

## **Analytik der von der EU als prioritär eingestuften Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) in Fleischerzeugnissen und Gewürzen**

Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in meat products and spices with priority in the EU

Katja ZIEGENHALS und W. JIRA

### **Zusammenfassung**

Für die Bestimmung der EFSA-PAK wurde eine Analysenmethode entwickelt. Die Probenvorbereitung besteht aus beschleunigter Lösungsmittelextraktion (ASE), Gelpermeationschromatographie (GPC) und Nachreinigung an einer Minikieselgelsäule. Die Identifizierung und Quantifizierung der einzelnen Verbindungen erfolgt nach gaschromatographischer Trennung mit dem Massenspektrometer. Die Anwendbarkeit der Methode wurde anhand von Fleischerzeugnissen mit definierten PAK-Konzentrationen überprüft. Abgeschätzt wurde darüber hinaus, inwieweit Gewürze eine signifikante PAK-Eintragsquelle für Fleischerzeugnisse darstellen können.

### **Summary**

An analytical method for the determination of the EFSA-PAH was developed. The clean-up steps in this method include accelerated solvent extraction (ASE), size exclusion chromatography (SEC) and chromatography on a small silica gel column. Afterwards the PAH compounds are separated by gas chromatography and detected and quantified with the help of a mass spectrometer. Analyses of meat products with defined PAH-concentrations confirm the applicability of this method. Furthermore it was investigated whether spices can significantly contribute to the content of PAH compounds in meat products.

---

**Schlüsselwörter** PAK – GC/MS – geräucherte Fleischerzeugnisse – Gewürze

**Key Words** PAH – GC/MS – smoked meat products – spices

---

### **Einleitung**

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen in erster Linie bei pyrolytischen Prozessen, hauptsächlich bei der Verbrennung von organischen Materialien unter Sauerstoffmangel. Aber auch andere Lebensmittel verarbeitende Prozesse, wie z.B. Erhitzen, Trocknen oder Räuchern können zum Eintrag von PAK führen. Zu dieser Substanzklasse gehören bis zu 250 verschiedene Verbindungen, die zwei oder mehr kondensierte aromatische Kohlenstoffringe aufweisen. Einige von ihnen besitzen karzinogene Eigenschaften. Die bekannteste karzinogene PAK-Verbindung ist das Benzo[a]pyren (BaP), welches bislang als Leitsubstanz verwendet wird. Für BaP sieht die Europä-

ische Union Höchstgehalte in verschiedenen Lebensmittelgruppen vor [2005/208/EG]. Darüber hinaus empfiehlt die Kommission eine genauere Ermittlung der Mengen von 15 als prioritär eingestuften PAK-Verbindungen, um die Eignung von Benzo[a]pyren als Marker für die verschiedenen Lebensmittelgruppen überprüfen zu können [2005/108/EG]. Zu diesen PAK zählen Benzo[a]anthracen (BaA), Cyclopenta[c,d]pyren (CPP), Chrysen (CHR), 5-Methylchrysen (5MC), Benzo[b]fluoranthren (BbF), Benzo[j]fluoranthren (BjF), Benzo[k]fluoranthren (BkF), Benzo[a]pyren (BaP), Indeno[1,2,3-cd]pyren (IcP), Dibenzo[a,h]anthracen (DhA), Benzo[g,h,i]perylene (BgP), Dibenzo[a,l]pyren (DlP), Dibenzo[a,e]pyren (DeP), Dibenzo[a,i]pyren (DiP) und Dibenzo[a,h]py-

ren (DhP). Von großer Bedeutung ist insbesondere das Dibenzo[a,l]pyren, das in jüngster Zeit im Fokus des Interesses steht. Toxikologische Untersuchungen weisen darauf hin, dass DIP ein höheres kanzerogenes Potential besitzen könnte als Benzo[a]pyren (HIGGINBOTHAM, 1993). Die EFSA empfiehlt zudem, das vom Joint FAO/WHO Experts Committee on Food Additives (JECFA) als besonders relevant eingeschätzte Benzo[c]fluoren (BcL) analytisch zu erfassen [JECFA/64/SC]. Die 15 SCF-PAK und das BcL werden im Folgenden als EFSA-PAK bezeichnet. Da es sich bei einigen PAK um genotoxische Kanzerogene handelt, für die kein Schwellenwert angenommen werden kann, sollte nach Auffassung des Scientific Committee on Food [SCF, 2002] der PAK-Gehalt in Lebensmitteln – und damit auch in Fleischerzeugnissen – so weit wie technologisch erreichbar gesenkt werden. Daher ist eine exakte, empfindliche Analysenmethode zur Bestimmung der Gehalte der 16 EFSA-PAK in Fleischerzeugnissen notwendig, um auch sehr geringe Mengen an diesen PAK-Verbindungen zuverlässig quantifizieren zu können.

