



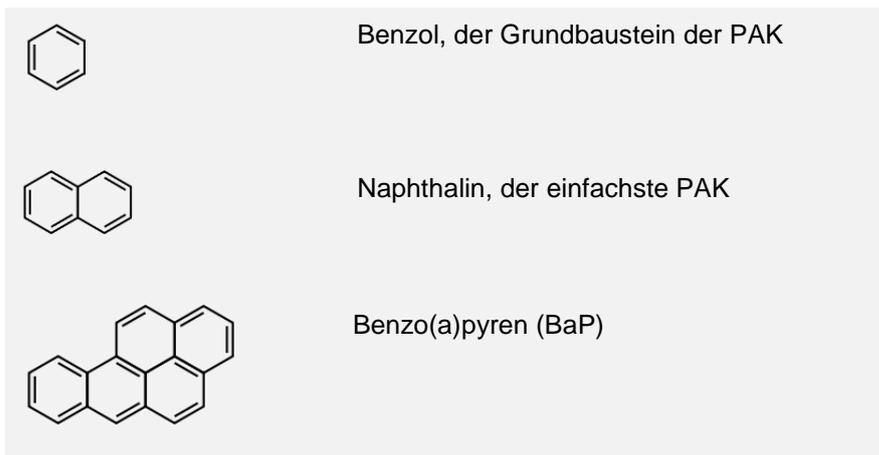
Oktober 2020

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Wo immer organisches Material verbrannt wird, sei es beim Rauchen, beim Autofahren oder 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 jedoch für den Menschen kein Gesundheitsrisiko 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.



Figur 1. Strukturformeln von Benzol und bestimmten **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen**

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 entwicklungsschädigend angesehen wird.

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 Lebensmitteln können sich beträchtliche Mengen an PAK aus Verbrennungsprozessen anreichern, beispielsweise beim Verarbeiten von Getreideprodukten und Pflanzenölen und beim Räuchern oder Grillieren von Fleischwaren und Fisch.

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.

