzufuhr.

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat in der vorliegenden Stellungnahme eine Expositionsschätzung auf Basis der Ergebnisse aus der BfR-MEAL-Studie zu Cadmium, inklusive einer Gegenüberstellung mit aktuell gültigen gesundheitsbasierten Richtwerten vorgenommen.

2 Ergebnis

Cadmium ist ein Schwermetall, das natürlich in Böden und Gewässern vorkommt oder über anthropogene Einflüsse in die Umwelt gelangt. Aus Boden und Wasser gelangt Cadmium in Pflanzen und Tiere und darüber schließlich als Umweltkontaminante in die Nahrungskette. Für die nicht-rauchende Bevölkerung gelten Lebensmittel als Hauptquelle der Cadmiumexposition. Weiterhin kann Cadmium über Tabak, Umgebungsluft, Hausstaub oder Spielzeug aufgenommen werden. Cadmium wird u. a. mit Nierenschäden, Knochendemineralisation und der Entstehung von Krebs in Verbindung gebracht. Basierend auf dem cadmiumbedingten Anstieg eines Effektmarkers für tubuläre Nierenschädigung im Urin leitete die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im Jahr 2009 eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme von Cadmium (Tolerable Weekly Intake, TWI) von 2,5 Mikrogramm pro Kilogramm ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Körpergewicht (KG) und Woche ab, welche für die gesundheitliche Bewertung der externen, alimentären Cadmiumaufnahme herangezogen wird.

Die alimentäre Cadmiumexposition wurde für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in Deutschland berechnet. Als Grundlage für den Verzehr wurden die derzeit aktuellsten, repräsentativen Verzehrstudien „Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehrs“ (KiESEL-Studie), Ernährungsstudie als KiGGS-Modul (EsKiMo II) und Nationale Verzehrstudie II (NVS II) herangezogen. Die Cadmiumgehaltsdaten basieren auf der Erhebung der Nationalen Total-Diet-Studie (BfR-MEAL-Studie). Die BfR-MEAL-Studie zeichnet sich durch die Abdeckung von >90 % des Verzehrs und die Berücksichtigung zubereitungsbedingter Gehaltsveränderungen aus.

Die ermittelte Cadmiumexposition führt im Median für keine der betrachteten Altersgruppen zu einer TWI-Überschreitung, liegt aber für Kinder unter drei Jahren im Bereich des TWI mit einem prozentualen Anteil von bis zu 93 %. Die geschätzte hohe Exposition (P95) gegenüber Cadmium führt bei Kindern im Alter von 0,5 bis <10 Jahren zu einer bis zu 1,5-fachen TWI-Überschreitung. Unter Betrachtung der Gesamtbevölkerung leisten „Getreide und Getreideprodukte“ (v. a. Weizenprodukte) sowie „Kartoffeln und Kartoffelprodukte“ vor allem bedingt durch ihren hohen Verzehr den größten Beitrag zur Exposition.

In ausgewählten Verzehrsszenarien erreichen Kinder (0,5 bis <6 Jahre) bereits alleine durch den Verzehr von Spinat den Bereich des TWI (96 %). Insgesamt überschreitet bei dieser Altersgruppe die hohe Exposition über alle Lebensmittel v. a. bei Verzehrenden von spinat-, kartoffel- und getreidehaltigen Lebensmitteln den TWI um das bis zu 2,3-fache. Bei Jugendlichen und Erwachsenen, die Tintenfisch oder Steinpilze verzehren, liegt die hohe Exposition (P95) allein durch den Verzehr dieser Lebensmittel oberhalb des TWI.

Auf Basis von Daten zur internen Exposition aus der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit GerES V (2014 – 2017) werden im Median oder P95 bei Kindern und Jugendlichen zwischen 3 und 17 Jahren keine Überschreitung des HBM-I-Wertes (Human-Biomonitoring; HBM) festgestellt. Maximalwerte der Uringehalte bei Kindern aller Altersgruppen liegen oberhalb des HBM-I-Wertes, was einem Anteil von 0,6 % der teilnehmenden Kinder entspricht.

Zusammenfassend besteht aus Sicht des BfR demnach für den überwiegenden Teil der Bevölkerung in Deutschland eine niedrige Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Exposition gegenüber Cadmium. Mit zunehmendem Alter nimmt die Höhe der auf das Körpergewicht bezogenen alimentären externen Exposition ab. Gleichzeitig steigen die Blut- und Uringehalte an Cadmium der teilnehmenden Kinder mit zunehmendem Alter in der GerES V-Studie an. Der Anstieg kann unter anderem mit den akkumulierenden Eigenschaften von Cadmium, insbesondere in der Niere, zusammenhängen und verdeutlichen, wie wichtig aktuelle Daten zur internen Exposition für Erwachsene sind. Repräsentative Daten zur aktuellen Höhe der internen Exposition in der erwachsenen Bevölkerung Deutschlands aus GerES VI (Datenerhebung 2023 – 2024) sind noch nicht publiziert. Da die externe Exposition für einige Bevölkerungsgruppen im Bereich des TWI oder darüber liegen, sollte die Exposition gegenüber Cadmium in der Bevölkerung Deutschlands weiterhin verringert werden.

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Gefahrenidentifizierung

Cadmium tritt als natürliches Element in der Erdkruste und in Meerwasser auf. In der Erdkruste kommt es vorwiegend in Verbindung mit Zink- und in geringerem Umfang mit Blei- und Kupfererzen vor. Damit ist es ein unvermeidliches Nebenprodukt der Metallurgie dieser Elemente. Es wird überwiegend für Batterien eingesetzt und auch aus gebrauchten Batterien wiedergewonnen, darüber hinaus wird es für Pigmente, Beschichtungen, Stabilisatoren für Kunststoffe, Nichteisen-Legierungen und Photovoltaik einrichtungen verwendet. Über die Verhüttung anderer Metalle, die Nutzung fossiler Brennstoffe, die Abfallverbrennung und über die Ausbringung von Phosphatdüngern und Klärschlamm gelangt es in die Luft, in Böden und in Gewässer. Daneben tragen natürliche Prozesse wie Vulkanismus und Gesteinsverwitterung zur Freisetzung von Cadmium in die Umwelt bei (ATSDR, 2012; EFSA, 2009; IARC, 2018).

In der Atmosphäre liegt Cadmium in Form kleinster Partikel als Schwebstoff vor, nach Freisetzung durch industrielle Prozesse unter Anwendung sehr hoher Temperaturen auch als Dampf. Die überwiegende chemische Spezies in der Luft ist Cadmiumoxid, aber auch einige Cadmiumsalze wie z. B. Cadmiumchlorid können in die Luft gelangen. Die Verbindungen sind stabil und können über sehr weite Strecken transportiert werden, bevor sie durch nasse und trockene Deposition auf die Erdoberfläche gelangen. In Oberflächen- und Grundwasser liegt Cadmium als freies Ion oder als Ionenkomplex vor. Lösliche Formen sind im Wasser mobil, während Cadmium in unlöslichen Komplexen oder adsorbiert an Sedimente wenig mobil ist. In Böden kann Cadmium in löslicher Form im Bodenwasser vorliegen oder unlösliche Komplexe mit organischen oder anorganischen Bodenbestandteilen bilden. Die Mobilität

von Cadmium in Böden ist viel geringer als in Luft und Wasser und ist abhängig vom Bodentyp und verschiedenen Bodeneigenschaften, insbesondere dem pH. Mit abnehmendem pH erhöht sich die Mobilität von Cadmium im Boden. Ein erhöhter Transfer vom Boden in Pflanzen wird daher u. a. in sauren Böden beobachtet (Smolders, 2001).

Generell akkumuliert Cadmium bei Pflanzen stärker in den Blättern als in Früchten und Speicherorganen. Über Nutzpflanzen gelangt Cadmium auch in die Lebens- und Futtermittelkette. Lebensmittelliefernde Tiere nehmen Cadmium über Futterpflanzen und auch über daran haftende Bodenbestandteile auf. Eine Anreicherung erfolgt insbesondere in Innereien wie Leber und Niere. Die Aufnahme aus Plankton und Wasser führt zu einer Anreicherung von Cadmium in Muscheln und Krebstieren und somit einem Eintrag in aquatische Nahrungsketten (EFSA, 2009).

Hinsichtlich der Exposition des Menschen stellen in der Allgemeinbevölkerung (Nichtraucher) Lebensmittel die Hauptexpositionsquelle dar (90 %), wobei Getreide und Gemüse die höchsten Beiträge liefern. Weniger als 10 % der Exposition stammen aus Trinkwasser bzw. inhalativ aus der Umgebungsluft (EFSA, 2009). Raucherinnen und Raucher haben eine erheblich höhere Exposition, weil Tabakblätter natürlicherweise große Mengen Cadmium akkumulieren (IARC, 2018) und Cadmiumverbindungen relativ flüchtig sind (UBA, 1998). Vor allem Kinder sind über Spielzeug und Hausstaub zusätzlich exponiert (BfR, 2009).

3.1.2 Gefahrencharakterisierung

3.1.2.1 Toxikokinetik

Im menschlichen Körper ist die Cadmiumresorption im Magen-Darm-Trakt über die Aufnahme von Lebensmittel mit etwa 1 – 10 % gering (ATSDR, 2012).

Im Blut kommt Cadmium hauptsächlich in den Erythrozyten vor, wo es an niedermolekularem Protein, dem sogenannten Metallothionein, gebunden vorliegt (EFSA, 2009).

Über das Blut wird Cadmium im ganzen Körper verteilt, die höchsten Gehalte finden sich in Leber und Nieren.

Da nur ein kleiner Teil des im Magen-Darm-Trakt vorhandenen Cadmiums resorbiert wird, wird der größte Teil als nicht-resorbiertes Cadmium über den Stuhl ausgeschieden. Resorbiertes Cadmium wird sehr langsam ausgeschieden, wobei die Ausscheidung über Urin und Stuhl ungefähr gleichermaßen stattfindet (ATSDR, 2012). Cadmium hat im menschlichen Körper eine lange biologische Halbwertszeit von 10 – 30 Jahren und reichert sich insbesondere in den Organen Leber und Niere an (EFSA, 2009).

3.1.2.2 Biomarker

Als Biomarker der Cadmiumexposition dienen Messungen der Cadmiumgehalte in Blut, Urin, Stuhl, Leber, Nieren, Haaren und anderen Geweben (ATSDR, 2012; EFSA, 2009).

Der Cadmiumgehalt im Blut repräsentiert in erster Linie die jüngste(n) Exposition(en) gegenüber Cadmium und nicht die Gesamtkörperlast (ATSDR, 2012). Der Blutcadmiumgehalt gilt als der aussagekräftigste Marker für die aktuelle Exposition gegenüber Cadmium und wird in der Regel im Vollblut gemessen (EFSA, 2009).

Die Cadmiumgehalte im Urin spiegeln die Gesamtkörperlast wider, obwohl sich die Cadmiumgehalte im Urin in gewissem Maße auch aufgrund der jeweiligen aktuellen Exposition verändern. Der Cadmiumgehalt im Stuhl kann als direkter Indikator für die tägliche Cadmiumaufnahme über die Nahrung verwendet werden, da Cadmium aus der Nahrung im Magen-Darm-Trakt nur schlecht resorbiert wird (ATSDR, 2012).

Da Leber- und Nierengewebe Cadmium akkumulieren, kann der Cadmiumgehalt sowohl in der Leber als auch in der Niere mit nicht-invasiven Techniken (z. B. *in vivo* Neutronenaktivierungsanalyse oder in der Niere durch Röntgenfluoreszenzanalyse) gemessen werden (ATSDR, 2012).

Haare wurden ebenfalls für das Biomonitoring der Cadmiumexposition verwendet, obwohl die Möglichkeit einer exogenen Kontamination zu erheblichen Kontroversen über die Zuverlässigkeit der Gehalte im Haar als Maß für die resorbierte Dosis geführt hat (ATSDR, 2012).

