

Raumluftbelastung mit polycyclischen
aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH)
bei Verwendung von Asphaltfußboden-
platten

T 2241

T 2241

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

RAUMLUFTBELASTUNG MIT POLYCYCLISCHEN AROMATISCHEN
KOHLENWASSERSTOFFEN (PAH) BEI VERWENDUNG VON ASPHALT-
FUSSBODENPLATTEN

Endbericht

Dipl.-Ing. M. Luther und Dr.-Ing. H.-J. Moriske
Institut für Hygiene der Freien Universität Berlin
(Direktor: Prof. Dr. med. H. Rüden)

1. Aufgabenstellung und Zielsetzung
2. Material und Methoden
 - 2.1 Asphaltbodenplatten
 - 2.1.1 Arten und Inhaltsstoffe
 - 2.1.1.1 Naturasphalt
 - 2.1.1.2 Bindemittel
 - 2.1.1.2.1 Steinkohlenteer-Weichpech
 - 2.1.1.2.2 Bitumen
 - 2.1.2 Produktion und Anwendung von Asphaltbodenplatten
 - 2.1.3 Einsatz von Asphaltbodenplatten in Berlin
 - 2.2 Probennahmeorte
 - 2.3 Luftwechselzahl
 - 2.4 Staubsammlung
 - 2.4.1 Geräte
 - 2.4.2 Extraktionsverfahren
 - 2.4.2.1 Staubmassen und etherextrahierbare organische Masse
 - 2.4.2.2 Extraktion der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)
 - 2.4.2.3 Bestimmung der PAH mittels Gaschromatographie (GC)
 - 2.4.2.4 Bestimmung der Wiederfindungsrate
 - 2.5 Sonderversuche
 - 2.5.1 Erhöhung der Raumlufttemperatur
 - 2.5.2 Erhöhung der relativen Feuchte
3. Ergebnisse
 - 3.1 Feldversuche
 - 3.1.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)
 - 3.1.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
 - 3.1.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
 - 3.1.2.2 Prozentuale Verteilung
 - 3.1.2.3 Vergleich der Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH

- 3.2 Sonderversuche
 - 3.2.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)
 - 3.2.2 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
 - 3.2.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)
 - 3.2.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)
 - 3.2.2.2 Prozentuale Verteilung
 - 3.2.2.3 Vergleich der Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH

- 4. Diskussion
 - 4.1 Feldversuche
 - 4.1.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)
 - 4.1.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)
 - 4.1.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
 - 4.1.2.2 Prozentuale Verteilung
 - 4.1.2.3 Vergleich des Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH
 - 4.2 Sonderversuche
 - 4.2.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)
 - 4.2.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)
 - 4.2.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
 - 4.2.2.2 Prozentuale Verteilung
 - 4.2.2.3 Vergleich des Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH

- 5. Schlußbetrachtung
 - 5.1 Bitumen und Teer
 - 5.2 Einsatz von Homogen- und Hochdruckplatten
 - 5.3 Weiterführende Untersuchungen

- 6. Zusammenfassung

- 7. Tabellen

- 8. Abbildungen

1. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Neben anderen Materialien (z. B. Linoleum, PVC) werden für Fußböden auch Asphaltplatten verwendet. Asphaltplatten enthalten polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) in unterschiedlichen Konzentrationen (Abb. 1), denen zum Teil eine gesundheitsgefährdende Bedeutung zukommt.

Bei stichprobenartigen Messungen, die vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (WaBoLu, Prof. Dr. Seifert) in Räumen des Bundesgesundheitsamtes (BGA), in denen Homogenplatten verlegt worden waren, durchgeführt waren, zeigten sich erhöhte Werte von Benzo(a)pyren (bis 16 ng/m^3). Die Werte waren im Vergleich zu den Außenluftwerten 4 bzw. 11 mal so hoch (2 Meßtage).

Aufgrund der angenommenen weiten Verbreitung von Asphalt-Fußboden-Platten und der gesundheitsschädigenden Wirkung von Benzo(a)pyren und von anderen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) sollte eine größere Zahl von Messungen durchgeführt werden - gemäß Auftrag des Instituts für Bautechnik.

Ziel der Untersuchung ist es,

- 1) in verschiedenen Räumen die Raumluftbelastung mit PAH, die möglicherweise von Asphalt-Fußboden-Platten emittiert werden, festzustellen,
- 2) Asphaltplatten unterschiedlicher Zusammensetzung (Homogen- und Hochdruckplatten) bezüglich ihrer PAH-Emission zu vergleichen und
- 3) an einem Meßstandort mit Homogenplatten eine mögliche Beeinflussung des PAH-Emissionsverhaltens durch Variation von Raumluftparametern (Raumlufttemperatur, rel. Raumluftfeuchte) zu untersuchen.

2. Material und Methoden

2.1 Asphaltbodenplatten

2.1.1 Arten und Inhaltsstoffe

Asphaltbodenplatten bestehen aus Naturasphaltrohmehl und einem Bindemittel. Bei Homogenplatten ist das Bindemittel Steinkohlenteer-Weichpech, bei Hochdruckplatten Bitumen. Beide Plattenarten werden in erwärmtem Zustand unter sehr hohem Druck gepreßt.

Folgende Synonyme werden verwendet:

- Homogen-Asphaltplatte = mineralölfeste Hochdruck-Asphaltplatte = Steinkohlenteerpechplatte
- Hochdruck-Asphaltplatte = Hochdruck-Asphaltplatte bitumengebunden = Stampfasphaltplatte
- Steinkohlenteer-Weichpech = Carbomasse

2.1.1.1 Naturasphalt

Asphalt ist ein Gemisch aus Bitumen und Mineralstoffen. Dieses Gemisch kann künstlich hergestellt werden oder auch natürlich - als Naturasphalt - vorliegen. Das Bitumen der Naturasphalte ist durch Verdunstung leichter flüchtiger Erdölbestandteile entstanden. In Deutschland wird Naturasphalt bei Vorwohle-Eschershausen abgebaut. Die Asphaltlager bei Vorwohle-Eschershausen enthalten 4-6% Bitumen (5). Das Begleitgestein ist an diesem Ort Kalkstein.

2.1.1.2 Bindemittel

2.1.1.2.1 Steinkohlenteer-Weichpech

Bei der Verkokung von Steinkohle erhält man als ein Endprodukt Steinkohlenteer mit ca. 3 Gew.%. Man unterscheidet zwischen Tieftemperaturverkokung (Schwelung) und Hochtemperaturverkokung. In der Bundesrepublik Deutschland fallen 96% des Steinkohlenteers

in Kokereien und 4% in Gaswerken an (15). Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Teer aus der Hochtemperaturverkokung (Hochtemperaturteer).

Nach einer fraktionierten Destillation des Steinkohlenteers bleibt als Destillationsrückstand 45% bis 65 % Pech (4) übrig, das sogenannte Steinkohlenteer-Pech. Steinkohlenteer-Weichpech hat eine Erweichungstemperatur von 45 bis 50°C (10).

Das Steinkohlenteer-Weichpech in den Homogenplatten stammt aus der Hochtemperaturverkokung.

2.1.1.2.2 Bitumen

Nach der Destillation des Rohöls bei atmosphärischem Druck und einer nochmaligen Destillation bei vermindertem Druck bleibt als Rückstand Bitumen zurück. Je nach der Menge der abgetrennten schweren Destillate hat das Bitumen eine unterschiedliche Härte (6).

Zu Bitumen im weitesten Sinn sind auch die in geologischen Zeiträumen aus Erdöl gebildeten Bestandteile von Naturasphalt zu rechnen (1).

2.1.2 Produktion und Anwendung von Asphaltbodenplatten

Asphaltplatten werden seit über 100 Jahren industriell gefertigt. In der Bundesrepublik Deutschland stellt z. Zt. nur ein Produzent Asphaltplatten (Fa. DASAG) her; das Hauptwerk in Eschershausen liegt in der Region des größten deutschen Vorkommens des Naturasphalts, dem Vorwohlener Naturasphalt. Seit über 70 Jahren werden dort Asphaltplatten produziert; die Zusammensetzung der Platten hat sich nach Herstellerangaben in den letzten 20 Jahren nicht geändert.

Es werden folgende Plattenarten angeboten und ihre Einsatzorte wie folgt beschrieben:

- Säurefeste Asphaltplatten für trockene Räume, in denen Säuren, Laugen und Salze auf den Boden gelangen können.

- Elektrisch leitfähige Hochdruck-Asphaltplatten, z. B. für Computerräume und Verteileranlagen (z. B. bei der Bundesbahn und -post).
- Homogen-Asphaltplatten für trockene Räume, in denen Mineralöl oder Benzin auf den Boden gelangen kann, z. B. in Werkstätten und Produktionshallen.
- Hochdruck-Asphaltplatten für trockene Räume wie z. B. Lagerhallen, Messehallen, Bahnhofshallen, Pakethallen und Markthallen.

Daneben gibt es noch Terrazzo-Asphaltplatten. Da aber ihre Oberfläche nicht aus emissionsverdächtigem, organischem Material besteht, wird auf diese Plattenart nicht weiter eingegangen.

Bei allen Platten, mit Ausnahme der Homogenplatten, ist Bitumen das Bindemittel.

Der Anteil der Homogenplatten an der Gesamtproduktion von Asphaltplatten beträgt in den letzten Jahren konstant ein Sechstel (Herstellerangaben). Homogenplatten werden derzeit zum Teil durch Hochdruckplatten verdrängt, da durch bessere Ölaufangvorrichtungen an Maschinen kaum noch Öl auf den Boden gelangt. Die Hauptabnehmer für große Mengen an Homogenplatten sind die Schwer- und die Gummiindustrie.

Die Haltbarkeit von Asphaltplatten wird vom Hersteller mit über 50 Jahren angegeben.

2.1.3 Einsatz von Asphaltbodenplatten in Berlin

Neben einigen Standorten im BGA wurden weitere Probennahmeorte mit Homogen- und Hochdruckplatten in Berlin ermittelt.

So wurden bei den nachfolgenden Verwaltungen bzw. Betrieben angefragt:

Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen (SenBauWohn),
 Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
 Landespostdirektion,
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
 Technische Universität Berlin (TU),
 Freie Universität Berlin (FU),
 Technische Fachhochschule Berlin (TFH).

Es ergab sich folgender Sachstand:

SenBauWohn: Der Ausstellungsraum der Abgußsammlung antiker Plastik am Schloß Charlottenburg ist mit Hochdruckplatten ausgelegt.

BVG: Auf Bahnhöfen und Bahnhofs-Nebenräumen werden nur Asphalt-Terrazzoplatten verwendet, im Werkstattbereich wurden nur zwei Standorte ermittelt.

Im Autobus-Betriebshof Zehlendorf wurden in der Autobus-Werkstatthalle die Umgrenzungen der Montagegruben mit Homogenplatten ausgelegt. Da die Fläche der verlegten Homogenplatten an der Gesamtfläche der Halle einen Anteil von unter 10% ausmacht und durch das Laufenlassen der Dieselmotoren eine starke PAH-Belastung zu erwarten ist, war eine Messung in diesem Bereich nicht sinnvoll.

Beim zweiten Standort handelt es sich um das BVG-Betriebsgelände Seestraße. In der dortigen Betriebswerkstatt mit 11.000 m² wurde zu Testzwecken eine 225 m² große Fläche mit Homogenplatten ausgelegt. Nach Auskunft eines dortigen Mitarbeiters sind diese Platten schon vor 1970 verlegt worden und haben sich nicht bewährt. Die Oberfläche dieser Platten ist sehr verwittert, die Platten sind zum Teil zerbrochen. Bei der übrigen Fußbodenfläche handelt es sich um gegossenen Kunststoffboden. Aufgrund des geringen Anteils der Asphaltbodenflächen an der Gesamtfläche und der Art der durchgeführten Arbeiten (Neulackierungen von U-Bahnwaggonen) waren Messungen hier nicht sinnvoll. In der zweiten Werkhalle auf diesem Gelände, einer Betriebswerkstatt mit 6000 m², wurde vor 15 Jahren der Fußboden außerhalb der Montagegruben (ca. 3000 m²) mit Homogenplatten ausgelegt. In der Betriebswerkstatt werden kleinere Reparaturen an U-Bahnwaggonen durchgeführt. Auch hier ist eine Messung wegen anderer Emittenten nicht sinnvoll.

Post: Nach Angabe der Landespostdirektion befinden sich im Postamt 11 mehrere Räume mit Hochdruckplatten. Bis auf einen Umkleideraum sind diese Platten in Verteilungshallen, deren große Verladetore während der Betriebszeit offenstehen, so daß eine Messung nicht sinnvoll erscheint.

BAM: Laut Auskunft der Liegenschaftsverwaltung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, die sich mit der Bauleitung in Verbindung setzte, befinden sich in der BAM keine Räume mit Asphaltbodenplatten, bzw. der Asphaltplatten-Fußboden in der Feinmechanik-Werkstatt ist mit einem anderen Bodenbelag überdeckt worden.

TU: Die von dem Baureferat der TU angegebenen 6 Standorte mit Asphaltbodenplatten waren bei einer Besichtigung entweder mit anderen Materialien überdeckt oder inzwischen entfernt worden.

FU: Laut Auskunft der Bauleiterkonferenz der FU gibt es mehrere Standorte von Hochdruckplatten in Gebäuden der FU. Nach einer Besichtigung konnte dies für folgende drei Standorte verifiziert werden. Ein Treppenabsatz (20 m^2) im Gebäude der Theaterwissenschaften, der Sektionsraum im Gebäude der Veterinärmedizin und das Physikgebäude in der Arnimallee, in dem die Lager- und Werkstatt Räume im gesamten ebenerdigen Bereich mit Hochdruckplatten ausgelegt waren; ein Teil dieser Räume im Physikgebäude weist inzwischen einen anderen Bodenbelag auf.

TFH: Die Asphaltbodenplatten in der TFH verteilen sich auf zwei Gebäude. Im Haus Gauß ist ein großes Werkstattlabor, im Haus Bauwesen sind die Geschossflächen fast ausschließlich mit Hochdruckplatten belegt.

Der Anteil an Homogenplatten in Berlin ist sehr gering, laut Auskunft der Fa. DASAG sind in den letzten fünf Jahren in Berlin nur zwei Aufträge erteilt worden. Die erste Lieferung betrifft den Betriebshof Zehlendorf (s.o.), die zweite Lieferung (34 m^2 , 1984) konnte nicht mehr zurückverfolgt werden. Es konnten deshalb keine neuverlegten Homogenplatten untersucht werden.

2.2 Probennahmeorte

Die Übersicht zeigt, daß besonders die Asphalt-Hochdruckplatten, aber auch die Asphalt-Homogenplatten in Berlin nicht in großem Umfang verlegt worden sind und daß bei den "positiven" Standorten vielfach Messungen zum exakten Emissionsverhalten durch äußere

Aspekte beeinträchtigt wurden oder wegen möglicher Quereinflüsse nicht sinnvoll erschienen.

Aus den zur Verfügung stehenden Standorten wurden folgende Probennahmeorte ausgewählt:

Homogenplatten:

- Standort 1.1: BGA, Haus 10, Lagerraum, 42 m², 106 m³, Luftwechselzahl = 0,32 h⁻¹, Alter der Platten: 14 Jahre, 5 Meßtage, (Juni 1989).
- Standort 1.2: BGA, Haus 18, Lagerraum R.3, 6 m², 21 m³, Luftwechselzahl = 0,56 h⁻¹, Alter der Platten: 4 Jahre, 5 Meßtage. (Juni 1989)
- Standort 1.3: TFH, Haus Gauß, Werkstatt L23, 800 m², 4000 m³, Alter der Platten: 25 Jahre, 4 Meßtage (August 1989). (Eine eingesandte Probe dieser Platte wurde vom Labor der Fa. DASAG mit hoher Wahrscheinlichkeit als Homogenplatte bestimmt.)

Hochdruckplatten:

- Standort 2.1: TFH, Haus Bauwesen, EDV-Raum E36, 225 m², 675 m³, Alter der Platten: 14 Jahre, 4 Meßtage (August 1989).
- Standort 2.2: Physikgebäude Arnimallee, Materiallager und Werkstatt, Raum -1.1.21, 100 m², 300 m³, Luftwechselzahl = 2 h⁻¹ bis 3 h⁻¹, Alter der Platten: 6 Jahre, 3 Meßtage (Juli 1989).
- Standort 2.3: Postamt 11, Umkleideraum, Raum 260, 60 m², 200 m³, Alter der Platten über 20 Jahre, 3 Meßtage (Juli 1989).
- Standort 2.4: Abgußsammlung antiker Plastik, Ausstellungsraum, 800 m², 2720 m³, Alter der Platten: 1 Jahr, 4 Meßtage (Ende Oktober 1989).

Außenluftmessungen:

- Standort 1.1 und 1.2: BGA-Gelände, ca. 20 m von der Straße (Thielallee) entfernt.
- Standort 1.3 und 2.1: Innenhof vom Haus Bautechnik, ohne Kfz.-Verkehr.
- Standort 2.2: Innenhof Physikgebäude Arnimallee, häufiger Lkw-Anlieferverkehr.
- Standort 2.3: Dach des Postamts 11, nahe dem sehr stark befahrenen Innenhof (Post-Lkw).
- Standort 2.4: Innenhof Abgußsammlung, kein Kfz.-Verkehr in der näheren Umgebung.

2.3 Luftwechselzahl

Die Bestimmung der Luftwechselzahlen wurde von WaBoLu durchgeführt (Herr Dr. Wegner und Herr Schlüter).

2.4 Staubsammlung

2.4.1 Geräte

Die Staubsammelgeräte (KleinfILTERpumpen) wurden von Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (WaBoLu) des Bundesgesundheitsamtes zur Verfügung gestellt. Drei der Geräte hatten eine Leistung von 2,4 m³/h bis 2,5 m³/h, ein viertes eine Leistung von 1,6 m³/h. Als Filter wurden Glasfaserfilter der Fa. Schleicher und Schuell, Ref. Nr. 370 302, Faserdicke von 9,5 µm bis 1,4 µm, Porengröße von 0,3 µm bis 1,0 µm, benutzt.

Eine versuchsweise Beschränkung der Sammelzeit auf 8 Stunden (Arbeitstag) erbrachte eine zu geringe Staubmasse. Die Sammelzeit pro Probennahme und Filter wurden auf jeweils 23 Stunden festgesetzt, und es wurden pro Probennahmeort über 3-5 Tage 3-5 Proben gezogen. Parallel zur Innenluft wurde in der unmittelbaren Umgebung eine Referenzmessung der Außenluft durchgeführt.