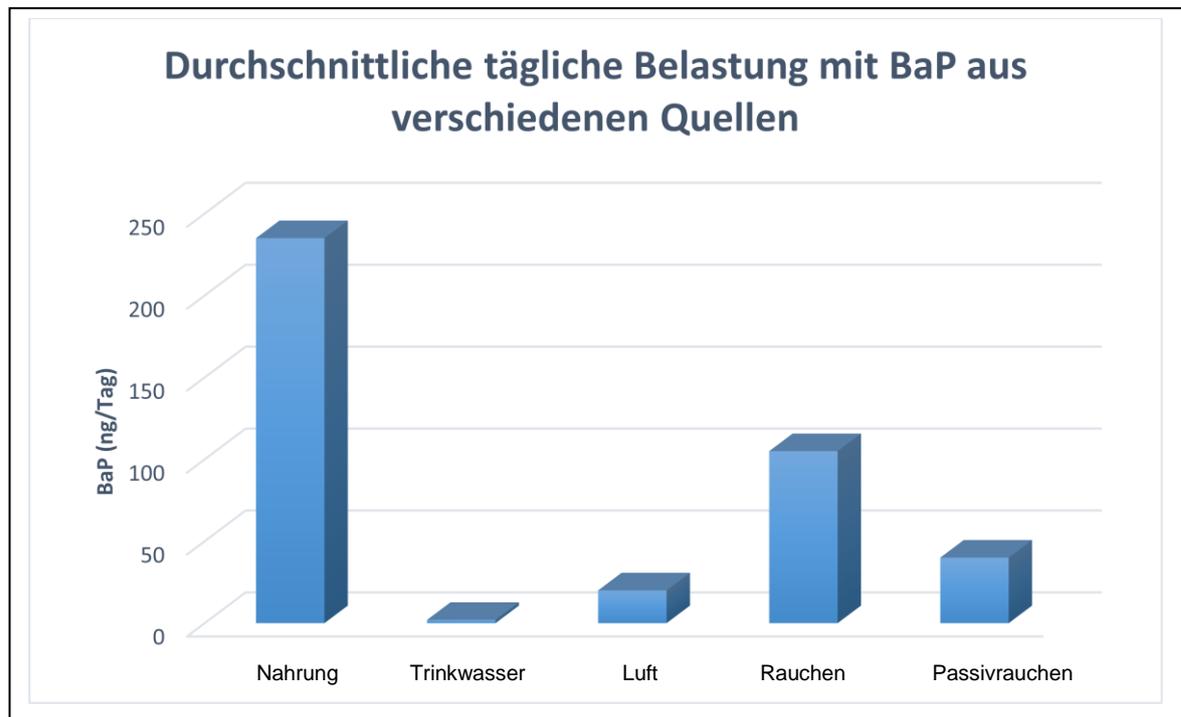
Viele Wege führen in den Körper

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, durch 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 Konsumentinnen und 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 eingeatmeten PAK stammen hauptsächlich aus Tabakrauch (Figur 2). Ein Raucher nimmt bei 20 Zigaretten pro Tag durchschnittlich 105 ng Benzo(a)pyren/Tag auf, ein Passivraucher bei einer Exposition von fünf Stunden 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 stammen die PAK grösstenteils aus Autoabgasen (hauptsächlich von Dieselmotoren) und zu einem geringen Anteil aus dem Abrieb von Autoreifen. Auch Kunstrasen mit Granulat aus alten Autoreifen kann die Luft von Sportzentren sehr geringfügig mit PAK belasten (siehe Faktenblatt Kunstrasen). 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 (EFSA, 2008).

Schliesslich kann auch über den Hautkontakt PAK in den Körper gelangen. Auf diesem Weg können PAK-haltige Staubpartikel, mit Teeröl-behandeltes Holz oder Gebrauchsgegenstände wie Werkzeuggriffe oder Gummischuhe zur PAK-Belastung des Körpers beitragen. Zahlen zur PAK-Aufnahme über die Haut liegen derzeit noch nicht vor, diese ist jedoch im Vergleich zur oralen Aufnahme gering.



Figur 2. Durchschnittliche tägliche Aufnahme von Benzo(a)pyren aus verschiedenen Quellen (EFSA 2008)

Nachweis und Einstufung

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 Umweltbehörde EPA 16 dieser Verbindungen in die Liste der wichtigsten Umweltschadstoffe aufgenommen. Diese Liste ist Teil des «Clean Water Act», mit dem die industrielle Abgabe von Schadstoffen in nationale Gewässer reguliert und Standards für die Qualität von Oberflächengewässern festgelegt werden ([Priority Pollutants](#), siehe Tabelle 1).

Normalerweise werden mit den Analysen nur die 16 PAK der EPA-Liste oder die acht in Europa und in der Schweiz regulierten PAK erfasst. 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. Gemäss EFSA ist Benzo(a)pyren allein dagegen kein guter Indikator für die Belastung von Lebensmitteln mit krebserregenden PAK. Die zuverlässigsten Ergebnisse liefert die quantitative Bestimmung einer Gruppe von vier oder acht verschiedenen PAK. Je nach Fragestellung werden auch andere relevante Untergruppen der PAK analytisch erfasst. Die International Agency for Research on Cancer (IARC) hat 16 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.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA schätzt 8 PAK als krebserregend für den Menschen ein, 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 gegenwärtig acht PAK als krebserregend der Kategorie 1B und ein PAK als krebserregend der Kategorie 2 eingestuft. Stoffe und Zubereitungen müssen daher gemäss Anhang XVII der REACH Verordnung (Verordnung (EG) 1907/2006) als krebserzeugend gekennzeichnet werden. Falls die Konzentration dieser 8 PAK einen bestimmten Grenzwert überschreitet, dürfen die Gegenstände und Zubereitungen nicht an die Allgemeinheit verkauft werden (siehe nächster Abschnitt mit den jeweiligen gesetzlichen Regelungen in der Schweiz und den entsprechenden Grenz- und Richtwerten).

