

Bundesgesundheitsbl 2017 · 60:689–696  
 DOI 10.1007/s00103-017-2566-1  
 Online publiziert: 17. Mai 2017  
 © Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist  
 eine Open-Access-Publikation.



Irmela Sarvan · Michaela Bürgelt · Oliver Lindtner · Matthias Greiner

Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin, Deutschland

# Expositionsschätzung von Stoffen in Lebensmitteln

## Die BfR-MEAL-Studie – die erste Total-Diet-Studie in Deutschland

### Einleitung/Hintergrund

Die Aufnahme von potenziell gesundheitsschädlichen Stoffen kann in Abhängigkeit von der Konzentration zu einer Beeinträchtigung des menschlichen Wohlergehens führen [1]. Die Schätzung des Risikos, das sich durch den Kontakt des Menschen mit diesen Stoffen ergibt, sollte daher ein wichtiger Bestandteil des öffentlichen Gesundheitswesens sein [1]. Das sich aus einer Gefahr ergebende Risiko ist dabei abhängig davon, ob und wie eine Person der Gefahr ausgesetzt ist [2]. Der Kontakt des menschlichen Körpers mit chemischen Stoffen (z. B. Umweltkontaminanten, Zusatzstoffe oder Prozesskontaminanten) über den Mund (oral), die Haut (dermal) oder die tieferen Atemwege und Lunge (inhalativ) wird Exposition genannt [3]. Für die Bewertung des Risikos sind zum einen die Exposition und zum anderen die Toxizität beziehungsweise das Gefährdungspotenzial relevant. Risiko wird somit als Produkt aus Gefährdungspotenzial und Exposition verstanden [2]. Während sich die Gefahr aus den inhärenten Eigenschaften des Stoffes (z. B. Toxizität) ergibt und somit nicht veränderbar ist, kann die Exposition gegenüber diesen Stoffen eingeschränkt werden z. B. durch Reduzierung von Konzentrationen im Lebensmittel/Produkt. Auf diese Weise kann das Risiko gesteuert werden. Die Exposition gegenüber einem Stoff muss somit bekannt sein, um das Risiko schätzen und managen zu können.

Die Expositionsschätzung evaluiert die Wahrscheinlichkeit, diese chemischen, biologischen oder physikalischen Stoffe qualitativ und/oder quantitativ aufzunehmen [3]. Die Zielgröße beschreibt Aufnahmemengen des Stoffes mit Bezug zu Körpergewicht und Zeit für den durchschnittlichen Verbraucher oder für bestimmte Zielgruppen (z. B. Altersgruppen). Hierfür können unterschiedliche Ansätze zur Berechnung der Exposition genutzt werden. Zusätzlich zu den in der Vergangenheit häufig genutzten deterministischen Schätzungen werden nun probabilistische mathematische Modelle genutzt, besonders bei einer vermeintlichen Überschreitung der gesundheitsbasierten Grenzwerte und unter Betrachtung der aufwendigen Risikominderungsmaßnahmen. Damit wird sichergestellt, dass die Überschätzung nicht ausschließlich aus unrealistischen Annahmen resultiert [4]. Vorteile einer probabilistischen Schätzung sind die Möglichkeiten, realistische Schätzungen an den Verteilungsrändern zu generieren, Variabilität in den Eingangsparametern auch in den Zielgrößen darzustellen sowie den Einfluss von signifikant zum Risiko beitragenden Parametern zu bestimmen [4]. Bei der Bestimmung der Parameter ist es wichtig, die Variabilität der Parameter von der Unsicherheit zu unterscheiden. Die Variabilität eines Parameters beschreibt die tatsächliche Heterogenität einer Population und kann die Präzision der Expositionsschätzung und deren Übertragbarkeit beeinflussen [5]. Unsicherheiten eines Modells entstehen hingegen durch unzureichen-

des Wissen über die für die Exposition und das Risiko relevanten Parameter und können zu einer ungenauen oder verzerrten Expositionsschätzung führen [5]. Die Variabilität kann daher genauer geschätzt und besser beschrieben werden, Unsicherheiten jedoch können und sollten soweit wie möglich reduziert werden, um die Exposition möglichst realitätsnah zu schätzen [4].

Da die Exposition eines Stoffes möglichst genau bestimmt werden muss, um das Risiko schätzen und steuern zu können, und hierfür die Unsicherheiten so gering wie möglich gehalten werden müssen, ist eine solide Datengrundlage unumgänglich. Der folgende Artikel bezieht sich auf die verfügbaren Datengrundlagen zur Schätzung der oralen Exposition über Lebensmittel und stellt die Notwendigkeit einer Erweiterung der Datengrundlage über Konzentrationen von Stoffen in Lebensmitteln dar. Eine für die deutsche Bevölkerung repräsentative Datengrundlage über Gehalte von Stoffen in Lebensmitteln, die auch verarbeitete Lebensmittel einschließt, wird die BfR-MEAL-Studie liefern. Die BfR-MEAL-Studie wird dazu beitragen, Unsicherheiten bestehender Expositionsschätzungen zu minimieren und Datengrundlagen für Stoffe zu schaffen, die bislang nicht ausreichend untersucht wurden. MEAL steht dabei für „Mahlzeiten für die Expositionsschätzung und Analytik von Lebensmitteln“. Die Studie wird im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) durchgeführt.

