

Vorkommen von freiem 3-MCPD in gegrilltem Fleisch und gegrillten Fleischerzeugnissen

Occurrence of free 3-MCPD in grilled meat and meat products

K. SCHALLSCHMIDT, A. HITZEL, M. PÖHLMANN, K. SPEER¹, F. SCHWÄGELE
und W. JIRA

¹Technische Universität Dresden, Lebensmittelchemie, Dresden

Zusammenfassung. Am Max Rubner-Institut (MRI) in Kulmbach wurden gegrilltes Fleisch und gegrillte Fleischerzeugnisse (Schweinenackensteaks und Bratwürste) auf ihre Gehalte an freiem 3-Monochlorpropan-1,2-diol (3-MCPD) mit Hilfe einer neu entwickelten Bestimmungsmethode, bestehend aus beschleunigter Lösungsmittlextraktion (PLE), Derivatisierung mit Phenylboronsäure und anschließender GC/MS-Detektion, untersucht. Bei der Zubereitung von dünnkalibrigen Bratwürsten auf einem Kontaktgrill bei unterschiedlichen Temperaturen im Bereich von 120-240 °C für 5 Minuten lagen die 3-MCPD-Gehalte im Bereich von < 1 bis 2 µg/kg. Bratwürste, die mit unterschiedlichen Erhitzungszeiten auf dem Holzkohlegrill zubereitet wurden, wiesen Gehalte zwischen 9 und 13 µg/kg auf. Für das Grillen von Schweinenackensteaks kamen Holzkohle-, Gas und Elektrogrill zum Einsatz. Weitere Versuchsparameter waren die Fleischvorbehandlung (unbehandelt, gesalzen, mariniert mit Öl- oder Emulsionsmarinade) sowie das Verwenden einer Aluminium-Grillschale bzw. eines Deckels. Für gegrillte Steaks konnten 3-MCPD-Gehalte von < 1 bis 365 µg/kg (Median: 16 µg/kg) ermittelt werden. Die höchste Belastung trat bei mit Ölmarinade vorbehandelten Steaks auf, die auf einem Holzkohlegrill mit geschlossenem Deckel zubereitet wurden. Durch den Verzehr eines derart belasteten Steaks würde die tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) von 2 µg 3-MCPD pro kg Körpergewicht zu etwa 25 % ausgeschöpft. Im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes sollten daher umfangreiche systematische Grillversuche durchgeführt werden, um Minimierungsstrategien für 3-MCPD in gegrilltem Fleisch und gegrillten Fleischerzeugnissen zu entwickeln und Verbraucherempfehlungen geben zu können.

Summary. At the Max Rubner-Institut (MRI) in Kulmbach grilled meat and meat products (steaks and sausages) were analysed with respect to their contents of free 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) using a new developed analytical method consisting of pressurized liquid extraction (PLE), derivatisation using phenylboronic acid and GC/MS detection. For the heating of sausages with a small diameter applying a contact grill at different temperatures between 120 to 240 °C for 5 minutes contents of 3-MCPD in the range of < 1 to 2 µg/kg were detected. Sausages, heated on a charcoal grill at different heating times showed contents between 9 and 13 µg/kg. For the grilling of collar charcoal, electric and gas grill were used. Further parameters investigated were pre-treatment of meat (untreated, salted, marinated with oil- or emulsion marinade), the usage of aluminium grill trays and a lid. For grilled steaks contents of 3-MCPD in the range of < 1 to 365 µg/kg (median: 16 µg/kg) were detected. The highest contamination was recognized for a steak pretreated with an oily marinade, which was grilled on a charcoal grill with a closed lid. Consumption of such a steak will exhaust the tolerable daily intake (TDI) of 2 µg/kg body weight for 3-MCPD to about 25 %. For the purpose of a preventive consumer protection comprehensive systematic grilling experiments should be carried out in order to develop minimisation strategies for 3-MCPD in grilled meat and meat products and to give consumer recommendations.

Schlüsselwörter

3-MCPD – 3-Monochlorpropan-1,2-diol – PLE – gegrilltes Fleisch – Grillverfahren – Minimierungsstrategien – Verbraucherempfehlungen

Key Words

3-MCPD – 3-monochloropropane-1,2-diol – PLE – grilled meat – grilling methods – minimisation strategies – consumer recommendations

Einleitung

3-Monochlor-1,2-propandiol (3-MCPD) gehört zu den erhitzungsbedingten Kontaminanten. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) äußerte sich zur toxikologischen Bewertung von 3-MCPD in einer Stellungnahme vom 19. Mai 2003, wonach die Substanz im Tierversuch bei höheren Dosen Tumor bildend gewirkt habe (BfR, 2003). Die fehlende Erbgut schädigende Wirkung und Anhaltspunkte für einen sekundären Mechanismus ließen jedoch auf die Existenz einer Schwellendosis schließen, unterhalb derer keine Tumore auftreten. Vom Wissenschaftlichen Lebensmittelausschuss der EU (SCF) und dem Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) wurde für 3-MCPD eine tolerierbare tägliche Aufnahme (tolerable daily intake; TDI) von 2 µg/kg Körpergewicht und Tag festgelegt (SCF, 2001).

Für hydrolysiertes Pflanzenprotein und für Sojasaucen existiert ein in der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 festgesetzter EU-weiter 3-MCPD-Höchstgehalt von 20 µg/kg (bei 40 % Trockenmasse). Um feststellen zu können, ob weitere Höchstgehalte festgelegt werden müssen, sind die Mitgliedstaaten aufgefordert, andere Lebensmittel hinsichtlich ihrer 3-MCPD-Belastung zu untersuchen.

Das Erhitzen von Fleisch und Fleischerzeugnissen dient der Abtötung von etwaigen humanpathogenen Mikroorganismen, der Zartmachung sowie der Entwicklung eines charakteristischen Aromas (HONIKEL, 2004). Eine mögliche Zubereitungsmethode ist das Grillen, welches zu den trockenen Garverfahren zählt (FREDE, 2006). Grillen gehört insbesondere in den Sommermonaten zu einer beliebten Beschäftigung der Deutschen, da laut einer Umfrage jeder dritte Bundesbürger oft bis sehr oft grillt (WIESENHOF, 2011). Des Weiteren hat der Handel mit Grillgeräten große wirtschaftliche Bedeutung. So betrug im Jahr 2009 der Branchenumsatz (inklusive Zubehör) etwa 500 Millionen Euro (FAZ, 2010). Vor etwa 40 Jahren wurde das Grillen häufig als gesunde Zubereitungsmethode angesehen, da es ein Garen des Lebensmittels ohne Fettzusatz erlaubt (BROCKHAUS, 1969). Seit einigen

Jahren ist jedoch bekannt, dass beim Grillen von Fleisch und Fleischerzeugnissen gesundheitsschädliche Substanzen wie Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (FRETHEIM, 1983; MOTTIER *et al.*, 2000; FARHADIAN *et al.*, 2010), Heterozyklische Aromatische Amine (GROSS *et al.*, 1993; RIVERA *et al.*, 1996; SALMON *et al.*, 1997; POLAK *et al.*, 2009) und auch N-Nitrosamine (beim Erhitzen von gepökelten Fleischerzeugnissen) (DRABIK-MARKIEWICZ *et al.*, 2009) entstehen können. Neben diesen bereits seit längerem bekannten erhitzungsbedingten Kontaminanten kann jedoch auch 3-MCPD beim Grillen von Fleisch entstehen, wie eine Studie zum Einfluss häuslicher Zubereitungsmethoden auf die Belastung mit freiem 3-MCPD in verschiedenen Lebensmitteln belegt (CREWS *et al.*, 2001).

