

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 44 823 55 11
F +41 44 821 62 44
www.empa.ch



Materials Science & Technology

Amt für Umwelt
Bahnhofstrasse 55

8510 Frauenfeld

Bericht Nr. 443861

Prüfauftrag:	Auftrag zu einer Zusammenstellung von Daten zum Thema teerhaltige Beläge
Auftraggeber:	Dr. Jürg Hertz im Rahmen des Projektes "Ostschweizerische Harmonisierung bei der Verwertung von Ausbaupasphalt unter besonderer Berücksichtigung teerhaltiger Beläge" der BPUK-Ost.
Ihr Auftrag vom:	28.9.06
Anzahl Seiten:	6
Beilagen:	keine

Inhaltsverzeichnis

Beurteilung von Schadstoffen im Teer	2
Verbreitung der PAK in die Umwelt.....	2
Gesetzgebung in umliegenden Ländern	3
Beurteilung der heutigen Richtwerte	5
Quellenverzeichnis	6

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 1.11.06

Sachbearbeiter:
Dr. Martin Hugener

Abteilungsleiter :
Prof. Dr. M. N. Partl

Anmerkungen/Erläuterungen zur Problematik der teerhaltigen Strassenbeläge

Beurteilung von Schadstoffen im Teer

Teer ist keine einheitliche chemische Substanz, sondern eine Mischung von tausenden chemischer Verbindungen. Daher ist es nicht eindeutig, wie Teer quantitativ gemessen werden soll. In der Regel werden Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, engl. PAH) zu Hilfe genommen. Da auch die PAK eine Verbindungsklasse mit einer grossen Anzahl von Substanzen darstellt, muss auch hier eine Einschränkung gemacht werden. Oft wird die Liste der amerikanischen Umweltbehörde EPA¹ von 16 PAK verwendet. In einigen Ländern werden teilweise zusätzliche Listen verwendet.

Einige PAK sind krebserregend und/oder erbgutschädigend und besitzen eine photosensibilisierende Wirkung. PAK können neben dem Einatmen auch über die Haut aufgenommen werden und dort Hautkrebs verursachen. Für krebserregende Stoffe gilt im Prinzip, dass sie, soweit technisch möglich, vermieden werden sollten, da bei ihnen, im Gegensatz zu anderen toxischen Stoffen, keine mit Sicherheit unwirksame Konzentration angegeben werden kann [1]. Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass Arbeiter, die mit teerhaltigem Material arbeiten, eine erhöhte Mortalität aufweisen.

Andererseits entstehen PAK an vielen Quellen, insbesondere bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien. Sie sind deshalb in der Umwelt allgegenwärtig und können nie restlos entfernt werden. Allerdings können PAK im Gegensatz zu Schwermetallen durch chemische Reaktionen abgebaut werden. Dies erfolgt einerseits durch Lichteinwirkung und andererseits durch mikrobiologischen Abbau im Wasser mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Wenn PAK nicht mit Luft oder Wasser im Kontakt sind (wie in Strassenbelägen), sind sie aber sehr stabil und werden nicht abgebaut.

2- und 3-Ring-PAK sind relativ leichtflüchtig, mittelmässig wasserlöslich und besitzen eine gewisse akute Toxizität auf aquatische Systeme. PAK mit 4 bis 6 Ringen sind schwerflüchtig, kaum wasserlöslich und deshalb weniger akut toxisch, dafür weisen sie teilweise ein grosses karzinogenes Potential auf.

Phenole, die in Teer ebenfalls in grösseren Mengen vorkommen, sind in grösseren Mengen für Fische giftig. Problematischer ist aber, dass sie bei der Trinkwasseraufbereitung zu chlorierten Verbindungen umgewandelt werden, die schon in kleinen Konzentration die Trinkwasserqualität geruchlich beeinträchtigen.

