

2.5 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (K.-H. Ueberschär)

2.5.1 Vorkommen und Bedeutung

Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe werden einer großen Gruppe organischer chemischer Verbindungen mit zwei oder mehreren kondensierten aromatischen Ringen ohne Heteroatome zugeordnet. Verbindungen wie Benz(a)pyren (BaP) und weitere 15 von der amerikanischen Umweltbehörde EPA genannte Substanzen gehören zu dieser Gruppe. Insgesamt sind 33 PAK näher beschrieben (IPCS, 1998; SCF, 2002), von denen zahlreiche als kanzerogen und genotoxisch gelten. In der Literatur werden zur Charakterisierung der PAK-Gehalte die Gehalte der analytisch bestimmten Einzelverbindungen, die Summe dieser Verbindungen, die Summe der leichten oder schweren PAK oder BaP-Äquivalente zur Einschätzung der Toxizität angegeben. Diese Vielfalt macht einen Vergleich schwierig.

PAK entstehen bei der Pyrolyse und unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen und werden aus Kohleheizungen, bei industriellen Prozessen, mit Abgasen aus Industrie, Verkehr, Kokereien und Abfallverbrennungen freigesetzt. Bei Kontaminationen liegen die PAK als Gemisch vor, deren Zusammensetzung von der Emissionsquelle abhängt, wobei BaP als halbquantitative Leitsubstanz verwendet werden kann, da diese Verbindung nahezu immer in kontaminierten Proben vorkommt und eine enge Korrelation zur Summe aller PAK besteht. Zur quantitativen Bestimmung des kanzerogenen Potentials von Matrices ist diese Markersubstanz nicht geeignet. Die Luft und der Boden industrienaher und verkehrsreicher Gebiete ist im Vergleich zu ländlichen Bereichen stärker belastet (SCF, 2002). Dieselabgase und in geringerem Maße auch der Abrieb von Reifen tragen zur Belastung von Luft und Wasser/Sedimenten bei (CSTEE, 2003). Die Verbindungen finden sich durch Immissionen, aber auch durch Ausfluss von Mineralöl, im Wasser und Boden. Außerdem werden sie auch auf natürlichem Wege durch vulkanische Aktivitäten und Waldbrände gebildet. Im häuslichen Bereich entstehen die PAK beim Erhitzen, Rösten, Grillen und Räuchern von Speisen (SCF, 2002).

PAK sind lipophil, wenig wasserlöslich und werden im Wasser und Boden nur langsam abgebaut. An der Luft und im Licht sind die Substanzen weniger stabil. Die niedermolekularen Verbindungen sind leicht flüchtig, während die höhermolekularen PAK stark an organische Partikel gebunden sind und in Sedimenten und in der oberen Schicht des Bodens vorkommen. Die Verlagerung in tiefere Schichten, Ausschwemmungen ins Grundwasser, die Verfügbarkeit für Pflanzen und Aufnahme über die Wurzeln sind daher gering. Durch aerogene Immission und durch belastete Böden können Futtermittelpflanzen kontaminiert werden, wobei die Pflanzenoberfläche, der Erntezeitpunkt, die Schnitthäufigkeit und die Bodenbearbeitung etwa durch Klärschlammaufbringung den Grad der Kontamination beeinflussen. Klärschlamm kann BaP-Konzentrationen von 0,09-3,4 (Median: 0,35) mg/kg T enthalten (Litz et al., 1998). Die Mediane der PAK-Gehalte von Gras, Heu und Stroh aus industriearmen Gebieten lagen zwischen 0,2-0,7 und für Korn bei 0,05 µg/kg T, während Futter von industrienahen Standorten und im Bereich von Mülldeponien Gehalte von 0,3-1,9

mit einem Maximalwert für Heu von 13,5 und Korn von 0,09-0,11 µg/kg T aufwiesen (Stoyke et al., 1994).

