

DER NAHVERKEHR

Öffentlicher Personenverkehr in Stadt und Region

Betrieb & Infrastruktur

Überblick über Ausbauten in
Straßenbahn- und U-Bahn-Netzen

Verkehrsplanung & Organisation

Wie On-Demand-Angebote
Mobilitätsprobleme lösen können

Technik & Umwelt

Gemeinsame Beschaffung von
TramTrains der neuen Generation

Finanzen & Recht

Intelligente Ladestrategien sparen
für E-Bus-Betreiber Millionen

Kunden & Marketing

BW-Tarif: Erste Erfahrungen mit dem
neuen Dachtarif im Südwesten

IT-TRANS

Vorschau auf die Fachmesse

Effektiver Erschütterungsschutz mit Unterschottermatten

Messungen zeigen: Die im Stadtbahntunnel der Wehrhahnlinie in Düsseldorf eingebaute Unterschottermatte führt zu einer hohen Schwingungsminderung

Dipl.-Ing. Udo Lenz, Essen; Dr. techn. Ferdinand Pospischil, Innsbruck

Im Rahmen der Erweiterung der Stadtbahn in Düsseldorf wurde die Wehrhahnlinie als Verbindung zwischen den S-Bahnhöfen Wehrhahn und Bilk gebaut. Aufgrund der innerstädtischen Lage musste der 3,4 km lange Abschnitt unterirdisch ausgeführt werden. Um die in unmittelbarer Nähe stehenden, teilweise direkt unterfahrenen Gebäude vor Schwingungen und Erschütterungen aus dem Bahnbetrieb zu schützen, wurde ein Teilbereich davon mit Unterschottermatten ausgerüstet. Ein weiterer wurde als Masse-Feder-System mit Punktlagern ausgelegt, wobei dort eine

niedrigere Abstimmfrequenz ≤ 8 Hz gefordert wurde. Dieser Beitrag berichtet über den Bereich der Unterschottermatten und dessen Wirksamkeitsnachweis.

Im Rahmen der Genehmigungsplanung wurden dazu vom Ingenieurbüro Uderstädt + Partner (heute: I.B.U. GmbH) die erforderliche Schall- und Schwingungstechnische Untersuchung durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung wurde im Planfeststellungsbeschluss festgelegt, dass in Teilbereichen des Stadtbahntunnels Masse-Feder-Systeme

oder Unterschottermatten (USM) zur Minderung der Schwingungsemissionen der Gleisanlage vorzusehen sind, je nach Nähe und Typ der zu schützenden Gebäude. Im Rahmen der Ausschreibung zur Herstellung der Gleisanlagen wurde vom Ingenieurbüro Uderstädt + Partner eine Technische Lieferbedingung (TL) erstellt, in der die Anforderungen an die USM definiert waren.

Die Bauarbeiten für die im Schildvortrieb aufgefahrene Tunnelstrecke begannen am 28. November 2007. Hierbei wurde ein Schilddurchmesser von 9,2 m verwendet, sodass für die zweigleisige Strecke der Bau nur einer Tunnelröhre notwendig wurde.

Am 20. Februar 2016 konnte der Regelzugbetrieb der Wehrhahnlinie aufgenommen werden.

Anforderungen

Die Anforderungen an die USM sind in den TL „Unterschottermatten – U-Stadtbahn in Düsseldorf/Wehrhahnlinie“ festgelegt. Zunächst werden dort die technischen Rahmenbedingungen für den Einsatz der USM, wie beispielsweise die Beschreibung des Fahrzeuges und der Trassierung, aufgelistet. Um sicherzustellen, dass geeignete USM eingebaut werden, wird Bezug genommen auf die DIN 45673 – 5 [1], in der die Prüfdurchführung für die relevanten Kennwerte beschrieben ist. Die Abbildung 1 enthält die Anlage 1 der TL, in der die nachzuweisenden physikalischen Kennwerte der angebotenen USM aufgelistet sind. Einzubauen waren demnach USM der Dicke von 20 bis maximal 50 mm. Der statische und der dynamische Bettungs-

TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN UNTERSCHOTTERMATTEN	Anlage-Nr. 1
Im Ergebnisbericht der Laborprüfungen nach DIN 45673-5 sind folgend aufgelisteten Werte zusammenzustellen:	
<u>Eignungsprüfung</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Angabe der Prüfkörpermaße • Angabe statischer Bettungsmodul C_{stat} • Angabe des Ruhwertes des stat. Bettungsmoduls $C_{stat 0}$ • Angabe dynamischer Bettungsmodul $C_{dyn1}(f)$ für Raumtemperatur • Angabe dynamischer Bettungsmodul $C_{dyn1}(10\text{ Hz})$ bei unterschiedlichen Temperaturen • Angabe der niederfrequenten dynamischen Versteifung $K_{dyn1}(10\text{ Hz})$ • Angabe des dynamischen Bettungsmoduls $C_{dyn2}(f)$ • Angabe der höherfrequenten dynamischen Versteifung $K_{dyn2}(20\text{ Hz})$ • Angabe des Verlustfaktors η • Federkennlinien der verschiedenen Prüfungen 	
<u>Gebrauchstauglichkeitsprüfung</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Angabe der prozentualen Veränderung des statischen Bettungsmoduls, des Verlaufes der Schwingweite und Beschreibung des Ergebnisses der Sichtprüfung der Prüfung der Mechanischen Dauerfestigkeit • Darstellung der Identitätskontrolle • Angabe des Wasseraufnahmevermögens • Angabe zur Wasserbeständigkeit • Angabe zur Frost-Tau-Beständigkeit • Angabe zur Alterungsbeständigkeit • Angabe zur Ozonbeständigkeit • Angabe zur Öl- und Feststoffbeständigkeit • Angabe zur Entflammbarkeit 	

Abb. 1: Anlage 1 zur Technischen Lieferbedingung.

modul der USM waren dabei so zu wählen, dass die geforderten Mindestdämmwerte erreicht werden.

Im Hinblick auf die dauerhafte Wirkung der USM war zudem gefordert, dass die prozentuale Veränderung des statischen Bettingensmoduls vor und nach Durchführung des Dauerschwellversuchs (DIN 45673 [1]) einen Wert von 20 Prozent nicht überschreitet. Weitere allgemeine Anforderungen bestanden darin, dass die USM alterungs-, wasser-, ozon-, fett- und ölbeständig sein soll. Darüber hinaus soll die Wasseraufnahmefähigkeit der USM gering sein und diese im Hinblick auf brandschutztechnische Anforderungen der Klasse B2 nach DIN 4102 [3] entsprechen.

Die Wirksamkeit der angebotenen USM war in Form von garantierten Körperschalldämmwerten (Einfügungsdämmung) anzugeben. In Abbildung 2 ist die im Rahmen der Angebotsabgabe vorzulegende Tabelle der Dämmwerte abgebildet. Hierbei war der Bieter aufgefordert, einen rechnerischen Nachweis nach dem Rechenmodell „Wettschureck/Kurze“ [4] vorzulegen.



Zum Autor

Dipl.- Ing. Udo Lenz (64) beschäftigt sich seit 1985 mit den Immissionen und Emissionen von Schienenverkehrsanlagen. Grundlage für diese Tätigkeit war das Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Hannover, sowie die Tätigkeit am Curt-Risch-Institut für Dynamik, Schall und Messtechnik. Nach dem Studium begann Lenz seine Tätigkeit in der I.B.U. GmbH, Essen (damals noch Ingenieurbüro D. Uderstädt), die er über viele Jahre als geschäftsführender Gesellschafter leitete. Mit dem 3. Januar 2019 hat der Autor aus Altersgründen die Geschäftsführung abgegeben und ist jetzt als Leiter der Ingenieur für die I.B.U. GmbH tätig.



Zum Autor

Dr. techn. Ferdinand Pospischil (33) hat sich nach seinem Bauingenieurstudium an der TU München während des Doktorats in Innsbruck eingehend mit dem Eisenbahn-Oberbau befasst. Danach arbeitete er über zwei Jahre in der Elastomer-Forschung und Entwicklung bei Getzner Werkstoffe GmbH um dann, bis heute, ebenda in Deutschland als Projektmanager im Eisenbahnbereich tätig zu sein. Daneben wirkt er sowohl als Post-Doc in Lehre und Forschung an der Universität Innsbruck weiter als auch als freier Chefredakteur der Fachzeitschrift „Der Eisenbahningenieur“ im DVV Media Verlag.