3.1.2.3 Toxikologie

Die Exposition gegenüber Cadmium wurde mit Nephrotoxizität, Osteoporose, Neurotoxizität, Karzinogenität und Genotoxizität, Teratogenität sowie mit endokrinen und reproduktiven Effekten in Verbindung gebracht (EFSA, 2009).

Die empfindlichsten Zielorgane der Cadmiumtoxizität nach oraler Aufnahme sind die Nieren und die Knochen. In der Niere akkumuliert Cadmium insbesondere in den Zellen des proximalen Nierentubulus. Ein früher Biomarker und ein Maß für die Schädigung der Zellen des proximalen Nierentubulus ist eine erhöhte Ausscheidung niedermolekularer Proteine wie des Proteins Beta-2-Mikroglobulin mit dem Urin (B2M). Nach längerer und/oder hoher Exposition kann die tubuläre Schädigung in der Niere fortschreiten und zu einer verringerten glomerulären Filtrationsrate bis hin zu Nierenversagen führen. Weiterhin ist Cadmium in der Lage, die Funktion und das Verhalten essenzieller Metalle zu imitieren und dadurch beispielsweise den Calcium-, Zink- oder Eisenhaushalt zu stören. Insbesondere kann Cadmium zu Calciumverlusten aus dem Knochen und einer erhöhten Calciumausscheidung über die Nieren führen und somit entweder durch direkte Knochenschädigung oder indirekt als Folge einer Nierenfunktionsstörung zu einer Demineralisierung der Knochen führen. (ATSDR, 2012; EFSA, 2009).

Das genotoxische Potenzial von Cadmium wurde in *in vitro*- und *in vivo*-Studien untersucht. Die Ergebnisse sind nicht immer konsistent, werden aber insgesamt so interpretiert, dass Cadmium klastogen (chromosomenschädigend) wirkt, was anhand der Induktion von DNA-Schäden, Mikronuklei, Schwesterchromatidaustausch und Chromosomenaberrationen begründet wird (ATSDR, 2012). Cadmium wird als ein nicht direkt genotoxisches Agens angesehen, dessen Genotoxizität über indirekte Mechanismen, wie die Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (oxidativer Stress) oder die Störung der DNA-Reparatur vermittelt wird (EFSA, 2009).

Entsprechend dem von der EFSA (2009) zitierten Bericht (EC, 2007) liegen keine Hinweise auf eine karzinogene Wirkung von Cadmium nach oraler Aufnahme vor. Auf der Grundlage berufsbezogener Studien mit inhalativer Exposition gegenüber Cadmium klassifizierte die Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer, IARC) Cadmium als krebserregend für den Menschen (Gruppe 1) (IARC, 2018, 1993).

3.1.2.4 Ableitung eines gesundheitsbasierten Richtwertes

Die EFSA leitete auf Basis des cadmiumbedingten Anstiegs eines Effektmarkers für tubuläre Nierenschädigung im Urin eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme von Cadmium (Tolerable Weekly Intake, TWI) von 2,5 µg/kg Körpergewicht (KG) und Woche ab (EFSA, 2009).

Der Cadmiumgehalt im Urin stellt ein Maß für die Körperlast (kumulative interne Exposition) dar. Die EFSA führte eine Meta-Analyse mit 35 Studien durch, um die Konzentrations-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Uringehalt an Cadmium als Maß für die Körperlast (kumulative interne Exposition) und an B2M als Effektmarker für tubuläre Nierenschädigungen zu modellieren.

Es wurde eine untere Konfidenzgrenze der Benchmark-Dosis für einen 5 %igen Anstieg (BMDL₅) der Prävalenz von erhöhtem B2M von 4 µg Cadmium/g Kreatinin abgeleitet. Um der interindividuellen Variabilität von Cadmium im Urin innerhalb der Studienpopulationen Rechnung zu tragen, wurde ein Anpassungsfaktor von 3,9 angewandt, wodurch ein kritischer Cadmiumgehalt im Urin von 1 µg/g Kreatinin errechnet wurde.

Die ernährungsbedingte Cadmiumexposition, die dem kritischen Cadmiumgehalt im Urin von 1 µg/g Kreatinin nach 50 Jahren Exposition entspricht, wurde dann anhand eines kinetischen Modells berechnet. Die Basis dafür war ein großer Datensatz auf Grundlage nicht rauchender Frauen mit einer Altersspanne von 58 – 70 Jahren. Um bei 95 % der Bevölkerung im Alter von 50 Jahren unterhalb des kritischen Cadmiumgehalts im Urin zu bleiben, sollte die durchschnittliche tägliche Cadmiumaufnahme über die Nahrung 0,36 µg/kg KG nicht überschreiten, was einer wöchentlichen Cadmiumaufnahme von 2,52 µg/kg KG über die Nahrung entspricht. In der Berechnung wurde die menschliche Variabilität in Hinblick auf die Absorptionsraten (1 – 10 %) berücksichtigt, sodass hohe Absorptionsraten, wie beispielsweise bei Frauen im gebärfähigen Alter, berücksichtigt wurden.

Einen gesundheitsbasierten Richtwert in einer ähnlichen Größenordnung leitete die ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety) unter Zugrundelegung eines anderen toxikologischen Endpunktes ab (Leconte *et al.*, 2023). Demnach wurden, nach Überprüfung der nach dem Jahr 2011 veröffentlichten epidemiologischen Daten zur Cadmiumtoxizität, die Auswirkungen auf die Knochen als sensitivster Endpunkt ausgewählt. Als kritischer Schwellenwert für den Cadmiumgehalt im menschlichen Urin wurde 0,5 µg/g Kreatinin gewählt. Für die Ableitung des gesundheitsbezogenen Richtwertes wurde ein modifiziertes physiologisch basiertes pharmakokinetisches Modell (PBPK) verwendet. Die Rückrechnung auf das PBPK-Modell ergab eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (tolerable daily intake, TDI) von 0,35 µg/kg KG und Tag (entspricht 2,45 µg/kg KG und Woche) (Leconte *et al.*, 2023).

Das BfR zieht den TWI von 2,5 µg/kg KG und Woche für die gesundheitliche Bewertung der alimentären Cadmiumaufnahme heran, weist jedoch darauf hin, dass dieser den wissenschaftlichen Kenntnisstand aus dem Jahr 2009 widerspiegelt.

3.1.3 Expositionsschätzung und -bewertung: extern (Lebensmittel)

3.1.3.1 Datengrundlage zum Verzehr

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs bei **Säuglingen, Kleinkindern und Kindern zwischen 0,5 und <6 Jahren** diente die „Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des

Lebensmittelverzehrs“ (KiESEL-Studie). An KiESEL nahmen insgesamt 1.104 Kinder im Alter von sechs Monaten bis einschließlich fünf Jahren teil. Die Befragung wurde zwischen den Jahren 2014 und 2017 durchgeführt. Anhand eines Interviews füllten die Erziehungsberechtigten einen Fragebogen zur allgemeinen Ernährung, Ernährung im 1. Lebensjahr sowie ein Food Propensity Questionnaire zu selten verzehrten Lebensmitteln aus. Davon haben 1.008 Kinder bzw. deren Eltern auch an der Ernährungserhebung mittels Wiege/-Schätzprotokoll teilgenommen. Der Lebensmittelverzehr der Kinder wurde in einem Wiegeprotokoll für drei aufeinanderfolgende Tage und in einem 1-Tages-Wiegeprotokoll an einem unabhängigen Tag dokumentiert. Ergänzend wurde der Außer-Haus-Verzehr (z. B. in den Betreuungseinrichtungen) mit Hilfe eines reduzierten Schätzprotokolls erfasst (Nowak *et al.*, 2022a; Nowak *et al.*, 2022b). Zur Auswertung werden die Ergebnisse aus den Wiegeprotokollen herangezogen und ausschließlich nicht gestillte Individuen berücksichtigt (N = 952).

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs bei **Kindern zwischen 6 und <12 Jahren** diente die Ernährungsstudie als KiGGS-Modul (EsKiMo II) (Mensink *et al.*, 2021). Im Rahmen von EsKiMo II wurden in den Jahren 2015 bis 2017 2.644 Kinder und Jugendliche im Alter von 6 bis <18 Jahren zu ihrem Lebensmittelverzehr und ihrem Ernährungsverhalten untersucht. Diese hatten zuvor an der zweiten Welle der „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS) Welle 2 des Robert-Koch-Instituts (RKI) teilgenommen. Für die Expositionsschätzung wurden die vier Tage Wiegeprotokolle von 1.190 Kindern zwischen 6 und <12 Jahren verwendet. Der Verzehr ab 14 Jahren wird von der NVS II abgedeckt.

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs bei **Jugendlichen und Erwachsenen zwischen 14 und 80 Jahren** diente die Nationale Verzehrstudie II (NVS II) des Max Rubner-Instituts (MRI). Die NVS II ist die aktuelle repräsentative Studie zum Verzehr der deutschen Bevölkerung. Die Studie, bei der etwa 20.000 Personen im Alter zwischen 14 und 80 Jahren mittels drei verschiedener Erhebungsmethoden (Dietary History, 24 h-Recall und Wiegeprotokoll) zu ihrem Ernährungsverhalten befragt wurden, fand zwischen den Jahren 2005 und 2006 in ganz Deutschland statt (Krems *et al.*, 2006; MRI, 2008). Die Verzehrsauswertungen beruhen auf den Daten der beiden unabhängigen 24 h-Recalls der NVS II, die in einem computergestützten Interview mittels „EPIC-SOFT“ erhoben wurden. Es wurden die Daten von 13.926 Personen, von denen beide Interviews vorlagen, ausgewertet.

Diese Verzehrsstudien sind geeignet, um langfristige Verzehrsmengen abzuschätzen. Die Aufnahmeschätzungen werden nach den in **Tabelle 1** aufgeführten Altersgruppen ausgewertet.

Tabelle 1: Verzehrsstudien für die Schätzung der Exposition der Bevölkerung in Deutschland

Altersgruppe	Verzehrsstudie
Säuglinge (0,5 – <1 Jahr) ^a	KiESEL
Kleinkinder (1 – <3 Jahre)	KiESEL
Kinder (3 – <6 Jahre)	KiESEL
Kinder (6 – <10 Jahre)	EsKiMo II
Jugendliche (10 – <12 Jahre)	EsKiMo II
Jugendliche (14 – <19 Jahre)	NVS II
Erwachsene (19 – <25 Jahre)	NVS II
Erwachsene (25 – <35 Jahre)	NVS II
Erwachsene (35 – <51 Jahre)	NVS II
Erwachsene (51 – <65 Jahre)	NVS II
Ältere und Senioren (≥65 Jahre)	NVS II

^a In der Verzehrsstudie wurden Kinder ab einem Alter von sechs Monaten berücksichtigt. (Teil-)gestillte Kinder wurden ausgeschlossen

3.1.3.2 Datengrundlage zu Gehalten in Lebensmitteln

Cadmium wurde im Basismodul der BfR-MEAL-Studie in allen 356 Lebensmitteln der MEAL-Foodlist (Lebensmittelliste) untersucht¹. Basierend auf den 24 h-Recalls der NVS II für Erwachsene und den VELS-Daten für Kinder (Banasiak *et al.*, 2005), deckt die MEAL-Foodlist für jede Lebensmittelhauptgruppe mindestens 90 % der durchschnittlichen Lebensmittelzufuhr verschiedener Altersgruppen der Bevölkerung Deutschlands ab und berücksichtigt zudem selten verzehrte Lebensmittel mit bekanntermaßen hohen Gehalten an unerwünschten Stoffen. Die MEAL-Lebensmittel wurden zwischen Dezember 2016 und Mai 2019 deutschlandweit in vier verschiedenen Regionen eingekauft, wobei die Produktauswahl die unterschiedlichen Einkaufsgewohnheiten der deutschen Bevölkerung sowie regionale als auch saisonale Besonderheiten berücksichtigte. Die der repräsentativen Zusammenstellung der Proben zugrundeliegenden Informationen wurden über Verbraucherstudien erhoben sowie aus Marktdaten generiert. Die Lebensmittel wurden in der MEAL-Studienküche unter Nachbildung des typischen Verbraucherverhaltens zubereitet. Anschließend wurden die Lebensmittel und Gerichte gepoolt (gruppiert) und homogenisiert. Ein MEAL-Pool besteht dabei aus 15 – 20 Einzellebensmitteln (sog. Subsamples) (Sarvan *et al.*, 2017). Eine Übersicht der Gehaltsdaten zu Cadmium aus der BfR-MEAL-Studie befindet sich im Anhang (Tabelle A.1 bis Tabelle A.3). Cadmium-spezifische Details zur Datenerhebung sowie die Diskussion der Gehalte wurden in Fechner *et al.* (2022) veröffentlicht.

