

**Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen  
Arbeitsgruppe Asphaltstraßen**

**Erläuterungen zu den  
Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung  
von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen  
Bestandteilen sowie für die Verwertung  
von Ausbauasphalt im Straßenbau**

**Ausgabe 2001**

**Fassung 2005**

**Arbeitsgruppe Asphaltstraßen**  
**Arbeitsausschuss: Wiederverwendung von Asphalt**  
**Arbeitskreis: Umweltfragen**

Leiter:

Dr.rer.nat. Dipl.-Chem. Glet, Hamburg

Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen:

Dipl.-Ing. Braun, Dahlwitz-Hoppegarten  
Dipl.-Ing. Drüschner, Ilsede  
Dr.-Ing. Ehlers, Pinneberg  
Dr.-Ing. Els, Bonn  
Chem.-Ing. Harders, Brunsbüttel  
Dipl.-Ing. (FH) Hartmann, Kelkheim  
Dipl.-Chem. Heimer, Erfurt  
Dr.rer.nat. Höppel, Hamburg  
Dipl.-Ing. Krämer, Borken  
Prof. Dr.-Ing. Krass, Bochum  
Dipl.-Ing. Metz, Hannover  
Dr.rer.nat. Niemann, Düsseldorf  
Prof. Dipl.-Ing. Pätzold, Nienburg  
Dr.-Ing. Radenberg, Essen  
Dipl.-Ing. Remus, Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Richter, Erfurt  
Dipl.-Ing. Richter, Halberstadt  
Prof. Dipl.-Ing. Rosenberg, Kassel  
Dipl.-Chem. Schaedel, Bergisch Gladbach  
Dr.-Ing. Schulte, Gelsenkirchen  
Dipl.-Lab.Chem. Sielaff, Bergisch Gladbach  
Dr.-Ing. Weiland, Hanau  
Dr.rer.nat. Zadel, Düsseldorf

# Inhaltsübersicht der Erläuterungen

	Seite
<b>E 1 Definitionen</b> .....	5
E 1.1 Vorbemerkungen .....	5
E 1.2 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel .....	5
E 1.3 Teere und teer-/pechhaltige Bindemittel .....	10
E 1.4 Weitere Definitionen .....	13
<b>E 2 Beschreibung der Baustoffe und Substanzen</b> .....	16
E 2.1 Bitumen .....	16
E 2.2 Steinkohlenteer und Steinkohlenteerpech .....	19
E 2.3 Braunkohlenteer .....	23
E 2.4 Ausbaustoffe mit teer-/pechtypischen Bestandteilen .....	24
<b>E 3 Literaturverzeichnis</b> .....	26

## Verzeichnis der Bilder und Tabellen

<b>Bild E 2.1 Herstellungsverfahren von Bitumen</b> .....	17
<b>Tabelle E 2.1 PAK-Gehalte nach EPA [mg/kg] in Bitumen nach Knecht</b> .....	18
<b>Tabelle E2.2 Eigenschaften und Zusammensetzung verschiedener Steinkohlenteere</b> .....	20
<b>Tabelle E 2.3 Verbindungen im Steinkohlen-Hochtemperaturteer mit einem Anteil von 10 000 mg/kg und mehr</b> .....	21
<b>Tabelle E 2.4 Ringsysteme der PAK nach EPA</b> .....	22
<b>Tabelle E 2.5 Teergehalte in der Originalsubstanz (Ausbaustoff) und die Auswirkungen auf die PAK- bzw. B(a)P-Gehalte im Mischgut oder extrahierten Bindemittel</b> .....	25

## **E 1 Definitionen**

### **E 1.1 Vorbemerkungen**

Die DIN EN 12597, Ausgabe 2001, [1] ersetzt die DIN 55946-1, Ausgabe 1983 [2]. Neben den neuen Definitionen für Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel wurden auch die alten Definitionen berücksichtigt, da viele technische Regelwerke auf diesen Definitionen aufbauen und sie in den Vertragsunterlagen, z.B. Bauakten, Bautagebücher, verwendet worden sind.

Die DIN 55946-2, Ausgabe 1983, [3] wird zukünftig durch die DIN EN 13847 ersetzt. Da die dort definierten Teere und teer-/pechhaltigen Bindemittel gemäß TRGS 551 [10] nicht mehr im Straßenbau verwendet werden dürfen, wird die DIN EN 13847 in diesen Erläuterungen nicht berücksichtigt. Zudem ist die Formulierung der DIN 55946-2 „(sie) werden ... verwendet“ durch „(sie) wurden ... verwendet“ ersetzt; ferner entfällt für diese Stoffe der Hinweis auf die Technischen Lieferbedingungen, die zwischenzeitlich zurückgezogen worden sind.

Die „Anmerkungen“ sind Bestandteil der DIN EN 12597 und auch wörtlich wiedergegeben.

Sofern Ergänzungen zu den Definitionen der Normen erforderlich waren, sind diese als „Zusatz“ bezeichnet.

Im Hinblick auf den Anwendungszweck dieser Richtlinien sind in den Definitionen auch Begriffe aufgeführt, die nicht in den zitierten Normen und im Text dieser Richtlinien enthalten sind. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um:

- Begriffe für Teere und Peche aus anderen Ausgangsstoffen als Steinkohle,
- veraltete Begriffe, die noch im Sprachgebrauch sind und häufig unklar oder in falscher Bedeutung gebraucht werden,
- zusätzliche Begriffe, von denen die meisten in Diskussionen über Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz oder über den Umweltschutz eine Rolle spielen.

### **E 1.2 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel**

#### **Bitumen**

nach [1]:

Nahezu nicht flüchtiges, klebriges und abdichtendes erdölstämmiges Produkt, das auch in Naturasphalt vorkommt und das in Toluol vollständig oder nahezu vollständig löslich ist. Bei Umgebungstemperatur ist es hochviskos oder nahezu fest.

nach [2], gekürzt:

Bei der Aufarbeitung geeigneter Erdöle gewonnenes schwerflüchtiges dunkelfarbiges Gemisch verschiedener organischer Substanzen, deren elasto-viskoses Verhalten sich mit der Temperatur ändert. Zu den Bitumen im weitesten Sinne sind auch die in geologischen Zeiträumen aus Erdölen gebildeten Bitumenanteile von Naturasphalten zu rechnen. Bitumen werden nach Herstellungsverfahren und nach Anwendungsgebieten unterteilt.

Zusatz: Bitumen wurde von Concawe in Report Nr. 95/59, Juli 1995, definiert. Weltweit wird Bitumen mit allen Untergruppen, Sorten und Bezeichnungen beispielsweise mittels CAS-Nr. definiert und zugeordnet (siehe Bild E 2.1).

### **Bitumenemulsion**

nach [1]:

Emulsion, in der die dispergierte Phase Bitumen ist.

Anmerkung 1: Sofern nichts anderes festgelegt ist, ist die kontinuierliche Phase Wasser oder eine wässrige Lösung.

Anmerkung 2: Dieser Begriff schließt Emulsionen ein, in denen die disperse Phase auch eine geringe Menge eines relativ flüchtigen erdölstämmigen Fluxöls enthält, um die Emulsionsbildung und/oder die Gebrauchseigenschaften zu verbessern.

nach [2]:

Feine Verteilung von Bitumen in Wasser, die mit Hilfe von Emulgatoren und gegebenenfalls Stabilisatoren hergestellt wird. Man unterscheidet je nach Ladungscharakter der Bitumenteilchen kationische Emulsionen, anionische Emulsionen und nichtionische Emulsionen. Als Stabilisatoren dienen z.B. feinkörnige Tonminerale wie Bentonit.

Zusatz: Die Anforderungen sind in DIN 1995-3 festgelegt [4].

### **Bitumen-Haftkleber**

nach [2]:

Lösemittelhaltige Bitumenemulsion.

