

3-Monochlorpropan-1,2-diol (3-MCPD) in geräucherten Fleischerzeugnissen 3-Monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in smoked meat products

W. JIRA

Zusammenfassung

Am Max Rubner-Institut (MRI) in Kulmbach wurden 52 geräucherte Fleischerzeugnisse (40 Rohwürste, 11 Rohschinken und 1 Brühwurst) auf ihre Gehalte an 3-Monochlorpropan-1,2-diol (3-MCPD) mit Hilfe einer GC/MS-Methode nach Derivatisierung mit Phenylborsäure untersucht. Es konnten 3-MCPD-Gehalte im Bereich von 2 bis 103 µg/kg Frischmasse nachgewiesen werden, der Median lag bei 14 µg/kg. Legt man den in der EU geltenden 3-MCPD-Höchstgehalt für Sojasaucen von 20 µg/kg zugrunde, so lagen etwa 40 % der untersuchten Fleischerzeugnisse über diesem Wert. Rohwürste und Rohschinken wiesen keine signifikant unterschiedlichen 3-MCPD-Gehalte auf. Eine Korrelation zwischen 3-MCPD- und Benzo[a]pyren-Gehalten in den untersuchten Proben konnte nicht festgestellt werden, so dass eine Reduzierung der 3-MCPD-Gehalte beim Räuchervorgang vermutlich andere Minimierungsstrategien erfordert als bei Benzo[a]pyren. Betrachtet man die von einem Expertengremium der Weltgesundheits- und Welternährungsorganisation (WHO/FAO) festgesetzte tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) von 2 µg 3-MCPD/kg Körpergewicht, so ergibt eine grobe Abschätzung der Aufnahme des Bundesbürgers bei Betrachtung auf Medianbasis, dass durch den Verzehr von geräucherten Fleischerzeugnissen weniger als 1 % des TDI ausgeschöpft wird. Dennoch sollten im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes Versuche unternommen werden, durch Optimierung der Räuchertechnologie die Gehalte an 3-MCPD in geräucherten Fleischerzeugnissen zu reduzieren.

Summary

At the Max Rubner-Institut (MRI) in Kulmbach 52 samples of smoked meat products (40 raw sausages, 11 raw hams and 1 emulsified sausage) were analysed with respect to their contents of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) after derivatisation with phenylboronic acid using a GC/MS method. The analysed contents of 3-MCPD were in the range of 2 to 103 µg/kg wet weight, the median content was 14 µg/kg. Taking the maximum level of 3-MCPD in soy sauce as a basis about 40 % of the analysed meat products showed contents above this limit. Raw sausages and raw hams showed no significant differences in their 3-MCPD contents. A correlation between the contents of 3-MCPD and benzo[a]pyrene was not observable, consequently the reduction of the contents of 3-MCPD in the smoking process seems to require other strategies of minimisation than benzo[a]pyrene. Considering a tolerable daily intake (TDI) of 2 µg/kg body weight for 3-MCPD established by an expert committee of the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO) a rough estimation of the uptake of 3-MCPD consuming smoked meat products was made. Considering the median of the 3-MCPD contamination level, less than 1 % of the TDI will be exhausted. However, for the purpose of a preventive consumer protection studies should be carried out optimizing smoking technologies in order to reduce 3-MCPD contents in smoked meat products.

Schlüsselwörter

3-MCPD – 3-Monochlorpropan-1,2-diol – geräucherte Fleischerzeugnisse – Belastungssituation – Minimierungsstrategien

Key Words

3-MCPD – 3-monochloropropane-1,2-diol – smoked meat products – contamination level – minimisation strategies

