

Chimia 52 (1998) 225-229
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
 ISSN 0009-4293

Recycling von Strassenbelägen - ein Umweltproblem?

Martin Hugener^{a)}*, Peter Mattrel^{b)}, Peter Schmid^{b)} und Hermann W. Fritz

Recycling of Road Pavements - an Environmental Problem?

Abstract. For several decades, in addition to bitumen, binders containing tar were used for road pavements in Switzerland. As tar contains up to 10000 times higher concentrations of toxic phenols and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) than bitumen, tar was banned as a binder in road constructions. Nevertheless, several thousand tons of tar are still present in old pavements presenting a problem when roads have to be renovated. In 1997, regulations were introduced in Switzerland prohibiting the recycling of road materials with a content above 5000 mg PAH/kg binder.

For the determination of PAH, several analytical methods are used ranging from simple screening tests to sophisticated analytical methods. Due to easy handling and simple instrumentation, thin-layer chromatography (TLC) is an adequate choice for road laboratories, whereas the determination of the quantitative composition of PAH mixtures has to be based on more demanding methods such as HPLC with fluorescence detection or GC-MS.

1. Einleitung

Die schwarzen Strassenbeläge, die wir tagtäglich benützen, bestehen zu 95% aus Gestein und zu 5% aus einem Bindemittel, das diese Mineralstoffe zusammenklebt. Heute wird als Bindemittel ausschliesslich Bitumen verwendet; vor nicht sehr langer Zeit wurde aber auch Teer oder eine Mischung aus Bitumen und Teer dafür benutzt. Auch heute noch wird in der Umgangssprache oder in den Tageszeitungen kein Unterschied zwischen Bitumen und Teer gemacht. So wird beispielsweise eine Strasse immer noch 'geteert', auch wenn kein Tropfen Teer verwendet wird.

Teer und Bitumen sind beide schwarz, unterscheiden sich aber in ihrer Herstellung und im Schadstoffgehalt: Während Teer bei der Verkokung von Steinkohle anfällt, z.B. bei der Herstellung von Stadtgas, entsteht Bitumen durch Abtrennung der leichtflüchtigeren Anteile wie Benzin, Kerosin, etc. bei der Destillation von Erdöl. Dies ist ein rein physikalischer Trennprozess, weshalb dabei praktisch keine Schadstoffe entstehen. Bei der Teergewinnung hingegen wird die Steinkohle

pyrolytisch aufgeschlossen, wodurch eine Vielzahl neuer chemischer Verbindungen gebildet wird, darunter auch grosse Mengen an Phenolen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Dass diese Substanzen für den Menschen sehr schädlich sind, wurde bei der ersten Verwendung von Teer im Strassenbau noch nicht geahnt.

Ironischerweise waren es gerade hygienische Gründe, die im Jahre 1902 den Walliser Arzt Dr. *Guglielminetti* veranlassten, in Monaco zur Bekämpfung der Staubplage beim Aufkommen des motorisierten Verkehrs erstmals eine Oberflächenbehandlung mit Rohteer durchzuführen. Die Erfolge des 'Dr. Goudron' (franz. für Teer) gaben den Anstoss zur Entwicklung des Teerstrassenbaus.

Während des Ersten Weltkrieges wurden in den schweizerischen Gaswerken die anfallenden Rohteere zu Strassenteer verarbeitet und daraus zahlreiche, für den Strassenbau geeignete Teersorten hergestellt. Diese Bindemittel waren während