In pflanzlichen Ölen fanden sich BaP-Gehalte im Bereich von 0,1-2,3 µg/kg (Speer und Montag, 1988), während Ölfrüchte und -saaten und die aus ihnen gewonnenen Öle, die während der Verarbeitung direkten Kontakt mit Verbrennungsgasen hatten, erheblich kontaminiert waren (Gertz und Kogelheide, 1994; Mayer und Rutzmoser, 2001; Standing Committee on Foodstuffs, 2001). Allgemein besteht die Gefahr der Kontamination durch PAK auch bei anderen Futtermitteln mit höherer Feuchte wie Gras, Zitrustrester, Kopra und Ölfrüchte, wenn Verfahren der direkten Trocknung mit Verbrennungsgasen angewendet werden. Eine weitere Quelle ist die Verwendung von technischen oder wiederverwendeten Fetten in der Fütterung von Nutztieren. Der Anteil der kanzerogenen PAK an der Gesamtaufnahme an PAK mit dem Futter, dem Wasser und der Luft beträgt bei Schweinen und Milchkühen etwa 4 bzw. 16 %, wie Messungen in Tschechien ergaben (Hoogenboom, 2004).

Einen Höchstgehalt für PAK in Futtermitteln gibt es in Deutschland nicht. In Belgien gilt ein Richtwert von 10 und 50 µg/kg für BaP bzw. Gesamt-PAK, während holländische Autoren einen Höchstgehalt von 50 µg BaP-EQ/kg auf der Basis BaP bezogener Toxizitätsäquivalente (EQ) vorschlugen (RIKILT, 2001).

Die tägliche Belastung der Menschen mit BaP beträgt nach Erhebungen aus sechs EU-Ländern etwa 0,05-0,29 µg, wobei Getreide, Getreideprodukte (24 %) und Gemüse (12 %) hauptsächlich und Öle und Fette nach jüngeren englischen Untersuchungen im Vergleich zu früheren Untersuchungen mit 6 % nur wenig dazu beitragen. Die gleiche Reihenfolge ergab eine Studie aus Schweden, bei Bezug auf die Summe von 11 PAK. Fleisch leistet nur einen geringen Beitrag, das gilt auch für gegrillte Produkte bei gelegentlichem Verzehr, obwohl sie hohe PAK-Gehalte aufweisen können (SCF, 2002).

Auswirkungen der PAK auf die Gesundheit landwirtschaftlicher Nutztiere sind nicht bekannt. Bei der Verfütterung von BaP-kontaminiertem Futter erfolgte keine Anreicherung in Fleisch, Leber und Niere von Schweinen und Fischen (Fiebig et al., 1984). Frühere Untersuchungen mit Hühnern kamen zu dem gleichen Ergebnis. Stoffwechselforscher hatten gezeigt, dass die Substanzen weitgehend abgebaut und ausgeschieden werden. Auch Lusky und Mitarbeiter (1992) konnten keine Rückstände >0,05 µg/kg FS im Fett, Gehirn oder Muskel von Schwein und Rind nachweisen. Neuere Untersuchungen von Laurent et al. (2001) mit jungen Schweinen ergaben eine rasche Aufnahme von radioaktiv markiertem BaP und Phenanthren und eine schnelle Elimination der Radioaktivität aus dem Blut. BaP wird im Vergleich zu Phenanthren und Pyren nur schlecht aus dem Magen-Darmtrakt absorbiert und in Spuren entweder unverändert oder metabolisiert in die Milch von Ziegen transferiert, während von den beiden anderen Substanzen 1,5 und 1,9 % der aufgenommenen Radioaktivität in der Milch wieder gefunden wurden (Grova et al., zitiert in Hoogenboom, 2004). Auch in der Milch von Kühen, die in der Nähe von möglichen Kontaminationsquellen weideten, ließen sich nur ziemlich niedrige PAK- und keine BaP-Rückstände nachweisen (Grova et al., 2002). In Sedimenten lebende Tiere mit einem hohen Wasserfiltrationsvermögen und geringer Metabolisierungsfähigkeit für PAK wie Muscheln können diese Stoffe jedoch anreichern (Jacob et al., 1997). Bei den meisten Organismen war aber keine signifikante Anreicherung innerhalb der aquatischen Nahrungskette feststellbar. Die Substanzen wurden von Labortieren

mit einer Rate von >50 % gut absorbiert, rasch metabolisiert und mit dem Kot bzw. Harn ausgeschieden (RIKILT, 2001).