Einleitung

3-Monochlorpropan-1,2-diol (3-MCPD) stellt die bekannteste Substanz innerhalb der Gruppe der unerwünschten Stoffe der Chlorpropanole dar (BAER *et al.*, 2010). Es wird vermutet, dass 3-MCPD in Lebensmitteln vorkommt, seit Menschen damit begonnen haben, Lebensmittel zu prozessieren. 3-MCPD wurde zunächst in säurehydrolysiertem Pflanzenprotein (acid-hydrolysed vegetable protein; HVP), das als Aromastoff für die Sojasaucenherstellung verwendet wird, nachgewiesen (VELISEK *et al.*, 1978). Auch zahlreiche erhitzte Lebensmittel wie z.B. dunkel geröstetes Toastbrot weisen hohe 3-MCPD-Gehalte auf. Untersuchungen der 3-MCPD-Gehalte in der Brotkruste ergaben eine Korrelation der Gehalte mit dem Bräunungsgrad (BREITLING-UTZMANN *et al.*, 2003). Auch in raffinierten Speiseölen konnte 3-MCPD in Form von 3-MCPD-Fettsäureestern nachgewiesen werden (ZELINKOVA *et al.*, 2006), wobei hier 3-MCPD in Form von Mono- und Diestern vorliegen kann. Aufgrund des Vorkommens von 3-MCPD-Fettsäureestern in raffinierten (gereinigten) Pflanzenölen können diese unerwünschten Stoffe auch ein Problem in Lebensmitteln darstellen, in denen raffinierte Pflanzenöle verarbeitet wurden, wie z.B. Babynahrung (ZELINKOVA *et al.*, 2009). Bezüglich der Entstehung von 3-MCPD gilt, dass diese Verbindungen prinzipiell entstehen, wenn fett- und gleichzeitig salzhaltige Lebensmittel im Herstellungsprozess hohen Temperaturen ausgesetzt werden. Demzufolge zählt 3-MCPD zu den erheizungsbedingten Kontaminanten. Chemisch gesehen wird vermutet, dass die in fetthaltigen Lebensmitteln enthaltenen Triglyceride mit Salzsäure (Chloridion als Nucleophil) unter Einwirkung von Hitze zu Glycerin verseift

werden und anschließend die OH-Gruppe an Position 3 des Glycerinmoleküls durch Chlor unter Einwirkung von Salzsäure und Hitze nucleophil substituiert wird (siehe Abb. 1).

Bei der Untersuchung der toxikologischen Eigenschaften von 3-MCPD konnte im Tierversuch eine Zunahme der Zellzahl (Hyperplasie) in den Nierentubuli festgestellt werden. Zudem wurde bei einer Gabe in höheren Mengen die Bildung von gutartigen Tumoren beobachtet. *In vivo* konnte jedoch für 3-MCPD kein genotoxisches Potenzial festgestellt werden (SCF, 2001). Es ist bislang nicht bekannt, ob 3-MCPD-Fettsäureester dieselben toxischen Eigenschaften aufweisen wie freies 3-MCPD. Jedoch geht das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) von einer 100%igen Spaltung der 3-MCPD-Ester im Körper aus (BfR, 2007a). Diese Einschätzung wird von der Europäischen Lebensmittelbehörde (EFSA) geteilt (EFSA, 2008). Bislang ist allerdings noch nicht geklärt, ob tatsächlich eine 100%ige Esterspaltung im Organismus stattfindet, daher besitzt diese Annahme eher den Charakter einer „worst-case-Betrachtung“. Ein Expertengremium der Weltgesundheits- und Welternährungsorganisation (WHO/FAO) hat eine tolerierbare tägliche Aufnahme (Tolerable daily intake; TDI) von 2 µg 3-MCPD/kg Körpergewicht festgelegt, wobei das BfR eine gelegentliche Überschreitung des TDI für denkbar hält. Allerdings wird eine fortdauernde Überschreitung des TDI als bedenklich eingestuft (BfR, 2007b). Das BfR geht derzeit von einer bis zu 20fachen Überschreitung des TDI in Babynahrung aus und schätzt, dass Erwachsene bei einer täglichen Aufnahme von 100 g Pflanzenöl den TDI um ca. das 5fache überschreiten.

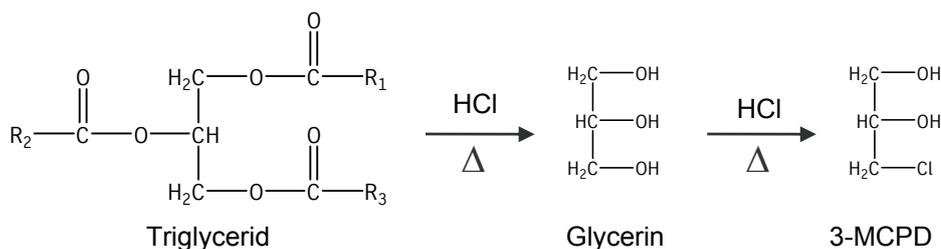


Abb. 1: Postulierter Entstehungsmechanismus von 3-MCPD ausgehend von Triglyceriden

Betrachtet man die Situation bei Fleisch und Fleischerzeugnissen, so lässt sich feststellen, dass unprozessiertes Fleisch im Hinblick auf mögliche Kontaminationen mit 3-MCPD prinzipiell kein Problem darstellt, da 3-MCPD erst bei der Prozessierung von Fleisch entstehen kann, weil eventuell über das Futter aufgenommenes 3-MCPD im tierischen Organismus schnell metabolisiert und anschließend ausgeschieden wird.