2.4.2 Extraktionsverfahren

PAH liegen nicht gasförmig in der Luft vor, sondern lagern sich sofort nach ihrer Emission aufgrund ihres Dampfdruckverhaltens an Schwebstaubpartikel an. Zur Bestimmung der PAH ist es notwendig, den Schwebstaub zu sammeln und die PAH zu extrahieren.

Die Extraktion der Staubmassen und ihrer Fraktionen erfolgte nach der von Moriske (13) entwickelten Methode (Abb. 2).

2.4.2.1 Staubmasse und etherextrahierbare Masse (EEOM)

Die Differenz zwischen dem Gewicht des zuvor konditionierten, trocknen unbeladenen Filters und des trocknen beladenen Filters ergab die Staubmasse.

Die beladenen Filter wurden zweimal mit Diethylether-Cyclohexan (4:1, V/V) im Ultraschallbad extrahiert. Der Diethylether-Cyclohexan-Extrakt wurde durch ein Glasfilter (Porosität 4, Porengröße max. 16 µm) filtriert. Danach wurde er im Rotationsverdampfer im Wasserbad (30°C) unter Unterdruck auf ca.

1-2 ml eingeengt und in Wägegläschen überführt. Die danach bei ca. 22°C und ohne Unterdruck im Exsikkator getrockneten Proben wurden gewogen, die Differenz zum leeren Gläschen ergab die etherextrahierbare organische Masse (EEOM).

Ein Kontrollversuch, bei dem 5 leere Filter extrahiert wurden, ergab keinen gravimetrischen Blindwert der EEOM.

2.4.2.2 Extraktion der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)

Die EEOM wurde in max. 0,5 ml Fließmittel (s.u.) aufgenommen und mit einer Kapillare auf eine vorgereinigte Dünnschichtplatte (Merck Nr. 5721) aufgetragen. Als Fließmittel wurde ein Lösungsmittelgemisch von Benzol, Cyclohexan, n-Hexan und Toluol verwendet (ml:52:36:8:4, V/V).

Die PAH-Zone wurden unter UV-Licht auf den Dünnschichtplatten markiert. Die PAH aus dem Kieselgel der Dünnschichtplatten wurden abgeschabt, die Dünnschichtzonen mit Cyclohexan und Aceton nachgespült; das abgeschabte Kieselgel wurde zweimal im Ultraschallbad mit Diethylether-Cyclohexan extrahiert und wie oben beschrieben filtriert, eingeengt und in Wägegläschen überführt. Eine genaue Beschreibung der Methodik findet sich an anderer Stelle (13).

2.4.2.3 Bestimmung der PAH mittels Gaschromatographie (GC)

Es wurde ein Perkin-Elmer Gaschromatograph (Modell Sigma 300) mit einer hochauflösenden Kapillarsäule (Chrompack Nr. 6046, belegt mit Dimethylphenylsilikon SE-54) verwendet. Die Temperatur des Injektors betrug 250°C, die Temperatur des Detektors 300°C. Die Temperatur des Säulenofens wurde 2 Minuten auf 100°C gehalten und dann um 6°C/min bis auf 260°C gesteigert. Als innerer Standard wurde 4-Azafluoren zugesetzt.

Die Proben wurden auf folgende 15 PAH untersucht: Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(b)fluoren, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(e)pyren,

Benzo(a)pyren, Perylen, Indeno(1.2.3-c.d)pyren,
Dibenzo(a.h)anthracen, Dibenzo(a.c)anthracen, Benzo(g.h.i)perylene.
Die untere Nachweisgrenze der PAH beträgt je nach Substanz 0,01
bis 0,1 ng/m³.

2.4.2.4 Bestimmung der Wiederfindungsrate

An einen Innenluftstandort wurden 6 Staubproben gesammelt, die absolute Staubmenge pro Filter reichte von 0,59 mg bis 6,78 mg, die Staubkonzentration betrug 9,9 µg/m³ bis 117,4 µg/m³ bei einem Sammelvolumen von 54 bis 65 m³. Die Filter wurden halbiert und auf jeweils eine Hälfte jedes Filters ein Gemisch von 10 PAH aufgebracht. Die verbleibende Filterhälfte wurde zusammen mit der mit PAH beaufschlagten Filterhälfte extrahiert, und in beiden Proben wurden die PAH-Konzentrationen bestimmt. Die Differenz der ermittelten PAH-Massen ergibt die Wiederfindungsrate der zugesetzten PAH pro Filter. Es sollte so die PAH-Wiederfindungsrate durch die gesamte Extraktionsprozedur ermittelt werden.

Das PAH-Gemisch bestand aus 10 folgenden, in Benzol gelösten PAH: Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Perylen, Indeno(1.2.3-c.d)pyren, Dibenzo(a.h)anthracen, Benzo(g.h.i)perylene.

Die auf eine Filterhälfte aufgebrachte Menge der einzelnen PAH reichte von 456 ng bis 632 ng. Auf das Luftvolumen umgerechnet ergibt sich eine zugesetzte Konzentration der einzelnen PAH von ca. 20 ng/m³. Die Gesamtmenge der zugesetzten PAH betrug 5492 ng.

Die 12 Filterhälften wurden wie oben beschrieben extrahiert und analysiert. Es wurde die Differenz der Filterhälften mit zugesetzten PAH zu den Filterhälften ohne zugesetzte PAH gebildet. Aus dem Quotienten der zugesetzten PAH-Menge zu der o.g. Differenz ergab sich die Wiederfindungsrate (s. o.).

Die Wiederfindungsraten nach Extraktion und gaschromatographischer Analyse waren folgende (Mittelwerte aus 6 Versuchen): Phenanthren = 42%, Fluoranthen = 62%, Pyren = 52%, Chrysen = 52%, Benzo(b)fluoranthen = 52%, Benzo(a)pyren = 70%, Perylen = 70%, Indeno(1.2.3-c.d)pyren = 44%, Dibenzo(a.h)anthracen = 37%, Benzo(g.h.i)perylene = 49%.

Es wurden allgemein also ca. 40-70% der zugesetzten PAH wiedergefunden. Die Schwankungsbreiten der Wiederfindungsraten lagen dabei bei ca. +/- 10%.

Bei den später ermittelten Ergebnissen der Schwebstaubsammlung mit Asphalt-Fußbodenplatten erfolgte keine rechnerische Korrektur der Meßergebnisse.

2.5 Sonderversuche

Die Versuche zur Erhöhung der Raumlufthtemperatur und zur Erhöhung der relativen Raumlufthfeuchte wurden im Anschluß an die Feldversuche am Standort 1.2 durchgeführt (Juli 1989). Während des Feldversuches 1.2 schwankte die Raumlufthtemperatur zwischen 25°C und 28°C, die relative Raumlufthfeuchte zwischen 55% und 65%.

2.5.1 Erhöhung der Raumlufthtemperatur

Mittels eines elektrischen Radiators wurde die Raumlufthtemperatur im Bereich von 34°C - 39°C erhöht. Die Temperatur und die relative Feuchte wurden kontinuierlich aufgezeichnet. Die relative Raumlufthfeuchte verringerte sich während des Meßzeitraumes stetig von 60% auf 45% am Ende der Messungen.

2.5.2 Erhöhung der relativen Raumlufthfeuchte

Mittels eines haushaltsüblichen Ultraschall-Lufthbefeuchters, der durch eine Zeitschaltuhr gesteuert wurde, wurde die relative Raumlufthfeuchte auf 95% bis 100% eingestellt. Die Raumlufthtemperatur schwankte im Meßzeitraum zwischen 20°C und 22°C.

3. Ergebnisse

3.1 Feldversuche

3.1.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse

Die Mittelwerte der Staubmassenkonzentrationen in der Innenluft waren bei allen Standorten niedriger als bei den korrespondierenden Außenluftproben (Abb. 3). Sie reichten in der Innenluft von $22,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $87,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in der Außenluft von $53,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $113,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Für alle Standorte - bis auf den Standort 1.2 - gilt, daß die Mittelwerte der EEOM-Konzentrationen in der Innenluft etwa so groß wie in der Außenluft sind.

Der prozentuale Anteil der EEOM an der Staubmasse ist in den Innenräumen also höher. Im Mittel ergaben sich hier um den Faktor 1,5 bis 4,7 höhere Werte als bei den dazugehörigen Außenluftstandorten. Dabei ergibt sich ein Unterschied zwischen den Standorten 1.1 (Anteil der EEOM am Gesamtstaub: 42,7%), 1.2 (59,8%), 1.3 (47,1%) und 2.1 (49,2%) einerseits und den Standorten 2.2 (28,1%) 2.3 (17,3%) und 2.4 (27,2%) andererseits.

3.1.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

3.1.2.1 Konzentrationen der Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

Zur gesundheitlichen Beurteilung der Raumlufbelastung bei Verwendung von Asphaltbodenplatten sind die ermittelten PAH-Konzentrationen aussagekräftiger als Staubmasse und EEOM-Konzentrationen.

In Tab. 21 bis Tab. 23 sind die Mittelwerte und Schwankungsbereiche der ermittelten PAH-Konzentrationen aufgeführt. Eine Korrektur der Werte in Abhängigkeit von der ermittelten Wiederfindungsrate wurde nicht durchgeführt (vgl. 2.4.2.4).

Die Summe der nachgewiesenen PAH war an den Standorten 1.1 und 1.2 (Homogenplatten) doppelt so hoch wie in der Außenluft ($14,2 \text{ ng}/\text{m}^3$

und 14,6 ng/m³ zu 7,8 ng/m³), an den Standorten 1.3 (Homogenplatten) und 2.3 (Hochdruckplatten) gleich hoch (8,5 ng/m³ zu 8,1 ng/m³ und 7,4 ng/m³ zu 7,9 ng/m³) und an den Standorten 2.1 und 2.2 (Hochdruckplatten) geringer als in der Außenluft (4,7 ng/m³ zu 8,1 ng/m³ und 6,1 ng/m³ zu 8,9 ng/m³). Standort 2.4 wurde wegen nicht verwertbarer Ergebnisse in mehreren Proben nicht in diese Betrachtung einbezogen (Abb 4).

Die Verbindungen Dibenzo(a,c)anthracen wurde in keiner Probe nachgewiesen (Werte: <0,01 ng/m³).

In Tab. 1 bis Tab. 14 sind die PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen aufgeführt. Die beiden Standorte 1.1 und 1.2 und 1.3 und 2.1 hatte jeweils einen gemeinsamen Außenluft-Standort.

Die Konzentrationen der PAH-Summen (bezogen auf die nachgewiesenen PAH) der einzelnen Meßtage betragen:

Standort:	Innenluft [ng/m ³]	Außenluft [ng/m ³]
1.1	9,1 bis 26,9	3,1 bis 14,5
1.2	9,9 bis 23,8	s. o.
1.3	3,7 bis 11,4	2,3 bis 17,9
2.1	2,7 bis 7,1	s. o.
2.2	3,2 bis 8,8	6,4 bis 10,5
2.3	4,1 bis 10,0	4,2 bis 12,2
2.4 (ohne Meßt.3)	2,5 bis 9,1	nicht auswertbar

Beim Standort 2.4 können für die Außenluft wegen z. T. nicht verwertbarer Ergebnisse keine Aussagen getroffen werden (Tab. 14).

3.1.2.2 Prozentuale Verteilung

Es soll die prozentuale Verteilung der Mittelwerte der einzelnen PAH betrachtet werden; dabei wird die Summe der Mittelwerte der nachgewiesenen PAH gleich 100% gesetzt.

Betrachtet man die Verteilung in Abb. 5, so haben Benzo(a)pyren und Chrysen in allen Innenluft-Proben einen Anteil von mindestens 10%.

Benzo(e)pyren und Perylen haben in allen Standorten mit Ausnahme von 1.1 und 1.2 einen Anteil von mindestens 9%.

Fluoranthen und Pyren haben bei den Standorten mit Homogenplatten einen Anteil von 20% bzw. 15%; bei den Standorten mit Hochdruckplatten liegen die Anteile deutlich unter 10%.

Bei allen Außenluftstandorten (ohne Berücksichtigung von 2.4) lagen die Anteile von Benzo(a)pyren, Benzo(e)pyren, Perylen und Chrysen (Ausnahme 1.3/2.1 = 8%) über 10% .

3.1.2.3 Vergleich des Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration einzelner PAH

Abb. 6 zeigt die Quotienten Innenluft-Konzentration zu Außenluft-Konzentration der 15 untersuchten PAH bei den verschiedenen Meßstandorten.

Unterschiedliche Anteile ergeben sich bei Fluoranthen und Pyren in den Proben. An den Standorten mit Homogenplatten sind sie durchschnittlich um den Faktor 12 bis 15 höher konzentriert als in den Außenluftproben. An den Hochdruckplatten-Standorten waren diese beiden PAH nur um den Faktor 3 höher konzentriert als in den dazugehörigen Außenluftproben.

Benzo(b)fluoren ist an den Standorten 1.1 und 1.2 (Homogenplatten) um das 5- bis 10 fach höher konzentriert als in der Außenluft. An den übrigen Standorten sind die Werte gegenüber der Außenluft nicht erhöht.

Chrysen ist an den Standorten 1.1, 1.2, 1.3 (Homogenplatten) und 2.1 (Hochdruckplatten) doppelt so hoch konzentriert wie in den Außenluftproben; an den Standorten 2.2 und 2.3 (Hochdruckplatten) sind die Werte gegenüber den Außenluftproben nicht erhöht.

Die Konzentrationen von Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren, Perylen und Dibenzo(a.h)anthracen waren in der Innenluft nicht deutlich höher oder niedriger als in der Außenluft.

Aufgrund der wenigen Meßwerte wurden für Phenanthren, Anthracen und Indeno(1.2.3-c.d)pyren nicht bei jedem Standort und bei Dibenzo(a.c)anthracen und Benzo(g.h.i)perylen bei keinem Standort ein Quotient errechnet. Aufgrund mehrerer nicht verwertbarer Proben wurden die Quotienten des Standort 2.4 nicht berücksichtigt.

3.2. Sonderversuche

3.2.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)

Die Mittelwerte der Staubkonzentrationen in der Innenluft waren bei allen Messungen niedriger als bei den korrespondierenden Außenluftproben (Abb. 7). Sie betragen in der Innenluft $31,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $42,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in der Außenluft von $63,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $69,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für beide Versuche gilt, daß die Mittelwerte der EEOM-Konzentrationen in der Innenluft etwa 2 mal so groß wie in der Außenluft sind.

Der prozentuale Anteil der EEOM an der Staubmasse war im Innenraum deutlich höher. Im Mittel ergaben sich hier um den Faktor 4,6 und 4,4 fach höhere Werte als bei den dazugehörigen Außenluftproben.

3.2.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

3.2.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH)

Die Summe der nachgewiesenen PAH in der Innenluft war bei den Versuchen 1.2a und 1.2b höher als in der Außenluft ($7,3 \text{ ng}/\text{m}^3$ zu $5,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ und $13,0 \text{ ng}/\text{m}^3$ zu $5,3 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Für die PAH-Konzentrationen der Innenluft von Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b)fluoren, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren, Perylen und Dibenzo(a,h)anthracen gilt PAH-Konzentration Feldversuch 1.2 > Sonderversuch 1.2b (Ausnahme Benzo(b)fluoren) > Sonderversuch 1.2a (Abb. 8).

In den Tabellen 19 bis 22 sind die PAH-Konzentrationen der einzelnen Meßtage aufgeführt.

Die PAH-Konzentrationen in der Außenluft für die Sonderversuche 1.2a und 1.2b sind in etwa gleich hoch und niedriger als die Außenluftkonzentrationen im Feldversuch 1.2.

Die Konzentrationen der PAH-Summen (bezogen auf die nachgewiesenen PAH) der einzelnen Meßtage betragen:

Sonderversuche:	Innenluft [ng/m ³]	Außenluft [ng/m ³]
1.2a	3,0 bis 8,6	3,4 bis 9,8
1.2b	9,5 bis 15,0	3,3 bis 10,3

3.2.2.2 Prozentuale Verteilung

Es soll die prozentuale Verteilung der Mittelwerte der einzelnen PAH betrachtet werden, dabei wird die Summe der Mittelwerte der nachgewiesenen PAH gleich 100% gesetzt (Abb. 9).

Chrysen und Benzo(a)pyren haben in beiden Innenluft- und Außenluftproben einen Prozentanteil von mindestens 10%.

In der Innenluft der Versuche 1.2a und 1.2b haben Fluoranthren, Pyren, Chrysen und Benzo(a)pyren einen Anteil von mindestens 10%.

In der Außenluft der Versuche 1.2a und 1.2b haben Chrysen, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren und Perylen einen Anteil von mindestens 10%.

3.2.2.3 Vergleich der Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration einzelner PAH

Abb. 10 zeigt die Quotienten Innenluft-Konzentration zu Außenluftkonzentratione der 15 untersuchten PAH der beiden Sonderversuche.

In den Versuchen 1.2a und 1.2b liegen die Quotienten von Phenanthren, Fluoranthren, Pyren, Benzo(b)fluoren und Chrysen deutlich über 1, d. h. die Konzentrationen in der Innenluft sind deutlich höher als in der Außenluft. Sie reichen bei den o. g. PAH im den Versuch 1.2a von 3,8 bis 12,8 und im Versuch 1.2b von 5,5 bis 27,9.

Die Quotienten aller o. g. PAH sind in dem Versuch 1.2b höher als in dem Versuch 1.2a. Dies gilt ebenfalls für die Quotienten der Summen der nachgewiesenen PAH, sie sind 1,7 im Versuch 1.2a und 2,9 im Versuch 1.2b. Die Quotienten der PAH Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren, Perylen und Dibenz(a,h)anthracen reichen von 0,7 bis 1,6 (Ausnahme 0,3 bei Benzo(b)fluoranthren bei Versuch 1.2a).

Bei Anthracen, Indeno(1.2.3-c.d)pyren, Dibenzo(a.c)anthracen und Benzo(g.h.i)perylene konnte nur bei einem Meßtag ein Quotient gebildet werden (Versuch 1.2b: Quotient Anthracen 0,3 bei Meßtag 1, Quotient Indeno(1.2.3-c.d)pyren 1,5 bei Meßtag 5 und Quotient Benzo(g.h.i)perylene 1,3 bei Meßtag 5) bzw. bei keinem Meßtag ein Quotient gebildet werden.

4. Diskussion

4.1 Feldversuche

4.1.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)

Die Staubkonzentration der Außenluft ist von der Niederschlagshäufigkeit und -menge abhängig und schwankte dementsprechend. Der Jahresdurchschnitt der Staubkonzentration in Berlin liegt bei ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (13).