Verbreitung der PAK in die Umwelt

Prinzipiell können drei Verbreitungswege von PAK-haltigem Asphaltgranulat beschrieben werden:

1. über die Luft in Form von Dampf und Aerosolen: Heisseinbau
2. über das Wasser in gelöster Form durch Auswaschen: Grund- oder Regenwasser
3. über Luft und Wasser in Form von Staub oder gebunden an andere Partikel: beim Fräsen, Brechen, Mischen von Asphaltgranulat

Dämpfe und Aerosole

In der soeben beendeten Forschungsarbeit VSS 200-453 der Empa "Zusammenhang zwischen PAK-Gehalt in teerhaltigem Recyclinggranulat und in den emittierten Dämpfen beim Wiedereinbau [2] wurden die Emissionen beim Heisseinbau detailliert untersucht. Dabei wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Die maximale Arbeitskonzentration von 2 µg/m³ für das krebserregende Benzo(a)pyren (BaP) wurde bei den Feldversuchen nicht überschritten, jedoch ist der Sicherheitsabstand zum MAK-Wert nicht gross.

¹ EPA: U.S. Environmental Protection Agency

- Haupteinflussfaktor ist die Temperatur, die PAK-Emissionen nehmen im Temperaturbereich zwischen 140 und 210°C näherungsweise exponentiell mit der Temperatur zu. Für die schwerflüchtigen PAK konnte eine Verdoppelung der Emissionen alle 12°C festgestellt werden.

Staubförmige Emissionen

Beim Fräsen von teerhaltigen Belägen entstehen grössere oder kleiner Staubemissionen, die PAK-haltig sind. Die Staubentwicklung kann durch Einsatz von Wasser reduziert werden. Gemäss niederländischen Angaben können aber trotzdem übermässige BaP-Werte in der Luft auftreten (leider keine Daten verfügbar) [3]. Insbesondere müssen die Schlämme, die beim Wassereinsatz entstehen eingesammelt und fachgerecht entsorgt werden, da nach Verdunsten des Wassers diese Feinanteile durch den Wind leicht in die Umwelt verfrachtet werden können.

In geringerem Masse können auch beim Brechen von Asphaltchollen und beim Mischen an Ort Staubemissionen auftreten. Allgemein kann PAK-haltiger Staub durch den Wind weit verbreitet werden. Gesicherte Daten zu diesem Thema sind mir allerdings bisher nicht bekannt.

Auswaschungen

Die Auswaschung von teerhaltigem Material durch Wasser ist etwas kontrovers. Allgemein anerkannt ist, dass aus gebundenen Strassenschichten die Auswaschung klein ist und bisher keine Grundwasserprobleme durch teerhaltige Strassenbeläge aufgetreten sind. Prinzipiell sind die gefährlichen PAK schlecht wasserlöslich. In Laborversuchen an teerhaltigem Material wurde gezeigt, dass neben Phenolen vor allem Naphthalin (2 ppm) und Phenanthren (0.8 ppm) ausgewaschen werden (aus Asphaltgranulat mit PAK-10-Gehalt von 1000 ppm) [4]. Diese Werte lagen über den niederländischen Grenzwerten für Grundwasser.

In den 90er-Jahren wurden in den Niederlanden Studien zum Auslaueverhalten von Prüfkörpern mit teerhaltigem Asphaltgranulat (kaltgebunden) durchgeführt [3, 5]. Dabei zeigte sich, dass Prüfkörper die mit einer Kombination von Emulsion und Zement hergestellt wurden, die besten Eluatwerte ergaben. Zement allein führte dagegen zu einer erhöhten Eluation von schwerlöslichen PAK. Allgemein wurde festgestellt, dass das Auslaueverhalten von PAK aus Asphaltprüfkörpern komplex ist und oft unerklärliche Effekte auftraten, die nicht erklärt und nicht wiederholt werden konnten.

Dies führt zur Schlussfolgerung, dass die Auslaugung von PAK aus teerhaltigem Material immer noch nicht richtig verstanden wird, weshalb in den meisten Ländern der PAK-Grenzwert für den Feststoff und nicht für das Eluat definiert wird. Bei Ausbauasphalt mit einem EPA-PAK-Gehalt bis 5000 ppm ist die Auslaugung vermutlich auch im ungebundenen Zustand nicht problematisch.