Die geforderte Einfügungsdämmung ergibt sich aus den im Rahmen der Immissionsprognose entwickelten Anforderungen an den elastischen Oberbau. Die Einfügungsdämmung stellt hierbei, entsprechend

DIN 45673 [2], die Pegeldifferenz zwischen dem Schotteroberbau ohne USM und dem Schotteroberbau mit USM dar.

Vergabe

Bei der Ausschreibung des Gleisbaus wurden die Lieferung und der Einbau der USM mit abgefragt. Die Bauunternehmen boten unterschiedliche USM verschiedener Hersteller an. In einer technischen Bewertung wurden die vorgelegten Unterlagen der Bieter zusammengefasst. Letztlich war in technischer Hinsicht der Einbau verschiedener USM-Typen denkbar. Die Vergabe des Gleisbaus erfolgte an die Firma Spitzeke, deren Angebot den Einbau der Getzner USM Sylomer A 728 vorsah.

Grafik: I.B.U.

TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN UNTERSCHOTTERMATTEN Anlage-Nr. 3			
Bieter: _____		USM-Typ: _____	
Frequenz in Hz	Körperschalldämmwerte ΔL_v in dB		
	Rechenwerte (nach Anlage 2)	Prognosewerte des Bieters	Werte, die der Bieter gewährleistet**
25			
31,5			
40			
50			
63			
80			
100			
125			
160			
200			
250			
Resonanz- überhöhung**			

* $\Delta L_v = L_v$ (Schotterbereich) - L_v (USM-Bereich)

** Es sind zumindest die Werte nach Abschn. 4.2 der Leistungsbeschreibung einzutragen!

*** Der Bieter trägt hier den maximal zu erwartenden negativen Pegel der Körperschalldämmung ein.

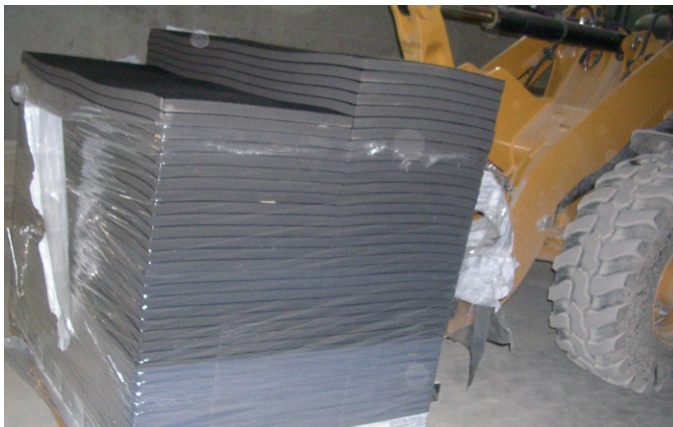
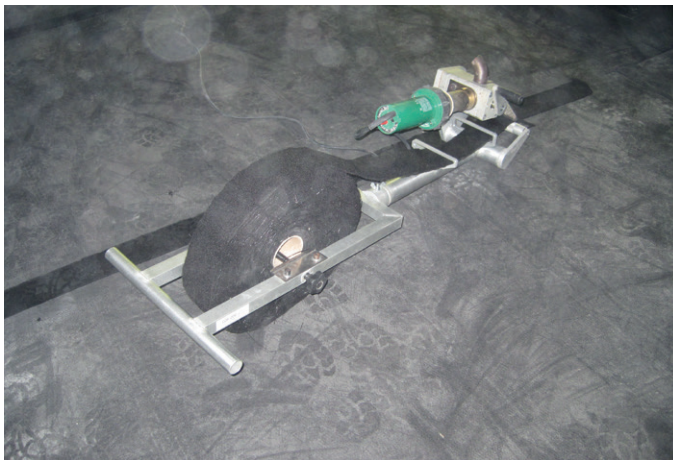
....., den
(Ort) (Datum) (Firmenstempel) (rechtsverbindliche Unterschrift)

Abb. 2: Anlage 3 zur Technischen Lieferbedingung.



