

## **Kein gesundheitliches Risiko durch den Verzehr von Eiern und Fleisch auf der Basis aktuell ermittelter Dioxingehalte**

Stellungnahme Nr. 002/2011 des BfR vom 26. Januar 2011

Im Bundesland Schleswig-Holstein wurde im Dezember 2010 eine Verunreinigung von pflanzlichem Futterfett mit Dioxinen festgestellt. Technische Fettsäuren mit hohen Dioxingehalten sind in pflanzliche Futterfette eingemischt und anschließend zur Futtermittelherstellung verwendet worden. Verschiedene Geflügel-, Schweinemast- und Legehennenbetriebe sowie Milcherzeugerbetriebe haben Futtermittel mit den verunreinigten Fetten bezogen und verfüttert.

Die Überwachungsbehörden der Bundesländer haben aus betroffenen Betrieben Proben von Fleisch, Eiern und Milch auf ihren Dioxingehalt untersucht. Die ermittelten Dioxingehalte für Fleisch von Schweinen und Legehennen sowie von Eiern liegen nur bei wenigen Proben über den in der Europäischen Union festgelegten Höchstgehalten. Bei Milch und Fleisch von Mastgeflügel wurden keine Überschreitungen festgestellt. Das BfR kommt auf Grundlage seiner Risikoabschätzung zu dem Ergebnis, dass selbst wenn Eier oder Schweinefleisch mit Gehalten im Bereich der höchsten gemessenen Werte über einen längeren Zeitraum verzehrt wurden, weder eine unmittelbare noch eine langfristige gesundheitliche Beeinträchtigung für die Verbraucher zu erwarten ist.

Bei Dioxinen ist nicht die täglich zugeführte Menge, sondern die im Körper befindliche Menge, also die Körperlast, entscheidend für die Auswirkungen auf die Gesundheit. Dioxine reichern sich im Körper an. Jeder Mensch nimmt aufgrund der bestehenden Hintergrundbelastung täglich Spuren von Dioxinen über Lebensmittel auf. Da in den vergangenen Jahrzehnten die wesentlichen Eintragsquellen von Dioxin in die Umwelt geschlossen wurden, ist die Belastung von Lebensmittel mit Dioxin erheblich zurückgegangen.

Im Rahmen der Futtermittel- und Lebensmittelüberwachung findet eine regelmäßige Kontrolle in Bezug auf die Einhaltung der Höchstgehalte statt. Wesentliche Möglichkeiten und Strategien, die Dioxinbelastung des Menschen zu reduzieren, bestehen darin, die im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnisse dahingehend zu nutzen, Eintragspfade bzw. punktuelle Dioxinquellen zu verschließen.

### **1 Gegenstand der Bewertung**

In Schleswig-Holstein wurde eine Verunreinigung von pflanzlichem Futterfett mit Dioxinen festgestellt. Technische Fettsäuren mit hohen Dioxingehalten sind in pflanzliche Futterfette eingemischt und anschließend zur Herstellung von Mischfuttermitteln verwendet worden. Verschiedene Geflügel-, Schweinemast- und Legehennenbetriebe sowie Milcherzeugerbetriebe haben Futtermittel mit den verunreinigten Fetten bezogen und verfüttert. Die Überwachungsbehörden der Bundesländer haben aus betroffenen Betrieben Proben von Fleisch, Eiern und Milch auf ihren Dioxingehalt untersucht. Die derzeit ermittelten Dioxingehalte für Fleisch von Schweinen und Legehennen sowie von Eiern liegen bei einigen Proben über den in der Europäischen Union festgelegten Höchstgehalten. Alle anderen analysierten Lebensmittelproben weisen Dioxinkonzentrationen unterhalb der zulässigen Höchstgehalte auf. Die Bundesländer führen derzeit weitere Kontrollen durch. Aus diesem aktuellen Anlass hat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) eine Bewertung des gesundheitlichen Risikos durch den Verzehr von Eiern und Fleisch auf der Basis aktuell ermittelter Daten (Datenlage vom

24. Januar 2011; 14:00 Uhr) vorgenommen. Die Analysedaten wurden von Bundesländern und Mitgliedern der Fachverbände des Lebensmittel- und Agrarsektors zur Verfügung gestellt.

## 2 Ergebnis

Die gemessenen Dioxingehalte bei Eiern, Fleisch von Legehennen und Mastschweinen lagen nur in wenigen Fällen über den gesetzlichen Höchstgehalten. Bei Milch und Fleisch von Mastgeflügel wurden keine Überschreitungen festgestellt. Von den untersuchten Mischfuttermitteln wurde in keiner Probe der zulässige Höchstgehalt für Dioxine überschritten.

Der in der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 festgelegte Höchstgehalt für Dioxine in Fleisch und Fleischerzeugnissen von Schweinen von 1 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett wurde von 4 der vorliegenden 124 Proben überschritten (ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit). Von 175 vorliegenden Analyseergebnissen von Eiern überschritten 33 den in der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 festgelegten Höchstgehalt für Eier und Eiprodukte von 3 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett. Ein Picogramm (pg) entspricht einem billionstel Gramm.

Die Befunde von bis zu 1,51 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett überschreiten den festgelegten Höchstgehalt von Dioxinen für Schweinefleisch um den Faktor 1,5. Die Befunde von bis zu 12,14 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Fett überschreiten den festgelegten Höchstgehalt von Dioxinen für Eier um den Faktor 4.

Das BfR kommt zu dem Schluss, dass, selbst wenn Eier oder Schweinefleisch mit Gehalten im Bereich der höchsten gemessenen Werte aus den aktuellen Verdachtsproben über einen längeren Zeitraum verzehrt wurden, weder eine unmittelbare noch eine langfristige gesundheitliche Beeinträchtigung für die Verbraucher zu erwarten ist.

Legt man die derzeit in Verdachtsproben nachgewiesenen mittleren Dioxingehalte in Lebensmitteln zugrunde, wird die tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) allein durch die Aufnahme von Dioxinen aus Eiern zu ca. 4 % ausgeschöpft. Dabei wurde von einem mittleren Verzehr auf Basis der Daten der Nationalen Verzehrsstudie II ausgegangen. Bei Schweinefleisch liegt lediglich eine Ausschöpfung des TDI von ca. 1 % vor. Bei Vielverzehrern (95. Perzentil) von Eiern und Schweinefleisch ergäbe sich eine Ausschöpfung des TDI von etwa 10 % für Eier und 2 % für Schweinefleisch.

Bei Stoffen wie den Dioxinen ist nicht die täglich zugeführte Dosis, sondern die im Körper befindliche Menge, also die Körperlast, entscheidend für Auswirkungen auf die Gesundheit. Dioxine reichern sich im Körper an, und jeder Mensch nimmt aufgrund der bestehenden Hintergrundbelastung täglich Spuren von Dioxinen über Lebensmittel auf.

