



Juli 2012

## Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

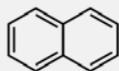
Wo immer der Mensch organisches Material verbrennt, sei es beim Rauchen, beim Autofahren oder sogar beim Grillieren, können polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen. Aber auch bei der Erdölfractionierung fallen PAK als unerwünschte Nebenprodukte an und gelangen schliesslich in die Umwelt. Einige PAK sind krebserregend. Die Reduktion der PAK auf ein technisch unvermeidliches Minimum wird durch verschiedene Gesetze vorgeschrieben. Die unumgängliche Restbelastung stellt für den Menschen keine Gesundheitsgefahr dar.

### Moleküle aus vielen Ringen

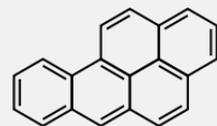
Bereits der Name sagt es: Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK oder engl. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH) bestehen aus mindestens zwei miteinander verbundenen Benzolringen (Figur 1). Benzol selbst besteht aus einem Ring mit sechs Kohlenstoffatomen.



Benzol, der Grundbaustein der PAK



Naphthalin, der einfachste PAK



Benzo(a)pyren, ein krebserregender PAK

Figur 1 Strukturformeln von Benzol und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

PAK kommen in der Umwelt als komplexe Gemische aus mehr als hundert verschiedenen Verbindungen vor. Wegen dieser Vielfalt können meist nur einige davon analytisch erfasst werden. In den 80er Jahren hat die amerikanische Bundesumweltbehörde EPA 16 dieser Verbindungen in die Liste der wichtigsten Umweltschadstoffe (Priority Pollutants) aufge-

nommen (Tabelle 1). Seitdem werden diese 16 PAK häufig stellvertretend für die ganze Stoffgruppe analysiert. Oft wird auch nur Benzo(a)pyren als Leitsubstanz eines PAK-Gemisches erfasst. Sein Anteil in einem PAK-Gemisch beträgt relativ konstant etwa 10%, weshalb dadurch auf die Gesamtkonzentration des Gemisches hochgerechnet werden kann. Je nach Fragestellung werden auch andere relevante Untergruppen der PAK analytisch erfasst.

Tabelle 1 Wichtige Vertreter der PAK, gelistet nach unterschiedlichen Kriterien

Bezeichnung	EPA Priority Pollutants	Krebserregend beim Menschen nach IARC, 2010	Krebserregend in der Nahrung nach ESFA, 2008	Krebserregend laut Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008
Benzo(a)pyren	X	2A	X	X
Cyclopenta(c,d)pyren		3		
Dibenzo(a,h)anthracen	X	2A	X	X
Dibenzo(a,l)pyren		2B		
Benzo(j)aceanthrylen		-		
Benzo(a)anthracen	X	2A	X	X
Benzo(b)fluoranthen	X	2B	X	X
Benzo(j)fluoranthen		2B		X
Benzo(k)fluoranthen	X	2B	X	X
Benzo(c)phenantren		3		
Benzo(e)pyren				X
Chrysen	X	3	X	X
Dibenzo(a,h)pyren		2B		
Dibenzo(a,i)pyren		2B		
Indeno(1,2,3,c,d)pyren	X	2B	X	
5-Methylchrysen		2B		
Benzo(g,h,i)perylen	X	3	X	
Anthracen	X	3		
Acenaphthen	X	-		
Acenaphthylen	X	-		
Fluoranthen	X	3		
Fluoren	X	3		
Naphthalin	X	-		
Phenantren	X	3		
Pyren	X	3		

- 1 Erwiesenermassen krebserregend beim Menschen
- 2A Wahrscheinlich krebserregend beim Menschen
- 2B Möglicherweise krebserregend beim Menschen
- 3 Nicht krebserregend beim Menschen

## PAK entstehen bei Verbrennungsprozessen

PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material (z.B. Kohle, Heizöl, Treibstoff, Holz, Tabak). Sie sind an Russpartikel gebunden und geraten mit ihnen in die Umgebungsluft. Der weitaus grösste Anteil der PAK in der Luft stammt aus diesen Verbrennungsprozessen. Russe werden aber auch Gummierzeugnissen beigemischt, um die Elastizität oder Dämpfungseigenschaften zu verbessern. Auf diese Weise gelangen PAK zum Beispiel auch in Gummigriffe von Werkzeugen oder in Kabelummantelungen. Auch in Nahrungsmitteln können sich beträchtliche Mengen an PAK aus Verbrennungsprozessen anreichern, beispielsweise beim Verarbeiten von Getreideprodukten und Pflanzenölen, beim Räuchern von Fleischwaren und Fisch oder in Grillgut, das über der offenen Flamme gegrillt wurde.