2.5.2 Vermeidung

Weiden und Auslauf

Partikelgebundene PAK können auf dem Luftweg vor allem großblättrige Pflanzen kontaminieren und durch weidende Nutztiere und Geflügel zusammen mit kontaminiertem Boden aufgenommen werden. In der Nähe von stark befahrenen Autostraßen ist der Boden erheblich belastet. Auch Klärschlammdüngung und das Abbrennen von Stoppelfeldern sowie das (unvollständige) Verbrennen von Biomasse führt zu Kontaminationen (Münch, 1993; SCF, 2002). Die Aufnahme lässt sich verringern, wenn den Tieren der Zugang zu kontaminierten Weideflächen und Auslaufflächen beschränkt wird.

Trocknung

Auch direkte Trocknungsverfahren, die heiße Verbrennungsgase über die Erntegüter leiten, können zur Belastung des Futters führen, wobei Heizöl und Hackschnitzel im Vergleich zu Gas und Braunkohle als Energieträger ungünstiger sind. Höhere Temperaturen führen zu einer Abreicherung der leichtflüchtigen PAK wie Naphthalin, Acenaphthen und Fluoren, während bei den höhermolekularen Verbindungen Zunahmen von 18-111 % bei der Gewinnung von Trockengrün beobachtet wurden. Der höchste Wert betraf die Leitsubstanz BaP, deren durchschnittliche Belastung im Grünfutter von 2,7 µg/kg T im Mittel auf 5,7 µg/kg T nach dem Trocknen anstieg. Ein gesicherter Einfluss der Trocknungsbedingungen auf den PAK-Gehalt des Trockengrüns konnte nicht festgestellt werden (Mayer und Rutzmoser, 2001). Bei der direkten Trocknung von Rapsaaten mit Gas als Heizmittel wurden von Dennis et al. (1991) gegenteilige Effekte gemessen BaP und andere hochmolekulare PAK blieben unverändert, während die Gehalte der niedermolekularen PAK Fluoranthen, Pyren und Chrysen signifikant zunahmen. Die Autoren messen den Verbrennungsbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die Rückstandsbildung zu.

Die Ursache für die hohe PAK-Belastung von Ölen in der Vergangenheit waren die angewendeten Verfahren zur Trocknung der Trester von Trauben oder Oliven. Kokos-Sonnenblumen- und Rapsöl können auch betroffen sein. Je nach angewendetem Verfahren sind die erhaltenen Kuchen, aus denen durch Lösungsmittelextraktion die Tresteröle gewonnen werden, noch stark wasserhaltig. Die Gehalte reichen von 20 bis 70 %. Gerade das Zweistufen-Verfahren, das die wasserhaltigsten Trester liefert, wird heute wegen des verminderten Anfalls von hoch verunreinigtem Prozesswasser und damit aus Kostengründen dem Dreistufenverfahren vorgezogen. Durch die drastischen Trocknungsvorgänge, dem der Trester unterzogen wird, wurden in den erhaltenen Rohölen von Oliventretern hohe PAK-Gehalte nachgewiesen (Leon-Camacho et al., 2003). Auch die hohen PAK-Gehalte in Kokosrohölen lassen sich auf direkte Trocknungsverfahren, bei denen Kokoschalen als Brennmaterial verwendet werden, zurückführen (Dennis et al., 1991). Durch die Vermeidung zu hoher Trocknungstemperaturen, langer Trocknungszeiten und die Umstellung auf indirekte Trocknung ließen sich die Belastungen der Rohmaterialien vermindern (Mayer und Rutzmoser, 2001; Standing Committee on Foodstuffs, 2001). Auch die kontrollierte Steuerung der Verbrennungsvorgänge zur Erzeugung der Verbrennungsgase ist wichtig zur

Vermeidung von Belastungen des Trockengutes (Dennis et al., 1991; Mayer und Rutzmoser, 2001).