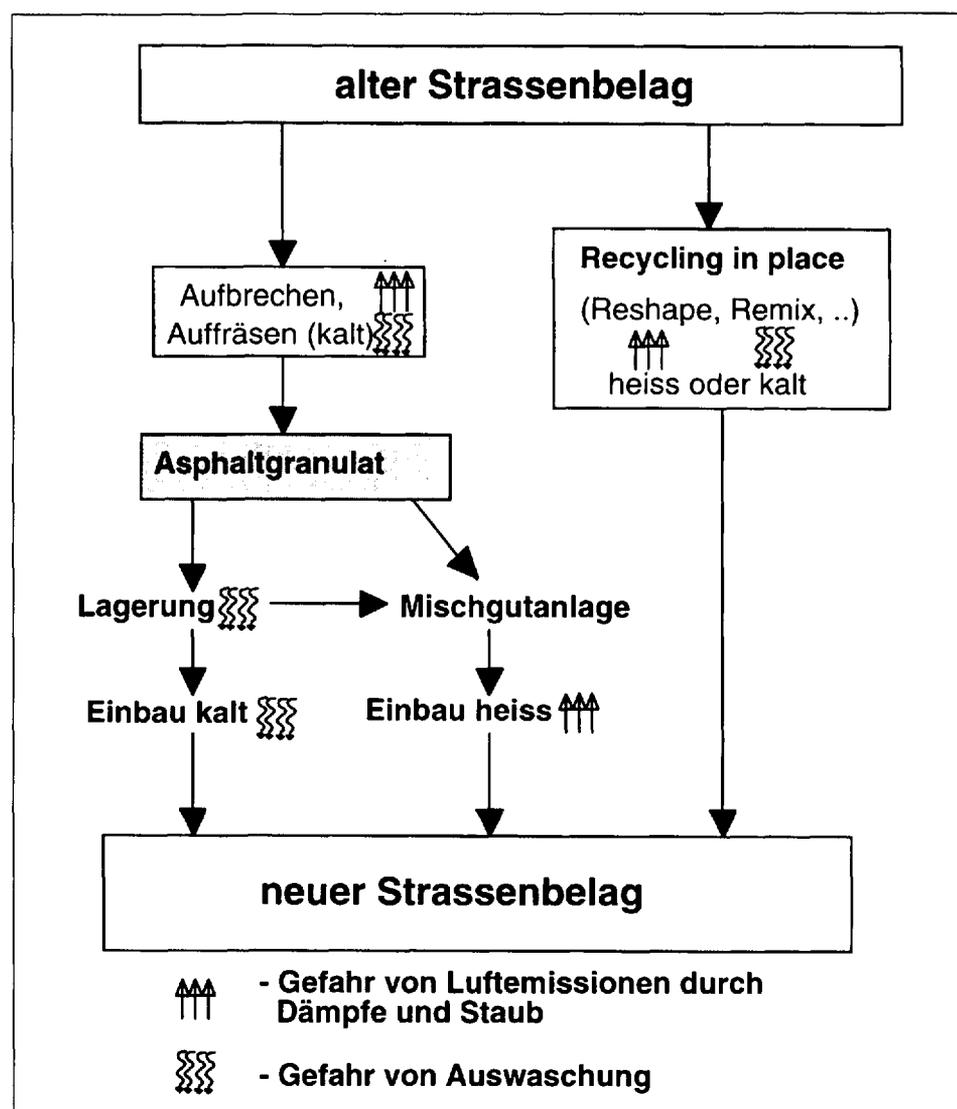


Fig. 1. Potentielle Emissionsquellen beim Recycling teerhaltiger Strassenbeläge

*Korrespondenz: Dr. M. Hugener
 EMPA Eidgenössische Materialprüfungs- und
 Forschungsanstalt
 Überlandstrasse 129
 CH-8600 Dübendorf
^{a)} Abteilung Strassenbau/Abdichtungen
^{b)} Abteilung Organische Chemie

des Zweiten Weltkrieges für den Strassenbau wegen der damaligen allgemeinen Rohstoffknappheit besonders gefragt.

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte ein Strassenbauboom ein, so dass neben dem vorwiegend verwendeten Bitumen reine Teere bald nur noch für Spezialzwecke und Teer-Bitumen-Gemische für Heissmischbeläge verwendet wurden. In diesem sogenannten Teerbitumen betrug der Teeranteil Ende der 70er Jahre nur noch etwa 8%.

Als in den 70er Jahren die Gaswerke wegen der Umstellung auf Erdgas schliessen mussten, fiel in der Schweiz kein Teer mehr an, und er musste importiert werden. In den 80er Jahren wurden die Schweizer Normen für Teere und Teer-Bitumen-Gemische zurückgezogen, worauf der Teerverbrauch stark zurückging. Seit den 90er Jahren werden im bituminösen Strassenbau ausschliesslich Bindemittel auf Bitumenbasis ohne Teerzusatz verwendet.

2. Richtlinien und Grenzwerte in der Schweiz heute

Obwohl heute keine teerhaltigen Beläge mehr hergestellt werden, kommen bei Sanierungen alter Strassen teerhaltige Materialien wieder zum Vorschein. Mit dem Wissen um die Schädlichkeit von Teer stellt sich die Frage 'Was muss damit gemacht werden?'

Dazu müssen folgende Aspekte beachtet werden (Fig. 1):

- Belastung der Arbeiter beim Herausbrechen oder Fräsen der teerhaltigen Beläge durch Staub. Wird dies durch den Einsatz von Wasser verhindert, muss dafür das Auslaugen von Schadstoffen in Kauf genommen werden.
- Belastung der Arbeiter durch toxische Dämpfe beim heissen Wiedereinbau von teerhaltigem Material.
- Auslaugen von Schadstoffen bei der Lagerung.