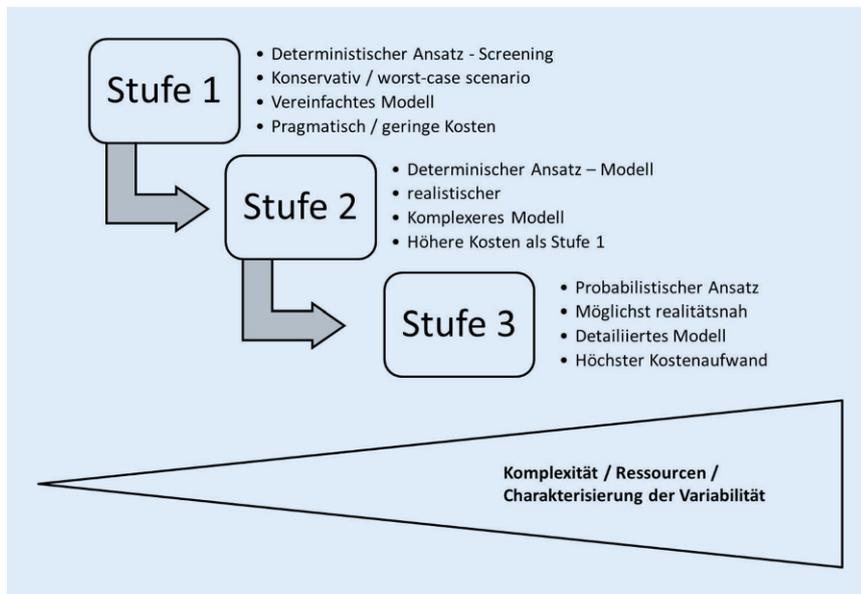


Abb. 1 ▲ Mehrstufiges Verfahren zur Schätzung der Exposition nach [6]

## Deterministische und probabilistische Expositionsschätzung

Für die Expositionsschätzung zur Risikobewertung von unerwünschten Stoffen wird von der WHO und der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ein mehrstufiges Verfahren empfohlen [6]. Bedingt durch den verbraucherpolitischen Entscheidungsdruck und die dadurch entstehende zeitliche Begrenzung kann nur eine limitierte Wissensgrundlage einbezogen werden, was sich in den gewählten Methoden widerspiegeln muss. Solch ein Verfahren muss in kurzer Zeit mit vertretbarem Aufwand und Ressourcen (IT, Recherchen, Datenerhebung) durchgeführt werden können und muss, neben der wissenschaftlichen Zuverlässigkeit, eine breite politische und öffentliche Akzeptanz gewährleisten. Daher wurden im ersten und zweiten Schritt des mehrstufigen Verfahrens bisher meist sogenannte deterministische Verfahren zur Schätzung der Exposition herangezogen (s. [Abb. 1](#)). In Schritt 1 werden zunächst grobe Annahmen zugrunde gelegt. Diese Annahmen sollten so gewählt und plausibilisiert werden, dass sich im Vergleich zur erwarteten realen Exposition eine Überschätzung ergibt. Dieser Schritt 1 wird nur in Fällen genutzt, in denen aus Kapazitätsgründen Schritt 2 nicht durch-

zuführen ist. Ansonsten ist Schritt 2 und analog dann Schritt 3 als Verfeinerung der Expositionsschätzung aus Schritt 1 zu sehen, wenn sich ein Risiko in den vorangegangenen gröberen Schätzungen nicht ausschließen lässt oder weitere Informationen zur Variabilität in der Bevölkerung erforderlich sind. In Schritt 2 werden typischerweise die in [Abb. 2](#) dargestellten bis zu vier Szenarien unterschieden. Das Basisszenario, welches nahezu immer relevant ist, stellt dabei die Kombination von durchschnittlichem Verzehr und durchschnittlichen Gehalten im Lebensmittel dar. Durch die Verwendung durchschnittlicher Gehalte wird ein Szenario konstruiert, welches die Situation abbildet, in der ein individueller Verbraucher über den betrachteten Zeitraum mit wechselnden Gehalten (mit gleicher Wahrscheinlichkeit hohe und niedrige Gehalte) in Kontakt kommt. Das in [Abb. 2](#) dargestellte zweite Szenario (Vielverzehrer bei mittleren Gehalten) berücksichtigt die Variabilität der verzehrten Mengen, indem bei gleichbleibenden Konzentrationen ein oberes Perzentil (z. B. das P95) basierend auf individuellen Verzehrdaten genutzt wird. Szenario drei dagegen berücksichtigt die Variabilität in den Gehalten und bildet eine Situation ab, in der ein Verbraucher über einen längeren Zeitraum konstant mit hohen Gehalts-

werten in Kontakt kommt. Ein Beispiel hierfür wäre ein markentreuer Verbraucher, im Falle dass die Höhe der Gehalte mit der Marke assoziiert ist. Das vierte Szenario berücksichtigt den ungünstigsten Fall, in welchem hohe Gehalte mit einem hohen Verzehr einhergehen. Die beiden letztgenannten Szenarien werden jedoch nur fallweise betrachtet und sind nicht notwendigerweise Bestandteil jeder Expositionsschätzung.

Diese Szenarien liefern bei Vorliegen individueller repräsentativer Verzehrdaten und Gehaltsdaten plausible und realistische Schätzungen pro Lebensmittel. Ist jedoch eine Addition über mehrere Lebensmittel erforderlich, kann dies zumindest bei der Verwendung aggregierter Daten zu einer Abweichung von der Realität durch eine notwendigerweise akzeptierte Überschätzung des Risikos führen [4].

## Deterministische Expositionsschätzung

Als deterministische Schätzung oder auch Punktschätzung werden Szenarien/ Berechnungen bezeichnet, die ein gesundheitliches Risiko bzw. eine Exposition als einfachen Punktschätzer beschreiben [5, 7]. In der Praxis werden dafür üblicherweise Mittelwert oder Median zur Beschreibung einer mittleren Exposition oder obere Perzentile für die Beschreibung einer hohen Aufnahme verwendet ([Abb. 2](#)). Insbesondere bei der Expositionsschätzung für mehrere Lebensmittel kann es zu einer von der Realität abweichenden Überschätzung kommen.

