



Elastische Lagerung von Gebäuden zum Schutz vor Einwirkungen aus Schienenverkehr

Elastische Lagerung von Gebäuden zum Schutz vor Einwirkungen aus Schienenverkehr

In Berlin-Grunewald, auf dem Gelände des ehemaligen Güterbahnhofs, erfolgte die Planung und Errichtung einer Vielzahl hochwertiger drei- bzw. viergeschossiger Ein- und Mehrfamilienhäuser. Die Neubauten weisen hierbei teilweise sehr geringe Abstände zu den noch in Betrieb befindlichen Gleisanlagen nördlich des Baugrundstückes auf. Im Zuge von messtechnischen und rechnerischen Untersuchungen wurden für eine Reihe der von privaten Investoren geplanten Gebäude die infolge des Schienenverkehrs zu erwartenden Schwingungsimmissionen und sekundären Luftschalleinträge prognostiziert. Anhand von numerischen Simulationen erfolgte die Dimensionierung von Schwingungsminderungsmaßnahmen in Form konstruktiver Aussteifungen bzw. elastischer Lagerungen der Bauwerke. Für die effektive Dimensionierung einer elastischen Gebäudelagerung müssen Parameter wie die Nachgiebigkeit des anstehenden Untergrundes, das Schwingungsverhalten des Bauwerkes sowie die elastischen Eigenschaften der verwendeten Materialien Berücksichtigung finden. Durchgeführte Schwingungsmessungen in zwei der errichteten Einfamilienhäuser gaben Aufschluss über den Erfolg der getroffenen Maßnahmen. So konnte nachgewiesen werden, dass mithilfe einer detailliert geplanten elastischen Gebäudelagerung die Schwingungs- und folgend auch die sekundären Luftschallimmissionen um mehr als 12 dB reduziert werden konnten.

Keywords Gebäudelagerung, elastische; PUR-Elastomere

1 Einführung

Im Jahre 2006 wurde eine Teilfläche des ehemaligen Güterbahnhofs Berlin-Grunewald entsprechend dem Charakter des umliegenden Gebietes in ein allgemeines Wohngebiet umgewandelt. Im Bebauungsgebiet ist seitdem eine Vielzahl hochwertiger drei- bzw. viergeschossiger Ein- und Mehrfamilienhäuser errichtet worden. Nördlich des entlang der Hilde-Ephraim- und Trabener Straße befindlichen Bebauungsgebiets verläuft hinter einer Schallschutzwand weiterhin Schienenverkehr des Nah-, Fern- und Güterverkehrs (Bild 1).

Durch den Schienenverkehr werden dynamische Kräfte in den Boden eingeleitet. Die Bodenschwingungen breiten sich aus und werden folgend auf die nahestehende Wohnbebauung übertragen. Die in der heutigen Zeit geforderten hohen Immissionsstandards erfordern insbesondere für Neubauten in unmittelbarer Nähe zu Schienenverkehrswegen wirksamen Schutz vor Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall aus Körperschallübertragung im Untergrund.

Elastic bedding of buildings for protection against emissions from railroad traffic

In Berlin-Grunewald, on the area of a former freight depot, a large number of premium three-floor or four-floor houses or apartment buildings was planned and erected. Some of the new buildings are very close to the railroad line which is located to the north of the building site. For a number of buildings, measurements and calculative analyses were carried out in order to predict the impact of vibrations and secondary airborne sound due to railway traffic. By means of numeric simulations, vibration isolation measures were dimensioned in the form of structural reinforcements or elastic bedding of the construction. For an effective design of elastic bedding measures, parameters to be considered are e. g. the soil resilience, the construction's vibrational behavior, and the elastic properties of the materials. Vibration measurements in two of the one-family buildings could be used in order to quantify the success of measures. Thus, evidence was provided that with the detailed planning of elastic beddings, the vibration immission as well as the secondary airborne sound could be reduced by more than 12 dB.