Bis vor kurzem gab es keine gesamtschweizerische Regelung dieser Probleme, und so wurden in der Regel alte Beläge, ob sie nun Teer enthielten oder nicht, rezykliert, deponiert oder auf Feld- und Waldwegen verteilt. Im Juli 1997 wurde schliesslich vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine neue Richtlinie, 'Abfall - Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle', in Kraft gesetzt [1]. Darin ist für die Wiederverwendung von teerhaltigem Ausbauphosphat ein Grenzwert von 5000 mg PAK/kg Bindemittel festgelegt. Bei einem durchschnittlichen Bindemittelgehalt von 5% entspricht dies etwa 250 mg PAK/kg

Recyclinggranulat. Werden die 16 PAK nach EPA (U.S. Environmental Protection Agency) als Grundlage genommen, was in der Richtlinie nicht definiert wurde, so entspricht dieser Grenzwert von 5000 ppm etwa einem Teergehalt von 3-6 % im Bindemittel. Dies bedeutet in der Praxis, dass praktisch alle Beläge mit teerhaltigen Bindemitteln wie z.B. Teerbitumen von nun an entsorgt werden müssen. In Anbetracht der beachtlichen Mengen an teerhaltigen Strassen in der Schweiz ist mit Problemen bei der Durchsetzung der Richtlinie zu rechnen.

In Deutschland gibt es im Gegensatz zur Schweiz keinen oberen Grenzwert für die Wiederverwendung von teerhaltigem Recyclinggranulat im Strassenbau. Die Verarbeitung muss aber kalt erfolgen, und die Auslaugung von Schadstoffen muss mit technischen Sicherungsmassnahmen verhindert werden. Als Grenze zwischen teerfrei und teerhaltig ist ein Wert von 25 mg PAK/kg Recyclinggranulat in Diskussion [2].

Der vom BUWAL festgelegte Grenzwert soll vor allem das Auswaschen von Schadstoffen in Boden und Wasser verhindern. Zum Schutze der Arbeiter vor PAK-Emissionen wurde von der Schweizerischen Unfallversicherung (SUVA) für das besonders toxische Benzo[a]pyren ein MAK-Wert von 2 µg/m³ festgelegt. Das Amt für Strassenbau (ASTRA) hat zusätzlich im Jahre 1996 ein generelles Verbot für das Heissrecycling von teerhaltigen Strassenbelägen im Nationalstrassenbau erlassen. Es wurde jedoch nicht genauer definiert, was unter 'teerhaltig' zu verstehen ist.

3. Arbeitshygienische und toxikologische Aspekte von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

PAK entstehen bei der Verbrennung und Pyrolyse von organischem Material und sind daher in der Umwelt allgegenwärtig. Neben natürlichen Quellen wie Wald- und Savannenbränden oder Vulkanausbrüchen stellen die thermische Beseitigung von Kehrlicht, die Energieerzeugung mittels fossiler Brennstoffe, z.B. in Heizanlagen oder Verbrennungsmotoren, sowie die Herstellung von Produkten auf Kohle- und Erdölbasis die wichtigsten anthropogenen Quellen dar. Der Tabakrauch bedeutet wegen des direkten Eintrags in die Lunge für den Menschen eine Quelle mit einem besonders hohen Gefährdungspotential.

Epidemiologische und tierexperimentelle Befunde zeigen, dass viele PAK stark

krebserzeugend und erbgutschädigend sind. Diese Wirkung ist beim Benzo[a]pyren (BaP) am stärksten ausgeprägt, weshalb es bei Expositionsmessungen oft als Leitstoff für die gesamte PAK-Belastung verwendet wird.

Untersuchungen der Belastung durch PAK bei der Heissverarbeitung von teerhaltigen Strassenbelägen haben gezeigt, dass Expositionskonzentrationen im Bereich des MAK-Wertes von 2 µg BaP/m³ erreicht werden können. Bei teerfreien Belägen wird dieser Grenzwert nur in geschlossenen Räumen und bei sehr hohen Temperaturen, wie sie etwa beim Einbau von Gussasphalt vorkommen, überschritten.

4. Analytik der PAK in bituminösen Bindemitteln

Für PAK steht heute eine Vielzahl von Analysemethoden zur Verfügung, die einen Nachweis von PAK bis in den Spurenbereich erlauben. Viele dieser Verfahren sind aber aufwendig und erfordern neben einem grossen Fachwissen einen kostspieligen Gerätepark und gut geschultes Laborpersonal.