Auch in gekochtem Fleisch sollte 3-MCPD nicht von Relevanz sein, da 3-MCPD erst bei Temperaturen über 100 °C entsteht

(CREWS *et al.*, 2001). „Freies“ 3-MCPD (d. h. nicht als Fettsäureester gebundenes 3-MCPD) konnte dagegen in geräucherten Fleischerzeugnissen nachgewiesen werden. Hier wird jedoch ein anderer Entstehungsmechanismus postuliert (siehe Abb. 2), bei dem ausgehend von Cellulose, einem Hauptbestandteil des bei der Räucherung eingesetzten Holzes (ca. 50 % der Trockenmasse) durch Pyrolyse Glucose entsteht. Glucose spaltet sich in Hydroxyaceton, welches in einer sogenannten Keto-Enol-Tautomerie vorliegt. Durch elektrophile Addition von HCl an die Enolform bildet sich 3-MCPD.

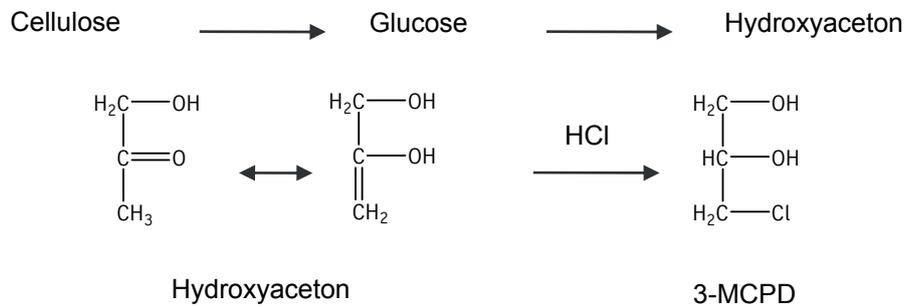


Abb. 2: Postulierter Entstehungsmechanismus von 3-MCPD bei der Räucherung von Fleischerzeugnissen ausgehend von Cellulose (nach KUNTZER und WEIßHAAR, 2006)

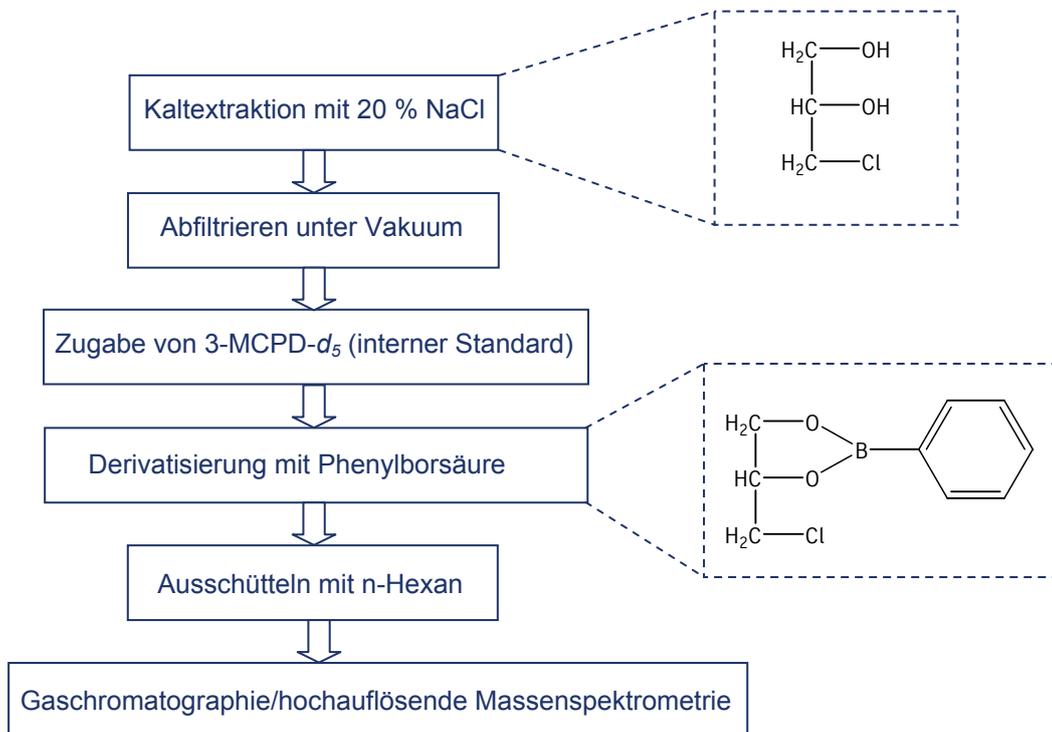


Abb. 3: Analysenmethode zur Bestimmung von 3-MCPD in geräucherten Fleischerzeugnissen