Keywords resilient building support; polyurethane elastomer

Ein erschütterungstechnisches Gutachten aus dem Jahr 2007 [1] ergab in einer ersten überschlägigen Prognose, dass die zu erwartenden Schwingungsimmissionen in den geplanten Gebäuden sowohl bzgl. der niederfrequenten Deckenschwingungen entsprechend der Anhaltswerte der DIN 4150-2 als auch hinsichtlich der sekundären Luftschallpegel als unzulässig hoch einzustufen sind. Ohne Schutzmaßnahmen können Störungen der Bewohner durch hohe Schwingungs- und vor allem auch Körperschallpegel die Folge sein.

Anhand weiterführender messtechnischer und rechnerischer Untersuchungen sollten daher noch in der Planungsphase der verschiedenen Bauvorhaben effektive Minderungsmaßnahmen sowohl hinsichtlich der Wirksamkeit als auch bzgl. entstehender Kosten überprüft werden. Anhand von Prognoseergebnissen und der für das jeweilige Projekt beschriebenen Komfortansprüche waren die Anforderungen an die erforderliche Dämmwirkung einer schwingungsmindernden Maßnahme festzulegen. Die zu verwirklichenden Dämmwirkungen sind frequenzabhängig, wobei Verstärkungen und Reduktionen

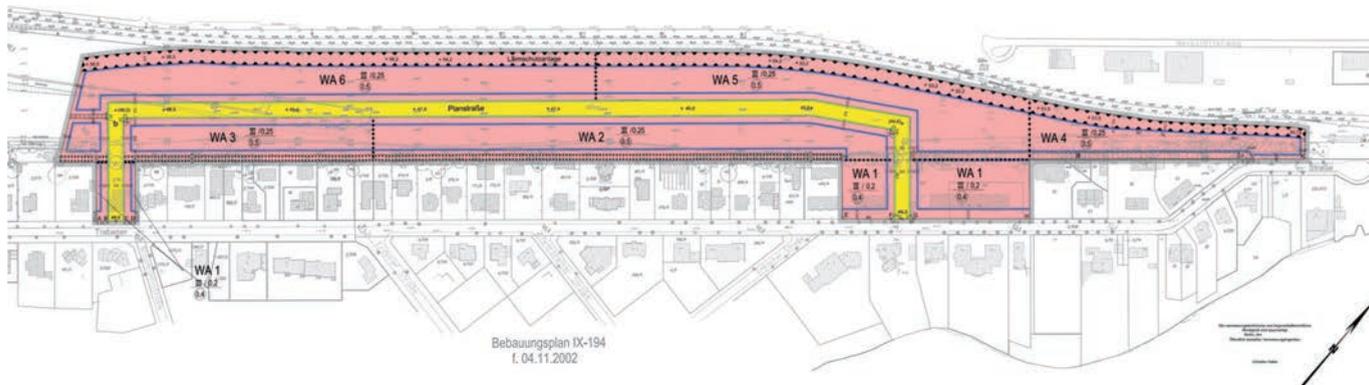


Bild 1 Ausschnitt aus dem Bebauungsplan (Quelle: Bebauungsplan 4-21 – für eine Teilfläche des ehemaligen Güterbahnhofs Grunewald; 2006)
Detail of the development plan (source: Bebauungsplan 4-21 for an area of the former freight yard Grunewald, 2006)

von der Lage der maßgebenden Anregungs- und Bauteil-eigenfrequenzen abhängen.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der vorhandenen oberirdischen Gleisanlagen sollten die Erschütterungen im Bereich des Empfängers, d. h. direkt am Bauwerk vermindert werden. Die elastische Gebäudelagerung stellt hier eine häufig angewendete Praxis dar. Schwingungsmindernd wirksam ist die elastische Gebäudelagerung jedoch nur wenn

- für die Dimensionierung eine zuverlässige Grundlage geschaffen wurde, d. h. die Prognose der Schwingungsimmissionen in die geplanten Neubauten wirklichkeitsnahe Werte liefert,
- die Dimensionierung bzw. Auslegung der elastischen Elemente alle wesentlichen Aspekte zur Bestimmung der Dämmwirkung erfasst und
- die elastischen Lager eine hohe Qualität aufweisen und deren Verlegung mit höchster Sorgfalt vorgenommen wird.