Innenräume, in denen keine besonders staubintensiven Arbeiten wie z. B. Schleifarbeiten, Staubsaugen o. ä. durchgeführt werden, weisen in der Regel niedrigere Luftstaubkonzentrationen auf als in der Außenluft. Die Werte unserer Messungen entsprechen diesen Erfahrungswerten.

Der - relativ zur Staubmasse - höhere Anteil der EEOM des Staubes der Innenluft im Verhältnis zu dem Anteil an der Staubmasse der Außenluft könnte mit einer unterschiedlichen Staubzusammensetzung erklärt werden. Die größere EEOM-Konzentration am Standort 1.2 könnte mit der im Verhältnis zur geringen Grundfläche intensiven Nutzung als Lagerraum erklärt werden. Ein erhöhter Anteil an Bodenabrieb der Asphaltplattenböden ist vernachlässigbar klein, da sich in diesem Falle das PAH-Profil der Substanz der Homogen- und Hochdruckplatten (Abb. 3) in den Profilen des Staubs der Innenluft wiederfindet.

4.1.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

4.1.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe

Insbesondere die Standorte 1.1 und 1.2 (mit Homogenplatten) weisen bei den nachgewiesenen PAH Fluoranthen, Pyren und Chrysen im Staub in der Innenluft die höchsten Konzentrationen auf (Abb. 4). Am Standort 1.3 (ebenfalls mit Homogenplatten) sind die Konzentrationen dieser drei Verbindungen zwar niedriger; im Vergleich zu den vier Standorten mit Hochdruckplatten (2.1, 2.2, 2.3 und 2.4) sind die Konzentrationen aber immer noch deutlich erhöht. Geht man davon aus, daß diese PAH für Staub in Innenräumen mit Homogenplatten-Bodenbelag typisch sind, könnten die niedrigeren Konzentrationen am Standort 1.3 mit dem höheren Alter der Platten (= 25 Jahre) erklärt werden (Standort 1.1 : 14 Jahre, Standort 1.2 : 4 Jahre).

Auch wenn Phenanthren nur einen geringen Massenanteil an den nachgewiesenen PAH hat, so ist doch eine deutliche Erhöhung seiner Konzentrationen an den drei Standorten 1.1, 1.2, 1.3 (mit Homogenplatten) gegenüber der Außenluft festzustellen.

An den beiden Homogenplatten-Standorten 1.1 und 1.2 waren die Innenluftwerte für Benzo(b)fluoren um den Faktor 5 bis 10 höher als in den korrespondierenden Außenluftproben.

Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b)fluoren und Chrysen, die gegenüber den Außenluftwerten erhöht waren, sind im Vergleich zu den anderen nachgewiesenen PAH eher leichtflüchtig.

Von Bedeutung ist es, daß es trotz des unterschiedlichen Alters der Platten zu einer hohen PAH-Belastung in Innenräumen mit Homogenplatten-Bodenbelag im Vergleich zu Innenräumen mit Hochdruckplatten-Bodenbelag und zur Außenluft kommt.

Soweit es die geringe Zahl der Probennahmeorte zuläßt, kann man die Aussage treffen, daß der prozentual unterschiedliche Anteil von Fluoranthen und Pyren im PAH-Profil eine Unterscheidung von Räumen mit Homogenplatten einerseits und mit Hochdruckplatten andererseits erlaubt.

Im Luftstaub aus Innenräumen mit Homogenplatten sind deutlich höhere Anteile dieser beiden PAH nachgewiesen worden. Exemplarisch sind die Konzentrationsanteile von Fluoranthen bei erhöhten PAH-

Konzentrationen und Benzo(a)pyren bei nicht erhöhten PAH-Konzentrationen in der Raumluft im Vergleich zu den Außenluftkonzentrationen dargestellt (Abb. 11 und Abb. 12).

4.1.2.2 Prozentuale Verteilung

Die hohen Anteile von Fluoranthren und Pyren an der Summe der nachgewiesenen PAH ist in den von uns untersuchten Standorten mit Homogenplatten typisch und unterscheidet sie von den Standorten mit Hochdruckplatten, in denen diese PAH einen geringeren Anteil haben.

4.1.2.3 Vergleich des Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH

Wie gezeigt, treten in Innenräumen mit Homogen- und Hochdruckplatten im Vergleich zur Außenluft erhöhte Werte von einzelnen PAH auf. Dies wird auch aus der Bildung von Quotienten Innenluft-/Außenluftkonzentration deutlich.

Wenn Phenanthren auch nur einen geringen Mengenanteil an den nachgewiesenen PAH hat, so sieht man doch eine deutliche Erhöhung der Konzentrationen um das 3,5 bis 18 fache bei den drei Standorten 1.1, 1.2, 1.3 mit Homogenplatten gegenüber der Außenluft (Abb. 10).

Bei allen Standorten bis auf 2.4 waren die Werte von Fluoranthren und Pyren erhöht. Bei den Standorten mit Homogenplatten (Quotient 11 bis 17) war diese Erhöhung sehr viel ausgeprägter als bei den Standorten mit Hochdruckplatten.

Bei den beiden Homogenstandorten 1.1 und 1.2 waren die Innenluftwerte für Benzo(b)fluoren um den Faktor 5 bis 10 höher als bei den Außenluftproben.

Chrysen ist bei den Standorten 1.1, 1.2, 1.3 mit Homogenplatten und dem Hochdruckplatten-Standort 2.1 etwa um den Faktor 2 erhöht. Phenanthren, Fluoranthren, Pyren, Benzo(b)fluoren und Chrysen, die gegenüber den Außenluftwerten erhöht waren, sind im Vergleich zu den anderen nachgewiesenen PAH eher leichtflüchtig.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von WaBoLu konnten keine so deutlich erhöhten Benzo(a)pyren-Werte in Räumen mit Asphalt-Bodenplatten festgestellt werden:

	Benzo(a)pyren [ng/m ³]		PAH gesamt [ng/m ³]	
	Innenluft	Außenluft	Innenluft	Außenluft
<u>Homogenplatten</u>				
Standort 1.1	0,4 - 5,5	0,4 - 3,6	9,1 - 26,9	3,1 - 14,5
1.2	0,6 - 3,6	0,4 - 3,6	9,9 - 23,8	3,1 - 14,5
1.3	0,7 - 2,7	0,7 - 5,3	3,7 - 11,4	2,3 - 17,9
<u>Hochdruckplatten</u>				
Standort 2.1	0,6 - 2,2	0,7 - 5,3	2,7 - 7,1	2,3 - 17,9
2.2	0,7 - 2,4	2,4 - 3,4	3,2 - 8,8	6,4 - 10,5
2.3	0,5 - 2,8	0,7 - 3,7	4,1 - 10,0	4,2 - 12,2
2.4	0,2 - 0,7	n.a.	2,5 - 9,1*	n.a.

n.a. = nicht auswertbar, * = ohne Summe Meßtag 3

Dazu muß jedoch festgestellt werden, daß den Messungen des WaBoLu pro Meßstandort lediglich zwei Meßwerte zugrunde lagen und außer den Konzentrationen von Benzo(a)pyren keine weiteren PAH-Konzentrationen vorlagen.

Die durchgeführten Messungen haben aber gezeigt, daß erst bei der Betrachtung der Konzentrationsprofile der 15 untersuchten PAH Unterschiede zwischen Homogen- und Hochdruckplatten einerseits sowie Innenluft- und Außenluftwerten andererseits auftreten.

Die Homogenplatten der Standorte 1.1, 1.2, und 1.3 waren vor 14, 4 und 25 Jahren verlegt worden. Von Bedeutung ist es, daß trotz des unterschiedlichen Alters es zu einer hohen PAH-Belastung in Innenräumen mit Homogenplatten-Bodenbelag im Vergleich zu Innenräumen mit Hochdruckplatten-Bodenbelag und im Vergleich zur Außenluft kommt.

4.2 Sonderversuche

4.2.1 Schwebstäube und etherextrahierbare organische Masse (EEOM)

Die Staubkonzentrationen der beiden Versuche ähnelten denen der Feldversuche.

Eine ähnliche Übereinstimmung läßt sich bei den Quotienten der EEOM-Konzentrationen der Innenluft und Außenluft feststellen. Er lag im Feldversuch bei 2,8, in den Sonderversuchen bei 4,4 und 4,6.

4.2.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

4.2.2.1 Konzentrationen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe

Die PAH-Konzentrationen in der Innenluft liegen im Versuch 1.2a für alle PAH niedriger als im Feldversuch Standort 1.2 und im Versuch 1.2b.

Die PAH-Konzentrationen in der Außenluft waren im Feldversuch 1.2 am höchsten und im Versuch 1.2b am niedrigsten.

Daraus ergibt sich, daß es anscheinend bei einer Erhöhung der Raumlufttemperatur zu einer Verringerung der PAH-Konzentration kommt. Erwartet wurde eine Erhöhung der PAH, vor allem derjenigen mit dem höchsten Dampfdruck. Es sind mehrere Faktoren, die zu dem o. g. Ergebnis geführt haben könnten:

- Vermehrtes Fortreißen der PAH vom Filterstaub durch den warmen Luftstrom, der den Filter durchströmt,
- Erhöhung der Luftwechselzahl durch eine größere Temperaturdifferenz zur Außenluft und dadurch bedingten Verdünnungseffekt.

Die mögliche Beeinflussung durch eine Veränderung der Luftwechselrate könnte evt. in einer Versuchskammer mit kontrollierter Be- und Entlüftung vermieden werden.

Die PAH-Konzentrationen der Innenluft lag im Versuch 1.2a ähnlich hoch wie im Feldversuch 1.2 und höher als im Versuch 1.2b. Die PAH-Konzentrationen in der Außenluft lagen in der Regel niedriger

im Feldversuch 1.2. Daraus folgt eine relativ zur Außenluft höhere PAH-Konzentration im Versuch 1.2b.

Möglicherweise ist diese Erhöhung durch eine Veränderung in der Staubpartikelagglomeration bedingt.

4.2.2.2 Prozentuale Verteilung

Die PAH-Profile der Innenluft der Sonderversuche haben große Ähnlichkeit mit dem Profil des Feldversuches 1.2 (Abb. 5 und Abb. 9). Im Profil der Innenluft des Versuchs 1.2a haben die leichterflüchtigen PAH Phenanthren, Fluoranthen und Pyren einen etwas kleineren Anteil und dadurch bedingt die höherflüchtigen PAH Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren und Perylen einen etwas höheren Anteil. Wie in 4.2.2 beschrieben, sind die PAH-Konzentrationen aber bei allen PAH geringer.

Die unterschiedlichen Löslichkeiten der PAH in Wasser scheinen für das PAH-Profil der Innenluft des Versuchs 1.2b keine Auswirkungen zu haben.

Die Löslichkeiten einiger nachgewiesener PAH in Wasser sind nach ihrer Löslichkeit geordnet (11):

Phenanthren 1290 $\mu\text{g/l}$, Fluoranthen 260 $\mu\text{g/l}$, Pyren 140 $\mu\text{g/l}$,
Indeno(1.2.3.c.d)pyren 140 $\mu\text{g/l}$, Benzo(a)pyren 3,8-14 $\mu\text{g/l}$,
Chrysen 2 $\mu\text{g/l}$, Benzo(b)fluoranthen 1,2 $\mu\text{g/l}$, Benzo(k)fluoranthen
0,55 $\mu\text{g/l}$. Die Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte hat weder auf relativ hydrophile PAH wie Fluoranthen noch auf relativ hydrophobe PAH wie Benzo(a)pyren einen Einfluß auf das PAH-Profil.

Die PAH-Profile der Außenluft sind in etwa ähnlich, mit den Ausnahmen Benzo(b)fluoren und Chrysen. Benzo(b)fluoren hat in den Profilen der Außenluft der Sonderversuche im Vergleich zur Außenluft im Feldversuch 1.2 einen höheren, Chrysen einen geringeren Anteil und ähnelt bei den Anteilen dieser beiden PAH mehr den Außenluftstandorten 2.1 und 2.2.

4.2.2.3 Vergleich des Quotienten Innenluftkonzentration zu Außenluftkonzentration der einzelnen PAH

Wie bei den Feldversuch 1.2 ergeben sich auch bei den Sonderversuchen 1.2a und 1.2b für die Innenluft Steigerungen der PAH-Konzentrationen im Vergleich der Außenluft. Auch bei diesen Versuchen sind die eher leichtflüchtigen PAH Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b)fluoren und Chrysen in weitaus höheren Konzentrationen nachgewiesen worden als in der Innenluft. Die Reihenfolge der Quotienten der einzelnen PAH $1.2b > 1.2 > 1.2a$ gilt für Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b)fluoren, Benzo(b)fluoranthen und für die Summe der nachgewiesenen PAH. Von den PAH, deren Quotienten größer 2 ist, hat allein Chrysen eine andere Reihenfolge. Hier ist der Quotient mit 4,7 bei Versuch 1.2a fast so groß wie bei Versuch 1.2b (5,5) und größer als im Feldversuch 1.2 (2,3).

4.3 Schlußbetrachtung

4.3.1 Bitumen und Teer

Die von der BAM in der Substanz von Asphaltplatten (Abb. 1) und die in unserer Untersuchung im Luftstaub nachgewiesenen PAH können zum Teil anhand von Literaturangaben den Bindemitteln zugeordnet werden.

Sowohl Bitumen als auch Steinkohlenteer und -Weichpech sind Naturprodukte, deren Zusammensetzung nicht vollständig bekannt ist. Im Teer sind bisher 500 Verbindungen nachgewiesen, die zusammen aber nur 55 % des Teers ausmachen.

In Steinkohlenteer sind enthalten (4):

Phenol 0,4 %, Naphthalin 10,0 %, Acenaphthen 0,3 %, Fluoren 2,0 %, Phenanthren 5,0 %, Anthracen 1,5 %, Fluoranthen 3,3 %, Pyren 2,1 % und Chrysen 2,0 %. Bis auf Naphthalin (Mittel-/Schweröle) sind diese Verbindungen relativ schwersiedend und verbleiben zu einem großem Anteil im Pech.

Als Destillationsrückstand der Teere enthalten Pech die bereits vorhandenen hochsiedenden Inhaltsstoffe. Teilweise werden während

der Destillation schwerflüchtige Stoffe durch Polymerisations-, Polykondensations- und Crackvorgänge gebildet (4). Ein Strukturmodell besteht darin, daß die höhermolekularen Pechbestandteile hauptsächlich aus etwa 4- bis 7-kernigen kondensierten Aromaten bestehen (4). Steinkohlenteerpech besteht zu 90% aus 3- bis 7-kernigen Aromaten mit einem Molekulargewicht von 170 bis 380 (17).

Bitumen und Teere haben jedoch eine ganz unterschiedliche Zusammensetzung. Von den Teeren ist bekannt, daß sie zu einem großen Teil aus aromatischen Kohlenwasserstoffen bestehen. Bitumen enthalten diese Kohlenwasserstoffe nur in Spuren (14).

Von allen Teeren ist der Steinkohlen-Hochtemperaturteer in toxikologischer Hinsicht am eingehendsten untersucht, was darin begründet ist, daß dieser Teer der am längsten großtechnisch genutzte bituminöse Rohstoff ist. Die akute Toxizität von Teeren ist gering. Unter den verschiedenen Teeren hat der Steinkohlenteer die stärkste hautverändernde Wirkung (4).

In der Literatur wird auf die fungizide und bakterizide Wirkung des Steinkohlenteers und -Weichpechs hingewiesen (10) oder auf seine die Pflanzenwurzel schädigenden Eigenschaften (16), die vor allem auf seinen Phenol-Anteil zurückgeführt werden. Es gibt keinen Hinweis, daß Bitumen sich schädlich auf Menschen, Tiere und Pflanzen auswirken kann (7).

Die Bildung von Hautkrebs durch Steinkohlenteer ist durch Versuche an Ratten, Mäusen, Hamstern und Meerschweinchen gesichert (4). In der deutschen Berufskrankheitsverordnung wird unter Nr.47 durch Teer und Pech verursachter Hautkrebs als berufsbedingt anerkannt (7).

Wegen seines Gehaltes an PAH ist Steinkohlenteer und Steinkohlenteer-Pech in der Gruppe IIIA1 der MAK-Liste eingestuft worden. In dieser Gruppe sind die als eindeutig krebserzeugend ausgewiesenen Arbeitsstoffe, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwulste zu verursachen vermögen, aufgeführt (2). Die Gefährdung geht hauptsächlich von den Dämpfen aus erhitztem oder von der Dauereinwirkung von feinverteiltem Steinkohlenteer-Pech aus (15).

Die Aussage (7), daß Bitumen im Gegensatz zu Steinkohlenteer keine kanzerogenen PAH enthält, muß dahingehend relativiert werden, daß

Bitumen um Größenordnungen geringere Mengen PAH als Steinkohlenteer enthält. Bitumen ist in der MAK-Liste (2) unter IIIIB aufgeführt, d. h. es ist ein Stoff mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential.

Die Untersuchungen der BAM (Abb. 1) zeigen, daß sowohl Homogen- als auch Hochdruckplatten in ihrer Substanz kanzerogene PAH enthalten; sie zeigen aber auch, daß die Anteile dieser PAH in den Homogenplatten sehr viel höher sind. Auch in den staubgebundenen PAH-Immissionen, in denen es in dieser Untersuchung ging, waren die Konzentrationen in Räumen mit Homogenplatten höher als in Räumen mit Hochdruckplatten. Da sich beide Plattenarten nur in ihrem Bindemittel unterscheiden, können diese Unterschiede auf die unterschiedliche Zusammensetzung von Steinkohlenteer-Weichpech und Bitumen zurückgeführt werden.

In Räumen mit Homogenplatten tritt u. U. ein spezifischer Geruch auf, der z. T. auch zu Beschwerden von in diesen Räumen tätigen Personen Anlaß gab. Der auffällige "teerartige" Geruch in Räumen mit Homogenplatten wird wahrscheinlich durch Phenol, Naphthalin und andere leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe hervorgerufen. Dieser typische Geruch wurde auch an Standorten (vor allem Standort 1.1 und 1.2) mit Homogenplatten dieser Untersuchung festgestellt und gab den dort Beschäftigten zum Teil Anlaß zu Beschwerden.

Eine ad hoc-Untersuchung der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe (VOC) hat in einem Raum mit frischverlegten Homogenplatten (Luftwechselzahl $0,4 \text{ h}^{-1}$) eine erhöhte Belastung u. a. durch Acridin, Weichmacher und Lösemittel (aldehydische Komponenten) festgestellt (18). Acridin kommt in geringen Mengen im Steinkohlenteer vor (17).