Für ein schnelles Screening auf Teer sind diese Methoden sowohl zu teuer als auch zu langsam. Insbesondere die Eingangskontrolle von bituminösen Recyclingmaterialien bei Mischgutwerken und Recyclingbetrieben verlangt nach einer schnellen und billigen Methode, die eine Antwort auf die Frage 'Kann ich dieses Material verwenden oder nicht?' gibt.

Ein hierzu verwendeter Schnelltest sollte zuverlässig ermitteln, ob ein gegebener Grenzwert über- oder unterschritten wird. Bei Resultaten, die nicht eindeutig zugeordnet werden können, muss die Bestimmung entweder mit einer genaueren Methode wiederholt oder der Grenzwert als überschritten gewertet werden.

4.1. Schnelltests

Die Analysemethoden für die PAK-Bestimmung in Bindemitteln können grob in drei Gruppen unterteilt werden (Fig. 2).

In der ersten Gruppe befinden sich die typischen Schnellmethoden, wie sie in Tab. 1 aufgeführt sind. Die Analyse ist nicht PAK-spezifisch, sondern beruht auf gewissen typischen Eigenschaften von Teer. Die Prüfergebnisse sind daher rein qualitativ und auf die Aussage 'Teer vorhanden - ja/nein' beschränkt. Der grosse Vorteil dieser einfachen Schnelltests besteht darin, dass sie direkt auf der Baustelle durchgeführt werden können. Sie sind schnell, da einfache Detektionsmittel ver-

wendet werden und praktisch keine Probenvorbereitung notwendig ist. Nachteilig ist die starke Beeinflussung der Resultate durch die Prüfperson selbst (z.B. Nase). Dadurch wird die Einbindung solcher Prüfverfahren in ein Qualitätssicherungssystem, das inzwischen praktisch überall vorhanden ist, problematisch.

Eine zweite Gruppe bilden Analysemethoden, die von der Komplexität und dem Aufwand her zwischen den typischen Schnellmethoden und den aufwendigen Profilanalysen liegen. Am weitesten verbreitet ist die Dünnschichtchromatographie (DC), die eine semiquantitative Bestimmung des PAK-Gehaltes ermöglicht [4]. Die Auswertung erfolgt in der Regel visuell unter einer UV-Lampe im direkten Vergleich mit definierten Teer-Bitumengemischen. Der PAK-Gehalt wird über den eingesetzten Teerstandard berechnet, dessen PAK-Spektrum vorher quantitativ bestimmt wurde. Die Genauigkeit der Analyse wird durch unterschiedliche PAK-Verteilungen in den verwendeten Teersorten und besonders bei niedrigem Teergehalt durch störende Einflüsse des Bitumens beeinträchtigt. Der Vorteil dieser Methode liegt aber in den geringen apparativen Aufwendungen und darin, dass die Analyse auch in einem Strassenbaulabor durchgeführt werden kann. Sie erfordert im Gegensatz zu den Schnelltests eine einfache Probenvorbereitung in Form einer Extraktion des Bindemittels aus dem Recyclingmaterial.

Eine weitere Methode in dieser mittleren Gruppe ist die PAK-Bestimmung mittels Immunoassay. Sie ist relativ neu und für die Bodenanalytik entwickelt worden. Sie bietet gewisse Schwierigkeiten in der Probenvorbereitung, da erstens das Material fein gemahlen werden muss und zweitens, wegen der grossen Steine des Recyclinggranulates, die Probenmenge nicht zu klein gewählt werden darf, damit eine repräsentative Probe erhalten wird.

4.2. Bestimmung des PAK-Profiles

Für Schiedsuntersuchungen, Validierung von Schnelltests und Forschungsarbeiten sind Analysemethoden notwendig, die eine Auftrennung in die einzelnen PAK und deren quantitative Bestimmung ermöglichen. Diese sogenannten PAK-Profile werden üblicherweise mittels Gaschromatographie (GC) oder Flüssigkeitschromatographie (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC) erstellt. Bei beiden Trennmethode empfiehlt sich der Einsatz von selektiven Detektoren. In der Gaschromatographie ist dies das Massenspektrometer. Die massenselektive Detektion ermöglicht die Verwendung von