Bitumen-Haftkleber dienen zum Verkleben von Asphaltsschichten.

Zusatz: Die Anforderungen sind in DIN 1995-3 festgelegt [4].

### **bitumenhaltig**

nach [1]:

Bindemittel und Mischungen aus Bindemitteln und Gesteinskörnungen, die Bitumen enthalten.

Anmerkung: Dieser Begriff umfasst keine Teererzeugnisse.

### **bitumenhaltiges Bindemittel**

nach [1]:

Bindemittel, das Bitumen enthält.

Anmerkung: Ein bitumenhaltiges Bindemittel kann in folgenden Formen vorliegen: rein, modifiziert, oxidiert, verschnitten, geflucht, emulgiert. Zur Klarstellung ist möglichst immer der Begriff zu verwenden, der das betreffende Bindemittel genau beschreibt.

nach [2]:

Bitumen, das mit weiteren Komponenten versetzt ist.

Zusatz: Bei den weiteren Komponenten darf es sich nicht um Peche oder Teeröle (Teererzeugnisse) handeln.

### **Bitumenlösung**

nach [2]:

Lösung von Bitumen in Lösemitteln.

### **Destillationsbitumen**

nach [2]:

Bei der Destillation von Erdölen, vorzugsweise unter Anwendung eines Vakuums, verbleibendes weiches bis mittelhartes Erzeugnis.

### **Emulsion**

nach [1]:

Dispersion einer Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit, mit der sie nicht mischbar ist.

### **Fällungsbitumen**

nach [2]:

Durch selektive Fällung mit Löse- und/oder Fällungsmittel, z.B. Propan oder n-Pentan, aus Destillationsrückständen oder hochsiedenden Destillaten von Erdölen gewonnenes Bitumen. Je nach Verfahrensbedingung (Art und Menge von Lösemittel, Druck, Temperatur) und Einsatzstoff fallen Bitumen unterschiedlicher Konsistenz und Eigenschaften an.

### **Fluxbitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen Viskosität durch Zugabe von erdölstämmigen Fluxölen reduziert wurde.

Anmerkung: Typischerweise dienen Öle verschiedener Siedebereiche als Fluxöl.

nach [2]:

Straßenbaubitumen, dessen Viskosität durch Zusatz von schwerflüchtigen Fluxölen auf Mineralölbasis herabgesetzt ist.

Zusatz: Von Fluxölen sind die Verschnittmittel zu unterscheiden. Die Anforderungen sind in DIN 1995-2 festgelegt [4].

### **gefluxtes Bitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen Viskosität durch Zugabe von Fluxölen reduziert wurde.

### **Hartbitumen**

nach [1]:

Bitumen, das bei Umgebungstemperatur charakteristische harte und spröde Eigenschaften besitzt.

nach [2]:

Oxidationsbitumen mit der Konsistenz von Hochvakuumbitumen.

### **Haftverbesserer (Haftmittel)**

Stoffe zur Verbesserung der Haftung von Bitumen am Gestein unter Einwirkung von Wasser.

Wenn solche Stoffe als notwendig angesehen werden, werden meist langkettige aliphatische Amine oder Polyamine eingesetzt. Früher wurden jedoch auch ausgewählte Teeröle oder Derivate von Teerölen hierzu verwendet, deren Einsatz jedoch heute gemäß TRGS 551 verboten ist [10].

Von den Haftverbesserern sind die Bitumen-Haftkleber zu unterscheiden.

### **Hochvakuumbitumen**

nach [2]:

Unter Anwendung eines erhöhten Vakuums hergestelltes hartes bis sprödes Destillationsbitumen.

### **Kaltbitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen Viskosität durch Zugabe von relativ flüchtigen Fluxölen reduziert wurde.

Anmerkung: Typische Beispiele für erdölstämmige Fluxöle sind Testbenzin und Kerosin.

nach [2], gekürzt:

Bitumenlösung, die aus weichem bis mittelhartem Straßenbaubitumen besteht, dessen Viskosität durch Zusatz von leichtflüchtigen Lösemitteln herabgesetzt ist.

Zusatz: Anforderungen sind in DIN 1995-4 festgelegt [4]. Sie werden kaum noch für Straßenbauzwecke eingesetzt.

### **modifiziertes Bitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen rheologische Eigenschaften bei der Herstellung durch Verwendung chemischer Zusätze modifiziert worden ist.

Anmerkung: In diesem Zusammenhang umfassen die „chemischen Zusätze“ Naturkautschuk, synthetische Polymere, Schwefel und bestimmte Organometallverbindungen, aber nicht Sauerstoff oder Oxidations-„katalysatoren“, wie z.B. Eisen(III)-chlorid, Phosphorsäure und Phosphorpentoxid. Fasern und anorganische Pulver („Füller“) werden nicht als Bitumenmodifizierungsmittel angesehen. Modifizierte Bitumen können als solche oder verschnitten, emulgiert oder gemischt mit z.B. Naturasphalt verwendet werden. Ein Sonderfall ist polymermodifiziertes Bitumen.

## **Oxidationsbitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen rheologische Eigenschaften wesentlich durch Reaktion mit Luft bei erhöhten Temperaturen modifiziert wurde.

Anmerkung: Diese Produkte werden manchmal auch als „geblasene Bitumen“ bezeichnet.

nach [2], gekürzt:

Durch Einblasen von Luft in heißflüssige weiche Destillationsbitumen, gegebenenfalls deren Gemische mit anderen Erdölfractionen, hergestelltes Bitumen. Oxidationsbitumen unterscheidet sich vom Destillationsbitumen dadurch, dass es bei gleicher Nadelpenetration einen höheren Erweichungspunkt Ring und Kugel hat.

## **Polymermodifiziertes Bitumen (PmB)**

nach [1]:

Mit einem oder mehreren organischen Polymeren modifiziertes Bitumen.

nach [2]:

Physikalisches Gemisch von Bitumen und Polymer-Systemen oder Reaktionsprodukt zwischen Bitumen und Polymeren. Die Polymerzusätze verändern das elasto-viskose Verhalten von Bitumen.

Zusatz: Die Anforderungen sind für gebrauchsfertige PmB je nach Anwendungsgebiet in den **TL PmB** [7] bzw. **TL PmOB** [8] festgelegt.

## **Polymermodifizierte Bitumenemulsion**

nach [1]:

Emulsion, in der die dispergierte Phase ein polymermodifiziertes Bitumen oder eine Bitumenemulsion, die mit Latex modifiziert wurde, ist.

Zusatz: Je nach Anwendungsgebiet sind die Anforderungen in den **TL PmOB** [8] bzw. in den **TL PmBE-DSK** [9] festgelegt.

## **Schaumbitumen (geschäumtes Bitumen)**

Feine Verteilung von Wasserdampf in Bitumen, erzeugt durch Einbringen von Wasser und Druckluft in Heißbitumen.

## **Straßenbaubitumen**

nach [1]:

Bitumen zur Herstellung von Asphalt für den Bau und die Erhaltung von Verkehrsflächen.

Anmerkung: In Europa werden die am häufigsten verwendeten Sorten von Straßenbaubitumen durch ihre Nadelpenetration bei 25 °C bis zu einem Höchstwert von 900 x 0,1 mm definiert. Weichere Sorten als diese werden als Weichbitumen bezeichnet.

nach [2]:

Vorzugsweise im Asphaltstraßenbau verwendete Bitumen, hergestellt durch Destillation und gegebenenfalls anschließende Oxidation, deren Anforderungen in DIN 1995 festgelegt sind.

Zusatz: Die Anforderungen sind seit dem 1.7.2000 in DIN EN 12591 [5] festgelegt. Diese ersetzt DIN 1995-1 [4].

### **verschnittenes Bitumen**

nach [1]:

Bitumen, dessen Viskosität durch Zugabe relativ flüchtiger Verschnittmittel reduziert wurde.