Bislang existieren jedoch nur wenige Untersuchungen zur Entstehung von 3-MCPD beim Grillen von Fleisch und Fleischerzeugnissen. CREWS und Mitarbeiter (2001) konnten in mit Gasgrill erhitztem Hackfleisch 5 µg/kg freies 3-MCPD bestimmen, in gegrilltem Rinderburger wurden 71 µg/kg nachgewiesen (CREWS *et al.*, 2002), in der Haut eines Grillhähnchens sogar 1 900 µg/kg (LUA Sachsen, 2003). Ferner konnte festgestellt werden, dass bei der Verschmelzung von Grillkohle eine 3-MCPD-Bildung erst nach Pflanzenölzusatz zum Brennmaterial stattfand (CVUA Stuttgart, 2006).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zunächst, eine für Routineuntersuchungen geeignete Analysenmethode zur Bestimmung von 3-MCPD in gegrilltem Fleisch und gegrillten Fleischerzeugnissen, basierend auf beschleunigter Lösungsmittel-extraktion, Derivatisierung mit Phenylboronsäure und anschließender GC/MS-Detektion, zu etablieren. Mit Hilfe dieser Methode wurden erste orientierende Untersuchungen zu 3-MCPD-Gehalten beim Grillen von Fleisch und Fleischerzeugnissen durchgeführt. Untersucht wurden mit Kontakt- und Holzkohlegrill gegrillte Bratwürste (7 bzw. 3 Grillversuche) sowie Schweinenackensteaks, die mit Holzkohle-, Gas- und Elektrogrill gegart wurden. Für die Grillversuche mit Schweinenackensteaks (insgesamt 38 Grillversu-

che) waren die Fleischvorbehandlungen (unbehandelt, gesalzen, mariniert mit Öl- oder Emulsionsmarinade) sowie das Verwenden einer Aluminium-Grillschale bzw. eines Deckels weitere Versuchsparameter.

Material und Methoden

Grillen der Bratwürste im Kontaktgrill (insgesamt 7 Grillversuche)

Dünnkalibrige Brühwürste wurden aus Schweinefleisch (51 %), Speck (26 %), Eis (23 %) sowie Salz und Phosphat hergestellt und bei 75 °C für 35 Minuten gebrüht. Bis zur weiteren Verarbeitung wurden die Würstchen bei 4 °C gelagert. Für die Grillversuche wurde der Kontaktgrill (Typ S-162; Fa. Silex Elektrogeräte GmbH, Arnsberg) auf 120, 140, 160, 180, 200, 220 oder 240 °C vorgeheizt. Mit einem Messfühler wurde kontrolliert, ob die eingestellte Temperatur erreicht wurde. 10 Würstchen wurden gewogen, in zwei Reihen auf eine Schicht Alufolie gelegt, die Alufolie einmal umgeschlagen, das Paket auf den Grill gelegt und der Grill geschlossen. Nach 5 Minuten Erhitzungszeit wurden die Würstchen vom Grill heruntergenommen und wiederum die Masse bestimmt.

Grillen von Bratwürsten auf Holzkohlegrill (insgesamt 3 Grillversuche)

Aus dem Handel bezogene Nürnberger Rostbratwürste (32 % Fett, 2,4 % Salz) wurden auf einem Holzkohlegrill (One-Touch Premium; 57 cm; Fa. Weber-Stephen Deutschland GmbH) gegrillt. Die Würstchen wurden 3:30 Minuten bzw. 6:30 Minuten in der Mitte des Rostes (Durchschnittstemperatur auf Höhe des Rostes: 275 °C) gegrillt. In einem dritten Versuch wurden die Würstchen nach einer Grillzeit von 3:30 Minuten in der Mitte des Rostes noch für weitere 3 Minuten in der Randzone des Rostes (Temperatur auf Höhe des Rostes: 100-130 °C) „warmgehalten“.

Grillen von Schweinenackensteaks auf Holzkohle-, Gas und Elektrogrill (insgesamt 38 Grillversuche)

Die Steaks für je zwei Grillversuche wurden aus einem Schweinehals gewonnen.

Dazu wurden Scheiben der Dicke 13 mm geschnitten. Die Anschnitte wurden verworfen. Damit die Fleischscheiben in Größe und Zusammensetzung vergleichbar waren, wurde jede zweite Scheibe für einen Grillversuch verwendet. Für die Grillversuche wurden ein Holzkohlegrill (One-Touch Premium; 57 cm), ein Gasgrill (Typ Q 220 Premium) und ein Elektrogrill (Typ Q 140) der Fa. Weber-Stephen Deutschland GmbH in Ingelheim eingesetzt. Insgesamt wurden 38 Grillversuche durchgeführt (siehe Tab. 1).

Für die marinierten Steaks wurden entsprechend der Herstellerempfehlung (Fa. Raps, Kulmbach) 8 g Ölmarinade bzw. 10 g Emulsionsmarinade je 100 g Fleisch zugesetzt, gemischt und für 3-4 Tage gekühlt gelagert. Für die gesalzenen Grillgüter wurden je 100 g Steaks 1,1 g Salz zugesetzt und für einen Tag gekühlt gelagert. Zu den „ungesalzenen“ Steaks wurde im Anschluss an das Grillen die gleiche Salzmenge, bezogen auf das Gewicht der Rohware, zugesetzt. Je Grillversuch wurden 6 Steaks aufgelegt, was 600 bis 900 g unbehandeltem Fleisch entsprach. Bei den Grillversuchen mit Aluschale wurden die 6 Steaks gleichmäßig auf 2 Grillschalen verteilt. Ein Grillversuch wurde mit 12 statt 6 Steaks durchgeführt, wobei jeweils 50 % mit Öl- und Emulsionsmarinade behandelt waren. Zunächst wurden die Steaks mit Ölmarinade aufgelegt und 5 Minuten später jene mit Emulsionsmarinade. Der Temperaturmessfühler wurde auf Niveau



Abb. 1: Messung der Temperatur auf Höhe des Grillrostes im Falle der Zubereitung von Schweinenackensteaks auf dem Gasgrill