¹ https://www.bfr.bund.de/cm/343/Lebensmittelliste_Deutsch_2021_Web_bf_final_1.pdf

3.1.3.3 Schätzung der langfristigen Exposition über alle Lebensmittel

Methodik

Für alle Teilnehmenden der genannten Verzehrstudien wurde pro MEAL-Lebensmittel der mittlere Verzehr über die einzelnen Protokolltage bezogen auf das individuelle Körpergewicht ermittelt und mit dem jeweiligen gemessenen Cadmiumgehalt verknüpft. Gehalte unter der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze wurden dabei nach dem *modified Lower Bound* (mLB)- und *Upper Bound* (UB)-Ansatz behandelt. Im mLB-Ansatz wurde Ergebnisse unter der Bestimmungsgrenze (<LOQ) der Wert der Nachweisgrenze (LOD) zugeordnet und Ergebnissen unter der Nachweisgrenze (<LOD) der Wert Null. Im UB-Ansatz wurde Ergebnissen unter der Bestimmungsgrenze (<LOQ) der Wert der jeweiligen Bestimmungsgrenze (LOQ) zugeordnet und Ergebnissen unter der Nachweisgrenze der Wert der jeweiligen Nachweisgrenze (LOD).

Die Expositionsschätzung erfolgte standardmäßig nach den Merkmalen „biologische“ bzw. „konventionelle Erzeugung“. Das heißt, sofern MEAL-Lebensmittel getrennt nach ihrer Erzeugungsart beprobt wurden, wurden sie nicht gemittelt, sondern zwei getrennten Auswertungen zugeordnet. Dabei gingen alle nicht nach Erzeugungsart differenzierten Lebensmittel (saisonal, regional oder unspezifisch²) zusammen mit konventionell hergestellten Lebensmitteln in das Szenario des Verzehrs vornehmlich konventionell erzeugter Lebensmittel ein bzw. alle ausschließlich biologisch hergestellten Lebensmittel in das Szenario des Verzehrs vornehmlich biologisch erzeugter Lebensmittel. Insgesamt wurden 105 der 356 untersuchten MEAL-Lebensmittel nach Erzeugungsart differenziert. In beiden Expositionsszenarien wurde davon ausgegangen, dass alle Personen entweder ausschließlich biologisch oder konventionell hergestellte Produkte verzehrt haben, sofern eine Differenzierung in der Foodlist vorlag. Unterschiede in der Exposition liegen ausschließlich in Unterschieden in Gehaltsdaten begründet, da bei den Verzehrdaten keine Differenzierung erfolgte.

Die Bestimmung der Gesamtexposition erfolgte auf Basis aller Befragten, die an der Ernährungserhebung teilgenommen haben. Dargestellt werden Median (P50) und das 95. Perzentil (P95) der sich ergebenden Expositionsverteilung. Die Angabe der Exposition erfolgt in µg/kg KG und Woche.

Langfristige Cadmiumexposition über alle Lebensmittel

Verbraucherinnen und Verbraucher mit vornehmlich konventioneller Lebensmittelauswahl nehmen nach der vorliegenden Schätzung ca. 1,2-fach höhere Cadmium-Mengen auf als jene mit vornehmlich biologischer Erzeugnisauswahl. Ursächlich sind ausschließlich Unterschiede in den Gehaltsdaten, da dieselben Verzehrdaten angewendet wurden. Dabei ist zu bemerken, dass keine grundsätzlich höhere Tendenz über alle konventionellen Lebensmittel zu beobachten ist, sondern sich Unterschiede in einzelnen Pools bemerkbar machen (Fechner *et al.*, 2022). Diese Unterschiede lassen sich vornehmlich auf die

² Unspezifische MEAL-Lebensmittel wurden nicht in weitere Poolproben nach Saison, Region oder Erzeugungsart unterteilt. Es liegt nur ein Messergebnis vor.

unterschiedliche Zusammensetzung der biologischen bzw. konventionellen Pools zurückführen (z. B. die Verwendung anderer Getreidesorten für dasselbe Produkt).

Als konservativeres Szenario wird daher im Folgenden nur das konventionelle beschrieben. Aufnahmeschätzungen für das biologische Szenario sind im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

Tabelle 2 stellt die Cadmiumaufnahme bei vornehmlich konventioneller Erzeugnisauswahl dar. Die Unterschiede zwischen mLb- und UB-Ansatz sind nur gering, weshalb sich die folgenden Beschreibungen nur auf den UB-Ansatz beziehen. Unter einjährige Kinder zeigen im Median (P50) die höchste Exposition mit 2,32 µg/kg KG pro Woche, gefolgt von ein- bis zweijährigen Kindern mit 2,31 µg/kg KG und Woche. Diese Altersgruppe zeigt im P95 mit 3,70 µg/kg KG und Woche die höchste Cadmiumaufnahme. Die Cadmiumexposition nimmt mit zunehmendem Alter ab.

Im Durchschnitt aller Befragten leisten „Getreide und Getreideprodukte“ in allen Altersgruppen mit 40 % bis 50 % den höchsten Beitrag zur Cadmiumaufnahme. Darunter sind es vor allem Weizenprodukte, wie Weißbrote/Brötchen, Teigwaren, Vollkorn- und Graubrote. Aber auch Kartoffeln sind bei allen betrachteten Altersgruppen unter den drei Lebensmitteln mit dem höchsten Beitrag zur Cadmiumexposition zu finden. Die Hauptgruppe „Kartoffeln und Kartoffelprodukte“ leistet mit 13 % bis 15 % den zweithöchsten Anteil an der Exposition. „Getreide und Getreideprodukte“ und „Kartoffeln und Kartoffelprodukte“ gehören zwar nicht zu den Lebensmittelhauptgruppen mit den höchsten Gehalten, im Vergleich über alle Hauptgruppen weisen sie jedoch im Median mit 0,014 mg/kg und 0,013 mg/kg eher höhere Werte auf (Fechner *et al.*, 2022). Die zusätzlich hohen langfristigen Verzehrsmengen von Kartoffeln führen zu dem Hauptbeitrag für die Cadmiumexposition.

Tabelle 2: Langfristige Cadmiumexposition [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche] für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in der Bevölkerung Deutschlands bei Annahme des Verzehrs vornehmlich konventionell erzeugter Lebensmittel.

Verzehrsstudie	Altersgruppe (Jahre)	N	modified Lower Bound		Upper Bound	
			P50	P95	P50	P95
KiESEL	0,5 – <1	57	2,09	3,30	2,32	3,49
	1 – <3	308	2,10	3,50	2,31	3,70
	3 – <6	588	1,66	3,02	1,81	3,15
EsKiMo II	6 – <10	789	1,52	2,65	1,63	2,73
	10 – <12	401	1,17	2,08	1,25	2,14
NVS II	14 – <19	937	0,72	1,69	0,81	1,81
	19 – <25	1.200	0,68	1,39	0,77	1,53
	25 – <35	1.961	0,67	1,38	0,77	1,50
	35 – <61	4.311	0,64	1,34	0,74	1,46
	51 – <65	2.860	0,60	1,32	0,70	1,44
	≥ 65	2.657	0,64	1,25	0,73	1,35

N: Anzahl Individuen

Um Verzehrverhalten zu identifizieren, welches ein besonderes Risiko darstellt, wurde zusätzlich die Exposition für Verzehrende der Lebensmittel mit dem höchsten Beitrag zur Exposition berechnet. Dabei wurden von den Individuen am oberen Ende der Expositionsverteilung die zehn Lebensmittel mit dem höchsten Beitrag zur Exposition ermittelt. Für diese Lebensmittel wurden die üblichen Kenngrößen der Expositionsverteilung für alle Verzehrenden dargestellt. Die Berechnung berücksichtigte dabei den Eintrag aus allen verzehrten Lebensmitteln der ausgewählten Individuen. Durch dieses Vorgehen werden insbesondere Lebensmittel selektiert, die selten verzehrt werden, aber einen hohen Beitrag zur Exposition haben. Dargestellt werden die Top 10 Cadmiumaufnahmen, sortiert nach Exposition im P50.

Bei **Kindern** (KiESEL und EsKiMo II) nehmen Verzehrende von Spinat bzw. Rahmspinat am meisten Cadmium auf (Tabelle 3, Tabelle 4). Spinat gehört mit einem Cadmiumgehalt von bis zu 0,100 mg/kg zu den zehn Lebensmitteln mit den höchsten Gehalten aus der BfR-MEAL-Studie (BfR, 2023). Rahmspinat hat mit bis zu 0,073 mg/kg durch die weiteren Zutaten etwas geringere Gehalte, wird jedoch deutlich häufiger verzehrt. Neben der Gesamtaufnahme von 5,84 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche (P95) ist zu bemerken, dass Verzehrende von Spinat über den Verzehr von Spinat allein im P95 bereits 2,41 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche aufnehmen (Tabelle 3). Daneben erreichen Verzehrende von Kartoffelsuppe eine gleichermaßen hohe wöchentliche Aufnahme von 5,84 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ (P95). Wird nur die Aufnahme aus Kartoffelsuppe allein betrachtet, werden 1,10 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche aufgenommen. Weiterhin fällt auf, dass neben Verzehrenden von Spinat/Rahmspinat auch Verzehrende von „Beikost:

verzehrfertiger Brei, Menü“ hohe Mengen alleine über den Verzehr der Beikost aufnehmen (1,74 µg/kg KG und Woche, P95). Dabei ist zu bemerken, dass „Beikost: verzehrfertiger Brei, Menü“ vergleichsweise geringe Cadmiumgehalte aufweist (0,011 mg/kg). Hier kann davon ausgegangen werden, dass die verzehrenden Kinder sich fast ausschließlich von Beikost ernähren, wobei das genannte Beikost-Menü einen großen Anteil an der Ernährung hat.

Bei den Verzehrenden der weiteren Lebensmittel ist aber eher die Gesamtaufnahme aus allen anderen Lebensmitteln verantwortlich für die hohe Cadmiumexposition. Verzehrende selten verzehrter Lebensmittel mit hohen Gehalten, wie Buchweizen (0,043 mg/kg), Tintenfisch (0,205 mg/kg), Mohnkuchen/Mohngebäck (0,060 mg/kg - 0,073 mg/kg)³ und Leinsamen (0,185 mg/kg) (BfR, 2023) nehmen ebenfalls alleine über den Verzehr dieser Lebensmittel bereits hohe Cadmiummengen auf (Tabelle 3, Tabelle 4). Die Stichprobe der Verzehrenden ist jedoch zu gering, um statistisch belastbare Aussagen treffen zu können.