Im Rahmen der Futtermittel- und Lebensmittelüberwachung findet eine regelmäßige Kontrolle in Bezug auf die Einhaltung der Höchstgehalten statt. Wesentliche Möglichkeiten und Strategien, die Dioxinbelastung des Menschen zu reduzieren, bestehen darin, die im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnisse dahingehend zu nutzen, Eintragspfade bzw. punktuelle Dioxinquellen zu verschließen.

### 3 Begründung

#### 3.1 Risikobewertung

##### 3.1.1 Agens

Der Begriff „Dioxine“ bezieht sich auf zwei Klassen unterschiedlich chlorierter Verbindungen, die aus 75 polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen (PCDD) und 135 polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) bestehen. Dioxine (PCDD/F) haben ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften und sind lipophile Verbindungen, die sich im Fettgewebe von Tieren und Menschen anreichern. Besonders toxisch und gleichzeitig persistent sind die 17 Kongenere, die in 2,3,7,8-Stellung chloriert sind. Das Kongener mit der höchsten Toxizität ist das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD), das so genannte Seveso-Dioxin. In Relation zur Toxizität dieses Kongeners werden den anderen 2,3,7,8-substituierten Dioxinen Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) zugeordnet. Die Konzentrationen der einzelnen Kongenere werden mit den von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) festgelegten TEF multipliziert und anschließend addiert. Daraus ergibt sich als Summe die Dioxin-Toxizitätsäquivalentkonzentration (WHO-PCDD/F-TEQ), die in Bezug auf die Toxizität der Konzentration von reinem TCDD entspricht.

Dioxine sind unerwünschte Nebenprodukte, die hauptsächlich bei bestimmten industriellen Verfahren sowie bei Verbrennungsprozessen (z.B. Verbrennung von Haus- und Sondermüll) zwangsläufig entstehen und freigesetzt werden können. Sie wurden und werden also nicht zweckbestimmt produziert (ausgenommen für wissenschaftliche Zwecke).

In der von der Europäischen Kommission am 19. Dezember 2006 erlassenen Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 sind im Anhang, Abschnitt 5, sowohl Höchstgehalte für WHO-PCDD/F-TEQ als auch für WHO-PCDD/F-PCB-TEQ aufgeführt.

##### 3.1.2 Gefährdungspotenzial

Akute Wirkungen von hohen Dioxin-Dosen sind beim Menschen nur nach beruflicher, unfallbedingter oder vorsätzlicher Aufnahme beschrieben. Bei hoher Exposition treten lang anhaltende entzündliche Hautveränderungen auf, die als „Chlorakne“ bezeichnet werden. Veränderungen der klinisch-chemischen Parameter (vor allem ein Anstieg der Konzentrationen an Triglyceriden, Cholesterin und Transaminasen im Blut) weisen auch auf Leberschädigungen bzw. auf Veränderungen im Fettstoffwechsel hin.

Als chronische Wirkungen von Dioxinen wurden bei Tierversuchen Störungen der Reproduktionsfunktionen, des Immunsystems, des Nervensystems und des Hormonhaushalts beschrieben. In tierexperimentellen Studien wiesen männliche Ratten die größte Empfindlichkeit gegenüber Dioxinen auf. Dabei wurde die Entwicklung des Immunsystems und des Genitalapparates bei pränatal gegenüber Dioxinen exponierten Ratten als sehr sensibler Endpunkt ermittelt (z.B. WHO 2002). Darüber hinaus sind als empfindlichste Zielorgane gegenüber den Dioxin-Expositionen die Leber und die Schilddrüse identifiziert worden. Inwieweit diese Effekte auch beim Menschen eine Rolle spielen, ist noch nicht geklärt. Verschiedene Dioxine gelten als Tumorpromotoren.

Hinsichtlich der Toxizität von Dioxinen bei Nicht-Labortieren und landwirtschaftlichen Nutztieren liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor. Bei Legehennen wird über einen Rückgang der Legeleistung um 10-30 % sowie von neurologischen Vergiftungssymptomen berichtet

(Federal Ministry of Agriculture - Belgium 2000). Allerdings wies das Futter mit 781 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg sehr hohe Konzentrationen auf. In Österreich wurden beim Einsatz von dioxinhaltigen Tonmineralien als Bindemittel keine toxischen Effekte beim Schwein und Geflügel beobachtet, allerdings waren die Dioxinkonzentrationen im Futter mit 4,8 bis 6,2 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg auch deutlich geringer als die analysierten Dioxingehalte in Belgien.

Bei moderaten Dioxinkonzentrationen ist daher nicht mit nachteiligen Auswirkungen auf die Gesundheit der Tiere zu rechnen (SCAN 2000). Bezüglich möglicher langfristiger chronischer Effekte von Dioxinen (Kanzerogenität) liegen bei landwirtschaftlichen Nutztieren keine Informationen vor; bedingt durch das begrenzte Lebens- bzw. Nutzungsalter landwirtschaftlicher Nutztiere kommen chronische Effekte nicht zum Tragen. Aufgrund der chemischen Eigenschaften der Dioxine (hohe Fettlöslichkeit) steht die Einlagerung im tierischen Fettgewebe im Vordergrund der Betrachtung.