PAK sind aber auch natürliche Bestandteile von Kohle und Erdöl. Bei der Destillation von Erdöl reichern sie sich im Bitumen (Erdpech) an. Mit Bitumen und Steinkohleteer behandelte

Produkte, z.B. Asphalt, Teerpappe oder Teerfarben enthalten daher viel PAK. Noch in den sechziger Jahren wurde Holzparkett mit teerhaltigen Klebern verlegt. Bis in die neunziger Jahre wurden Hölzer wie zum Beispiel Eisenbahnschwellen oder Pfähle mit Teeröl gegen Witterungseinflüsse imprägniert. PAK fossilen Ursprungs sind aber auch in sogenannten Weichmacherölen enthalten. Diese werden Gummiprodukten wie zum Beispiel Autoreifen zur Erzielung günstiger Laufeigenschaften beigemischt.

### **Giftig für Mensch und Tier**

Gewisse PAK-Moleküle werden wegen der speziellen Anordnung ihrer Ringstrukturen im Körper zu äusserst reaktiven Verbindungen, sogenannten Epoxiden umgewandelt. Diese Epoxide reagieren sehr leicht mit DNA-Molekülen, was zu Erbgutveränderungen und schliesslich zu Krebs führen kann. Ausserdem beeinträchtigen einige PAK auch die Fortpflanzung oder schädigen das Ungeborene. Zumindest im Tierversuch konnten solche Effekte bei verschiedenen PAK nachgewiesen werden. Für den Menschen besteht dieses Risiko ebenfalls. Als besonders gefährlich gilt Benzo(a)pyren, das beim Menschen erwiesenermassen Krebs verursacht und als erbgutverändernd, fortpflanzungsschädigend und entwicklungs-schädigend angesehen wird. Die International Agency for Research on Cancer IARC hat die PAK 2006 neu beurteilt und 12 PAK als erwiesenermassen, wahrscheinlich oder möglicherweise krebserregend beim Menschen beurteilt (IARC, 2010; Tabelle 1). Für andere PAK gibt es ebenfalls Hinweise auf ein erbgutveränderndes oder krebserregendes Potential. Sie reichen aber nicht aus, um die PAK bezüglich des Krebsrisikos für den Menschen einzustufen. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA betrachtet 8 PAK als krebserregend für den Menschen, wenn sie mit der Nahrung aufgenommen werden (EFSA, 2008; Tabelle 1). Im Anhang VI der CLP Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008, Tabelle 1) sind momentan 8 PAK als krebserregend eingestuft. Stoffe und Zubereitungen müssen daher gemäss des Anhang XVII der REACH Verordnung (Verordnung (EG) 1907/2006) als krebserzeugend gekennzeichnet werden. Falls diese 8 PAK oberhalb einer bestimmten Konzentrationsgrenze erhalten sind, dürfen sie nicht an die Allgemeinheit verkauft werden.