Im Gesamtbild für Kinder (KiESEL und EsKiMo II) lässt sich daher festhalten, dass eine Ernährung reich an Gemüse (insbes. Spinat), Kartoffeln und Getreide mit einer höheren Cadmiumexposition assoziiert ist. Aber auch ein Eintrag aus Buchweizen, Tintenfisch, Leinsamen oder Mohn-haltigen Speisen ist für die Aufnahme nicht unerheblich. Ein relevanter Beitrag anderer Pseudogetreide wie Quinoa, Amaranth oder Hirse kann nicht ausgeschlossen werden, da keine aussagekräftigen Verzehrdaten dazu vorlagen. Quinoa weist jedoch denselben Cadmiumgehalt wie Buchweizen auf (0,043 mg/kg), sodass bei Verzehr in ähnlichen Größenordnungen ebenfalls eine TWI-Überschreitung wahrscheinlich ist. Hirse und Amaranth weisen geringere Gehalte von 0,019 mg/kg und 0,016 mg/kg auf (BfR, 2023).

³ Range zwischen vier regionalen MEAL-Pools.

Tabelle 3: Cadmiumexposition [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche] von Kindern (0,5 – <6 Jahre) für Verzehrende von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition. Dargestellt ist die Gesamtexposition über alle verzehrten Lebensmittel, die Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels im Erhebungszeitraum gegessen haben. Zusätzlich ist in Klammern die Exposition angegeben, die sich alleine aus dem Verzehr des jeweiligen Lebensmittels ergibt (Basis: KiESEL, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	P50 ^a	P95 ^a
Spinat	38 (4 %)	2,73 (0,66)	5,84 (2,41)
Beikost: verzehrfertiger Brei, Menü ^b	93 (10 %)	2,46 (0,63)	3,87 (1,74)
Rahmspinat	100 (11 %)	2,43 (0,44)	3,97 (1,68)
Beikost: Kartoffel-Gemüse-Brei ^c	47 (5 %)	2,24 (0,35)	3,40 (1,15)
Früchte Müsli	58 (6 %)	2,21 (0,09)	3,26 (0,54)
Kartoffelsuppe	49 (5 %)	1,99 (0,28)	5,84 (1,10)
Gemüse-Eintopf mit Fleischeinlage ^d	50 (5 %)	1,96 (0,27)	3,40 (0,82)
Nudelauflauf/Lasagne ohne Fleisch ^e	28 (3 %)	1,74 (0,25)	3,53 (0,77)
Buchweizen ^f	12 (1 %)	2,54 (0,40)	3,58 (0,58)
Beikost: Kartoffel-Gemüse-Fleisch-Brei ^{c, f}	9 (1 %)	2,53 (0,51)	3,41 (1,17)

n: Anzahl (Anteil %) Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 ^a in Klammern ist die Exposition ausschließlich durch den Verzehr des jeweiligen Lebensmittels angegeben (Verzehrende und nur Verzehr des ausgewählten Lebensmittels) ^b Gemischte Babygläschen mit circa Anteilen von 20-30 % Pasta oder Kartoffeln (seltener Reis), 30 – 40 % Gemüse (hauptsächlich Karotten und Tomaten mit wechselnden anderen Gemüsen) mit restlichen Anteilen von wechselnden Zutaten aus Fleisch, Fisch, Milch/Käse (~10%) sowie Öl und Gewürze ^c enthält kein Spinat ^d neun von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln; kein Subsample enthält Spinat ^e acht von 20 Subsamples enthalten Spinat ^f Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben über Exposition sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

Tabelle 4: Cadmiumexposition [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche] von Kindern (6 – < 12 Jahre) für Verzehrende von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition. Dargestellt ist die Gesamtexposition über alle verzehrten Lebensmittel, die Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels im Erhebungszeitraum gegessen haben. Zusätzlich ist in Klammern die Exposition angegeben, die sich alleine aus dem Verzehr des jeweiligen Lebensmittels ergibt (Basis: EsKiMo II, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	P50 ^a	P95 ^a
Spinat	23 (2 %)	2,43 (0,49)	3,94 (0,79)
Rahmspinat	88 (7 %)	2,04 (0,40)	3,34 (1,18)
Kartoffelchips	217 (18 %)	1,67 (0,17)	2,80 (0,76)
Gemüse-Eintopf mit Fleischeinlage ^b	86 (7 %)	1,60 (0,13)	3,60 (1,10)
Erdnüsse	26 (2 %)	1,49 (0,09)	2,22 (0,83)
Tintenfisch ^e	1 (0,1 %)	3,07 (1,19)	3,07 (1,19)
Mohnkuchen, Mohngebäck ^e	2 (0,2 %)	2,11 (0,63)	2,49 (1,00)
Leinsamen ^e	13 (1 %)	2,02 (0,04)	3,73 (0,54)
Nudelauflauf/Lasagne ohne Fleisch ^{d, e}	12 (1%)	1,93 (0,24)	2,35 (0,50)
Gemüseauflauf ^{c, e}	19 (2 %)	1,69 (0,18)	3,20 (0,50)

n: Anzahl Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 ^a in Klammern ist die Exposition ausschließlich durch den Verzehr des jeweiligen Lebensmittels angegeben (Verzehrende und nur Verzehr des ausgewählten Lebensmittels) ^b neun von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln; kein Subsample enthält Spinat ^c acht von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln, vier Subsamples enthalten Blattspinat, vier Subsamples enthalten Sonnenblumenkerne, vier Subsamples enthalten Semmelbrösel

^d acht von 20 Subsamples enthalten Spinat ^e Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben über Exposition sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

In der Gruppe der **Jugendlichen und Erwachsenen** (NVS II) nehmen Verzehrende von Tintenfisch mit 4,64 µg/kg KG und Woche (P95) die höchsten Cadmiummengen auf. Der Beitrag alleine aus dem Verzehr von Tintenfisch beläuft sich auf 4,06 µg/kg KG und Woche. Ebenso zeigen Verzehrende von Steinpilzen durch den Gesamtverzehr (P95: 3,80 µg/kg KG und Woche) und durch den Verzehr von Steinpilzen alleine (P95: 2,76 µg/kg KG und Woche) hohe Aufnahmen (Tabelle 5). Wird nur die Aufnahme aus dem Verzehr der ausgewählten Lebensmittel alleine betrachtet, sind des Weiteren Nieren (Säugetiere), Sonnenblumenkerne, Muscheln und Mohnkuchen/Mohngebäck mit hohen Beiträgen zu nennen. Dabei ist zu bemerken, dass der Anteil an Verzehrenden aller genannter Lebensmittel mit <1 % an der Gesamtbevölkerung (14 bis 80 Jahre) gering ist. Der hohe Anteil dieser Lebensmittel an der Exposition ist auf die hohen Gehalte zurückzuführen. Beispielsweise wurde in Steinpilzen mit 0,320 mg/kg der höchste Cadmiumgehalt unter den 356 MEAL-Lebensmitteln gemessen. Sonnenblumenkerne und Tintenfisch weisen den dritt- und vierthöchsten Cadmiumgehalt mit 0,265 mg/kg und 0,205 mg/kg auf (BfR, 2023).

Im Ergebnis weisen Kinder die höchste Cadmiumexposition bezogen auf das Körpergewicht auf. Den höchsten Beitrag leisten Getreide- und Kartoffelprodukte. Verzehrende bestimmter Lebensmittel weisen besonders hohe Cadmiumaufnahmen auf. Das betraf vor allem Verzehrende von Spinat- und Kartoffel-haltigen Speisen. Hervorzuheben sind Verzehrende von Spinat (Kinder in KiESEL), die hohen Cadmiumaufnahmen alleine durch den Verzehr von Spinat erreichen. Für einige Lebensmittel, die selten verzehrt werden, aber hohe Gehalte aufweisen, werden ebenfalls hohe Aufnahmen erreicht (Tintenfisch, Buchweizen, Leinsamen, Mohn-haltiges Gebäck). Die Datenbasis zu den Verzehrenden ist jedoch zu gering, um valide Aussagen treffen zu können.

Auch bei Jugendlichen und Erwachsenen leisten Getreide- und Kartoffelprodukte den höchsten Beitrag zur Exposition. Hohe Cadmiumaufnahmen können für Verzehrende von Lebensmitteln mit besonders hohen Cadmiumgehalten gezeigt werden (Steinpilze, Nieren (Säugetiere), Tintenfisch, Sonnenblumenkerne). Dies betrifft jedoch nur einen geringen Teil der Population (<1 %). Bei diesem führt jedoch bereits der alleinige Verzehr dieser Lebensmittel zu hohen Aufnahmen.

Tabelle 5: Cadmiumexposition [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche] von Jugendlichen und Erwachsene (14 – 80 Jahre) für Verzehrende von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition. Dargestellt ist die Gesamtexposition über alle verzehrten Lebensmittel, die Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels im Erhebungszeitraum gegessen haben. Zusätzlich ist in Klammern die Exposition angegeben, die sich alleine aus dem Verzehr des jeweiligen Lebensmittels ergibt (Basis: NVS II, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	P50 ^a	P95 ^a
Steinpilze	28 (0,2 %)	1,74 (1,03)	3,80 (2,76)
Tintenfisch	43 (0,3 %)	1,46 (0,75)	4,64 (4,06)
Mohnkuchen, Mohngebäck	207 (1 %)	1,19 (0,42)	2,18 (1,00)
Spinat	595 (4 %)	1,17 (0,42)	2,36 (0,92)
Sonnenblumenkerne	66 (0,5 %)	1,11 (0,18)	2,79 (1,60)
Geflügel, Leber	40 (0,3 %)	1,05 (0,28)	1,82 (0,53)
Muscheln	26 (0,2 %)	1,01 (0,24)	2,36 (1,59)
Säugetiere, Niere ^b	10 (0,1 %)	1,60 (1,03)	2,09 (1,34)
Rahmspinat ^b	6 (<0,1 %)	1,20 (0,34)	1,67 (0,76)
Sushi ^b	19 (0,1 %)	0,85 (0,26)	1,44 (0,52)

n: Anzahl Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 ^a in Klammern ist die Exposition ausschließlich durch den Verzehr des jeweiligen Lebensmittels angegeben (Verzehrende und nur Verzehr des ausgewählten Lebensmittels)
^b Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben über Exposition sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

Vergleich von Expositionsschätzungen aus dem europäischen Raum

Im europäischen Vergleich mit Daten aus den letzten zehn Jahren liegt die Cadmiumexposition von Säuglingen, Kleinkindern und Kindern in derselben Größenordnung wie die Aufnahmemengen aus der französischen „infant TDS (iTDS)“, welche aufgrund der Aktualität und Methodik (TDS) als die am besten vergleichbare Studie bewertet wird. Kinder der Altersgruppe 0,5 – 3 Jahren nahmen wöchentlich im Mittel zwischen 2,04 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ (LB) und 2,42 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ (UB) auf (Jean *et al.*, 2018). Dies liegt in etwa derselben Größenordnung, wie die in dieser Stellungnahme für 0,5 – <6-jährige Kinder in Deutschland ermittelten Aufnahmemengen. Sprong & Boon (2015) berichten für niederländische Kinder zwischen 2 und 6 Jahren eine durchschnittliche wöchentliche Cadmiumaufnahme von 3,5 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ (Medium Bound; MB), welche im Bereich des P95 der MEAL-Aufnahmeschätzungen liegt (3,02 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ bis 3,15 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$). Aus der Region Valencia in Spanien wurden wöchentliche Cadmiumaufnahmen für 6 – 15-Jährige von 1,26 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ bis 2,89 $\mu\text{g}/\text{kg KG}$ berichtet, was leicht über den Aufnahmeschätzungen für Kinder im Alter von 6 – <12 Jahren in dieser Stellungnahme liegt. Die EFSA bewertete die Cadmiumaufnahme im Jahr 2012 und zog dafür Verzehrsstudien verschiedener Länder sowie Gehaltsdaten aus den Jahren 2003 – 2011 heran. Die ermittelte Cadmiumaufnahme lag dabei über den hier berechneten Aufnahmen. Es gibt jedoch erhebliche Schwankungen zwischen den berechneten Aufnahmeschätzungen der Mitgliedstaaten, wobei für Deutschland eher Werte im unteren Teil des europäischen Bereiches angegeben werden (EFSA, 2012). Dies deutet auf einen erheblichen Einfluss unterschiedlicher Verzehrsgewohnheiten zwischen den Ländern hin.

