

Umweltkontaminanten im Lebensmittel Fleisch: Wie viel und woher ?

Environmental contaminants in meat: How much and where do they come from?

K.-H. SCHWIND

Zusammenfassung

Die Belastung des Lebensmittels Fleisch mit Umweltkontaminanten (= umweltbedingten Rückständen) wie Schwermetallen, Radionukliden aus dem Unfall von Tschernobyl und den persistenten Organochlorverbindungen (POPs) ist klar rückläufig, seit von der Wissenschaft erkannt und vom Gesetzgeber rechtlich umgesetzt wurde, dass zu ihrer Rückführung eine Beschränkung und Minimierung aus den Eintragsquellen unabdingbar ist. In Deutschland haben die hierzu eingeleiteten Maßnahmen gegriffen und nachweislich zu einem eindeutigen Rückgang geführt. Allerdings können jederzeit neue unerwünschte Stoffe in der Umwelt oder auf dem Weg über die Nahrungsketten in die Lebensmittel ausfindig gemacht werden, so dass auch deren Rückführung immer wieder von der Forschung erkannt und durch entsprechende gesetzliche Vorgaben untermauert werden muss.

Summary

The burden of environmental contaminants (e.g. residues of heavy metals, radioactive compounds from the accident of Tschernobyl or persistent organic pollutants (POPs) in meat is declining clearly since it was noticed by science and regulated by the government in order to decrease the input from various sources. In Germany a number of measures was successful and led to a significant decline in the recent years. Nevertheless it is possible at any time that new undesired compounds are found by toxicological and environmental research. These compounds have to be recognized, assessed and diminished as much as possible. This must be accompanied by new regulations.

Schlüsselwörter	Umweltkontaminanten – Rückstände – Fleisch – Schwermetalle – Radionuklide – Radiocäsium – persistente Organochlorverbindungen (POPs) – unerwünschte Stoffe
Key Words	Environmental contaminants – residues – meat – heavy metals – radioactive compounds – radiocesium – persistent organohalogen compounds (POPs) – undesirable substances

Einleitung

Unter Umweltkontaminanten sind unerwünschte Stoffe - oft anthropogenen Ursprungs oder durch menschliches Handeln erhöht - zu verstehen, die in der Umwelt verteilt sind und deren Mengen oder Konzentrationen im Gegensatz zu herkömmlichen „Rückständen“ durch menschliches Handeln aufgrund ihrer globalen (= ubiquitären) Verteilung meist nicht kurzfristig zu beeinflussen sind.

Solche Kontaminanten können durchaus schon immer vorhanden gewesen sein, waren aber bisher aufgrund fehlender oder zu unempfindlicher Nachweis- und Messmethoden nicht erfassbar.

Umweltkontaminanten sind als eine besondere Form von Rückständen anzusehen, die durch zunehmende Industrialisierung und immer weitergehende Ausschöpfung verfügbarer Ressourcen entweder neu entstanden

oder einer bereits vorhandenen „natürlichen“ Rückstandsmenge hinzugefügt worden sind.

Als typisches Beispiel für eine Umweltkontaminante aus der letztgenannten Gruppe kann „Dioxin“ (Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane oder abgekürzt auch PCDD/PCDF) genannt werden. „Dioxin“ wurde vom Menschen zu keiner Zeit absichtlich oder bewusst synthetisiert. Die Tatsache aber, dass „Dioxin“ immer wieder in gasförmigen flüssigen oder festen Verbrennungsprodukten nachzuweisen war, führte zu Beginn der 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts zu der Erkenntnis, dass PCDD/PCDF bei **jedem** Verbrennungsprozess (BUMB *et al.*, 1980) im Spurenbereich gebildet werden, egal ob es sich hierbei beispielsweise um einen Waldbrand in grauer Vorzeit, um Abgase aus Verbrennungsmotoren, Zigarettenrauch, Gase aus Feuerungsanlagen, Heizungssystemen oder um holzkohle-gegrillte Bratwürste, Steaks oder geräucherter Fisch- und Fleischprodukte handelt.

In den letzten beiden Jahrzehnten wurden sowohl apparative als auch analytische Verfahren und Möglichkeiten entwickelt, unterschiedlichste Arten und Gruppen von Umweltkontaminanten und Rückständen in immer geringeren Mengen nachzuweisen und auch zahlenmäßig zu erfassen. In vielen Medien wird von „spuren-“ oder „ultrapurenanalytischen“ Verfahren berichtet, die es ermöglichen kleinste Mengen von Rückständen - im ppm-, ppb-, ppt-, und sogar ppq-Bereich - quantitativ nachzuweisen. Zwischen Konzentrationen im ppm-Bereich (parts per million) und solchen im ppq-Bereich (parts per quattrillion) liegen 9 Größenordnungen oder anders ausgedrückt ein Faktor von 1.000.000.000 (in Worten: 1 Milliarde). Um diese enorme Spannweite etwas anschaulicher zu machen (Tab. 1), sei folgender Vergleich erlaubt: Eine Kette durch Aneinanderreihung von einer Million roter Kleinwagen (Fahrzeuglänge jeweils 2,5 m) würde sich - zumindest hypothetisch - von München bis Beirut im Libanon erstrecken. Würde an irgendeiner Stelle ein einziges rotes durch