2 Grundlagen

2.1 Beurteilungsgrundlagen

Für die Beurteilung der spürbaren Schwingungen liefert die DIN 4150-2 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ vom Juni 1999 [2] Anhaltswerte. Allgemeingültige gesetzliche Vorschriften zum Erschütterungsschutz existieren nicht. In den Richtlinien des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) [3] wird jedoch auf die DIN 4150-2 verwiesen. Für die Bauvorhaben in Berlin-Grunewald galten als Mindestanforderung die Anhaltswerte der Zeile 3, Tab. 1 der DIN 4150-2. Für gehobenen Komfort wurde eine Einhaltung der Werte der Zeile 4 der genannten Tabelle der Norm empfohlen.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallpegel infolge der Anregung aus Schienenverkehr werden i. d. R. die Werte aus der 24. BImSchV [4] hinsichtlich zumutbarer Mittelungspegel herangezogen. Um auch Störungen aus

Einzelereignissen (Fahrten einzelner Züge) innerhalb der Beurteilung berücksichtigen zu können, werden zusätzlich die Richtwerte aus der VDI 2719 [5] und ergänzend die der TA-Lärm zur 6. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) [6] verwendet. Die Vorschrift TA-Lärm gilt streng genommen nur für Anregungen aus gewerblichen Anlagen. Sie ist jedoch die einzige Richtlinie, die das Einzelereignis durch Angabe des zulässigen Maximalwertpegels bewertet. Für den gehobenen Wohnkomfort wurde empfohlen, dass die Maximalwertpegel des sekundären Luftschalls bei Zugvorbeifahrt im Mittel einen Wert von 35 dB(A) nicht überschreiten. Als oberste Grenze sollte ein Maximalpegel von 40 dB(A) eingehalten werden.

2.2 Erfassung der Schwingungsemissionen

Für die Anwendung von Prognoseverfahren ist die Kenntnis der vom Schienenverkehr ausgehenden Emissionen, d. h. der Erschütterungen im Baugrund erforderlich. Im Zuge der Durchführung von Schwingungsmessungen sollte eine statistisch gesicherte Anzahl von Zugfahrten erfasst werden. Die Frequenzinhalte einer Schwingungs-

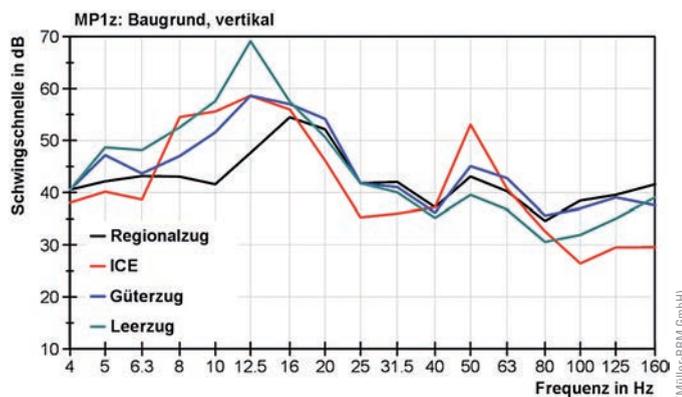


Bild 2 Terzspektren der Schwingschnelle für den Baugrundmesspunkt MP1z (im Abstand von ca. 20 m zu den Gleisanlagen)
Third-octave band spectra of the oscillation velocity for subsoil measuring point 1z (distance to the rail tracks: 20 m)

