

Dieter Keim, Karl-Albert Kohler  
und Wilhelm Schober

DK 534.836.2:625.144:625.141.002.237:624.21  
625.1(203):624.19:625.1(24):691.175416

# Verbesserung des Schotteroberbaus in Tunneln und auf Brücken mit elastischen Polyurethan-Matten

Bei direkter Auflage des Schotteroberbaues auf dem harten Untergrund von Bauwerken ist nicht nur mit einer Erhöhung der Schotterbeanspruchung, sondern auch mit starker Schallübertragung zu rechnen. Vordringlich ist die Lösung dieser Probleme in den Tunneln von U-Bahnen und auf Brücken von Schnellstrecken. Durch das Einlegen speziell entwickelter Matten aus hochwertigem Polyurethan-Elastomer-Schaumstoff zwischen Bauwerk und Schotterbett lassen sich Schotterpressung und Lärmbelastigung deutlich vermindern. Es wird über die Eigenschaften der Matten und einige Labor- und Praxiserprobungen berichtet.

## I. Einführung

Der klassische Schotteroberbau – bestehend aus Gleisrost (Schienen und Schwellen) und Schotterbett – besitzt gegenüber schotterlosen Konstruktionen eine Reihe von technischen und wirtschaftlichen Vorzügen: geringere Investitionskosten, bessere Korrekturmöglichkeiten (z.B. bei Absacken des Untergrundes oder Änderung der Gleisüberhöhung im Bogen) und gute Luftschalldämpfung. Daher wird auch heute vielfach Schotteroberbau für Neubaustrecken gewählt.

Probleme können sich jedoch auf Abschnitten mit unmittelbarer Auflagerung des Schotters auf hartem Untergrund, z. B. auf Tunnelsohlen oder auf Brückenbauwerken ergeben. Die harte Auflagerung birgt die Gefahr starker Körperschallübertragung und Zerstörung des Schotters in sich. Bei den japanischen Schnellstrecken kam es in den Grenzbeirichen über der Betonsohle in Extremfällen sogar zur „Pulverisierung“ von Schottersteinen infolge hoher dynamischer Beanspruchung [1].

Außer bei U-Bahnen ist vor allem auch bei Schnellstrecken eine Verlegung der Bahntrasse auf Kunstbauten erforderlich, wenn geschwindigkeitsbeschränkende enge Kurvenradien und starke Steigungen vermieden werden sollen.

Bei der „Neuen Tokaido-Strecke“ und den beiden „Neuen Sanyo-Strecken“ in Japan betragen z.B. die Tunnellängen 357 km = 33% der gesamten Streckenlänge. Auch in Europa weisen geplante oder in Bau befindliche Neubaustrecken teilweise ähnliche Werte auf.

Zur Schalldämmung und zur Herabsetzung der dynamischen Beanspruchung des Schotters wurden elastische Matten aus Polyurethan (PUR) (SYLOMER®\*) entwickelt, die als Unterschottermatten zwischen Betonsohle (bzw. Fahrbahnblech bei Stahlbrücken) und Schotter vollflächig eingelegt werden.

## II. Aufgaben der Unterschottermatten als elastische Zwischenschicht

Durch den Einbau von Unterschottermatten zwischen Bauwerk und Schotterbett sollen vor allem folgende Ziele erreicht werden:

▷ Die Elastizität der Gleislagerung auf Bauwerken soll der des Oberbaus auf natürlichem Untergrund (Erdplanum) angeglichen werden, um einer möglichen Einbuße an Laufruhe und Fahrkomfort entgegenzuwirken [2].

▷ Durch die elastische Lagerung soll eine bessere Lastverteilung durch die Schiene erreicht werden, wodurch die dynamische Beanspruchung des Schotters insbesondere in den tieferen Bereichen des Schotterbetts reduziert wird. Hieraus resultiert eine stabilere Gleislage und letztlich ein geringerer Wartungsaufwand [3].

▷ Die Schallübertragung und damit die Lärmbelastigung der Umgebung soll vermindert werden.

Schienenfahrzeuge erzeugen im Oberbau Schwingungen mit einem breiten

\* SYLOMER® = eingetragenes Warenzeichen der Getzner-Chemie GmbH & Co., A-6700 Bludenz-Bürs, Entwicklung der Matten in Zusammenarbeit mit der Elastogran-Gruppe der BASF AG, 6700 Ludwigshafen.



Dipl.-Ing.

Dieter Keim (44),

Mitarbeiter des Fachreferates „Kunststoffe und Bauen“ der BASF Aktiengesellschaft. – Studium des Maschinenbau an der Techn. Universität Stuttgart. – Anschrift: BASF Aktiengesellschaft, Carl-Bosch-Straße, 6700 Ludwigshafen.



Dipl.-Phys., Dr. rer. nat.

Karl-Albert Kohler (34),

Geschäftsführer der Getzner Mutter & Cie. GmbH und Getzner Chemie GmbH & Co. – Studium der Physik an der Universität München. Bisherige Tätigkeitsgebiete: Metallhydride, Tieftemperaturtechnik, physikalische Meßtechnik, PUR-Elastomere. – Anschrift: Getzner Mutter & Cie. GmbH., Heuriedweg 14, 8990 Lindau.



Dr. phil.

Wilhelm Schober,

Leiter der Bereiche „Chemisch-technische Entwicklung“ und „Polyurethan-Elastomere“ der Getzner Chemie GmbH. – Studium der Chemie und Physik an der Universität Graz. Tätigkeiten in der Industrie: Entwicklung und Anwendungstechnik, Produktmanagement. – Anschrift: Getzner Chemie GmbH & Co., Herrenau 5, A 6700 Bludenz.

Frequenzspektrum, das in dem niederfrequenten Bereich zwischen 35 Hz und 70 Hz besonders hohe Amplituden aufweist. Durch Einfügen einer Elastizität in den Schallübertragungsweg in Form von Unterschottermatten wird die Fortpflanzung dieser Schwingungen in das Bauwerk bzw. ihre Übertragung auf benachbarte Gebäude gebremst.