ein gelbes Fahrzeug ersetzt, entspräche das dann vorliegende Zahlenverhältnis zwischen roten und gelben Kleinwagen genau einem ppm. Ein noch schwerer vorstellbares Konzentrationsverhältnis von 1 ppq würde dann erreicht werden, wenn die Kleinwagenkette aus 1 Billion roter Fahrzeuge bestehen würde, unter denen sich ein einziges gelbes befindet. Bezogen auf Kleinwagen mit der Fahrzeuglänge 2,5 m würde eine solche Fahrzeugkette intergalaktische Ausmaße annehmen und sich von der Erde aus über 2,5 Billionen km - das 420-fache der Entfernung Sonne \Leftrightarrow Pluto - in den Weltraum erstrecken. Das Licht (Lichtgeschwindigkeit: $2,99793 \times 10^5$ km/sek) würde für diese Strecke knapp 97 Tage benötigen. Zum Vergleich: Für den Weg zum Mond benötigt Licht 1,3 Sekunden. Der Konzentrationsbereich, in dem die analytische Bestimmung von Umweltkontaminanten und Rückständen heute aufgrund der Empfindlichkeit der zur Verfügung stehenden Analysen- und Detektionsmethoden möglich ist, umfasst also eine gewaltige Spannweite.

Umweltkontaminanten gelangen aus der Luft durch Deposition (Ablagerung) oder Auswaschung (z. B. durch Regen) auf Pflanzen, in den Boden und in Gewässer. Je länger deshalb Pflanzen den Immissionen (Einträgen aus der Umgebungsluft) ausgesetzt sind, umso höher sind auch die auf ihren Oberflächen abgelagerten Kontaminantenkonzentrationen. Über Pflanzen als Futtermittel oder pflanzliche Lebensmittel erfolgt der Eintrag von Umweltkontaminanten in die Nahrungskette bis hin zum Menschen (Abb. 1). Im Folgenden soll beispielhaft - mit Ausnahme von Pharmaka - auf anorganische, radioaktive und organische Umweltkontaminanten eingegangen werden, die im Hinblick auf Fleisch (und Fleischprodukte) eine besondere Relevanz besitzen.

Anorganische Kontaminanten

Fleisch und besonders auch die Innereien von landwirtschaftlichen Nutztieren (z. B. Leber, Niere) enthalten fast alle wesentlichen Spurenelemente und Mineralstoffe

für den Menschen. Dazu trägt auch bei, dass die heute eingesetzten Futtermittel in aller Regel ausreichende und ausgewogene Mengen an Spurenelementen, optimiert für die jeweilige Nutztierart, beinhalten.

Da Futtermittel bzw. deren Einzelbestandteile vielfältigen und mitunter sehr komplexen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, können auf diese Weise umweltbedingte Rückstände (Kontaminanten) in die Nutztiere und damit auch in die vom Tier stammenden Lebensmittel gelangen. Zu den Kontaminanten mit nachweislichem Gesundheitsgefährdungspotential im anorganischen Bereich zählen beispielsweise die toxischen Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg).

Blei (Pb). Da das Element Blei von den allermeisten Pflanzen nur in sehr geringem Umfang bei hohen Bleigehalten in den Böden aufgenommen werden kann, resultieren erhöhte Blei-Werte bei pflanzlichen Futter- und Lebensmitteln fast immer aus Immissionssituationen, bei denen das Schwermetall an Feinststaubteilchen gebunden durch die Luft transportiert und dann partikulär auf den Pflanzenoberflächen abgelagert wird.

Die Bleigehalte im Fleisch - wie auch in anderen Lebensmitteln - sind infolge des Greifens vielfältiger gesetzlicher Regelungen (wie z. B. dem Verbot von verbleitem Kraftstoff und seiner halogenhaltigen Zusätze, der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – kurz TA Luft – sowie aufgrund diverser weiterer Verordnungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes) in den letzten 20 Jahren stark zurückgegangen.

Die Bleigehalte in den Lebern von Schweinen liegen heutzutage im Median bei 0,04 mg/kg FM (Frischmasse), die von Rindern bei 0,05 mg/kg FM. Die vom früheren BgVV vorgeschlagenen Richtwerte von 0,25 mg/kg für Schweineleber bzw. von 0,50 mg/kg für Rinderleber werden ebenso wie die gültigen EU-Höchstwerte weit unterschritten. Das Muskelfleisch dieser beiden Nutztierarten ist mit 0,01 mg/kg

für Schweine und 0,03 mg/kg für Rinder extrem gering belastet. Der Rückgang des Kontaminanten Blei in der Umwelt lässt sich auch sehr deutlich durch die zeitliche Abnahme im Äsungsspektrum von Rehen (1976: ca. 3 mg/kg; 1990: ca. 0,9 mg/kg) und am Rückgang in den Rehlebern (1977: ca. 0,20 mg/kg; 1997: ca. 0,09 mg/kg) dokumentieren.

Cadmium (Cd). Im Gegensatz zum Blei wird das Element Cadmium von Pflanzen aus dem Boden aufgenommen und gelangt so ins Innere der Pflanze. Daneben können aber, wie im Falle des Bleis, Cadmiumrückstände aus unterschiedlichen Quellen über den Luftweg auf die Pflanzenoberfläche gelangen. Während die Bleibelastung an der Pflanzenoberfläche durch gründliches Waschen deutlich verringert werden kann, hat eine solche Vorgehensweise bei Cadmium, das ins Innere der Pflanze eingebaut ist, keinerlei Einfluss.