Tabelle 1. Wichtige Vertreter der PAK, gelistet nach unterschiedlichen Kriterien

Bezeichnung	CAS-Nummer	Krebserregend beim Menschen nach IARC, 2016	Priority Pollutants gemäss US EPA	PAH8, Indikatoren für das Vorkommen von PAK in Lebensmitteln EFSA, 2008	Harmonisierte Einstufung gemäss Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008	Karzinogenität gemäss C&L Inventory Database (Selbsteinstufung) der ECHA
Benzo(a)pyren	50-32-8	1	X	X	X (Carc.1B)	
Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	2A	X	X	X (Carc.1B)	
Benz(a)anthracen	56-55-3	2B	X	X	X (Carc.1B)	
Benzo(b)fluoranthen	205-99-2	2B	X	X	X (Carc.1B)	
Benzo(j)fluoranthen	205-82-3	2B			X (Carc.1B)	
Benzo(k)fluoranthen	207-08-9	2B	X	X	X (Carc.1B)	
Benzo(e)pyren	192-97-2	3			X (Carc.1B)	
Chrysen	218-01-9	2B	X	X	X (Carc.1B)	
Indeno(1,2,3,c,d)pyren	193-39-5	2B	X	X		Carc. 2
Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	3	X	X		nicht karzinogen
Cyclopenta(c,d)pyren	27208-37-3	2A				nicht gelistet
Dibenzo(a,l)pyren	191-30-0	2A				Carc. 1B
Dibenzo(a,i)pyren	189-55-9	2B				Carc. 2 (23 Meldende) oder Carc.1B (4) oder nicht eingestuft (3)
5-Methylchrysen	3697-24-3	2B				Carc. 2 (23 Meldende) oder Carc.1B (7) oder nicht eingestuft (3)
Dibenzo(a,h)pyren	189-64-0	2B				Carc.1B (11 Meldende) oder Carc. 2 (1) oder nicht eingestuft (3)
Naphthalin	91-20-3	2B	X		X (Carc. 2)	
Benz(j)aceanthrylen	202-33-5	2B				nicht gelistet
Benzo(c)phenantren	195-19-7	2B				nicht karzinogen (26 Meldende) oder Carc.2 (7)
Anthracen	120-12-7	3	X			nicht karzinogen (373 Meldende), Carc.2 (1)
Acenaphten	83-32-9	3	X			nicht karzinogen
Fluoranthen	206-44-0	3	X			nicht karzinogen
Fluoren	86-73-7	3	X			nicht karzinogen
Phenantren	85-01-8	3	X			nicht karzinogen (442 Meldende), Carc.2 (2)
Pyren	129-00-0	3	X			nicht karzinogen
Acenaphthylene	208-96-8	-	X			nicht karzinogen

Einstufung nach IARC:

Gruppe 1: karzinogen für Menschen
 Gruppe 2A: wahrscheinlich karzinogen
 Gruppe 2B: möglicherweise karzinogen
 Gruppe 3: nicht eingestuft (mögliche, aber unzureichend untersuchte karzinogene Wirkung beim Menschen)

Einstufung der ECHA und der Schweiz (gemäss CLP):

Carc. 1A: Stoffe, die bekanntermassen beim Menschen karzinogen sind
 Carc. 1B: Stoffe, die wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind
 Carc. 2: Stoffe mit Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen

Verschiedene Massnahmen schränken die Belastung ein

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

- **Die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81)**
 - Anhang 2.9, Kapitel 2 Verbote, Absatz d und e, untersagt das Inverkehrbringen und die Verwendung von Weichmacherölen für die Herstellung von Reifen oder Reifenbestandteilen, wenn diese Öle enthalten: mehr als 1 mg Benzo[a]pyren je Kilogramm, oder zusammengerechnet mehr als 10 mg je Kilogramm der folgenden PAK:
 - Benzo[a]pyren (CAS-Nr. 50-32-8),
 - Benzo[e]pyren (CAS-Nr. 192-97-2),
 - Benzo[a]anthracen (CAS-Nr. 56-55-3),
 - Chrysen (CAS-Nr. 218-01-9),
 - Benzo[b]fluoranthren (CAS-Nr. 205-99-2),
 - Benzo[j]fluoranthren (CAS-Nr. 205-82-3),
 - Benzo[k]fluoranthren (CAS-Nr. 207-08-9),
 - Dibenzo[a,h]anthracen (CAS-Nr. 53-70-3).
 - Anhang 2.9, Kapitel 2 Verbote, Absatz e^{bis} untersagt das Inverkehrbringen von Gegenständen, die ganz oder teilweise aus Kunststoffen bestehen, die mehr als 1 mg eines PAK je Kilogramm Kunststoff enthalten, wenn die Gegenstände für die breite Öffentlichkeit bestimmt sind und ein PAK enthaltender Bestandteil bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung des Gegenstands unmittelbar, länger oder wiederholt für kurze Zeit mit der menschlichen Haut oder der Mundhöhle in Berührung kommt. Dies gilt insbesondere für:
 - Sportgeräte wie Fahrräder, Golfschläger, Schläger,
 - Haushaltsgeräte, mit Rädern versehene Wagen, Laufhilfen,
 - Werkzeuge für den privaten Gebrauch,
 - Bekleidung, Schuhe, Handschuhe und Sportbekleidung sowie
 - Uhrenarmbänder, Armbänder, Masken, Stirnbänder.
 - Die ChemRRV legt auch die Grenzwerte und Richtwerte zum Gehalt von PAK oder Benzo(a)pyren in Holzschutzmitteln, Kompost und Gärgut sowie teerhaltigen Zubereitungen fest.
- **Die Verordnung des EDI über die Sicherheit von Spielzeug (VSS, SR 817.023.11)** legt für den Gehalt an PAK in Spielzeugen einen Grenzwert von 0,5 mg/kg fest.
- **Die Verordnung über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV SR 817.022.11)**, sie schreibt für Trinkwasser einen Höchstwert von 0,01 µg/l für Benzo[a]pyren sowie 0.1 µg/l für die Summe von Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[ghi]perylen und Indeno[1,2,3-cd]pyren vor.
- **Der Anhang 6 der Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten (Kontaminantenverordnung, VHK SR 817.022.15)**, er regelt Benzo[a]pyren sowie die Summe von Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen in verschiedenen Lebensmitteln.
- **Die Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)** regelt den PAK-Gehalt im Grundwasser, das für die Verwendung als Trinkwasser vorgesehen ist.
- **In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1)** sind Einschränkungen für die Emission von krebserzeugenden Stoffen der Kat. 1 (wie Benzo(a)pyren) zu finden.

- **In der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo, SR 814.12)** sind Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für PAK und Benzo(a)pyren für Böden, Nutzflächen, Gärten und Spielplätze festgelegt.

Schlussfolgerung

Die Gesetzesvorschriften beschränken die PAK-Konzentrationen in gewissen Verbraucherprodukten, in Lebensmitteln und in der Umwelt wirksam auf ein Restniveau, sodass das Risiko verschwindend klein ist.

Für Personen mit durchschnittlichen Essgewohnheiten besteht ein grosser Abstand (MOE, Margin of Exposure) zwischen der PAK-Dosis, die bei Versuchstieren zu Krebs führte und der Dosis, die mit der Nahrung aufgenommen wird. Für diese Menschen stellen PAK in der Nahrung bei normalen Essgewohnheiten kein Gesundheitsrisiko dar. Lediglich bei Personen, die extrem viel Cerealien und geräucherte oder gegrillte Produkte verzehren, liegt der MOE in einem kritischen Bereich. 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 Häufigkeit von gewissen Krebserkrankungen ist epidemiologisch gesichert. Dagegen tragen Pneuabrieb, Gummikabel oder alte teerhaltige Parkettkleber nur unwesentlich zur PAK-Belastung einer Person bei. Diese Quellen stellen daher kein Gesundheitsrisiko dar.

Vorbeugen kann jeder

Eine Gesundheitsgefährdung durch die unumgängliche Hintergrundbelastung der Umwelt und der Lebensmittel mit PAK ist sehr unwahrscheinlich. Jeder Einzelne sollte durch entsprechendes Verhalten versuchen, eine zusätzliche Belastung mit diesen giftigen Stoffen zu vermeiden, indem er sich diesen möglichst selten aussetzt.

Quellen

BAG, 2016 Faktenblatt Kunstrasen

<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/03458/index.html?lang=de>

IARC, 2010

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

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](#)

Für weitergehende Fragen

Bundesamt für Gesundheit, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Abteilung Chemikalien, bag-chem@bag.admin.ch