▷ Die Lösung verschiedener anderer bautechnischer Probleme soll auf einfache und wirtschaftlichere Weise erfolgen, da die hohen mechanischen Beanspruchungen durch den Schotter entfallen:

- Abdichtung von Massivbauten gegen Wasser
- Korrosionsschutz von Stahlbrücken.

### III. Bettungszahl von Unterschottermatten

Bei der Lösung dieser Aufgaben ist die Bettungszahl  $C$  die entscheidende Größe. Sie ist als die auf die Fläche bezogene Steifigkeit bzw. als Quotient aus Elastizitätsmodul und Dicke definiert. Mit den charakteristischen Werten des Gleisoberbaus, wie Einfederung der Schiene und Schienenfußspannung unter der Kraft eines darüberrollenden Rades, ist die Bettungszahl auf folgende Weise verknüpft:

$$\text{Einfederung } y_0 = \frac{Q}{2bCL}$$

(nach Zimmermann [4]),

Grundwert des Langschwellenoberbaues,

$$L = \sqrt{\frac{4EJ}{bC}}$$

Schienenfußspannung

$$\sigma = \frac{Q}{4W_x} L$$

$Q$  = Radlast,

$E$  = Elastizitätsmodul des Schienenstahls,

$J$  = Axiales Flächenträgheitsmoment der Schiene,

$W_x$  = Axiales Widerstandsmoment der Schiene,

$b$  = Äquivalente Breite der federnden Elemente des Oberbaues.

Die Bettungszahl  $C$  charakterisiert entweder auf freier Strecke das elastische Verhalten von Schotterbett und Erdplanum oder auf Bauwerken das von Schotterbett samt Unterschottermatte.

Dabei gilt wie bei 2 hintereinandergeschalteten Federn

$$C = \frac{C_s \cdot C_M}{C_s + C_M}$$

$C_s$  = Bettungszahl des Schotterbetts,

$C_M$  = Bettungszahl der Unterschottermatte.

Auf Massivbauten wird der maßgebliche Anteil der Elastizität des Oberbaues von der Unterschottermatte erbracht, so daß  $C \approx C_M$  gesetzt werden kann.

Die Bettungszahl  $C_M$  einer homogenen Unterschottermatte läßt sich aus ihrem Verformungsdiagramm ermitteln:

$$C_M = \frac{F/A}{f} = \frac{E_M}{h}$$

wobei  $F$  die auf die Fläche  $A$  drückende Kraft, welche den Federweg  $f$  hervorruft,  $E_M$  den Elastizitätsmodul des verwendeten Werkstoffs und  $h$  die Mattendicke darstellen.

Falls das Verformungsdiagramm der Matte nicht unter vollflächiger Belastung, sondern unter einer Druckplatte mit der Oberflächenstruktur eines Schotterbettes bestimmt wird, so kann auch der in der Praxis auftretende geringere Verformungswiderstand berücksichtigt werden. Labor- und Praxisversuche zeigten, daß bei der Abschätzung des Verhaltens unter dem Schotterbett die punkt- bzw. li-

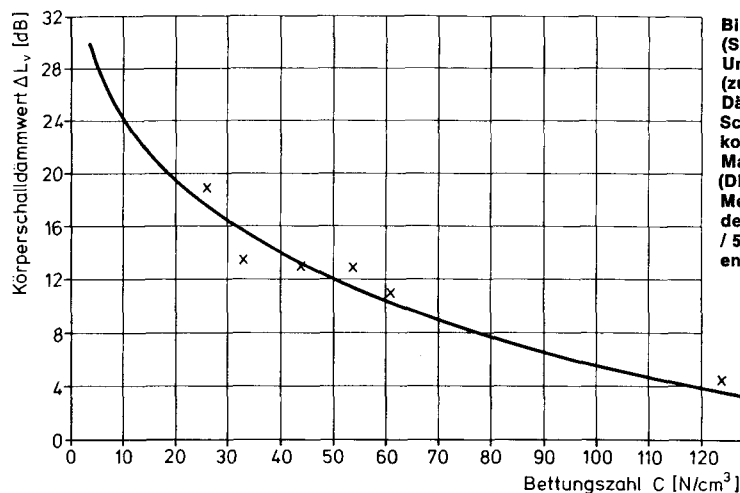


Bild 1: Dämmwerte (Summenpegel) von Unterschottermatten (zusätzlich zu den Dämmwerten von Schotteroberbaukonstruktionen auf Massivbauwerken) (Die eingezeichneten Meßpunkte wurden den Messungen / 5, 6, 8, 7, 10 / entnommen)

nienförmige Belastung durch das Schotterkorn unbedingt zu beachten ist.

#### 1. U-Bahnbau

Beim U-Bahnbau bezweckt der Einbau elastischer Matten neben einem ruhigen Fahrzeuglauf vor allem die Verminderung der Körperschallübertragung auf angrenzende Gebäude.

Die erreichbare Schalldämmung hängt von der Bettungszahl der Unterschottermatten ab. Zur Ermittlung des Zusammenhangs von Bettungszahl und Schalldämmung und damit zur Festlegung der erforderlichen Elastizität der Matten wurden Meßdaten und Literaturangaben (z. B. [5, 6, 7]) verglichen und in Bild 1 aufgetragen.

Der Verlauf der eingezeichneten Kurve ist für das Schwingungsverhalten eines tiefabgestimmten Masse/Feder-Systems im überkritischen Frequenzbereich charakteristisch. Dabei wird die Feder im wesentlichen von der Unterschottermatte gebildet, während Schotterbett, Gleisrost und Radsätze die Massen darstellen.

Bild 1 kann zur Abschätzung der notwendigen Elastizität der Unterschottermatten herangezogen werden, indem man von einem gewünschten bzw. geforderten Schalldämmwert des Oberbaues ausgeht und an der Kurve die dafür notwendige Bettungszahl abliest.