### **Viele Wege führen in den Körper**

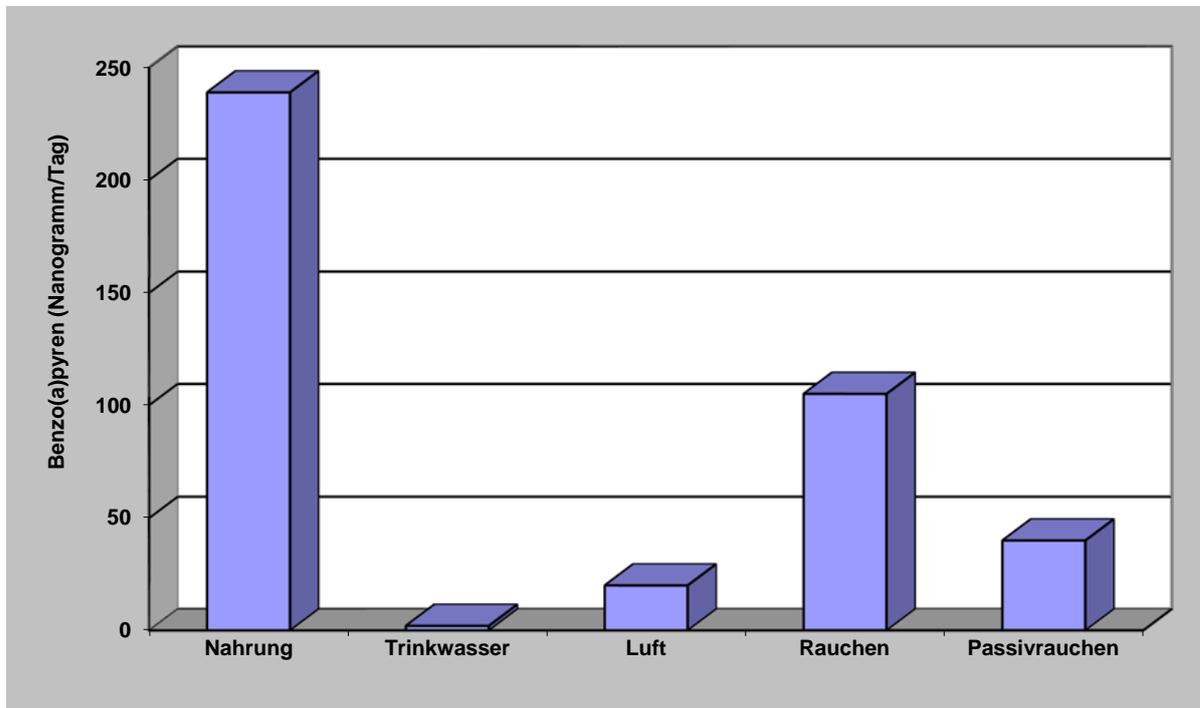
PAK sind relativ schlecht wasserlöslich und schwer flüchtig. PAK verdampfen daher nicht leicht aus Materialien, sondern gelangen meist bei der Alterung der Materialien an Partikel gebunden in die Umwelt. Der Mensch kann PAK über drei Wege aufnehmen: durch die Aufnahme von PAK-haltigen Lebensmitteln, das Einatmen von PAK-haltigen Staubpartikeln, oder durch den Hautkontakt mit PAK-haltigen Materialien.

Die bedeutendste PAK-Quelle ist die tägliche Nahrung (Figur 2). Insbesondere geräucherte oder über dem Feuer grillierte Fleisch- und Fischerzeugnisse, pflanzliche Öle und Fette, sowie Tee und Kaffee enthalten viel PAK. Bei Konsumenten in den EU-Ländern tragen Fischerzeugnisse und Getreideprodukte am meisten zur täglichen PAK-Belastung bei. Getreideprodukte deshalb, weil trotz mässigem PAK-Gehalt viel davon konsumiert wird. Eine Person mit ausgewogenen Essgewohnheiten nimmt pro Tag rund 235 Nanogramm (ng) Benzo(a)pyren auf. Bei Personen mit überdurchschnittlich hohem Getreide- und Fischkonsum beträgt die tägliche Aufnahme rund das Doppelte. Demgegenüber ist die Aufnahme über das Trinkwasser mit 2 ng Benzo(a)pyren/Tag unbedeutend (EFSA, 2008).

Die Mehrheit der eingeatmeten PAK stammt aus dem Tabakrauch (Figur 2). Ein Raucher (20 Zigaretten/Tag) nimmt durchschnittlich 105 ng Benzo(a)pyren/Tag auf, ein Passivraucher rund 40 ng/Tag (EFSA, 2008). Schlecht ziehende Öfen können die Innenraumluft ebenfalls mit PAK belasten. Auch aus Kabelummantelungen oder aus alten Parkettklebern können geringe Mengen an PAK in die Innenraumluft entweichen. In der Aussenluft entstammen die PAK grösstenteils aus Autoabgasen und zu einem geringen Anteil aus dem Abrieb von Autoreifen. Auch Kunstrasen mit Granulat aus alten Autoreifen kann die Luft von Sportstätten ganz geringfügig mit PAK belasten. Alle diese Quellen führen zu einer PAK-Belastung aus

der Luft von etwa 20 ng Benzo(a)pyren/Tag, was verglichen mit den anderen Quellen relativ wenig ist.

Der Hautkontakt mit Teeröl-behandeltem Holz kann ebenfalls zur PAK-Belastung des Körpers beitragen. Auch über den Kontakt mit PAK-haltigen Gebrauchsgegenständen wie Werkzeuggriffen oder Gummischuhen können PAK in den Körper gelangen. Zahlen zur Exposition liegen derzeit noch nicht vor.