Zusatz: Die Zuordnung in DIN EN 12597 setzt voraus, dass nur erdölstämmige Verschnittmittel eingesetzt werden dürfen.

### **Weichbitumen**

nach [1]:

Weiches Straßenbaubitumen, zur Herstellung von weichen Asphalten.

Anmerkung: In Europa sind die Weichbitumensorten durch ihre Viskosität bei 60 °C charakterisiert.

## **E 1.3 Teere und teer-/pechhaltige Bindemittel**

**Diese Produkte dürfen nach TRGS 551 [10] im Straßenbau nicht mehr verwendet werden. Ausgenommen davon ist die Verwertung von ausgebauten Straßenbelägen, die die o.g. Bindemittel enthalten.**

### **Alterungsbeständiges Straßenpech (früher: Alterungsbeständiger Straßenteer)**

nach [3]:

Niedrig- bis mittelviskoses Straßenpech, das durch seine Zusammensetzung besonders widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse ist.

### **Bitumenpech (früher: Straßenteer mit Bitumen bzw. Straßenteer mit erhöhtem Bitumengehalt)**

nach [3]:

Mischung aus überwiegend Straßenpech mit Straßenbaubitumen. Bitumenpeche wurden früher vorzugsweise als Straßenbaubindemittel bei Oberflächenbehandlungen von Straßen verwendet. Ihre Anforderungen sind in DIN 1995-5 festgelegt [4].

### **Braunkohlenteer**

Aus Braunkohle durch thermische Zersetzung gewonnene bräunliche Masse, die oberhalb 60 °C siedet. Je nach Zersetzungstemperatur unterscheidet man Braunkohlenschwelteer und Braunkohlenhochtemperaturteer.

## **Carbositumen**

Handelsbezeichnung für Pechbitumen eines bestimmten Herstellers, das aus Straßenbaubitumen, Steinkohlenteerpech und geruchsarmen Teerölen besteht.

## **carbostämmiges Bindemittel**

Bindemittel, dessen Hauptbestandteile aus Steinkohle gewonnen werden.

## **Hochviskoses Straßenpech (früher: Hochviskoser Straßenteer)**

nach [3]:

Präpariertes Pech, das durch einen niedrigen Gehalt an Fluxölen und rasches Abbindevermögen gekennzeichnet ist.

## **Kaltpechlösung (früher: Kaltteer)**

nach [3]:

Lösung von Straßenpech in leichtflüchtigen Lösemitteln. Hierdurch wird die Viskosität so herabgesetzt, dass die Kaltpechlösungen kalt verarbeitbar sind. Kaltpechlösungen wurden vorwiegend für Straßenbauzwecke eingesetzt.

## **Pech**

Rückstand der Destillation von Teer.

Insbesondere die auf der Basis von Steinkohle gewonnenen Straßenbaubindemittel wiesen hohe Pechanteile auf, denen Teeröle und andere Stoffe zugegeben wurden. Mit der Ausgabe von DIN 55946-2 im Jahre 1983 wurde für diese Bindemittel der Namensteil Teer durch Pech ersetzt.

## **Pechemulsion (früher: Teeremulsion)**

nach [3]:

Emulsion aus präpariertem Pech mit Wasser, die mit Hilfe von Emulgatoren und gegebenenfalls Stabilisatoren hergestellt ist. Pechemulsionen wurden früher vorwiegend als kalt zu verarbeitende Anstrich- und Beschichtungsstoffe verwendet.

## **Polymermodifiziertes Steinkohlenteer-Spezialpech**

nach [3]:

Zubereitung aus präpariertem Pech durch Mischen mit Polymersystemen.

Polymermodifizierte Steinkohlenteer-Spezialpeche sind physikalische Mischungen und/oder Reaktionsprodukte aus präpariertem Pech und Polymeren. Die Polymersysteme verändern die thermoplastischen und/oder elastischen Eigenschaften der Steinkohlenteer-Spezialpeche. Sie wurden vorwiegend als spezielle Anstrich- und Beschichtungsstoffe sowie Bindemittel verwendet.

## **Präpariertes Pech (früher: Präparierter Teer)**

nach [3]:

Lösung von Steinkohlenteer-Spezialpech in niedrig- und/oder höhersiedenden Lösemitteln, die mineralöl- und/oder steinkohlenteerstämmig sein können, gegebenenfalls auch mit anorganischen Füllstoffen vermischt. Präparierte Peche wurden vorzugsweise für Anstrich- und Tränkmittel, Klebe- und Spachtelmassen verwendet.

### **Steinkohlenteer-Spezialpech**

nach [3]:

Steinkohlenteerpech, dessen physikalische und chemische Eigenschaften durch spezielle Verfahren (z.B. Polymerisation) verändert worden sind.

### **Steinkohlenteer-Spezialpech mit Mineralstoffen**

nach [3]:

Technisch hergestelltes Gemisch aus Straßenpech, Pechbitumen, Bitumenpech oder polymermodifiziertes Steinkohlenteer-Spezialpech und verschiedenen Mineralstoffkörnungen sowie gegebenenfalls weiteren Zuschlägen und/oder Zusätzen.

### **Steinkohlenteerpech**

nach [3]:

Bei Raumtemperatur plastische bis feste Rückstände der Destillation von Steinkohlenteeren, Steinkohlenteerpech findet als solches keine technische Anwendung.

### **Straßenpech (früher: Straßenteer)**

nach [3]:

Lösung von Steinkohlenteer-Spezialpech in Lösemitteln.

Straßenpech wurde früher vorzugsweise im Straßenbau verwendet; seine Anforderungen sind in DIN 1995-5 festgelegt [4].

### **Teer**

Die durch thermische Zersetzung (Pyrolyse) organischer Naturstoffe gewonnenen flüssigen bis halbfesten Erzeugnisse.

Je nach Ursprungsstoff unterscheidet man z.B. Holzteer, Braunkohlenteer, Steinkohlenteer.

Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnet Teer auch das aus Stein- bzw. Braunkohlenteer gewonnene Straßenbaubindemittel. Teer kommt jedoch als solcher nicht in den Handel sondern wird durch Destillation aufgearbeitet. Die Rückstände sind die Peche, aus denen Straßenbaubindemittel hergestellt wurden.

### **Teeröle**

Bei der Destillation von Teer verdampfende Anteile (Destillate).

Es wird zwischen Leicht-, Mittel-, Schwer- und Anthracenölen unterschieden.

### **teer-/pechhaltiger Stoff**

Stoff, der Teerbestandteile enthält.

In Anlehnung an DIN 55946-2 werden Stoffe, die Bestandteile von Steinkohlenteer enthalten, pechhaltig genannt (s.a. carbostämmig). Die Bezeichnung teer-/pechhaltig bezieht sich auf Produkte die entweder Steinkohlen- oder Braunkohlenteere enthalten. Werden Straßenausbaustoffe analysiert, dann genügt für die Einstufung teer-/pechhaltig, dass teer-/pechtypische Bestandteile in nennenswerter Menge festgestellt werden.

### **teer-/pechtypische Bestandteile**

Aromaten, die durch Pyrolyse entstehen.

In Steinkohlenteeren kommen als typische Bestandteile (Substanzen) vorwiegend PAK vor. In Braunkohlenteeren kommen Phenole als typische Substanzen vor. PAK können in Braunkohlenteer-Erzeugnissen ebenso vorkommen wie Phenole in Steinkohlenteerpech-Produkten; dies ist abhängig von der Pyrolysetemperatur.

### **Verschnittbitumen**

Straßenbaubitumen, dessen Viskosität durch Verschneiden mit Verschnittmitteln (meist Teerölen) herabgesetzt wurde.