Da Cadmium von landwirtschaftlichen Nutztieren nur sehr langsam aus dem Organismus eliminiert wird, tritt vor allem bei den Gehalten in den Nieren eine ausgeprägte Altersabhängigkeit auf. In völliger Analogie zu den Bleigehalten in Rindern und Schweinen haben auch die Cadmiumkonzentrationen in jüngerer Vergangenheit deutlich abgenommen. Das spiegelt sich sowohl im Fleisch (Rindfleisch: Medianwert 0,004 mg/kg; Schweinefleisch: Medianwert 0,002 mg/kg) als auch in den Lebern (Rinderleber: Medianwert 0,05 mg/kg; Schweineleber: Medianwert 0,08 mg/kg) wider. Diese Werte liegen weit unter den entsprechenden EU-Höchstgehalten (Rind- und Schweinefleisch: Höchstgehalt 0,10 mg/kg; Rinder- und Schweineleber: Höchstgehalt 0,50 mg/kg). Parallel dazu sank auch der Cd-Gehalt in Rehwildbret während des Zeitraums von 1977-1986 von etwa 0,015 mg/kg FM auf etwa 0,006 mg/kg FM, wodurch wiederum sehr eindrucksvoll das Greifen gesetzlicher Regelungen in Deutschland verbunden mit dem Eintragsrückgang von Cadmium in die Umwelt anschaulich zu belegen ist.

Quecksilber (Hg). Quecksilber ist ein Element, bei dem die chemische Bindungsform, in der dieses Element in Nahrungsmitteln vorliegt, von beträchtlicher toxikologischer Relevanz ist. Während Quecksilber in anorganischer Bindungsform mit der Nahrung nur in sehr geringem Umfang zugeführt und über den Magen-Darmtrakt ebenfalls nur in sehr geringem Maße vom Organismus aufgenommen wird - sich vor allem in den Nieren anreichert und dort Schädigungen in Form von Nierenfunktionsstörungen verursacht - werden organische Hg-Verbindungen fast vollständig aus dem Magen-Darmtrakt resorbiert und anschließend mit dem Blutstrom im ganzen Körper verteilt. Die Problematik des Umweltkontaminanten Quecksilber ist im Bereich der Lebensmittel nahezu ausschließlich auf Pflanzen und Fische beschränkt. In landwirtschaftlichen Nutztieren spielen Hg-Rückstände nur eine untergeordnete Rolle.

Ebenso wie die Einträge von Blei und Cadmium in die Umwelt abgenommen haben, ist auch bei denen des Quecksilbers ein entsprechender Rückgang zu verzeichnen. Belegbar ist dieser Rückgang in der Umwelt beispielsweise durch die Abnahme der Hg-Gehalte im Gewürz Majoran. Während der Gehalt für getrockneten Majoran im Jahr 1986 im Median bei 140 µg/kg Trockensubstanz (TS) lag, ging er bis 1996 auf einen Wert von 90 µg/kg TS zurück, woraus im Verlauf von 10 Jahren eine Abnahme um etwas mehr als ein Drittel resultiert. Das Quecksilber stammte damals fast ausschließlich aus dem Einsatz von Saatbeizmitteln, die in den alten Bundesländern in den 80er Jahren, in den neuen Bundesländern zu Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts verboten wurden. Heute ist dieses toxische Schwermetallelement bei Fleisch und pflanzlichen Lebensmitteln ohne nennenswerte Bedeutung.

Radioaktive Kontaminanten

Nach der Katastrophe im Reaktorblock 4 des Atomkraftwerks von Tschernobyl zog am 26.04.1986 eine radioaktive Wolke

nach Westen, die am Morgen des 30.04.1986 Bayern und danach weitere Gegenden Deutschlands erreichte. In Abhängigkeit von der geographischen Lage, den lokalen meteorologischen Gegebenheiten, ihrer Topographie und Vegetation erfolgte eine sehr heterogene und unterschiedlich starke Deposition mit Iod-131 (physikalische Halbwertszeit 8,02 Tage), den beiden Radioisotopen Cäsium-134 (physikalische Halbwertszeit 2,06 Jahre) und Cäsium-137 (physikalische Halbwertszeit 30,17 Jahre), von denen aber heute nur noch das Isotop Cs-137 von Relevanz ist.

Während die Bodenkontamination von landwirtschaftlich genutzten Flächen heute keine Probleme mehr aufwirft – schon 2 Jahre nach dem Unfall spielte Radio-cäsium in den dort erzeugten Lebens- und Futtermitteln keine Rolle mehr –, sind in einigen der betroffenen Gegenden die Auswirkungen der Kontamination in Waldökosystemen noch deutlich zu spüren. Wildbret (vor allem Schwarzwild) aus solchen Gebieten kann in gewissen Jahreszeiten mit erhöhten Mengen des Cäsium-Isotops-137 kontaminiert sein. Schwarzwild ernährt sich u. a. von Insekten, Larven, Würmern, Mäusen, aber auch von Pilzen und Wurzelteilen aus dem Waldboden, in denen Cäsium-137 angereichert wird. Der Hauptgrund hierfür liegt im niedrigen pH-Wert des Waldbodens, der oft noch mit einem Kaliummangel einhergeht. Aufgrund vielfältiger Umwelteinflüsse wie „saurer Regen“ u. a. liegt der Boden-pH-Wert fast immer unter dem Wert von 5,5. Pflanzen nehmen unter diesen Bedingungen Radiocäsium in unterschiedlichen Mengen über die Wurzeln auf, wodurch es über die verschiedenen Nahrungsketten zum Wild gelangt. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen hingegen wird dem Boden, infolge der Düngemaßnahmen, genug Kalium zugeführt und der pH-Wert durch Kalkung weit über 5,5 gehalten, wodurch das Radiocäsium nahezu irreversibel an die Bodenbestandteile gebunden vorliegt und unter diesen Bedingungen nicht von Pflanzen aufgenommen werden kann. Mit der Kontamination des Waldökosystems gelangt Radiocäsium vor allem über