Tab. 1: Versuchsdaten zum Grillen der Schweinenackensteaks

Fleischbehandlung	Erhitzungszeit [min:sec]	Durchschnitts- temperatur [°C]	Gar- verlust [%]	Erhitzungszeit [min:sec]	Durchschnitts- temperatur [°C]	Gar- verlust [%]
Elektrogrill						
Ölmarinade	18:00	144,6	31,3	18:00	141,7	33,9
Emulsionsmarinade	16:00	108,3	26,8	16:00	119,3	30,8
Gesalzen	13:00	121,1	19,9	16:00	121,5	29,9
Ungesalzen	13:00	149,9	22,0	16:00	134,5	24,8
Gasgrill						
Ölmarinade	16:00	129,4	39,4	16:00	122,0	40,1
Emulsionsmarinade	16:00	102,8	36,8	16:00	139,0	40,0
Gesalzen	7:00	128,1	19,2	8:30	116,8	24,7
Ungesalzen	7:00	213,8	24,7	8:30	136,6	25,5
Holzkohlegrill ohne Grillschale						
Ölmarinade	8:00	162,3	34,7	8:00	204,8	30,5
Emulsionsmarinade	8:00	215,0	23,0	8:00	237,0	23,4
Gesalzen	8:30	188,6	36,2	8:30	206,8	34,0
Ungesalzen	8:30	175,5	37,6	8:30	200,2	33,5
Holzkohlegrill mit Grillschale						
Ölmarinade	21:00	257,1	39,5	21:00	243,4	38,7
Emulsionsmarinade	21:00	198,4	28,3	21:00	214,2	29,5
Gesalzen	21:00	194,0	28,0	17:30	165,2	22,9
Ungesalzen	17:00	195,2	20,3	17:00	186,7	28,2
Holzkohlegrill mit Deckel						
Ölmarinade	5:00	332,9	31,7	5:00	365,8	26,6
Emulsionsmarinade	7:00	333,0	29,8	7:00	333,5	32,9
Holzkohlegrill mit 12 Steaks						
Ölmarinade	13:00	205,0	50,0	-	-	-
Emulsionsmarinade	13:00	198,4	27,3	-	-	-

des Fleisches angebracht. Für Grillversuche ohne Aluschale bedeutete dies, dass der Messfühler mittig am Rost befestigt wurde (siehe Abb. 1). Bei Grillversuchen mit Grillschale wurde der Messfühler in der Aluschale befestigt. Der Holzkohlegrill wurde vorbereitet, in dem im Brikett-Portionierer ca. 80 Briketts aus Buchenholz angezündet wurden. Nach 30-40 Minuten wurde die Holzkohle in den Grill überführt und der Grillrost aufgelegt. Nach Erreichen einer konstanten Temperatur am Grillrost wurde das Fleisch aufgelegt. Bei den Grillversuchen mit Deckel wurden die Steaks erst aufgelegt, nachdem die gemessene Temperatur unter dem Deckel konstant war. Nur für das Wenden der Steaks wurde der Deckel kurzzeitig geöffnet.

Gas- und Elektrogrill wurden auf die jeweils höchste Stufe eingestellt, wobei letzterer mit Propangas betrieben wurde. Nach dem Anschalten wurde der Rost aufgelegt, die Temperaturmessung gestartet und mit Erreichen einer konstanten Temperatur das Grillgut aufgelegt.

Während des Grillvorganges wurde das Fleisch zwei- oder dreimal gewendet. Endpunkt des Grillens war das Erreichen einer einheitlichen Garstufe, woraus sich unterschiedliche Gesamtgarzeiten (zwischen 5 und 21 Minuten) in Abhängigkeit der einzelnen Parameter ergaben.

Bestimmung der 3-MCPD-Gehalte

Zur Untersuchung der Bratwürste wurde das Probenmaterial in einer Labormessermühle (6000 U/min, 1 min) zerkleinert. Die zu untersuchenden Schweinenackensteaks wurden bei -4 °C angefrosten und im 5-Liter-Kutter für 3 min zerkleinert. Die zerkleinerten Probenmaterialien wurden in eine Verbundfolie gegeben, zugeschweißt und bis zur Analyse bei -18 °C gelagert. In eine Reinnickelschale wurden ca. 10 g Seesand vorgelegt. Im Anschluss wurden 10 g zerkleinerte Probe exakt (auf 0,001 g genau) eingewogen. Es erfolgte die Zugabe von 25 µl des internen Standards 3-MCPD-d₅ (40 µg/ml in Wasser; entsprechend 40 ng/ml im aufgefüllten Extrakt). Probe, Sand und Standard wurden miteinander verrieben und anschließend gefriergetrocknet. Die getrockneten Proben wurden nach Zugabe von 15 g Sand erneut verrieben. Für die beschleunigte Lösungsmittelextraktion mit einem SpeedExtractor E-916 (Fa. Büchi) wurden 40 ml-Extraktionszellen nach folgendem Schema (von unten nach oben) befüllt: Fiberglasfilter/Seesand/dispergierte Probe/Seesand/Cellulosefilter. Um eine vollständige Überführung der Probe zu gewährleisten, wurden die Schalen im Anschluss zweimal mit Seesand ausgekratzt und diese Menge ebenfalls in die Extraktionszellen gefüllt. Folgende Extraktionsbedingungen (Extraktionsmittel: Wasser) kamen zum Einsatz: Druck: 100 bar; Temperatur: 30 °C; Zyklus 1: hold 5 min, discharge 10 min; Zyklus 2: hold 15 min, discharge 5 min; Spülen mit Stickstoff: 30 min.

Die Extrakte wurden in 60 ml-Vials aufgefangen und quantitativ durch zweimaliges Nachspülen mit Wasser in 25 ml-Maßkolben überführt, in denen 5 g Natriumchlorid vorgelegt worden waren. Nach Lösen des Salzes erfolgte das Auffüllen bis zur Marke mit Wasser. Ein Aliquot von 4 ml der Probenlösung wurde in ein 10 ml-Derivatisierungsgefäß gegeben. Nach Zugabe von 0,2 ml Phenylboronsäure-Lösung (25 % in Aceton/Wasser (19:1, v:v)) wurde das Gefäß verschlossen, geschüttelt und für 30 Minuten im Heizblock auf 90 °C erhitzt. Nach Abkühlen erfolgte die Zugabe von 2,5 ml n-Hexan. Die Gefäße wurden verschlossen und für 30 Sekunden kräftig geschüttelt.

Die obere Phase wurde in ein Schraubdeckelglasröhrchen abgenommen, verschlossen und für 12 Stunden bei -18 °C gelagert. Anschließend wurde 1 ml des klaren Überstandes in ein Spitzbodengläschen abgefüllt.