### Rechtliche Grundlagen

Vor April 2005 regelte die Aromenverordnung die Gehalte an Benzo[a]pyren in geräucherten Fleischerzeugnissen. Bis zu diesem Zeitpunkt durfte in mit frischem Rauch geräucherten Fleischerzeugnissen bis zu 1 µg BaP/kg Frischmasse (FM) (§ 3 Abs. 3) enthalten sein. Des Weiteren durfte die durch Raucharomen zugeführte BaP-Menge in geräucherten Fleischerzeugnissen einen Wert von 0,03 µg BaP/kg FM (§ 2 Abs. 4) nicht überschreiten.

Seit dem 1. April 2005 ist die Verordnung EG-Nr. 208/2005 vom 4. Februar 2005 in Kraft. Danach gilt für geräuchertes Fleisch und für Fleischerzeugnisse eine Höchstmenge für das Benzo[a]pyren von 5 µg/kg. Gegenüber der alten Regelung be-

deutet dies für mit frisch entwickeltem Rauch geräucherte Fleischerzeugnisse eine Erhöhung um den Faktor 5; für mit Raucharomen behandelte Erzeugnisse sogar eine Erhöhung um einen Faktor von ca. 167. Seit dem 2. Mai 2006 ist die Neufassung der nationalen Aromenverordnung in Kraft, welche festlegt, dass nach § 2 Abs. 4 nicht mehr nur noch Fleisch und Fleischerzeugnisse, sondern alle Lebensmittel gewerbsmäßig nicht in den Verkehr gebracht werden dürfen, denen durch Aromen mehr als 0,03 µg BaP/kg zugeführt wurden.

### Material und Methoden

#### *Die Probenvorbereitung*

Die Probenvorbereitung für die Analyse der 16 EFSA-PAK besteht aus beschleunigter Lösungsmittelextraktion, Gelpermeationschromatographie und Festphasenextraktion. Die Trennung, Identifizierung und Quantifizierung dieser einzelnen PAK erfolgt mittels GC/MS [JIRA, 2006].

#### *Überprüfung der PAK-Bestimmungsmethode anhand von Fleischerzeugnissen mit definierten PAK-Konzentrationen*

Mit Hilfe von dotiertem Sonnenblumenöl, welches vom Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) in Geel (Belgien) zur Verfügung gestellt wurde, wurden im Technikum der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (BfEL) in Kulmbach insgesamt 5 kg Brühwurstbrät (25 % Schweinefleisch, 25 % Rindfleisch, 25 % Eis und 25 % dotiertes Sonnenblumenöl, sowie Salz, Phosphat und Ascorbat) hergestellt. Auf den Zusatz von Gewürzen wurde bewusst verzichtet, da diese potentielle PAK-Eintragsquelle von vornherein ausgeschlossen werden sollte. Das Brühwurstbrät wurde in Dosen zu je 50 g abgefüllt und daraus Vollkonserven hergestellt. Die dotierten PAK-Gehalte im Sonnenblumenöl betragen 16 µg je PAK-Verbindung/kg. Von den 100 abgefüllten Dosen wurden gleichmäßig über den Abfüllvorgang verteilt 5 Dosen zufällig ausgewählt.