Lagerung

Der Vergleich der Analysenergebnisse von Rapssaat-Chargen mit verschieden langer Lagerzeit vor der Verarbeitung zu Öl ergab, dass eine 30-35-wöchige Lagerzeit die PAK-Gehalte im Rohöl und raffinierten Öl um etwa 50 % im Vergleich zur 9-15-wöchigen Lagerung reduzierte (Cejpek et al., 1998).

2.5.3 Reinigung (Verminderung oder Entfernung)

Waschen, Schälen

Die PAK-Konzentrationen sind auf Blättern und Schalen der Pflanzen höher als im Inneren. Durch einfaches Waschen lassen sich etwa 50 % der Gesamt-PAK entfernen. Während sich die an der Pflanzenoberfläche befindlichen hochmolekularen Verbindungen leicht abwaschen lassen, können die niedermolekularen PAK in die wachshaltigen Oberflächen der Pflanzen und Früchte eindringen und sind weniger gut oder gar nicht zu entfernen (SCF, 2002).

Die auf Getreide nachweisbaren PAK stammen aus dem Staub der Luft, oder die Kontaminationen sind bei der Ernte durch Bodenpartikel, beim Dreschen und der Trocknung erfolgt. Durch Nass- oder Trockenschälen werden 0,5-5 % der Kornsubstanz des Getreides abgerieben. Das Nebenprodukt wird als Schälkleie bezeichnet. Der BaP-Gehalt von Getreide ließ sich so um 60 % und der von Hafer durch Entspelzen um 35-45 % vermindern (DFG, 1980). Der Vergleich von Getreideprodukten (Dennis et al., 1991; SCF, 2002) zeigt die deutlich höhere BaP-Belastung von Kleie (5,4 µg/kg) und mit Kleie angereichertem Getreide (0,25 µg/kg) im Vergleich zu Frühstücksgetreide (0,04 µg/kg) und vermahlenem Weizen (0,2 µg/kg). Stoffe, die im Mehlkörper (Endosperm) abgelagert sind, werden durch ein teilweises Entfernen der Kornrandschichten nur unwesentlich in ihrem Gehalt reduziert.

Bei der Ernte, dem Transport und der Lagerung aufgenommene Schmutzpartikel und Spreuanteile können zur PAK-Kontamination von Rapssaat beitragen. Die PAK reichern sich in der Kutikula der Saat an und lassen sich durch organisches Lösungsmittel und Ultraschallbehandlung der unvermahlenden Rapssaat um etwa 30-60 % verringern, während durch Waschen mit Wasser kein weiterer Reinigungseffekt erreicht wird (Tabelle 2.16.). Der Anteil der oberflächlich anhaftenden Verunreinigungen (anorganische Verunreinigungen und Spreuanteile u.a.) kann 2-3 % des Rapssaatgewichtes ausmachen (Cejpek et al., 1998).

Tabelle 2.16. Einfluss der Vorbehandlung auf den PAK-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{kg}$) von Rapssaat (Cejpek et al., 1998)

PAK	Rapssaat, ungereinigt	Rapssaat, ungereinigt, gemahlen	Rapssaat, mit Chloroform u. Ultraschall gereinigt	Rapssaat, gemahlen mit Chloroform extrahiert	Rapssaat, gereinigt mit Wasser behandelt
BaP	0,5	0,4	0,1	0,15	0,1
PAK-leicht	10,1	8,7	5,1	6,4	4,0
PAK-schwer	2,6	2,6	1,2	1,7	1,4
Gesamt-PAK (n = 12)	16	14,8	6,9	9,1	6,1