Auch in der Literatur findet man Hinweise zum Geruch von Asphaltplatten und deren Bindemittel:

"Homogenplatten sind nicht völlig geruchsfrei (8)."

"Für manche Anwendungsgebiete kommen Homogenplatten nicht in Betracht, da sie nicht völlig geruchsfrei sind (5)."

"Anfangs nicht völlig geruchsfrei, sind Homogenplatten daher z. B. nicht für Lebensmittellagerräume zu empfehlen (3)."

In Räumen mit Hochdruckplatten kommt es unseren Erfahrungen nach nicht zu einer Geruchsbelästigung.

Der unterschiedliche Geruch von Homogen- und Hochdruckplatten läßt sich auf die Bindemittel zurückführen. Dabei muß angemerkt werden, daß Gerüche, wie sie in der Literatur beschrieben werden, sich auf den Verarbeitungsprozeß beziehen.

Bitumen und Teer bzw. Pech lassen sich leicht durch ihren Geruch unterscheiden. Steinkohlenteer und -Pech riechen deutlich nach Anthrazenöl (12). Steinkohlenteer und -Pech haben einen typischen Geruch. Nachteilig sind die Kanzerogenität und der ausgeprägte Geruch, der sich besonders bei der Heißverarbeitung bemerkbar macht (19). Der typische Bitumendampf-Geruch wird durch Spuren von schwefelhaltigen, hochsiedenden Kohlenwasserstoffen hervorgerufen (7). Das (in Gußasphalt enthaltene) Bitumen ist hinsichtlich der Übertragung von Geruch und Geschmack auf empfindliche Nahrungs- und Genußmittel wie z. B. Zucker indifferent (9).

4.3.2 Einsatz von Homogen- und Hochdruckplatten

Folgende Aussagen zur Verwendung von Homogen- und Hochdruckplatten lassen sich machen:

Aufgrund der PAH-Immissionsmessungen haben sich bezüglich des Einsatzes von Hochdruckplatten keine Einschränkungen ergeben.

Hingegen ist die Verwendung von Homogenplatten stark einzuschränken.

Es wird in Übereinstimmung mit Literaturangaben (9) empfohlen, Homogenplatten nur unter bestimmten Voraussetzungen (Einsatz im Freien, - d. h. nicht in geschlossenen Räumen) neu zu verlegen. Bei der Neuverlegung von Homogenplatten sind mögliche Geruchsbelästigungen und Konzentrationserhöhungen der PAH zu berücksichtigen.

Bei bereits verlegten Homogenplatten sollte unter Berücksichtigung des Luftwechsels und der Nutzungsart des Raumes die mögliche Geruchsbelästigung und PAH-Konzentrationserhöhung festgestellt werden. Beide Parameter sollten zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, ob die verlegten Homogenplatten durch einen anderen Bodenbelag ersetzt werden.

4.3.3 Weiterführende Untersuchungen

Folgende weiterführende Untersuchungen werden empfohlen:

- Messungen in einem Versuchsraum unter kontrollierten Bedingungen (Raumlufitemperatur, rel. Raumlufitemfeuchte, Luftwechsel)
- Messungen über weitere organische Verbindungen wie Nitro-PAH, oxidierte PAH und andere polare organische Verbindungen
- Feststellung der Geruchsbelästigung und der dafür verantwortlichen Verbindungen
- Prüfung des Ersatzes des Hochtemperatur-Steinkohlenteer-Weichpechs als Bindemittel durch das an Aromaten weitaus ärmere Tieftemperatur-Steinkohlenteer-Weichpech (4, 15) oder durch Braunkohlenteer.

Danksagung

Frau Irona Block wird für die technische Assistenz gedankt.

Literatur:

- (1) Anonym: Deutsches Institut für Normung, DIN 55 946, Teil 1, Dez. 1983, Beuth Verlag, Berlin (1983)
- (2) Anonym: DFG, Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1989, Mitteilung XXV der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Verlag Chemie, Weinheim (1989) 23-99
- (3) Arbeitsgemeinschaft Industriebau e. V. (AGI): Arbeitsblatt A60, Industrieböden - Asphaltplattenbeläge, Vincentz-Verlag, Hannover (1974)
- (4) Collin, G. und M. Zander: Teer und Pech, in: Encyklopädie der technischen Chemie, Bd.22, Verlag Chemie, Weinheim (1982) 411-446
- (5) Georgy, W.: Die Baustoffe Bitumen und Teer, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln (1963) 15 und 342
- (6) Güsfieldt, K. H.: Gewinnung, Eigenschaften und wirtschaftliche Bedeutung von Bitumen, in: Bitumen und Asphalt, Bau-Verlag, Wiesbaden, Berlin (1969) 21-31
- (7) Güsfieldt, Karl-Heinz: Bitumen, in: Encyklopädie der technischen Chemie, Bd.8, Verlag Chemie, Weinheim (1974) 527-541
- (8) Henn, W., D. Gröschler und H. Grühle: Fußböden, Callway-Verlag, München (1964) 46
- (9) Henneke, H.: Asphalt-Bodenbeläge, in: Bitumen und Asphalt, Bau-Verlag, Wiesbaden, Berlin (1969) 501-525
- (10) Karsten, R.: Bauchemie, Straßenbau, Chemie und Technik Verlagsgesellschaft, Heidelberg (1970) 349
- (11) Koch, R. und B. O. Wagner: Umweltchemikalien: Physikalisch-chemische Daten, Verlag Chemie, Weinheim (1989)
- (12) Martin, O. und H. Neumann: Der deutsche Naturasphalt, Straßen- und Tiefbau-Verlagsgesellschaft, Berlin (1950) 8
- (13) Moriske, H.-J. Polare organische Verbindungen im Stadtaerosol: Chemische Zusammensetzung und mutagene Wirksamkeit im Hausbrand- und Kfz.-belasteten Aerosol, VDI-Verlag, Düsseldorf (1986) 1-359
- (14) Neumann, H.-J.: Bitumen und seine Anwendung, Expert-Verlag, Grafenau (1981) 13-35
- (15) Neumüller, O.-A.: Römpps Chemie-Lexikon, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart (1979 - 1988)
- (16) Piltz, H., S. Härig und W. Schulz: Technologie der Baustoffe, Dr. Lüdecke-Verlagsgesellschaft, Haslach (1985) 444

- (17) Römpp, H.: Chemie-Lexikon, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart (1966)
- (18) Seifert, B. und D. Ullrich: Persönliche Mitteilung, Berlin (1989)
- (19) Spruck, H.: Baustoffkunde, Vincentz-Verlag, Hannover (1986)
481

6. Zusammenfassung

Asphalt-Bodenplatten werden in Lagerhallen, Werkstätten, Produktionshallen u. ä. verlegt. Asphalt-Bodenplatten bestehen aus Naturasphalt-Rohmehl und einem Bindemittel, Steinkohlenteer-Weichpech bei den sogenannten "Homogenplatten", Bitumen bei den sogenannten "Hochdruckplatten".

Es wurde der Schwebstaub in drei Räumen mit Homogenplatten und in vier Räumen mit Hochdruckplatten mit Kleinfilterpumpen gesammelt. Zum Vergleich wurde der Schwebstaub der Außenluft parallel gesammelt. Nach chemischer Extraktion des Schwebstaubs und weiterer Auftrennung wurde die PAH-Fraktion gaschromatographisch auf 15 verschiedene PAH untersucht.

Im Schwebstaub der Meßstandorte mit Homogenplatten ergaben sich während des Meßzeitraumes dabei erhöhte Konzentrationen von eher leichtflüchtigen PAH im Vergleich zur Außenluft. Bei Fluoranthen und Pyren war dieser Effekt am stärksten ausgeprägt (Faktor 11 bis 17). Bei den höher siedenden PAH (z. B. Benzo(a)pyren) entsprachen die Konzentration denen in der Außenluft.

Im Schwebstaub der Meßstandorte mit Hochdruckplatten waren die Erhöhungen weitaus weniger stark ausgeprägt. Die Konzentrationen höher siedender PAH entsprach auch hier denen in der Außenluft.

In einem weiteren Versuch wurde die Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte an einem Standort mit Homogenplatten erhöht. Die Erhöhung der Raumlufttemperatur führte zu einem leichten Rückgang der PAH-Konzentration im Schwebstaub, was aber methodisch bedingt sein kann. Die Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte führte zu einer geringfügig höheren PAH-Konzentration im Verhältnis zum Schwebstaub der Außenluft.

Summary

Asphalt floor tiles are being used in warehouses, factories, manufacturing plants, etc. They are made of natural asphalt raw flour and a binding agent. Coal tar and coal-tar pitch are used for the so-called "homogeneous plates", bitumen for the so-called "high-pressure plates".

Suspended particulates were collected with the help of small-filter pumps in three rooms with homogeneous plates and in four rooms with high-pressure plates. The suspended particulates of the outside air were collected simultaneously for comparison. After chemical extraction of the suspended particulates and further separation, a gas chromatographic examination of the PAH fraction was performed for 15 different PAH.

In the suspended particulates of the measurement location with homogeneous plates, the concentrations of more volatile PAH obtained during the measurement period were elevated compared with the outside air. This effect was most pronounced in fluoranthene and pyrene (factor 11 to 17). In PAH with a higher boiling point (e.g., benzo(a)pyrene), the concentrations corresponded with those in the outside air.

The increases were markedly lower in the suspended particulates of the measurement locations with high-pressure plates. Here, the concentrations of PAH with a higher boiling point likewise corresponded to those in the outside air.

In another experiment, the room temperature and relative humidity of the indoor air were increased in a location with homogeneous plates. The increased indoor temperature resulted in a slight decrease of the PAH concentration in the suspended particles, but this may be due to methodological reasons. The increase in relative indoor air humidity led to a slightly higher PAH concentration in relation to the suspended particulates in the outside air.

7. Tabellen

Tabelle 1: Mittelwerte der PAH in der Innenluft [ng/m³]

PAH:	Standorte						
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4*
Phenanthren	0,37	0,84	0,30	0,03	0,07	0,01	0,02
Anthracen	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Fluoranthren	2,88	2,55	1,71	0,20	0,41	0,32	0,14
Pyren	1,93	2,17	1,34	0,11	0,25	0,19	0,11
Benzo(b)fluoren	0,19	0,42	0,09	0,04	0,17	0,09	0,03
Chrysen	3,29	3,35	1,23	0,48	0,61	1,00	0,97
Benzo(b)fluoranthren	0,42	0,43	0,13	0,14	0,21	0,39	0,15
Benzo(k)fluoranthren	0,64	0,55	0,41	0,41	0,51	0,65	0,14
Benzo(e)pyren	1,06	1,05	0,87	0,89	1,02	1,20	0,61
Benzo(a)pyren	1,78	1,65	1,46	1,34	1,56	1,90	0,42
Perylen	1,09	1,08	0,82	0,85	0,95	1,14	0,69
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,09	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	1,55
Dibenzo(a.h)anthracen	0,44	0,36	0,10	0,20	0,34	0,35	0,46
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	14,18	14,58	8,47	4,69	6,11	7,36	5,29

Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;
 1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physik-
 gebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11

1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Hochdruckplatten

Tabelle 2: Mittelwerte der PAH in der Außenluft [ng/m³]

PAH:	Standorte				
	1.1/1.2	1.3/2.1	2.2	2.3	2.4*
Phenanthren	0,06	0,02	0,08	0,02	0,16
Anthracen	0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,02
Fluoranthren	0,37	0,33	0,24	0,28	0,54
Pyren	0,20	0,18	0,09	0,17	0,54
Benzo(b)fluoren	0,05	0,07	0,18	0,08	0,18
Chrysen	1,51	0,59	1,10	1,05	2,76
Benzo(b)fluoranthren	0,30	0,24	0,31	0,40	0,28
Benzo(k)fluoranthren	0,73	0,72	0,78	0,74	0,73
Benzo(e)pyren	1,24	1,66	1,57	1,42	n.a.
Benzo(a)pyren	1,76	2,46	2,81	2,39	n.a.
Perylen	1,05	1,58	1,51	1,19	n.a.
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,19
Dibenzo(a.h)anthracen	0,48	0,22	0,19	0,20	<0,01 ⁺
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,91
Summe	7,80	8,10	8,86	7,94	n.a.

n.a. = nicht auswertbar, ⁺ = ohne Berücksichtigung von Meßtag 3 und 4

Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;
 1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physik-
 gebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11; 2.4 Gipsabdruckabteilung

1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Hochdruckplatten

Tabelle 3: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.1, Homogenplatten, Innenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,30	0,49	0,18	0,40	0,49
Anthracen	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01
Fluoranthen	2,51	4,53	2,19	2,05	3,10
Pyren	1,28	2,66	1,61	1,58	2,51
Benzo(b)fluoren	0,12	0,24	0,16	0,20	0,22
Chrysen	1,24	3,85	3,07	3,56	4,73
Benzo(b)fluoranthen	0,24	0,77	0,30	0,34	0,46
Benzo(k)fluoranthen	0,51	1,69	0,32	0,13	0,54
Benzo(e)pyren	1,32	3,06	0,27	0,27	0,39
Benzo(a)pyren	1,96	5,51	0,41	0,41	0,59
Perylen	1,21	3,38	0,28	0,27	0,31
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,44
Dibenzo(a.h)anthracen	0,19	0,74	0,28	0,28	0,71
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	10,87	26,94	9,10	9,48	14,49

Tabelle 4: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.1 / 1.2, Außenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,15	0,11	0,03	<0,01	0,02
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02
Fluoranthen	0,78	0,59	0,12	0,11	0,24
Pyren	0,43	0,30	0,09	0,05	0,12
Benzo(b)fluoren	0,12	0,08	0,02	<0,01	0,03
Chrysen	1,54	1,69	1,44	1,13	1,75
Benzo(b)fluoranthen	0,51	0,39	0,18	0,16	0,26
Benzo(k)fluoranthen	1,91	0,88	0,35	0,21	0,29
Benzo(e)pyren	2,67	2,01	0,87	0,26	0,37
Benzo(a)pyren	3,61	2,88	1,20	0,40	0,69
Perylen	2,31	1,52	0,70	0,26	0,45
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,26
Dibenzo(a.h)anthracen	0,44	0,43	0,18	0,53	0,81
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	14,48	10,88	5,19	3,14	5,31

Tabelle 5: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.2, Homogenplatten, Innenluft

	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	1,00	1,98	0,40	0,03	0,79
Anthracen	<0,01	0,06	<0,01	0,02	0,02
Fluoranthen	3,08	3,35	2,67	1,45	2,20
Pyren	1,96	2,93	2,20	1,58	2,16
Benzo(b)fluoren	0,28	0,43	0,50	0,50	0,37
Chrysen	1,70	4,59	3,67	3,12	3,68
Benzo(b)fluoranthen	0,32	0,43	0,37	0,39	0,63
Benzo(k)fluoranthen	0,66	1,03	0,37	0,53	0,18
Benzo(e)pyren	1,39	2,48	0,60	0,48	0,32
Benzo(a)pyren	2,18	3,61	1,16	0,72	0,56
Perylen	1,36	2,57	0,63	0,48	0,34
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	0,28	0,33
Dibenzo(a.h)anthracen	0,39	0,39	0,20	0,29	0,53
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	14,30	23,84	12,76	9,88	12,11

Haus18

Tabelle 4: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.1 / 1.2, Außenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,15	0,11	0,03	<0,01	0,02
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02
Fluoranthen	0,78	0,59	0,12	0,11	0,24
Pyren	0,43	0,30	0,09	0,05	0,12
Benzo(b)fluoren	0,12	0,08	0,02	<0,01	0,03
Chrysen	1,54	1,69	1,44	1,13	1,75
Benzo(b)fluoranthen	0,51	0,39	0,18	0,16	0,26
Benzo(k)fluoranthen	1,91	0,88	0,35	0,21	0,29
Benzo(e)pyren	2,67	2,01	0,87	0,26	0,37
Benzo(a)pyren	3,61	2,88	1,20	0,40	0,69
Perylen	2,31	1,52	0,70	0,26	0,45
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,26
Dibenzo(a.h)anthracen	0,44	0,43	0,18	0,53	0,81
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	14,48	10,88	5,19	3,14	5,31

Tabelle 6: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 1.3, Homogenplatten, Innenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
Phenanthren	0,18	0,35	0,14	0,53
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	2,74	1,63	0,75	1,71
Pyren	1,50	1,79	0,53	1,52
Benzo(b)fluoren	0,19	0,12	<0,01	0,05
Chrysen	0,63	2,75	0,08	1,45
Benzo(b)fluoranthren	0,18	0,17	0,07	0,10
Benzo(k)fluoranthren	0,68	0,48	0,22	0,29
Benzo(e)pyren	1,27	1,12	0,50	0,61
Benzo(a)pyren	2,67	1,57	0,74	0,87
Perylen	1,31	0,97	0,50	0,51
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	<0,01	0,19	0,14	0,09
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	11,35	11,13	3,66	7,73

Tabelle 7: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 1.3 / 2.1, Außenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
Phenanthren	0,08	<0,01	<0,01	<0,01
Anthracen	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	0,89	0,14	0,09	0,21
Pyren	0,40	0,10	0,06	0,16
Benzo(b)fluoren	0,27	<0,01	0,02	<0,01
Chrysen	1,03	0,68	0,14	0,51
Benzo(b)fluoranthren	0,47	0,22	0,07	0,21
Benzo(k)fluoranthren	1,54	0,62	0,21	0,51
Benzo(e)pyren	3,56	1,43	0,47	1,18
Benzo(a)pyren	5,32	2,09	0,72	1,69
Perylen	3,60	1,23	0,43	1,06
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,65	<0,01	0,10	0,14
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	17,91	6,51	2,32	5,67

Tabelle 8: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 2.1, Hochdruckplatten, Innenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
Phenanthren	<0,01	0,02	0,02	0,06
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthen	0,29	0,09	0,18	0,22
Pyren	0,16	0,05	0,10	0,13
Benzo(b)fluoren	0,15	<0,01	0,02	<0,01
Chrysen	0,29	0,48	0,49	0,68
Benzo(b)fluoranthen	0,23	0,13	0,06	0,13
Benzo(k)fluoranthen	0,66	0,34	0,20	0,44
Benzo(e)pyren	1,36	0,71	0,44	1,06
Benzo(a)pyren	2,20	1,06	0,63	1,47
Perylen	1,41	0,63	0,46	0,89
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,32	0,20	0,06	0,23
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	7,07	3,71	2,66	5,31

u.N. = Unter Nachweisgrenze

Tabelle 7: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.3 / 2.1, Außenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
Phenanthren	0,08	<0,01	<0,01	<0,01
Anthracen	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthen	0,89	0,14	0,09	0,21
Pyren	0,40	0,10	0,06	0,16
Benzo(b)fluoren	0,27	<0,01	0,02	<0,01
Chrysen	1,03	0,68	0,14	0,51
Benzo(b)fluoranthen	0,47	0,22	0,07	0,21
Benzo(k)fluoranthen	1,54	0,62	0,21	0,51
Benzo(e)pyren	3,56	1,43	0,47	1,18
Benzo(a)pyren	5,32	2,09	0,72	1,69
Perylen	3,60	1,23	0,43	1,06
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,65	<0,01	0,10	0,14
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	17,91	6,51	2,32	5,67