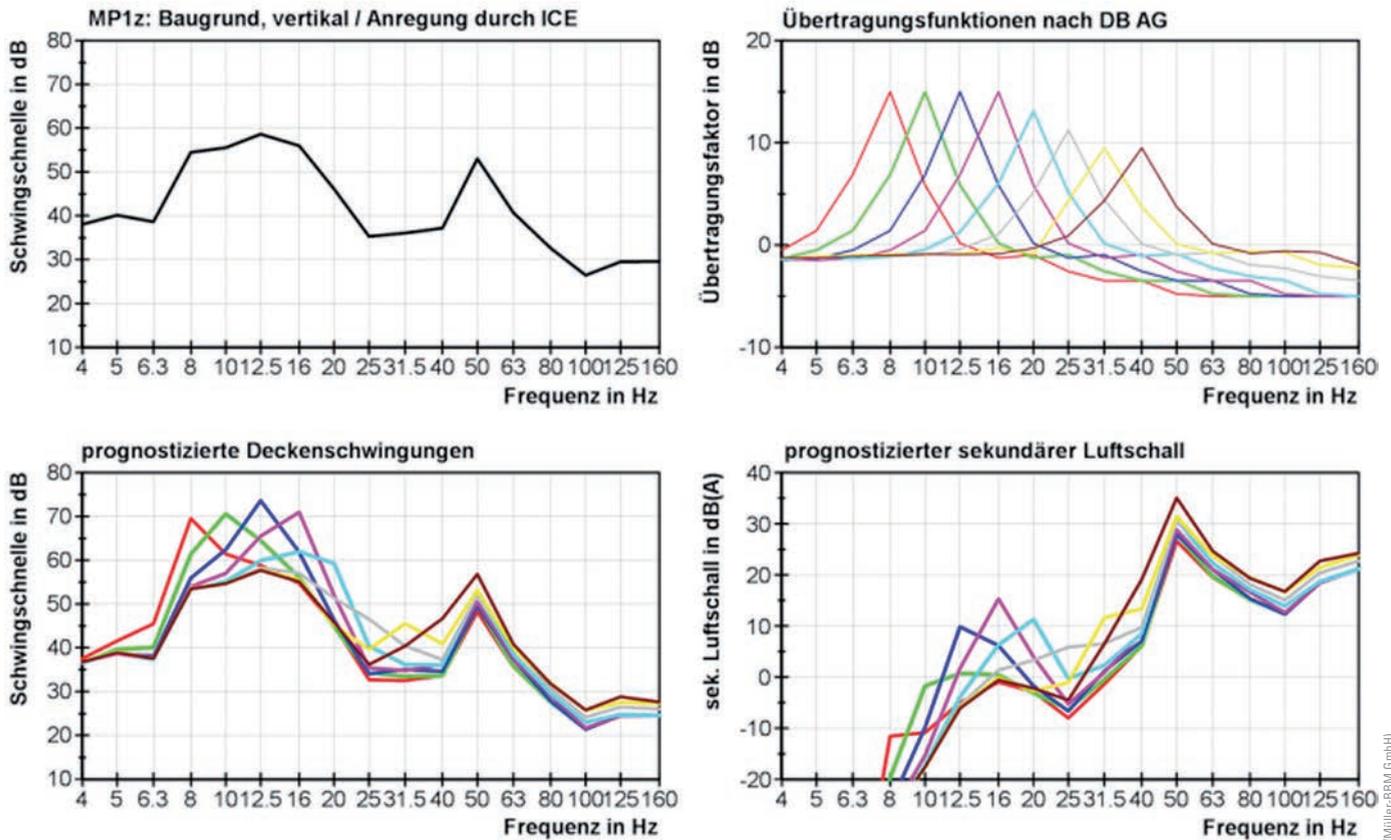


Bild 3 Anregung durch einen ICE, Prognose der Deckenschwingungen und des sekundären Luftschalls
Excitation by a high-speed train, prognosis of the floor vibrations and of the secondary airborne noise