Äsungspflanzen (Futterpflanzen) in den Wildbestand. Die Höhe der im Wildbret vorliegenden Radiocäsiumkontamination (Abb. 2) wird von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt, wie beispielsweise der Tierart, dem Erlegungszeitpunkt, dem Verhalten beim Äsen (z.B. Standorttreue beim Rehwild) sowie dem Alter der Tiere. Bei näherer Betrachtung dieser Faktoren ergibt sich, dass Rotwild die unkritische Tierart bezüglich einer Radiocäsiumkontamination ist. Bei Rehwild muss unterschieden werden, ob die Tiere in einem großen, geschlossenen Waldgebiet leben und sich ausschließlich dort ernähren müssen, oder ob sie auch Zugang zu landwirtschaftlichen Flächen haben. Rehwild, das auch Zutritt zu landwirtschaftlichen Flächen hat, ist immer weniger mit Radiocäsium kontaminiert als Tiere, die in großen und geschlossenen Waldgebieten erlegt werden. Rehwild aus gefährdeten Gebieten weist in der Regel in den Herbstmonaten September bis November die höchsten Gehalte auf. Die am meisten von einer Radiocäsiumkontamination betroffene Tierart ist jedoch Schwarzwild. In Gegenden und Waldökosystemen, die 1986 von der Deposition mit Radiocäsium betroffen waren, liegt das deutlich höhere Maximum der Schwarzwildkontamination in den Wintermonaten Januar bis März. In den Monaten April bis Oktober ist Schwarzwild hingegen nur gering belastet, oft sogar geringer als die im gleichen Ökosystem lebenden Rehe.

Bezüglich der weiteren Entwicklung der Radiocäsiumkontamination in den vom Fallout betroffenen Gebieten ist festzuhalten, dass in hoch kontaminierten Gebieten noch lange mit dem Auftreten erhöhter Radiocäsiumgehalte in Rot-, Reh- und Schwarzwild gerechnet werden muss. Die Radiocäsiumkontamination verringert sich aufgrund der vorliegenden Kreisläufe in den Waldökosystemen praktisch nur mit der physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren. Damit aus den kritischen Gebieten keine Tiere mit mehr als 600 Bq/kg Frischmasse (Anlehnung an den Höchstwert der EU bei Import aus Drittländern (Verordnung (EWG) Nr. 737/90 und EG Nr. 274/2003)) in den Handel gelangen,

müssen die Tiere dort noch viele Jahre lang kontrolliert werden.

Organische Kontaminanten

Dieser Begriff steht meist synonym für Substanzen oder ganze Stoffklassen aus dem Bereich der chlorierten Kohlenwasserstoffe. Unter der Sammelbezeichnung „chlorierte Kohlenwasserstoffe“, „Organochlorverbindungen“ oder „POPs“ (Persistent Organic Pollutants) werden aromatische oder aliphatische Kohlenwasserstoffverbindungen von hoher Persistenz (Beständigkeit) zusammengefasst, in denen ein oder mehrere Wasserstoffatome am Kohlenstoffgrundgerüst durch Atome des Elements Chlor ersetzt sind. Verbindungen dieses Typs sind sehr gut fettlöslich (lipophil) und reichern sich deshalb mehr oder weniger stark im Fett der Gewebe an. Zu den Chlorkohlenwasserstoffen zählen eine ganze Reihe von Pestiziden (Schädlingsbekämpfungsmitteln), aber auch Industriechemikalien einschließlich der in der Technik verwendeten chemischen Produkte (deren Herstellung und Einsatz heute teilweise verboten ist), sowie Verbindungen, die als Verunreinigungen im Spurenbereich bei thermischen Vorgängen entstehen können.

Pestizide (DDT und Metaboliten, Lindan, Hexachlorbenzol). Viele Wirkstoffe aus der Gruppe der Organochlorpestizide galten zu ihrer Hauptanwendungszeit als sehr wirksam, billig herstellbar und wenig akuttoxisch für den Anwender und wurden deshalb in großen Mengen in die Umwelt ausgebracht. Dichlor-diphenyl-trichlor-ethan (DDT) kann hier stellvertretend für viele als Beispiel genannt werden. Aufgrund des damals noch nicht abschätzbaren Umweltverhaltens gelangten diese höchst persistenten Substanzen durch Übertragungsvorgänge (carry over) in die Nahrungsketten und so schließlich in die Lebensmittel bis zum Menschen. In jüngerer Vergangenheit, als mehr Kenntnisse und Hintergrundinformationen zu den ablaufenden Carry-over-Vorgängen und zum toxikologischen Wirkungspotential einzelner Vertreter vorlagen, wurde erkannt, dass diese missliche Situation sich

oft nur durch ein Produktions- und Anwendungsverbot für dieses Organochlorpestizid in Verbindung mit entsprechenden Höchstmengenregelungen wieder rückführen läßt. Die dafür notwendige Zeit kann jedoch teilweise viele Jahre in Anspruch nehmen. Untersuchungen bestätigen heute klar den Rückgang von Organochlorverbindungen in Fleisch- und Fleischprodukten. In Tabelle 2 ist beispielhaft der Rückgang der Stoffe α -HCH, β -HCH, Lindan, DDT und seiner Metaboliten DDE und DDD, sowie der von Hexachlorbenzol (HCB) in 2 Untersuchungen aus den Jahren 1984 und in 1994-1996 dargestellt. Man erkennt deutlich, dass die Gehalte in Rinder- und Schweinefett in einem Zeitraum von 11 Jahren signifikant abgenommen haben. Ausnahmen wie bei den DDT-Metaboliten (DDE und DDD) besitzen dabei keine Relevanz, da die Abstände zu den Höchstgehalten der Rückstandshöchstmengenverordnung erfreulicherweise schon sehr groß geworden sind.