Für die Messung mit GC/HRMS wurde als Gaschromatograph ein Trace-GC (ThermoFisher Scientific, Mailand, Italien) mit einem PTV-Injektor eingesetzt. Als GC-Säule wurde eine DB-5ms-Säule (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) (Agilent Technologies) verwendet. Es kam folgendes PTV-Programm zum Einsatz: 69 °C für 0,03 min, mit 300 °C/min bis 200 °C, 16,8 min bei 200 °C, mit 300 °C/min bis 300 °C, 3 min bei 300 °C. Das Injektionsvolumen betrug 1 µl. Als Trägergas wurde Helium mit einem konstanten Fluss von 1,0 ml/min verwendet. Es wurde folgendes Temperaturprogramm zur Anwendung gebracht: isotherm bei 50 °C für 1 min, mit 40 °C/min bis 140 °C, mit 2 °C/min bis 160 °C und mit 40 °C/min bis 320 °C, 5 min bei 320 °C. Die Identifizierung von 3-MCPD erfolgte 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 betrug ca. 10.000 (5%-Tal-Definition). Als Quantifizierungionen wurden m/z = 147,06 (C₈H₈BO₂⁺) bzw. m/z = 150,08 (C₈H₅D₃BO₂⁺) verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bestimmung der 3-MCPD-Gehalte in den Fleischerzeugnissen erfolgte mittels Isotopenverdünnungsanalyse. Die Auswertung wurde auf Grundlage einer Matrixkalibrierung vorgenommen, für die pasteurisierter, homogener Schweinenackens mit unterschiedlichen Mengen 3-MCPD-Standard (5-400 µg/kg) dotiert und nach obiger Methode aufgearbeitet wurde. Die Bestimmungsgrenze in dieser Matrix wurde zu 1 µg/kg (Signal-Rausch-Verhältnis = 10:1) bestimmt. Der Blindwert wurde wöchentlich analysiert und betrug im Mittel 0,5 µg/kg.

3-MCPD-Gehalte in gegrillten Bratwürsten

Der 3-MCPD-Gehalt in den nicht erhitzten Bratwürsten betrug $< 1 \mu\text{g}/\text{kg}$. Die Wiederfindung wurde durch 3-MCPD-Zusatz ($50 \mu\text{g}/\text{kg}$) zu ungegrillter Bratwurst ermittelt und zu 102 % bestimmt. Bei der Erhitzung von Bratwürsten auf dem Kontaktgrill konnte mit zunehmender Erhitzungstemperatur ein Anstieg des Garverlustes von 1,5 % (120°C) bis 7,1 % (240°C) festgestellt werden. Für die auf 200°C oder weniger mit dem Kontaktgrill erhitzten Bratwürste konnten nur 3-MCPD-Signale unterhalb der Bestimmungsgrenze ($< 1 \mu\text{g}/\text{kg}$) detektiert werden. Erst ab 220°C waren quantifizierbare 3-MCPD-Signale feststellbar. Bei den auf 240°C erhitzten Bratwürsten waren Gehalte von $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ bestimmbar. Folglich scheint eine 3-MCPD-Bildung beim trockenen Erhitzen von Schweinebratwürsten erst oberhalb von 200°C stattzufinden.

Für die auf dem Holzkohlegrill zubereiteten Bratwürste konnte mit zunehmender Erhitzungszeit eine Zunahme des Garver-

lustes (zwischen 8 bis 22 %) beobachtet werden.

Der Garverlust war höher als bei den mit Kontaktgrill zubereiteten Würsten. Es konnten 3-MCPD-Gehalte zwischen 9 und $13 \mu\text{g}/\text{kg}$ ermittelt werden. Obwohl die für 6:30 min gegrillten Würste bereits sehr dunkel waren und als ungenießbar betrachtet wurden (siehe Abb. 2), konnten nur geringfügig höhere 3-MCPD-Gehalte im Vergleich zu den „gold-braunen“ Würsten mit 3:30 min Erhitzungszeit festgestellt werden. Auch bewirkte das Warmhalten der fertig gegrillten Bratwürste in der Randzone des Grills keine Veränderung der 3-MCPD-Belastung. Es wird deutlich, dass die 3-MCPD-Belastung dieser mit Holzkohle gegrillten Bratwürste höher als bei den mit Kontaktgrill zubereiteten war. Sehr wahrscheinlich steht diese Beobachtung mit den höheren Temperaturen im Zusammenhang, die beim Grillen mit Holzkohle erreicht wurden. Insgesamt betrachtet scheint beim Grillen von Bratwürsten nur wenig freies 3-MCPD gebildet zu werden.

Tab. 2: Erhitzungszeit, Garverlust und 3-MCPD-Gehalt der mit Holzkohlegrill zubereiteten Bratwürste

	Probe A	Probe B	Probe C	Probe D
Erhitzungszeit [min:sec]	---	3:30	6:30	3:30/ 3:00 warm halten
Garverlust [%]	---	8,2	22,2	14,4
3-MCPD [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	< 1	10	13	9



Abb. 2: Bratwürste nach der Zubereitung am Holzkohlegrill. (A: ungegrillt; B: 3,5 min gegrillt; C: 6,5 min gegrillt; D: 3,5 min gegrillt und 3 min warmgehalten)

3-MCPD-Gehalte in gegrillten Schweinenackensteaks

Beim Grillen mit Elektrogrill wurden auf Höhe des Grillrostes Durchschnittstemperaturen zwischen 110 °C und 150 °C erreicht (Abb. 3). Bei sieben von acht Grillversuchen mit dem Gasgrill wurden Temperaturen im Bereich von 105 °C bis 140 °C gemessen, so dass hier dieselbe Größenordnung erreicht wurde. Die Durchschnittstemperaturen, die beim Holzkohlegrill auftraten, lagen deutlich über denen der anderen Grilltypen. Dabei wurden beim Grillen mit Aluschale (165-255 °C) vergleichbare Temperaturen wie beim Grillen ohne Schale (160-240 °C) gemessen. Allerdings ist hier von einem systematischen Fehler bei der Temperaturmessung beim Grillen mit Aluschale auszugehen, da trotz vergleichbarer gemessener Temperaturen die Grillzeit unter Verwendung einer Grillschale doppelt bis dreifach so lang war wie bei Zubereitung ohne Schale, also deutlich länger erhitzt werden musste, um dieselbe Garstufe zu erreichen. Durch Schließen des Deckels und den dadurch verursachten Wärmestau wurden Durchschnittstemperaturen von bis zu 365 °C gemessen.

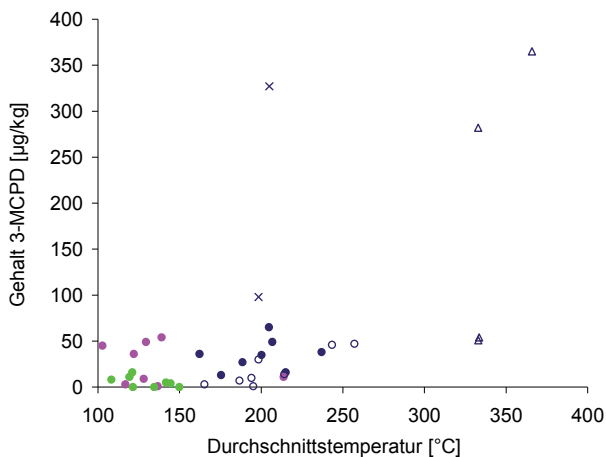


Abb. 3: Zusammenhang zwischen 3-MCPD-Gehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$] und Durchschnittstemperatur auf Höhe des Rostes [$^{\circ}\text{C}$] (grün: Elektrogrill; rosa: Gasgrill; dunkelblau: Holzkohlegrill, gefüllter Kreis: Grillen ohne Schale, leerer Kreis: Grillen mit Schale, Dreieck: Deckel geschlossen, Kreuz: Grillen von 12 Steaks)