Aufgrund ihrer Nachteile werden die deterministischen Verfahren in den letzten Jahren verstärkt durch probabilistische Ansätze ergänzt (siehe [Abb. 1](#), Schritt 3). Dies ist insbesondere der Fall, wenn aufgrund einer Überschätzung der Exposition (durch Verknüpfung vieler konservativer Annahmen) ein gesundheitliches Risiko für den Verbraucher nicht ausgeschlossen werden kann. Mit Blick auf durchzuführende Risikominderungsmaßnahmen sollte eine Überschreitung gesundheitsbasierter Kennwerte nicht durch vermeidbare Überschätzungen bedingt sein. Weitere Nachteile einer deterministischen Bewertung sind die begrenzten Mög-

lichkeiten, Hinweise über Parameter abzuleiten, die maßgeblich zu einem Risiko beitragen, wenn ein solches Risiko in der Schätzung indiziert wird [8]. Probabilistische Verfahren liefern im Rahmen gestufter Verfahren (s. **Abb. 1**) gute Ansätze, um die Variabilität, d. h. die Variation eines Parameters in einer definierten Population, angemessen zu beschreiben und damit auch die Variabilität der Aufnahme innerhalb der Bevölkerung [9]. Zu erwähnen sind dabei auch die oft als semiprobabilistisch oder „simple distribution“ bezeichneten Aufnahmeschätzungen, bei denen nur für einen Parameter (z. B. die Verzehrmenge) die gesamte Verteilung durch Berücksichtigung der empirischen individuellen Daten genutzt wird [10, 11] und weitere Parameter (z. B. Gehalt) als Punktschätzung eingehen. Der Vorteil probabilistischer Ansätze ist zudem darin zu sehen, dass nicht vorab eine Stratifizierung von Bevölkerungsgruppen notwendig ist, für die dann separat die deterministischen Schätzungen zu wiederholen sind. Vielmehr können diese direkt in der Ergebnisverteilung für die Exposition identifiziert und gesondert ausgewertet werden. Dies ist natürlich beschränkt auf die in Querschnittstudien mit ausreichender Fallzahl abgebildeten Bevölkerungsgruppen. Bestimmte Bevölkerungsgruppen mit besonderen Ernährungsweisen (Vegetarier, medizinisch oder kulturell bedingte Ernährungsweisen), sind üblicherweise nicht abgedeckt.

### Probabilistische Expositionsschätzung

Ergänzend zu deterministischen Abschätzungen werden probabilistische Ansätze (auch verteilungsbasierte oder populationsbezogene Ansätze genannt) für die Expositionsschätzung genutzt. Diese Verfahren beschreiben nicht nur einzelne Fälle/Szenarien, sondern versuchen die gesamte Variabilität in den Daten abzubilden und damit zu einer Darstellung aller möglichen Ausprägungen für die Exposition zu gelangen. Als mathematische Hilfsmittel zur Umsetzung dieses Ansatzes werden sogenannte Monte-Carlo-Simulationen, Verteilungsanpassungen und andere Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitstheorie benutzt.

Bundesgesundheitsbl 2017 · 60:689–696 DOI 10.1007/s00103-017-2566-1  
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

I. Sarvan · M. Bürgelt · O. Lindtner · M. Greiner

## Expositionsschätzung von Stoffen in Lebensmitteln . Die BfR-MEAL-Studie – die erste Total-Diet-Studie in Deutschland

### Zusammenfassung

Die Exposition der Bevölkerung gegenüber chemischen Stoffen in Lebensmitteln wird anhand von repräsentativen Verzehrdaten auf der einen und Gehaltsdaten von Stoffen in Lebensmitteln auf der anderen Seite geschätzt. Die derzeitige Datengrundlage auf Seiten der Verzehrdaten für verschiedene Altersgruppen wird durch die Nationale Verzehrsstudie II, VELS, EsKiMo und die zur Zeit durchgeführte KIESEL-Studie abgedeckt. Die Datengrundlage für die Gehaltsdaten, die vor allem durch das Lebensmittel-Monitoring und den Bundeslebensmittelschlüssel bezogen werden, ist jedoch nicht hinreichend für eine vollständige Bewertung der Exposition über Lebensmittel in Deutschland. Um die Unsicherheiten der Schätzungen zu reduzieren und die Anzahl der Stoffe

mit belastbaren Daten zu vergrößern, wird die Erhebung weiterer Daten unerlässlich. Eine repräsentative Datengrundlage für die Schätzung der Exposition wird die erste deutsche Total-Diet-Studie, die BfR-MEAL-Studie, liefern. Die BfR-MEAL-Studie wird durch die Einbeziehung verarbeiteter Lebensmittel, durch die Orientierung an möglichst geringen Messgrenzen sowie die Bestimmung von Stoffen, die bislang nicht ausreichend untersucht wurden, die größeren Unsicherheiten der Expositionsschätzung deutlich minimieren.

### Schlüsselwörter

Exposition · BfR-MEAL-Studie · Total-Diet-Studie · Expositionsschätzung · Gehaltsdaten von Lebensmitteln

## Dietary exposure assessment of substances in foods. The BfR MEAL study – the first German total diet study

### Abstract

The dietary exposure of a population to chemical substances is estimated based on representative consumption data and data on the occurrence of substances in foods. Consumption data in Germany for different age groups are provided by the National Nutrition Survey II, VELS, EsKiMo and the ongoing KIESEL study. The data for the levels of substances in foods is currently obtained from the German food monitoring programme (*Lebensmittel-Monitoring*) and the German Food Composition Table (*Bundeslebensmittelschlüssel*) and is not sufficient for a comprehensive evaluation of dietary exposure in Germany. More data is needed and, in particular, the range of analysed substances should be broadened

to reduce the uncertainties of the exposure assessment. A representative data basis for concentrations of substances in foods will be established with the first German total diet study, called the BfR MEAL study. The study will markedly reduce major uncertainties in the dietary exposure assessment through its wide coverage of substances in food groups, the inclusion of prepared foods, the orientation on low measurement limits as well as the analysis of substances without a reliable data basis.