Gesetzgebung in umliegenden Ländern

Europäische Union

In den EU-Staaten wird im europäischen Abfallverzeichnis, das seit 1.1.2002 in Kraft ist, unterschieden zwischen *kohlenteerhaltige Bitumengemische* (Nummer 17 03 01*), *Bitumengemische* mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01 fallen (Nummer 17 03 02) und *Kohlenteer und teerhaltige Produkte* (Nummer 17 03 03*) [6]. Nummern, die mit einem Sternchen (*) versehen sind gelten als gefährliche Abfallarten, die besonders überwachungsbedürftig sind. Die Grenze zwischen teerhaltig und nicht teerhaltig liegt bei 0.1 % Teer, da dieser als kanzerogener Gefahrenstoff klassifiziert ist. Teer kann aber je nach Sorte unterschiedliche Gehalte an EPA-PAK enthalten, weshalb kein fester Grenzwert auf der Basis der EPA-PAK angegeben werden kann. Dies führt unweigerlich zu Interpretationsproblemen. Basierend auf PAK-Bestimmungen an Teermuster aus der Schweiz entspricht 0.1% Teer etwa 200-250 ppm EPA-PAK im Recyclingmaterial, respektive 4000 - 5000 ppm bezüglich des darin enthaltenen Bindemittels. Einige EU-Staaten haben strengere Vorschriften für Recyclingmaterialien eingeführt, insbesondere auch einen Grenzwert für EPA-PAK.

Niederlande

Die Vorschriften bezüglich teerhaltigem Recyclingmaterial sind in den Niederlanden viel strenger als in der Schweiz. Seit 2001 ist die Verwendung von teerhaltigem Recyclingmaterial vollständig verboten. Dies

betrifft auch den Kalteinbau von Asphaltgranulat mit Bitumenemulsionen oder Zement, der bis zu diesem Zeitpunkt erlaubt war [7]. Es gilt ein Grenzwert von 75 mg/kg 10NL-PAK für teerhaltiges Recyclingmaterial [8]. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Schweiz und die Niederlande unterschiedliche Listen für

Land	Grenze für die Bezeichnung "teerfrei"		Grenzwerte (bez. Recyclingbaustoff) und Auflagen für die Verwendung von teerhaltigem Asphaltgranulat
	im Recyclingbaustoff	umgerechnet ² auf EPA-PAK im Bindemittel*	
Schweiz	250 ppm EPA-PAK	5000 ppm	max. 1000 ppm im Recyclingasphaltes, max. 250 ppm im neuen Belages
EU	0.1 % Teer	ca. 2500 ppm	?
Österreich	4 ppm EPA-PAK	80 ppm	Recyclingmaterial bis 20 ppm erlaubt unter Deckschicht, abhängig von der Grundwasserzone
Deutschland ³	1 ppm EPA-PAK	20 ppm	bis 25 ppm ohne Auflagen, darüber nur Kalteinbau unter Deckschicht, Grenzwerte für Eluation müssen erfüllt werden.
Niederlande	75 ppm 10NL-PAK	ca. 2200 ppm	jegliche Wiederverwertung von teerhaltigem Material ist verboten
Frankreich, Italien	nicht bekannt		nicht bekannt

Tabelle 1 Übersicht über PAK-Grenzwerte in benachbarten Ländern

die PAK-Untersuchung benutzen. Aus EMPA-Untersuchungen [5] geht hervor, dass die 10NL-PAK der niederländischen Liste etwa 70% vom Wert der 16 EPA-PAK ausmachen. Somit entsprechen die 75 mg/kg 10-PAH etwa 110 mg/kg EPA-PAK. Dies ergibt einen Gehalt von etwa 2200 mg/kg EPA-PAK im Bindemittel. Per 1. Januar 2007 wird der Bouwstoffenbesluit [5] aber durch ein neues Gesetz "Besluit bodemkwaliteit" ersetzt werden. Voraussichtlich wird der PAK-Grenzwert darin auf 40 mg/kg 10NL-PAK reduziert werden. Der Grenzwert wird sich auch dort auf den Gesamtgehalt im Baustoff beziehen, da nicht genügend Daten für die Festlegung eines Grenzwertes für Eluate aus dem Baustoff vorhanden sind.

Als Screening-Methode für das Vorhandensein von Teer wird im Moment der PAK-Spray verwendet. Es wurde aber in einer Untersuchung festgestellt, dass dieser für den Grenzwert in den Niederlanden nicht genügend zuverlässig ist und sowohl teerhaltiges Material nicht anzeigt als auch nicht teerhaltige Produkte als teerhaltig einstuft [7]. Der PAK-Spray soll deshalb in Zukunft durch eine andere Methode ersetzt werden.