Dabei ist zu beachten, daß mit höherer Schalldämmung auch der erforderliche

technische Aufwand rasch ansteigt, ferner daß tieffrequente Schwingungen durch das Erdreich besonders gut übertragen werden. Bild 2 zeigt, daß bei zu steifen Matten (zu hoher  $C$ -Wert) eine Verschlechterung gegenüber dem Zustand ohne Matten eintritt [6].

Die Kurven von Bild 1 und 2 stellen nur eine grobe Näherung dar. Auch sind verschiedene Faktoren nicht oder nur mittelbar berücksichtigt, z. B. die unterschiedlichen Achslasten. Das Diagramm kann daher nur zur Abschätzung dienen und ersetzt keinesfalls eine genauere Untersuchung.

#### 2. Eisenbahnbau

Nach Untersuchungen von Eisenmann [3] können mit Unterschottermatten die senkrechten Druckspannungen in der Grenzfläche zwischen Schotterbett und Betonsohle soweit reduziert werden, daß Werte wie auf Erdplanum erreicht und sogar unterschritten werden. Dazu sollten sie eine Bettungszahl zwischen 50 und 100  $N/cm^3$  (oder geringer) aufweisen [8]. Dies gilt bei Überdeckung der Matten mit einer bis 10cm dicken Kiessandschicht. Um diese Werte auch bei unmittelbarer Auflage des Schotters auf den Matten zu erreichen, ist eine je nach Mattenaufbau wesentlich steifere Einstellung erforderlich.

Auch eine Verbesserung des Langzeitverhaltens des Oberbaues unter Hochgeschwindigkeitsverkehr ist möglich, wie

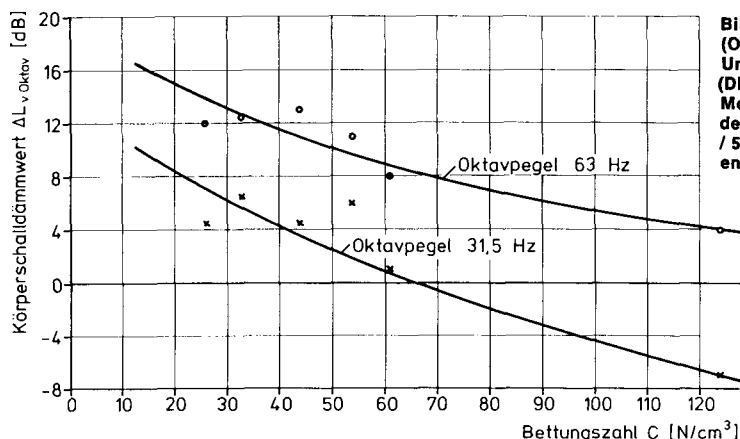
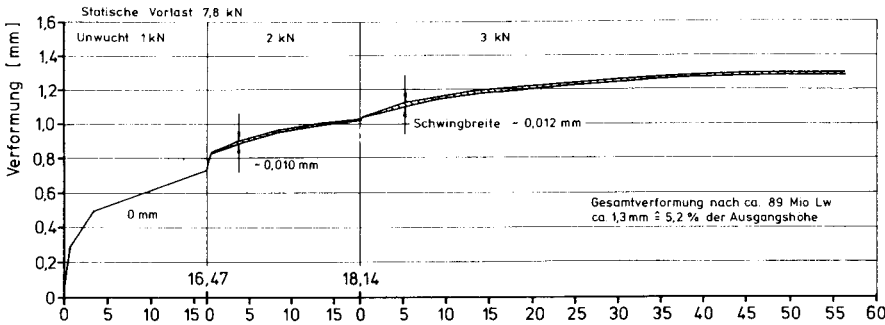


Bild 2: Dämmwerte (Oktavpegel) von Unterschottermatten (Die eingezeichneten Meßpunkte wurden den Messungen / 5, 6, 8, 7, 10 / entnommen)



**Bild 5: Dauervibrationsversuch an SYLOMER-Matten, Dichte 400 kg/m<sup>3</sup>, Abmessungen 50 × 50 × 2,3 cm**, Lastwechselzahl  $n \cdot 10^6$

**1. Dauerstandsverhalten (Bild 4)**

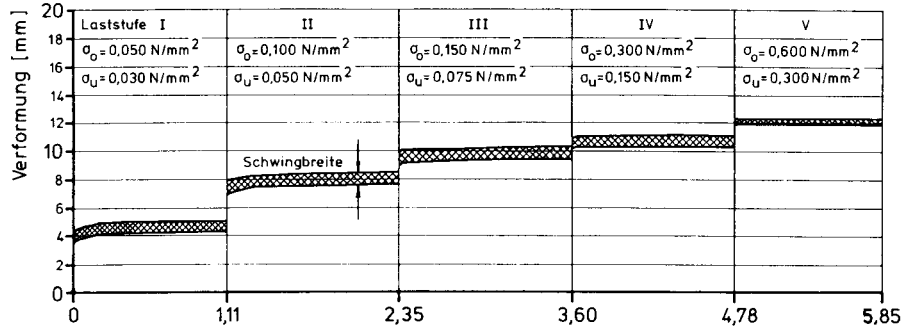
Unter einer statischen Pressung von 15 N/cm<sup>2</sup>, die etwa der 3fachen Betriebslast entspricht, betrug der Anteil der Verformung durch Kriechen 5 bis 6%, bei einer Gesamtverformung von etwa 30%. Nach etwa 100 Tagen ergab sich eine Stabilisierung des bei elastomeren Werkstoffen wie PUR und Gummi immer auftretenden Kriechvorganges. Auch nach 10<sup>6</sup> Stunden (entspricht 115 Jahre) lagen die Kriechwerte noch innerhalb des für Brückenlager zugelassenen Endkriechmaßes [9]. Ebenso können extrem hohe Flächenbelastungen bis über 10kN/cm<sup>2</sup> von SYLOMER-Matten bei entsprechender Ausführung ohne Schwierigkeiten ertragen werden.