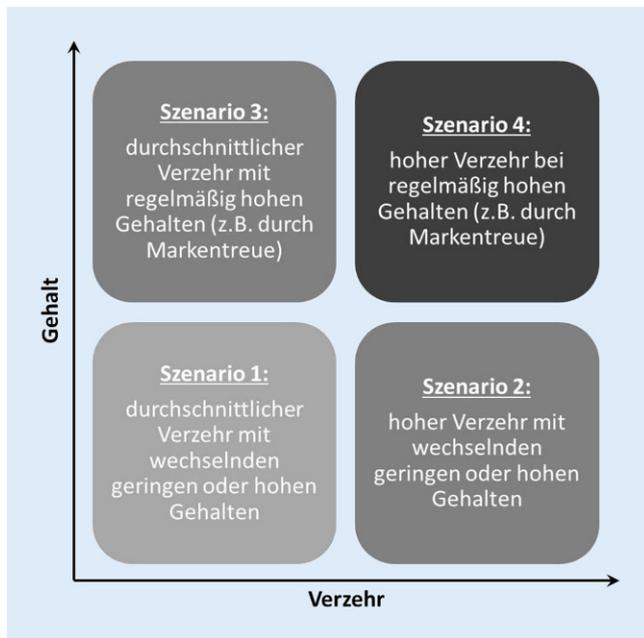
### Keywords

Exposure assessment · Exposure · BfR MEAL study · Total diet study · Concentration in food

Unabhängig davon, ob deterministische oder probabilistische Verfahren in der Expositionsschätzung zum Einsatz kommen, sind die Eingangsparameter (Verzehrhäufigkeit und -menge, Gehalt in Lebensmitteln, Körpergewicht) immer gleich [11]. Demzufolge werden für diese Datenquellen aktuelle und repräsentative Daten benötigt, um die Exposition zu beschreiben. Daten zum Körpergewicht werden dabei in Ver-

zehrstudien üblicherweise mit erhoben, was den Vorteil hat, diese auf individueller Ebene zu kombinieren und damit mögliche Korrelationen abzubilden.

Die in Deutschland verfügbaren und beispielsweise vom BfR genutzten Daten werden im Folgenden dargestellt sowie die Notwendigkeit, mit der Total-Diet-Studie (TDS) eine zusätzliche Datenquelle zu etablieren.



**Abb. 2** ◀ Viertypische Szenarien bei der Expositionsschätzung für Lebensmittel

## Verzehr- und Gehaltsdaten

Um die Exposition eines Stoffes schätzen zu können, bedarf es repräsentativer Verzehrdaten einer Bevölkerung und detaillierter Gehaltsdaten über die verzehrten Speisen und Getränke.

Die Datengrundlage in Deutschland für repräsentative Verzehrdaten für Erwachsene ist durch die Erhebung der Daten der Nationalen Verzehrsstudie II (NVS II) in 2006 gut abgedeckt und kann für das Verzehrverhalten von Kindern ergänzt werden (Abb. 3). Hierfür stehen die VELS-Daten aus 2002 (Lebensalter 0,5–4 Jahre) [12, 13], die EsKiMo-Daten aus 2006 (6–17 Jahre) [14] und die demnächst vorhandenen Kiesel-Daten (0,5–5 Jahre) [15] zur Verfügung. Somit besteht eine belastbare Datengrundlage für die allgemeinen Verzehrgewohnheiten in Deutschland für alle Altersgruppen. Die Datengrundlage für Menschen mit speziellen Verzehrgewohnheiten ist jedoch eingeschränkt.

Als Datengrundlage für Gehaltsdaten können entweder Nährwerttabellen oder analytisch ermittelte Gehaltsdaten von Lebensmitteln herangezogen werden [11]. Die Angaben aus Nährwerttabellen und deren Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern und innerhalb eines Landes müssen stets kritisch beurteilt werden, genauso wie die Kategorisierung

der Lebensmittel für die jeweilige Nährwerttabelle [11]. In Deutschland dient der Bundeslebensmittelschlüssel als nationale Datenbank für die Gehaltsdaten in Lebensmitteln [4, 16].

Analytisch ermittelte Gehaltsdaten werden in Deutschland seit 1995 im Lebensmittel-Monitoring systematisch durch die Kontrollbehörden der Bundesländer erfasst und die Daten im Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) zusammengestellt [17]. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Einhaltung der Richtlinien für Pflanzenschutzmittel und ausgewählte Umweltkontaminanten, wie beispielsweise Schwermetalle, Dioxine und polychlorierte Biphenyle [17]. Das Lebensmittel-Monitoring basiert auf einem jährlichen Plan, der die Auswahl der Lebensmittel, die zu untersuchenden Stoffe und die Verteilung von Probenziehung und Analytik auf die Überwachungsbehörden festlegt [18]. Die Auswahl der Lebensmittel wurde einerseits auf der Grundlage der NVS II hergeleitet (Warenkorb-Monitoring) und andererseits seit 2003 aufgrund von spezifischen Fragestellungen bestimmt (Projekt-Monitoring) [18]. Im europaweiten Vergleich liefert das Lebensmittel-Monitoring eine umfangreiche und detaillierte Datengrundlage, um die Einhaltung der Höchstgrenzen