Analytische Bestimmung von 3-MCPD in geräucherten Fleischerzeugnissen

Das 3-MCPD-Molekül weist mehrere Eigenschaften auf, die eine analytische Bestimmung erschweren. Zum einen enthält das Molekül keine chromophore Gruppe, wodurch eine Bestimmung mit einer Kopplung von Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) und UV- bzw. Fluoreszenzdetektion sehr unvorteilhaft ist. Andererseits sind der hohe Siedepunkt und das geringe Molekulargewicht für eine Bestimmung mittels einer Kombination von Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC/MS) nachteilig. Demzufolge ist eine Derivatisierung von 3-MCPD erforderlich. In der Literatur wird insbesondere von der Bildung von Heptafluorbutyrylderivaten und Borsäurederivaten berichtet (BAER *et al.*, 2010). Im Rahmen von Vorversuchen erwies sich die Derivatisierung von 3-MCPD mit Phenylborsäure als vorteilhaft. Daher wurde zur Bestimmung der 3-MCPD-Gehalte in geräucherten Fleischerzeugnissen die nachfolgend beschriebene Analysenmethode eingesetzt (siehe Abb. 3).

Extraktion

10 g homogenisiertes Fleischerzeugnis werden mit 30 ml 20%iger NaCl-Lösung in einem Becherglas mit Hilfe eines Ultra-Turrax T25 für 1 Minute sorgfältig durchmischt. Der erhaltene Extrakt wird über einen Schwarzband-Papierfilter im Büchnertrichter unter leichtem Vakuum filtriert.

Derivatisierung mit Phenylborsäure

4 ml des erhaltenen Filtrats werden mit 0,8 ml Derivatisierungslösung (4,5 g Phenylborsäure, gelöst in 19 ml Aceton und 1 ml bidest. Wasser) und 20 µl interner Standardlösung (66 ng 3-MCPD-d5) in ein Probengefäß pipettiert. Das Probengefäß wird danach sorgfältig mit Septum und Kappe verschlossen, geschüttelt, 20 min auf 90 °C erhitzt und anschließend im Wasserbad auf Raumtemperatur abgekühlt. Danach wird zweimal mit je 2,5 ml n-Hexan ausgeschüttelt und die organische Phase sorgfältig im Stickstoffstrom auf 2 ml eingengt. Die verschlossenen Probengefäße wurden 12 Stunden bei -18 °C

aufbewahrt, um Verunreinigungen in Form eines kristallinen Niederschlags abzutrennen. Danach wird 1 ml der flüssigen Phase in ein Spitzbodengläschen überführt und sorgfältig im Stickstoffstrom auf 500 µl eingengt.

Messung mit GC/MS

Als Gaschromatograph wird ein Trace-GC (ThermoFisher Scientific, Mailand, Italien) mit einem Split/Splitless-Injektor eingesetzt. Als GC-Säule wird eine ZB-5ms-Säule (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm) (Phenomenex, USA) verwendet. Die Injektor-temperatur beträgt 200 °C, das Injektionsvolumen 0,5 µL (splitless). Als Trägergas wird Helium mit einem konstanten Fluss von 1,0 mL/min verwendet. Es wird folgendes Temperaturprogramm zur Anwendung gebracht: isotherm bei 50 °C für 1 min, mit 40 °C/min bis 140 °C, mit 5 °C/min bis 195 °C und mit 40 °C/min bis 300 °C.

Die Identifizierung von 3-MCPD erfolgt mittels GC in Kopplung mit hochauflösender Massenspektrometrie (DFS, ThermoFisher Scientific, Bremen, Germany) im positiven EI-Modus bei einer Elektronenenergie von 45 eV. Die Temperatur der Ionenquelle und der Transferline betragen dabei 260 °C bzw. 270 °C. Die Auflösung des MS beträgt ca. 8.000 (10%-Tal-Definition). Als Quantifizierungsionen werden $m/z = 147.061$ ($C_8H_8BO_2^+$) bzw. $m/z = 150.080$ ($C_8H_5D_3BO_2^+$) verwendet.