Abb. 3: Einbau der Unterschottermatten.

Foto: Getzner



Beschreibung Unterschottermatte

Die Getzner Werkstoffe GmbH ist seit rund 50 Jahren als technologieführender Produzent von elastischen Elementen aus Polyurethan (unter anderem im Eisenbahnoberbau) tätig. Die in zahlreichen Projekten verbaute USM zeigen auch nach über 30 Jahren noch technische Eigenschaften innerhalb der ursprünglichen Spezifikation [5]. Somit ist es sichergestellt, dass die USM über den gesamten Lebenszyklus des Oberbaus der Wehrhahnlinie voll funktionsstüchtig sein wird.

Abb. 4-10: Arbeitsschritte zum Einbau von Unterschottermatten.

Fotos: 4-9: I.B.U., 10: Getzner



Da es sich bei diesen USM um geschäumtes Polyurethan handelt, sind die Hohlräume auf zellulärer Ebene im Material enthalten und können sich nicht durch äußere Verunreinigungen über die Zeit zusetzen und somit die Systemeigenschaften und deren Wirkung verändern. Auch das Entweichen von chemischen Wirkstoffen wie zum Beispiel Klebern oder Weichmachern ist aufgrund ihres Fehlens nicht möglich. Diese Erfahrungen untermauern auch die Laborprüfungen welche etwa bei Dauerschwellprüfungen eine Versteifung von weniger als 20 Prozent beschreiben.

Die hier verbaute USM Sylomer A 728 wurde für gehobene Ansprüche der Körperschallentkopplung konzipiert. Mit einem statischen Bettungsmodul von $0,007 \text{ N/mm}^3$ bei einer Mattenstärke von 28 mm sowie einer maximalen Radsatzlast von 130 kN ist sie für den Einsatzbereich bei Straßenbahnen und U-Bahnen optimiert. Das ge-

mischzellige Polyurethan wird durch eine im Produktionsprozess aufgebrachte Lastverteiler-Schicht aus Vlies vor Abrieb und Zerstörung durch den Gleisschotter effektiv geschützt. Aufgrund des geringen Flächen gewichts von nur 6 kg/m^2 ist es möglich, die Matten ohne Zuhilfenahme von schweren Einbauwerkzeugen zu verlegen. Die USM Sylomer A 728 ist bereits vielfach auch in Nahverkehrsbetrieben im deutschsprachigen Raum sehr erfolgreich eingebaut worden.

Einfügungsdämmung

Für die vorab durchgeführte Berechnung der Einfügungsdämmung wurde das Ergebnis einer Materialprüfung unter einer Normschotterplatte herangezogen. Da die USM als Teil des Gesamtsystems verstanden werden muss, erfolgten die Prognoseberechnungen anhand von vielen über die Zeit gewonnenen Erfahrungswerten in Kombination mit den produktspezifischen

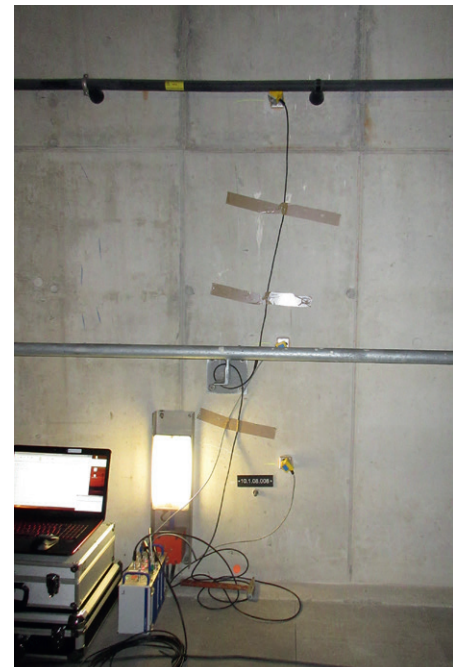


Abb. 11-13: Messdurchführungen.