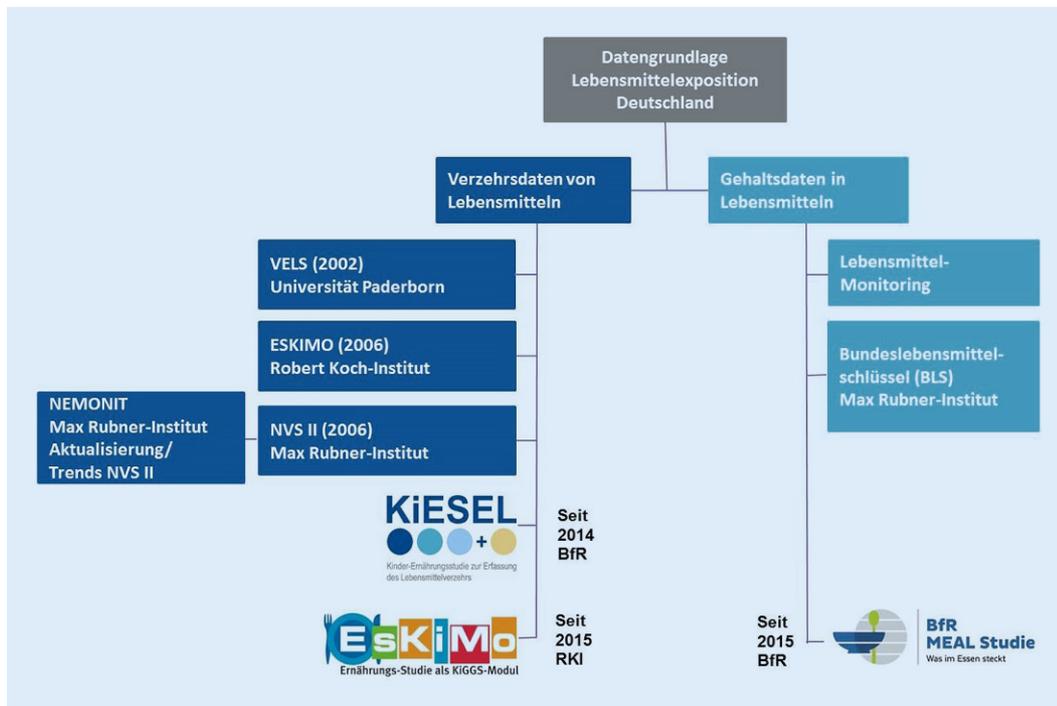
der untersuchten Stoffe schätzen und sicherstellen zu können.

## Das LExUKon-Projekt

Die Gehaltsdaten des Lebensmittel-Monitorings wurden für das LExUKon-Projekt (Lebensmittelbedingte Exposition von Umweltkontaminanten) verwendet, das die lebensmittelrelevante Exposition gegenüber Umweltkontaminanten untersucht hatte. Neben Gehaltsdaten des Lebensmittel-Monitorings wurden auch publizierte Daten (z. B. der EFSA bei gering aggregierten Lebensmittelgruppen) einbezogen [19, 20]. Diese wurden mit den Verzehrdaten der NVS II kombiniert und so die Exposition abgeschätzt.

Die Expositionsschätzungen im LExUKon-Projekt generierten für einige Substanzen und Stoffe eine Überschreitung oder hohe Ausschöpfung der gesundheitlich basierten Referenzwerte. Damit stellt sich die Frage nach möglichen zu reduzierenden Unsicherheiten [17]. Generell können diese auf folgende Faktoren zurückgeführt werden:

- Mögliche Überschätzung durch vorwiegende Berücksichtigung unverarbeiteter Lebensmittel und nicht vorhandene Daten zu Gehalten in verzehfertigen Lebensmitteln [20]
- Über- oder Unterschätzung von Lebensmitteln, für die keine Gehaltsdaten aus dem Lebensmittel-Monitoring vorlagen (z. B. weil kein Höchstgehalt festgesetzt ist) und möglicherweise für den deutschen Markt nicht ausreichend repräsentative Daten herangezogen wurden. Dies sind teilweise auch viel verzehrte Lebensmittel.
- Stark variierende Nachweis- und Bestimmungsgrenzen in den Laboren, wobei die höheren Grenzen an der Überwachung orientiert sind, sodass ein hoher Prozentsatz nicht bestimmbarer Werte vorliegt. Je nach Ansatz können solche nicht bestimmten Werte als Obergrenze der Messgrenze (Upper-bound-Ansatz), als nicht vorhanden (Lower-bound-Ansatz) oder als halbe Messgrenze (Medium-bound-Ansatz) bewertet werden [20].



**Abb. 3** ◀ Datengrundlage für lebensmittelbedingte Exposition in Deutschland

Zudem ist der LEXUKon-Ansatz nur für einen Teil der Kontaminanten anwendbar. Auf Stoffe, die nur in industriell verarbeiteten Lebensmitteln vorkommen (z. B. Zusatzstoffe) oder sich bei der Zubereitung signifikant ändern (z. B. Vitamine, Prozesskontaminanten) ist dieser auf dem Lebensmittel-Monitoringbasierte Ansatz nicht anwendbar.

### Die BfR-MEAL-Studie

Die BfR-MEAL-Studie, die im Jahr 2015 am BfR gestartet ist, unterliegt dem Design einer Total-Diet-Studie und bietet die Möglichkeit, die Nachteile des Lebensmittel-Monitorings auszugleichen [17]. Total-Diet-Studien unterliegen drei Grundprinzipien: Sie sollten repräsentativ die Verzehrsgewohnheiten einer Bevölkerungsgruppe abbilden, die Lebensmittel sollten so zubereitet werden, wie sie üblicherweise verzehrt werden, und ähnliche Lebensmittel werden zu einer Poolprobe zusammengefasst, bevor sie analysiert werden [1, 21, 22]. Der Ablauf der BfR-MEAL-Studie setzt sich aus sechs verschiedenen Arbeitsschritten zusammen (▣ **Abb. 4**): a) Auswahl der Lebensmittel, b) deutschlandweiter Einkauf, c) Verarbeitung in der BfR-Küche, d) Poolen und Homogenisie-

ren, e) Analyse, f) Auswertung und Expositionsschätzung.