Die Bestimmungsgrenze der beschriebenen Analysenmethode liegt bei 2 µg/kg Frischmasse. Zur Überprüfung der Methode wurden Wiener mit verschiedenen Gehalten an 3-MCPD (52, 104 und 156 µg/kg) dotiert. Die durch Doppelbestimmung ermittelten 3-MCPD-Gehalte lagen bei 48/55 µg/kg, 104/109 µg/kg und 158/158 µg/kg. Untersucht wurden Proben von geräucherten Fleischerzeugnissen, die aufgrund ihres Aussehens eindeutig als geräucherte Produkte eingestuft werden konnten. Die Probenahme erfolgte im Rahmen der f-Qualitätsprüfung in Bayern (November 2009 in Augsburg) und der DLG-Qualitätsprüfung für Roh- und Kochwürste und Rohschinken (März 2010 in Bad Salzuflen). Insgesamt wurden 52

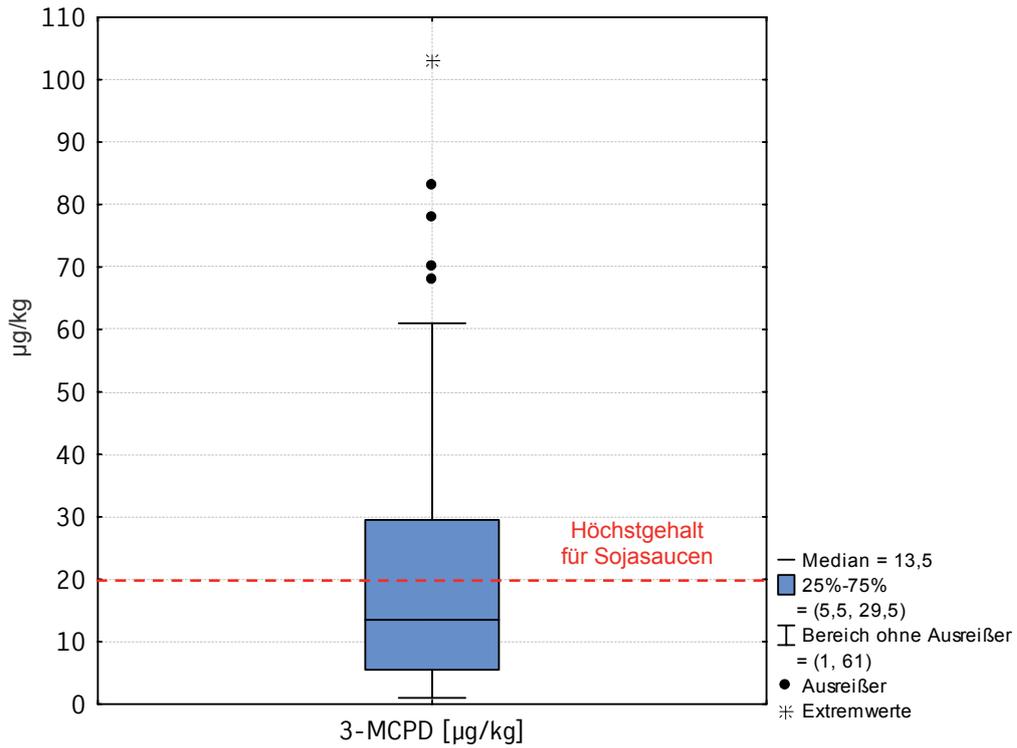


Abb. 4: 3-MCPD-Gehalte [µg/kg] in geräucherten Fleischerzeugnissen (N = 52)