PCB und Dioxin. Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind Organochlorverbindungen des Typs $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$. Es gibt 209 dieser Verbindungen (Kongenere). Sie wurden ab 1929 industriell produziert und in den USA bis 1977, in Deutschland bis 1983 großtechnisch hergestellt. Ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften trugen in hohem Maße zu vielfältigen technischen Anwendungsmöglichkeiten bei.

Die Anwendung der PCB wurde in Deutschland erst 1978 durch das Bundesemissionsschutzgesetz auf „geschlossene Systeme“ (z. B. Transformatorenstationen) beschränkt. Weltweit wurden etwa 750 000 Tonnen PCB produziert. Ihre hohe Persistenz in der Umwelt führte in Verbindung mit der nicht unerheblichen Flüchtigkeit zu einer ubiquitären Verteilung der polychlorierten Biphenyle. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 30 000 Tonnen der produzierten Menge in die Atmosphäre übergangen und etwa 60 000 Tonnen in die Oberflächenwässer. Weiterhin muss davon ausgegangen werden, dass rund 300 000 Tonnen in Böden und Deponien gelangten.

Indikator PCB. Ein besonderes Kollektiv innerhalb der insgesamt 209 PCB Einzelverbindungen bilden die sogenannten Indikator-PCB-Kongenere. Hierin werden insgesamt 6 Einzelverbindungen (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180) zusammengefasst, die aufgrund ihres häufigen Vorkommens in Umweltproben und Lebensmitteln eine Abschätzung des PCB-Gesamtgehalts ermöglichen. Dazu werden die Konzentrationen der 6 Indikatorkongenere (die etwa 20 % des PCB-Gesamtgehalts repräsentieren) in einer Probe addiert und mit dem Faktor 5 multipliziert.

Die Gehalte der für das Lebensmittel Fleisch wichtigsten Indikator-PCB-Kongenere zeigen im zeitlichen Trend von 1984 bis 1994-1996, also nach etwa 11 Jahren, sowohl bei Schweine- und Rindfleisch eine klar zu erkennenden Abnahme (Tab. 3).

Dioxin. Mit dem Begriff „Dioxin“ werden insgesamt 75 Einzelverbindungen (Kongenere) aus der Substanzklasse der polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxine und 135 Einzelverbindungen aus der Stoffgruppe der polychlorierten Dibenzofurane zusammengefasst, die bei Verbrennungsprozessen in Anwesenheit von Chlor (Holz, Kohle etc.) generell entstehen und mittlerweile ubiquitär über den ganzen Globus verteilt sind. Der Transport dieser Schadstoffverbindungen erfolgt über Luftströmungen, die die an Schwebstaubpartikel gebundenen Substanzen über weite Räume verteilen. Durch Deposition (Ablagerung) oder Auswaschung aus der Luft (z. B. durch Regen) gelangen sie - wie die meisten Umweltkontaminanten - auf Pflanzen sowie in Böden und Gewässer. Dioxine sind nicht wurzelgängig, d. h. einmal in den Boden gelangt, bleiben sie dort und werden somit nicht ins Innere von Pflanzen eingebaut.

Da Dioxin immer als komplexes Gemisch von Einzelverbindungen in der Umwelt auftritt, hat man von toxikologischer Seite das Konzept der Toxizitätsäquivalente eingeführt. Dieses Konzept ist für Toxizitätsbetrachtungen und Risikoabschätzungen sehr vorteilhaft. Toxikologisch relevante Konzentrationen lassen sich damit

in Form eines einzigen Zahlenwertes, der Toxizitätsäquivalentkonzentration (TEQ) ausdrücken. Die Toxizitätsäquivalentkonzentration beinhaltet die relative Toxizität einer jeden Dioxin-Einzelverbindung (Kongener) im Vergleich zum 2,3,7,8-TCDD („Seveso-Dioxin“), dem ein Äquivalentfaktor (TEF) von 1 zugewiesen wird. Sie errechnet sich durch Multiplikation der jeweiligen Kongenerkonzentrationen mit ihren Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) und anschließender Addition all dieser Werte zum TEQ. Als sinnvoller Bewertungsmaßstab zur Angabe von Dioxingehalten in Futtermitteln ist diese Größe wegen des unterschiedlichen „Carry-over“-Verhaltens der toxischen Dioxin-Einzelverbindungen beim Übergang vom Futter ins Tier bzw. beim Übergang vom Futter in vom Tier stammende Lebensmittel jedoch nicht geeignet. Das liegt daran, dass manche der über das Futter aufgenommenen Kongenere durch die im Tier ablaufenden Stoffwechselfvorgänge teilweise wieder ausgeschieden werden, während andere im Tier oder in dem von ihm stammenden Lebensmittel massiv angereichert werden. Dadurch liegt im Futtermittel in der Regel ein anderer TEQ-Wert vor als später in dem vom Tier stammenden Lebensmittel. Vor diesem Hintergrund hilft es also nur wenig weiter die Qualität von Futtermitteln über ihren TEQ-Wert zu bewerten, weil daraus erzeugte Lebensmittel einen erheblich davon abweichenden Wert besitzen können.