anregung aus Schienenverkehr sind nicht nur abhängig von der Zuggeschwindigkeit, sondern auch vom Zustand des rollenden Materials sowie der Gleislagen. Unterschiedliche Wagentypen mit abweichenden Achslasten und Achsabständen können zu sehr verschiedenen Anregungsfrequenzen führen. Nach der Entfernung stillgelegter Gleisanlagen und der Errichtung eines Lärmschutzwalls bzw. einer Lärmschutzwand wurden auf dem Baugrundstück erneut Schwingungsmessungen durchgeführt. Hierzu wurden Schwingungssensoren über Erdspieße in zunehmendem Abstand zu den Gleisanlagen installiert. In Bild 2 sind die am nächstgelegenen Messpunkt MP1z ermittelten Anregungsspektren für die verschiedenen Zugtypen zusammengefasst. Die maßgebliche Anregung liegt einerseits im Frequenzbereich unterhalb von 20 Hz und resultiert aus der Fahrgeschwindigkeit der Züge im Zusammenhang mit Achs- und Schwellenabständen. Aufgrund stochastischer Anregungen, z. B. durch Polygonisierung bzw. Unrundheit der Räder, ergeben sich darüber hinaus maßgebliche Erschütterungspegel in einem Frequenzbereich zwischen 50 und 70 Hz.

2.3 Erschütterungsprognose

Für die Prognose von Deckenschwingungen werden neben der Kenntnis der Freifeldanregung funktionale Zusammenhänge zum Übertragungsverhalten von Bauwerken benötigt. Beim Übergang der Schwingungen vom

Baugrund auf das Fundament des Gebäudes verändern sich sowohl deren Frequenzinhalte als auch die Schwingungsamplituden. Die Schwingungsantworten der Tragwerksdecken $v(f)_{\text{Decke}}$ können näherungsweise aus der Multiplikation der Übertragungsfunktionen $H(f)$ und der Baugrundschwingungen $v(f)_{\text{Baugrund}}$ berechnet werden:

$$v(f)_{\text{Decke}} = H(f)_{\text{Baugrund} \rightarrow \text{Gründung}} \cdot H(f)_{\text{Gründung} \rightarrow \text{Decke}} \cdot v(f)_{\text{Baugrund}}$$

$$v(f)_{\text{Decke}} = H(f)_{\text{Baugrund} \rightarrow \text{Decke}} \cdot v(f)_{\text{Baugrund}}$$

Insbesondere in frühen Planungsstadien, wenn noch keine detaillierten Tragwerkspläne vorliegen, sind die Deckeneigenfrequenzen nicht bekannt. Um dennoch Orientierungswerte für die zu erwartenden Immissionen zu erhalten, werden empirisch ermittelte Übertragungsfunktionen genutzt. Bei der Anwendung eines Prognoseverfahrens, dessen Grundlagen von der Deutschen Bahn AG in einem „Leitfaden für den Planer zum Körperschall- und Erschütterungsschutz“ [7] beschrieben sind, werden die durch Schwingungsmessungen ermittelten Emissionsspektren mit pauschalen Funktionen beaufschlagt. Es werden spektrale Übertragungsfunktionen angegeben, die im Mittel aus einer Vielzahl von Erschütterungsmessungen bestimmt wurden und die Schwingungsübertragung vom Baugrund auf die betroffenen Geschosdecken beschreiben. Ausgehend von den berechneten Terzspektren der Schwinggeschwindigkeit im Baugrund erfolgte unter Ansatz der Übertragungsfunktionen der Deutschen Bahn AG

eine Abschätzung der zu erwartenden Deckenschwingungen und folgend des abgestrahlten sekundären Luftschalls.