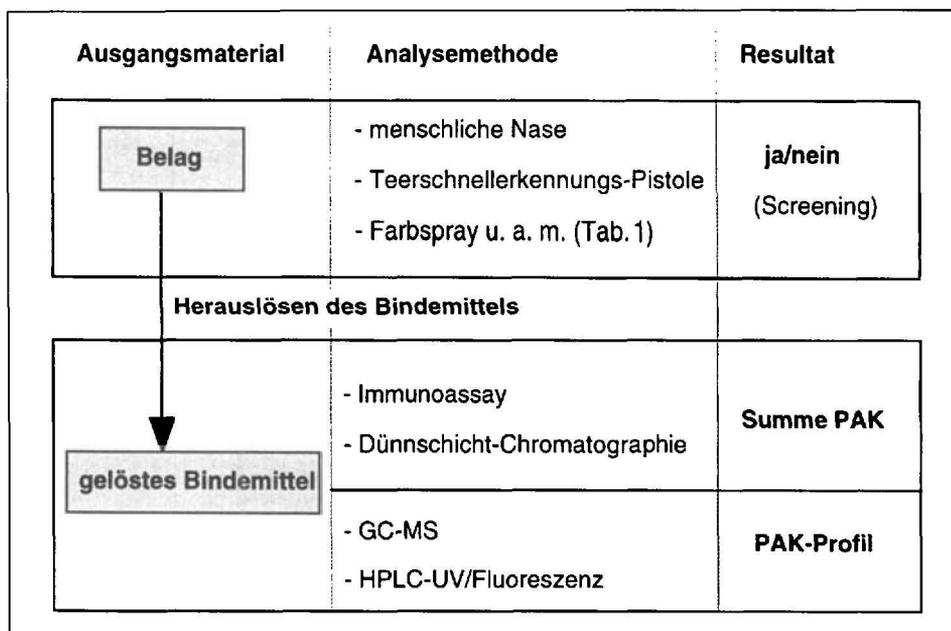


Fig. 2. Gruppierung der Analysemethoden für die Bestimmung des PAK-Gehaltes in teerhaltigen Strassenmaterialien

Tab. 1. Übersicht über qualitative Schnelltests für das Screening auf Teer [3]

Bezeichnung	kurze Beschreibung des Schnelltests
Geruchstest	Teer enthält charakteristisch riechende Verbindungen, die mit der Nase wahrgenommen werden können.
Farbspray, Lackspray/UV-Lampe	Die Probe wird mit weisser lösungsmittelhaltiger Farbe besprüht. Teerhaltige Stoffe werden durch das Lösungsmittel aus dem Bindemittel gelöst und verfärben die weisse Farbe gelblich-braun. Dieser Test ist auch mit farblosem Acryllack möglich, die Beurteilung erfolgt dann unter einer UV-Lampe.
PE-Folie/UV-Lampe	Eine kleine erwärmte Probe wird während 1 min mit den Fingern auf eine PE-Folie gedrückt. Teerhaltige Stoffe können dadurch in die PE-Folie wandern, deren Vorhandensein durch Fluoreszenz erkennbar wird.
Teerschnellerkennungs-Pistole	Die Probe wird erhitzt und die entstehenden Dämpfe durch ein Xylol-Dräger-Röhrchen gesaugt; das Vorhandensein von Teer wird in einer Farbreaktion angezeigt.
Spotchromatographie/UV-Lampe	Ein kleines Probestück wird auf ein Fliesspapier gelegt und mit einigen Tropfen Toluol angelöst. Nach Entfernen der Probe wird der entstandene Bindemittelfleck auf dem getrockneten Fliesspapier mit Aceton beträufelt. Teerbestandteile wandern mit dem Aceton nach aussen und erscheinen unter der UV-Lampe als fluoreszierender Kreis.

isotopenmarkierten PAK als innere Standards; viele PAK sind als deuterierte oder ¹³C-markierte Verbindungen kommerziell erhältlich. In bekannten Mengen dem Analysengemisch beigegeben, dienen sie als Bezugsgrösse für die quantitative Bestimmung. Nachteilig ist, dass die Konzentration der Standards derjenigen der zu bestimmenden PAK angepasst werden sollte, was bei unbekanntem Proben eine vorgängige grobe Bestimmung erfordert. Bei Proben mit hohen PAK-Gehalten, welche entsprechend hohe Dotierungen mit den teuren isotopenmarkierten Standards erfordern, können bei der Wahl der

Analysemethoden auch wirtschaftliche Gründe ins Gewicht fallen.

In der Flüssigkeitschromatographie wird als selektiver Detektor der Fluoreszenzdetektor (FL) eingesetzt. Von den 16 PAK, die sich auf der 'Priority Pollutant List' der EPA befinden, weist Acenaphthylen keine Fluoreszenz auf, während vor allem die kanzerogenen höhermolekularen PAK sich durch eine intensive Fluoreszenz auszeichnen, was für diese Verbindungen sehr niedrige Nachweisgrenzen ermöglicht. Um auch die nicht fluoreszierenden PAK bestimmen zu können, muss der Fluoreszenzdetektor mit

einem UV-Detektor kombiniert werden. Die Nachweisempfindlichkeit der UV-Detektion ist allerdings gegenüber derjenigen der Fluoreszenzdetektion stark vermindert.