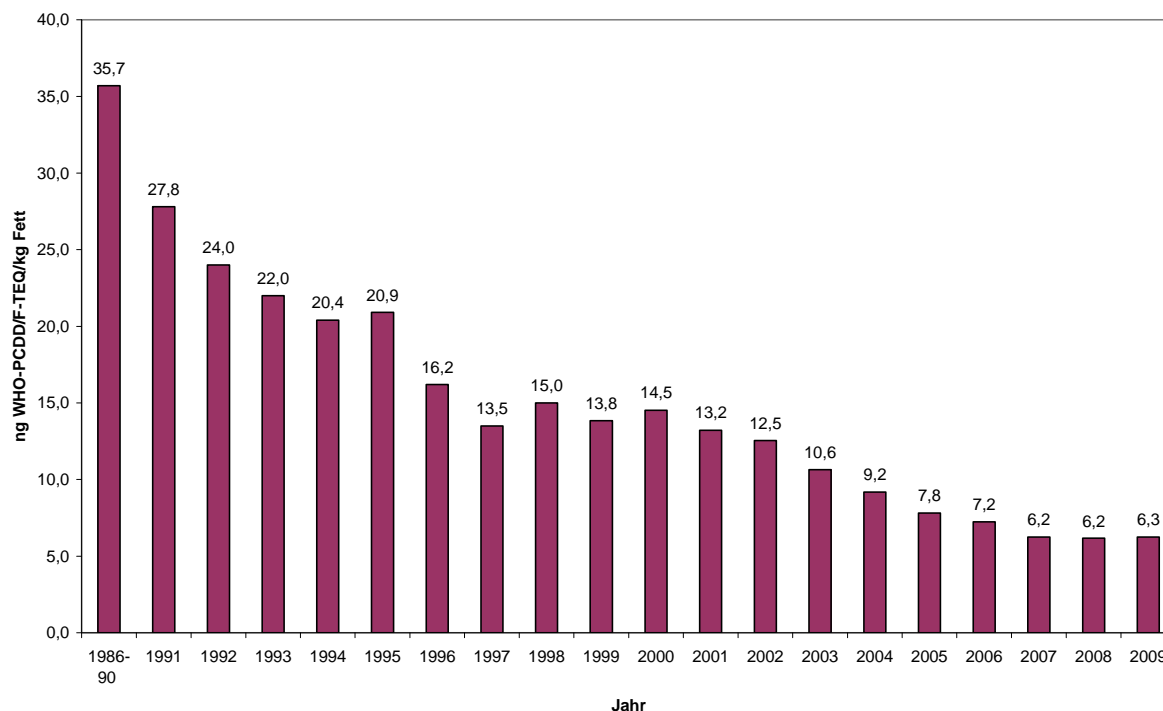
### 3.1.3 Exposition

#### Exposition durch Hintergrundbelastung am Beispiel Frauenmilch

Die vom Menschen über die Nahrung aufgenommenen Dioxine sind schwer abbaubar und werden im Körperfett gespeichert. Frauenmilch ist als fettreiche und leicht zugängliche Körperflüssigkeit ein guter Bioindikator für die Hintergrundbelastung des Menschen mit den im Körperfett gespeicherten lipophilen und persistenten Dioxinen. Die Dioxingehalte in Frauenmilch, Blut und Fettgewebe sind bezogen auf die Fettbasis in allen drei Matrices etwa gleich (Beck 1992). Umweltbezogene emissionsmindernde Regularien und technische Maßnahmen haben in den letzten 25 Jahren zu einer Minimierung des Eintrags in die Lebensmittelkette und damit der täglichen Dioxinaufnahme durch den Menschen geführt. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen kann anhand der Trendverläufe von Dioxinen in Frauenmilch sehr gut überprüft und verfolgt werden (Abbildung 1).

Dem BfR liegen aus den Bundesländern Daten zu den Dioxinen in Frauenmilch für den Zeitraum 1985 bis 2009 vor (Dioxin Datenbank des Bundes und der Länder 2010). Die aktuellen Auswertungen des BfR belegen, dass die durchschnittlichen Dioxingehalte in Frauenmilch aus Deutschland kontinuierlich von 35,7 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg Milchfett (1985-1990) auf 6,3 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg Milchfett im Jahr 2009 zurückgegangen sind. Das ist ein Rückgang um mehr als 80 % auf 17 % des ursprünglichen Wertes innerhalb der letzten 25 Jahre. In anderen Industrieländern werden ebenfalls deutlich sinkende Gehalte beobachtet. Auch die 95. Perzentile und berichtete Maximalwerte an Dioxinen in Frauenmilch folgen diesem Trend. Mit 10 bzw. 11,5 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg Milchfett (entspricht 10 bzw. 11,5 pg WHO-PCDD/F-TEQ/g Milchfett bzw. 0,35-0,4 ng WHO-PCDD/F-TEQ/L Milch) betragen diese nur noch ca. 30 % der durchschnittlichen Belastung von 1990.

Abbildung 1: Zeitlicher Trend der Gehalte an Dioxinen (ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg Fett) in Frauenmilch aus Deutschland 1986-2009. Diese Angaben beziehen sich nur auf die PCDD/PCDF, die dioxinähnlichen PCB wurden hierbei nicht berücksichtigt.



### Exposition Lebensmittel

Die Auswertungen für die Langzeitexposition beruhen auf Daten der „Dietary History“-Interviews der Nationalen Verzehrstudie II (NVS II), die mit Hilfe des Programms „DISHES 05“ erhoben wurden (MRI 2008). Die NVS II ist die zurzeit aktuelle repräsentative Studie zum Lebensmittelverzehr der deutschen Bevölkerung. Die Studie, bei der etwa 20.000 Personen im Alter zwischen 14 und 80 Jahren mittels drei verschiedener Erhebungsmethoden (Dietary History, 24h-Recall und Wiegeprotokoll) zu ihrem Ernährungsverhalten befragt wurden, fand zwischen 2005 und 2006 in ganz Deutschland statt. Mit der „Dietary History“-Methode wurden 15.371 Personen befragt und retrospektiv ihr üblicher Verzehr der letzten vier Wochen (ausgehend vom Befragungszeitpunkt) erfasst. Sie liefert gute Schätzungen für die langfristige Aufnahme von Stoffen, wenn Lebensmittel in allgemeinen Kategorien zusammengefasst werden oder Lebensmittel betrachtet werden, die einem regelmäßigen Verzehr unterliegen.

Die Verzehrdatenauswertungen wurden im Rahmen des vom BMU finanzierten Projektes „LExUKon“ (Lebensmittelbedingte Aufnahme von Umweltkontaminanten) am BfR durchgeführt.

Für die Aufnahmeschätzungen wurden die individuellen Körpergewichte der Befragten zugrunde gelegt, die sich wie im Folgenden beschrieben zusammensetzten. Für 14.468 Personen wurden in den Studienzentren Messungen des Körpergewichtes vorgenommen, für 846 Personen konnte die Selbstangabe im Interview nach Plausibilitätsprüfung als Schätzwert für das Körpergewicht verwendet oder korrigiert werden. Für die verbleibenden 57 Personen wurden in Anlehnung an die „Hot-Deck“-Methode (Little und Rubin 2002) die Werte der gesamten Stichprobe nach Geschlecht, Altersgruppen, sozialer Schicht und Schwangeren-

schaftstrimester stratifiziert und aufsteigend nach der errechneten Kalorienaufnahme sortiert. Der jeweils „ähnlichste Nachbar“ der entstehenden Teilstichproben wurde als Ersatzwert für die fehlenden Angaben zum Körpergewicht gewählt.