Werden alle Versuche unabhängig von Grilltyp oder Fleischvorbehandlung betrachtet, so ist keine Korrelation zwischen der Durchschnittstemperatur auf Höhe des Rostes und der 3-MCPD-Belastung festzustellen. Hohe Temperaturen ab 300 °C

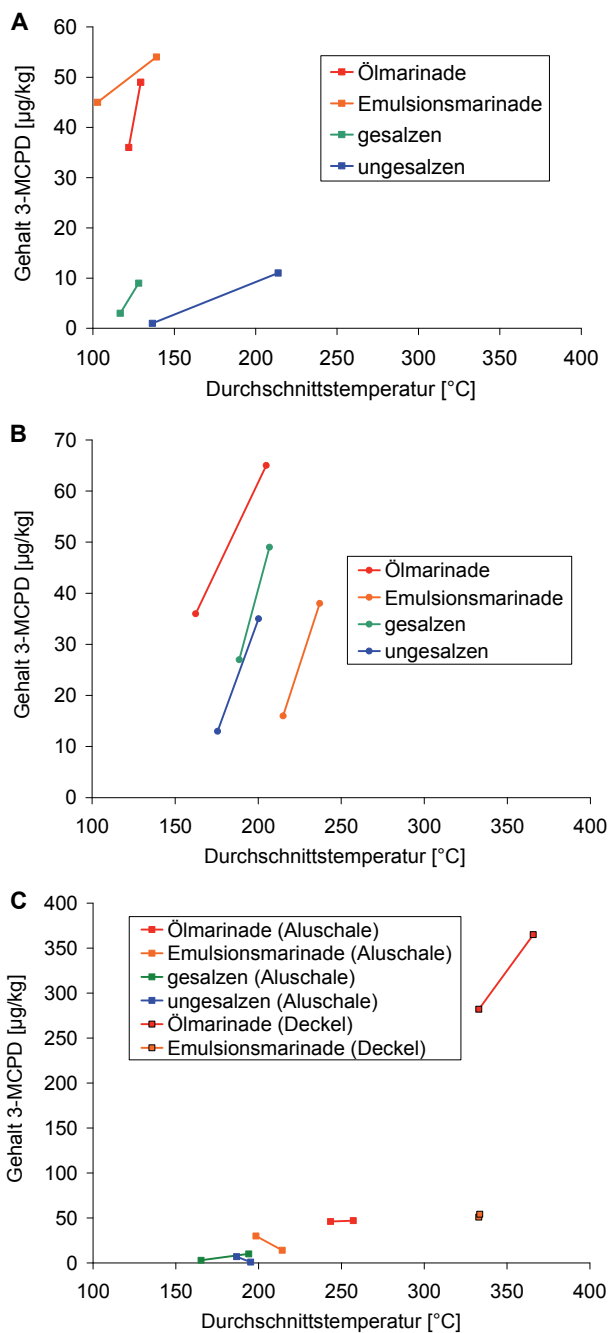


Abb. 4: 3-MCPD-Gehalte [$\mu\text{g}/\text{kg}$] über der gemessenen Durchschnittstemperatur [$^{\circ}\text{C}$] für das Grillen mit Gas (A), Holzkohle (B) sowie Holzkohle mit Aluschale bzw. Deckel (C)

waren durchaus mit hohen 3-MCPD-Werten über 250 µg/kg verbunden (Grillen mit Deckel). Jedoch gab es bei vergleichbaren Temperaturen auch geringere 3-MCPD-Gehalte um 50 µg/kg. Andererseits wurde bei zwei Versuchen bei niedrigeren Durchschnittstemperaturen um 200 °C ebenfalls eine hohe Kontamination mit 3-MCPD über 100 µg/kg (Grillen von 12 Steaks) festgestellt. Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass die 3-MCPD-Bildung beim Grillen ein multivariates Problem darstellt.

Bei der direkten Gegenüberstellung von erstem und zweitem Grilldurchgang für die mit Holzkohlebriketts und Gas gegrillten Steaks wird deutlich, dass für die meisten Wertepaare mit zunehmender Temperatur eine Zunahme des 3-MCPD-Gehalts einhergeht, folglich eine positive Korrelation auftritt (siehe Abb. 4). Abweichungen von

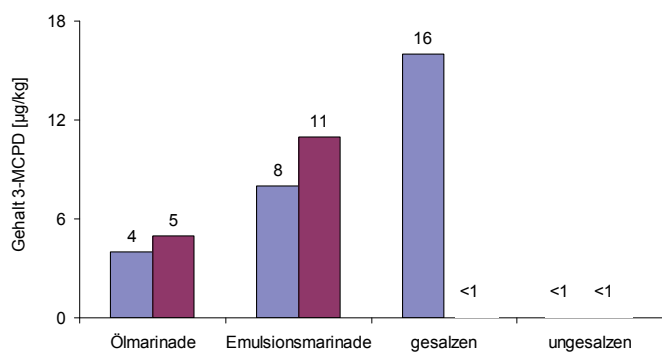


Abb. 5: Gehalte an 3-MCPD [µg/kg] in mit dem Elektrogrill zubereiteten Steaks (blau: 1. Grilldurchgang, rot: 2. Grilldurchgang)

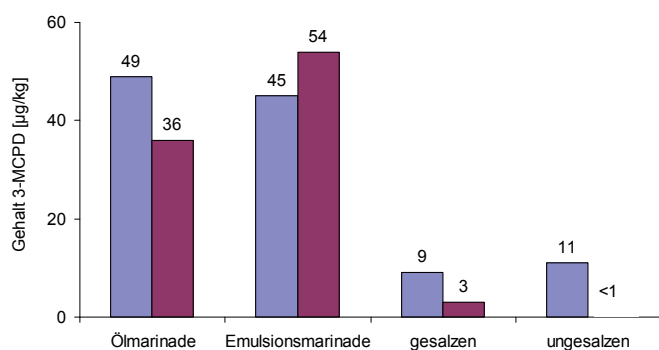


Abb. 6: Gehalte an 3-MCPD [µg/kg] in mit dem Gasgrill zubereiteten Steaks (blau: 1. Grilldurchgang, rot: 2. Grilldurchgang)

diesem Trend bei der Verwendung einer Grillschale sind wahrscheinlich in dem bereits erwähnten systematischen Fehler bei der Temperaturmessung in der Aluschale begründet.