Die in dieser Stellungnahme ermittelte Cadmiumexposition für Jugendliche und Erwachsene liegt in etwa in dem Bereich der Cadmiumexposition basierend auf der TDS in Valencia

(Marín *et al.*, 2017). Sie liegt jedoch etwa um den Faktor 2 unterhalb der anderen Vergleichswerte aus den Niederlanden (Sprong & Boon, 2015), Deutschland (Schwarz *et al.*, 2014) oder von der EFSA (EFSA, 2012). Diese höheren Werte basieren vornehmlich auf Gehaltsdaten aus Monitoring-Erhebungen und werden i.d.R. auf RAC-Ebene (raw agricultural commodity; RAC) erhoben. Sowohl für den Vergleich für Kinder als auch für Jugendliche und Erwachsene ist zu bemerken, dass die Vergleichswerte zwischen TDS in einem ähnlichen Bereich liegen, während die Schätzungen basierend auf anderen Gehaltsdaten (v. a. Monitoring-Daten) darüber liegen.

Tabelle 6: Vergleich der Cadmiumexposition für Kinder, Jugendliche und Erwachsene basierend auf den Daten der BfR-MEAL-Studie mit Expositionsschätzungen aus dem europäischen Raum aus den vergangenen zehn Jahren, sowie der jüngsten EFSA-Stellungnahme.

	Land	Cadmium-Aufnahme [µg/kg KG und Woche]	Parameter	Alters- gruppe (Jahre)	Referenz
Kinder	Frankreich	2,04 (LB) – 2,42 (UB)	MW	0,5 – 3	Jean <i>et al.</i> (2018)
	Niederlande	3,5 (MB)	Median	2 – 6	Sprong & Boon (2015)
	Spanien (Valencia) ^a	1,26 – 2,89 ^a	MW	6 – 15	Marín <i>et al.</i> (2017)
	Europa/EFSA ^b	1,86 (LB) – 7,84 (UB)	MW	<1 – <3	EFSA (2012)
		2,59 (LB) – 5,87 (UB)		3 – <10	
	Deutschland ^c	1,66 (mLB) – 2,32 (UB)	Median	0,5 – 5	Vorliegende Stellungnahme, Basis KIESEL
	1,17 (mLB) – 1,63 (UB)	Median	6 – 11	Vorliegende Stellungnahme, Basis EsKiMo II	
Jugendliche und Erwachsene	Spanien (Valencia) ^a	0,77 – 1,78 ^a	MW	16 – 95	Marín <i>et al.</i> (2017)
	Niederlande	1,82 (MB)	Median	7 – 69	Sprong & Boon (2015)
	Deutschland	1,46 (MB)	MW	14 – 80	Schwarz <i>et al.</i> (2014)
	Europa/EFSA ^b	1,21 (LB) – 2,53 (UB)	MW	18 – <75	EFSA (2012)
	Deutschland ^c	0,60 (mLB) – 0,81 (UB)	Median	14 – 80	Vorliegende Stellungnahme; Basis NVS II

^a „optimistic“ und „pessimistic“ Szenario ^b Spannweite zwischen geringster und höchster ermittelter Cadmium-Aufnahme in verschiedenen Ländern ^c konventionelles Szenario

3.1.3.4 Unsicherheiten

Das Konzept einer TDS beinhaltet die Erstellung einer Lebensmittelliste (TDS food list), die sich aus Lebensmitteln zusammensetzt, die repräsentativ das Verzehrverhalten von mindestens 90 % der Bevölkerung abbilden. Dies bedeutet eine Reduktion von Unsicherheiten hinsichtlich Gehaltsdaten einer TDS im Vergleich zu anderen Datenerhebungen, wie zum Beispiel dem Lebensmittel-Monitoring. Aus methodischer Sicht ist des Weiteren von Vorteil, dass in einer TDS Gehaltsbestimmungen anhand von zubereiteten und verzehrfertigen Lebensmitteln erfolgen und damit Gehaltsänderungen, die ggf. im Zuge der Zubereitung der Mahlzeiten erfolgen können, berücksichtigt werden.

TDS stellen repräsentative Daten hinsichtlich der durchschnittlichen Gehalte eines breiten Spektrums an Lebensmitteln zur Verfügung, und bieten damit eine sehr gute Basis für die Ermittlung der langfristigen Exposition (Kolbaum, 2022).

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass keine der in der BfR-MEAL-Studie analysierten Poolproben gesetzlich festgelegte Höchstgehalte überschritt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass anhand von Poolproben keine Aussagen über eine statistische Verteilung der gemessenen Gehalte möglich ist. Damit eignen sich die Gehaltsdaten, die im Zuge einer TDS erhoben werden, nicht für die Überwachung von Höchstgehalten und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Einzelproben innerhalb der Poolproben den Höchstgehalt überschritten haben.

Für eine Expositionsschätzung müssen Gehaltsdaten mit Verzehrdaten kombiniert werden. Die Daten für Kinder (KiESEL, EsKiMo II) wurden im Rahmen der KiGGS-Welle 2 zwischen den Jahren 2014 und 2017 erhoben. Die Verzehrdaten für Erwachsene (NVS II) wurden in den Jahren 2005 und 2006 erhoben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich seither die Verzehrsgewohnheiten in der Bevölkerung Deutschlands geändert haben. In diesem Zusammenhang ist vor allem der möglicherweise veränderte Verzehr von pflanzlichen Ersatzprodukten (z. B. Sojadrink) und Pseudogetreiden (z. B. Quinoa) zu nennen, welche höhere Cadmiumgehalte als die herkömmlichen Alternativen aufweisen. Beispielsweise wurde in der BfR-MEAL-Studie kein Cadmium in Kuhmilch detektiert ($<0,0003$ mg/kg), während Sojadrink einen Gehalt von $0,005$ mg/kg aufwies. Für Verzehrende dieser Lebensmittel kann die Exposition somit unterschätzt sein.

Aufgrund der Berücksichtigung von > 90 % der Lebensmittel in einer TDS kann die hier ermittelte Cadmiumexposition die tatsächliche Exposition über alle verzehrten Lebensmittel unterschätzen. Da jedoch die vielverzehrten und bekanntermaßen hoch belasteten Lebensmittel in die Schätzung einbezogen wurden, wird die Unterschätzung als gering eingeschätzt.

In der Aufnahmeschätzung wurde der mittlere Verzehr über die Protokolltage verwendet. Dies kann in den Rändern der Verteilung zu einer Überschätzung der Exposition führen, da die intra-individuelle Variabilität nicht ausreichend abgebildet wurde. Im Vergleich zur EFSA-Empfehlung der Verwendung von mindestens zwei Protokolltagen bilden KiESEL und EsKiMo II die Abdeckung der intra-individuellen Variabilität jedoch bereits besser ab.

3.1.4 Expositionsschätzung und -bewertung: intern (Humanes Biomonitoring)

Cadmiumgehalte im Vollblut und Urin bei Kindern

In der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit GerES V (2014 – 2017) war ein Schwerpunkt das Human-Biomonitoring einer repräsentativen Stichprobe von Kindern und Jugendlichen in Deutschland im Alter von 3 bis 17 Jahren. Unter anderem wurden Gehalte an Cadmium im Vollblut von 720 sowie im Urin von 2.250 Kindern und Jugendlichen untersucht. Cadmium wurde in 76 % der Urin- und 44 % der Blutproben der Kinder und Jugendlichen in quantifizierbaren Mengen gefunden. Der mediane Gehalt für Cadmium (P50) im Urin betrug $0,08$ µg/l, für Cadmium im Blut lag er unter der Bestimmungsgrenze. Die statistischen Kennzahlen der Ergebnisse für Cadmiumgehalte im Blut und Urin der GerES V-Studie sind in Tabelle 7 dargestellt (UBA, 2023).

Tabelle 7: Statistische Kennzahlen der Daten zu Cadmiumgehalten im Vollblut und Urin bei Kindern und Jugendlichen der GerES V-Teilnehmenden (UBA, 2023)

Altersgruppe (Jahre)	Anzahl Teilnehmende	P50	P95	Maximum
Cadmiumgehalt im Blut [$\mu\text{g/l}$]				
3 – 5	138	< BG ^a	0,17	0,43
6 – 10	231	< BG	0,24	0,33
11 – 13	143	< BG	0,22	0,38
14 – 17	208	0,13	0,30	2,74
Cadmiumgehalt im Urin [$\mu\text{g/l}$]				
3 – 5	399	0,05	0,16	1,85
6 – 10	734	0,07	0,23	1,24
11 – 13	457	0,09	0,27	0,57
14 – 17	660	0,10	0,29	0,72

^a BG: Bestimmungsgrenze (0,12 $\mu\text{g/l}$ im Vollblut und 0,05 $\mu\text{g/l}$ im Urin)

Vergleich der internen Exposition von Kindern mit dem Referenzpunkt für Nierentoxizität

Für Cadmium wurden HBM (Human-Biomonitoring)-Werte von der HBM-Kommission des Umweltbundesamtes (UBA) erarbeitet. Grundlage für die Festlegung der HBM-Werte sind 35 Studien, in denen Zusammenhänge zwischen Cadmium im Urin (als Indikator der kumulativen Cadmiumbelastung) und B2M als Indikator für frühe nephrotoxische Wirkungen untersucht wurden (UBA, 2011). Dementsprechend basieren die HBM-Werte für Cadmium auf dem gleichen Ausgangspunkt (BMDL₅: 4 μg Cadmium/g Kreatinin), der auch für die Ableitung des TWI herangezogen wurde (vgl. Kapitel 3.1.2.4). Die abgeleiteten HBM-Werte für Cadmium basieren demnach auf der Nierentoxizität von Cadmium bei einer langfristigen chronischen Exposition (oral und inhalativ) als empfindlichstem toxikologischen Endpunkt.

Der HBM-I-Wert (Prüf- oder Kontrollwert) gibt den Gehalt eines Stoffes in einem Körpermedium an, bei dessen Unterschreitung nach dem aktuellen Stand der Erkenntnis nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist. Bei einer Überschreitung des HBM-II-Wertes (Interventions- oder Maßnahmenwert) hingegen kann eine gesundheitliche Beeinträchtigung auftreten und es sind umgehend Maßnahmen zur Minderung der Belastung angezeigt (UBA, 2021).

Für die interne Exposition ist neben der oralen Cadmiumaufnahme über Lebensmittel auch die Cadmiumaufnahme über weitere Expositionspfade, z. B. die inhalative Aufnahme, relevant. Eine verlässliche Aussage dazu, wie hoch der Anteil der Cadmiumexposition durch die Aufnahme über Lebensmittel an der in GerES V ermittelten internen Exposition ist, kann nicht getroffen werden. Die Resorption inhalativ aufgenommenen Cadmiums kann mit 7–50 % deutlich höher sein als die Resorption oral aufgenommenen Cadmiums (EFSA, 2009). Für die Toxizität inhalativ aufgenommenen Cadmiums ist möglicherweise die Erhöhung der Ausscheidung von B2M im Urin als Marker für eine Nierentoxizität kein geeignetes Maß. Auf der Grundlage von Studien mit inhalativer Exposition ist Cadmium als Humankarzinogen klassifiziert (IARC, 2018). Das BfR weist darauf hin, dass der Endpunkt der Karzinogenität in

der Ableitung des gesundheitsbasierten Richtwertes für die orale Exposition gegenüber Cadmium, die auch der Ableitung der HBM-Werte zur Beurteilung der internen Exposition zugrunde liegt, nicht berücksichtigt ist.