### **Zubereitung aus Steinkohlenteer-Spezialpech**

nach [3]:

Steinkohlenteer-Spezialpech mit anderen für den jeweiligen Anwendungszweck geeigneten Komponenten, z.B. Lösemitteln und/oder Wasser, gegebenenfalls unter Zugabe geeigneter Emulgatoren, anderen organischen Komponenten sowie gegebenenfalls weiteren Zuschlägen und/oder Zusätzen.

## **E 1.4 Weitere Definitionen**

### **Aerosol**

Disperses System, dessen disperse Phase fest oder flüssig und dessen umgebendes Medium gasförmig ist. Rauch und Staub sind Aerosole mit fester disperser Phase. Nebel ist ein Aerosol mit flüssiger disperser Phase.

### **Asphalt**

nach [1]:

Mischung von Gesteinskörnung mit einem bitumenhaltigen Bindemittel.

nach [2]:

Natürlich vorkommendes oder technisch hergestelltes Gemisch aus Bitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln und Mineralstoffen sowie gegebenenfalls weiteren Zuschlägen und/oder Zusätzen.

Zusatz: Aus der Definition folgt, dass Asphalt immer teerfrei ist. Im englischen/amerikanischen Sprachraum wird das Wort „Asphalt“ häufig in der Bedeutung „Bitumen“ verwendet. Darauf ist in Übersetzungen ausländischer Veröffentlichungen zu achten.

### **Ausbauasphalt**

Oberbegriff für Fräsasphalt oder Aufbruchasphalt.

Mit Bitumen gebundene Mineralstoffe, die durch Aufbrechen oder Fräsen aus befestigten Schichten gewonnen wurden.

## **bituminös**

Früher der Oberbegriff für Stoffe, die Bitumen, Steinkohlenteer-Spezialpech oder Bindemittel auf Basis dieser beiden Stoffe enthalten.

Seit den Ausgaben von DIN 55946 im Jahre 1983 werden die o.g. Bindemittel nicht mehr unter einem Oberbegriff zusammengefasst. Der Begriff „bituminös“ soll nicht mehr benutzt werden.

In DIN EN 12597 wird „bituminous“ mit „bitumenhaltig“ übersetzt.

## **Dampf**

Gasförmiger Zustand einer Flüssigkeit oder eines festen Stoffes.

Unter „Dämpfen aus Bitumen“ werden organische Stoffe verstanden, die vom Bitumen nur in heißem Zustand abgegeben werden.

Die Konzentration der „Dämpfe aus Bitumen“ werden in Luft gemessen und in mg/m<sup>3</sup> angegeben.

## **Emulgator**

nach [1]:

Stoff, welcher die Bildung einer Emulsion unterstützt.

Anmerkung: Ein Emulgator trägt auch zur Stabilisierung einer Emulsion bei.

## **Eluat**

Lösung, in der aus einer Originalsubstanz ausgelaugte Bestandteile gelöst vorliegen.

Die Konzentration wird in mg/l angegeben.

## **Elution**

Das Herauslösen von Stoffen aus festen Materialien durch Flüssigkeiten, im Allgemeinen durch Wasser.

## **Emissionen**

Im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

Durch Transport und Ausbreitung in der Luft verteilen sich Emissionen und können als Immissionen verändert oder unverändert auf die Umwelt einwirken.

## **Fluxmittel**

nach [1]:

Flüssigkeit, die zu einer anderen Flüssigkeit hinzugefügt wird, um deren Viskosität zu verringern.

Anmerkung: Dieser Begriff erfasst relativ flüchtige Destillate, die bei der Herstellung von Kaltbitumen verwendet werden, relativ schwerflüchtige Öle, die bei der Herstellung von Fluxbitumen verwendet werden.

Ein spezieller Fall ist Fluxöl.

## **Fluxöl**

nach [1]:

Relativ schwerflüchtiges Öl, das bei der Herstellung von Fluxbitumen verwendet wird.

## **Hydraulisches Bindemittel**

Bindemittel, das mit Wasser sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärtet und danach wasserbeständig ist. Sammelbegriff für Zement, Tragschichtbinder oder hochhydraulischer Kalk.

## **Immissionen**

Im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Böden, Wasser, Atmosphäre und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen u.Ä..

## **Inhaltsstoff**

Bestandteil einer Originalsubstanz.

Die Konzentration wird in mg/kg angegeben.

## **Konzentration**

Bezeichnung für den quantitativen Anteil eines Stoffes in einem Stoffgemisch. Er wird bei Festkörpern in mg/kg, bei Flüssigkeiten in mg/l oder bei Gasgemischen in mg/m<sup>3</sup> angegeben.

## **Lösemittel**

Flüssigkeiten, die andere Stoffe lösen können, ohne sie chemisch zu verändern.

## **Naturasphalt**

nach [1]:

Relativ hartes, in natürlichen Lagerstätten vorkommendes Bitumen, das häufig mit feinen oder sehr feinen Mineralstoffanteilen gemischt ist und welches bei 25 °C praktisch fest, bei 175 °C jedoch eine viskose Flüssigkeit ist.

## **Phenole**

Gruppenbezeichnung für aromatische Hydroxyverbindungen, bei denen die Hydroxygruppen direkt an den aromatischen Kern gebunden sind.

## **Phenolindex**

Summenkonzentration der in Wasser gelösten und mit einem Bestimmungsverfahren erfassten phenolartigen Substanzen.

Die Angaben erfolgen in mg/l.

## **Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

Gruppenbezeichnung für aromatische Verbindungen mit kondensierten Ringsystemen in ihrer Molekularstruktur. Dies bedeutet, dass 5- oder 6-gliedrige Molekülringe zwei benachbarte Ringglieder gemeinsam besitzen. (Die englische Abkürzung PAH für „Polycyclic Aromatic Hydrocarbon“ wird oft auch in deutschen Texten verwendet).

## **Pyrolyseprodukte**

Pyrolyseprodukte aus organischem Material sind Stoffgemische, die bei der Pyrolyse des organischen Materials (Erhitzen unter Sauerstoff-Abschluss oder unvollständige Verbrennung von organischem Material) entstehen. Diese Stoffgemische enthalten neben niedrig siedenden auch höher siedende bzw. nicht unzersetzt destillierbare organische Verbindungen. Pyrolyseprodukte enthalten immer größere Anteile an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und vielfach an aromatischen Heterocyclen und Phenolen. Pyrolyseprodukte aus organischem Material sind u.a. Steinkohlenteer-Spezialpech und Steinkohlenteerpech sowie Braunkohlenteer.

## **Technischer Asphalt**

nach [2]:

Technisch hergestelltes Gemisch aus Bitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln (vorzugsweise Straßenbaubitumen) und verschiedenen Mineralstoffkörnungen sowie gegebenenfalls weiteren Zuschlägen und/oder Zusätzen.

Wortzusammensetzungen (wie z.B. Walzasphalt, Kaltasphalt, Asphaltbeton oder Asphalttragschicht) sind je nach der Einbautechnik, nach der Kornabstufung, nach der Funktion, nach der Verarbeitungstemperatur usw. üblich.