Die Auswahl der relevanten Lebensmittel und ihre Zusammenfassung in der Food List ist die Voraussetzung für die spätere Probenziehung. Aus den Daten der NVS II und VELS wurden Lebensmittelpools gebildet, die repräsentativ 90 % der Verzehrsgewohnheiten der deutschen Bevölkerung abdecken. Die Lebensmittel werden zu Gruppen, sogenannten Pools zusammengefasst, die jeweils aus 15 bis 20 ähnlichen Lebensmitteln bestehen, die später gemeinsam untersucht werden. So kann beispielsweise ein Pool aus verschiedenen zubereiteten Hähnchenproben bestehen (unterschiedliche Rezepte und Außer-Haus-Verzehr). Zusätzlich wurden Pools von Lebensmitteln ergänzt, bei denen ein hoher Beitrag zur Exposition erwartet wird, trotz geringem Anteil (d. h. kleiner 10 %) an den durchschnittlichen deutschen Verzehrsgewohnheiten. Diese Lebensmittelpools werden zum Teil deutschlandweit in vier verschiedenen Regionen eingekauft, zu verschiedenen Jahreszeiten gezogen oder nach biologischem und konventionellem Anbau unterschieden. Diese Stratifizierung ist abhängig von der Vorinformation über die Variabilität der Gehaltdaten. Nach

der Lieferung der Lebensmittel zur BfR-MEAL-Küche werden diese haushaltstypisch zubereitet, d. h. die verwendeten Geräte und Utensilien werden in haushaltstypischen Geschäften gekauft, und die Zubereitungsart wird dem typischen Verbraucherverhalten nachgebildet. Anschließend werden jeweils 15–20 ähnliche Lebensmittel (z. B. Äpfel, Honig oder zubereitete Hähnchen) zusammen in einer Messermühle zu einem homogenen Pool verarbeitet. Dieser Pool wird in verschiedene Gefäße, je nach anschließender Analytik, abgefüllt und abgewogen und an die Lieferanten der Labore übergeben. Die Analytik der Proben findet größtenteils außerhalb des BfR an akkreditierten Laboren statt. Die Messergebnisse werden dem BfR übermittelt, ausgewertet und zur Expositionsschätzung der verschiedenen Stoffe im BfR herangezogen.

Damit stellt die BfR-MEAL-Studie sicher, dass nahezu alle relevanten Lebensmittelgruppen mit Gehaltdaten belegt werden. Der Einkauf orientiert sich an aktuellen Marktdaten, sodass die ausgewählten Lebensmittel für den deutschen Markt repräsentativ sind. Zudem sind die Unsicherheiten durch die Zubereitung reduziert, da nur verzehrfertige Lebensmittel untersucht werden. Jeder Stoff



Abb. 4 ▲ Ablauf der BfR-MEAL-Studie

### Infobox Die BfR-MEAL-Studie

Die BfR-MEAL-Studie (Mahlzeiten für die Expositionsschätzung und Analytik von Lebensmitteln) des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) untersucht zum ersten Mal in Deutschland großflächig, in welchen Konzentrationen unterschiedliche Stoffe durchschnittlich in Lebensmitteln enthalten sind und welche gesundheitlichen Risiken bei der Verarbeitung und Zubereitung von Lebensmitteln entstehen können. Dabei berücksichtigt die Studie mehr als 90 % der gesamten deutschen Lebensmittelpalette und analysiert die Speisen jeweils so, wie sie typischerweise verzehrt werden. Die BfR-MEAL-Studie ist die erste Total-Diet-Studie (TDS) für Deutschland. Total-Diet-Studien werden derzeit in mehr als 50 Ländern weltweit durchgeführt. Die Ergebnisse der BfR-MEAL-Studie dienen unter anderem als Grundlage, mögliche Risiken durch den Verzehr von Lebensmitteln zu erkennen.

wird nur in einem Labor untersucht, sodass einheitliche und möglichst niedrige analytische Nachweisgrenzen zum Einsatz kommen.

Bei allen diesen Vorteilen ist zu beachten, dass die Methodik der Total-Diet-Studie aufgrund des Poolens keine Möglichkeit bietet, Gehaltsdaten für akute Schätzungen zu generieren. Damit kann sie nur als Ergänzung, nicht als alternative Methode zum Lebensmittel-Monitoring gesehen werden [17].

### Ausblick

Die BfR-MEAL-Studie, die seit 2015 am BfR gestartet ist, verfolgt das Design einer Total-Diet-Studie. Diese neu geschaffene Datengrundlage hat zum Ziel, eine möglichst realistische Abschätzung der

Aufnahme der zu untersuchenden Stoffe aus den relevanten Lebensmitteln zu liefern. Die Besonderheiten des Designs der BfR-MEAL-Studie sind in anderen Quellen ausführlich erläutert [23].

Bisher wurde die Expositionsschätzung in Deutschland auf Seiten der analytischen Gehaltsdaten vor allem auf die aktuelle Datengrundlage des Lebensmittel-Monitorings gestützt und für einige Stoffe durch die Daten des Bundeslebensmittelschlüssels (BLS) [24] oder publizierte Daten ergänzt. Das Lebensmittel-Monitoring hat im Gegensatz zur Expositionsschätzung zum Ziel, die in Deutschland gekauften Lebensmittel auf die Einhaltung der gesetzlichen Höchstwerte zu kontrollieren. Hierfür werden stichprobenartig Lebensmittel eines Warenkorbes in bestimmten Regionen gezogen [18]. Bei akuten Überschreitungen der Höchstwerte werden durch Behörden und Wirtschaftsbeteiligte geeignete Maßnahmen ergriffen und durch das BfR eine gesundheitliche Bewertung vorgenommen und kommuniziert. Bedingt durch die Untersuchung auf Einhaltung oder Verstoß gegen Höchstgrenzen, gibt es im Rahmen des Lebensmittel-Monitorings keine Notwendigkeit für sehr niedrige Messgrenzen unterhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Höchstgrenzen. Wenn diese Daten zur Expositionsschätzung eingesetzt werden, führt dies zu einer erhöhten Unsicherheit, da viele Werte unterhalb der Messgrenze liegen und diese auf verschiedene Arten bewertet werden können. Daher sind die Gehaltsdaten des Lebensmittel-Monitorings für die Expositionsschätzung nur begrenzt geeignet.