3.2 Risikocharakterisierung

3.2.1 Risikocharakterisierung unter Zugrundelegung der externen Expositionsschätzung

Für die Risikocharakterisierung wird die geschätzte langfristige externe Exposition gegenüber Cadmium für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in der Bevölkerung Deutschlands mit dem gesundheitsbasierten Richtwert für Cadmium (TWI: 2,5 µg/kg KG und Woche) verglichen.

Der prozentuale Anteil der geschätzten Cadmiumaufnahme am TWI für alle Altersgruppen unter Annahme des Verzehrs vornehmlich konventionell erzeugter Lebensmittel ist in Tabelle 8 dargestellt.

Die geschätzte mediane Exposition gegenüber Cadmium (P50, mLB und UB) führt für keine der betrachteten Altersgruppen zu einer TWI-Überschreitung, liegt aber für Kinder unter drei Jahren im Bereich des TWI mit einem prozentualen Anteil von bis zu 84 % (mLB) und 93 % (UB).

Die geschätzte hohe Exposition (P95, mLB und UB) gegenüber Cadmium führt bei Kindern im Alter von 0,5 – <10 Jahren zu einer TWI-Überschreitung, nicht jedoch bei älteren Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Kinder unter einem Jahr zeigen im Median die höchste Exposition mit 2,32 µg/kg KG und Woche (P50, UB), was 93 % des TWI entspricht, gefolgt von ein- bis zweijährigen Kindern mit einer wöchentlichen Aufnahme von 2,31 µg/kg KG (P50, UB). Ein- bis zweijährige Kinder zeigen im P95 die höchste Exposition mit 3,70 µg/kg KG und Woche (P95, UB). Der TWI wird damit um das 1,5-Fache überschritten. Insgesamt überschreiten 37 % der 0,5 – <1-Jährigen und 39 % der 1 – <3-Jährigen den TWI.

Tabelle 8: Prozentualer Anteil der alimentären Cadmiumaufnahme am TWI (2,5 µg/kg KG und Woche) sowie der Anteil (%) der Individuen mit TWI-Überschreitung für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in der Bevölkerung Deutschlands bei Annahme des Verzehrs vornehmlich konventionell erzeugter Lebensmittel.

		% TWI				Anteil Individuen > TWI		
		mLB		UB		mLB	UB	
Verzehrsstudie	Altersgruppe (Jahre)	N	P50	P95	P50	P95		
KiESEL	0,5 – <1	57	83 %	132 %	93 %	139 %	26 %	37 %
	1 – <3	308	84 %	140 %	92 %	148 %	29 %	39 %
	3 – <6	588	67 %	121 %	72 %	126 %	12 %	15 %
EsKiMo II	6 – <10	789	61 %	106 %	65 %	109 %	6 %	9 %
	10 – <12	401	47 %	83 %	50 %	86 %	2 %	2 %
NVS II	14 – <19	937	29 %	68 %	32 %	72 %	1 %	1 %
	19 – <25	1.200	27 %	56 %	31 %	61 %	1 %	1 %
	25 – <35	1.961	27 %	55 %	31 %	60 %	0,2 %	0,5 %
	35 – <61	4.311	25 %	54 %	30 %	59 %	0,3 %	0,4 %
	51 – <65	2.860	24 %	53 %	28 %	57 %	0,1 %	0,2 %
	≥ 65	2.657	26 %	50 %	29 %	54 %	0,1 %	0,1 %

mLB: modified Lower Bound UB: Upper Bound TWI: Tolerable Weekly Intake

Die geschätzten alimentären Gesamtexpositionen gegenüber Cadmium für Verzehrende von Lebensmitteln, die einen hohen Beitrag zur Exposition leisten, sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 für Kinder im Alter von 0,5 – <12 Jahren und in Tabelle 11 für Jugendliche und Erwachsene dargestellt.

Die mediane geschätzte Exposition über alle verzehrten Lebensmittel liegt für **Kinder** (0,5 – <12 Jahre), die Lebensmittel mit hohem Beitrag zur Exposition verzehren, im Bereich des TWI und teilweise oberhalb des TWI (spinatverzehrende Kinder im Alter 0,5 – < 6 Jahre). Die höchsten Expositionen entsprechen maximal 109 % bzw. 123 % des TWI für spinat- bzw. tintenfischverzehrende Kinder (0,5 – <12 Jahre, P50, UB) (Tabelle 9, Tabelle 10).

Die hohe Exposition (P95) liegt für fast alle Verzehrenden der in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellten Lebensmittel über dem TWI und entspricht maximal 234 % des TWI für Kinder, die Spinat- bzw. Kartoffelsuppe verzehren (0,5 – <6 Jahre, P95, UB). Besonders hervorzuheben ist, dass Spinat-Verzehrende im P95 bereits eine wöchentliche Cadmiumaufnahme von 2,41 µg/kg KG allein durch den Spinatverzehr erreichen (Tabelle 3) und die Exposition somit im Bereich des TWI liegt (96 %).

Tabelle 9: Prozentualer Anteil der alimentären Cadmiumaufnahme am TWI (2,5 µg/kg KG und Woche) für Kinder (0,5 – <6 Jahre), für Verzehrende von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition (Basis: KiESEL, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	% TWI	
		P50	P95
Spinat	38 (4 %)	109 %	234 %
Beikost: verzehrfertiger Brei, Menü ^a	93 (10 %)	98 %	155 %
Rahmspinat	100 (11 %)	97 %	159 %
Beikost: Kartoffel-Gemüse-Brei ^b	47 (5 %)	90 %	136 %
Früchte Müsli	58 (6 %)	88 %	130 %
Kartoffelsuppe	49 (5 %)	79 %	234 %
Gemüse-Eintopf mit Fleischeinlage ^c	50 (5 %)	78 %	136 %
Nudelauflauf/Lasagne ohne Fleisch ^d	28 (3 %)	70 %	141 %
Buchweizen ^e	12 (1 %)	101 %	143 %
Beikost: Kartoffel-Gemüse-Fleisch-Brei ^{b,e}	9 (1 %)	101 %	136 %

n: Anzahl (Anteil %) Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 TWI: Tolerable Weekly Intake
^a Gemischte Babygläschen mit circa Anteilen von 20-30% Pasta oder Kartoffeln (seltener Reis), 30 – 40 % Gemüse (hauptsächlich Karotten und Tomaten mit wechselnden anderen Gemüsen) mit restlichen Anteilen von wechselnden Zutaten aus Fleisch, Fisch, Milch/Käse (~10 %) sowie Öl und Gewürze ^b enthält kein Spinat ^c neun von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln; kein Subsample enthält Spinat ^d acht von 20 Subsamples enthalten Spinat ^e Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben zum prozentualen Anteil der Exposition am TWI sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

Tabelle 10: Prozentualer Anteil der alimentären Cadmiumaufnahme am TWI (2,5 µg/kg KG und Woche) für Kinder (6 – <12 Jahre), die Lebensmittel mit hohem Beitrag zur Exposition verzehren (Basis: EsKiMo II, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	% TWI	
		P50	P95
Spinat	23 (2 %)	97 %	158 %
Rahmspinat	88 (7 %)	82 %	134 %
Kartoffelchips	217 (18 %)	67 %	112 %
Gemüse-Eintopf mit Fleischeinlage ^a	86 (7 %)	64 %	144 %
Erdnüsse	26 (2 %)	60 %	89 %
Tintenfisch ^d	1 (0,1 %)	123 %	123 %
Mohnkuchen, Mohngebäck ^d	2 (0,2 %)	85 %	100 %
Leinsamen ^d	13 (1 %)	81 %	149 %
Nudelauflauf/Lasagne ohne Fleisch ^{b,d}	12 (1%)	77 %	94 %
Gemüseauflauf ^{c,d}	19 (2 %)	68 %	128 %

n: Anzahl Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 TWI: Tolerable Weekly Intake
^a neun von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln; kein Subsample enthält Spinat ^b acht von 20 Subsamples enthalten Spinat ^c acht von 15 Subsamples enthalten Kartoffeln, vier Subsamples enthalten Blattspinat, vier Subsamples enthalten Sonnenblumenkerne, vier Subsamples enthalten Semmelbrösel ^d Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben zum prozentualen Anteil der Exposition am TWI sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

Bei Betrachtung der Verzehrenden von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition liegt der prozentuale Anteil der alimentären Gesamtexposition am TWI für **Jugendlichen und Erwachsenen**, die Tintenfisch, Steinpilzen bzw. Sonnenblumenkernen verzehren (bei 186 %, 152 % und 112 % P95, UB). Die mediane Gesamtexposition gegenüber Cadmium über den Verzehr von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition liegt unterhalb des TWI (34 % – 69 %, P50, UB). Insgesamt fällt auf, dass ausschließlich Verzehrende von selten verzehrten Lebensmitteln den TWI überschreiten. Ihr Verzehr alleine hat einen relativ großen Anteil an der Exposition (Tabelle 5). Die hohen Cadmiumaufnahmen (P95) von Verzehrenden von Steinpilzen (2,76 µg/kg KG und Woche) und Tintenfisch (4,06 µg/kg KG) überschreiten bereits allein durch den Verzehr jeweils dieser Lebensmittel den TWI.

Tabelle 11: Prozentualer Anteil der alimentären Cadmiumaufnahme am TWI (2,5 µg/kg KG und Woche) für Jugendliche und Erwachsene (14 – 80 Jahre), die Lebensmittel mit hohem Beitrag zur Exposition verzehren (Basis: NVS II, nur Verzehrende, konventionelles Szenario, Upper Bound).

MEAL-Lebensmittel	n (Anteil %)	% TWI	
		P50	P95
Steinpilze	28 (0,2 %)	69 %	152 %
Tintenfisch	43 (0,3 %)	58 %	186 %
Mohnkuchen, Mohngebäck	207 (1 %)	48 %	87 %
Spinat	595 (4 %)	47 %	94 %
Sonnenblumenkerne	66 (0,5 %)	44 %	112 %
Geflügel, Leber	40 (0,3 %)	42 %	73 %
Muscheln	26 (0,2 %)	40 %	94 %
Säugetiere, Niere ^a	10 (0,1 %)	64 %	84 %
Rahmspinat ^a	6 (<0,1 %)	48 %	67 %
Sushi ^a	19 (0,1 %)	34 %	58 %

n: Anzahl Verzehrende des ausgewählten Lebensmittels; N gesamt: 952 TWI: Tolerable Weekly Intake ^a Stichprobenzahl lässt keine statistisch validen Aussagen zu. Angaben zum prozentualen Anteil am TWI sind als Anhaltspunkte zu verstehen.

3.2.2 Risikocharakterisierung unter Zugrundelegung der internen Expositionsschätzung

Für Cadmium wurde ein HBM-I-Wert von 0,5 µg/l und ein HBM-II-Wert von 2 µg/l Urin für Kinder und Jugendliche abgeleitet. Der Cadmiumgehalt im Urin lag folglich im Median und 95. Perzentil der Teilnehmenden unterhalb des HBM-I-Wertes. Maximalwerte der Uringehalte bei Kindern aller Altersgruppen lagen oberhalb des HBM-I-Wertes. Laut UBA (2023) entspricht dies einem Anteil von 0,6 % der teilnehmenden Kinder.

3.2.3 Fazit der Risikocharakterisierung unter Zugrundelegung von Schätzungen zur internen und externen Exposition

Die ernährungsbedingte Exposition gegenüber Cadmium liegt für einige Altersgruppen in der Bevölkerung Deutschlands im Bereich des TWI oder überschreitet diesen. Insbesondere bei Kindern <3 Jahren übersteigt die geschätzte Cadmiumaufnahme über alle Lebensmittel den TWI um bis zum 1,5-fachen (hohe Exposition, P95, UB) und bei Betrachtung des Verzehrs von Lebensmitteln, die einen hohen Beitrag zur Exposition leisten (z. B. Spinat) um bis zum 2,3-fachen (hohe Exposition, P95, UB). Bei Jugendlichen und Erwachsenen wird der TWI bei

hoher Aufnahme von Cadmium über Lebensmittel nicht überschritten (maximaler Anteil der Exposition am TWI von 72 %, P95, UB). Bei Betrachtung des Verzehrs von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition (z. B. Tintenfisch) übersteigt die Exposition den TWI jedoch um bis zum 1,7-fachen (P95, UB).