**2. Dauervibrationsverhalten (Bild 5)**

Bei einer statischen Pressung von 3 N/cm<sup>2</sup> und einer überlagerten dynamischen Belastung von 1 N/cm<sup>2</sup> mit einer Frequenz von 50 Hz kommt der Setzvorgang nach etwa 50 Millionen Lastwechseln und rund 1% Dickenabnahme zum Stillstand [9]. Diese Werte sind für Anwendungen im Eisenbahn-Oberbau sehr zufriedenstellend.

**3. Dauerschwellversuch (Bild 6)**

In mehreren Laststufen wurden SYLOMER-Matten schwellend belastet [9]. In der 1. Laststufe entsprach die Unterspannung dem Eigengewicht der Konstruktion und die Schwingweite der aufzunehmenden Verkehrslast. Das Diagramm zeigt, daß kurz nach Belastungsbeginn bereits die Stabilisierung eintritt. Dasselbe gilt für Laststufe II und III mit der doppelten bzw. 3fachen Belastung. Mit den beiden letzten Laststufen IV und V sollte ein Sicherheitsabstand zwischen den rechnerisch maximal auftretenden Beanspruchungen und einem versuchs-technisch nachgewiesenen Grenzwert ermittelt werden. Dabei trat keine Zunahme der Einfederung bis zum Ende nach etwa 6 Millionen Lastwechseln mehr auf. Ebenso ist das elastische Verhalten, das nach den einzelnen Laststufen wiederholt geprüft wurde, unverändert geblieben.



**Bild 6: Dauerschwellversuch an SYLOMER-Matten, Dichte 400 kg/m<sup>3</sup>, Abmessungen 50 × 50 × 2,3 cm**, Lastwechselzahl  $n \cdot 10^6$

**4. Dauerschwellverhalten bei Prüfungen mit Schotter**

Um die Wirkung des Schotters auf die Matte labormäßig prüfen zu können, erstellte das Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen der Technischen Universität München eine Versuchsanordnung, bei der die Last über ein Schotterbett in die Matte eingeleitet wird. Bei der Auslegung der Versuchsanordnung wurde sehr sorgfältig darauf geachtet, daß die Bedingungen weitgehend der Praxis entsprechen. Dies gilt insbesondere für die Belastungen, die Abmessungen des Schottertroges und die Größe der lasteinleitenden Platte.

Nach rund 2 Millionen Lastwechseln mit Prüflasten, die dem 3fachen der Belastung durch eine 20t-Achse entsprechen und einer Frequenz von 3 Hz waren keine Schäden an der SYLOMER-Matte zu beobachten. Ebenso ist das elastische Verhalten unverändert geblieben.

**5. Verhalten in Kälte und Wärme**

Ein weiterer Vorzug von SYLOMER ist die geringe Änderung seiner elastischen Eigenschaften in Kälte und Wärme. In einem Temperaturbereich zwischen -40°C und +70°C bleiben die Zug- und Reißfestigkeit nahezu unverändert. Dadurch ist ein gleichbleibend ruhiger Fahrzeuglauf und die Schonung des Oberbaues auch unter extremen Witterungsbedingungen gewährleistet.

**6. Verhalten gegenüber Wasser**

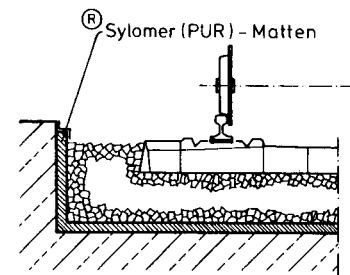
SYLOMER ist durch seinen speziellen chemischen Aufbau hydrolysebeständig.

Unter Hydrolyse versteht man die Aufspaltung von PUR durch Wasser. Langzeitversuche zeigen, daß die elastischen Eigenschaften auch nach 2jähriger Einlagerung im Wasserbad unverändert sind. Die gleiche Feststellung ergab sich unter verschärften, zeitraffenden Bedingungen.

Eine dichte Oberfläche verhindert das Eindringen von Oberflächenwasser. Ferner ist eine gewisse Wasserdampfdurchlässigkeit der SYLOMER-Matten gegeben. Diese trägt zur Verhinderung der

Kondenswasserbildung zwischen Matten und Bauwerk bei.

Daher können die Matten in bestimmten Fällen zugleich der Abdichtung des Bauwerks dienen, was von besonderem wirtschaftlichem Vorteil ist. In diesem Fall werden die einzelnen Matten durch eine PUR-Fugenvergüßmasse, deren Eigenschaften auf die Matten abgestimmt sind, so verbunden, daß ein geschlossener, wasserdichter Trog entsteht (Bild 7), in den der Schotter eingefüllt wird. Für den Abfluß des Oberflächenwassers muß natürlich durch konstruktive Maßnahmen gesorgt werden.



**Bild 7: Einbau von SYLOMER-Matten zwischen Massivbauwerk und Schotteroberbau**

**7. Witterungsbeständigkeit**

Die Beständigkeiten gegenüber UV-Strahlung und Witterungseinflüssen sind durch Laborversuche und durch eine mehrjährige Lagerung im Freien nachgewiesen. Diese Versuche hatten zeitraffende Wirkung, da die Matten in Wirklichkeit durch das Schotterbett bedeckt sind.

**8. Pilz- und Bakterienbeständigkeit**

Untersuchungen nach genormten Prüfrichtlinien (Staatliches Materialprüfamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund) erga-

z. B. die japanischen Eisenbahnen festgestellt haben. Dort ergab sich eine Herabsetzung des Wartungsaufwandes nach Einbau der Matten auf etwa die Hälfte [1].