Deutschland

In Deutschland wurden die Grenzwerte für teer- und bitumenhaltiges Recyclingmaterial bisher in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich definiert. Es ist aber geplant eine einheitliche Regelung, die auf Vorschlägen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) basiert, in ganz Deutschland einzuführen [9]. Der Grenzwert von 1 mg/kg EPA-PAK für die Bezeichnung teerfreier Recyclingbaustoff beruht auf den EPA-PAK-Gehalt im Feststoff (= 20 ppm im Bindemittel), da kein ausreichender Bewertungshintergrund für die aus den Ausbaustoffen eluierbaren PAK-Anteile vorliegt [9]. Zusätzlich gelten für

² Annahme für Umrechnung: Bindemittelgehalt = 5%

³ nicht einheitlich für ganze Deutschland, verschiedene Bundesländer mit Sonderregelungen

Bundesfernstrassen die "Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Strassenbau RuVA ", die aber wie in der Schweiz kein eigentliches Gesetz darstellen. Gemäss RuVA [10] kann Ausbauasphalt bis zu 25 ppm ohne Auflagen verwendet werden.

Ausbauasphalt mit höherem PAK-Gehalt darf nicht heiss verwendet werden, kann aber im Kaltmischverfahren (mit Emulsionen oder Zement) eingesetzt werden, wenn im Eluat der PAK-Gehalt ≤ 0.03 mg/l und der Phenolindex⁴ ≤ 0.1 mg/l beträgt. Allerdings müssen dann zusätzliche Einschränkungen wie beispielsweise eine wasserundurchlässige Deckschicht berücksichtigt werden [11, 12].

Österreich

Für einen Recyclingbaustoff der Qualitätsklasse A⁺ ist in Österreich ein EPA-PAK-Gehalt von kleiner 4 mg/kg vorgeschrieben, was als Grenze für die Bezeichnung teerfrei interpretiert werden kann [13]. Dennoch darf auch dieser Recyclingbaustoff nicht in Wasserschutzgebieten verwendet werden. Ausbauasphalt bis 20 ppm EPA-PAK darf als Kaltmischgut unter Auflagen verwendet werden. An die Recyclingbaustoffe werden zusätzlich zu den umweltrelevanten Kriterien Anforderungen an die volumetrischen und mechanischen Eigenschaften gestellt (Korngrössenverteilung, Fremdanteile, Frostsicherheit).

Frankreich, Italien

In Frankreich und Italien sind meines Wissens noch keine eigenen Grenzwerte für Asphaltgranulat eingeführt worden. Demnach gelten dort die Grenzwerte der EU.

Beurteilung der heutigen Richtwerte

Der in der Schweiz seit 1997 gültige Richtwert von 5000 ppm EPA-PAK für Recyclingasphalt ist etwa doppelt so hoch wie der Grenzwert der EU für teerhaltiges Material. Dennoch scheint dieser Wert vernünftig zu sein, wie Emissionsmessungen beim Heissrecycling im Rahmen des Empa-Forschungsprojektes [2] gezeigt haben.

Eluattests im Labor haben gezeigt, dass PAK ausgewaschen werden können, es ist aber unklar wie weit diese Stoffe in den Boden gelangen können, da sie einerseits an Feststoffe absorbieren und andererseits abgebaut werden können. Der Kalteinbau von stark teerhaltigem Material ist deshalb bezüglich Auslaugung durch Wasser nicht vollständig unbedenklich. Kaltbeläge sind in der Regel hohlraumreicher und härten oft langsam aus. In dieser Zeit sind PAK und Phenole eventuell ungenügend gebunden. Aufgrund des noch ungenügenden Wissens wird der PAK-Grenzwert in den meisten Ländern für den Gesamtgehalt im Feststoff und nicht für das Eluat definiert.

Ein Fragezeichen besteht auch bezüglich der Belastung der Arbeiter und der Umwelt durch das Fräsen von stark teerhaltigem Material. Es ist nicht klar was mit dem PAK-haltigen Staub geschieht. Das Einatmen von teerhaltigem Staub, aber auch der Kontakt mit der Haut der Arbeiter muss vermieden werden. In den Niederlanden wird für Arbeiter, die mit teerhaltigem Material arbeiten, eine medizinische Überwachung verlangt, was in der Schweiz eventuell auch Sinn machen könnte, solange noch Unklarheiten über die Gesundheitsgefährdung bestehen.