# **E 2 Beschreibung der Baustoffe und Substanzen**

## **E 2.1 Bitumen**

### **Entstehung und Vorkommen**

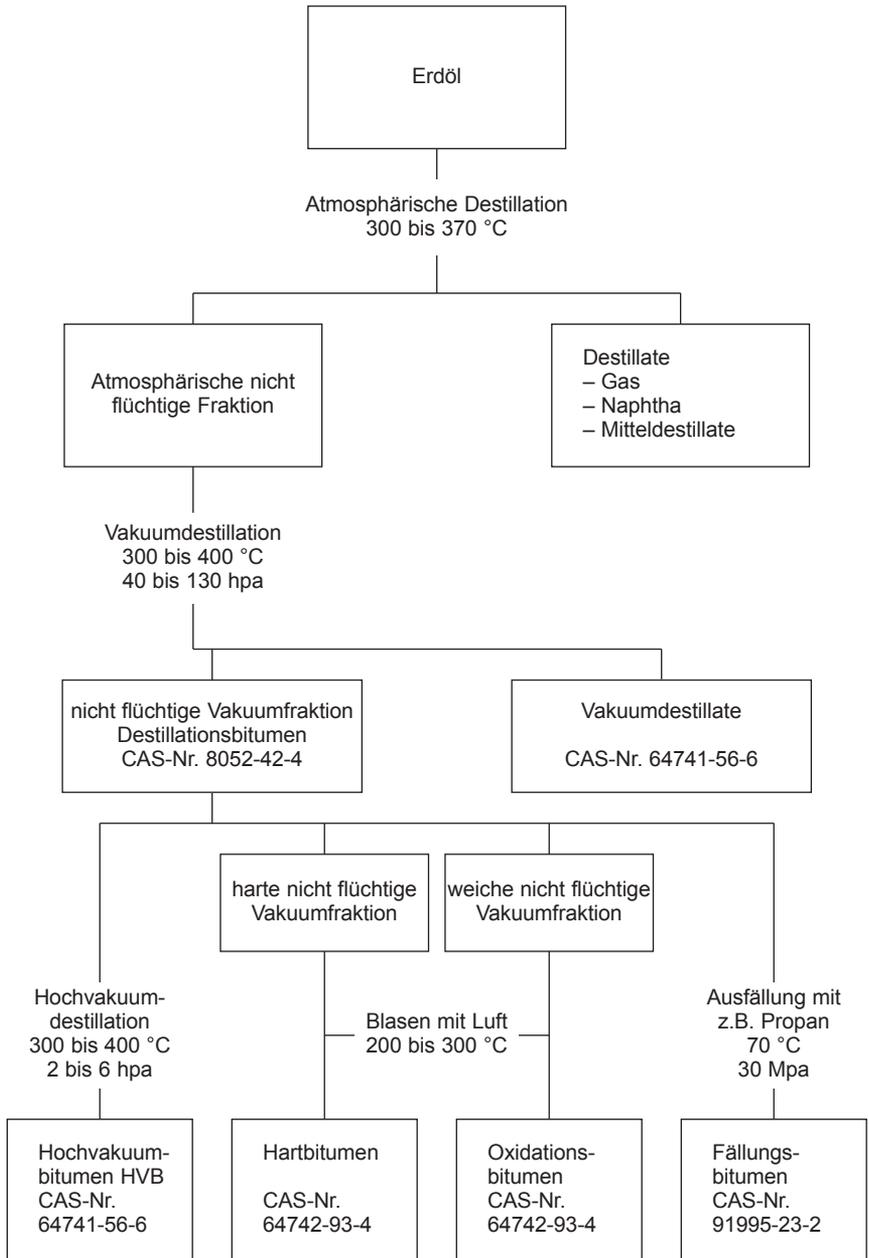
Bitumen ist ein Zielprodukt, das bei der destillativen Aufarbeitung geeigneter Erdöle als nicht flüchtige Fraktion aus dem Erdöl gewonnen wird. Es wird dabei nie höher erhitzt als auf die Temperaturen der Destillation, also weniger als 400 °C. Somit wird Bitumen keinen pyrolytischen Bedingungen ausgesetzt, ist also kein Pyrolyseprodukt.

Das Schema im Bild E 2.1 gibt einen Überblick über die Herstellung der wesentlichen Bitumenarten.

### **Zusammensetzung**

Bitumen ist ein Gemisch aus einer hohen Anzahl verschiedener Substanzen, die nicht isoliert abgetrennt werden können. Man kann sie z.B. in vier Gruppen zusammenfassen: Gesättigte Kohlenwasserstoffe (Paraffine, Naphthene), Aromaten (im Wesentlichen in gesättigten Kohlenwasserstoffen gebunden), Harze (Verbindungen, die Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff enthalten) und Asphaltene (höhermolekulare polare Verbindungen, die z.B. mit n-Heptan ausfallen).

Bitumen ist als Gemisch einer Vielfalt von Substanzen mit teilweise sehr unterschiedlichen Polaritäten und zwischenmolekularen Kräften nicht einphasig. Vielmehr liegen Micellen vor, die aus hochmolekularen, unschmelzbaren Anteilen bestehen und einer Dispersion gleich in einer geschlossenen Trägermasse von schmelz- und klebfähigen niedermolekularen Stoffen stabil gehalten werden. Die harzartige Trägerphase heißt Maltenphase, die dispergierte Phase sind die Asphaltene.



**Bild E 2.1: Herstellungsverfahren von Bitumen (nach IARC (1985), modifiziert)**

Bitumen ist im Wesentlichen ein durch physikalische Aufbereitung gewonnener Naturstoff. Bei der Destillation wird durch die Temperatur- und Druckverhältnisse die Grundzusammensetzung der nicht flüchtigen Anteile des Erdöls nicht wesentlich verändert. Der Gehalt an PAK ist sehr gering, weil die ohnehin geringen Mengen im Erdöl unter den Bedingungen der Destillation aus dem Bitumen entweichen und abgereichert werden.

Repräsentative Untersuchungen an deutschen Bitumen ergaben, dass PAK sowie schwefelhaltige homologe Verbindungen zwar nachgewiesen werden konnten, aber der Anteil der PAK, die als krebserzeugend bekannt sind, in der Gesamtmenge der PAK nach EPA relativ gering ist. Die untersuchten Bitumenproben enthielten keine der ausgewählten stickstoffhaltigen PAK [12]. Eine Übersicht über die in deutschen Straßenbaubitumen gefundenen PAK-Gehalte insbesondere das Benzo[a]pyren gibt die Tabelle E 2.1.

**Tabelle E 2.1: PAK-Gehalte nach EPA [mg/kg] in Bitumen nach Knecht (Mittelwerte aus n Proben verschiedener Herstellung und Provenienzen in Deutschland)**

<b>Bitumen-Sorten</b>	<b>B 200</b>	<b>B 80</b>	<b>B 45</b>
<b>n</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
Naphthalin	0,31	0,23	0,32
Acenaphthylen	0,10	0,03	0,03
Acenaphthen	0,14	0,08	0,15
Fluoren	0,21	0,36	0,45
Phenanthren	0,93	0,57	1,59
Anthracen	0,20	0,05	0,11
Fluoranthen	0,22	0,21	0,32
Pyren	1,14	0,63	0,93
Benzo[a]anthracen	1,97	1,79	1,42
Chrysen	2,53	2,50	2,59
Benzo[b+k]fluoranthen	3,12	2,94	2,48
Benzo[e]pyren	7,30	5,94	7,06
Benzo[a]pyren	1,78	1,41	2,08
Idenof[1,2,3-d]pyren	0,74	0,56	0,72
Dibenz[a,h]anthracen	2,48	1,53	1,38
Benzo[g,h,i]perylen	3,84	2,31	3,28
<b>Σ PAK nach EPA</b>	<b>27,01</b>	<b>21,35</b>	<b>24,92</b>

Bitumen ist in den Einstufungslisten der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900; TRGS 905) nicht aufgeführt [10]. Bitumen ist nicht kennzeichnungspflichtig und damit kein Stoff, der einer Kategorie krebserzeugender Stoffe zuzuordnen ist. Der für die Einhaltung spezieller Umgangsvorschriften geltende Grenzwert für Benzo[a]pyren von 0,005 M.-% oder 50 mg/kg wird in allen Raffineriebitumen um mehr als den Faktor 10 unterschritten [12].

In den TRGS 900 und TRGS 901 sind nur die Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung aufgeführt. Hierfür wurden Luftgrenzwerte von 10 mg/m<sup>3</sup> Luft festgelegt, die im Sinne eines **MAK**-Wertes (**Maximale Arbeitsplatzkonzentration**) anzuwenden sind. Einzelheiten hierüber sind in den TRGS 901 beschrieben [10].