#### IV. Eigenschaften von SYLOMER®-Matten

Durch die Erfordernisse des Oberbaus sind die an die elastische Zwischenschicht zu stellenden Anforderungen weitgehend festgelegt: Bei möglichst geringer Schichtdicke müssen die Matten einerseits den hohen Punktbelastungen durch den Schotter standhalten und andererseits eine definierte, je nach Anwendung unterschiedliche Einfederung unter Verkehrslast gewährleisten. Die geringe Bauhöhe wird vorwiegend aus Kostengründen (Materialkosten, Tunnelbaukosten) gefordert; sie ist auch aus Gründen der Nachrüstbarkeit bereits bestehender Strecken wünschenswert.

SYLOMER-Matten bestehen aus einem zelligen PUR-Elastomer, das aufgrund seiner enorm hohen Verformbarkeit und seiner mechanischen Festigkeit für diese Anwendungen einen nahezu idealen Werkstoff darstellt. Ein neu entwickeltes Verfahren ermöglicht nunmehr die konti-

derung des chemischen Aufbaues sowie der Zellstruktur (offen, geschlossenzellig) gegeben. Bild 3 zeigt das Verformungsverhalten von SYLOMER-Matten unterschiedlicher Dichte, wobei ebenso jeder Zwischenwert reproduzierbar eingestellt werden kann.

Aus dem Kurvenverlauf in Bild 3 ist einer der wesentlichen Unterschiede zu herkömmlichen Gummiwerkstoffen erkennbar: Die Zellstruktur von SYLOMER ermöglicht bei gleicher Mattendicke erheblich größere Federwege als dies bei Materialien zulässig ist, deren Elastizität im wesentlichen auf volumenkonstanter Verformung beruht.

Eine Profilgebung wie bei Gummi erübrigt sich hierdurch. Beispielsweise kann eine SYLOMER-Matte mit einer Dichte von  $400 \text{ kg/m}^3$  auch bei vollflächiger Auflage der oberen und unteren Grenzfläche auf weniger als 50% ihrer Ausgangsdicke komprimiert werden, ohne daß eine Schädigung des Werkstoffs eintritt. Die teilweise Offenporigkeit erlaubt einen schnellen Gasdruck-Ausgleich im Inneren, so daß auch bei Langzeitbeanspruchung keine durch Diffusion verursachten Kriechvorgänge zu beobachten sind (vgl. Abschnitt V.1. bis V.3.).

Verformungsversuche unter einer Lastplatte, deren Oberflächenstruktur der unteren Grenzfläche eines Schotterbetts nachgebildet wurde, ergaben, daß bei direkter Auflage des Schotters die Werkstoffbeanspruchung unter dem einzelnen Schotterkorn ein Vielfaches der mittleren Flächenbelastung betragen kann [9].

Durch einen speziell entwickelten mehrschichtigen Mattenaufbau können diese Beanspruchungsspitzen abgebaut werden, wodurch sehr elastische Lagerungen (niedrige Bettungszahl) ohne Einbuße an Belastbarkeit möglich sind. Dabei wird durch die Einbettung des Schotters in die Oberschicht und durch den Verformungswiderstand einer kompakten, elastischen Zwischenlage eine Lastverteilung erreicht. Auf die federnde Unterschicht trifft auf diese Weise nur eine weitgehend gleichförmige Belastung. Bei mehrschichtigem Aufbau ist eine Mattendicke zwischen 15 bis 30 mm ausreichend, um Bettungszahlen einzustellen, wie sie im U-Bahn- und Eisenbahnbau gefordert werden. Die Bettungszahl liegt je nach Ausführung zwischen 10 und  $200 \text{ N/cm}^3$ .

#### V. Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Besonderes Augenmerk ist auf die langfristige Gebrauchstauglichkeit zu legen. Im folgenden werden einige Ergebnisse von Laboruntersuchungen und praxisähnlichen Tests mitgeteilt, die die Gebrauchstauglichkeit nachweisen. Die Versuche wurden an verschiedenen Mattentypen mit ein- und mehrschichtigem Aufbau durchgeführt. Hierbei entsprechen die Versuchsbedingungen den jeweils vorgesehenen Einsatzbedingungen. Aus der großen Zahl von Untersuchungen werden einige Ergebnisse aufgeführt, die für den Werkstoff SYLOMER charakteristisch sind.

Da sich die verschiedenen Mattentypen nur durch Dicke und Schichtaufbau unterscheiden, sind die Prüfergebnisse sinngemäß auch auf andere Mattentypen übertragbar.

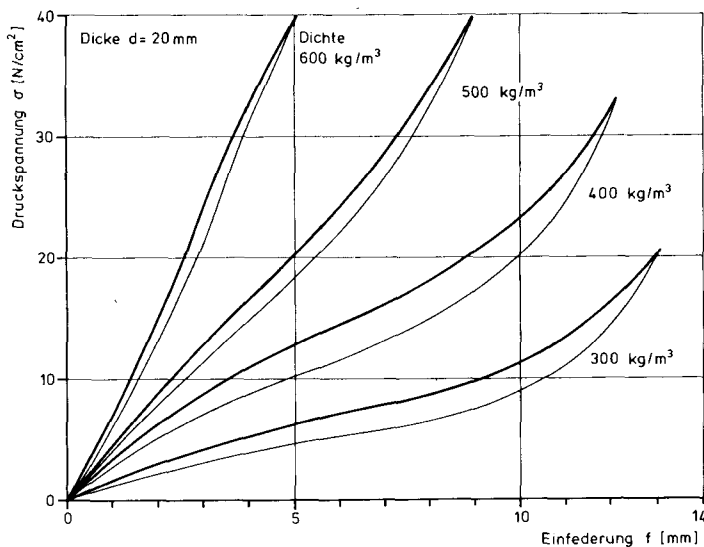


Bild 3: Verformungskennlinien von SYLOMER-Matten verschiedener Dichte

nuierliche Fertigung von Folien, Matten und Verbundstoffen aus hochreaktiven 2-Komponenten-PUR-Systemen. Die kontinuierliche Produktionsweise bedeutet gegenüber den bisher üblichen Formschäumverfahren eine erhebliche Senkung der Fertigungskosten, wodurch für diesen Werkstoff neue Anwendungsgebiete wirtschaftlich erschlossen werden. Für den Einbau unter dem Schotterbett eignen sich vor allem SYLOMER-Matten, deren Dichten zwischen  $250 \text{ kg/m}^3$  und  $750 \text{ kg/m}^3$  liegen. Durch die geeignete Wahl von Dichte und Dicke der Matten läßt sich die gewünschte Verformungscharakteristik exakt einstellen. Eine weitergehende Einflußnahme auf den Verlauf der Federkennlinie ist durch Verän-