Eine zurückliegende repräsentative Untersuchung des Forschungsverbundes der Bundesanstalten des BMVEL aus den Jahren 1996-1998 zum Beitrag der Dioxinaufnahme durch die Lebensmittelgruppen Milch und Milcherzeugnisse, Fleisch und Fleischerzeugnisse, Eier, Fisch/Fischerzeugnisse, Krebs- und Weichtiere hat ergeben, dass der Bundesbürger durch den Konsum von Lebensmitteln nur etwa die Hälfte des in Deutschland angestrebten Zielwertes von weniger als 1pg TEQ/kg Körpergewicht und Tag aufnimmt. Entgegen den bisherigen Annahmen tragen Fleisch und Fleischerzeugnisse nur zu etwa 13 % zur Dioxingesamtaufnahme bei und nicht zu 30 % wie bisher angenommen. Zwischen

den Fleischarten und den aus ihnen hergestellten -produkten gibt es erhebliche Unterschiede (Tab. 4). Aus diesen Ergebnissen geht klar hervor, dass die Dioxingehalte in deutschem Fleisch und daraus hergestellten Fleischprodukten sowie in anderen tierischen Lebensmitteln aufgrund mangelnder Repräsentativität des bis dahin untersuchten Probenmaterials (überwiegend Verdachtsproben) sowie der in diesem Zusammenhang nicht immer korrekten Auswertung (über arithmetische Mittelwerte und nicht über den Median) bisher überschätzt wurde. Auch die aktuellen Dioxingehalte in den deutschen Lebensmitteln belegen, dass die in der Bundesrepublik eingeleiteten Maßnahmen zur Eliminierung von Dioxinquellen bzw. zu einer Minimierung unvermeidlicher Emissionen Wirkung gezeigt haben.

Dioxinähnliche PCB. Aus der Reihe der insgesamt 209 PCB-Kongenere können 12 Einzelverbindungen toxische Wirkungen hervorrufen, die denen des 2,3,7,8-TCDD („Seveso-Dioxin“) ähneln. Sie werden deshalb auch unter der Bezeichnung „dioxinähnliche PCB-Verbindungen“ zusammengefasst. Im Blick auf „dioxinähnliche“ PCB-Einzelverbindungen kann man zwei Gruppen unterscheiden: zum einen die Gruppe der „non-ortho“-Verbindungen (PCB 77, 81, 126, 169) und die Gruppe der „mono-ortho“-PCB-Verbindungen (PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189). Die beiden Vertreter mit der höchsten Toxizität unter den „dioxinähnlichen“ PCB-Verbindungen finden sich in der Gruppe der „non-ortho“-PCB mit den Kongeneren PCB 126 (WHO-TEF: 0,1) und PCB 169 (WHO-TEF: 0,01). In gleicher Konzentration können sie analoge toxische Wirkungen hervorrufen wie hexachlorierte bzw. heptachlorierte Dioxine und Furane und besitzen daher auch analoge WHO-Toxizitätsäquivalentfaktoren.

An der Bundesanstalt wurden im Zeitraum 2001/2002 „dioxinähnliche PCB-Verbindungen“ in Schweinefleisch, Hähnchenfleisch sowie in einigen Fleischprodukten bestimmt. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Die bisher vor-

liegenden Ergebnisse zeigen im Vergleich mit einer Studie der Codex Alimentarius Commission (N.N., 2003), dass die ermittelten Gehalte in deutschem Schweine- und Geflügelfleisch (0,23 ng WHO-PCB-TEQ/kg Fett und 0,21 ng WHO-PCB-TEQ/kg Fett) klar im unteren Bereich, verglichen mit anderen europäischen Ländern (0,8 ng WHO-PCB-TEQ/kg Fett und 0,7 ng WHO-PCB-TEQ/kg Fett), liegen. Bei Fleischerzeugnissen liegen sie jedoch etwa 5-mal so hoch. Zur Erklärung sind noch weitere Untersuchungen notwendig.

Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Untersuchungen zu den für Fleisch und Fleischprodukte derzeit bekannten und wesentlichen Umweltkontaminanten geht hervor, dass die Gehalte an Schwermetallrückständen und den meisten Chlorkohlenwasserstoffen in den letzten 25 Jahren klar zurückgegangen sind. Die deutliche Abnahme zeigt, dass sich die gesetzlichen Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge dieser Stoffe in die Umwelt und die damit in Verbindung stehenden Nahrungsketten als erfolgreich erwiesen haben. Das Lebensmittel Fleisch ist heute so gering mit bekannten und unerwünschten Umweltkontaminanten belastet wie nie zuvor. Dennoch müssen die Anstrengungen weitergehen, um bisher noch nicht beachtete möglicherweise

potentielle oder derzeit noch unbekanntes Rückstandsbildner mit Gefährdungspotential aus den Nahrungsketten zu eliminieren und falls das nicht möglich ist, doch soweit wie möglich zu minimieren.