Tabelle 9: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 2.2, Hochdruckplatten, Innenluft

PAH	Meßtage		
	1	2	3
Phenanthren	0,19	<0,01	0,03
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthen	0,58	0,39	0,27
Pyren	0,30	0,28	0,18
Benzo(b)fluoren	0,07	0,22	0,23
Chrysen	0,72	0,33	0,78
Benzo(b)fluoranthen	0,26	0,17	0,21
Benzo(k)fluoranthen	0,76	0,23	0,54
Benzo(e)pyren	1,65	0,39	1,03
Benzo(a)pyren	2,37	0,65	1,64
Perylen	1,43	0,37	1,05
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,44	0,19	0,37
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	8,77	3,22	6,33

Tabelle 10: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 2.2, Außenluft

PAH	Meßtage		
	1	2	3
Phenanthren	0,25	<0,01	<0,01
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthen	0,48	0,04	0,21
Pyren	0,09	0,04	0,14
Benzo(b)fluoren	0,14	0,12	0,28
Chrysen	0,88	0,99	1,43
Benzo(b)fluoranthen	0,40	0,20	0,32
Benzo(k)fluoranthen	1,04	0,50	0,80
Benzo(e)pyren	1,99	0,98	1,73
Benzo(a)pyren	3,42	2,44	2,56
Perylen	1,82	1,08	1,63
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	<0,01	<0,01	0,58
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	10,51	6,39	9,68

Tabelle 11: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 2.3, Hochdruckplatten, Innenluft

PAH	Meßtage		
	1	2	3
Phenanthren	<0,01	<0,01	0,04
Anthracen	<0,01	<0,01	0,02
Fluoranthren	0,31	0,47	0,18
Pyren	0,18	0,26	0,13
Benzo(b)fluoren	0,05	<0,01	0,21
Chrysen	0,74	1,15	1,10
Benzo(b)fluoranthren	0,39	0,50	0,29
Benzo(k)fluoranthren	0,75	0,87	0,32
Benzo(e)pyren	1,45	1,83	0,31
Benzo(a)pyren	2,35	2,83	0,51
Perylen	1,35	1,69	0,38
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	0,35
Dibenzo(a.h)anthracen	0,38	0,39	0,28
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	7,96	9,99	4,12

Tabelle 12: PAH-Konzentrationen an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 2.3, Außenluft

PAH	Meßtage		
	1	2	3
Phenanthren	<0,01	0,05	<0,01
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	0,18	0,57	0,10
Pyren	0,11	0,31	0,07
Benzo(b)fluoren	<0,01	<0,01	0,25
Chrysen	0,89	1,25	1,02
Benzo(b)fluoranthren	0,27	0,55	0,38
Benzo(k)fluoranthren	0,62	1,23	0,36
Benzo(e)pyren	1,21	2,55	0,49
Benzo(a)pyren	2,79	3,72	0,67
Perylen	1,07	1,98	0,52
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,30	<0,01	0,30
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	7,44	12,22	4,16

Tabelle 13: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 2.4, Hochdruckplatten, Innenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
	F162	F164	F170	F178
Phenanthren	<0,01	0,05	0,02	<0,01
Anthracen	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Fluoranthren	0,09	0,19	0,17	0,09
Pyren	0,07	0,16	0,14	0,08
Benzo(b)fluoren	0,02	0,04	0,07	<0,01
Chrysen	0,88	0,87	0,68	1,44
Benzo(b)fluoranthren	0,24	0,06	0,27	0,04
Benzo(k)fluoranthren	0,18	0,04	0,30	0,05
Benzo(e)pyren	0,84	0,19	1,03	0,37
Benzo(a)pyren	0,22	0,46	0,72	0,27
Perylen	1,17	0,48	n.a.	0,42
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	4,05	<0,01	n.a.	0,70
Dibenzo(a.h)anthracen	1,37	<0,01	n.a.	<0,01
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	9,13	2,54	n.v. 3,42	3,46

n.a. = nicht auswertbar

Tabelle 14: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 2.4, Hochdruckplatten, Außenluft

PAH	Meßtage			
	1	2	3	4
	F163	F165	F171	F179
Phenanthren	0,16		0,01	0,32
Anthracen	<0,01		<0,01	0,05
Fluoranthren	0,35		0,21	1,06
Pyren	0,35		0,30	0,97
Benzo(b)fluoren	0,14		0,05	0,35
Chrysen	2,27		1,04	4,96
Benzo(b)fluoranthren	0,26		0,04	0,53
Benzo(k)fluoranthren	0,19		0,44	1,56
Benzo(e)pyren	n.a.		<0,01	0,96
Benzo(a)pyren	n.a.		3,51	7,12
Perylen	n.a.		0,50	7,42
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01		<0,01	0,57
Dibenzo(a.h)anthracen	<0,01		n.a.	n.a.
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01		<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01		<0,01	2,73
Summe	n.a.		n.a.	n.a.

n.a. = nicht auswertbar

Tabelle 15: Mittelwerte der PAH in der Innenluft [ng/m³]
Standort 1.2

PAH	Versuche	
	1.2a	1.2b
Phenanthren	0,14	0,60
Anthracen	<0,01	0,02
Fluoranthen	1,13	2,25
Pyren	0,96	1,99
Benzo(b)fluoren	0,22	0,85
Chrysen	2,00	2,71
Benzo(b)fluoranthen	0,11	0,36
Benzo(k)fluoranthen	0,36	0,55
Benzo(e)pyren	0,54	0,80
Benzo(a)pyren	0,90	1,39
Perylen	0,64	0,85
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,12	0,21
Dibenzo(a.h)anthracen	0,21	0,33
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	0,07
=====		
Summe	7,33	12,98

Tabelle 16: Mittelwerte der PAH in der Außenluft [ng/m³]
Standort 1.2

PAH	Versuche	
	1.2a	1.2b
Phenanthren	0,03	0,04
Anthracen	<0,01	0,04
Fluoranthen	0,17	0,20
Pyren	0,11	0,13
Benzo(b)fluoren	0,19	0,11
Chrysen	0,79	0,67
Benzo(b)fluoranthen	0,30	0,28
Benzo(k)fluoranthen	0,52	0,42
Benzo(e)pyren	0,89	0,81
Benzo(a)pyren	1,35	1,25
Perylen	0,87	0,81
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,07	0,07
Dibenzo(a.h)anthracen	0,37	0,42
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	0,06
=====		
Summe	5,67	5,30

Tabelle 17: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.2, Erhöhung der Raumlufttemperatur,
Homogeplatten, Innenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,51	0,12	<0,01	0,05	0,03
Anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	1,35	1,55	0,37	1,02	1,34
Pyren	1,22	1,32	0,17	0,80	1,27
Benzo(b)fluoren	0,14	0,20	0,14	0,20	0,43
Chrysen	1,32	2,08	0,20	3,36	3,05
Benzo(b)fluoranthren	0,20	<0,01	0,13	0,23	<0,01
Benzo(k)fluoranthren	0,22	0,44	0,24	0,40	0,51
Benzo(e)pyren	0,45	0,49	0,45	0,96	0,37
Benzo(a)pyren	0,80	0,81	0,73	1,49	0,67
Perylen	0,92	0,56	0,45	0,87	0,40
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	0,25
Dibenzo(a.h)anthracen	0,27	0,30	<0,01	0,18	0,27
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	7,40	8,21	2,89	9,56	8,59

Tabelle 18: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³],
Standort 1.2, Erhöhung der Raumlufttemperatur,
Homogenplatten, Außenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,03	0,02	0,08	<0,01	<0,01
Anthracen	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	0,19	0,13	0,24	0,23	0,08
Pyren	0,10	0,06	0,16	0,17	0,06
Benzo(b)fluoren	0,02	<0,01	0,71	0,03	0,17
Chrysen	0,79	0,15	0,41	1,92	0,67
Benzo(b)fluoranthren	0,47	0,13	0,27	0,44	0,21
Benzo(k)fluoranthren	0,63	0,27	1,01	0,45	0,22
Benzo(e)pyren	0,92	0,63	1,90	0,61	0,39
Benzo(a)pyren	1,42	0,97	2,89	0,96	0,51
Perylen	0,96	0,66	1,80	0,57	0,37
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,35	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a.h)anthracen	0,46	0,18	0,28	0,19	0,75
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Summe	6,38	3,20	9,76	5,57	3,42

Tabelle 19: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 1.2, Erhöhung der relativen Luftfeuchte, Homogenplatten, Innenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	1,20	0,14	<0,01	0,70	0,96
Anthracen	0,06	<0,01	<0,01	0,02	0,02
Fluoranthren	2,66	2,16	2,07	1,54	2,84
Pyren	2,37	1,76	1,59	1,80	2,42
Benzo(b)fluoren	0,82	0,65	0,56	1,26	0,95
Chrysen	3,35	2,49	0,84	2,70	4,17
Benzo(b)fluoranthren	0,54	0,34	0,26	0,31	0,33
Benzo(k)fluoranthren	0,49	0,41	0,86	0,44	0,53
Benzo(e)pyren	0,57	0,23	1,77	1,03	0,41
Benzo(a)pyren	1,20	0,46	3,02	1,53	0,77
Perylen	0,74	0,27	1,95	0,89	0,41
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	0,35	0,17	<0,01	<0,01	0,52
Dibenzo(a.h)anthracen	0,37	0,46	0,36	0,17	0,27
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,37
Summe	14,73	9,54	13,28	12,41	14,96

Tabelle 20: PAH-Konzentration an den einzelnen Meßtagen [ng/m³], Standort 1.2, Erhöhung der relativen Luftfeuchte, Homogenplatten, Außenluft

PAH	Meßtage				
	1	2	3	4	5
Phenanthren	0,17	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Anthracen	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fluoranthren	0,35	0,05	0,18	0,17	0,24
Pyren	0,18	0,04	0,11	0,13	0,20
Benzo(b)fluoren	0,06	0,18	0,08	0,02	0,21
Chrysen	1,11	0,66	0,23	0,22	1,14
Benzo(b)fluoranthren	0,52	0,27	0,16	0,13	0,31
Benzo(k)fluoranthren	0,64	0,29	0,49	0,34	0,32
Benzo(e)pyren	1,55	0,48	0,96	0,69	0,35
Benzo(a)pyren	2,45	0,74	1,46	1,03	0,56
Perylen	1,63	0,42	0,96	0,64	0,37
Indeno(1.2.3-c.d)pyren	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,36
Dibenzo(a.h)anthracen	1,42	0,14	0,19	0,18	0,19
Dibenzo(a.c)anthracen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g.h.i)perylene	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,28
Summe	10,31	3,29	4,81	3,57	4,54

Tabelle 21: Schwankungsbreite und arithmetische Mittelwerte
Innenluft, Standorte Homogenplatten

Innenluft Homogenplatten											
PAH	Feldversuche						Sonderversuche				PAH
	1.1		1.2		1.3		1.2a		1.2b		
	n=5	a.M.	n=5	a.M.	n=4	a.M.	n=5	a.M.	n=5	a.M.	
PHE	0,18-0,49	0,37	0,03-1,98	0,84	0,14-0,53	0,30	<0,01-0,51	0,14	<0,01-1,20	0,60	PHE
ANT	<0,01-0,03	0,01	<0,01-0,06	0,02		<0,01		<0,01	<0,01-0,06	0,02	ANT
FLU	2,05-4,53	2,88	1,45-3,35	2,55	0,75-2,74	1,71	0,37-1,35	1,13	1,54-2,84	2,25	FLU
PYR	1,28-2,66	1,93	1,58-2,93	2,17	0,53-1,79	1,34	0,17-1,32	0,96	1,59-2,42	1,99	PYR
BFL	0,12-0,24	0,19	0,28-0,50	0,42	<0,01-0,19	0,09	0,14-0,43	0,22	0,56-1,26	0,85	BFL
CHR	1,24-4,73	3,29	1,70-4,59	3,35	0,08-2,75	1,23	0,20-3,36	2,00	0,84-4,17	2,71	CHR
BBF	0,24-0,77	0,42	0,32-0,63	0,43	0,07-0,18	0,13	<0,01-0,23	0,11	0,26-0,54	0,36	BBF
BKF	0,13-1,69	0,64	0,18-1,03	0,55	0,22-0,68	0,41	0,22-0,51	0,36	0,41-0,86	0,55	BKF
BEP	0,27-3,06	1,06	0,32-2,48	1,05	0,50-1,27	0,87	0,37-0,96	0,54	0,23-1,77	0,80	BEP
BAP	0,41-5,51	1,78	0,56-3,61	1,65	0,74-2,67	1,46	0,67-1,49	0,90	0,46-3,02	1,39	BAP
PER	0,27-3,38	1,09	0,34-2,57	1,08	0,50-1,31	0,82	0,40-0,92	0,64	0,27-1,95	0,85	PER
IND	<0,01-0,44	0,09	<0,01-0,33	0,12		<0,01	<0,01-0,33	0,12	<0,01-0,52	0,21	IND
DHA	0,19-0,74	0,44	0,20-0,53	0,36	<0,01-0,19	0,10	<0,01-0,30	0,21	0,17-0,46	0,33	DHA
DCA		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	DCA
BGP		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	<0,01-0,37	0,07	BGP
Σ	9,1-26,9	14,18	9,9-23,8	14,58	3,7-11,4	8,47	2,9- 9,6	7,33	9,5-15,0	12,98	Σ

Tabelle 22: Schwankungsbreite und arithmetische Mittelwerte
Innenluft, Standorte Hochdruckplatten

Innenluft									
Hochdruckplatten									
PAH	2.1		2.2		2.3		2.4		PAH
	n=4	a.M.	n=3	a.M.	n=3	a.M.	n=4	a.M.	
PHE	<0,01-0,06	0,03	<0,01-0,19	0,07	<0,01-0,04	0,01	<0,01-0,05	0,02	PHE
ANT		<0,01		<0,01	<0,01-0,02	0,01	<0,01-0,01	<0,01	ANT
FLU	0,09-0,29	0,20	0,27-0,58	0,41	0,18-0,47	0,32	0,09-0,19	0,14	FLU
PYR	0,05-0,16	0,11	0,18-0,30	0,25	0,13-0,26	0,19	0,07-0,16	0,11	PYR
BFL	<0,01-0,15	0,04	0,07-0,23	0,17	<0,01-0,21	0,09	<0,01-0,07	0,03	BFL
CHR	0,29-0,68	0,48	0,33-0,78	0,61	0,74-1,15	1,00	0,68-1,44	0,97	CHR
BBF	0,06-0,23	0,14	0,17-0,26	0,21	0,29-0,50	0,39	0,04-0,27	0,15	BBF
BKF	0,20-0,66	0,41	0,23-0,76	0,51	0,32-0,87	0,65	0,04-0,30	0,14	BKF
BEP	0,44-1,36	0,89	0,39-1,65	1,02	0,31-1,83	1,20	0,19-1,03	0,61	BEP
BAP	0,63-2,20	1,34	0,65-2,37	1,56	0,51-2,83	1,90	0,22-0,72	0,42	BAP
PER	0,46-1,41	0,85	0,37-1,43	0,95	0,38-1,69	1,14	0,42-1,17*	0,69*	PER
IND		<0,01		<0,01	<0,01-0,35	0,12	<0,01-4,05*	1,55*	IND
DHA	0,06-0,32	0,20	0,19-0,44	0,34	0,28-0,39	0,35	<0,01-1,37*	0,46*	DHA
DCA		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	DCA
BGP		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	BGP
Σ	2,7-7,1	4,69	3,2-8,8	6,11	4,1-10,0	7,36	2,5-9,1*	5,29*	Σ

* = ohne Berücksichtigung von Meßtag 3

Tabelle 23: Schwankungsbreite und arithmetische Mittelwerte Außenluft

Außenluft															
PAH	1.1/1.2		1.3/2.1		2.2		2.3		2.4 (o. Meßt.2)		1.2a		1.2b		PAH
	n=5	a.M.	n=4	a.M.	n=3	a.M.	n=3	a.M.	n=3	a.M.	n=5	a.M.	n=5	a.M.	
PHE	<0,01-0,15	0,06	<0,01-0,08	0,02	<0,01-0,25	0,08	<0,01-0,05	0,02	0,01-0,32	0,16	<0,01-0,08	0,03	<0,01-0,17	0,04	PHE
ANT	<0,01-0,02	0,01	<0,01-0,11	0,03		<0,01		<0,01	<0,01-0,05	0,02	<0,01-0,02	<0,01	<0,01-0,22	0,04	ANT
FLU	0,11-0,78	0,37	0,09-0,89	0,33	0,04-0,48	0,24	0,10-0,57	0,28	0,21-1,06	0,54	0,08-0,24	0,17	0,05-0,35	0,20	FLU
PYR	0,05-0,43	0,20	0,06-0,40	0,18	0,04-0,14	0,09	0,07-0,31	0,17	0,30-0,97	0,54	0,06-0,17	0,11	0,04-0,20	0,13	PYR
BFL	<0,01-0,12	0,05	<0,01-0,27	0,07	0,12-0,28	0,18	<0,01-0,25	0,08	0,05-0,35	0,18	<0,01-0,71	0,19	0,02-0,21	0,11	BFL
CHR	1,13-1,75	1,51	0,14-1,03	0,59	0,88-1,43	1,10	0,89-1,25	1,05	1,04-4,96	2,76	0,15-1,92	0,79	0,22-1,14	0,67	CHR
BBF	0,16-0,51	0,30	0,07-0,47	0,24	0,20-0,40	0,31	0,27-0,55	0,40	0,04-0,53	0,28	0,13-0,47	0,30	0,13-0,52	0,28	BBF
BKF	0,21-1,91	0,73	0,21-1,54	0,72	0,50-1,04	0,78	0,36-1,23	0,74	0,19-1,56	0,73	0,22-1,01	0,52	0,29-0,64	0,42	BKF
BEP	0,26-2,67	1,24	0,47-3,56	1,66	0,98-1,99	1,57	0,49-2,55	1,42	<0,01-0,96*		0,39-1,90	0,89	0,35-1,55	0,81	BEP
BAP	0,40-3,61	1,76	0,72-5,32	2,46	2,44-3,42	2,81	0,67-3,72	2,39	3,51-7,12*		0,51-2,89	1,35	0,56-2,45	1,25	BAP
PER	0,26-2,31	1,05	0,43-3,60	1,58	1,08-1,82	1,51	0,52-1,98	1,19	0,50-7,42*		0,37-1,80	0,87	0,37-1,63	0,81	PER
IND	<0,01-0,26	0,05		<0,01		<0,01		<0,01	<0,01-0,57	0,19	<0,01-0,35	0,07	<0,01-0,36	0,07	IND
DHA	0,18-0,81	0,48	<0,01-0,65	0,22	<0,01-0,58	0,19	<0,01-0,30	0,20		<0,01 ⁺	0,18-0,75	0,37	0,18-1,42	0,42	DHA
DCA		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	DCA
BGP		<0,01		<0,01		<0,01		<0,01	<0,01-2,73	0,91		<0,01	<0,01-0,28	0,06	BGP
Σ	3,1-14,5	7,80	2,3-17,9	8,10	6,4-10,5	8,86	4,2-12,2	7,94			3,2- 9,8	5,67	3,3-10,3	5,30	Σ