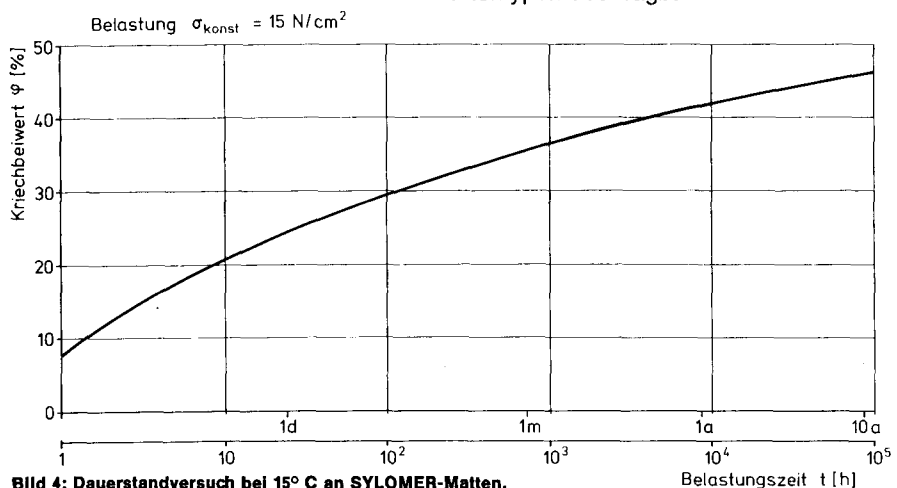


Bild 4: Dauerstandversuch bei  $15^\circ \text{C}$  an SYLOMER-Matten, Dichte  $400 \text{ kg/m}^3$ , Dicke  $2,3 \text{ cm}$

ben, daß SYLOMER-Matten fungi-inert sind.

### 9. Elektrische Eigenschaften

SYLOMER-Matten besitzen einen hohen elektrischen Isolationswiderstand, der im U-Bahnbau vorteilhaft ist, bei Eisenbahnen auf längeren Bauwerken jedoch evtl. besondere Erdungsmaßnahmen erfordert.

## VI. Anwendungen und Ergebnisse aus der Praxis

### 1. U-Bahnen

Ein Tunnelabschnitt mit teilweise offener Ausfahrtsrampe der Stadtschnellbahn Ludwigshafen a. Rh., wurde mit SYLOMER-Matten ausgekleidet (Bild 8), um

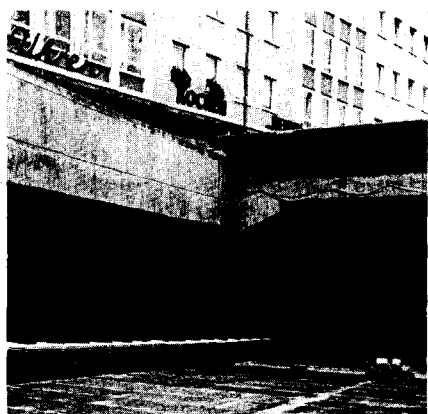


Bild 8: SYLOMER-Matten in Ausfahrtsrampe eines U-Bahntunnels der Stadtschnellbahn Ludwigshafen a. Rhein

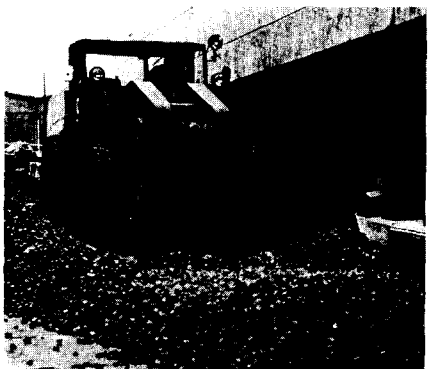


Bild 9: Einbringen des Schotters über den SYLOMER-Matten

eine Übertragung von Erschütterungen und störenden Geräuschen auf angrenzende Gebäude zu unterbinden. Die Gebäude-Fundamente liegen teilweise in einer Entfernung von nur 0,5m von der Tunnelwand. Da die Matten zugleich die Abdichtung des Bauwerks gewährleisten sollen, klebte man sie vollflächig auf der Betonsohle auf und füllte die Fugen mit einer gießfähigen PUR-Masse aus. Der Schotteroberbau wurde hierauf in herkömmlicher Weise errichtet (Bild 9).

In diesem Abschnitt wurden verschiedene SYLOMER-Matten erprobt, wobei jeweils die Schwinggeschwindigkeiten am Schienenfuß und am Bauwerk senk-

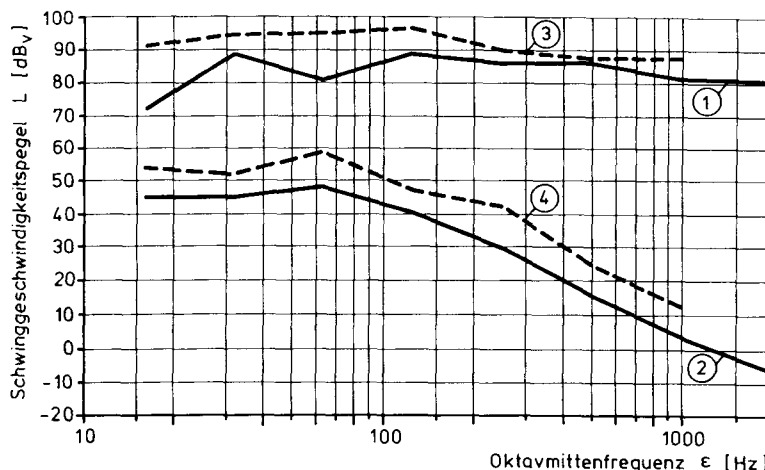


Bild 10: Körperschallmessungen an Schotteroberbau auf SYLOMER-Matten bei der Stadtschnellbahn Ludwigshafen a. Rhein