Bei der Ableitung des TWI wurde der kritische Cadmiumgehalt im Urin nach 50 Jahren Exposition zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 3.1.2.4). Bei einer wöchentlichen oralen Aufnahme an Cadmium bis zur Höhe des TWI ist nicht zu erwarten, dass im Erwachsenenalter kritische Uringehalte an Cadmium hinsichtlich der Nierentoxizität aufgrund dieser Exposition erreicht werden. Ob bei einer zeitlich begrenzten Aufnahme oberhalb des TWI, z. B. in der Kindheit, Gehalte an Cadmium im Urin erreicht werden, die im Sinne unerwünschter gesundheitlicher Effekte als kritisch zu beurteilen sind, ist wissenschaftlich nicht abschließend geklärt. Dies hängt unter anderem von der Höhe und Dauer der TWI-Überschreitung und der bereits vorhandenen internen Exposition gegenüber Cadmium ab. Die Schätzungen im Rahmen dieser Stellungnahme ergaben Werte für die alimentäre Cadmiumaufnahme (externe Exposition) bei Kindern, die den TWI überschreiten.

Im Rahmen der GerES V-Studie wurden Cadmiumgehalte im Urin von Kindern im Alter von 3-17 Jahren (interne Exposition P50 und P95) unterhalb des HBM-I-Wertes ermittelt. Maximalwerte der Uringehalte bei Kindern aller Altersgruppen liegen oberhalb des HBM-I-Wertes, was einem Anteil von 0,6 % der teilnehmenden Kinder entspricht. In der GerES V-Studie nimmt mit zunehmendem Alter die Höhe der auf das Körpergewicht bezogenen alimentären externen Exposition ab. Gleichzeitig steigen die Blut- und Uringehalte an Cadmium der teilnehmenden Kinder mit zunehmendem Alter. Der Anstieg kann unter anderem mit den akkumulierenden Eigenschaften von Cadmium, insbesondere in der Niere, zusammenhängen und verdeutlicht, wie wichtig aktuelle Daten zur internen Exposition für Erwachsene sind. Repräsentative Daten zur aktuellen Höhe der internen Exposition in der erwachsenen Bevölkerung Deutschlands aus GerES VI (Datenerhebung 2023 – 2024) sind noch nicht publiziert).

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Risikocharakterisierung basierend auf externer und interner Exposition sind vor allem durch die zugrunde liegende Methodik und den damit verbundenen Unsicherheiten erklärbar. Die interne Exposition spiegelt die tatsächlich im Körper aufgenommene Menge wider, welche sich aus allen Expositionspfaden ergibt und individuelle Unterschiede in Stoffwechsel und Ausscheidung berücksichtigt. Die externe Exposition wird modellhaft auf Basis von Gehalts- und Verzehrdaten berechnet, um den Beitrag einzelner Lebensmittel auf die Gesamtexposition zu beschreiben und den Einfluss potentieller einzelner Risikomanagementmaßnahmen zu untersuchen. Die beobachtete Diskrepanz ist daher methodisch begründbar.

Zusammenfassend besteht aus Sicht des BfR für den überwiegenden Teil der Bevölkerung in Deutschland eine niedrige Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Exposition gegenüber Cadmium. Bei Kindern im Alter von 0,5 – < 12 Jahren überschreitet die Exposition, abhängig von den verzehrten Lebensmitteln (vgl. Tabellen 8 – 11 insbesondere bei Szenarien unter Berücksichtigung von Lebensmitteln mit hohem Beitrag zur Exposition), jedoch den TWI. Bei jüngeren Kindern (0,5 – <6 Jahre) betrifft dies einen höheren Prozentsatz der Altersgruppen.

Mit zunehmendem Alter nimmt die Höhe der auf das Körpergewicht bezogenen alimentären externen Exposition ab. Gleichzeitig steigen die Blut- und Uringehalte an Cadmium der

teilnehmenden Kinder mit zunehmendem Alter in der GerES V-Studie an. Der Anstieg kann unter anderem mit den akkumulierenden Eigenschaften von Cadmium, insbesondere in der Niere, zusammenhängen und verdeutlicht, wie wichtig aktuelle Daten zur internen Exposition für Erwachsene sind. Repräsentative Daten zur aktuellen Höhe der internen Exposition in der erwachsenen Bevölkerung Deutschlands aus GerES VI (Datenerhebung 2023 – 2024) sind noch nicht öffentlich zugänglich.

Da die Ergebnisse der externen Expositionsschätzung in dieser Stellungnahme zeigen, dass die Exposition einiger Bevölkerungsgruppen, z. B. Kinder, im Bereich des TWI oder darüber liegen, ist es aus toxikologischer Sicht wünschenswert, die Exposition gegenüber Cadmium in der Bevölkerung Deutschlands weiterhin zu verringern. Ansatzpunkt könnten hier insbesondere die Lebensmittel bieten, die in den vorliegenden Berechnungen einen hohen Beitrag zur Gesamtaufnahme gezeigt haben.

4 Referenzen

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2012). Toxicological Profile for Cadmium. Verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf> – Zugriff am 26.06.2023.

Banasiak U, Hesecker H, Sieke C, Sommerfeld C, Vohmann C (2005). Abschätzung der Aufnahme von Pflanzenschutzmittelrückständen in der Nahrung mit neuen Verzehrsmengen für Kinder. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 1: 98. <https://doi.org/10.1007/s00103-004-0949-6>

BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2009). Blei und Cadmium gehören nicht in Spielzeug, Verfügbar unter: https://www.bfr.bund.de/cm/343/blei_und_cadmium_gehoeren_nicht_in_spielzeug.pdf – Zugriff am 29.06.2023.

BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung (2023). Individual Results of the BfR-MEAL-Study [Public Use File]. Webseite. Verfügbar unter <https://www.bfr.bund.de/forschung/forschungsfelder/forschung-zu-expositionsschaetzung/meal-studie/> – Zugriff: 04.07.2023.

EC, European Commission (2007). European Union Risk Assessment Report, Cadmium oxide and cadmium metal. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/4ea8883d-bd43-45fb-86a3-14fa6fa9e6f3> – Zugriff: 29.06.2023.

EFSA, European Food Safety Authority (2009). Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Verfügbar unter: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2009.980> – Zugriff: 26.06.2023.

EFSA, European Food Safety Authority (2012). Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal, 10 (1). Verfügbar unter: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551> – Zugriff: 04.07.2023

- Fechner C, Hackethal C, Hopfner T, Dietrich J, Bloch D, Lindtner O, Sarvan I (2022). Results of the BfR MEAL Study: In Germany, mercury is mostly contained in fish and seafood while cadmium, lead, and nickel are present in a broad spectrum of foods. *Food Chemistry: X*, 14: 100326. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100326>
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2018). Cadmium and Cadmium Compounds, Verfügbar unter: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-8.pdf> – Zugriff: 26.06.2023.
- IARC, International Agency for Research on Cancer (1993). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 58 Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. Verfügbar unter: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Beryllium-Cadmium-Mercury-And-Exposures-In-The-Glass-Manufacturing-Industry-1993> – Zugriff: 26.06.2023.
- Jean J, Sirot V, Hulin M, Le Calvez E, Zinck J, Noel L, Vasseur P, Nesslany F, Gorecki S, Guerin T, Riviere G (2018). Dietary exposure to cadmium and health risk assessment in children - Results of the French infant total diet study. *Food and Chemical Toxicology*, 115: 358-364. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.031>
- Kolbaum AE, et al (2022). Collection of occurrence data in foods – The value of the BfR MEAL study in addition to the national monitoring for dietary exposure assessment. *Food Chemistry: X*, 13: 100240. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100240>
- Krems C, Bauch A, Götz A, Heuer T, Hild A, Möseneder J, Brombach C (2006). Methoden der Nationalen Verzehrsstudie II. *Ernährungs Umschau*, 53 (2): 44-50.
- Leconte S, Rousselle C, Bodin L, Clinard F, Carne G (2023). Refinement of health-based guidance values for cadmium in the French population based on modelling. *Toxicology Letters* 340, 43-51.
- Marín S, Pardo O, Báguena R, Font G, Yusà V (2017). Dietary exposure to trace elements and health risk assessment in the region of Valencia, Spain: a total diet study. *Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 34 (2): 228–240. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1268273>
- Mensink GBM, Haftenberger M, Lage Barbosa C, Brettschneider AK, Lehmann F, Frank M, Heide K, Moosburger R, Patelakis E, Perlitz H (2021). Forschungsbericht: EsKiMo II - Die Ernährungsstudie als KiGGS-Modul. 164 S. Berlin, DE: Robert Koch-Institut (RKI). <https://doi.org/10.25646/7028.2>
- MRI, Max Rubner-Institut (2008). Nationale Verzehrsstudie II. Ergebnisbericht Teil 1. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. 144 S. Karlsruhe, DE: Max Rubner-Institut(MRI). Verfügbar unter: https://mri.bund.de/fileadmin/MRI/Institute/EV/NVS_II_Abschlussbericht_Teil_1_mit_Ergaenzungsbericht.pdf – Zugriff: 04.07.2023
- Nowak N, Diouf F, Golsong N, Höpfner T, Lindtner O (2022a). KiESEL – The Children’s Nutrition Survey to Record Food Consumption for the youngest in Germany. *BMC Nutrition*, 8 (1): 64. <https://doi.org/10.1186/s40795-022-00527-6>

- Nowak N, Höpfner T, Rüdiger T, Lindtner O (2022b). Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehrs (KiESEL). Forschungsbericht Teil 1: Ergebnisse des Fragebogens. Reihe: BfR Wissenschaft (ISBN 978-3-948484-56-9; ISSN 1614-3795 (Print) 1614-3841 (Online)) 175 S. Berlin, DE: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). <https://doi.org/10.17590/20230120-105243>
- Sarvan I, Bürgelt M, Lindtner O, Greiner M (2017). Expositionsschätzung von Stoffen in Lebensmitteln. Die BfR-MEAL-Studie – die erste Total-Diet-Studie in Deutschland [Dietary exposure assessment of substances in foods : The BfR MEAL study – the first German total diet study]. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 60 (7): 689–696. <https://doi.org/10.1007/s00103-017-2566-1>
- Schwarz MA, Lindtner O, Blume K, Heinemeyer G, Schneider K (2014). Cadmium exposure from food: The German LExUKon project. Food Additives and Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment, 31 (6): 1038–1051. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.905711>
- Smolders, E. (2001). Cadmium uptake by plants. International Journal of Occupational and Environmental Medicine 14, 177-183.
- Sprong R & Boon P (2015). Dietary exposure to cadmium in the Netherlands. RIVM Letter report 2015-0085. 50 S. The Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Verfügbar unter <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0085.pdf> – Zugriff: 04.07.2023
- UBA, Umweltbundesamt (2021). Beurteilungswerte der HBM-Kommission. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/kommission-human-biomonitoring/beurteilungswerte-der-hbm-kommission> – Zugriff: 26.06.2023.
- UBA, Umweltbundesamt (2023). Ergebnisbericht Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) Teil 1: Human-Biomonitoring (ISSN 1868-4340). 472 S. Dessau-Roßlau, DE. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/ueg_02-2023_deutsche_umweltstudie_zur_gesundheit_von_kindern_und_jugendlichen_2014-2017.pdf – Zugriff: 26.06.2023.
- UBA, Umweltbundesamt (2011). Aktualisierung der Stoffmonographie Cadmium - Referenz- und Human-Biomonitoring(HBM)-Werte. Stellungnahme der Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. 54, 981–996. <https://doi.org/10.1007/s00103-011-1327-9>

5 Anhang

Tabelle A.1: Cadmiumgehalte der BfR-MEAL-Studie nach Lebensmittelhauptgruppen bei unspezifischer Erzeugung in µg/kg.