Die Ergebnisse der Bestimmungen der 3-MCPD-Gehalte in mit Elektrogrill zubereiteten Steaks sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Es wurden Gehalte zwischen <1 µg/kg und 16 µg/kg ermittelt. Für die Steaks, die erst nach dem Grillen gesalzen wurden, konnte in keinem Grilldurchgang die Bildung von freiem 3-MCPD festgestellt werden. Die Verwendung von Öl- und Emulsionsmarinade führte zu etwas erhöhten 3-MCPD-Werten. Für die vor dem Grillen gesalzenen Steaks konnte im ersten Durchgang ein 3-MCPD-Gehalt von 16 µg/kg nachgewiesen werden, während sich in der zweiten Versuchsdurchführung keine bestimmbare Kontamination mit 3-MCPD ergab. Entsprechend scheint bei Verwendung eines Elektrogrills die Gefahr der 3-MCPD-Bildung bei der Fleischvorbehandlung durch Salzen größer zu sein als beim Marinieren.

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Analysen für freies 3-MCPD in mit dem Gasgrill zubereiteten Steaks dargestellt. Es wurden Gehalte im Bereich von <1 µg/kg bis 54 µg/kg nachgewiesen. Bei der Verwendung des Gasgrills entstand in marinierten Steaks mit 36 und 54 µg/kg deutlich mehr 3-MCPD als beim Grillen von gesalzenen und ungesalzenen Steaks, bei denen maximal 11 µg/kg ermittelt werden konnten. Zwischen den beiden Marinadentypen waren keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die 3-MCPD-Bildung feststellbar.

Im Vergleich zu den auf dem Elektrogrill zubereiteten Steaks (Abb. 5) wurden für die marinierten Grilladen mit dem Gasgrill deutlich höhere 3-MCPD-Gehalte erreicht, während für die gesalzenen Steaks Messwerte der gleichen Größenordnung resultierten. Bei den ungesalzenen Steaks konnte in einem von zwei Grillversuchen eine bestimmbare 3-MCPD-Belastung ermittelt werden.

Die Erhitzungszeiten für die marinierten Steaks waren für beide Grillarten vergleichbar. Des Weiteren unterschieden sich Elektro- und Gasgrill nicht wesentlich in den auf Höhe des Rostes gemessenen durchschnittlichen Temperaturen. Da jedoch der Abstand zwischen Grillrost und Heizwendel beim Elektrogrill (4 cm) kleiner war als zwischen Flamme und Rost beim Gasgrill (6 cm), waren Unterschiede in der Temperatur des Heizmediums zu erwarten. Dies konnte durch Temperaturmessungen direkt in der Gasflamme ($> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$) bzw. an der Heizwendel (ca. $650\text{ }^{\circ}\text{C}$) bestätigt werden. Folglich scheint ein Zusammenhang zwischen der erhöhten 3-MCPD-Belastung der marinierten Steaks bei der Zubereitung mit dem Gasgrill und der erhöhten Temperatur des Heizmediums zu bestehen. Der mögliche Zusammenhang zwischen der Temperatur des Heizmediums und dem 3-MCPD-Gehalt des Grillgutes könnte durch eine 3-MCPD-Bildung begründet sein, die beim Abtropfen salz- und fetthaltiger Marinade in die Gasflamme stattfindet, wie in einem Modellversuch des CVUA Stuttgart gezeigt werden konnte (CVUA Stuttgart, 2006). Das in der Flamme gebildete 3-MCPD könnte dann über die Luft, eventuell partikelgebunden, von der Flamme zum Steak gelangt sein.

Die graphische Darstellung der 3-MCPD-Gehalte für mit dem Holzkohlegrill zubereitete Steaks ohne Aluminium-Grillschale findet sich in Abbildung 7. Die bestimmten 3-MCPD-Gehalte lagen in einem Bereich von $13\text{ }\mu\text{g/kg}$ bis $65\text{ }\mu\text{g/kg}$. Folglich war für alle untersuchten Varianten der Fleischvorbehandlung eine deutliche Kontamination mit 3-MCPD feststellbar. Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Zubereitungen konnten jedoch aufgrund der starken Streuung der Analysenwerte nicht abgeleitet werden.

Für die mit Ölmarinade vorbehandelten Steaks wurde beim Grillen mit Gas (36 und $49\text{ }\mu\text{g/kg}$) eine vergleichbare 3-MCPD-Belastung erreicht wie bei der Zubereitung mit dem Holzkohlegrill (36 und $65\text{ }\mu\text{g/kg}$). Die Verwendung der Emulsionsmarinade hingegen schien beim Holzkohlegrill (16 und $38\text{ }\mu\text{g/kg}$) eine geringere

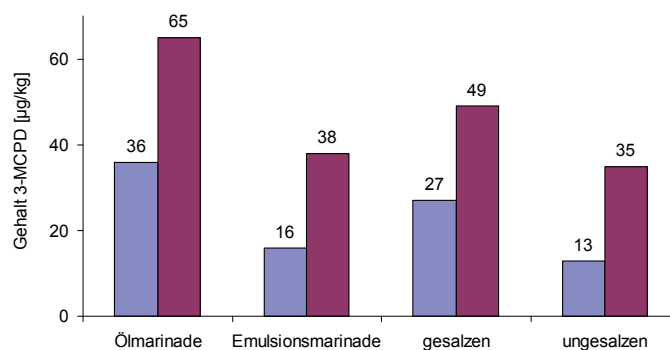


Abb. 7: Gehalte an 3-MCPD [$\mu\text{g/kg}$] in mit dem Holzkohlegrill zubereiteten Steaks (blau: 1. Grilldurchgang, rot: 2. Grilldurchgang)

Kontamination als beim Grillen mit Gas (45 und $54\text{ }\mu\text{g/kg}$) zu verursachen. Allerdings ist dabei zu beachten, dass der Garverlust für die mit Emulsionsmarinade vorbehandelten Steaks beim Grillen mit Gas (37 und 40%) deutlich höher war als bei der Zubereitung mit dem Holzkohlegrill (23%), wodurch bei ähnlicher 3-MCPD-Bildung unterschiedliche Gehalte (bezogen auf Frischmasse) analysiert wurden. Die beim Grillen gesalzenen Steaks waren bei der Zubereitung mit dem Holzkohlegrill (27 und $49\text{ }\mu\text{g/kg}$) deutlich stärker mit 3-MCPD belastet als bei Verwendung des Gas- oder Elektrogrills. Eine vergleichbare Beobachtung konnte für die ungesalzenen Steaks gemacht werden.

Die stärkere Belastung der gesalzenen und ungesalzenen Steaks beim Grillen mit Holzkohlebriketts im Vergleich zur Zubereitung mit dem Gasgrill bei vergleichbarer Erhitzungszeit könnte in Zusammenhang mit den höheren Temperaturen stehen, die auf Höhe des Grillrostes beim Holzkohlegrill festgestellt wurden. Eventuell findet dadurch eine verstärkte 3-MCPD-Bildung auf der Oberfläche des Grillgutes statt.