Meßorte:

- ① Schienenfuß
- ② Bauwerk (Körperschallübertragung auf das Bauwerk über Schotter und SYLOMER-Matte)
- ③ Schienenfuß
- ④ Bauwerk (Körperschallübertragung auf das Bauwerk über Schotter und Erdboden)

Schallübertragungsweg	Körperschallpegel $L_v$ (dB)	
	Schienenfuß	Bauwerk (seitlicher Sockel)
Schotter mit SYLOMER-Matten ( $C_M = 40 \text{ N/cm}^3$ )	98	51
Schotter auf Erdboden	101	61

Tafel 1: Körperschalldämmung durch SYLOMER-Matten an einem unterirdischen Bauwerk der Stadtschnellbahn Ludwigshafen a. Rh. (Mittelwert aus etwa 10 Durchfahrten)

recht zur Erdoberfläche gemessen [10, 11] wurden (Bild 10 und Tafel 1 geben 2 Meßquerschnitte wieder). Bei der Messung kamen Beschleunigungsaufnehmer zum Einsatz, mit denen auch die maßgebenden tieffrequenten Schwingungsanteile erfaßt werden konnten. Die Aufzeichnung des verstärkten Meßsignals erfolgte mit Magnetbandgeräten in Pulse-Code-Modulations (PCM)-[12] bzw. Frequenz Modulations (FM)-Technik.

Im Abschnitt „Schotter auf Erdplanum“ besteht das Rampenbauwerk nur noch aus den seitlichen Umfassungswänden, der Schotter liegt also auf Erdboden. Zum Vergleich sei auf die umfassende Darstellung von Hauck, Stüber und Willenbrink [6] hingewiesen, die bei „Schotteroberbau auf Betonsohle“, z.B. bei der U-Bahn Hamburg am Schienenfuß

104,5dB und an der Tunnelwand (vertikal) 67,5dB gemessen haben. SYLOMER-Matten ermöglichen also eine sehr wirksame Körperschalldämmung. Sie bringen selbst gegenüber einem Schotteroberbau auf Erdboden günstigere Ergebnisse.

Aufgrund der guten Versuchsergebnisse erübrigten sich weitere Schwingungsmessungen in benachbarten Gebäuden. Innerhalb der nun über 3jährigen Betriebsdauer waren keine Veränderungen feststellbar.

### 2. Eisenbahnen

Auch auf mehreren Brückenbauwerken von Eisenbahnen werden SYLOMER-Matten getestet. Die Untersuchungen zielen einerseits auf eine Verbesserung der Eigenschaften des Schotteroberbaues unter dynamischer Beanspruchung und andererseits auf eine Verminderung der Schallabstrahlung. Über die Ergebnisse wird zu gegebener Zeit berichtet.

## VII. Zusammenfassung

Der Einbau von elastischen Matten – insbesondere von SYLOMER-Matten – unter dem Schotteroberbau in Tunneln und auf Brücken läßt folgende Wirkungen erwarten:

- ▷ Körperschalldämmung bei U-Bahnen (bei Unterfahrung bebauter Gebiete),

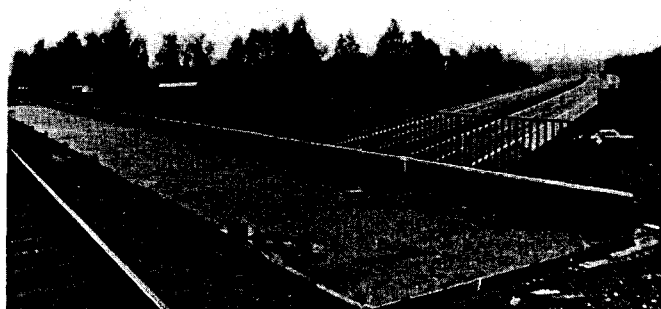


Bild 11: Gesamtansicht einer mit SYLOMER-Matten belegten Stahlbrücke der Deutschen Bundesbahn vor dem Einbau des Schotters

- ▷ Minderung der Schallabstrahlung von Stahlbrücken,
- ▷ Reduzierung der dynamischen Schotterbeanspruchung, vor allem bei hohen Geschwindigkeiten,
- ▷ Erhaltung der Soll-Gleislage in Tunneln und auf Brücken über wesentlich längere Zeiträume,
- ▷ Senkung des Unterhaltungsaufwandes.