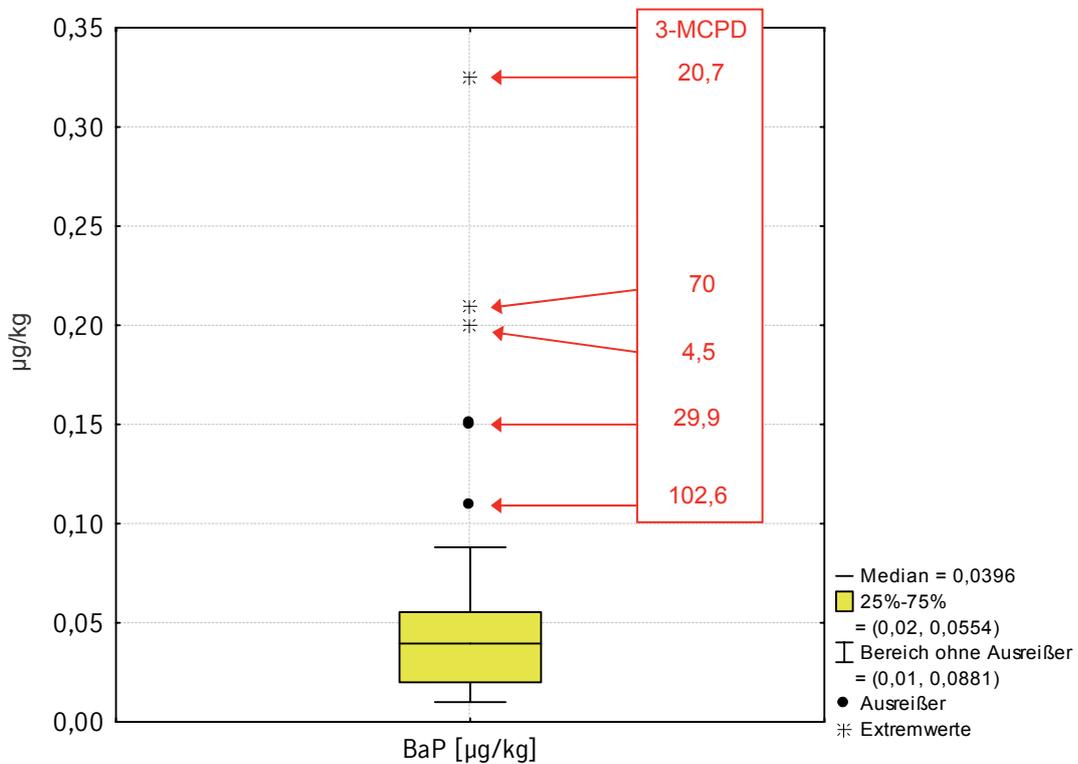


Abb. 5: Benzo[a]pyren-Gehalte [µg/kg] in geräucherten Fleischerzeugnissen und die entsprechenden 3-MCPD-Gehalte [µg/kg] der Ausreißer und Extremwerte

Proben (40 Rohwürste, 11 Rohschinken und 1 Brühwurst) untersucht. Dabei ergaben sich 3-MCPD-Gehalte im Bereich von 2 bis 103 µg/kg (siehe Abb. 4).

Der Median der untersuchten Proben lag bei 14 µg/kg. Da in der EU kein Höchstgehalt für 3-MCPD in geräucherten Fleischerzeugnissen existiert, wurde der in der Kontaminantenverordnung (Verordnung (EG) Nr. 1881/2006) festgelegte Höchstgehalt für Sojasaucen (20 µg/kg) als Vergleich herangezogen. Dabei ergab sich, dass etwa 40 % der Proben über diesem Wert lagen. Der höchste beobachtete Wert (ohne Ausreißer und Extremwerte) lag bei 60 µg/kg. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Rohwurst und Rohschinken festgestellt werden. Verglichen mit entsprechenden Untersuchungen des CVUA Stuttgart (KUNTZER und WEIßHAAR, 2006), bei denen im Jahr 2006 insgesamt 34 Proben geräucherter Fleischerzeugnisse untersucht wurden, konnten ähnliche 3-MCPD-Konzentrationsbereiche (MRI Kulmbach: bis 103 µg/kg; CVUA Stuttgart: bis 133 µg/kg), jedoch ein deutlich niedrigerer Mediangehalt (MRI Kulmbach: 14 µg/kg; CVUA Stuttgart: 49 µg/kg) und eine signifikant geringere „Überschreitungsrate“ des 20 µg/kg-Wertes (MRI Kulmbach: 40 %; CVUA Stuttgart: 70 %) festgestellt werden.

Dieselben Proben wurden mit Hilfe einer GC/MS-Methode (JIRA, 2010) auch auf ihre Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) untersucht, die bedeutende Prozesskontaminanten bei der Räucherung von Fleischerzeugnissen darstellen. Die Gruppe der PAK umfasst etwa 660 verschiedene Verbindungen, von denen einige Vertreter Krebs erregende Eigenschaften aufweisen. Als Leitsubstanz wird bislang (noch) Benzo[a]pyren verwendet. Für die 52 untersuchten Proben ergaben sich niedrige Benzo[a]pyren-Gehalte mit einem Mediangehalt von 0,04 µg/kg, der mehr als das 100fache unter dem derzeit in der EU

geltenden Höchstgehalt für Benzo[a]pyren in geräucherten Fleischerzeugnissen von 5 µg/kg liegt. Ausreißer und Extremwerte lagen im Bereich von 0,12 bis 0,33 µg/kg, jedoch wiesen nicht alle Benzo[a]pyren-Extremwerte auch hohe 3-MCPD-Gehalte auf (siehe Abb. 5).