In der Literatur sind zahlreiche GC- und HPLC-Methoden beschrieben, die oft auf spezifische Problemstellungen oder Probenmatrices abgestimmt sind. Beide Methoden besitzen Vor- und Nachteile:

während GC-MS eine bessere Auftrennung und teilweise niedrige Nachweisgrenzen für die niedermolekularen PAK aufweist, ist HPLC-FL vorteilhaft bei der Bestimmung der höhermolekularen PAK. Durch die im Vergleich zur GC exaktere und reproduzierbarere Probendosierung ist bei der HPLC-Bestimmung keine Zugabe von inneren Standards zum Analysengemisch notwendig. Bei beiden Methoden ist angesichts der komplexen Zusammensetzungen vieler Probenmaterialien oft eine Vortrennung notwendig. In Tab. 2 sind die Ergebnisse verschiedener PAK-Analysen dargestellt, Fig. 3 zeigt das HPLC-Chromatogramm der Teerbestimmung.

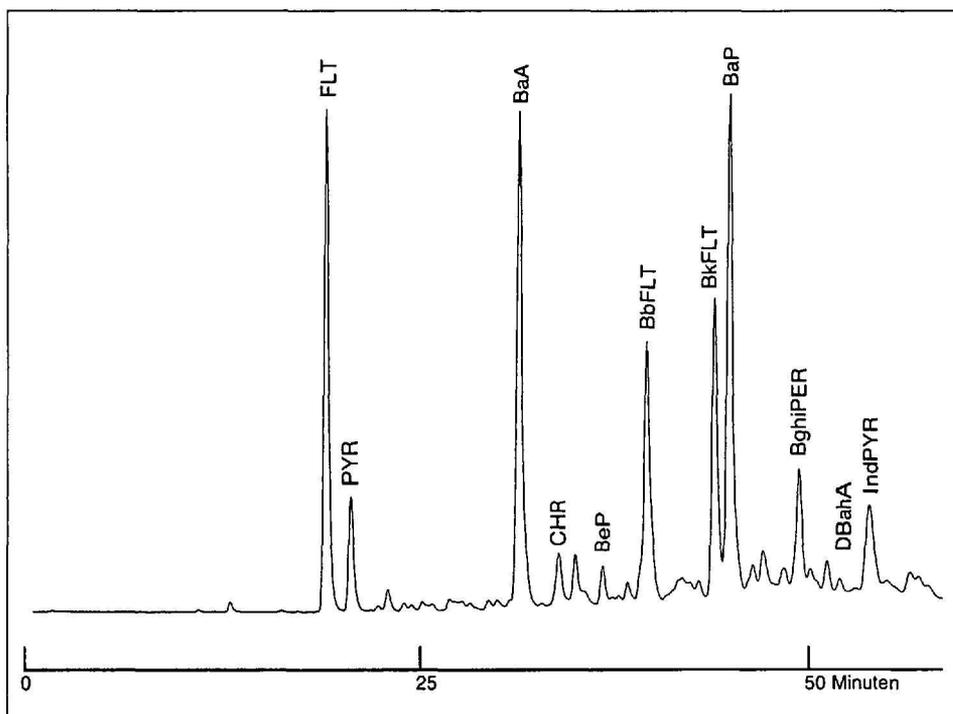


Fig. 3. HPLC-Chromatogramm (Fluoreszenzdetektion) einer Bindemittelprobe, die aus einem teerhaltigen Strassenbelag extrahiert wurde (vgl. Tab. 2). Die Probe wurde durch Chromatographie an Sephadex LH-20 vorgetrennt.

5. Diskussion

Obwohl Teer sehr hohe Konzentrationen an Schadstoffen enthält, bedeutet dies keine unmittelbare Gefahr für die Bevölkerung. Dies liegt hauptsächlich an der geringen Wasserlöslichkeit der PAK und der kompakten, fast wasserdichten Struktur der Strassenbeläge, wodurch die Schadstoffe nicht ausgewaschen werden, sondern grösstenteils in den Belägen konserviert bleiben. Die Situation sieht aber anders aus, wenn zwecks Sanierung ein alter teerhaltiger Strassenbelag zu einem feinen Granulat gebrochen wird. Einerseits entstehen durch das Fräsen Staubemissionen und andererseits kann Wasser, sei es in Form von Regen oder als Hilfe beim Fräsen selbst, aus dem Recyclingmaterial, das nun eine sehr grosse Oberfläche aufweist, auch schwerer lösliche Schadstoffe wie PAK herauslösen. Während das heisse Recycling von teerhaltigem Material sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland nicht mehr zur Diskussion steht, ist die Politik bezüglich der kalten Wiederverwertung unterschiedlich.