Fotos: 11-12: I.B.U., 13: Getzner

ANZEIGE



Vereinbaren Sie einfach einen Termin auf der Messe mit uns!



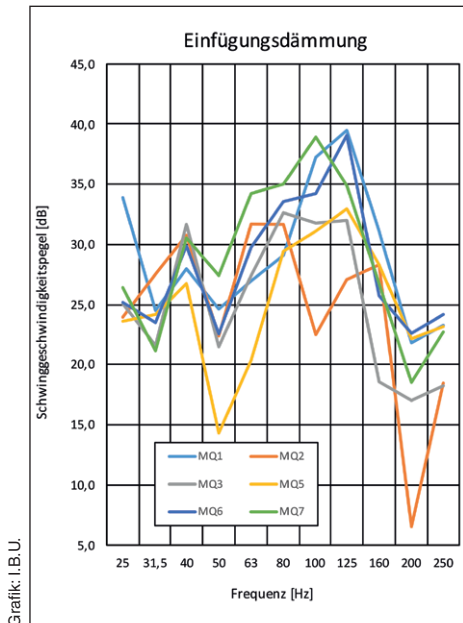
3. - 5. März 2020
Messe Karlsruhe

Besuchen Sie uns:

Halle 1
1 B40



- ▶ **Digitale Transformation – Papierlose Interaktion zwischen Betriebshof- und Werkstattmanagement**
- ▶ **E Mobilität – Intelligentes, integriertes Lademanagement auf dem Betriebshof**
- ▶ **Künstliche Intelligenz (KI) und Internet der Dinge (IoT) – Vorbeugende Instandhaltung & Einsatzoptimierung**
- ▶ **On-demand and Shared-Mobilitätskonzepte – Poolfahrzeugmanagement**
- ▶ **Datenmanagement – Ganzheitliches Objekt- und Fuhrparkverwaltungsmanagement**



Grafik: I.B.U.

Abb. 14: Einfügungsdämmung.

Werten. Die Berechnungen fanden sodann nach Wetschurck/Kurze statt [4].

$$\Delta L_e = 20 \lg \left| 1 + \frac{S_s}{S_M} \left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right] \right| \text{ in dB}$$

Die Berechnung bestätigte vorab den Einsatz der USM Sylomer A 728.

Qualitätssicherung und Einbau

Zur Gewährleistung der geforderten Qualität wurden kontinuierlich mehrere Proben der USM Sylomer A 728 sowohl statischen als auch dynamischen Tests nach DIN 45673-5 unterzogen.

Der Einbau der USM erfolgte im Zeitraum Juni bis Oktober 2017. Er wurde zeitweise von Mitarbeitern der Firma Getzner und

der I.B.U. GmbH begleitet. Durch diese sporadischen Baustellenkontrollen sollte sichergestellt werden, dass eine ordnungsgemäße Verlegung der USM erfolgt. Die Abbildungen 3 bis 10 zeigen die Einbaukontrollen.

Der Matteneinbau erfolgte vollflächig über den gesamten Tunnelboden. Die Matten wurden in Anlehnung an die Verlege-Vorschriften RIL.824.1510 der DB Netz AG eingebaut.

Nachmessung

Entsprechend der TL waren Messungen zum Nachweis der Einfügungsdämmung der eingebauten USM im zweiten Jahr nach Inbetriebnahme durchzuführen. Diese wurden von der I.B.U. GmbH im Auftrag der Getzner Werkstoffe GmbH in der KW 26 und KW 42 des Jahres 2017 ausgeführt.