n = 3 Chargen

2.5.4 Dekontamination (Inaktivierung, Detoxifikation)

Raffination von Ölen und Fetten

Die aus verschiedenen Gründen mit PAK belasteten pflanzlichen Rohöle werden nacheinander vor der Raffination verschiedenen Vorbehandlungen wie Entschleimen, Neutralisierung, Winterisierung und Waschen unterzogen (Groß, 2002). Die Behandlung mit Natronlauge zur Neutralisation der zur Entschleimung benötigten Phosphor- oder Zitronensäure beeinflusst die PAK-Gehalte kaum, während die Bleichung die Gehalte um etwa 13 % vermindert. In diesem Raffinationsschritt werden Bleicherde und eventuell Aktivkohle zugesetzt, das Öl etwa 20 min bei 85 °C behandelt und danach filtriert. Der Aktivkohle-Zusatz ist notwendig zur Raffination hoch belasteter Kokos- und Tresteröle, wobei auch hochmolekulare PAK entfernt werden (Larsson et al., 1987; León-Camacho et al., 2003). Während die Dämpfung einen geringen Effekt auf schwere PAK wie BaP hat, wird die Hauptmenge der leichtflüchtigen PAK beseitigt. Das Öl wird 1-6 Stunden bei 180-260 °C mit Wasserdampf (bis zu 4 % des Ölgewichtes) im Vakuum (1-6 mm Hg) behandelt (Thomas, 1982). Mit zunehmender Dämpfungszeit und -temperatur nimmt der Gehalt der PAK in den Ölen ab (Tabelle 2.17.).

Tabelle 2.17. Entfernung der PAK ($\mu\text{g}/\text{kg}$) aus Pflanzenölen durch Raffination und Dämpfung

	Benz(a)pyren	Gesamt-PAK	Autoren
Kokosfett	62 (100 %)	3320 (100 %)	Thomas, 1982
Nach Entsäuerung			
Nach Entsäuerung u. Bleichung	60 (97 %)	2885 (87 %)	„
Vollraffinat	55 (89 %)	840 (25 %)	„
Vor Dämpfung*	0,7	1071 (100 %)	„
2 h, 180 °C	1	346 (32 %)	„
4 h, "	1	130 (12 %)	„
8 h, "	1	47 (4,4 %)	„
Sonnenblumenöl			„
Rohöl	31 (100 %)	665 (100 %)	
Vollraffinat	29 (94 %)	220 (33 %)	„
Vor Dämpfung	36 (100 %)	509 (100 %)	„
180 °C, 4 h	32 (89 %)	224 (44 %)	„
200 °C, "	32 (89 %)	195 (38 %)	„
220 °C, "	30 (83 %)	147 (29 %)	„
240 °C, "	18 (50 %)	80 (16 %)	„
Kokosöl			
Rohöl	26	3040	Larsson et al., 1987
" , desodoriert + Aktivkohle	0,2	25	„
Sojaöl			„
Rohöl	0,8	46	
" , desodoriert	0,7	11	„
Rapsöl			„
Rohöl	1,4	52	
" , desodoriert	0,8	9	„

* mit 0,25 % Aktivkohle behandelt

In einer neueren Untersuchung (León-Camacho et al., 2003) wird zur Entfernung von PAK aus hoch belasteten Oliventresterölen jeweils ein 1 %iger Zusatz von Bleicherde und Aktivkohle und eine 30-minütige Behandlung bei 90 °C verwendet. Das Rohöl war durch Entschleimung, Neutralisation und Winterisierung (13 h bei 9 °C) vorbehandelt. Während die Vorbehandlung und der alleinige Zusatz von Bleicherde nur eine geringe Reduktion des BaP-Gehaltes der Rohölproben bewirkte, wird die Hauptmenge durch Zugabe von Aktivkohle entfernt (Tabelle 2.18.).