Aufgrund der Grenzwerte in Europa und des karzinogen Potentials von Teer erscheint die Verwendung von Recyclingmaterial mit höherem PAK-Gehalt als 5000 ppm EPA-PAK ökologisch nicht sinnvoll zu sein. Auch der Kalteinbau von höher teerhaltigem Recyclingasphalt ist nicht zu empfehlen, da dieser zu einem späteren Zeitpunkt wieder herausgefäst werden muss und so erneut zu einer Umweltbelastung und Gesundheitsgefährdung der Strassenarbeiter führen kann. Ausserdem muss davon ausgegangen werden, dass das teerhaltige Asphaltgranulat oft schon verdünnt wird, indem auch nicht teerhaltige Schichten mitgefäst werden. Diese Praxis des Verdünnens sollte unbedingt verhindert werden und stark teerhaltige

⁴ Für den Phenolindex werden die folgenden 15 Verbindungen verwendet: Phenol, o-, m-, p-Kresol, 2,4-, 2,6-, 2,5-, 2,3-, 3,5- und 3,4-Xylenol, o-, m-, p-Ethylphenol, 1- und 2-Naphthol.

Schichten so konzentriert wie möglich entfernt werden. Aus ökologischer Sicht absurd ist auch, dass teerhaltiges Material wiederverwendet wird, während nicht kontaminiertes Material auf Halde liegt. Die Niederlande zeigen, dass die Technologie besteht, um stärker teerhaltiges Material zu vernünftigen Kosten durch Verbrennung zu reinigen [14]. Dies ist aber mit der heutigen föderalistische Regelung, die sich bezüglich Recycling nicht als sinnvoll erwiesen hat, nicht möglich. Eine gesamtschweizerische einheitliche Gesetzgebung könnte viele Probleme lösen.

Quellenverzeichnis

- [1] *Grenzwerte am Arbeitsplatz*; Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), **2005**.
- [2] Hugener, M., L. Emmenegger, and P. Mattrel, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, *Zusammenhang zwischen PAK-Gehalt in teerhaltigem Recyclinggranulat und in den emittierten Dämpfen beim Wiedereinbau, Forschungsprojekt VSS 200-453*; **im Druck**.
- [3] CROW Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeertechniek, *Hergebruik van asfalt met teer*; **1997**, Publicatie 109: p.
- [4] Rood, G.A., P.G.M. de Wilde, and T.G. Aalbers, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne Bilthoven, *Emissie van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) uit diverse bouwmaterialien en afvalstoffen*; **1995**, 48.
- [5] Aalbers, T.G., et al., in *Bouwstoffen nader bekeken : milieuhygiënische kwaliteit en toepasbaarheid van bouwstoffen in relatie tot het Bouwstoffenbesluit*. **1998**, Eburon: Delft (NL). p. 216.
- [6] *Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis – Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV (European Waste Catalogue)*; **2001**.
- [7] VROM Inspectie, *Weg met TAG - Rapport ketenhandhaving Teerhoudend Asfalt Granulaat (TAG)*; **2004**, 72.
- [8] Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, *Besluit van 23 november 1995, houdende regels met betrekking tot het op of in de bodem of in het oppervlaktewater gebruiken van bouwstoffen (Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterenbescherming)*, 567, **1995**.
- [9] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln - der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)*, **1997**.
- [10] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstrassen, *Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Strassenbau , RuVA-StB 01*, **2001**.
- [11] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstrassen, *Merkblatt für die Verwendung von Ausbauasphalt und pechhaltigem Strassenaufbruch in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln*, FGSV 826,
- [12] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstrassen, *Merkblatt für die Wiederverwendung pechhaltiger Ausbaustoffe im Strassenbau unter Verwendung von Bitumenemulsionen*, FGSV 755,
- [13] Österreichischer Baustoff Recycling Verband, *Richtlinie für Recycling-Baustoffe*, 6. Auflage, **2004**.
- [14] Hugener, M., *Elimination teerhaltiger Strassenbeläge in den Niederlanden (EMPA Bericht 421'429)*; **2002**.