Figur 2 Durchschnittliche tägliche Aufnahme von Benzo(a)pyren aus verschiedenen Quellen

### Verschiedene Massnahmen schränken die Belastung ein

Weil die PAK giftig sind, wird deren Entstehung und Verbreitung durch verschiedene Gesetzesvorschriften eingeschränkt:

- Die Chemikalien-Risiko-Reduktions-Verordnung (ChemRRV 814.81) legt Richt- oder Grenzwerte fest für den Gehalt von PAK oder Benzo(a)pyren in Holzschutzmitteln, in behandeltem Holz, in Kompost und Gärgut, in Weichmacherölen für die Herstellung von Reifen und für Holzwerkstoffe.
- Die Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV 817.021.23) schreibt Toleranzwerte vor für PAK, bzw. Benzo(a)pyren in Lebensmitteln und Trinkwasser, sowie Grenzwerte für Babynahrung.
- In der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo 814.12) sind Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für PAK und Benzo(a)pyren für Böden, Nutzflächen, Gärten und Spielplätze festgelegt.
- Die Gewässerschutzverordnung (GSchV 814.201) regelt den PAK-Gehalt im Grundwasser, das für Trinkwasser vorgesehen ist.
- In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV 814.318.142.1) sind Einschränkungen für die Emission von krebserzeugenden Stoffen der Kat. 1 (wie Benzo(a)pyren) zu finden.

### Handlungsbedarf

Die Gesetzesvorschriften beschränken die PAK-Konzentrationen in gewissen Verbraucherprodukten, in Lebensmitteln und in der Umwelt wirksam auf ein Restniveau, das für den Durchschnittsverbraucher keine Risiken birgt. Für Personen mit durchschnittlichen Essgewohnheiten besteht ein grosser Abstand (MOE, Margin of Exposure) zwischen der Dosis

PAK, die bei Versuchstieren zu Krebs führte und der Dosis, die mit der Nahrung aufgenommen wird. Für diese Menschen stellen PAK in der Nahrung kein Gesundheitsrisiko dar. Lediglich bei Personen, die extrem viel Cerealien und Räucherwaren verzehren, liegt der MOE in einem kritischen Bereich, und eine Änderung der Konsumgewohnheiten erscheint angezeigt. Demgegenüber ist die Belastung durch PAK aus dem Trinkwasser unbedeutend und stellt kein Risiko dar.

In der Luft erhöhen in erster Linie das Tabakrauchen, in zweiter Linie die Abgase die PAK-Belastung in relevanter Weise. Ein Zusammenhang zwischen diesen Quellen und der Krebshäufigkeit ist epidemiologisch gesichert. Dagegen tragen Pneumabrieb, Gummikabel oder teerhaltige Parkettkleber nur unwesentlich zur PAK-Belastung einer Person bei. Diese Quellen stellen daher kein Gesundheitsrisiko dar.

Ob durch Hautkontakt mit PAK-haltigen Gebrauchsgegenständen eine Gesundheitsgefährdung resultieren kann, wird gegenwärtig abgeklärt und kann noch nicht abschliessend beurteilt werden (BfR, 2009).

Zum jetzigen Zeitpunkt existieren in der EU, ausser bei den Weichmacherölen, keine verbindlichen Grenzwerte für die Verminderung der PAK Belastung von Verbraucherprodukten. Aus diesem Grund hat Deutschland ein Beschränkungsossier nach der Europäischen Chemikalienverordnung REACH erarbeitet und dieses 2010 der Europäischen Kommission übergeben. Deutschland schlägt in diesem Dossier eine EU-weite Beschränkung der Verwendung und Vermarktung von PAK-belasteten Produkten vor.

### **Vorbeugen kann jeder**

Niemand riskiert eine Gesundheitsgefährdung durch die unumgängliche Hintergrundbelastung der Umwelt und der Nahrungsmittel mit PAK. Jeder Einzelne kann aber seine Zusatzbelastung einschränken, indem er aufs Rauchen verzichtet und geräucherte oder grillierte Fleisch- und Fischwaren massvoll konsumiert.

### **Quellen**

BfR, 2009

[PAK in verbrauchernahen Produkten sollten so weit wie möglich minimiert werden](#)

BfR, 2010

[Krebserzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe \(PAK\) in Verbraucherprodukten sollen EU-weit reguliert werden – Risikobewertung des BfR im Rahmen eines Beschränkungs-vorschlages unter REACH](#)

EFSA, 2008

[Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food \[1\] - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain](#)

IARC, 2010

[Air Pollution, Part 1, Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Industrial Exposures](#)

### **Für weitergehende Fragen**

- Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Chemikalien, 3003 Bern  
Tel: +41 31 322 96 40, Email: [bag-chem@bag.admin.ch](mailto:bag-chem@bag.admin.ch)