Tab. 1: Analyse des Fleischerzeugnisses mit definierten PAK-Konzentrationen

	Brühwurst					Öl (n=2) µg/kg	MW (Brühwurst) µg/kg	STAWN (Brühwurst) µg/kg	RSD (%)	Wiederfindungsrate (%) der PAK in Brühwurst be- zogen auf Öl (gemessen) ((MW(Brühwurst) x 4) x 100) / MW(Öl)
	A (n=2)	B (n=2)	C (n=2)	D (n=2)	E (n=2)					
<b>BcL</b>	3,8	4,4	3,8	3,5	3,3	12,8	3,8	0,4	10,8	118
<b>BaA</b>	3,2	3,6	3,5	3,4	3,2	12,6	3,4	0,2	5,0	107
<b>CHR</b>	3,2	3,3	3,2	3,1	2,9	11,0	3,2	0,1	4,4	115
<b>CPP</b>	3,3	3,5	3,4	3,3	3,0	15,8	3,3	0,2	6,3	83
<b>5MC</b>	2,5	2,8	2,8	2,7	2,6	11,3	2,6	0,1	3,9	94
<b>BbF</b>	3,1	3,5	3,2	3,2	2,9	12,0	3,2	0,2	6,2	106
<b>BkF</b>	2,9	3,2	3,2	3,1	2,8	12,4	3,1	0,2	5,4	98
<b>BjF</b>	3,3	3,7	3,5	3,4	3,2	15,1	3,4	0,2	5,8	90
<b>BaP</b>	3,1	3,4	3,3	3,2	2,9	12,9	3,2	0,2	5,3	99
<b>IcP</b>	3,1	3,4	3,4	3,8	3,0	13,1	3,4	0,3	9,3	103
<b>DhA</b>	3,3	3,6	3,6	3,1	3,1	14,8	3,3	0,2	7,4	90
<b>BgP</b>	3,8	3,5	3,5	3,4	3,1	13,3	3,5	0,2	6,8	104
<b>DIP</b>	3,3	3,7	3,6	3,5	3,2	13,0	3,5	0,2	5,6	107
<b>DeP</b>	2,9	3,1	3,2	3,1	2,7	13,0	3,0	0,2	5,9	93
<b>DiP</b>	2,3	2,5	2,4	2,5	2,9	10,3	2,5	0,3	10,1	98
<b>DhP</b>	1,0	1,0	1,0	0,9	1,2	5,5	1,0	0,1	9,6	75

Die PAK-Gehalte in den jeweiligen Brühwurstkonserven wurden mit der entwickelten PAK-Bestimmungsmethode anhand von Doppelbestimmungen ermittelt. Das dotierte Sonnenblumenöl wurde separat untersucht. Bei der Probenaufarbeitung des Öls wurde auf die beschleunigte Lösungsmittelextraktion verzichtet und somit die Probenaufbereitung bei der Gelpermeationschromatographie begonnen.

### Ergebnisse und Diskussion

Die analysierten Daten der mit dotiertem Sonnenblumenöl hergestellten Fleischerzeugnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Es konnte eine relative Standardabweichung (RSD) der einzelnen PAK in der Brühwurst von 4 bis 11 % erreicht werden. Die Wiederfindungen der einzelnen PAK in den Brühwürsten be-

zogen auf die analysierten und berechneten Gehalte der PAK im Öl betragen zwischen 75-118 %.

#### *Bestimmung des Mengenverhältnisses von Triphenylen/Chrysen*

Eine Überprüfung der entwickelten PAK-Bestimmungsmethode ergab, dass eine chromatographische Trennung von Triphenylen (TP) und Chrysen mit der in der Analysenmethode verwendeten VF-17ms-Säule nicht möglich ist. Deshalb wurde versucht, mit Hilfe einer in der Literatur beschriebenen GC-Methode [POSTER, 2004], Aussagen über das Mengenverhältnis von TP/CHR zu treffen. Dazu wurde eine unpolare VF-Xms-Kapillarsäule (Varian, Darmstadt, Deutschland) eingesetzt. Gegenüber den beschriebenen Bedingungen wurde jetzt eine geringere Aufheizrate (3,5 °C/min) bei einer Ofenstarttemperatur von 50 °C und einem

konstanten Heliumfluss von 1 ml/min verwendet. Dadurch gelang eine Trennung der beiden Verbindungen (Abb. 1).

Um das Mengenverhältnis von Triphenylen zu Chrysen abschätzen zu können, wurden 25 verschiedene, geräucherte Fleischprodukte untersucht. Bei diesen Proben handelte es sich um 13 Schinkenspecke, 5 Rohschinken, 1 Wildpfefferbogen, 1 Wildschweinschinken, 1 Schweinebauch, 1 Braungeselchtes, 1 Schwarzgeräuchertes; gedämpft, 1 Schwarzgeräuchertes; gegart, 1 Schwarzgeräuchertes; gekocht.

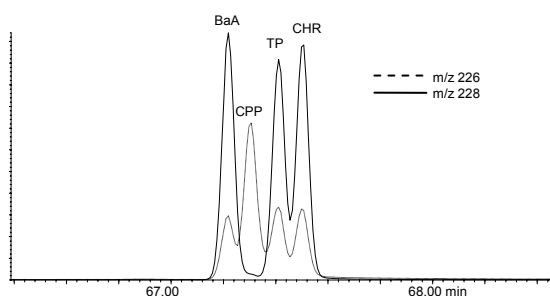


Abb. 1: Chromatographische Trennung von Triphenylen und Chrysen

Die ermittelten Mengenverhältnisse waren recht unterschiedlich, selbst innerhalb der Rohschinken und der Schinkenspecke (siehe Tab. 2). Den höchsten Wert von 2,7 wies die Wildschweinschinkenprobe auf.