Zudem handelt es sich bei den untersuchten Lebensmitteln meist um unverarbeitete Lebensmittel, wobei die Verluste oder das Entstehen neuer Stoffe während der Verarbeitung zu Hause nicht berücksichtigt werden. In einer Studie wurde anhand eines mathematischen Modells beschrieben, wie verschiedene Prozesse die Gehalte von gesundheitsfördernden Substanzen im Essen beeinflussen können [25]. Durch die Prozessschritte Züchtung, industrielle Verarbeitung und Im-Haus-Verarbeitung wurden beispielsweise sehr große Unterschiede zwischen dem Anbau von Gemüse und dem Essen, bevor es verzehrt wird, gefunden. Hierbei können die Unterschiede der Konzentrationen zwischen Faktor 10–100 variieren. Auf der anderen Seite können auch potenziell unerwünschte Stoffe durch die Weiterverarbeitung von Lebensmitteln im Haus auftreten. So entstehen beispielsweise in kohlenhydrat- und proteinreichen Lebensmitteln durch Erhitzung Stoffe der Maillard-Reaktion. Die Abläufe dieser sehr komplexen Reaktionen sind noch nicht vollständig verstanden und werden derzeit weiter untersucht. Es ist jedoch bekannt, dass einerseits erwünschte Röstaromen entstehen, die das Lebensmittel schmackhaft machen, und andererseits unerwünscht Nebenprodukte entstehen können, wie beispielsweise Acrylamid, das im Tierversuch krebserregend und erbgutschädigend wirkte, dessen Wirkung auf den Menschen jedoch noch nicht geklärt ist [16].

Während der Verarbeitung zu Hause kann sich nicht nur durch Erhitzung die Konzentration eines Stoffes im Lebensmittel erhöhen oder reduzieren, auch

andere Stoffe in der zubereiteten Speise können sich gegenseitig beeinflussen. So ist beispielsweise bekannt, dass die sekundären Pflanzenstoffe Epigallocatechin-Gallate z. B. im schwarzen Tee nicht mehr im menschlichen Organismus aufgenommen werden können, nachdem sie nichtkovalente Bindungen mit Casein aus der Milch eingegangen sind [26]. Auch hierdurch kann die Zubereitung der Speisen im Haus die tatsächlich verfügbare Konzentration von Stoffen im Essen verändern.

Nach Möglichkeit sollte auch das Verbraucherverhalten bei der Zubereitung im Haus mit einbezogen werden. Falls beispielsweise Obst typischerweise gewaschen oder geschält wird, die vorliegenden Daten zur Expositionsschätzung dies jedoch nicht mit berücksichtigen, werden die aufgenommenen Gehalte von z. B. Pestiziden überschätzt. Andererseits sind auch Einträge von z. B. Elementen durch Küchenutensilien denkbar.

Dies verdeutlicht, dass Daten zu zubereiteten Speisen nach der Verarbeitung von Lebensmitteln unerlässlich für eine möglichst realistische Expositionsschätzung sind.

Da die Datengrundlage insbesondere auf Seiten der Gehaltsdaten unzureichend ist, wird die Erhebung weiterer Daten erforderlich. Als kostengünstigstes Design zur Erhebung von Daten für die Expositionsschätzung werden von WHO [1] und EFSA [22] Total-Diet-Studien wie die BfR-MEAL-Studie bewertet. Da TDS sich an möglichst geringen Messgrenzen im Gegensatz zu den geforderten Höchstgrenzen bei der Analytik der Stoffe im Lebensmittel-Monitoring orientieren, werden weniger nichtbestimmte Messwerte im Datensatz vorhanden sein, und somit kann die Unsicherheit der Expositionsschätzung reduziert werden. Zudem kann auch für Stoffe, für die es bisher keine belastbare Datengrundlage für die Expositionsschätzung gab, wie beispielsweise aus Lebensmittelkontaktmaterialien migrierende Stoffe, Prozesskontaminanten und Zusatzstoffe, die Aufnahme über die übliche Ernährung geschätzt werden. Die BfR-MEAL-Studie untersucht außerdem die Fragestellung der saisonalen oder regionalen Unterschiede von den zu untersuchenden

Stoffen in Lebensmitteln sowie die Unterschiede in biologisch oder konventionell erzeugten Lebensmitteln.

## Korrespondenzadresse

### Dr. O. Lindtner

Bundesinstitut für Risikobewertung  
Max-Dohrn-Straße 8–10, 10589 Berlin,  
Deutschland  
oliver.lindtner@bfr.bund.de

**Danksagung.** Die Finanzierung der Studie erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** I. Sarvan, M. Bürgelt, O. Lindtner und M. Greiner geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