* = ohne Berücksichtigung von Meßtag 1, ⁺ = ohne Berücksichtigung von Meßtag 3 und 4

8. Abbildungen

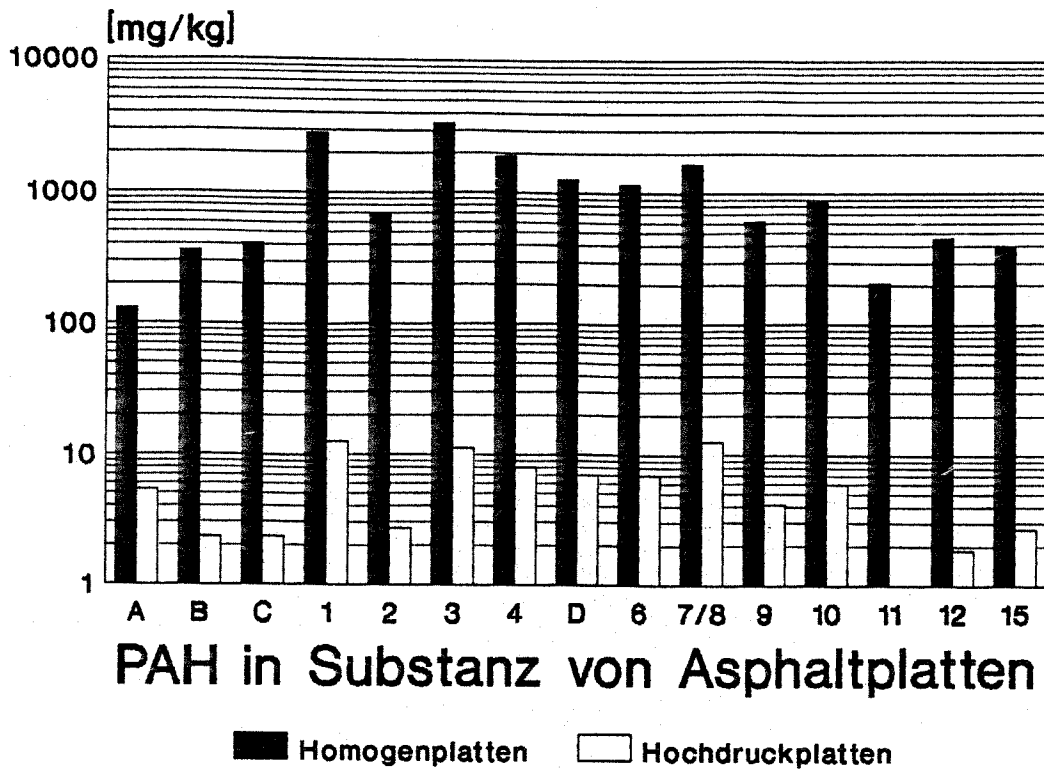


Abb.1: PAH in der Substanz von Homogen- und Hochdruck-Asphaltplatten. Mittelwerte von 7 bzw. 4 Platten aufgrund einer Untersuchung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Logarithmische Skalierung der Konzentrationsachse).

A Naphthalin	3 Fluoranthren	9 Benzo(e)pyren
B Acenaphthen	4 Pyren	10 Benzo(a)pyren
C Fluoren	D Benzo(a)anthracen	11 Perylen
1 Phenanthren	6 Chrysen	12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren
2 Anthracen	7/8 Benzo(b+k)fluoranthren	15 Benzo(g,h,i)perylen

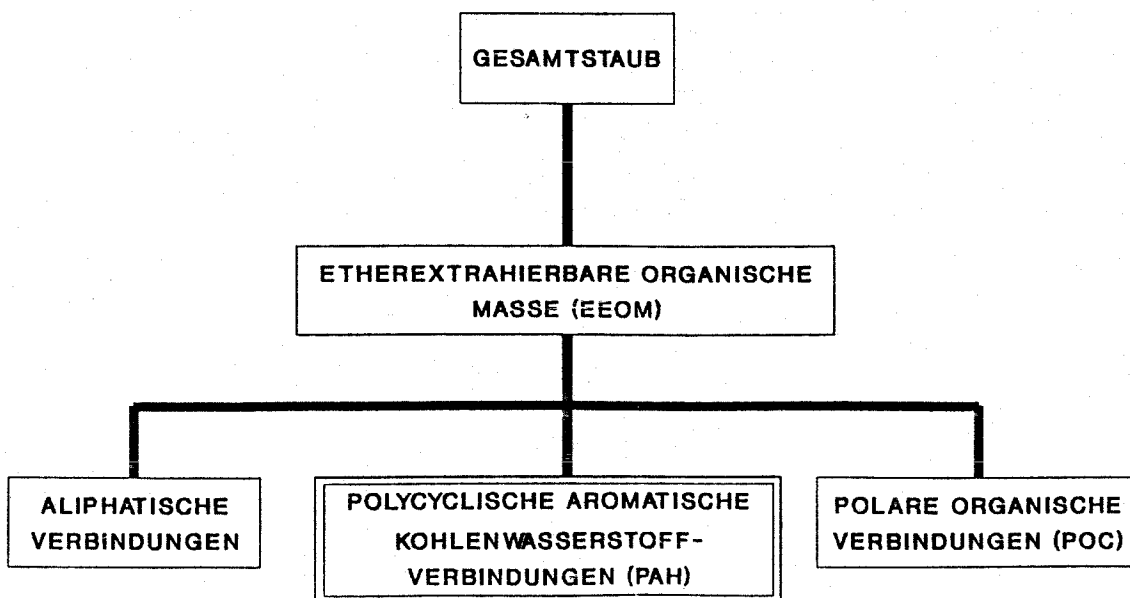


Abb.2: Übersicht über den Extraktionsgang des Luftstaubs.

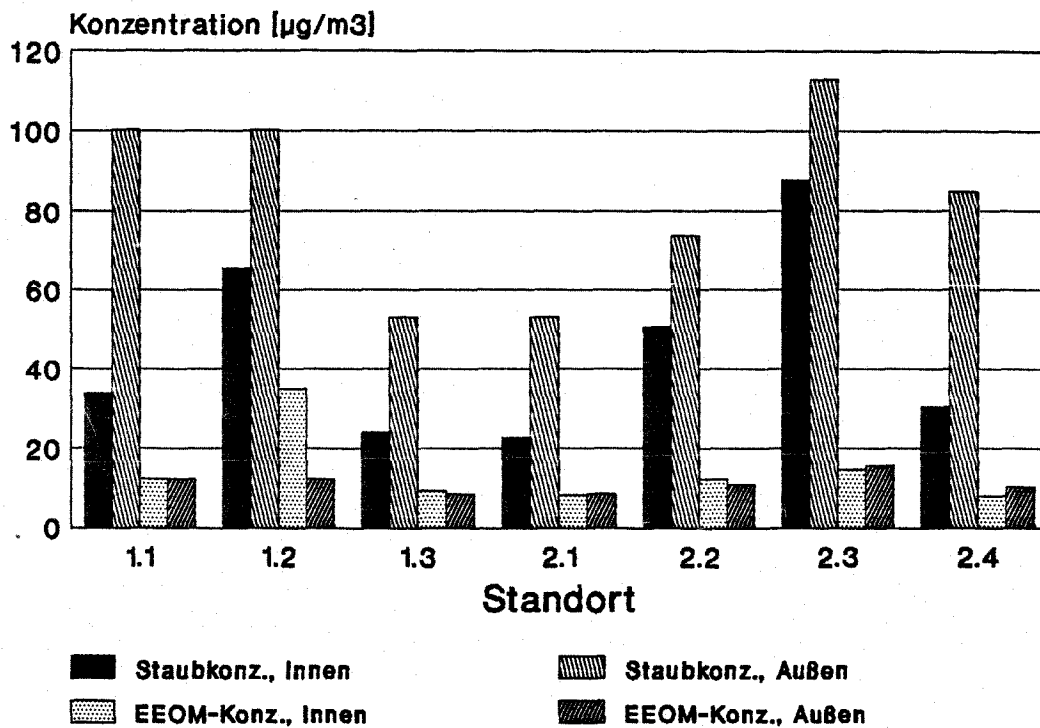
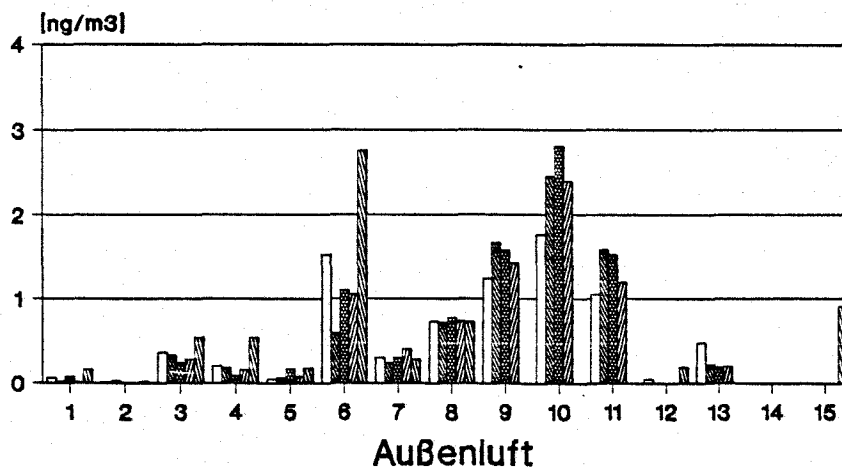
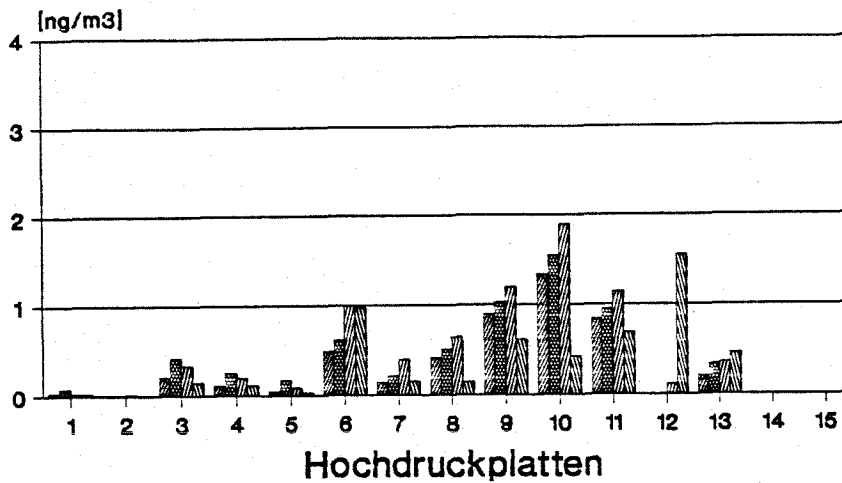
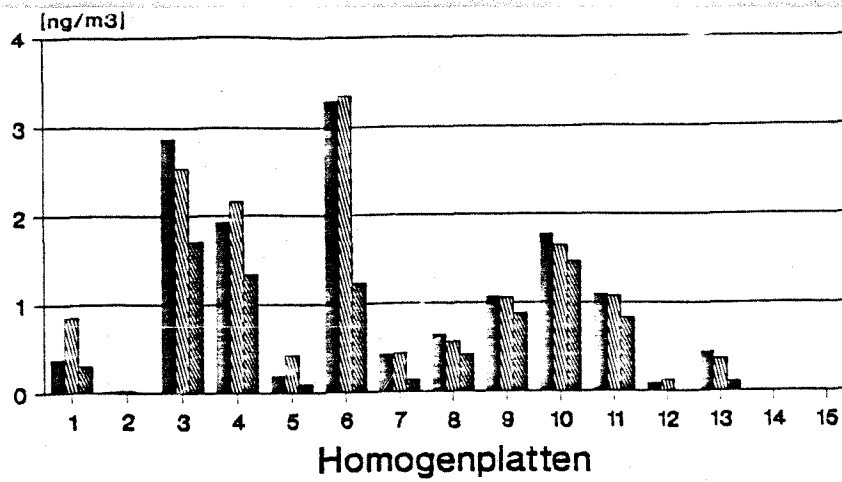


Abb. 3: Mittelwerte der Staubkonzentrationen und der EEOM-Konzentrationen. Vergleich der Werte für Innenluft und Außenluft der einzelnen Standorte der Feldversuche.

Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;

1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physikgebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11; 2.4 = Gipsabdruckabteilung

1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Hochdruckplatten

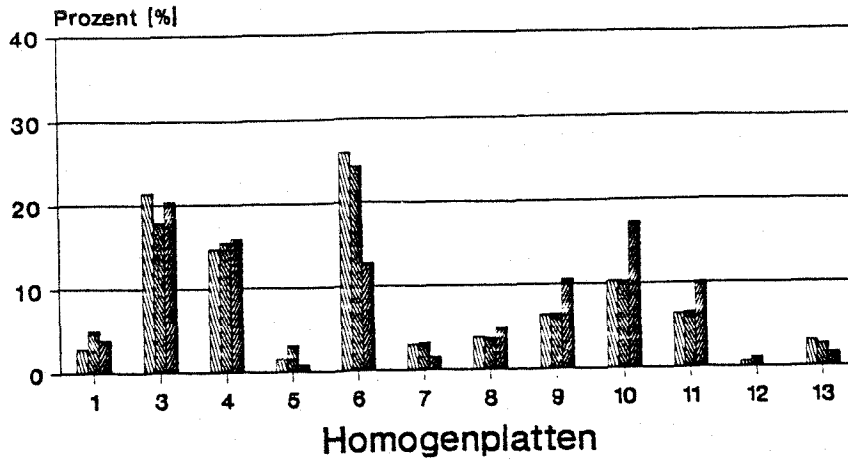


Legend for Außenluft: 1.1 / 1.2 (white), 1.3 / 2.1 (diagonal lines), 2.2 (cross-hatched), 2.3 (diagonal lines), 2.4 (ohne 10,11,12) (cross-hatched)

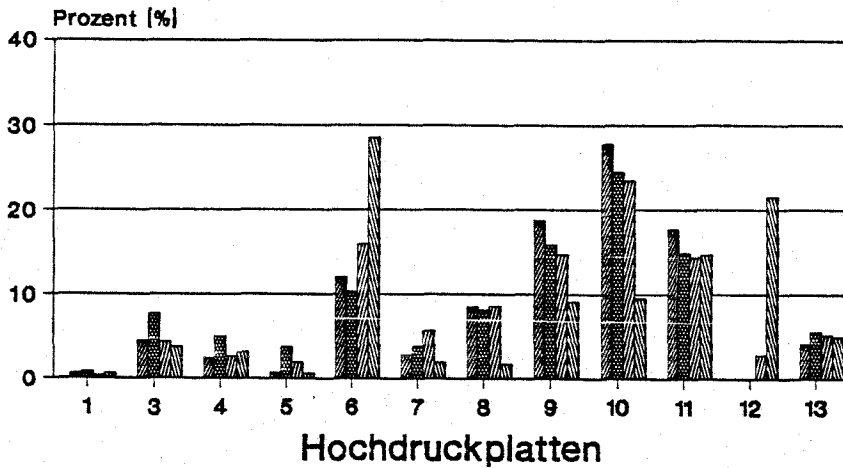
Abb. 4: Mittelwerte der nachgewiesenen PAH im Staub der Innen- und Außenluft. Vergleich der Werte der einzelnen Standorte der Feldversuche.

- | | | |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 Phenanthren | 6 Chrysen | 11 Perylen |
| 2 Anthracen | 7 Benzo(b)fluoranthen | 12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren |
| 3 Fluoranthen | 8 Benzo(k)fluoranthen | 13 Dibenzo(a.h)anthracen |
| 4 Pyren | 9 Benzo(e)pyren | 14 Dibenzo(a.c)anthracen |
| 5 Benzo(b)fluoren | 10 Benzo(a)pyren | 15 Benzo(g.h.i)perylen |

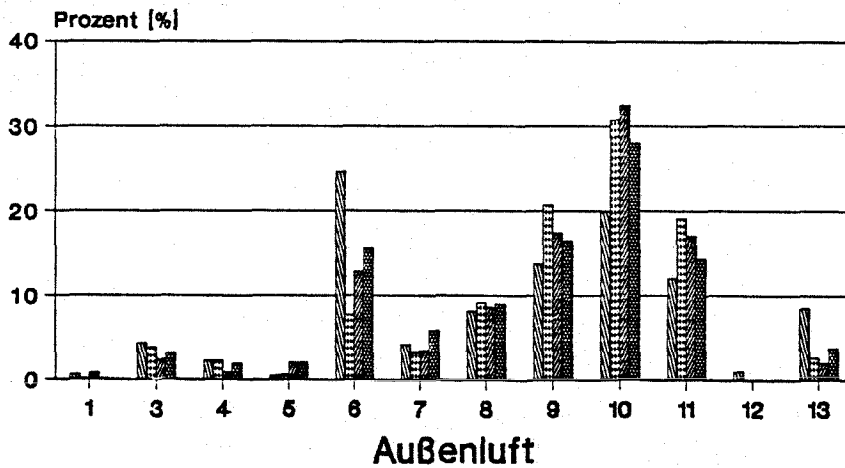
Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;
 1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physik-
 gebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11; 2.4 = Gipsabdruckabteilung.
 1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3 Hochdruckplatten



1.1 1.2 1.3



2.1 2.2 2.3 2.4



1.1 / 1.2 1.3 / 2.1 2.2 2.3

Abb. 5: Profile der Mittelwerte der PAH in Innen- und Außenluft der Feldversuche. Summe der nachgewiesenen PAH = 100%.