Weiterhin wurden 4 Gewürze, 3 Raucharomen, 3 Räuchersalze und 2 Rauchwürzer untersucht. Alle diese Untersuchungen sowie die der geräucherten Fleischprodukte ergaben, dass man den Anteil an Triphenylen in den meisten Fällen nicht vernachlässigen kann. Es konnten Verhältnisse von TP zu CHR von 0,1 bis 2,7 ermittelt werden. Dies führt zu der Erkenntnis, dass bei Anwendung der bereits entwickelten Methoden zur Bestimmung der 16 EFSA-PAK Chrysen als Summenwert von CHR und TP angegeben werden sollte.

Der Einsatz der Methode zur Trennung von TP und CHR ist nicht für die Analyse der 16 EFSA-PAK geeignet, da die chromatographische Auftrennung der restlichen EFSA-PAK unzureichend ist.

Tab. 2: TP/CHR-Verhältnis in Fleischerzeugnissen, Raucharomen und Gewürzen

Probe	TP/CHR-Verhältnis	Probe	TP/CHR-Verhältnis
Rohschinken _1	0,4	Wildschweinschinken	2,7
Rohschinken _2	0,1	„Wildpfefferbogen“	0,5
Rohschinken _3	0,5	Schwarzgeräuchertes, gekocht	0,2
Rohschinken _4	0,2	Schwarzgeräuchertes, gegart	0,2
Rohschinken _5	0,3	Schwarzgeräuchertes, gedämpft	0,2
Schweinebauch	0,1	„Braungeselchtes“	0,4
Schinkenspeck _1	0,4	Raucharoma_1	0,2
Schinkenspeck _2	0,3	Raucharoma_2	0,2
Schinkenspeck _3	0,3	Raucharoma_3	1,3
Schinkenspeck _4	0,5	Räuchersalz_1	0,3
Schinkenspeck _5	0,5	Räuchersalz_2	0,2
Schinkenspeck _6	0,5	Räuchersalz_3	0,2
Schinkenspeck _7	0,3	Rauchwürzer_1	0,2
Schinkenspeck _8	0,4	Rauchwürzer_2	0,3
Schinkenspeck _9	0,5	Majoran	0,4
Schinkenspeck _10	0,3	Schnittlauch	0,7
Schinkenspeck _11	0,3	Paprika	0,6
Schinkenspeck _12	0,5	Pfeffer	0,4
Schinkenspeck _13	0,4		

### **Überprüfung eines möglichen PAK-Eintrags von Gewürzen in Fleischerzeugnisse**

Gewürze besitzen für die Geschmacksgebung von Fleischerzeugnissen eine große Bedeutung. Allerdings können diese durch verschiedene Umwelteinflüsse (z.B. PAK-Emission von Diesellokomotiven) und Trocknungsprozesse (z.B. direkte Trocknung über offenem Feuer) mit PAK belastet sein. Damit wäre ein PAK-Eintrag in Fleischerzeugnisse über eine Gewürzzugabe denkbar. Daher wurden die PAK in unterschiedlichen Gewürzproben (Anzahl 61) analysiert. Darunter befanden sich Blatt- und Kräutergewürze, Wurzelgewürze, Samengewürze, Fruchtgewürze, ein Paprikaextrakt und 4 geräucherte Paprikapflanzen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Aus den Resultaten ergibt sich, dass Blattgewürze höhere BaP-Gehalte aufweisen als Nicht-Blattgewürze. Die Blattgewürze wiesen im Median einen BaP-Gehalt von 0,8 µg/kg auf. Für Nicht-Blattgewürze, also Wurzelgewürze, Fruchtgewürze und Samengewürze (ohne geräucherten Paprika und Paprikaextrakt) betrug der BaP-Gehalt im Median 0,3 µg/kg. Für die Ermittlung der Mediane wurden alle Einzelwerte berücksichtigt.

Die einzelnen PAK-Gehalte gleicher Gewürze schwanken zum Teil sehr stark. Dies könnte auf unterschiedliche Herkunft und unterschiedliche Trocknungsmethoden zurückzuführen sein. Dass dies wahrscheinlich von den räumlichen Gegebenheiten abhängig ist, zeigen die fünf ermittelten BaP-Gehalte von Majoran, welcher jeweils in Deutschland angebaut wurde. Hier konnten BaP-Konzentrationen von 0,4 bis 1,9 µg/kg bestimmt werden. Die höchsten Gehalte an BaP wiesen indes Bärlauchproben auf.