## Literatur

1. Moy GG, Vannoort RW (Hrsg) (2013) Total diet studies. Springer, New York
2. BfR (2010) „Risiko“ oder „Gefahr“? Experten trennen nicht einheitlich: Zwei BfR-Studien zur Verwendung der Begriffe in der Risikokommunikation. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin. [http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2010/04/\\_risiko\\_oder\\_gefahr\\_experten\\_trennen\\_nicht\\_einheitlich-48560.html](http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2010/04/_risiko_oder_gefahr_experten_trennen_nicht_einheitlich-48560.html). Zugriffen: 20. Jan 2017
3. WHO – Programme of Food Safety and Food Aid, GEMS/Food, Global Environment Monitoring System/Food Contamination Monitoring and Assessment Programme, Codex Committee on Pesticide Residues (1997) Guidelines for predicting dietary intake of pesticide residues (revised). WHO/FSF/FOS/97.7. World Health Organization (WHO), Geneva
4. Lindtner O (2014) Unsicherheitsanalysen für Datenquellen zur Expositionsschätzung im Rahmen der Lebensmittelsicherheit. Dissertation (<i>Dr. rer. nat.</i>), Fakultät für Naturwissenschaften, Department Sport & Gesundheit, Institut für Ernährung, Konsum und Gesundheit. Universität Paderborn, Paderborn
5. IPCS, International Programme on Chemical Safety – Exposure Terminology Subcommittee of the IPCS Exposure Assessment Planning Workgroup (2001) Harmonization of Approaches to the

Assessment of Risk from Exposure to Chemicals – Glossary of Exposure Assessment-Related Terms: A Compilation. World Health Organization (WHO), Geneva

6. WHO, FAO (2009) Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. World Health Organisation (WHO), Geneva
7. U.S. EPA – Office of Emergency and Remedial Response (2001) Risk assessment guidance for superfund: volume III – part A, process for conducting probabilistic risk assessment. EPA 540-R-02-002. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC
8. Bosgra S, Bos PMJ, Vermeire TG, Luit RJ, Slob W (2005) Probabilistic risk characterization: an example with di(2-ethylhexyl) phthalate. Regul Toxicol Pharmacol 43(1):104–113
9. EC, European Commission – Health & Consumer Protection Directorate-General (2003) Risk assessment of food borne bacterial pathogens: quantitative methodology relevant for human exposure assessment. Final Report.
10. BfR (2009) Cadmium in Lebensmitteln. Eine aktuelle Aufnahmeschätzung für die deutsche Bevölkerung. Verbraucherinfo. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin ([http://www.bfr.bund.de/cm/350/cadmium\\_in\\_lebensmitteln.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/350/cadmium_in_lebensmitteln.pdf))
11. Kroes R, Müller D, Lambe J et al (2002) Food Chem Toxicol. Assess Intake From Diet 40(2/3):327–385
12. Banasiak U, Heseke H, Sieke C, Sommerfeld C, Vohmann C (2005) Abschätzung der Aufnahme von Pflanzenschutzmittel-Rückständen in der Nahrung mit neuen Verzehrsmengen für Kinder. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 48(1):84–98
13. Heseke H, Oepping A, Vohmann C (2003) Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern für die Abschätzung eines akuten Toxizitätsrisikos durch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln (VELS). Forschungsbericht für das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Universität Paderborn, Paderborn
14. Mensink GBM, Bauch A, Vohmann C et al (2007) EsKiMo – Das Ernährungsmodul im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KIGGS). Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 50(5/6):902–908
15. Schweter A, Parreidt N, Lähnwitz C et al (2015) Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehr (KIESEL). Umwelt Mensch Informationsdienst 2:57–63
16. BfR (2013) Acrylamid in Lebensmitteln. Stellungnahme Nr. 043/2011 des BfR vom 29. Juni 2011, ergänzt am 21. Januar 2013. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin (<http://www.bfr.bund.de/cm/343/acrylamid-in-lebensmitteln.pdf>)
17. Lindtner O, Berg K, Blume K, Fiddicke U, Heinemeyer G (2013) The German approach to estimating dietary exposures using food monitoring data. In: Moy GG, Vannoort RW (Hrsg) Total diet studies. Springer, USA, 5521–530
18. BVL (2010) Hintergrundinformation: Lebensmittel-Monitoring. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin ([https://www.bvl.bund.de/DE/08\\_Presselinfotehke/01\\_FuerJournalisten/01\\_Presse\\_und\\_Hintergrundinformationen/01\\_Lebensmittel/2010/2010\\_10\\_21\\_hi\\_monitoring.html?nn=1401276](https://www.bvl.bund.de/DE/08_Presselinfotehke/01_FuerJournalisten/01_Presse_und_Hintergrundinformationen/01_Lebensmittel/2010/2010_10_21_hi_monitoring.html?nn=1401276))
19. Schwarz MA, Lindtner O, Blume K, Heinemeyer G, Schneider K (2014) Cadmium exposure from food: the German LExUKon project. Food Addit

- Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess 31(6):1038–1051
20. BfR (2010) Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel – Ergebnisse des Forschungsprojektes LExUKon. Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin ([http://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme\\_von\\_umweltkontaminanten\\_ueber\\_lebensmittel.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/350/aufnahme_von_umweltkontaminanten_ueber_lebensmittel.pdf))
  21. Vin K, Papadopoulos A, Cubadda F et al (2014) TDS Exposure Project: Relevance of the Total Diet Study approach for different groups of substances. Food Chem Toxicol 73:21–34
  22. EFSA, FAO, WHO (2011) Towards a harmonised total diet study approach: a guidance document. Eur Food Saf Auth J 9(11):2450
  23. Bürgelt M, Sarvan I, Greiner M, Lindtner O (2016) Was im Essen steckt – die MEAL-Studie des Bundesinstituts für Risikobewertung. Umwelt Mensch Informationsdienst 2:38–43
  24. Hartmann BM, Schmidt C, Sandfuchs K (2014) Bundeslebensmittelschlüssel (BLS). Version 3.02. Max Rubner-Institut – Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe
  25. Dekker M, Verkerk R, Jongen WMF (2000) Predictive modeling of health aspects in the food production chain: a case study on glucosinolates in cabbage. Trends Food Sci Technol 11(4–5):174–181
  26. Jöbstl E, Howse JR, Fairclough JPA, Williamson MP (2006) Noncovalent cross-linking of casein by epigallocatechin gallate characterized by single molecule force microscopy. J Agric Food Chem 54(12):4077–4081