In der schweizerischen Umweltpolitik, die hauptsächlich durch das BUWAL bestimmt wird, wird angestrebt, möglichst alle Materialien mit hohem Schadstoffgehalt aus dem Güterkreislauf des Recyclings herauszunehmen, um so das Problem endgültig zu lösen. Für teerhaltiges Strassenmaterial bedeutet dies auf Grund der neuen BUWAL-Richtlinie, dass in den kommenden Jahren voraussichtlich bedeutende Mengen an teerhaltigem Asphaltgranulat entsorgt werden müssen. Problematisch dabei ist, dass diese Materialien, die aus Umweltschutzgründen aus dem Kreislauf genommen werden müssen, nach heutigem Gesetz (Technische Verordnung über Abfälle, TVA) noch ungeschützt auf Inertstoffdeponien gelagert werden dürfen.

Tab. 2. PAK-Zusammensetzung von Bindemittelproben: Bitumen, Teer (Anlieferungszustand) und aus teerhaltigem Strassenbelag extrahiertes Bindemittel

PAK		Bindemittel		
		Teer mg/kg	Bitumen mg/kg	aus teerhaltigem Strassenbelag mg/kg
Fluoranthren	FLT	32 449	2,2	1 846
Pyren	PYR	25 206	1,4	1 268
Benz[a]anthracen	BaA ^{a)}	29 627	1,2	1 587
Chrysen	CHR	13 674	2,9	766
Benzo[e]pyren	BeP	5 180	1,8	338
Benzo[b]fluoranthren	BbFLT ^{a)}	4 823	1,0	302
Benzo[k]fluoranthren	BkFLT ^{a)}	5 458	0,3	328
Benuo[a]pyren	BaP ^{a)}	11 150	1,2	719
Dibenz[a,j]anthracen	DBajA	n.n.	n.n.	n.n.
Benzo[ghi]perylene	BghiPER	4 621	1,7	324
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracen	DBahA ^{a)}	596	n.b.	50
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren	IndPYR ^{a)}	8 356	11,0	635
Summe PAK		141 140	25	8 163
Summe der karzinogenen PAK gemäss IARC/WHO ^{a)}		60 010	15	3 621

^{a)} von der International Agency for Research on Cancer (IARC) als im Tierversuch karzinogen eingestuft;
n.b.: nicht bestimmbar (schlecht abgetrennte Begleitkomponente); n.n.: nicht nachweisbar.

In Deutschland hingegen wird ein grosses Gewicht auf die Wiederverwertung von Bauabfällen wie Asphaltgranulat gelegt, jedoch unter genau definierten Bedingungen. Bauobjekte, bei denen teerhaltiges Recyclinggranulat verwendet wird, müssen in einem Kataster aufgenommen werden, und das Auswaschen von Schadstoffen muss mit geeigneten Massnahmen verhindert werden. Diese Politik hat den Nachteil, dass die toxischen Materialien nicht zentral gelagert werden, sondern dezentral im Lande verteilt bleiben, allerdings an amtlich dokumentierten Standorten. Dafür werden wertvolle Mineralstoffe wiederverwendet und natürliche Kiesressourcen geschont.

Die Umweltaspekte der Rezyklierung von teerhaltigen Strassenbelägen konzentrieren sich zurzeit vor allem auf die PAK. Zum Gefährdungspotential tragen in erheblichem Masse aber auch phenolische Verbindungen bei, deren fungizide Wirkung bekanntlich bei der Holzkonservierung mit Teerölen ausgenützt wird. In Strassenteer beträgt der Anteil der Phenole (hauptsächlich Phenol, Kresole und Xylenole) bis zu 5%. Neben ihren toxischen und irritativen Eigenschaften zeichnen sich die Phenole durch eine relativ gute Wasserlöslichkeit aus, welche zudem in einer basischen Umgebung erheblich ansteigt. Dies ist von Bedeutung, wenn teerhaltige mit zementhaltigen Stoffen, welche ein hochbasisches Milieu schaffen, gemischt werden, wie es beispielsweise in Deutschland praktiziert wird.