Die Belastung der marinierten Steaks könnte wiederum durch in die Briketts herabtropfende Marinade verursacht worden sein. Allerdings wäre für die mit dem Holzkohlegrill zubereiteten Steaks eine höhere Belastung als für die mit Gas gegrillten zu erwarten gewesen. Diese Vermutung ergab sich durch die erhöhte Temperatur auf Niveau des Grillrostes beim Grillen mit

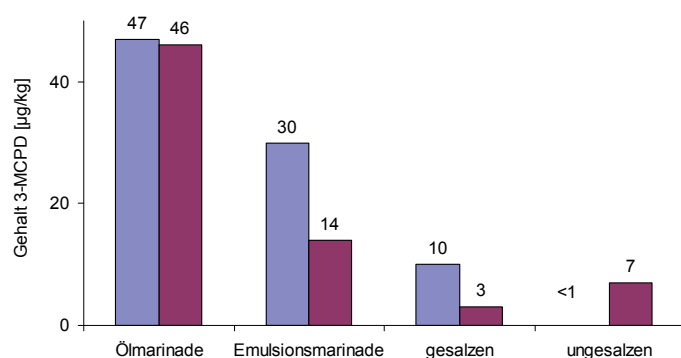


Abb. 8: Gehalte an 3-MCPD [$\mu\text{g}/\text{kg}$] in mit dem Holzkohlegrill zubereiteten Steaks mit Aluminium-Grillschale
(blau: 1. Grilldurchgang, rot: 2. Grilldurchgang)

Holzkohlebriketts im Vergleich zur Zubereitung mit Gas. Diese Erwartung wurde durch die erhaltenen Werte jedoch nicht bestätigt, was mit den kürzeren Erhitzungszeiten bei der Zubereitung mit dem Holzkohlegrill im Vergleich zum Grillen mit Gas zusammenhängen könnte.

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Analysen für freies 3-MCPD in mit dem Holzkohlegrill zubereiteten Steaks bei Verwendung einer Aluminium-Grillschale dargestellt. Es wurden Gehalte im Bereich von $<1 \mu\text{g}/\text{kg}$ bis $47 \mu\text{g}/\text{kg}$ bestimmt. Für die gesalzenen und ungesalzenen Steaks konnte eine Verminderung der 3-MCPD-Belastung durch Verwendung der Grillschale festgestellt werden. Diese Minimierung wird eventuell durch eine Reduzierung des Tropfens von Fleischsaft in die Glut verursacht. Andererseits könnte auch ein Zusammenhang mit der vermutlich geringeren Temperatur an der Fleischoberfläche bestehen. Die 3-MCPD-Belastung der marinierten Steaks lag in einer vergleichbaren Größenordnung wie beim Grillen mit dem Holzkohlegrill ohne Aluminium-Grillschale. Folglich führte deren Verwendung bei marinierten Steaks zu keiner signifikant verringerten Kontamination mit freiem 3-MCPD. Hierbei könnte das minimierte Herabtropfen von Marinade in die Glut durch die gleichzeitig verlängerte Erhitzungszeit von 8 Minuten auf 21 Minuten in Bezug auf die 3-MCPD-Bildung kompensiert worden sein.

Des Weiteren wurden marinierte Steaks mit Holzkohlebriketts bei geschlossenem Deckel zubereitet. Für die in Ölmarinade eingelegten Steaks wurden dabei 3-MCPD-Gehalte von 282 und $365 \mu\text{g}/\text{kg}$ erreicht. Im Vergleich zu den vorher erhaltenen Analyseergebnissen sind diese Werte deutlich höher. Obwohl durch das Verwenden des Deckels die Erhitzungszeit von 8 auf 5 Minuten (Ölmarinade, Holzkohlegrill, ohne Grillschale) verringert werden konnte, stieg die 3-MCPD-Belastung auf ca. das Sechsfache. Für die Emulsionsmarinade waren beim Grillen mit geschlossenem Deckel 51 bzw. $54 \mu\text{g}/\text{kg}$ 3-MCPD bestimmbar. Diese Werte waren nur doppelt so hoch wie bei dem vergleichbaren Grillvorgang mit offenem Deckel. Durch das Schließen des Deckels beim Grillen wurden höhere 3-MCPD-Gehalte in den Grilladen generiert als bei der Zubereitung ohne Deckel. Ursächlich könnte zum einen die erhöhte Temperatur auf Höhe des Grillrostes gewesen sein, wodurch eine eventuell auf der Fleischoberfläche stattfindende 3-MCPD-Bildung verstärkt wurde. Zum anderen konnte der gebildete Rauch nicht ungehindert abziehen, so dass möglicherweise ein verstärkter Niederschlag von darin enthaltenem 3-MCPD auf dem Grillgut stattfand.

Beim Auflegen von zwölf statt sechs Steaks, die unterschiedlich mariniert wurden, war ebenfalls eine hohe Kontamination mit 3-MCPD feststellbar. Für die mit Ölmarinade eingelegten Steaks ergab sich ein 3-MCPD-Gehalt von $327 \mu\text{g}/\text{kg}$, für das mit Emulsionsmarinade marinierte Fleisch $98 \mu\text{g}/\text{kg}$. Folglich scheint eine dichte Belegung des Grills mit zwölf Steaks zu einer höheren 3-MCPD-Belastung zu führen, als wenn nur sechs Steaks aufgelegt werden.

Schlussfolgerungen

Durch die erhaltenen Ergebnisse wird deutlich, dass je nach Fleischvorbehandlung und Durchführung des Grillvorgangs eine sehr unterschiedliche Belastung der Grilladen mit 3-MCPD auftritt. Dabei scheint bei der Zubereitung von Fleisch-erzeugnissen mit dem Holzkohle- und

Gasgrill die Gefahr der 3-MCPD-Bildung größer zu sein als bei Verwendung eines Elektrogrills. Generelle Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Fleischvorbehandlungen in Bezug auf resultierende 3-MCPD-Belastung können ausgehend von diesen Daten nicht abgeleitet werden, da zusätzlich die Erhitzungszeit, die Temperatur auf der Oberfläche des Grillgutes sowie die Temperatur im Heizmedium Einfluss auf die Bildung des Kontaminanten zu nehmen scheinen. Eine vergleichbare Problematik ergibt sich bei der Interpretation der Ergebnisse zur Verwendung einer Grillschale. Jedoch konnte festgestellt werden, dass die Verringerung der Erhitzungszeit durch Verwenden eines Deckels im Hinblick auf die 3-MCPD-Bildung nicht empfehlenswert zu sein scheint.

Zur Erarbeitung von Strategien zur Minimierung der 3-MCPD-Bildung beim Grillen sollten im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes deutlich umfangreichere systematische Grillversuche durchgeführt werden. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeiten ermittelten großen Schwankungen der 3-MCPD-Gehalte könnten ein Indiz dafür sein, dass durchaus Möglichkeiten zu einer effektiven Reduzierung der Gehalte an 3-MCPD bestehen.