Auf Basis der Ergebnisse dieser überschlägigen Prognose konnten für die Bauvorhaben in Berlin-Grunewald Anforderungen abgeleitet werden. Ausgehend von den maßgeblichen Anregungen durch Güterverkehr und Personennahverkehr in einem Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 15 Hz bestand kein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Deckenresonanzen und den damit verbundenen Beeinträchtigungen des Wohlbefindens, wenn die erste Eigenfrequenz einer Decke oberhalb von 20 Hz liegt. In diesem Fall konnte davon ausgegangen werden, dass die Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4150-2 gewährleistet ist. In Hinblick auf den Sekundärluftschall waren Maßnahmen zu dimensionieren, die eine Dämmwirkung von ca. 10 dB für Frequenzen oberhalb von 40 Hz sicherstellt.

3 Rechnerische Überprüfung der Baukonstruktion

Anhand von Finite-Elemente-Modellen kann die Schwingungsanfälligkeit von Baukonstruktionen überprüft werden. Unter Nutzung der heutigen Rechentechnik stellt die dynamische Berechnung großer dreidimensionaler Modelle kein Problem dar und ist daher gängige Praxis. Bezüglich der Abbildung des Baugrundes ergeben sich dagegen teilweise gravierende Einschränkungen. Dreidimensionale Modelle mit angeschlossenem Halbraum können Steifigkeit und Dämpfung realistisch berücksichtigen. Die Abbildung erfordert jedoch eine sehr feine Modellierung und damit eine hohe Zahl an Freiheitsgraden, zumindest im Bereich der Ankopplung der Struktur an den Halbraum. Für Modelle mit diskreten Ersatzfedern muss eine entsprechende Übertragung der Ersatzgrößen erfolgen. Diese sind i. d. R. abhängig von der Elastizität der Fundamentplatte, von der Baugrundsteifigkeit, von der statischen Bodenpressung durch das aufgehende Bauwerk und auch von der Art der Anregung.

Am FE-Modell kann sehr konkret bestimmt werden, wo und auch in welchen Frequenzbereichen Überschreitungen der Normanhaltswerte und somit Störungen zu er-

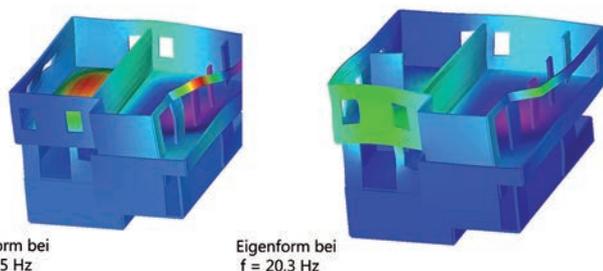


Bild 4 Finite-Elemente-Berechnungen, Eigenformen der ursprünglichen Planung (Bild links) sowie der ertüchtigten Gebäudestruktur (Bild rechts)
Finite-element calculations, eigenvectors of the primary design (left) as well as of the enhanced building structure (right)

warten sind. Für die zu untersuchenden Ein- und Mehrfamilienhäuser waren im Wesentlichen die Tragwerksdecken bzgl. ihrer ersten Eigenfrequenzen zu untersuchen. In Rücksprache mit den projektbeteiligten Statikern und Architekten wurden die Konstruktionen derart ertüchtigt bzw. versteift, dass die ersten Deckeneigenfrequenzen möglichst oberhalb von 20 Hz angesiedelt waren. Bild 4 zeigt anhand der Darstellung der Eigenformen beispielhaft den versteifenden Effekt durch folgende Maßnahmen:

- Kellergeschoss: Ausbildung einer zusätzlich tragenden Innenwand
- Erdgeschoss: Ausbildung einer zusätzlich tragenden Innenwand
- Erdgeschoss: Ausbildung der beiden Kaminwände als tragende Wände
- Erdgeschoss: Decke über Erdgeschoss mit einer Deckenstärke von mindestens 30 cm
- Obergeschoss: Ausbildung einer zusätzlich tragenden Innenwand
- Dachgeschoss: Dachdecke mit einer Deckenstärke von mindestens 24 cm

Gleichzeitig stellten die FE-Modelle die Grundlage zur Dimensionierung elastischer Lagerungen von Bauwerksteilen bzw. des Gesamtbauwerkes dar.