Die Aufnahmeschätzungen für Kinder beruhen auf Verzehrdaten aus der VELS-Studie<sup>1</sup> (Heseker et al. 2003). Die Studie wurde zwischen 2001 und 2002 an 816 Säuglingen und Kleinkindern im Alter zwischen 6 Monaten bis unter 5 Jahren in ganz Deutschland durchgeführt. Die Eltern haben für jedes Kind zweimal 3-Tage-Ernährungsprotokolle über alle verzehrten Lebensmittel geführt. Die Lebensmittel und Speisen wurden anschließend unter Berücksichtigung der Verarbeitungsfaktoren auf rohe Lebensmittel zurückgerechnet. Das Modell des BfR bezieht sich auf die Verzehrdaten der Kinder zwischen 2 und unter 5 Jahren mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von 16,15 kg<sup>2</sup>.

### Dioxingehalte in Eiern und Schweinefleisch im aktuellen Dioxinfall

In Tabelle 1 sind die dem BfR bisher vorliegenden Gehalte von WHO-PCDD/F-TEQ (Stand: 24.01.2011, 14:00) gemessen in Eiern und Schweinefleisch sowie die entsprechenden Höchstgehalte und deren Überschreitungen dargestellt. Diese Messungen geben kein repräsentatives Bild der Belastungssituation auf dem deutschen Markt wider, sondern stellen die Befunde aus risikoorientierten Einzelmessungen (ausschließlich Verdachtsproben) dar. Sie wurden von Bundesländern und Mitgliedern der Fachverbände des Lebensmittel- und Agrarsektors zur Verfügung gestellt. Einige Daten konnten nicht in die Auswertung einbezogen werden, da das Ergebnis der Analyse nicht als Zahlenwert übermittelt wurde. Zu beachten ist außerdem, dass von den Laboren unterschiedlich große Messunsicherheiten angegeben wurden, die in den Gehaltsmessungen keine Berücksichtigung finden.

**Tabelle 1: Gehalte von WHO-PCDD/F-TEQ in pg/g Fett (Stand 24.01.2011)**

	Hühnereier	Schwein, Fleisch
n (Messungen)	175	124
Mittelwert	1,9	0,3
Minimum	0,1	0,1
Maximum	12,1	1,5
zulässiger Höchstgehalt (HG)	3,0	1,0
%>HG	19	3

Berechnet man einen Mittelwert aus den zur Verfügung gestellten Daten (entspricht nicht der Durchschnittsbelastung bezogen auf den vermarkteten Anteil, da keine repräsentative Probenahme erfolgt ist, s.o.) aus den vorliegenden Messungen, ergibt sich für Eier eine Konzentration von ca. 2 pg/g Fett und für Schweinefleisch von 0,3 pg/g Fett. Beide Werte liegen unterhalb des EU-weit geltenden Höchstgehaltes nach Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 (Eier: 3 pg/g Fett WHO-PCDD/F-TEQ; Schweinefleisch: 1 pg/g Fett WHO-PCDD/F-TEQ).

<sup>1</sup> Verzehrstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern für die Abschätzung eines akuten Toxizitätsrisikos durch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln

<sup>2</sup> [http://www.bfr.bund.de/cm/218/bfr\\_entwickelt\\_neues\\_verzehrmodell\\_fuer\\_kinder.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/218/bfr_entwickelt_neues_verzehrmodell_fuer_kinder.pdf)

### Exposition Futtermittel

Im Rahmen einer nationalen Statuserhebung zu PCDD/F wurden die Gehalte von ca. 200 Futtermitteln auf Dioxine (17 WHO-PCDD/F-Kongenere) untersucht. Untersucht wurden Mischfuttermittel sowie wichtige Rau- und Saffutter. Ziel der Untersuchung war eine möglichst repräsentative Erfassung der Belastungssituation der Futtermittel in Deutschland. Die Dioxingehalte in den Futtermittelproben lagen mit einem WHO-PCDD/F-TEQ von im Median 0,03 ng/kg (88 % TS) deutlich unter dem Höchstgehalt von 0,75 ng/kg, der von keiner der untersuchten Futtermittelproben überschritten wurde (Schwind et al. 2009).

### Dioxingehalte in Futtermitteln im aktuellen Dioxinfall

Insgesamt liegen dem BfR Analyseergebnisse von 238 Futtermitteln vor, davon sind 50 Mischfuttermittel und 184 Ausgangserzeugnisse (Fette, Fettsäuren), die eindeutig als solche gekennzeichnet waren. Die übrigen 4 Proben sind nicht eindeutig gekennzeichnet, so dass eine Zuordnung und Auswertung nicht möglich ist. Diese Messungen geben kein repräsentatives Bild der Belastungssituation auf dem deutschen Markt wider, sondern stellen die Befunde aus risikoorientierten Einzelmessungen (ausschließlich Verdachtsproben) dar. Sie wurden von Bundesländern und Mitgliedern der Fachverbände des Agrarsektors zur Verfügung gestellt (Auswertung der bis zum 24.1.2011 übermittelten Daten). Von den untersuchten Mischfuttermitteln wurde in keiner Probe der zulässige Höchstgehalt für Dioxine (0,75 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg) überschritten. Die höchsten Gehalte wurden mit 0,468 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg in einem Sauenfutter analysiert. Die Spannweite aller analysierten Mischfutteranalysen (Masthähnchen, Mastputen, Legehennen, Ferkel, Mastschweine, Sauen, Rinder) reicht von 0,039 bis 0,468 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg. Der mittlere Dioxingehalt der vorliegenden Untersuchungen von Mischfuttermitteln beträgt  $0,104 \pm 0,096$  ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg.

Anders sehen die Analyseergebnisse der zur Mischfutterherstellung verwendeten Ausgangserzeugnisse (Fette und Fettsäuren) aus. Hier ist eine Abnahme des Dioxingehalts von den als Ausgangssubstanz verwendeten Fettsäuren zu den daraus hergestellten Futterfetten (die als Komponente in das Mischfuttermittel eingemischt werden) festzustellen. Von insgesamt 85 vorliegenden untersuchten Fettproben lagen 21 % aller analysierten Proben oberhalb des zulässigen Höchstgehaltes von 0,75 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg, eine Probe überschritt sogar das Zehnfache dieses Höchstgehaltes. Die Variationsbreite aller analysierten Fette erstreckte sich von 0,11 bis 7,56 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg. Der mittlere Dioxingehalt der vorliegenden Fettproben beträgt  $0,710 \pm 0,852$  ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg.

Deutlich höhere Dioxingehalte wurden in den Ausgangsfettsäuren ermittelt (86 Proben); die Variationsbreite betrug von 0,31 bis 62,07 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg. Insgesamt lagen 71 % aller vorliegenden Fettsäureproben oberhalb des zulässigen Höchstgehaltes (0,75 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg), 30 % aller Proben sogar oberhalb des Zehnfachen des Höchstgehaltes. Der mittlere Dioxingehalt der vorliegenden Fettsäureproben beträgt  $5,55 \pm 12,80$  ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg. Bei den sog. Mischfettsäuren (10 Proben), einer Mischung verschiedener Fettsäuren, wurden mit Dioxingehalten von 2,01 bis 150 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg mit Abstand die höchsten Gehalte analysiert. Alle vorliegenden Ergebnisse von Mischfettsäuren lagen oberhalb des zulässigen Höchstgehaltes (0,75 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg).