Literatur

BUMB R., CRUMMETT W., CUTIE S., GLEDHILL J., HUMMEL R., KAGEL R., LAMPARSKI L., LUOMA E., MILLER D., NESTRICK T., SHADOFF L., STEHL R., WOODS J. (1980): „Trace chemistry of fire – A Source of chlorinated dioxins“, Science 210 (4468), 385-390

Verordnung (EWG) Nr.737/90 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl; verlängert durch die Verordnung (EG) Nr.686/95; verlängert durch die Verordnung (EG) Nr.686/2000

EG Nr.274/2003 Empfehlung der Kommission über den Schutz und die Unterrichtung der Bevölkerung in Bezug auf die Exposition durch die anhaltende Kontamination bestimmter wild vorkommender Nahrungsmittel mit radioaktivem Cäsium als Folge des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl

N.N. (2003): „Position Paper on Dioxins and Dioxin-like PCBs“, Codex Committee on Food Additives and Contaminants; CX/FAC 03/32

Tab. 1: Vergleichende Übersicht oft verwendeter Konzentrationsangaben im Bereich der Spuren- und Ultraspurenanalytik

Rückstands-Dimension	Exponential-schreibweise	In SI-Einheiten	Kleinwagenvergleich (Fahrzeug mit 2,5 m Länge)		
			Kleinwagenverhältnis gelb : rot	Länge der Kleinwagen-Kette in km	entspricht etwa der Entfernung
ppm	10^{-6}	mg/kg	1 : 1 Million	2500	München <=> Beirut
ppb	10^{-9}	$\mu\text{g}/\text{kg}$	1 : 1 Milliarde	2,5 Millionen	6,5 mal Erde <=> Mond
ppt	10^{-12}	ng/kg	1 : 1 Billion	2,5 Milliarden	Sonne <=> Uranus
ppq	10^{-15}	pg/kg	1 : 1 Billiarde	2,5 Billionen	420 mal Sonne <=> Pluto (entspricht etwa $\frac{1}{4}$ Lichtjahr; d. h. das Licht würde für eine solche Strecke 96,5 Tage benötigen; zum Vergleich: Für den Weg zum Mond benötigt Licht 1,3 Sekunden)