Da der Stadtbahntunnel der Wehrhahnlinie praktisch vollständig mit USM oder Masse-Feder-Systemen ausgerüstet ist, bestand keine Möglichkeit, eine Schwingungsmessung in einem Bereich mit Standard-Schotteroberbau durchzuführen. Daher wurde bereits in den TL festgelegt, dass zur Berechnung der Einfügungsdämmung Bezug auf das in der Immissionsprognose zum Genehmigungsverfahren verwendete Emissionsspektrum genommen wird. Die Schwingungsmessung im Tunnel erfolgte insofern nur in Bereichen mit USM. Insgesamt gesehen wurden acht Messquerschnitte, verteilt über die Strecke, ausgewählt. Zwei der acht Messquerschnitte (MQ 4 und MQ 8) wurden im Bereich von Gleiswechseln angeordnet. Für diese Messquerschnitte gilt, dass kein Bezug auf die Emissionen eines Standard-Schotteroberbaus mit Gleiswechsel genommen werden konnte. Da die Emissionen in Weichen und Kreuzungen höher als die Emissionen von Normalgleisen sind, ergibt sich hier, mit

dem Bezug auf das Emissionsspektrum des Normalgleises, eine knapp zu geringe Einfügungsdämmung, die nicht in der Qualität oder Wirkungsweise der USM begründet ist, sondern vielmehr zeigen, dass sogar in komplexen Weichenfeldern die Wirkung der USM Sylomer A 728 gegeben ist.

Die Messfahrten erfolgten mit einem Niederflurfahrzeug in der Betriebspause für definierte Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten von 50 und 60 km/h. Den Abbildungen 11 bis 13 sind Fotos der Messdurchführung zu entnehmen. In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der ermittelten Einfügungsdämmung der Messquerschnitte im Normalgleis dargestellt. Es zeigt sich, dass die geforderten Mindestdämmwerte eingehalten oder sogar deutlich in positiver Wirkungsweise überschritten werden. Es konnte somit sowohl die Wirkungsweise der USM Sylomer A 728 als auch der zugrunde gelegten Berechnung bestätigt werden.

Literatur/Anmerkungen

- [1] DIN 45673 – Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 5: Labor-Prüfverfahren für Unterschottermatten. – August 2010
(wird ersetzt durch DIN EN 17282 – Bahnanwendungen – Infrastruktur – Unterschottermatten, derzeit vorliegend als Entwurf von September 2018)
- [2] DIN 45673 – Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen –
Teil 1: Begriffe, Klassifizierung, Prüfverfahren – August 2010
Teil 2: Ermittlung statischer und dynamischer Kennwerte im Betriebsgleis – Mai 2018 (DIN SPEC)
Teil 3: Messtechnische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand (Versuchsaufbau und Betriebsgleis) – April 2014 (DIN SPEC)
Teil 4: Rechnerische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand – Juli 2008 (Vornorm) – Neuausgabe in Vorbereitung
- [3] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – 1
- [4] R. Wetschurck, Proceedings Internoise 1985, München, Vol. I, pp. 721 – 724
- [5] Getzner Werkstoffe – 30 Years of Vibration Protection of the Philharmonic Hall Gasteig, Munich – Case Study

Zusammenfassung/Summary

Effektiver Erschütterungsschutz mit Unterschottermatten

Im Jahr 2017 wurden Teile der Tunnelstrecke der Wehrhahnlinie erschütterungstechnisch mit einer Unterschottermatte entkoppelt. Die Anforderungen und gutachterliche Begleitung wurden durch das Ingenieurbüro Uderstädt + Partner (heute: I.B.U. GmbH) sichergestellt. Als Material wurde nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten die USM Sylomer A 728 der Getzner Werkstoffe GmbH ausgewählt und eingebaut. Im zweiten Betriebsjahr wurde eine Nachmessung der Einfügungsdämmung durchgeführt. Die Ergebnisse belegen, dass die geforderten Mindestdämmwerte nicht nur eingehalten, sondern zum Teil sogar übertroffen wurden und somit das System der Getzner USM Sylomer A 728 funktioniert.

Effective vibration control by under ballast mats

In 2017, for reasons of vibration control, parts of the tunnel section of the Wehrhahn route were uncoupled by using under ballast mats. The requirements and expert valuation were ensured by the engineering office Uderstädt + Partner (now: I.B.U. GmbH). As suitable material USM Sylomer A 728 by Getzner Werkstoffe GmbH was selected and installed. In the second year of operation a resurvey of the insertion loss has been made. The results confirm that the required minimum insulation values have not only been reached but in some part even exceeded and therefore, the Getzner USM Sylomer A 728 works.