1 Phenanthren 6 Chrysen 10 Benzo(a)pyren
 3 Fluoranthren 7 Benzo(b)fluoranthren 11 Perylen
 4 Pyren 8 Benzo(k)fluoranthren 12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren
 5 Benzo(b)fluoren 9 Benzo(e)pyren 13 Dibenzo(a,h)anthracen

Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;

1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physik-
 gebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11; 2.4 = Gipsabdruckabteilung

1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Hochdruckplatten

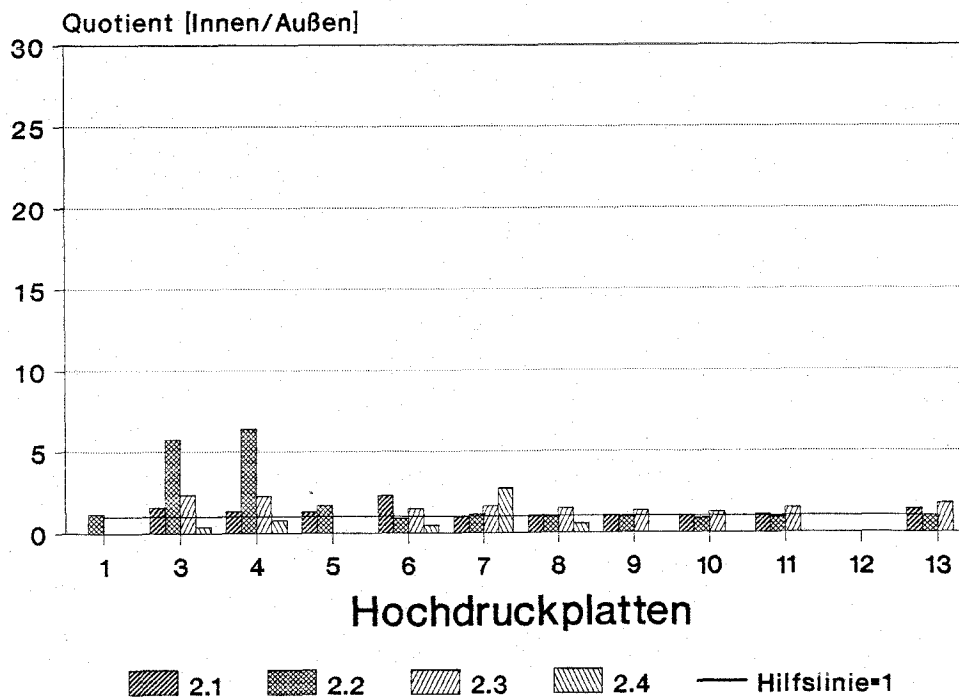
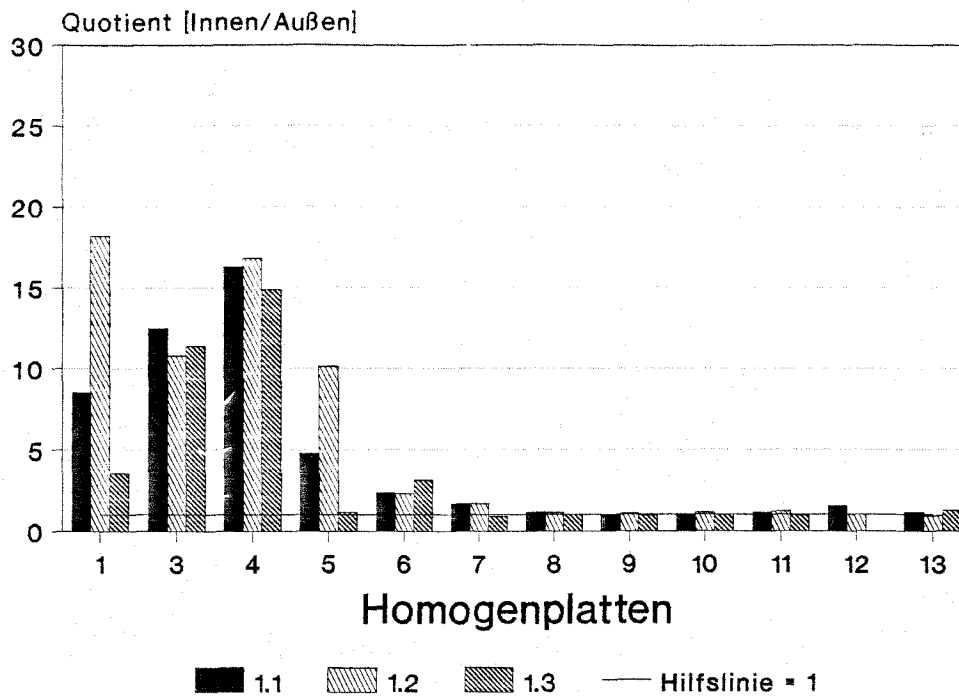


Abb. 6: Mittelwerte der Quotienten einzelner PAH im Staub der Innenluft zu einzelnen PAH im Staub der Außenluft bei Standorten mit Homogen- und Hochdruckplatten im Feldversuch.

1 Phenanthren 6 Chrysen 10 Benzo(a)pyren
 3 Fluoranthen 7 Benzo(b)fluoranthen 11 Perylen
 4 Pyren 8 Benzo(k)fluoranthen 12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren
 5 Benzo(b)fluoren 9 Benzo(e)pyren 13 Dibenzo(a,h)anthracen

Standortbezeichnungen: 1.1 = BGA, Haus 10; 1.2 = BGA, Haus 18;
 1.3 = TFH, Haus Gauß; 2.1 = TFH, Haus Bauwesen, 2.2 = Physik-
 gebäude Arnimallee; 2.3 = Postamt 11; 2.4 = Gipsabdruckabteilung
 1.1, 1.2, 1.3 Homogenplatten; 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Hochdruckplatten

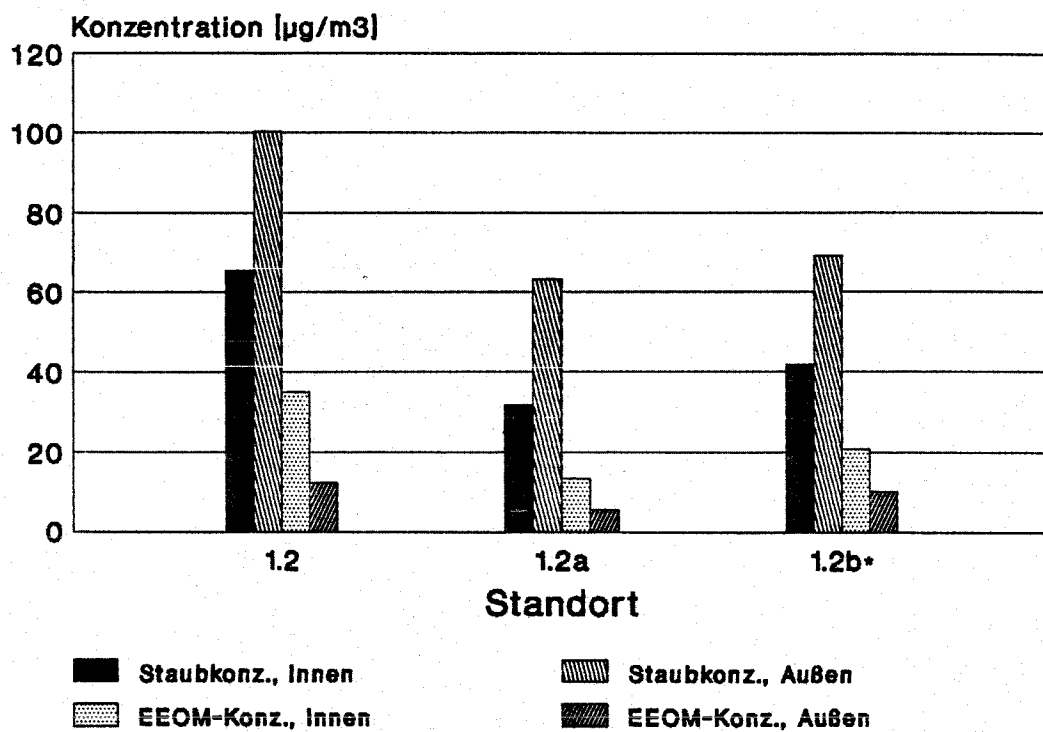


Abb. 7: Mittelwerte der Staubkonzentrationen und der EEOM-Konzentrationen. Vergleich der Werte für Innenluft und Außenluft des Feldversuches mit den Sonderuntersuchungen 1.2a und 1.2b.

Standortbezeichnungen: 1.2 = BGA, Haus 18

Sonderuntersuchungen:

1.2a = Standort 1.2 nach Erhöhung der Raumlufthtemperatur

1.2b = Standort 1.2 nach Erhöhung der relativen Raumlufthfeuchte

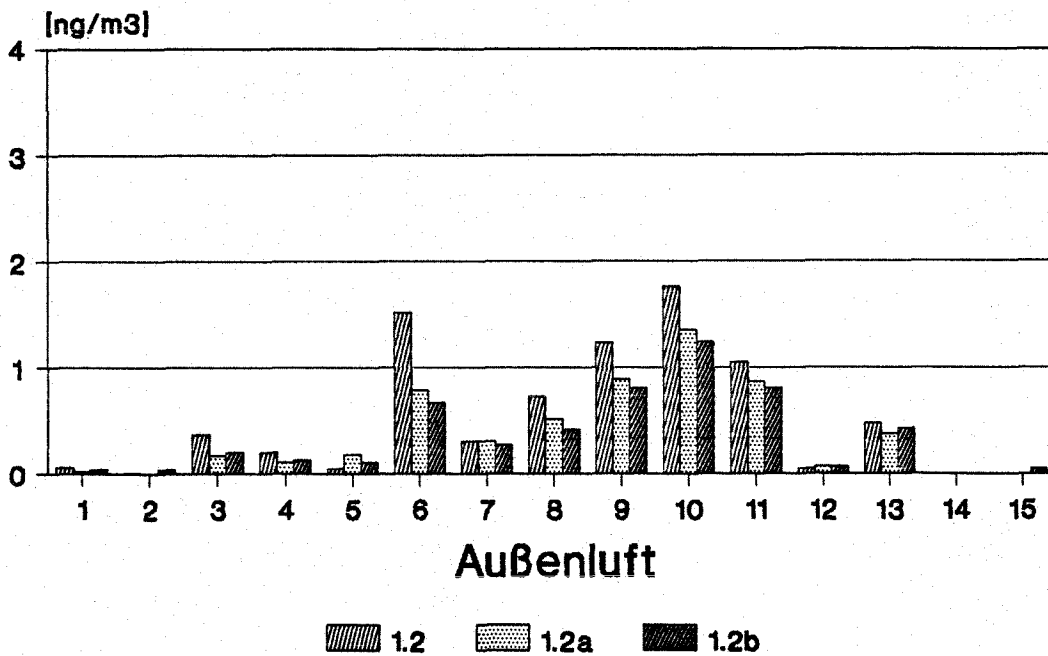
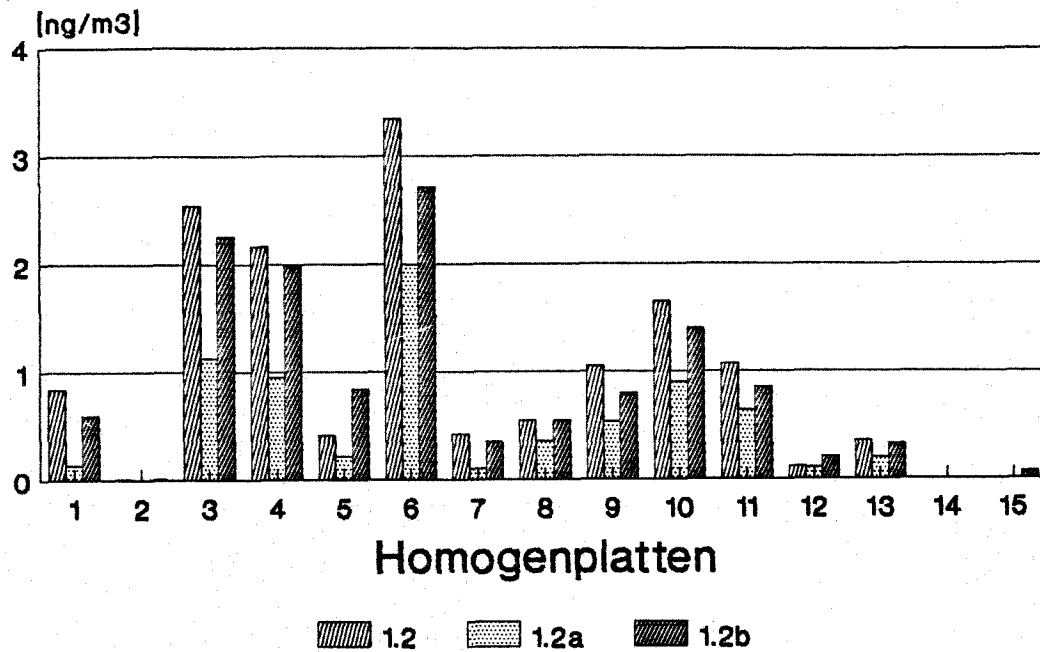


Abb. 8: Mittelwerte der nachgewiesenen PAH im Staub der Innen- und Außenluft. Vergleich der Werte der Feldversuches 1.2 mit den Sonderuntersuchungen 1.2a und 1.2b.

- | | | |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1 Phenanthren | 6 Chrysen | 11 Perylen |
| 2 Anthracen | 7 Benzo(b)fluoranthen | 12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren |
| 3 Fluoranthen | 8 Benzo(k)fluoranthen | 13 Dibenzo(a.h)anthracen |
| 4 Pyren | 9 Benzo(e)pyren | 14 Dibenzo(a.c)anthracen |
| 5 Benzo(b)fluoren | 10 Benzo(a)pyren | 15 Benzo(g.h.i)perylen |

Standortbezeichnungen: 1.2 = BGA, Haus 18

Sonderuntersuchungen:

1.2a = Standort 1.2 nach Erhöhung der Raumlufttemperatur

1.2b = Standort 1.2 nach Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte

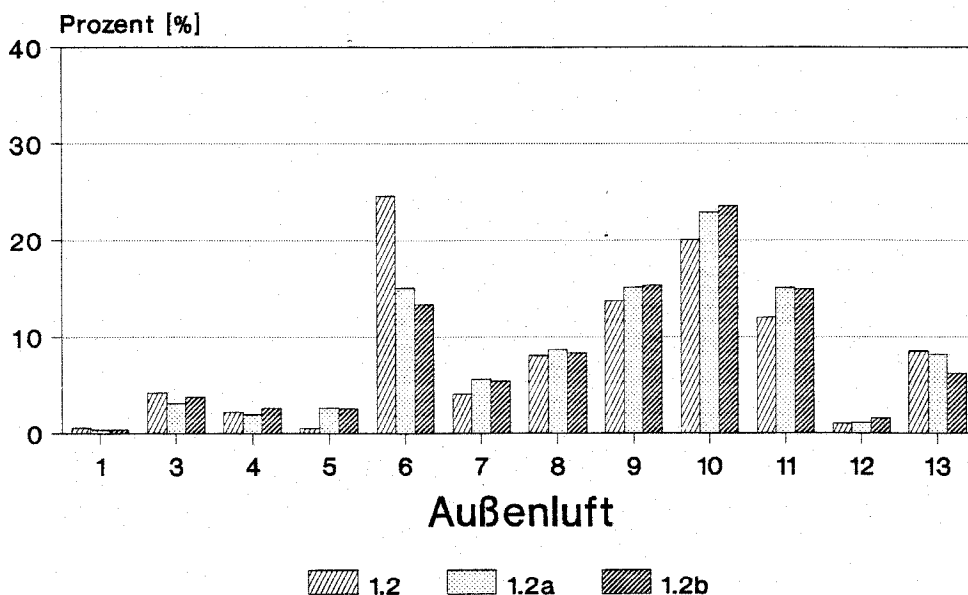
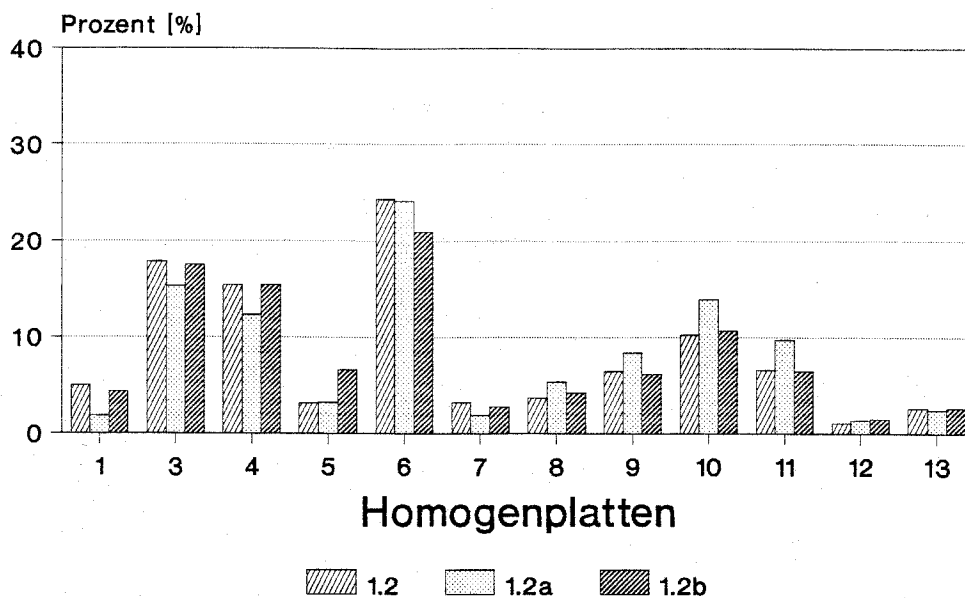


Abb. 9: Profile der Mittelwerte der PAH in Innen- und Außenluft. Vergleich Feldversuch 1.2 mit den Sonderuntersuchungen 1.2a und 1.2b. Summe der nachgewiesenen PAH = 100%.