In den Dämpfen und Aerosolen wurden im Wesentlichen aliphatische und naphthenische Kohlenwasserstoffe nachgewiesen. Der PAK-Anteil hierin ist sehr gering und nimmt im Verlauf der Asphaltverarbeitung weiter ab [13].

### **Wirkung auf Umwelt und Gesundheit**

Durch den Umgang, die Anwendung oder den Kontakt mit Bitumen sind bisher keine Gesundheits- oder Umweltbeeinträchtigungen bekannt geworden [14,15].

Unter Gebrauchsbedingungen bei Temperaturen < 80 °C sind keine Dampfemissionen nachweisbar. Erst oberhalb von 100 °C beginnt eine nennenswerte Dampfbildung [12]. Wenn Bitumen und Produkte daraus heiß verarbeitet werden, gelten für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen Luftgrenzwerte, die in den TRGS 900 und TRGS 901 aufgeführt sind. Hinsichtlich der Aerosolbildungsrate sind Temperaturen erst ab 180 °C relevant [12,16].

Für den Arbeitsschutz beim Umgang mit Bitumen wurden vom Gesprächskreis Bitumen umfangreiche Empfehlungen auf der Grundlage der TRGS 402 erarbeitet [10,17,18].

Bitumen hat kein Verteilungspotenzial; beispielsweise verteilt es sich nicht im Boden. Bitumen zählt nicht zu den kontaminierenden Kohlenwasserstoffen.

Wasser kann aus Bitumen keine Stoffe in nennenswerter Konzentration herauslösen. Eine Beeinträchtigung von Trink- und Grundwasser ist nicht feststellbar. Asphalt hat sich als Abdichtungsmaterial für Trinkwassertalsperren seit Jahrzehnten bewährt [19,20].

Bitumen gilt gemäß Wasserhaushaltsgesetz § 19 g, Abs. 5, Satz 2 als erwiesenermaßen nicht wassergefährdend und ist somit in keine Wassergefährdungsklasse eingestuft.

## **E 2.2 Steinkohlenteer und Steinkohlenteerpech**

### **Entstehung und Vorkommen**

Unter „Teer“ versteht man flüssige bis halbfeste Erzeugnisse, die durch zersetzende thermische Behandlung organischer Naturstoffe gewonnen werden. Organische Naturstoffe sind u.a. Steinkohle und Braunkohle.

Bei der Gewinnung von Steinkohlenkoks und -gas fallen Steinkohlenteere als flüssiges Nebenprodukt an. Sie werden eingeteilt in Tieftemperaturteer (Schwelteer, Urteer), der bei der Schwelung der Steinkohlen bei Temperaturen unterhalb 700 °C entsteht und Hochtemperaturteer (Kokerei- und Gaswerksteer), der bei der Verkokung von Steinkohlen zwischen 900 und 1300 °C entsteht (Tabelle E 2.2) [14,21].

Spezialpeche für den Straßenbau wurden hergestellt, indem man den Rohteer (i.d.R. Hochtemperaturteer) bis zum Pech abdestillierte und dann mit dem relativ schwerflüchtigen Anthracenöl als „Weichmacher“ auf gezielte Viskositäten einstellte. Da bei unvollständiger Verbrennung und pyrolytischer Zersetzung aus praktisch allen organischen Stoffen PAK gebildet werden, enthalten die Straßenpeche PAK in hohen Konzentrationen, wobei die Konzentration mit steigender Pyrolysetemperatur zunimmt.

**Tabelle E 2.2: Eigenschaften und Zusammensetzung verschiedener Steinkohlenteere**

Art der Teere		Kokereiteere 900 bis 1300 °C	Schwelteere < 700 °C
Bestandteile			
Dichte 20 °C	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,14 bis 1,25	0,96 bis 1,14
Kohlenstoff	[%]	90 bis 93	83 bis 85
Wasserstoff	[%]	5 bis 6	8 bis 9,5
Naphthalin	[%]	5 bis 15	0 bis 2
Phenole	[%]	0,5 bis 5	10 bis 45
Basen	[%]	0,2 bis 2	0,5 bis 2
Feste Paraffine	[%]	– <sup>1)</sup>	3 bis 15
Verkokungsrückstand	[%]	10 bis 40	5 bis 15
Toluol-Unlösliches	[%]	2 bis 20	0,5 bis 10
Asche	[%]	> 0,5	< 0,2
Wasser	[%]	< 5	< 5
<b>Siedeanalyse (DIN 52027) [6]</b>			
Leichtöl bis 180 °C	[%]	0,2 bis 2	0 bis 12
Mittelöl 180 – 230 °C	[%]	3 bis 10	2 bis 23
Schweröl 230 – 270 °C		7 bis 15	8 bis 22
270 – 300 °C	[%]	3 bis 7	5 bis 10
Anthracenöl 300 °C bis Pech	[%]	12 bis 30	10 bis 30
Pechgehalt P <sub>R</sub> mit EP (K-S) 67 °C	[%]	45 bis 60	30 bis 50

<sup>1)</sup> nur in Spuren zu finden

Da Hochtemperaturteer das Ausgangsprodukt für die Straßenpechgewinnung ist, sind Aromaten, insbesondere PAK, wesentliche Bestandteile der Steinkohlenteere (Tabelle E 2.3) und der daraus gewonnenen Produkte. Straßenpeche enthalten dagegen meist weniger Phenole. Phenolfrei sind diese Peche aber nicht. Mit steigender Pyrolysetemperatur nimmt der Phenolgehalt ab.

Alle Stoffe und Stoffgemische, die Teer- oder Pechanteile enthalten, werden wie Teere/Peche behandelt. Der Zusammenhang zwischen den Begriffen für Steinkohlenteerpech und Zubereitungen aus Steinkohlenteer-Spezialpech kann dem Anhang A der DIN 55946-2 entnommen werden.

### Listen für PAK

PAK sind eine Gruppenbezeichnung für unsubstituierte aromatische Verbindungen mit kondensiertem Ringsystem. Aus der Vielzahl dieser Verbindungen hat die US-Environment Protection Agency (EPA), USA, 16 ausgewählt und in einer Liste veröffentlicht (Tabelle E 2.4). Sie werden als PAK nach EPA oder EPA-PAK bezeichnet.

**Tabelle E 2.3: Verbindungen im Steinkohlen-Hochtemperaturteer mit einem Anteil von 10 000 mg/kg und mehr**

Eigenschaften Verbindungen	Siedepunkt	Schmelzpunkt	Durchschnittlicher Gehalt im Rohteer
	[°C]	[°C]	[mg/kg]
Naphthalin <sup>1)</sup>	217,955	80,390	100 000
Phenanthren <sup>1)</sup>	338,4	100	50 000
Fluoranthen <sup>1)</sup>	383,5	111	33 000
Pyren <sup>1)</sup>	393,5	150,0	21 000
Acenaphthylen <sup>1)</sup>	270	93	20 000
Fluoren <sup>1)</sup>	297,9	115,0	20 000
Chrysen <sup>1)</sup>	441	256	20 000
Anthracen <sup>1)</sup>	340	218	18 000
Carbazol	354,76	244,4	15 000
2-Methylnaphthalin	241,052	34,58	15 000
Benzo(a)pyren <sup>1)</sup>	495,5	179 <sup>2)</sup>	14 000
Diphenylenoxid	285,1	85	10 000
Inden	182,44	- 1,5	10 000
Summe			346 000 ≙ 34,6 %

<sup>1)</sup> PAK nach EPA

<sup>2)</sup> bei 13 hPa

In Deutschland sind nur 6 PAK in einer Liste der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, früher als TVO abgekürzt) aufgelistet. Sie werden als PAK nach TrinkwV bezeichnet. Bei Summenkonzentrationsangaben für PAK muss die Anzahl der Einzelsubstanzen beachtet werden.