Betrachtet man die Aufnahme von 3-MCPD durch den Verzehr von Grillfleisch, so würden im Extremfall Steaks (Ölmari-nade, Holzkohlegrill, Deckel geschlossen) mit 365 µg 3-MCPD je kg Lebensmittel verzehrt. Ausgehend von einer Portion von 125 g rohem Fleisch, Zusatz von 10 g Marinade und einem Garverlust von 30 % würde ein gegrilltes Steak ca. 95 g wiegen. Bei Verzehr eines solchen Steaks würde die 3-MCPD-Aufnahme 35 µg betragen. Damit würde eine 70 kg schwere Person den TDI von 2 µg/kg Körpergewicht und Tag zu 25 % ausschöpfen. Durch den Verzehr eines solchen Steaks wäre der TDI zwar noch nicht überschritten, jedoch ist durchaus denkbar, dass bei einer Grillfeier nach dem ersten Steak noch ein zweites verzehrt wird. In diesem Fall wäre der TDI bereits zu 50 % ausgeschöpft. Des Weiteren wurde bisher nur die Aufnahme von freiem 3-MCPD be-

trachtet. Durch die Aufnahme von 3-MCPD-Fettsäureestern, die ebenso beim Grillen von Fleischerzeugnissen gebildet werden können, ist, entsprechend der Annahme des BfR (2007), nach der im menschlichen Organismus eine 100%ige Freisetzung des gebundenen 3-MCPD stattfindet, muss ein zusätzlicher 3-MCPD-Eintrag berücksichtigt werden. Für weitere systematische Grillversuche zur Ableitung von Verbraucherempfehlungen sollte daher neben der Bildung von freiem 3-MCPD auch die Entstehung von 3-MCPD-Fettsäureestern mit erfasst werden. Im Hinblick auf eine 3-MCPD-Aufnahme des Menschen über verschiedene Lebensmittel sollte zudem beachtet werden, dass auch andere Lebensmittel wie Kaffeegetränke, Back- und Räucherwaren sowie raffinierte Speisefette und -öle und daraus hergestellte Produkte zur täglichen 3-MCPD-Aufnahme beitragen (LORENZ, 2004; ZELINKOVA *et al.*, 2006; KURZROCK & SPEER, 2007; LORENZ *et al.*, 2007; WEIßHAAR, 2008; JIRA, 2010).

Danksagung

Für die ausgezeichnete technische Assistenz sei Patrick Vetter, Gertrud Eigner und Bertram Schregle herzlich gedankt.

Literatur

- BfR (2003) 3-Monochlorpropandiol (3-MCPD) in Brot – Stellungnahme des BfR vom 19. Mai 2003.
http://www.bfr.bund.de/cm/208/3_monochlorpropandiol_in_brot.pdf.
- BfR (2007) Ausgewählte Fragen und Antworten zu 3-Monochlorpropandiol (3-MCPD) – FAQ des BfR vom 17. Dezember 2007.
http://www.bfr.bund.de/cm/276/ausgewaehlte_fragen_und_antworten_zu_3_monochlorpropandiol.pdf.
- BROCKHAUS (1969) Brockhaus Enzyklopädie – 7. Band. Brockhaus F. A., Wiesbaden.
- Crews, C., Brereton, P., Davies, A. (2001) The effects of domestic cooking on the levels of 3-monochloropropanediol in foods. *Food Additives and Contaminants*, 18, 271-280.
- Crews, C., Hough, P., Brereton, P., Harvey, D., Macarthur, R., Matthews, W. (2002) Survey of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in

selected food groups, 1999-2000. *Food Additives and Contaminants*, 19, 22-27.

CVUA Stuttgart (2006) *Lebensmittelüberwachung und Tiergesundheit – Jahresbericht 2006*. Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Stuttgart (Hrsg.)

Drabik-Markiewicz, G., Van den Maagdenberg, K., De Mey, E., Deprez, S., Kowalska, T., Paelinck, H. (2009) Role of proline and hydroxyproline in N-nitrosamine formation during heating in cured meat. *Meat Science*, 81, 479-486.

Farhadian, A., Jinap, S., Abas, F., Sakar, Z. (2010) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21, 606-610.

FAZ (2010) *Grillen für Deutschland – Die Holzkohle wird knapp*. <http://www.faz.net/artikel/C30350/grillen-fuer-deutschland-die-holzkohle-wird-knapp-30286174.html>.

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

Fretheim, K. (1983) Polycyclic Aromatic-Hydrocarbons in grilled meat-products – A Review. *Food Chemistry*, 10, 129-139.

Gross, G., Turesky, R., Fay, L., Stillwell, W., Skipper, P., Tannenbaum, S. (1993). Heterocyclic aromatic amine formation in grill bacon, beef and fish and in grill scrapings. *Carcinogenesis*, 14, 2313-2318.

Honikel, K. O. (2004) Vom Fleisch zum Produkt – Reifen, Erhitzen, Zerkleinern, Salzen. *Fleischwirtschaft*, 5, 228-234.

Jira, W. (2010) 3-Monochlorpropan-1,2-diol in geräucherten Fleischerzeugnissen – Untersuchung der Gehalte und Abschätzung der Aufnahme durch den Verzehr von geräucherten Fleischerzeugnissen. *Fleischwirtschaft*, 90, 115-118.

Kurzrock, T., Speer, K. (2007) Determination of free 3-monochloropropane-1,2-diol in coffee and coffee surrogates, in: *Thermal Processing of Food: Potential Health benefits and risks* Wiley-VCH ISBN 987-3-527-31909-1, 233-238.

Lorenz, K. (2004) *Das Vorkommen von 3-Monochlorpropandiol in ausgewählten Lebensmitteln unter Berücksichtigung verschiedener Technologien*. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden.

Lorenz, K., Kurzrock, T., Speer, K. (2007) 3-Monochlor-1,2-propandiol (3-MCPD) in Backwaren Vergleich: Konventionelle Backtechnologie - STIR-Technologie. *Lebensmittelchemie* 61, 126.

LUA Sachsen (2003) *Jahresbericht 2003 der Landesuntersuchungsanstalt für das Gesundheits- und Veterinärwesen Sachsen*.

Mottier, P., Parisod, V., Turesky, R. (2000) Quantitative determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued meat sausages by gas chromatography coupled to mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1160-1166.

Polak, T., Dosler, D., Zlender, B., Gasperlin, L. (2009) Heterocyclic amines in aged and thermally treated pork longissimus dorsi muscle of normal and PSE quality. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 504-513.

Rivera, L., Curto, M., Pais, P., Galceran, M., Puignou, L. (1996) Solid-phase extraction for the selective isolation of polycyclic aromatic hydrocarbons, azaarenes and heterocyclic aromatic amines in charcoal-grilled meat. *Journal of Chromatography A*, 731, 85-94.

Salmon, C., Knize, M., Felton, J. (1997). Effects of marinating on heterocyclic amine carcinogen formation in grilled chicken. *Food and Chemical Toxicology*, 35, 433-441.

SCF (2001) http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out91_en.pdf.

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.

Weißhaar, R. (2008) 3-MCPD-esters in edible fats and oils – a new and worldwide problem. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110, 671-672.

Wiesenhof (2011) *Grillstudie – So grillt Deutschland*. WIESENHOF <http://newsroom.wiesenhof-online.de/2011/04/05/so-grillt-deutschland/> (abgerufen am 23.05.2011)

Zelinkova, Z., Svejkovska, B., Velisek, J., Dolezal, M. (2006) Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. *Food Additives and Contaminants*, 23, 1290-1298.