3.1.3.1 Dioxinaufnahme über den Verzehr von Eiern und Schweinefleisch im aktuellen Dioxinfall

Modellhafte Aufnahmeschätzungen für Erwachsene

Für die Berechnung der Verzehrsmengen wurden Rezepte/Gerichte und nahezu alle zusammengesetzten Lebensmittel in ihre unverarbeiteten Einzelbestandteile aufgeschlüsselt und beispielsweise für Trocknung entsprechende Verarbeitungsfaktoren berücksichtigt. Die Rezepte sind (größtenteils) mit Standardrezepturen hinterlegt und berücksichtigen somit keine Variation in der Zubereitung/Herstellung und den daraus folgenden Verzehrsmengen.

Eine Aufnahmeschätzung auf Grundlage der NVS II-Daten (LExUKon) und der vorliegenden Werte von Dioxinen ergeben die in Tabelle 2 dargestellten Aufnahmen.

**Tabelle 2: Modellhafte Langzeitaufnahmen (Erwachsene) von WHO-PCDD/F-TEQ auf Grundlage vorliegender aktueller Messungen**

Lebensmittel	MW Gehalt (pg/g Fett)	Aufnahme in pg/d/ kg KG bei mittleren Gehalten		Ausschöpfung des TDI (%)	
		Bei mittlerem Verzehr	Bei hohem Verzehr	Bei mittlerem Verzehr	Bei hohem Verzehr
Eier, auch getrocknet	1,9	0,081	0,199	4,1	9,9
Schwein, Fleisch	0,3	0,012	0,030	0,6	1,5

Bei einem mittleren Verzehr (MW) wird der TDI für Dioxine und PCB (2 pg/ kg KG pro Tag; SCF 2001) durch die Aufnahme von Dioxinen (WHO-PCDD/F-TEQ) für Eier zu ca. 4 % und für Schweinefleisch zu ca. 1 % ausgeschöpft. Legt man einen hohen Verzehr (95. Perzentil) zugrunde ergibt sich eine Ausschöpfung des TDI von etwa 10 % (Eier) und 2 % für Schweinefleisch. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die berechneten Aufnahmen auf Basis der derzeitigen Belastung der Lebensmittel im aktuellen Dioxinfall erfolgten. Eine Aussage über eine zukünftige Belastung der Lebensmittel sowie Rückschlüsse hieraus sind nicht zu ziehen. Dies ist deshalb von besonderer Bedeutung, da bei der TDI-Ableitung von einer lebenslangen Aufnahme ausgegangen wird.

Die berechneten Aufnahmen unterliegen der Annahme eines längerfristigen bzw. lebenslangen Verzehrs der Lebensmittel mit immer gleichen Gehalten, wovon in der Regel nicht auszugehen ist. Die derzeitige Belastung der Lebensmittel aus den übermittelten Analyseergebnissen im aktuellen Dioxinfall ist als zeitlich begrenzter Ausschnitt anzusehen und damit auch die daraus ermittelten Dioxin-Aufnahmen über Eier und Schweinefleisch.

Modellhafte Aufnahmeschätzungen für Kinder

Die Expositionsschätzungen erfolgten auf Basis aktueller Dioxinbefunde in Lebensmitteln (Eier, Schweinefleisch) und aus der oben beschriebenen VELS-Studie für Kinder.

In Tabelle 3 sind Aufnahmen von WHO-PCDD/F-TEQ für Kinder (2 bis < 5 Jahre) auf Grundlage der VELS-Daten und aktueller Analyseergebnisse (Mittelwert, s. Tabelle 1) dargestellt. Der Verzehr für Schweinefleisch beinhaltet keine Schweinefleischerzeugnisse. Für die Berechnung des fettbezogenen Verzehrs wurden die durchschnittlichen Fettgehalte der Lebensmittel aus der NVS II (LExUKon) verwendet.



**Tabelle 3: Modellhafte Langzeitaufnahmen (Kinder 2 bis < 5 J.) von WHO-PCDD/F-TEQ auf Grundlage vorliegender aktueller Messungen**

Lebensmittel	Aufnahme in pg/d/ kg KG* bei mittleren Gehalten	TDI-Ausschöpfung (%)
	bei mittlerem Verzehr	bei mittlerem Verzehr
Eier	0,252	12,6
Schwein, Fleisch	0,009	0,4

\*Standardkörpergewicht VELs von 16,15 kg

Die Nutzung (Mittelung) von wenigen Einzeltagesmessungen (VELs) für die Berechnung einer lebenslangen Aufnahme ist mit Unsicherheiten verbunden, die insbesondere bei Aussagen zu detaillierten Lebensmittelgruppen oder bei Schätzungen mit einem hohen Prozentsatz Nichtverzehrer zu beachten sind.

Bei VELs wurden verarbeitete Lebensmittel auf Basis von Verarbeitungsfaktoren auf rohe Lebensmittel zurückgerechnet. Lebensmittel wie z.B. Eier und Fleisch wurden jedoch überwiegend in verarbeitetem Zustand verzehrt, so dass der ermittelte Aufnahmewert eine Überschätzung darstellen könnte.

### 3.1.3.2 Expositionsschätzung über die Aufnahme von Futtermitteln für Legehennen und Mastschweine

Nutztiere nehmen Dioxine (PCDD/F) in erster Linie über den Boden oder über Verunreinigungen des Futters mit Bodenbestandteilen auf (Rychen et al. 2008). PCDD/F können aus der Atmosphäre und dem Boden auf die Pflanzen gelangen. Die Aufnahme von PCDD/F über die Wurzeln ist für die meisten Pflanzen unbedeutend. Der Höchstgehalt für Futtermittel-Ausgangserzeugnisse pflanzlichen Ursprungs, mit Ausnahme von pflanzlichen Ölen und Nebenerzeugnissen, liegt EU-weit (Richtlinie 2002/32/EG) bei 0,75 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg (bezogen auf ein Futtermittel mit einem Trockensubstanzgehalt von 88 %). Eine Übersicht über mittlere Dioxingehalte von bestimmten Futtermitteln gibt Tabelle 4.