Tabelle 2.18. Entfernung von Benz(a)pyren ($\mu\text{g}/\text{kg}$) aus Oliventresteröl durch Raffination (León-Camacho et al., 2003)

Oliventresteröl	Benz(a)pyren
Rohöl	185 (100 %)
" ,entschleimt, neutralisiert, winterisiert (0,3 % H ₃ PO ₄ ; 40 °C + 30 % NaOH; + CaO; 80 °C 20 min; 9 °C 13 h; waschen 90 °C)	174 (94 %)
" + gebleicht (1 % Bleicherde, 90 °C 30 min)	164 (89 %)
" + Aktivkohle (1 %, zusammen mit Bleichung)	4 (2 %)

Ein höherer Anteil von Bleicherde hat keinen Einfluss auf die Verminderung des BaP-Gehaltes, er kann aber zusammen mit einer erhöhten Behandlungstemperatur die Entstehung unerwünschter Fettsäurennebenprodukte fördern. Während der Zusatz von Aktivkohle während des Bleichens höhermolekulare PAK (Fünf- und Sechsring-PAK) bindet, lassen sich die niedermolekularen Verbindungen durch Wasserdampf zum größten Teil entfernen. Diese als Desodorierung bezeichnete Reinigung ist neben der Alkalibehandlung der effektivste Schritt zur Entfernung der Gesamt-PAK bei der Rapsölraffination (Cejpek et al., 1998). Die Tabelle 2.19. zeigt neben den einzelnen Reinigungsstufen des Rapsölprozesses auch die PAK-Gehalte der Nebenprodukte Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot (Rapsmehl), wobei das mit Lösungsmittel extrahierte Extraktionsschrot im Vergleich zu Rapssaat und Rapskuchen deutlich niedriger belastet ist. Das Rohöl ist eine Mischung aus durch Lösungsmittlextraktion gewonnenem Öl und direkt gepresstem Öl, in dem die lipophilen PAK angereichert werden.

Tabelle 2.19. PAK-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in Rapssaat, in Rapsöl verschiedener Reinheit und in den Nebenprodukten (Cejpek et al., 1998)

Probe	Benz(a)pyren *	Gesamt-PAK*
Rapssaat	0,15	8,0
Rapskuchen	0,1	9,3
Rapsmehl	0,018	4,4
Rohöl	0,41 (100 %)	17 (100 %)
Rapsöl, alkalibehandelt	0,42 (102 %)	15 (88 %)
Rapsöl, nach Bleicherde	0,3 (73 %)	14 (82 %)
Rapsöl, nach Desodorierung	0,2 (49 %)	7,2 (42 %)

* Mittelwerte aus vier Chargen

2.5.5 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Die Belastung von Futtermitteln durch PAK ist von einzelnen Ausnahmen abgesehen gering und dürfte in Zukunft mit dem Rückgang der PAK-Gehalte in der Luft (Jacob et al., 1997) noch abnehmen. Futterölen und -fetten sollte jedoch auch künftig Beachtung zukommen, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass belastete Chargen und für andere Zwecke bestimmte Öle (z. B. für technische Anwendungen) durch Unachtsamkeit oder bewusste Machenschaften in Futtermitteln verarbeitet werden. Durch Trocknungsvorgänge können Öle und Futter mit PAK kontaminiert werden. In der Optimierung der Trocknungsvorgänge (Trocknungstemperatur, Dauer der Trocknung, Vermeidung eines direkten Kontaktes des Trockengutes mit den Rauchgasen) und Verhinderung der PAK-Bildung wird ebenso weiterer Forschungsbedarf gesehen wie in konsequenten Verbesserungen der Ölproduktions- und raffinationsbedingungen.

2.5.6 Literatur

Cejpek K, Hajslová J; Kocourek V, Tomaniová M, Cmolik J (1998) Changes in PAH levels during production of rapeseed oil. *Food Addit Contam* 15 (5): 563-574