4 Elastische Gebäudelagerung

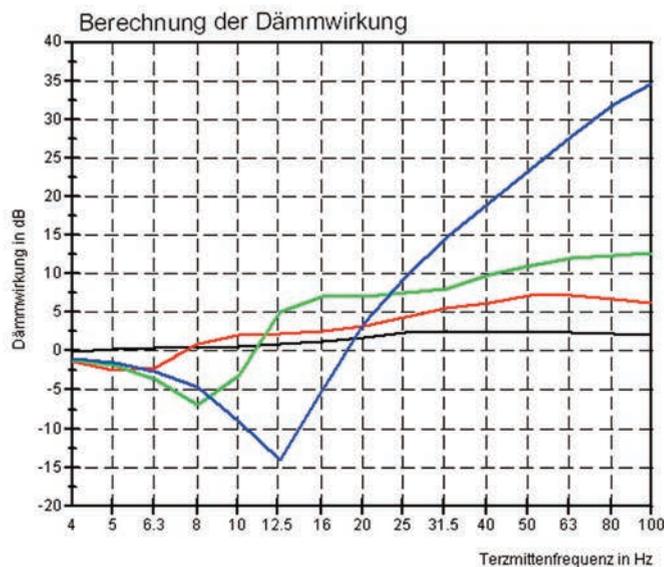
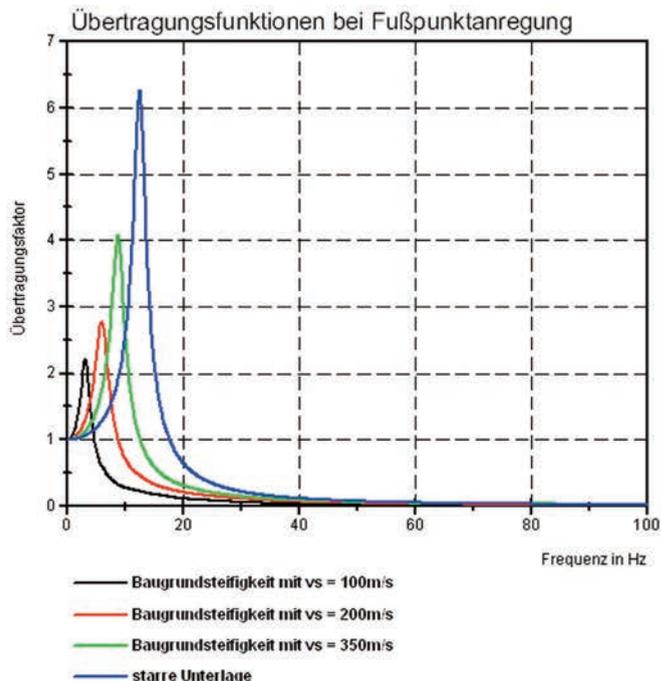
4.1 Wirkprinzip

Für die Erstellung eines geeigneten Berechnungsmodells zur Auslegung einer elastischen Lagerung sind grundsätzlich einige, in vielen Fällen vernachlässigte Aspekte zu hinterfragen, so u. a.:

- Einfluss der visko-elastischen Eigenschaften des Baugrundes,
- Wirkungsweise einer Impedanzplatte,
- Nachgiebigkeit der Fundamentplatte bzw. der Gründung des Bauwerkes.

Schon Untersuchungen anhand einfacher Modelle zeigen, dass der wirklichkeitsnahen Berücksichtigung des Baugrundes besondere Bedeutung bei der Bestimmung der resultierenden Dämmwirkung zukommt. Für typische Baugrundverhältnisse mit mitteldicht gelagerten Sanden wie in Berlin-Grunewald ist nicht die Abstimmfrequenz bzw. die Steifigkeit des Elastomers, sondern das Verhältnis der Dämpfungsparameter von Baugrund (Abstrahlungsdämpfung) und Elastomermatte maßgebend. Das gedämmte System erfährt aus dynamischer Sicht eine Veränderung durch die geringe Materialdämpfung des Elastomers.