Bei einer Aufnahme von 1-3 kg Trockensubstanz (Mastschwein) bzw. 0,1-0,2 kg Trockensubstanz (Legehenne) eines Mischfuttermittels würde bei den aktuell analysierten Dioxingehalten von 0,043 bis 0,382 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg (Mastschweinefutter) bzw. 0,048 bis 0,11 ng WHO-PCDD/F-TEQ/kg (Legehennenfutter) eine mögliche Dioxinaufnahme von 0,049 bis 1,302 ng WHO-PCDD/F-TEQ (Mastschwein) bzw. 0,005 bis 0,025 ng WHO-PCDD/F-TEQ (Legehenne) resultieren.

**Tabelle 4: Futtermittelspezifische mittlere Dioxingehalte (in ng WHO- PCDD/F-TEQ/kg; EFSA 2010)**

Futtermittel	PCDD
Pflanzliche Futtermittel (außer Öle)	0,11
Pflanzliche Öle inkl. Nebenprodukte	0,17
Futtermittel mineralischen Ursprungs	0,08
Tierische Fette inkl. Milchfett und Eifett	0,28
Fischöl	0,80
Zusatzstoffe (Spurenelemente)	0,13
Vormischungen	0,07
Mischfuttermittel	0,11
Heimtier- und Fischfutter	0,18

### 3.2 Risikocharakterisierung

#### Tolerierbare Aufnahmemengen

Von der WHO wurde für die tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) ein Bereich von 1 bis 4 pg WHO-PCDD/F-PCB-TEQ/kg KG und Tag festgelegt (WHO 2000). Dabei wird die obere Grenze (der TDI von 4 pg WHO-PCDD/F-PCB-TEQ/kg KG) als provisorische Basis der maximal tolerierbaren Aufnahme verstanden. Der untere Wert dokumentiert das Ziel der WHO, die Aufnahme von WHO-PCDD/F-PCB-TEQ beim Menschen auf unter 1 pg/kg KG zu reduzieren. Als Grundlage für den TDI-Bereich hat den WHO Lowest Observed Adverse Effect Level (LOAEL) herangezogen, der von verschiedenen Autoren für unterschiedliche Spezies und für verschiedene Endpunkte, z.B. entwicklungstoxische Effekte beschrieben wurde.

Vom Scientific Committee on Food (SCF) der Europäischen Union (EU) wurde 2001 die tolerierbare wöchentliche Aufnahme (tolerable weekly intake, TWI) von 14 pg WHO-PCDD/F-PCB-TEQ /kg KG abgeleitet. Als Grundlage für die Ableitung des TWI hat das SCF den LOAEL für die verminderte Spermienproduktion und das veränderte Sexualverhalten von männlichen Wistar-Ratten herangezogen, die von Faqi et al. (1998) beschrieben wurden.

#### Risikobewertung für Erwachsene und Kinder

Bei den errechneten Ausschöpfungen des TDI für den mittleren Verzehr von ca. 4 % für Eier und ca. 1 % für Schweinefleisch bzw. eine Ausschöpfung bei einem hohen Verzehr (95. Perzentil) von etwa 10 % für Eier und 2 % für Schweinefleisch sind keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Verbrauchers zu erwarten. Auch für Kinder sind bei den mit dem mittleren Verzehr berechneten TDI Ausschöpfungen von etwa 12,6 % für Eier und 0,4 % für Schweinefleisch keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten

#### Risikobewertung für Säuglinge

Wie bereits erwähnt, hat die WHO eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) von 1-4 pg WHO-PCDD/F-PCB-TEQ/kg KG abgeleitet (WHO 2000). Dieser Wert gilt für die Summe von Dioxinen und dioxin-ähnlichen PCB. Der TDI charakterisiert die Aufnahmedosis, bei der bei lebenslanger täglicher Aufnahme kein gesundheitliches Risiko zu erwarten ist. Nach heutiger Datenlage nimmt ein 3 Monate alter voll gestillter Säugling im Mittel täglich 35 pg WHO-PCDD/F-TEQ/kg Körpergewicht an Dioxinen auf. Die WHO hat sich intensiv mit den im Ver-

gleich zum TDI wesentlich höheren Aufnahmemengen des Säuglings auseinandergesetzt (durchschnittlich 84 pg WHO-PCDD/F-TEQ/kg Körpergewicht und Tag). Da nach Bewertung der WHO das Stillen nachweislich mit gesundheitlichen Vorteilen für das Kind verbunden ist und diese höhere Dioxinaufnahme nur in einem sehr kurzen Lebenszeitabschnitt erfolgt, hat die WHO das Stillen uneingeschränkt empfohlen.

Auch die Nationale Stillkommission empfiehlt uneingeschränkt das Stillen (Nationale Stillkommission 1995). Die Stillkommission hat auch zu Zeiten höherer Schadstoffkonzentrationen in Frauenmilch keinen Anlass für Einschränkungen der Empfehlung zum Stillen gesehen. Die Nationale Stillkommission empfiehlt, dass Säuglinge bis zum Übergang auf die Ernährung mit Beikost - frühestens zu Beginn des 5. Monats - ausschließlich gestillt werden und sieht auch kein gesundheitliches Risiko, nach Einführung von Beikost weiter zu stillen, solange Mutter und Kind wollen. Sie fordert jedoch aus Gründen der Vorsorge, auch weiterhin geeignete Maßnahmen zur Minimierung der Rückstände aller Fremdstoffe in Frauenmilch zu ergreifen.

Im aktuellen Fall erhöhter Dioxingehalte in Eiern und Fleisch ist die Ausschöpfung des TDI bei Erwachsenen relativ gering. Es ist daher nicht von einer signifikanten Erhöhung des Dioxingehaltes in Frauenmilch auszugehen, so dass das Stillen auch im aktuellen Fall weiterhin uneingeschränkt empfohlen werden kann.

#### Risikobewertung für landwirtschaftliche Nutztiere

Aus den obigen Rationsberechnungen können je nach Tierart Dioxinaufnahmen von 0,005 bis 1,302 ng WHO-PCDD/F-TEQ pro Tag resultieren. Insbesondere bei Mastschweinen in der Endmast und Sauen ist aufgrund der hohen Futteraufnahmemengen zwangsläufig mit einer höheren Dioxinaufnahme zu rechnen. Da aber alle aktuell vorliegenden Untersuchungen von Mischfuttermitteln - nur diese gelangen letztlich in den Futtertrog und werden an die Tiere verfüttert - unterhalb des zulässigen Höchstgehaltes für Dioxine lagen, ist nicht von einer Gefährdung der Tiergesundheit auszugehen.