1 Phenanthren 6 Chrysen 10 Benzo(a)pyren
 3 Fluoranthren 7 Benzo(b)fluoranthren 11 Perylen
 4 Pyren 8 Benzo(k)fluoranthren 12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren
 5 Benzo(b)fluoren 9 Benzo(e)pyren 13 Dibenzo(a.h)anthracen

Standortbezeichnungen: 1.2 = BGA, Haus 18

Sonderuntersuchungen:

1.2a = Standort 1.2 nach Erhöhung der Raumlufttemperatur

1.2b = Standort 1.2 nach Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte

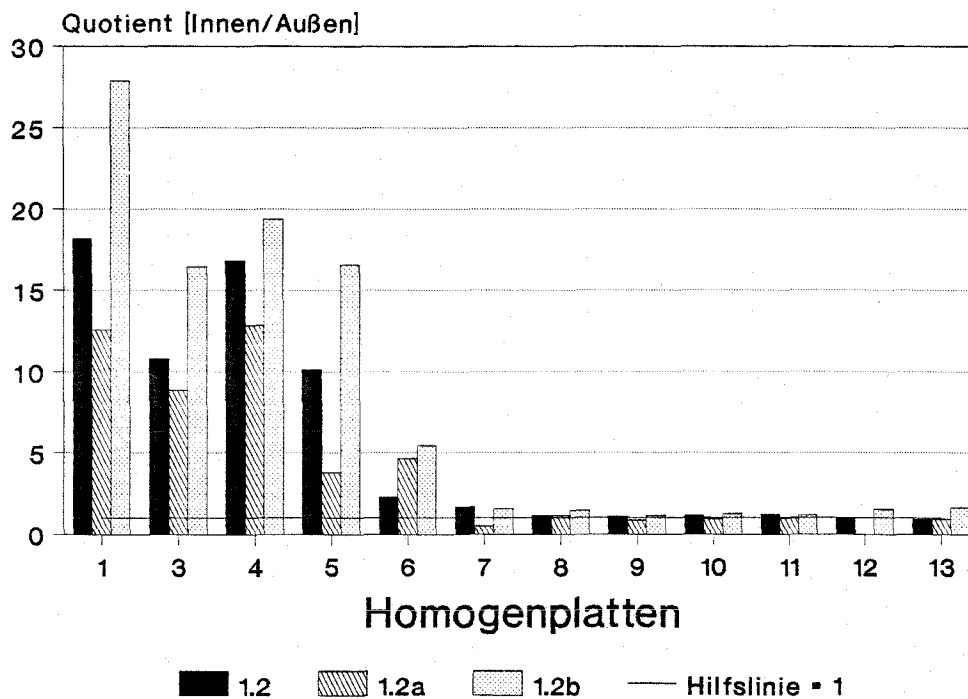


Abb. 10: Mittelwerte der Quotienten einzelner PAH im Staub der Innenluft zu einzelnen PAH im Staub der Außenluft bei Feldversuch 1.2 mit Sonderuntersuchungen 1.2a und 1.2b.

1 Phenanthren	6 Chrysen	10 Benzo(a)pyren
3 Fluoranthren	7 Benzo(b)fluoranthren	11 Perylen
4 Pyren	8 Benzo(k)fluoranthren	12 Indeno(1.2.3-c.d)pyren
5 Benzo(b)fluoren	9 Benzo(e)pyren	13 Dibenzo(a.h)anthracen

Standortbezeichnungen: 1.2 = BGA, Haus 18

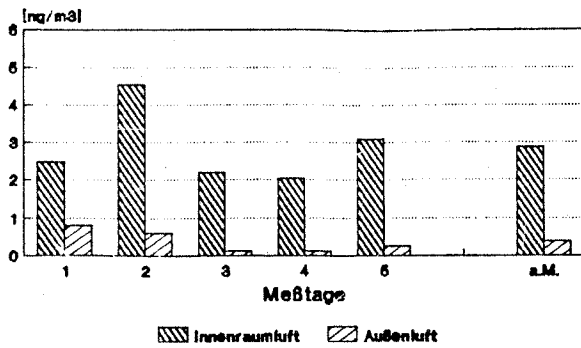
Sonderuntersuchungen:

1.2a = Standort 1.2 nach Erhöhung der Raumlufttemperatur

1.2b = Standort 1.2 nach Erhöhung der relativen Raumluftfeuchte

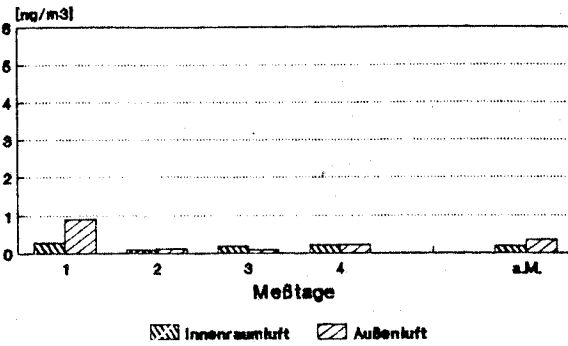
Homogenplatten

Standort 1.1

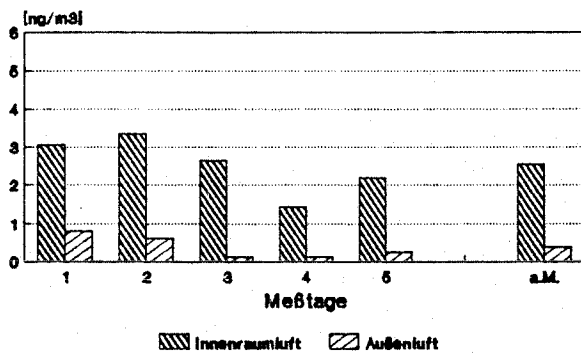


Hochdruckplatten

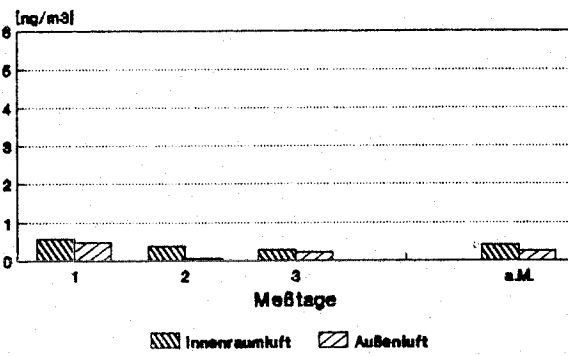
Standort 2.1



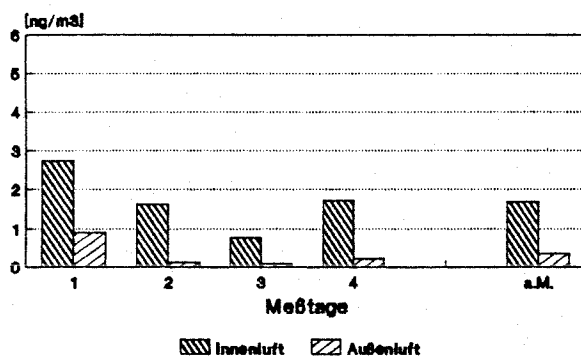
Standort 1.2



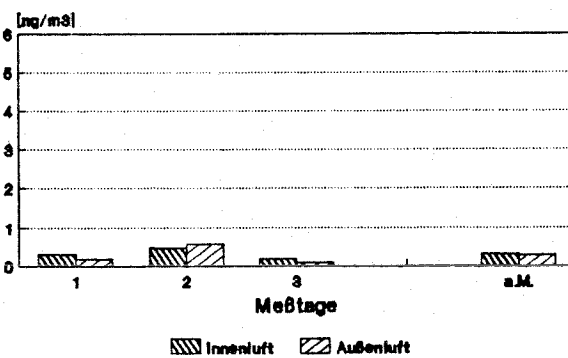
Standort 2.2



Standort 1.3



Standort 2.3



Standort 2.4

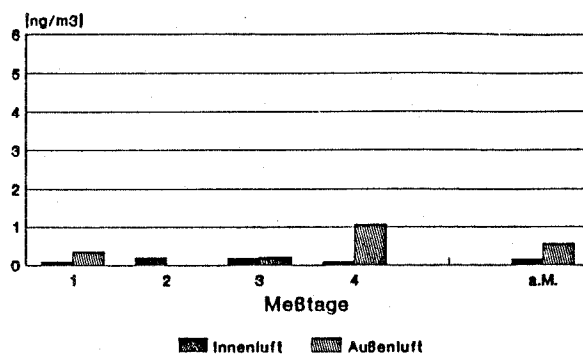
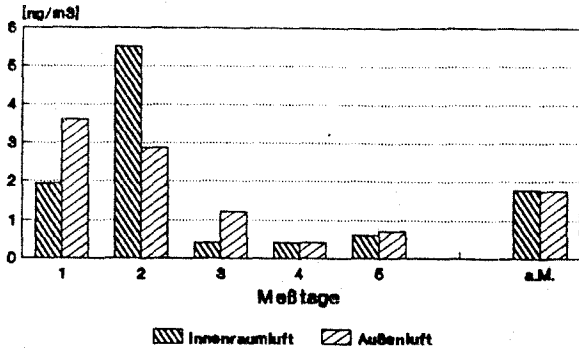


Abb. 11: Konzentrationen von Fluoranthen in Innen- und Außenluft für Homogen- und Hochdruckplatten im Feldversuch.

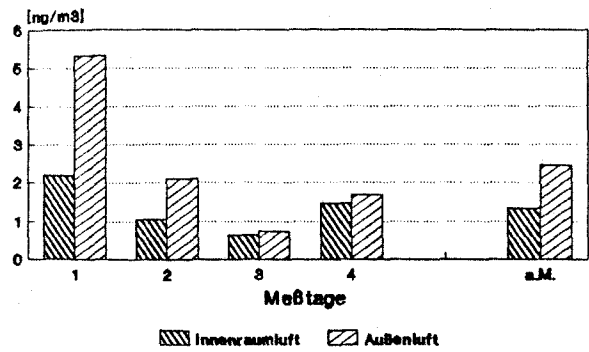
Homogenplatten

Standort 1.1

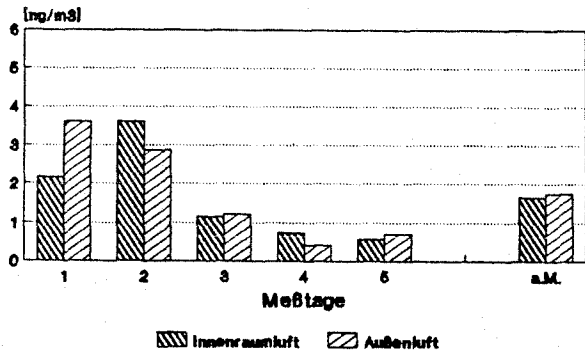


Hochdruckplatten

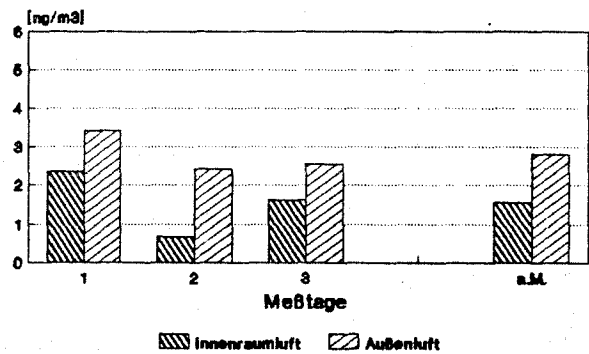
Standort 2.1



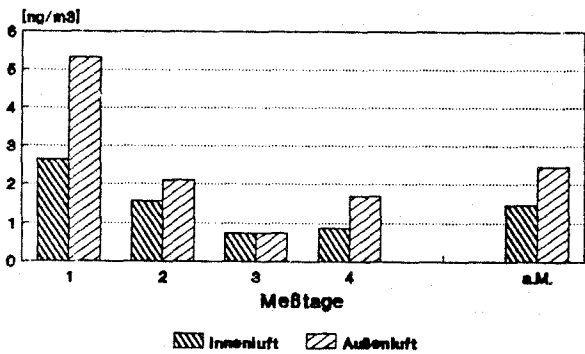
Standort 1.2



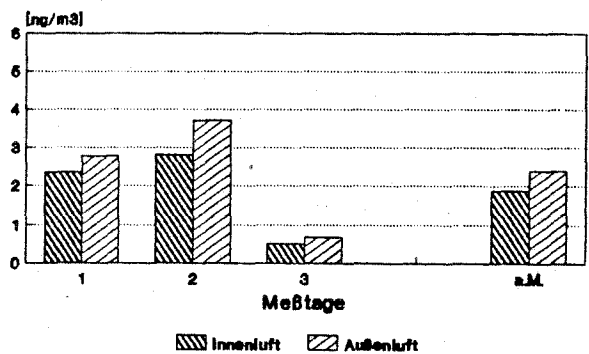
Standort 2.2



Standort 1.3



Standort 2.3



Standort 2.4

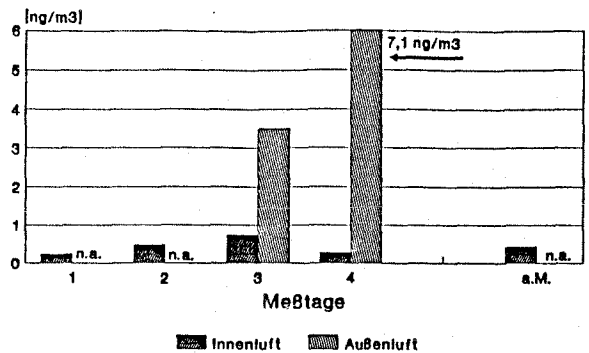
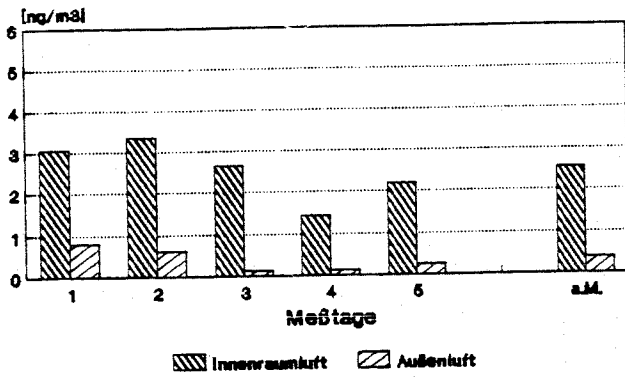


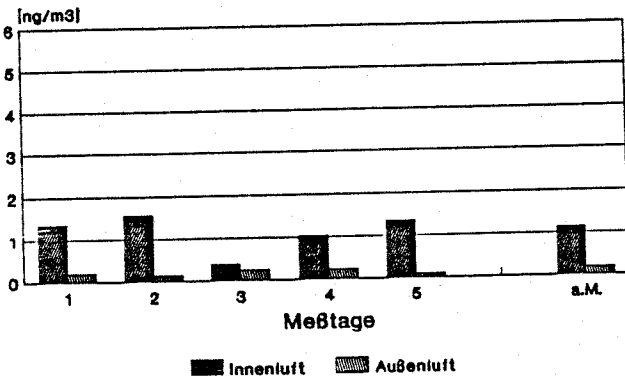
Abb. 12: Konzentrationen von Benzo(a)pyren in Innen- und Außenluft für Homogen- und Hochdruckplatten im Feldversuch.

Homogenplatten

Standort 1.2



Standort 1.2a



Standort 1.2b

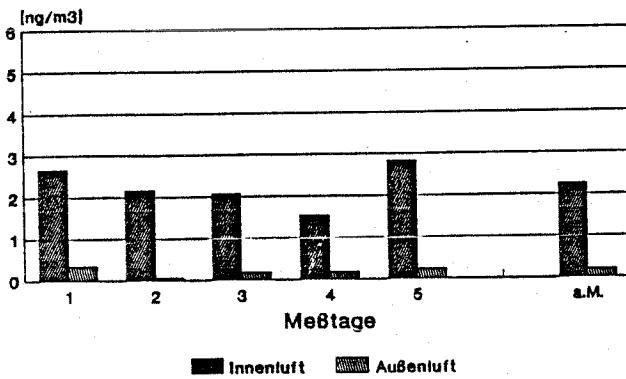
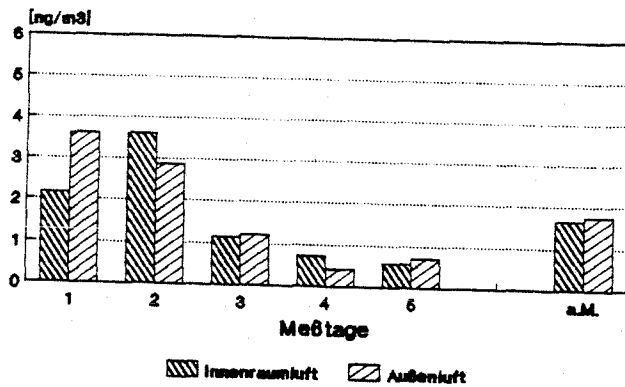


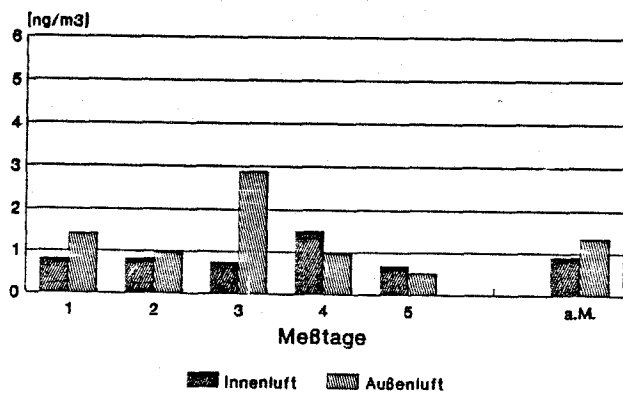
Abb. 13: Konzentrationen von Fluoranthen in Innen- und Außenluft für Homogenplatten in der Sonderuntersuchung.

Homogenplatten

Standort 1.2



Standort 1.2a



Standort 1.2b

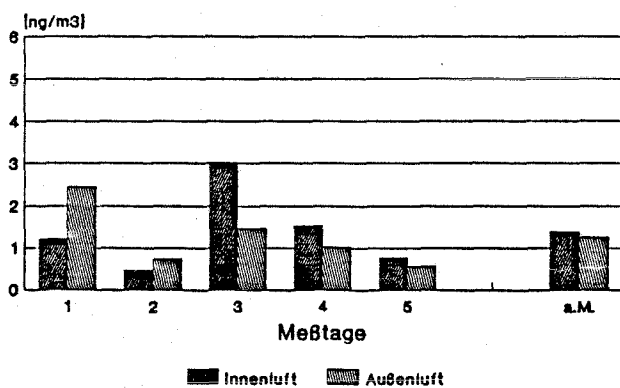


Abb. 14: Konzentrationen von Benzo(a)pyren in Innen- und Außenluft für Homogenplatten in der Sonderuntersuchung.