Wie bereits erwähnt ergaben Untersuchungen der Brotkruste eine Korrelation der 3-MCPD-Gehalte mit dem Bräunungsgrad. Andererseits ist bei Fleischerzeugnissen die Tendenz festzustellen, dass die Benzo[a]pyren-Gehalte umso höher sind, je stärker das Produkt geräuchert wurde. Demzufolge wäre es durchaus denkbar, dass die Gehalte an 3-MCPD und Benzo[a]pyren miteinander korrelieren. Die Erstellung eines Scatterplots dieser beiden Prozesskontaminanten ergab jedoch keine Korrelation. Das Bestimmtheitsmaß lag mit einem Wert von $R^2 = 0,14$ sehr niedrig.

Untersucht wurde ferner, ob die Gehalte an 3-MCPD mit dem pH-Wert des Erzeugnisses korrelieren. In der Literatur wird von einer Bildung von 3-MCPD im sauren Milieu (pH-Wert < 6) berichtet (HAMLET *et al.*, 2003). Die Untersuchungen ergaben allerdings keine Korrelationen zwischen dem Gehalt an 3-MCPD und dem pH-Wert. Dieser Befund lässt vermuten, dass sich 3-MCPD bei der Räucherung nicht auf der Oberfläche des Erzeugnisses, sondern im Räucherrauch bildet und sich anschließend auf dem Produkt niederschlägt. Für diese Vermutung sprechen auch Untersuchungsergebnisse des CVUA Stuttgart (KUNTZER und WEIßHAAR, 2006), die 3-MCPD im Niederschlag der Räucherammerwand und im Rauchkondensat von im Labor verschmolzen Holzspänen nachweisen konnten.

Schlägt sich das im Räucherrauch gebildete 3-MCPD jedoch auf dem Fleischerzeugnis nieder, so ist der typische pH-Wert von Rohwürsten (< 6,0) und Brühwürsten (um 6) dafür geeignet, dass 3-MCPD stabil bleibt.

Tab. 1: Grobe Abschätzung der Aufnahme an 3-MCPD durch den Verzehr von geräucherten Fleischerzeugnissen

Tägliche Aufnahme an Fleischerzeugnissen:	100 g
davon geräucherte Fleischerzeugnisse (60 %):	60 g
Median bzw. 90-Perzentil 3-MCPD:	14 ng/g bzw. 60 ng/g
Tägliche Aufnahme an 3-MCPD:	0,84 µg bzw. 3,6 µg
Tägliche Aufnahme an 3-MCPD pro Person (70 kg) und Tag:	0,012 bzw. 0,05 µg/kg Körpergewicht
Tolerable daily intake (TDI):	2 µg/kg Körpergewicht

Grobe Abschätzung der Aufnahme an 3-MCPD durch den Verzehr von geräucherten Fleischerzeugnissen

Laut Ernährungsbericht 2008 liegt der tägliche Verzehr an Fleisch und Fleischerzeugnissen bei Senioren im Mittel bei 93 g, von Jugendlichen im Alter von 15-18 Jahren werden durchschnittlich 99 g pro Tag verzehrt (Ernährungsbericht, 2008). Geht man auf Basis dieser Daten von einer täglichen Aufnahme des Bundesbürgers von 100 g Fleischerzeugnissen pro Tag aus, so ergibt sich bei Zugrundelegung eines Anteils der geräucherten Erzeugnisse von 60 % (Frede, 2006) eine tägliche Aufnahme von 60 g geräucherten Fleischerzeugnissen.

Bei den am MRI Kulmbach untersuchten Proben an geräucherten Fleischerzeugnissen (N=52) ergab sich ein 3-MCPD-Mediangehalt von 14 ng/g und ein 90-Perzentil von 60 ng/g. Dies entspricht einer täglichen Aufnahme an 3-MCPD von 0,84 µg (Medianbetrachtung) bzw. 3,6 µg (90-Perzentil-Betrachtung). Ein 70 kg schwerer Mensch würde demzufolge pro Tag 0,012 bzw. 0,05 µg 3-MCPD/kg Körpergewicht aufnehmen. Da die tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) bei 2 µg/kg Körpergewicht liegt, schöpft eine 70 kg schwere Person durch den Verzehr von geräucherten Fleischerzeugnissen bei Betrachtung auf Medianbasis weniger als ein Prozent bzw. bei 90-Perzentil-Betrachtung weniger als drei Prozent des TDI aus.