#### **4 Modellkalkulation zur Bestimmung der Dioxin-Körperlast (Body-Burden Concept)**

Im Folgenden werden Worst-Case-Überlegungen zum Verzehr von über dem EU-Höchstwert mit Dioxinen belasteten Eiern bzw. Schweinefleisch für Erwachsene dargestellt. Bei den Berechnungen wird von den maximal gemessenen Gehalten von 12 pg/g Eifett bzw. 1,5 pg/g Schweinefett ausgegangen. Bei einem hohen Verzehr (2 Eier bzw. 2 Scheiben Schweinefleisch pro Tag) errechnet sich eine tägliche Gesamt-Exposition (einschließlich aller anderen Lebensmittel mit durchschnittlichen Belastungen und mittlerem Verzehr dieser Lebensmittel) von 3,5 pg/kg Körpergewicht bei den Eiern und von 1,2 pg/kg Körpergewicht beim Schweinefleisch. Würden die Eier (Höchstgehalt = 3 pg/g Fett) bzw. das Schweinefleisch (Höchstgehalt = 1 pg/g Fett) nur mit den maximal zulässigen EU-Höchstgehalten belastet sein, würde sich eine tägliche Exposition vom 1,4 bzw. 1,0 pg/kg Körpergewicht errechnen. Die bereits einkalkulierte Hintergrundbelastung liegt bei diesen Berechnungen bei 0,7 pg/kg Körpergewicht.

Bei hohem Verzehr von 2 Eiern täglich mit einem Dioxingehalt von 12 pg/g Eifett errechnet sich somit eine Überschreitung des SCF-TDI-Wertes (2 pg/kg Körpergewicht). Für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Risiken ist im Fall von extrem langlebigen Verbindungen wie den Dioxinen jedoch die im Körper akkumulierte Gesamtmenge (Körperlast, „Body burden“) bzw. die sich daraus ergebende Konzentration im Körperfett entscheidend. Letztere

entspricht z.B. der Konzentration in Fett von Frauenmilch, die in den letzten 20 Jahren deutlich abgenommen hat (siehe Abb. 1). Für die nachfolgenden Überlegungen wird vereinfachend für den Erwachsenen eine Körperlast mit einem Dioxingehalt von 10 pg/g Fett angenommen. Für diesen Erwachsenen wird zudem angenommen, dass er ein Körpergewicht von 60 kg mit einem Fettanteil von 25 % hat, entsprechend einem Fettgewicht von 15 kg. Dadurch ergibt sich eine Dioxin-Körperlast von 150 000 pg, zu der durch die Hintergrundbelastung täglich ca. 42 pg hinzukommen, während bei einer Halbwertszeit von 7 Jahren täglich ca. 40 pg eliminiert werden. Dieser Modell-Erwachsene befindet sich daher fast im „Steady state“, bei dem die Konzentrationen im Lauf des weiteren Lebens bei gleichbleibender Hintergrundbelastung nur noch unwesentlich weiter ansteigen würden.

Wird als weitere Worst-Case-Annahme davon ausgegangen, dass der hohe Verzehr von 2 Eiern (mit 12 pg/g) täglich **über einen Monat** stattgefunden hat, ergibt sich eine zusätzliche Aufnahme von 5040 pg (Hintergrundbelastung abgezogen) und damit eine Erhöhung der Körperlast um 3,4 % (von 10,0 auf 10,3 pg/g Fett). Ein täglicher Verzehr von belasteten Eiern über einen Zeitraum von einem Monat hinaus liegt nach den gegenwärtig bekannten Fakten nicht im denkbaren Bereich. Theoretisch errechnet sich bei hohem Verzehr von 2 Eiern (mit 12 pg/g) täglich **über ein Jahr** eine zusätzliche Aufnahme von 61320 pg (Hintergrundbelastung abgezogen) und damit einer Erhöhung der Körperlast um 40,9 % (von 10,0 auf 14,1 pg/g Fett).

Somit liegen selbst bei extremen Annahmen, die in der Realität mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können, die errechneten Belastungen deutlich unter der Körperlast mit einer Konzentration von ca. 30 pg/g Körperfett, wie sie vor ca. 20 Jahren durchschnittlich in der Bevölkerung in Deutschland gemessen wurden (siehe Abb.1). Bei diesen Konzentrationen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass sie mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden sind. Somit ist auch der Verzehr von belasteten Eiern in der Höhe, wie sie jetzt bekannt geworden ist, nicht mit gesundheitlichen Risiken verbunden, selbst wenn diese über einen längeren Zeitraum verzehrt worden wären.

## 5 Minimierungsmassnahmen

Haupteintragsquellen waren in der Vergangenheit der Eintrag über die Luft (Metallindustrie und die Abfall-Verbrennungsanlagen) sowie dioxinbelastete Chemikalien z.B. Pentachlorphenol, PCB, bestimmte Herbizide (chlorierte Phenoxy-carbonsäuren).

Die Umweltbelastung, aber auch die Belastung von Lebensmitteln durch Dioxine ist in Deutschland seit Ende der 1980er Jahre deutlich zurückgegangen. Als Folge reduzierte sich der bereits dargestellte Dioxingehalt in der Frauenmilch. Grund dafür war eine Fülle technischer und rechtlicher Maßnahmen vor allem entsprechende Emissionsbeschränkungen bei Verbrennungsprozessen und entsprechende Verbotssverordnungen in der Chemikalienproduktion. Nachfolgend werden nationale und europäische Regelungen beispielhaft benannt: Regelungen zu Emissionsbeschränkungen, Regelungen zum Verbot der Produktion, des Vertriebs und der Verwendung bestimmter Chemikalien und Produkte, Regelungen und Empfehlungen zu Boden und Klärschlamm, Regelungen zu Höchstgehalten in Futtermitteln und Lebensmitteln.

International wurde im Mai 2001 das Stockholmer Übereinkommen zur Reduzierung persistenter organischer Kontaminanten (POPs = persistent organic pollutants) unterzeichnet und trat am 17. Mai 2004 in Kraft. Es ist ein globales Abkommen zur Beendigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung und Freisetzung von POPs (Richter et al. 2001).

### Zukünftige Maßnahmen und Minimierungsstrategien

Nach Mitteilung der EU-Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss vom 15. Oktober 2010 sind mit 22 % der Gesamtemissionen Kleinf Feuerungsanlagen eine der Hauptemissionsquellen, während die restlichen Freisetzungen aus einer Vielfalt industrieller und nichtindustrieller Quellen stammen. Für eine weitere Reduktion müssen daher die lokalen Quellen besser untersucht werden. Maßnahmen auf regionaler und/oder nationaler Ebene dürften hier erfolgreicher sein.

Die derzeit noch verbleibenden Quellen sind somit relativ breit auf kleine industrielle und nicht industrielle Quellen gestreut und es erscheint sinnvoll, sie wirksamer durch einzelstaatliche, regionale und lokale Maßnahmen zu beseitigen (EU 2010).