#### Schrifttum

- [1] Tajima, H. und K. Kiura: Laying of Track Ballast Mats in Shinkansen. Permanent Way (Tokyo) 15 (1974) Nr. 3, S. 11...19.
- [2] Eisenmann, J. und G. Leykauf: Störung der Gleislage beim Übergang zu Kunstbauwerken. Eisenbahntechnische Rundschau 26 (1977), H. 10, S. 673...683.
- [3] Eisenmann, J.: Tendenzen bei der Weiterentwicklung des Eisenbahnoberbaus für hohe Geschwindigkeiten. Eisenbahntechnische Rundschau 24 (1975), H. 12, S. 456...458.
- [4] Zimmermann, H.: Die Berechnung des Eisenbahnoberbaus, 3. Auflage 1941, Ernst & Sohn, Berlin.
- [5] Devaux, A.: Affaiblissement des vibrations transmises aux structures par le matériel ferroviaire. Le Génie Civil, April 1968.
- [6] Hauck, G., L. Willenbrink und C. Stüber: Körper- und Luftschallmessungen an unterirdischen Schienenbahnen. Eisenbahntechnische Rundschau 21 (1972) H. 7/8, S. 289...300 und ETR 22 (1973) H. 7/8, S. 310...321.
- [7] Fujiwara, T. und G. Nakamura: Experimental Tests on Vibration - Proof Tracks and Their Effects. Permanent Way (Tokyo) 15 (1975), Nr. 3, S. 20...27.
- [8] Leykauf, G.: Bodenprüfverfahren und Anforderungen im Erdbau unter Berücksichtigung der ZTVE-StB 76. Eisenbahningenieur 28 (1977), H. 4, S. 143...152.
- [9] Eisenmann, J. und F. Deischl: Forschungsberichte Nr. 774 und 814 des Prüflamtes für Bau von Landverkehrswegen der Technischen Universität München über die Dauerstand-, Dauerschwell- und Dauervibrationsfestigkeit von Polyurethan-Matten (unveröffentlicht).
- [10] Eisenmann, J. und L. Steinbeißer: Messungen des Prüflamtes für Bau von Landverkehrswegen der Technischen Universität München (unveröffentlicht).
- [11] Leutloff, S. und O. Biber: Messungen der Firma Lahmeyer Ingenieur GmbH, Frankfurt am Main (unveröffentlicht).
- [12] Steinbeißer, L.: Der gegenwärtige Stand der Meß- und Auswertetechnik von Körperschallmessungen am Eisenbahnoberbau. Archiv für Eisenbahntechnik (30) 1975, S. 33...40.

#### Improved seatings for ballasted tracks

When the track ballasting is laid on a hard surface this not only produces higher stressing, but also increases the level of sound transmission. The problem is particularly acute in tunnels and on bridges carrying high-speed traffic. The fitting of flexible mats - especially SYLOMER matting - has an ameliorative effect as follows:

- > deadening of solid-borne noise on underground railways (passing below built-up areas),
  - > reduced noise reflection from steel bridges, bridges,
  - > reduced dynamic stressing of the ballast, especially at high speeds,
  - > retention of the correct track level for considerably longer periods in tunnels and on bridges,
  - > reduced maintenance costs.
- The article describes the properties of the matting and various laboratory and practical test results.

★

#### Amélioration de la confection du ballastage etc.

En cas de pose direct du lit de ballast sur un sous-sol dur - ouvrages - il ne faut pas seulement s'attendre à une usure plus grande du ballast, mais aussi à une propagation plus forte du bruit. Il est donc important de résoudre ces problèmes dans les tunnels de chemins de fer souterrains et sur les ponts de lignes pour grandes vitesses. La pose de matelas élastiques - en particulier de plaques en SYLOMÈRE - sous les voies sur ballast dans les tunnels et sur les ponts permet d'escompter les résultats suivants:

- > Réduction de la propagation du bruit dans les chemins de fer souterrains (au passage sous des zones bâties);
- > Réduction de l'irradiation du bruit sur les ponts métalliques;

> Réduction de l'usure dynamique du ballast - en particulier dans le cas des grandes vitesses;

> Conservation d'un temps plus long de la bonne assiette de la voie dans les tunnels et sous les ponts;

> Réduction des coûts de maintenance.

Les auteurs éfèrent ensuite des propriétés des matelas élastiques et de quelques essais pratiques et en laboratoire.

★

#### Perfeccionamiento de la superestructura de balasto

Donde la superestructura de balasto se apoya directamente sobre una base dura de obra, habrá que contar no sólo con que la piedra sea sometida a mayores cargas sino también con que se produzca una considerable transmisión de ruidos por las estructuras. La solución de estos problemas es urgente en los túneles de ferrocarriles subterráneos y en los puentes que forman parte de rutas para circulación amuy alta velocidad. Con la colocación de esteras elásticas - en especial esteras SYLOMER- debajo del lecho de balasto se pueden conseguir los efectos siguientes:

> amortiguamiento del sonido transmitido por la estructura en los ferrocarriles subterráneos (particularmente donde éstos pasan por debajo de zonas edificadas),

> disminución de la radiación sonora en puentes de acero,

> reducción de la carga dinámica del balasto, sobre todo en caso de muy elevadas velocidades,

> mantenimiento de la posición prescrita de la vía en túneles y puentes durante un período mucho más prolongado,

> disminución de los gastos de conservación.

En este artículo, se informa sobre las características de tales esteras y diversos ensayos de laboratorio y prácticos.

## Kommentar zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)

Herausgegeben von Dr.-Ing. Alfons Thoma

unter Mitwirkung namhafter Experten aus dem Bundesverkehrsministerium

und der Hauptverwaltung der Deutschen Bundesbahn

328 Seiten, Format DIN A 5, Leinen, DM 48,- / Eisenbahner-Vorzugspreis DM 36,-

Die Ausgabe kommentiert den Verordnungstext vom 8. Mai 1967 einschließlich der ersten Änderungsverordnung vom 10. Juni 1969. Der Kommentar enthält neben dem Verordnungstext die amtlichen Begründungen und ausführliche Erläuterungen und gibt damit auf viele Fragen erschöpfende Auskunft. Besonders hervorzuheben sind an dieser Stelle die Ausführungen über die Sicherung der Bahnübergänge, die Signalanlagen, das Bremsen von Eisenbahnfahrzeugen, über Zugfolge, Fahrgeschwindigkeit, über Anforderungen an das Personal und Besetzung von Triebfahrzeugen und Zügen mit Personal, die Bahnpolizei, das Verhalten auf Bahngelände und die Ordnungswidrigkeiten. Die Autoren gehen vielfach über die reine Kommentierung des Verordnungstextes hinaus und geben zusätzlich einen Überblick über die Entwicklung der einzelnen Bestimmungen durch Rückblicke auf frühere Verordnungen.

HESTRA-VERLAG · POSTFACH 4244 · D-6100 DARMSTADT 1