**Tabelle E 2.4: Ringsysteme der PAK nach EPA**

Systeme	PAK
2-Ringsysteme	Acenaphthen Acenaphthylen Naphthalin
3-Ringsysteme	Anthracen Fluoren Phenanthren
4-Ringsysteme	Benzo[a]anthracen* <sup>1)</sup> Pyren Fluoranthen Chrysen*
5-Ringsysteme	Benzo[a]pyren* Benzo[e]pyren* Benzo[b+k]fluoranthen* Dibenzo[a,h]anthracen*
6-Ringsysteme	Benzo[g,h,i]perylen Indenol[1,2,3-cd]pyren*

<sup>1)</sup> Die mit \* gekennzeichneten PAK sind seit 1997 Bestandteil der MAK-Werte-Liste und im Abschnitt III (Pyrolyseprodukte aus organischem Material) als krebserzeugend der Kategorie 2 ausgewiesen.

## Physik und Chemie

PAK sieden bei Temperaturen über 300 °C, zum Teil über 400 °C. Dennoch sind sie relativ leichtflüchtig und beginnen, bei nennenswerten Inhaltskonzentrationen schon unter 100 °C zu verdampfen. Durch Erwärmung können sie also selektiv ausgetrieben werden und in die Luft übergehen. Dies bedeutet einerseits, dass sie bei der Herstellung von Bitumen abgereichert werden, andererseits aber, dass sie nach dem Einmischen teer-/pechhaltiger Produkte selektiv entweichen und in den Dämpfen nachgewiesen werden können [22,23].

PAK sind nicht gut wasserlöslich, ihre Löslichkeit steigt jedoch, wenn Phenole zugegen sind. Ihre Löslichkeit reicht aber für toxische Aktivitäten aus. PAK sind nur schwer chemisch angreifbar, sie sind sehr beständig. Biologisch sind sie nur in geringen Konzentrationen in Gegenwart von Wasser abbaubar.

## Wirkung auf Umwelt und Gesundheit

Tier und Mensch können PAK durch die Haut, über die Lunge und die Nahrung aufnehmen. PAK werden u.a. für die Erzeugung von Krebs im menschlichen Organismus verantwortlich gemacht.

PAKs haben unterschiedliche krebserregende Potenziale. PAK ab vier kondensierten Ringen gelten als besonders krebserregend. Das Gesamtpotenzial wird über die 16 PAK nach EPA festgelegt.

In Deutschland wird das stark krebserzeugende Benzo(a)pyren B(a)P gemäß Gefahrstoffverordnung [11] als Bezugssubstanz für die Kennzeichnung des krebserzeugenden Potenzials in Pyrolyseprodukten aus organischem Material ausgewiesen. Untersuchungen haben gezeigt, dass der B(a)P-Anteil im Gesamt-EPA-PAK-Gehalt 10 % nicht überschreitet.

Wegen der hohen PAK-Gehalte sind „Pyrolyseprodukte aus organischem Material“ nach Anhang I Abschnitt 1.4.2.1 der Gefahrstoffverordnung als krebserzeugend der Kategorie 1 und 2 eingestuft und in der Liste der TRGS 905 [10] entsprechend aufgeführt. Hierunter fallen alle Teere, Peche sowie Gemische, die sie enthalten. Der Umgang hiermit wird in den TRGS 551 geregelt.

## **E 2.3 Braunkohlenteer**

### **Entstehung und Zusammensetzung**

Braunkohlenteer entsteht aus Braunkohle und wird durch zum Teil pyrolytische Veredlungsprozesse als bräunliche Masse mit einem Siedebeginn oberhalb 60 °C gewonnen. Die Hauptfraktion siedet bei 250 bis 350 °C.

Hauptbestandteile sind gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe  $C_6 - C_{27}$ , aromatische Kohlenwasserstoffe und insbesondere Alkylphenole. Durch Schwelung entsteht Braunkohlenschwelteer (bis 600 °C), der sehr phenolreich aber PAK-arm ist. Durch Verkokung entsteht Braunkohlenhochtemperaturteer (bis 1 200 °C), der sowohl phenol- als auch PAK-reich ist.

Bei der Schwelung (trockene Destillation natürlicher Brennstoffe unter Luftabschluss) fallen Schwelteere, Schwelöle, Schwelgas, Schwelkoks und Schwelwasser an. Das Schwelwasser entsteht durch Zersetzung der Schwelsubstanz und als Brausedampfkondensat. Es enthält erhebliche Mengen Phenole, die durch das Phenosolvanverfahren abgetrennt worden sind. Mit Phenosolvanverfahren wird ein Gegenstromextraktionsverfahren zur Entphenolung wässriger Phasen mittels Lösemittel bezeichnet.

Braunkohlenteer enthält hohe Konzentrationen an Phenolen. Für die Bewertung der PAK-Gehalte gelten die gleichen Kriterien wie beim Steinkohlenteer. Meist liegen die PAK-Gehalte aber weit unter den Gehalten für Steinkohlenteer, oft sogar im Bereich von Bitumen. Der Nachweis von PAK ist deshalb für den Nachweis von Braunkohlenteerprodukten im Bindemittel nicht ausreichend. Die Untersuchung des Phenolindex am Eluat ist das entscheidende Kriterium für die Einstufung des vorliegenden Materials.

### **Physik und Chemie**

Phenole sind mit Wasserdampf flüchtig und werden im Kondensat wieder ausgeschieden. Daher entweichen Phenole beim Trocknen von phenolhaltigem Material selektiv mit dem Wasserdampf.

Chemisch verhalten sich Phenole wie Säuren, d.h. sie bilden im Basischen wasserlösliche Salze, die Phenolate. Bei pH-Werten über 8,5 steigt ihre Wasserlöslichkeit

so stark an, dass sie vollständig in Lösung gehen und sogar aus der Bindemittelphase ins Wasser übergehen. Phenolatlösungen können auch die PAK-Löslichkeit verbessern, wodurch im Basischen in Gegenwart von Phenolen auch mehr PAK ausgelaugt werden können [24].

Für Einflüsse auf Umwelt und Gesundheit sind im Wesentlichen die durch Wasser eluierbaren und/oder Wasserdampf flüchtigen Phenole zu berücksichtigen. Deswegen wurden besonders solche für die Festlegung des Phenolindex-Grenzwertes ausgewählt [25].

Es sind folgende 15 Verbindungen:

- Phenol (Hydroxybenzol)
- o-Kresol, m-Kresol, p-Kresol (Methylphenole)
- 2,4- / 2,6- / 2,5- / 2,3- / 3,5- / 3,4-Xylenol (Dimethylphenole)
- o-Ethylphenol, m-Ethylphenol, p-Ethylphenol
- 1-Naphthol
- 2-Naphthol.

### **Wirkung auf Umwelt und Gesundheit**

Eine karzinogene Wirkung von Phenolen wurde bisher nicht nachgewiesen. In höheren Konzentrationen sind Phenole giftig. Da sie selektiv mit Wasserdampf entweichen, können sie schnell in die Umgebungsluft gelangen.

Phenole sind durch ihre hohe Löslichkeit eine Gefahr für das Grundwasser. Geringste Mengen können Geschmack und Qualität von Wasser erheblich beeinträchtigen. Daher muss besondere Aufmerksamkeit auf das Auftreten von Phenolen durch Wasserrelution beim Umgang mit teer-/pechhaltigen Straßenbaustoffen gerichtet werden. Auch geruchlich werden Phenole schon in sehr niedrigen Konzentrationen unangenehm wahrgenommen. Phenole werden z.T. in Wasserorganismen angereichert, auch wenn sie nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden sind. Ferner besteht der Verdacht, dass Phenole als Langzeitgifte Synergieeffekte erzeugen.