Lebensmittelgruppe	N	mLB				UB			
		MW	P50	Min	Max	MW	P50	Min	Max
01 Getreide und Getreideprodukte	25	17,0	13,0	0	65,5	17,1	13,0	2,0	65,5
02 Gemüse, Gemüseprodukte und Pilze	21	29,5	4,5	0,6	320,0	29,6	4,5	1,1	320,0
03 Stärkekaltige Wurzeln oder Knollen und Erzeugnisse daraus	4	30,5	21,5	7,0	72,0	30,5	21,5	7,0	72,0
04 Hülsenfrüchte, Nüsse, Ölsaaten und Gewürze	16	35,2	8,5	0	265,0	35,8	8,5	1,0	265,0
05 Obst und Obstprodukte	15	2,4	0,7	0	10,5	2,8	2,0	0,3	10,5
06 Fleisch und Fleischprodukte	23	9,6	1,2	0	113,3	9,9	1,5	0,3	113,3
07 Fisch, Krusten- und Weichtiere und Erzeugnisse daraus	30	16,9	3,5	0	205,0	17,0	3,5	0,3	205,0
08 Milch und Milchprodukte	16	0,8	0,3	0	5,5	1,1	1,0	0,3	5,5
09 Eier und Eierprodukte	0	-	-	-	-	-	-	-	-
10 Zucker, Süßwaren und süße Desserts auf Wasserbasis	12	17,8	9,5	0	110,0	18,6	9,5	2,0	110,0
11 Tierische und pflanzliche Fette und Öle ^a	4	0	0	0	0	2,0	2,0	2,0	2,0
12 Gemüsesäfte, Fruchtsäfte und -nektare	8	0,4	0	0	2,0	0,7	0,3	0,3	2,0
13 Wasser und Getränke auf Wasserbasis ^b	6	< 0,1	0	0	< 0,1	0,3	0,3	0,1	0,3
14 Kaffee, Kakao, Tee und Aufgüsse	6	52,2	0,3	0	281,7	52,6	1,0	0,3	281,7
15 Alkoholische Getränke ^c	5	0	0	0	0	0,6	0,3	0,3	2,0
16 Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder	7	8,3	8,0	0	20,5	8,3	8,0	0,3	20,5
17 Produkte für spezielle Ernährungsformen und Lebensmittelimitate	6	11,6	10,5	1,0	25,8	11,6	10,5	1,0	25,8
18 Speisen und Gerichte	31	9,5	7,5	1,2	26,5	9,5	7,5	1,5	26,5
19 Würzmittel und Soßen	16	6,5	3,8	0	32,5	6,7	3,8	0,3	32,5

N: Anzahl Lebensmittel mLB: modified Lower Bound UB: Upper Bound MW: Mittelwert P50: Median Min: Minimum Max: Maximum

^a sämtliche Messungen < LOD (2 µg/kg); ^b sämtliche Messungen < LOD (0,3 bzw. 0,07 µg/kg) bzw. < LOQ (1 bzw. 0,2 µg/kg); ^c sämtliche Messungen < LOD (2 bzw. 0,3 µg/kg)

Tabelle A.2: Cadmiumgehalte der BfR-MEAL-Studie nach Lebensmittelhauptgruppen bei konventioneller Erzeugung in µg/kg.

Lebensmittelgruppe	N	mLB				UB			
		MW	P50	Min	Max	MW	P50	Min	Max
01 Getreide und Getreideprodukte	15	18,1	18,5	0	38,0	18,3	18,5	2,0	38,0
02 Gemüse, Gemüseprodukte und Pilze	13	13,0	3,0	0	97,0	13,1	3,1	0,3	97,0
03 Stärkekaltige Wurzeln oder Knollen und Erzeugnisse daraus	4	15,4	14,5	10,8	22,0	15,4	14,5	10,8	22,0
04 Hülsenfrüchte, Nüsse, Ölsaaten und Gewürze	4	20,7	20,3	0,3	42,0	20,9	20,3	1,0	42,0
05 Obst und Obstprodukte	7	0,3	0,2	0	1,2	0,8	0,7	0,3	1,5
06 Fleisch und Fleischprodukte	12	10,2	0,8	0,3	41,9	10,5	1,0	0,9	41,9
07 Fisch, Krusten- und Weichtiere und Erzeugnisse daraus	0	-	-	-	-	-	-	-	-
08 Milch und Milchprodukte	7	0,2	0	0	1,0	0,5	0,3	0,3	1,0
09 Eier und Eierprodukte ^a	2	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3
10 Zucker, Süßwaren und süße Desserts auf Wasserbasis	3	5,5	0	0	16,5	6,8	2,0	2,0	16,5
11 Tierische und pflanzliche Fette und Öle ^b	4	0	0	0	0	2,0	2,0	2,0	2,0
12 Gemüsesäfte, Fruchtsäfte und -nektare ^a	2	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3
13 Wasser und Getränke auf Wasserbasis	0	-	-	-	-	-	-	-	-
14 Kaffee, Kakao, Tee und Aufgüsse ^c	3	0,1	0	0	0,3	0,5	0,3	0,3	1,0
15 Alkoholische Getränke ^a	3	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3
16 Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder	4	6,8	6,5	0,3	14,0	7,4	7,3	1,0	14,0
17 Produkte für spezielle Ernährungsformen und Lebensmittelimitate	1	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
18 Speisen und Gerichte	21	10,9	9,0	0,3	68,8	10,9	9,0	1,0	68,8
19 Würzmittel und Soßen	0	-	-	-	-	-	-	-	-

N: Anzahl Lebensmittel mLB: modified Lower Bound UB: Upper Bound MW: Mittelwert P50: Median Min: Minimum Max: Maximum

^a sämtliche Messungen < LOD (0,3 µg/kg); ^b sämtliche Messungen < LOD (2 µg/kg); ^c sämtliche Messungen < LOD (0,3 µg/kg) bzw. < LOQ (1 µg/kg)

Tabelle A.3: Cadmiumgehalte der BfR-MEAL-Studie nach Lebensmittelhauptgruppen bei biologischer Erzeugung in µg/kg.

Lebensmittelgruppe	N	mLB				UB			
		MW	P50	Min	Max	MW	P50	Min	Max
01 Getreide und Getreideprodukte	15	17,6	15,0	5,0	48,0	17,6	15,0	5,0	48,0
02 Gemüse, Gemüseprodukte und Pilze	13	10,7	4,0	0,3	71,0	10,8	4,0	1,0	71,0
03 Stärkekaltige Wurzeln oder Knollen und Erzeugnisse daraus	4	10,1	9,6	9,0	12,3	10,1	9,6	9,0	12,3
04 Hülsenfrüchte, Nüsse, Ölsaaten und Gewürze	4	21,8	18,7	0,3	49,5	22,1	19,0	1,0	49,5
05 Obst und Obstprodukte	7	0,5	0,2	0	3,0	1,0	0,8	0,3	3,0
06 Fleisch und Fleischprodukte	12	9,1	2,1	0,3	56,0	9,4	2,1	1,0	56,0
07 Fisch, Krusten- und Weichtiere und Erzeugnisse daraus	0	-	-	-	-	-	-	-	-
08 Milch und Milchprodukte	7	1,4	0	0	9,6	1,8	0,3	0,3	9,6
09 Eier und Eierprodukte ^a	2	< 0,1	< 0,1	0	0,1	0,4	0,4	0,3	0,5
10 Zucker, Süßwaren und süße Desserts auf Wasserbasis	3	18,7	0	0	56,0	20,0	2,0	2,0	56,0
11 Tierische und pflanzliche Fette und Öle ^b	4	0	0	0	0	2,0	2,0	2,0	2,0
12 Gemüsesäfte, Fruchtsäfte und -nektare ^c	2	0,2	0,2	0	0,3	0,7	0,7	0,3	1,0
13 Wasser und Getränke auf Wasserbasis	0	-	-	-	-	-	-	-	-
14 Kaffee, Kakao, Tee und Aufgüsse ^a	3	0,1	0,1	0	0,2	0,5	0,5	0,3	0,7
15 Alkoholische Getränke ^d	3	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3
16 Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder	4	6,1	3,8	0,3	16,5	6,9	5,1	1,0	16,5
17 Produkte für spezielle Ernährungsformen und Lebensmittelimitate	1	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
18 Speisen und Gerichte	21	8,4	6,8	0,3	31,3	8,5	6,8	1,0	31,3
19 Würzmittel und Soßen	0	-	-	-	-	-	-	-	-

N: Anzahl Lebensmittel mLB: modified Lower Bound UB: Upper Bound MW: Mittelwert P50: Median Min: Minimum Max: Maximum

^a sämtliche Messungen < LOD (0,3 µg/kg) bzw. < LOQ (1 µg/kg); ^b sämtliche Messungen < LOD (2 µg/kg); ^c sämtliche Messungen < LOD (0,3 µg/kg) bzw. < LOQ (1 µg/kg); ^d sämtliche Messungen < LOD (0,3 µg

Cadmiumexposition:

Tabelle A.4: Langfristige Cadmiumexposition [$\mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche] für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in der Bevölkerung Deutschlands bei Annahme des Verzehrs vornehmlich biologisch erzeugter Lebensmittel sowie prozentuale Anteile der Exposition am TWI ($2,5 \mu\text{g}/\text{kg KG}$ und Woche) und der Anteil (%) der Individuen mit TWI-Überschreitung.

		Exposition					% TWI				Anteil Individuen > TWI	
		mLB		UB		mLB		UB		mLB	UB	
Verzehrsstudie	Altersgruppe (Jahre)	N	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95
KIESEL	0,5 – <1	57	1,54	2,39	1,78	2,64	62 %	96 %	71 %	106 %	3 %	8 %
	1 – <3	308	1,70	2,94	1,87	3,10	68 %	118 %	75 %	124 %	11 %	15 %
	3 – <6	588	1,44	2,44	1,60	2,63	58 %	98 %	64 %	105 %	5 %	7 %
EsKiMo II	6 – <10	789	1,34	2,47	1,46	2,59	54 %	99 %	58 %	104 %	4 %	6 %
	10 – <12	401	1,06	1,72	1,12	1,87	42 %	69 %	45 %	75 %	1 %	1 %
NVS II	14 – <19	937	0,66	1,49	0,74	1,59	27 %	60 %	30 %	64 %	0,2 %	0,2 %
	19 – <25	1.961	0,61	1,29	0,70	1,41	24 %	52 %	28 %	56 %	1 %	1 %
	25 – <35	4.311	0,60	1,21	0,70	1,33	24 %	49 %	28 %	53 %	0,3 %	0,3 %
	35 – <61	2.860	0,55	1,16	0,65	1,29	22 %	47 %	26 %	52 %	0,2 %	0,2 %
	51 – <65	2.657	0,49	1,07	0,60	1,19	20 %	43 %	24 %	48 %	<0,1 %	0,1 %
	≥ 65	1.961	0,49	1,01	0,58	1,10	20 %	40 %	23 %	44 %	<0,1 %	<0,1 %

N: Anzahl Individuen gesamt mLB: modified Lower Bound UB: Upper Bound TWI: Tolerable Weekly Int

Über das BfR

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

Impressum

Herausgeber:

Bundesinstitut für Risikobewertung

Max-Dohrn-Straße 8-10

10589 Berlin

T +49 30 18412-0

F +49 30 18412-99099

bfr@bfr.bund.de

bfr.bund.de

Anstalt des öffentlichen Rechts

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

Aufsichtsbehörde: Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

USt-IdNr: DE 165 893 448

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



gültig für Texte, die vom BfR erstellt wurden

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