- CSTEE (2003) Opinion of the scientific committee on toxicity, ecotoxicity and the environment (CSTEE) on: "Question to the CSTEE relating to scientific evidence of risks to health and the environment from polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres". 12-13 November 2003, European Commission, Brussels
- Dennis MJ, Massey CR, Cripps G, Venn I, Howarth N, Lee G (1991) Factors affecting the polycyclic aromatic content of cereals, fats and other products. *Food Addit Contam* 8 (4): 517-530
- DFG (1980) Deutsche Forschungsgemeinschaft Mitteilung VIII, Bewertung von Rückständen in Getreide, VCH-Verlag, Weinheim
- Fiebig HJ, Fritz W, Wildner M, Sciborski J (1984) Untersuchungen zum Übergang von Benzo(a)pyren in tierische Organe nach Verfütterung Überschußschlamm aus Schweinegülle. *Arch Tierernähr* 34 (10): 731- 737
- Gertz C, Kogelheide H (1994) Untersuchung und Beurteilung von PAK in Speisefetten und – ölen. *Fett Wiss Technol* 96(5): 175-180
- Groß KJ (2002) Die Bedeutung von Bleicherden im Verarbeitungsprozess von Ölmühlen. In: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (2003) Öl- und Faserpflanzen. Berlin : UFOP-Schriften 20: pp 37-47
- Grova N, Feidt C, Crépineau C, Laurent C, Lafargue P E, Hachimi A, Rychen G (2002) Detection of polycyclic aromatic hydrocarbon levels in milk collected near potential contamination sources. *J Agric Food Chem* 50: 460-4642
- Hoogenboom LAP (2004) Behavior of polychlorinated and polyaromatic hydrocarbons in foodproducing animals. In: Annual Reviews in Food and Nutrition, Preedy VR and Watson RR, eds, Taylor and Francis, London, pp 269-299
- Jacob J, Grimmer G, Hildebrandt A (1997) Long-term decline of atmospheric and marine pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Germany. *Chemosphere* 34: 2099-2108
- Larsson BK, Eriksson AT, Cervenka M (1987) Polycyclic aromatic hydrocarbons in crude and deodorized vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 64 (3): 9-16
- Laurent C, Feidt C, Lichtfouse E, Grova N, Laurent F, Rychen G (2001) Milk-blood transfer of ¹⁴C-tagged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pigs. *J Agric Food Chem* 49: 2493 - 2496
- León-Camacho M, Viera-Alcaide I, Ruiz-Méndez MV (2003) Elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons by bleaching of olive pomace oil. *Eur J Lipid Sci Tech* 105: 9-16
- Litz N, Boje-Haderer R, Jung S, Merkel D, Offenbacher G, Schnaak W(1998) Konzept zur Ermittlung und Bewertung der Relevanz schädlicher organischer Inhaltsstoffe im Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser* 45 (3): 492-498
- Lusky K, Stoyke M, Henke G (1992) Untersuchungen zum Vorkommen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) im Futter und bei landwirtschaftlichen Nutztieren. *Arch Lebensmittelhyg* 43 (3): 67-68
- Mayer J, Rutzmoser K (2001) Erhebungen zu Inhaltswerten und unerwünschten Stoffen in Grünfutter und Trockengrün, Bayerische Landesanstalt für Tierzucht Grub
- Münch D (1993) Concentration profiles of arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, zinc, vanadium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) in forest soil beside an urban road. *Sci Total Environ* 138 (1-3): 47-55

- RIKILT (2001) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in animal feeds, animal fats, vegetable oils/fats, fatty acids. Report 2001.006, RIKILT, Wageningen, The Netherlands
- SCF (2002) Opinion of the Scientific Committee on food on the risks to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. 2. Dezember 2002, European Commission, Brussels
- Speer K, Montag A (1988) Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in nativen pflanzlichen Ölen. *Fett Wiss Technol* 90 (5): 163-167
- Standing Committee on Foodstuffs (2001) Outcome of the expert group meeting on 3 October on ways to prevent contamination of olive oil and other oils with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). European Commission, Brussels
- Stoyke M, Lusky, Doberschutz KD, Gobel R (1994) Untersuchungen zur Belastung von Futtermittel, Obst, und Gemüse mit Benzo(a)pyren im Land Brandenburg. *Nahrung* 38 (3): 259-266
- Thomas A (1982) Über die Entfernung von Schadstoffen bei der Dämpfung von Speiseölen und -fetten. *Fett Wiss Technol* 84 (4): 133-136