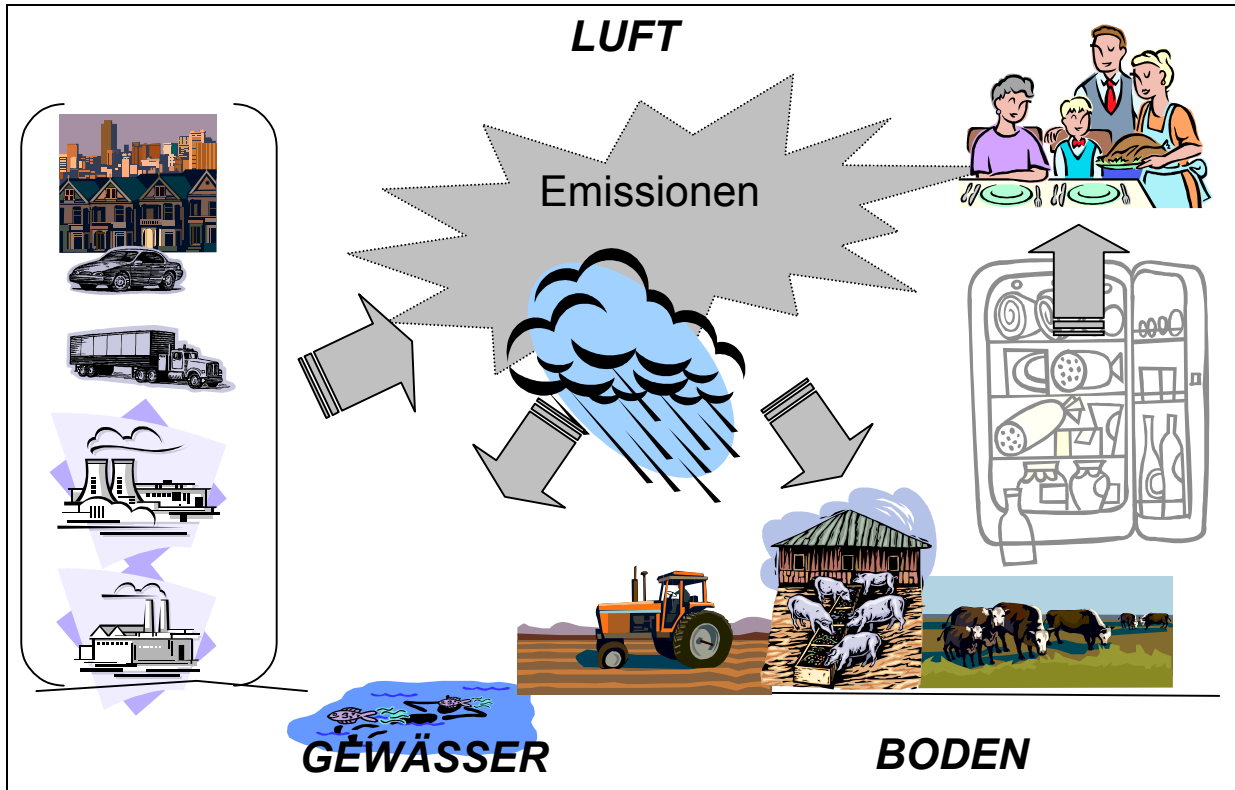


Abb. 1: Eintragspfade von Umweltkontaminanten in das Lebensmittel Fleisch

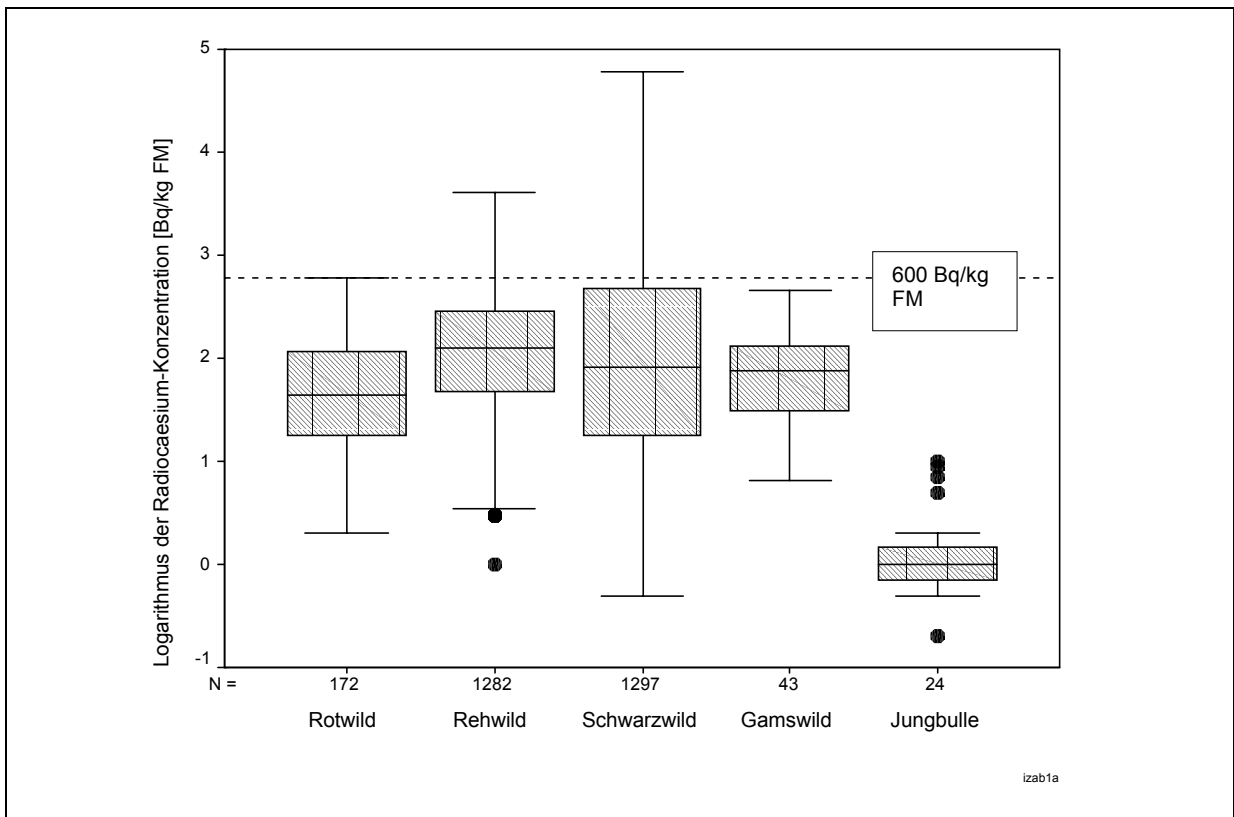


Abb. 2: Vergleich der Radiocäsiumkontamination einiger Wild- und Nutztierarten aus kontaminierten Gebieten Bayerns im Jagdjahr 2001/2002

Tab. 2: Abnahme einiger Organochlorpestizidgehalte und Metaboliten in Nutztierfettgewebe [mg/kg Fett]

Organochlorpestizidgehalte in Rinderfett			
	1984 ZEBS	1994-1996 BAFF	Höchstwert nach Rückstandshöchst- mengenverordnung
α -HCH	0,0148	0,0023	0,2
β -HCH	0,0057	0,004	0,1
Lindan	0,0143	0,0059	1,0
DDT	0,0165	<0,003	Σ 1,0
DDE	0,0072	0,0092	
DDD	0,0019	0,003	
HCB	0,0231	0,0077	0,2

Organochlorpestizidgehalte in Schweinefett			
	1984 ZEBS	1994-1996 BAFF	Höchstwert nach Rückstandshöchst- mengenverordnung
α -HCH	0,0065	0,0013	0,2
β -HCH	0,006	0,004	0,1
Lindan	0,0058	0,00133	1,0
DDT	0,0055	<0,003	Σ 1,0
DDE	0,0075	0,0056	
DDD	0,0324	<0,003	
HCB	0,0191	0,0014	0,2

Tab. 3: Abnahme der wichtigsten Indikatorkongenergehalte der PCB in Nutztierfettgewebe [mg/kg Fett]

	PCB in Rinderfett		
	1984 ZEBS	1994-1996 BAFF	Höchstwert nach Rückstandshöchst- mengenverordnung
PCB 101	0,005	0,004	0,08
PCB 138	0,010	0,004	0,1
PCB 153	0,010	0,008	0,1
PCB 180	0,005	0,0027	0,08

	Organochlorpestizidgehalte in Schweinefett		
	1984 ZEBS	1994-1996 BAFF	Höchstwert nach Rückstandshöchst- mengenverordnung
PCB 101	0,005	0,004	0,08
PCB 138	0,005	0,001	0,1
PCB 153	0,01	0,0044	0,1
PCB 180	0,005	0,002	0,08

Tab. 4: Dioxingehalte (n=200) in deutschem Fleisch und daraus hergestellten Fleischprodukten; Zahlenwerte in [ng i-TEQ/kg Fett]

Abnehmender Dioxingehalt →				
Rind fleisch 0,46	Geflügel- fleisch 0,22			Schweine- fleisch 0,07
		Leber- wurst 0,21	Salami 0,15	Lyoner 0,13
				Frühstücks- speck 0,08