Anhand der Daten lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten: Je größer die Blattoberfläche und je länger die Zeit, in der die Pflanzen einer BaP-Belastung ausgesetzt sind, desto höher sind die ermittelten BaP-Gehalte. Majoran benötigt zum Beispiel im Gegensatz zu Petersilie und Schnittlauch längere Reifezeiten.

Dies spiegelt sich in den BaP-Gehalten wider. Majoran enthält die doppelte bis dreifache Menge an BaP wie Schnittlauch oder Petersilie. Bereits im Jahr 1977 wurden in unserem Haus die BaP-Gehalte in Gewürzen untersucht. Dabei wurden ähnliche Resultate erzielt [POTTHAST, 1977]. Vergleicht man die damals ermittelten PAK-Gehalte mit den aktuellen Ergebnissen, so lässt sich ein Rückgang in den BaP-Gehalten von Gewürzen erkennen. Ursachen hierfür könnten in einer abnehmenden PAK-Umweltbelastung oder in verbesserten Trocknungsmethoden für Gewürze liegen. Geht man von einem Gewürzzusatz von maximal 1 % bei Fleischerzeugnissen aus, so resultieren aus den oben erwähnten BaP-Gehalten von im Median etwa 0,8 µg/kg in den stärker belasteten Blattgewürzen BaP-Gehalte von höchstens 0,008 µg/kg im Fleischerzeugnis. Auch Bärlauchproben mit einem Median von 1,9 µg/kg Benzo[a]pyren/kg würden etwa nur einen Beitrag von 0,02 µg BaP/kg im Fleischerzeugnis liefern. Diese Ergebnisse deuten auch auf einen relativ geringen PAK-Eintrag von Gewürzen in Fleischerzeugnissen hin. Lediglich für die untersuchten Proben von geräuchertem Paprika mit BaP-Gehalten im Median von 74 µg/kg sind die PAK-Einträge in Fleischerzeugnissen mit 0,7 µg BaP/kg nicht mehr vernachlässigbar.

### **Ausblick**

Die entwickelte Analysenmethode soll jetzt noch für weitere Matrices wie Schokolade, Tee usw. angepasst und überprüft werden. Ferner wird angestrebt, die doch recht lange GC-Analysenzeit mit einer Fast-GC-Methode zu verkürzen.

Die Analyse des TP/CHR-Verhältnisses ergab, dass auf Grund des nicht vernachlässigbaren TP-Anteils in der Regel der Summenwert für TP und CHR angegeben werden sollte. Ein solcher Summenwert, wenn man diesen allein dem CHR zuordnet, würde allerdings das kanzerogene Potential überbewerten, da CHR als toxiologisch bedenklicher als TP eingestuft wird [MUELLER, 1996].

Tab. 3: PAK-Gehalte in verschiedenen Gewürzen [ $\mu\text{g}/\text{kg}$  Trockenmasse]