## **6 Fazit**

Das BfR hat mit aktuellen Daten zu Dioxingehalten in Lebensmitteln und Futtermitteln, die von den Bundesländern und Mitgliedern der Fachverbände des Agrarsektors zur Verfügung gestellt wurden, das gesundheitliche Risiko für den Verbraucher beurteilt.

In nur wenigen Fällen lagen die gemessenen Dioxingehalte bei Eiern, Fleisch von Legehennen und Schweinen über den gesetzlichen Höchstgehalten. Bei Milch sowie Fleisch von Mastgeflügel wurden keine Überschreitungen festgestellt. Von den untersuchten Mischfuttermitteln wurde in keiner Probe der zulässige Höchstgehalt für Dioxine überschritten.

Das BfR kommt zu dem Schluss, dass selbst, wenn Eier oder Schweinefleisch mit Gehalten im Bereich der höchsten gemessenen Werte aus den aktuellen Verdachtsproben über einen längeren Zeitraum verzehrt wurden, weder eine unmittelbare noch eine langfristige gesundheitliche Beeinträchtigung für den Verbraucher zu erwarten ist.

Legt man die derzeit in Verdachtsproben nachgewiesenen mittleren Dioxingehalte in Lebensmitteln zugrunde, wird die tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) allein durch die Aufnahme von Dioxinen aus Eiern zu ca. 4 % ausgeschöpft. Dabei wurde von einem mittleren Verzehr auf Basis der Daten der Nationalen Verzehrsstudie II ausgegangen. Bei Schweinefleisch liegt lediglich eine Ausschöpfung des TDI von ca. 1 % vor. Bei Vielverzehrern (95. Perzentil) von Eiern und Schweinefleisch ergäbe sich eine Ausschöpfung des TDI von etwa 10 % für Eier und 2 % für Schweinefleisch.

Bei Stoffen wie den Dioxinen ist nicht die täglich zugeführte Dosis, sondern die im Körper befindliche Menge, also die Körperlast, entscheidend für adverse Auswirkungen auf die Gesundheit. Dioxine reichern sich im Körper an, und jeder Mensch nimmt aufgrund der bestehenden Hintergrundbelastung täglich Spuren von Dioxinen über Lebensmittel auf.

Im Rahmen der Futtermittel- und Lebensmittelüberwachung findet eine regelmäßige Kontrolle in Bezug auf die Einhaltung der Höchstgehalte statt. Wesentliche Möglichkeiten und Strategien, die Dioxin-Belastung des Menschen zu reduzieren, bestehen darin, die im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnisse dahingehend zu nutzen, Eintragspfade bzw. punktuelle Dioxinquellen zu verschließen.

## Referenzen

- Beck, H. (1992): Routes and levels of human exposure. In: Current views on the impact of dioxins and furans on human health and the environment. Proceedings of the toxicology forum, Berlin, 09.-11.11.1992, S. 36-60.
- Blume, K., Lindtner, O., Heinemeyer, G., Schneider, K., Schwarz, M., (2010): Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel: Cadmium, Blei, Quecksilber, Dioxine und PCB; Informationsbroschüre des Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), 56 S.
- Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (2003): Ergebnisprotokoll der 15. Sitzung vom 25.06.2003.
- EFSA (2010): Scientific Report on the Results of the monitoring of dioxin levels in food and feed. Published on 22 July 2010. The EFSA Journal 2010; 8(3), 1385.
- EU (2002): Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 140 vom 30.05.2002, 1-24.
- EU (2010) Mitteilung der Kommission an den Rat, Das Europäische Parlament und den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss über die Durchführung der Gemeinschaftsstrategie für Dioxine, Furane und polychlorierte Biphenyle (KOM(2001 593) – dritter Fortschrittsbericht. Brüssel, den 15.10.2010, 9 S.
- Faqi, A.S., Dalsenter, P.R., Merker, H.J., Chahoud, I. (1998): Reproductive toxicity and tissue concentrations of low doses of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in male offspring rats exposed throughout pregnancy and lactation. Toxicol Appl Pharmacol 150(2): 383–392.
- Federal Ministry of Agriculture - Belgium (2000): Polychlorinated biphenyls (PCBs) and dioxins (PCDD/Fs) in the Belgian contaminated food chain: Sources, profiles and correlations. Final report prepared by F. Broeckeaert and Alfred Bernard. March 2000.
- Heseker, 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 im Auftrag des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Universität Paderborn.
- Little, R.J.A., Rubin, D.B. (2002): Statistical Analysis with Missing Data. John Wiley & Sons, New York, S. 66 ff
- Max Rubner-Institut (MRI) (2008): Nationale Verzehrsstudie II (NVS II), Ergebnisbericht 1, 2
- McLachlan, M., Hutzinger, O. (1990): Accumulation of organochlorine compounds in agricultural food chains. Organohalogen Compd. 1: 479-484.
- Nationale Stillkommission (1995): Rückstände in Frauenmilch. Bundesgesundheitsblatt 39: 87.
- Richter, S., Steinhäuser, K.-G., Fiedler, H. (2001): Globaler Vertrag zur Regelung von POPs: Die Stockholm Konvention. Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung – Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 13(1): 39-44.
- Rychen, G., Jurjanz, S., Toussaint, H., Feidt, C. (2008): Dairy ruminant exposure to persistent organic pollutants and excretion to milk. In: Animal Jg. 2 Heft 2, 312-323.

- SCAN (2000): Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on the Dioxin contamination of feedingstuffs and their contribution to the contamination of food of animal origin. Adopted on 06 November 2000, 105 S.
- Schwind, K.-H., Jira, W., Karl, H., Ruoff, U., Dänicke, S. (2009): Stuserhebung zu Dioxinen und PCB in Futter- und vom Tier stammenden Lebensmitteln. Forschungsprojekt des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Max-Rubner-Instituts zur Durchführung einer nationalen Stuserhebung von Dioxin- und dioxinähnlichen PCB-Verbindungen in Futter- und vom Tier stammenden Lebensmitteln. Schriftenreihe des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 522, Verlagsgesellschaft W.E. Weinmann e.K., Filderstadt, 179 S.
- SCF, Scientific Committee on Food (2001): Opinion of the Scientific Committee on Food on the risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food. Update based on new scientific information available since the adoption of the SCF opinion of 22nd November 2000. Adopted on 30 May 2001
- Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln; ABl. L 364 vom 20.12.2006.
- World Health Organization [WHO] (2000): Consultation on assessment of the health risk of dioxins; re-evaluation of the tolerable daily intake (TDI): Executive Summary', Food Additives & Contaminants 17A: 223-240
- World Health Organization [WHO] (2002): Evaluation of certain food additives and contaminants. Fifty-seventh Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 909, Genf, 171 S.