### **E 2.4 Ausbaustoffe mit teer-/pechtypischen Bestandteilen**

Teer-/pechhaltiges Ausbaumaterial kann sehr schnell zur Überschreitung der PAK-Grenzwerte für Arbeitsschutz und Wasserwirtschaft führen [12]. Dies ist u.a. in den enormen Konzentrationsunterschieden mit einem Faktor von bis zu  $10^4$  für die PAK-Konzentration in Teerpechen, verglichen mit Bitumen, begründet (s. Tabelle E 2.5). Daher kann der PAK-Gehalt eines Bindemittels schon um das 100-fache steigen, wenn nur 1 % Teer darin enthalten ist. Solche Gemische dürfen nicht dem Bitumen zugerechnet werden und müssen wie Teere (Pech) behandelt werden. Keinesfalls dürfen teerhaltige Stoffe mit Asphalt gemischt werden.

Die Tabelle E 2.5 stellt die Zusammenhänge dar und verdeutlicht z.B., dass ein Ausbaustoff mit einem Teergehalt von 0,05 % so viel B(a)P einbringen kann, dass mit mehr als 33-prozentige Zugabe der Grenzwert zur Kennzeichnungspflicht am extrahierten Bindemittel überschritten werden kann.

**Tabelle E 2.5: Teergehalte in der Originalsubstanz (Ausbaustoff) und die Auswirkungen auf die PAK- bzw. B(a)P-Gehalte im Mischgut oder extrahierten Bindemittel (Berechnungsgrundlage sind die Inhaltsstoffangaben der IARC)**

Bezugs- werte Teer in Original- substanz	PAK- und B(a)P-Gehalte in Mischgut mit 5 M.-% Bindemittel			Anstieg im Bindemittel	
	Zugabe M.- %	PAK mg/kg	B(a)P mg/kg	PAK mg/kg	B(a)P mg/kg
0,25	100	660 bis 1250	10 bis 35	13 250 bis 25 000	200 bis 700
	50	330 bis 625	5 bis 17	6 600 bis 12 500	100 bis 340
	33	165 bis 417	3 bis 12	4 400 bis 8 340	60 bis 240
0,05	100	132 bis 250	2 bis 7	2 650 bis 5 000	40 bis 140
	50	66 bis 125	1 bis 3,5	1 325 bis 2 500	20 bis 70
	33	44 bis 83	0,7 bis 2,3	880 bis 1 660	12 bis 48
0,005	100	13,0 bis 25,0	0,2 bis 0,7	265 bis 500	4 bis 14
	50	6,5 bis 12,5	0,1 bis 0,4	133 bis 250	2 bis 7
	33	4,3 bis 8,3	0,07 bis 0,2	88 bis 170	1,2 bis 5
Asphaltmischgut ohne Ausbauphase		< 5 i.M. 2	< 0,1 i.M. 0,02	< 100 i.M. < 30	< 5 i.M. 1,8

IARC Basis: 265 000 bis 500 000 mg/kg PAK / 4 200 bis 14 000 mg/kg B(a)P im Teer

IARC = International Agency of Research on Cancer (WHO)

PAK = 16 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe nach EPA (Environmental Protection Agency, USA)

B(a)P = Benzo(a)pyren, Leitsubstanz für die Karzinogenität nach GefStoffV (Gefahrstoffverordnung)

≤ 50 ppm nicht kennzeichnungspflichtig

> 50 ≤ 1000 ppm karzinogen

> 1000 ppm stark karzinogen

## E 3 Literaturverzeichnis

- 1 DIN EN 12597 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Terminologie
- 2 DIN 55946 Bitumen und Steinkohlenteerpech, Ausgabe 1983 – Teil 1: Begriffe für Bitumen und Zubereitungen aus Bitumen
- 3 DIN 55946 Bitumen und Steinkohlenteerpech, Ausgabe 1983 – Teil 2: Begriffe für Steinkohlenteerpech und Zubereitungen aus Steinkohlenteer-Spezialpech
- 4 DIN 1995 Bitumen und Steinkohlenteerpech – Anforderungen an die Bindemittel, Ausgabe 1989  
Teil 1: Straßenbaubitumen  
Teil 2: Fluxbitumen  
Teil 3: Bitumenemulsionen  
Teil 4: Kaltbitumen  
Teil 5: Straßenpeche, Bitumenpeche, Kaltpechlösung
- 5 DIN EN 12591 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen
- 6 DIN 52027 Siedeanalyse von Straßenpechen und Kaltpechlösungen, Ausgabe 1989
- 7 Technische Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen (TL PmB), FGSV 748
- 8 Technische Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bindemittel für Oberflächenbehandlungen (TL PmOB), FGSV 753
- 9 Technische Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumenemulsionen für Dünne Schichten im Kalteinbau (TL PmBE-DSK), FGSV 757
- 10 Technische Regeln für Gefahrstoffe:  
Ermittlung und Beurteilung der Konzentration gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen (TRGS 402), Bundesarbeitsblatt Nr. 11/1997  
Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material (TRGS 551), Bundesarbeitsblatt Nr. 7-8/1999  
Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz „Luftgrenzwerte“ (TRGS 900), Bundesarbeitsblatt Nr. 10/2000  
Begründungen und Erläuterungen zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 901), Bundesarbeitsblatt Nr. 10/2000  
Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (TRGS 905), Bundesarbeitsblatt Nr. 9/1999
- 11 Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
- 12 Knecht, U.; Stahl, S.; Woitowitz, H.-J.: Handelsübliche Bitumenarten: PAH-Massegehalte und temperaturabhängiges Emissionsverhalten unter standardisierten Bedingungen; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 59 (1999) Nr. 11/12

- 13 Bergmann, K.; et al.: Kohlenwasserstoff – Emissionen bei der Herstellung von Bitumen; Staub, Reinhaltung der Luft 49 (1989) Nr. 1
- 14 Glet, W.: Aspekte zu den Emissionen aus Bitumen, Asphalt und alten Straßenbaustoffen; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 58 (1998) Nr. 10
- 15 Glet, W.: Auswirkungen von Bitumen auf Gesundheit und Umwelt; ARBIT-Symposium in Würzburg (1999)
- 16 Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, Abteilung Straßenbau, Landesinstitut für Straßenbau (LIST): Arbeitsplatzmessungen bei der Verarbeitung von Asphaltmischgut (1998)
- 17 Rühl, R.; Musanke, U.: Der Gesprächskreis Bitumen; Sicher ist sicher – Zeitschrift für Arbeitsschutz 51 (2000) Nr. 7/8
- 18 Rühl, R.: Sachstandsbericht des Gesprächskreises Bitumen; BG Bau, 2000
- 19 Bowen, C.: Aqueous leaching of PAC's from bitumen; Eurasphalt/Eurobitume Congress, Session 3, Proceedings, Barcelona 2000
- 20 Zitscher, F.-F.: 60 Jahre Erfahrungen mit Asphalt dichtungen für Talsperren und Speicherbecken – eine gesicherte Grundlage auch für moderne Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise; Bitumen 56 (1994) Heft 1
- 21 Franck, H.-G.; Collin, G.: Steinkohlenteer; Springer-Verlag, Heidelberg 1968
- 22 Glet, W.: Nachweis von PAK in Straßenbaumaterial mit dem Sublimierverfahren; Eurasphalt/Eurobitume Congress, Session 3, Proceedings, Barcelona 2000
- 23 Glet, W.: Nachweis von PAK in Straßenbaumaterial mit dem Sublimierverfahren; Bitumen 60 (1998) Heft 1
- 24 Glet, W.: Das Eluierverhalten von Phenolen aus teerhaltigem Straßenaufbruch; Bitumen 53 (1991) Heft 4
- 25 Heimer, K.: FE 146 1035: Verbundvorhaben des BMBF; Reststoffverwertung im Straßenbau, Schnellverfahren zur Ermittlung von phenolhaltigen Verbindungen in Straßenbaumaterial; STB Prüfinstitut, Erfurt 1998