Gewürz	BcL	BaA	CHR +TP	CCP	5MC	BbF	BkF	BjF	BaP	IcP	DhA	BgP	DIP	DeP	DIP	DhP
<b>Blatt- und Kräutergewürze</b>																
Bärlauch	(n=3)	0,7	3,1	10,7	0,3	5,6	2,6	3,5	1,9	2,8	0,5	2,6	0,3	0,3	0,2	<0,09
Basilikum	(n=1)	0,5	2,1	9,3	0,4	1,9	1,0	1,8	1,1	0,7	<0,09	0,7	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Liebstockel	(n=1)	<0,03	0,3	1,2	<0,01	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	<0,09	0,2	<0,09	0,1	<0,09	<0,03
Majoran	(n=5)	0,1	0,8	1,8	0,1	1,4	0,9	0,9	1,1	1,3	0,4	2,0	0,2	0,3	0,1	<0,03
Oregano	(n=4)	0,7	1,6	5,8	0,2	1,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,1	0,8	<0,09	0,1	<0,09	<0,03
Petersilie	(n=3)	0,1	0,3	0,9	<0,03	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	<0,09	0,2	<0,03	<0,09	<0,03	<0,03
Pfefferminze	(n=2)	0,2	0,8	1,6	0,1	0,9	0,4	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	<0,09	0,1	0,1	<0,09
Schnittlauch	(n=5)	0,4	0,9	5,8	0,2	1,0	0,5	0,9	0,3	0,5	0,2	0,4	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Thymian	(n=2)	0,2	1,4	3,1	0,1	2,2	1,0	1,1	1,6	1,4	0,3	1,4	<0,09	0,2	0,2	<0,09
Winterhecke	(n=1)	0,1	0,4	1,3	0,1	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	<0,18	0,5	<0,06	<0,18	<0,06	<0,06
Zitronenmelisse	(n=2)	0,1	0,5	1,0	<0,03	0,1	0,4	0,4	0,7	0,4	0,11	0,4	<0,09	0,1	0,1	<0,09
<b>Wurzelgewürze</b>																
Ingwer	(n=4)	0,7	4,2	8,8	0,5	4,3	1,0	1,2	1,9	0,8	0,6	1,5	<0,06	0,3	<0,06	<0,06
<b>Samengewürze</b>																
Macis	(n=4)	0,7	0,4	0,9	0,4	0,8	0,4	0,7	0,4	0,4	<0,18	0,4	<0,18	<0,18	<0,18	<0,06
<b>Fruchtgewürze</b>																
Cardamom	(n=3)	0,6	4,7	9,1	3,4	2,6	1,3	1,9	2,0	0,9	<0,18	1,1	<0,18	<0,18	<0,06	<0,06
Coriander	(n=4)	0,1	<0,06	0,9	<0,06	0,1	<0,06	0,1	<0,06	<0,18	<0,06	0,1	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Pfeffer	(n=4)	0,2	2,1	3,5	0,4	1,6	0,8	3,3	0,7	0,5	<0,18	0,3	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Paprika	(n=4)	0,4	0,7	2,1	0,2	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1	0,6	0,1	0,1	<0,03	<0,03
Kümmel	(n=4)	<0,06	<0,06	0,1	<0,06	0,1	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,1	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
<b>Sonstige</b>																
geräucherter Paprika	(n=4)	77,0	244,8	307,3	69,3	99,8	44,0	64,9	73,7	27,7	6,9	31,9	2,3	3,7	2,2	0,4
Paprikaextrakt	(n=1)	14,8	177,3	447,3	410,9	102,3	57,8	78,9	103,4	35,5	2,0	55,7	2,2	3,2	3,1	0,6

Eine Analyse verschiedener Gewürzproben auf ihre PAK-Gehalte erbrachte, dass unter Ausschluss von geräucherten Gewürzen der Einfluss von PAK durch Gewürze auf Fleischerzeugnisse gering ist.

### Literatur

Empfehlung der Kommission vom 4. Februar 2005 über die genauere Ermittlung der Mengen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in bestimmten Lebensmitteln (EG/108/2005)

Higginbotham, S., Ramakrishna, N., Johanson, S., Rogan, E., Cavalieri, E., 1993: Tumor-initiating activity and carcinogenicity of dibenzo[a,l]pyrene versus 7,12-dimethylbenz[a]anthracene and benzo[a]pyrene at low-doses in mouse skin. *Carcinogenesis* 14, 875-878

Summary and Conclusion of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Sixty-Fourth meeting, Rome, 8-17 February 2005, JECFA/64/SC

Verordnung (EG) Nr. 208/2005 der Kommission vom 4. Februar 2005 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 466/2001 im Hinblick auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Jira, W., Ziegenhals, K., Speer, K., Values don't justify high maximum levels – PAH in smoked meat products according to the new EU standards, *Fleischwirtschaft International – Journal for meat production and meat processing* (4), 2006, P. 11-17

Poster DL, Schantz MM, Kucklick JR, et al., Three new mussel tissue standard reference materials (SRMs) for the determination of organic contaminants, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 378 (5), 2004, 1213-1231

Potthast, K., Eigner, G., Eichner, R., 3,4-Benzopyrengehalt in Gewürzen, *Fleischwirtschaft* 7, 1977, S. 1294-1296

Müller, P., Leece, B., Raha, D., Scientific Criteria Document for Multimedia Environmental Standards Development: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), Dose Response Assessment PAH. Ottawa, Ontario Ministry of the Environment and energy, 1996, p. 203

SCF, Scientific Committee on Food, 2002, Opinion of the Scientific Committee on Food on the Risks to Human Health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food (expressed on 4 December 2002)

[http://europa.eu.int/comm/food/food/chemical-safety/contaminants/out153\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/food/chemical-safety/contaminants/out153_en.pdf)