Für die Beurteilung einer Probe bezüglich ihres PAK-Gehaltes muss aus der Vielzahl der PAK eine Auswahl getroffen werden, die jedoch von Land zu Land unterschiedlich sein kann. Häufig werden die 16 PAK aus der 'Priority Pollutant List' der EPA herangezogen. Die Klassierung einer Probe lediglich über den Summenwert der PAK ist aber fragwürdig, da bei dieser Methode Verbindungen zusammengefasst werden, welche sich bezüglich Flüchtigkeit, Wasserlöslichkeit (Mobilität) und biologischen Wirkungen (Toxizität) sehr unterschiedlich verhalten. Je nach Beurteilungskriterien (Arbeitsschutz beim heissen Belagseinbau, Auswaschen bei der Verarbeitung oder Deponierung, Verweilzeit in der Umwelt) müssen die einzelnen PAK unterschiedlich beurteilt werden. Das Beispiel einer PAK-Analyse von teerhaltigen Korrosionsschutzbeschichtungen in Tab. 3 zeigt, dass ein Summenparameter unter Umständen zu einer Fehlbeurteilung führen kann. Aus diesem Grund wird seit einiger Zeit die Einführung von Gewichtungsfaktoren für die einzelnen PAK diskutiert, ohne dass

Tab. 3. PAK-Gehalte von teerhaltigen Korrosionsschutzbeschichtungen (Altbeschichtungen) [5]

PAK	Probe 1 mg/kg	Probe 2 mg/kg
Fluoranthren	2366	5134
Pyren	1734	2771
Benzo[<i>a</i>]anthracen ^{a)}	728	48
Chrysen	557	36
Benzo[<i>e</i>]pyren	225	2,8
Benzo[<i>b</i>]fluoranthren ^{a)}	407	6,5
Benzo[<i>k</i>]fluoranthren ^{a)}	182	3,2
Benzo[<i>a</i>]pyren ^{a)}	364	5,8
Dibenz[<i>a,j</i>]anthracen	30	n.a.
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	161	2,9
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracen ^{a)}	17	0,3
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren ^{a)}	203	n.n.
Summe der PAK	6974	8011
Summe der karzinogenen PAK gemäss IARC/WHO	1901	64

^{a)} Die beiden Proben weisen trotz ähnlicher PAK-Summe ein vollständig anderes karzinogenes Potential auf.

n.a.: nicht auswertbar (geringe Konzentrationen mit ungenügender Abtrennung von Begleitkomponenten); n.n.: nicht nachweisbar.

sich bis jetzt aber eine Konvention durchgesetzt hätte [6][7]. Ein Schritt in diese Richtung ist der Entwurf zu einer Aushubrichtlinie des BUWAL, die nebst einem Summenrichtwert für die 16 EPA-PAK zusätzlich einen Richtwert für Benzo[*a*]pyren als wichtigen Vertreter der kanzerogenen höhermolekularen PAK vorsieht [8]. Um mit vertretbarem analytischen Aufwand zu anwendungsgerechten Risiko-beurteilungen gelangen zu können, wäre eine Zusammenarbeit von Analytikern, Toxikologen und Umweltwissenschaftlern wünschenswert.

Eingegangen am 24. März 1998

[1] 'Abfall – Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle', Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Juli 1997.
 [2] R. Rosenberg, *Asphalt* 1997, 6, 16.
 [3] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 'Prüfung von Strassenausbauaterial auf carbostämmige Bindemittel – qualitative Bestimmungsverfahren', *FGSV-Arbeitspapier* 1994, 27/2; B. Witting, *Bitumen* 1995, 2, 81.
 [4] P. Landa, W. Wit, 'Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Asphalt Mixtures by Thin-Layer Chromatography', 2.028, Proceedings of the Euraspalt & Eurobitume Congress 1996, Strassburg; B. Wichter, *Bitumen* 1997, 1, 29.
 [5] 'Ökotoxikologisch problematische Organika in Korrosionsschutzbeschichtungen von Objekten im Freien', Bericht des Büro für

Abfall, CH-4206 Seewen, 1996, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und von Umweltfachstellen der Kantone Glarus, Graubünden und Zürich.

[6] I.C.T. Nisbet, P.K. LaGoy, 'Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)', *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1992, 16, 290.
 [7] T. Petry, P. Schmid, C. Schlatter, 'The Use of Toxic Equivalency Factors in Assessing Occupational and Environmental Health Risk Associated with Exposure to Airborne Mixtures of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)', *Chemosphere* 1996, 32, 639.
 [8] Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie), Entwurf zur Vernehmlassung Dezember 1997, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).