Ansätze für Minimierungsstrategien

Nach Ansicht des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) besteht Handlungsbedarf im Hinblick auf eine Minimierung der 3-MCPD-Gehalte in Lebensmitteln (BfR, 2007b). Aufgrund der in geräucherten Fleischerzeugnissen nachgewiesenen 3-MCPD-Gehalte, die in etwa 40 % der Proben über dem in der EU geltenden Höchstgehalt für Sojasaucen liegen, sollten auch Anstrengungen unternommen werden, die 3-MCPD-Gehalte in geräucherten Fleischerzeugnissen im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes zu senken. Aufgrund des Fehlens einer Korrelation zwischen den Gehalten an 3-MCPD und Benzo[a]pyren sind jedoch für 3-MCPD vermutlich andere Minimierungsstrategien als für PAK erforderlich. Durch gezielte Räucherversuche sollen nun im Rahmen des FEI-Projektes „Minimierung der PAK-Gehalte in Fleischerzeugnissen durch Optimierung der Prozessführung bei konventioneller Räucherung“ (AiF 16460 N) Vorversuche zu Möglichkeiten der Reduzierung der 3-MCPD-Gehalte in heiß- und kaltgeräucherten Fleischerzeugnissen durchgeführt werden. Dabei sollen einerseits Einflüsse der Räuchertechnologie (Glimm-, Friktions- und Dampfrauch) und der Rauchentstehungstemperatur untersucht werden, andererseits soll überprüft werden, ob die verwendete Holzart und die Art des Darms auf die 3-MCPD-Gehalte Einfluss hat. Zudem soll geklärt werden, ob der Einsatz von Zuschlagsstoffen

(z.B. Calciumcarbonat) einen Beitrag zur Reduzierung der 3-MCPD-Gehalte in geräucherten Fleischerzeugnissen leisten könnte. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob in Verpackungsmaterialien enthaltenes Epichlorhydrin eine 3-MCPD-Kontaminationsquelle für Fleischerzeugnisse darstellt.

Literatur

BAER, I., DE LA CALLE, B. und P. TAYLOR (2010): 3-MCPD in food other than soy sauce or hydrolysed vegetable protein (HVP). *Anal. Bioanal. Chem.* 396, 443-456.

BfR, 2007a:

http://www.bfr.bund.de/cm/208/saewuglingsanfangs_und_folgenahrung_kann_gesundheitlich_bedenkliche_3_mcpd_fettsaeureester_enthalten.pdf

BfR, 2007b:

http://www.bfr.bund.de/cm/276/ausgewaehlte_fragen_und_antworten_zu_3_monochloropropanediol.pdf

BREITLING-UTZMANN, C.M., KÖBLER, H., HERBOLZHEIMER, D. und A. MAIER (2003): 3-MCPD – Occurrence in Bread Crust and Various Food Groups as well as Formation in Toast. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 99, 280-285.

CREWS, C., BRERETON, P. und A. DAVIES (2001): The effects of domestic cooking on the levels of 3-monochloropropanediol in foods. *Food Addit. Contam.* 18, 271-280.

EFSA, 2008:

<http://www.efsa.europa.eu/de/scdocs/doc/1048.pdf>

Ernährungsbericht, 2008. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., Bonn.

FREDE, W. (Hrsg.): Taschenbuch für Lebensmittelchemiker, 2. Auflage, Springer Verlag Berlin, 5065 (2006).

HAMLET, C.G., SADD, P.A. und D.A. GRAY (2003): Influence of composition, moisture, pH and temperature on the formation and decay kinetics of monochloropropanediols in wheat flour dough. *Eur. Food Res. Technol.* 216, 122-128.

JIRA, W. (2010): Polycyclic aromatic hydrocarbons in German smoked meat products. *Eur. Food Res. Technol.* 230, 447-455.

KUNTZER, J. und R. WEIßHAAR (2006): The Smoking Process – A Potent Source of 3-Chloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in Meat Products. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 102, 397-400.

SCF, 2001:

http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out91_en.pdf

VELISEK, J., DAVIDEK, J., HAJŠLOVA, J., KUBELKA, V., JANICEK, G. und B. MANKOVA (1978): Chlorohydrins in protein hydrolysates. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 167, 241-244.

Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. *Amtsblatt der Europäischen Union* L 364: 5-24.

ZELINKOVA, Z., SVEJKOVSKA, B., VELISEK, J. und M. DOLEZAL (2006): Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. *Food Addit. Contam.* 23, 1290-1298.

ZELINKOVA, Z., DOLEZAL, M. und J. VELISEK (2009): Occurrence of 3-chloropropane-1,2-diol fatty acid esters in infant and baby foods. *Eur. Food Res. Technol.* 228, 571-578.