Die blaue Kurve im Diagramm links spiegelt das Übertragungsverhalten der als steif angenommenen Bauwerksmasse auf der Elastomermatte über einer starren Unterlage wider. Die Abstimmfrequenz für dieses System liegt bei 13 Hz. Unter Berücksichtigung der elastischen Baugrund-



(Silke Appel, Dissertation „Einfluss der Steifigkeit von Baugrund und Gründung auf die Abschirmung von Schienenverkehrserschütterungen mit Elastomermatten“, 2011)

Bild 5 Übertragungsfunktionen und Dämmwirkungen mit dem 1-Masse-Schwinger-Modell
Transmission functions and oscillation loss factor of the single mass oscillator



Bild 6 Lagerungsvarianten: a) vollflächig (links), b) Trennung unter der Kellerdecke (rechts)
Bedding variants: a) continuous (left-hand side), b) isolation below the basement ceiling (right-hand side)

eigenschaften verschiebt sich die Eigenfrequenz des 1-Massen-Schwingers in Richtung niedrigerer Frequenzen. Gleichzeitig verringert sich aufgrund der geometrischen Abstrahlungsdämpfung des Baugrundes der maximale Übertragungsfaktor. Das Diagramm rechts zeigt, dass mit der Abnahme der Bodensteifigkeit auch eine deutliche Verringerung der erzielbaren Dämmwirkung durch die Gebäudelagerung einhergeht.

4.2 Varianten der Verlegung

Eine Lagerung des Bauwerkes auf elastischen Elementen kann zum einen im Bereich der Gründung erfolgen. Hier werden i. d. R. Elastomermatten flächig unterhalb der

Fundamentplatte angeordnet. Das Foto links in Bild 6 zeigt eine vollflächige Lagerung auf Sylyodyn[®]-Matten der Fa. Getzner Werkstoffe GmbH. Sind Streifen- oder Einzelfundamente vorhanden, werden diese auf entsprechenden Streifen- oder Punktlagern gegründet. Darüber hinaus kann zum anderen eine Trennung des Bauwerkes auch zwischen Unter- und Erdgeschoss erfolgen (Foto rechts, Bild 6). Dabei werden hochbelastbare Elastomermatten auf i. d. R. erweiterten Stützenköpfen und tragenden Kellerwänden installiert. Das Untergeschoss erfährt dann keine Schwingungsreduktion. Die Immissionsminderung beginnt mit der Kellerdecke.

Die Festlegung der geeigneten Lagerungsvariante erfolgt i. d. R. nach der geplanten Gründung des Gebäudes und

Tab. 1 Gegenüberstellung von Varianten der elastischen Gebäudelagerung
Comparison of different variants of elastic beddings of buildings

Anordnung zwischen UG und EG	Anordnung unterhalb der Gründung
<ul style="list-style-type: none"> - bessere Dämmwirkung infolge höherer Impedanz - geringer Lagermaterialaufwand - hoher Aufwand bei der Dimensionierung, Detailplanung und Bauüberwachung - Fugenthematik: Brandschutz, Abdichtung, etc. - Ableitung der Horizontallasten - Trennung aller Bauteile und Anschlüsse zwischen KG und EG zur Vermeidung von Schallbrücken 	<ul style="list-style-type: none"> - einfache bautechnische Umsetzung - geringer Aufwand bei der Dimensionierung (Baugrund, Impedanz- und Bodenplatte), Detailplanung und Bauüberwachung - geringere Dämmwirkung - hoher Lagermaterialaufwand - Entkopplung der Kellerwände vom Baugrund - Einführung der Medienleitungen

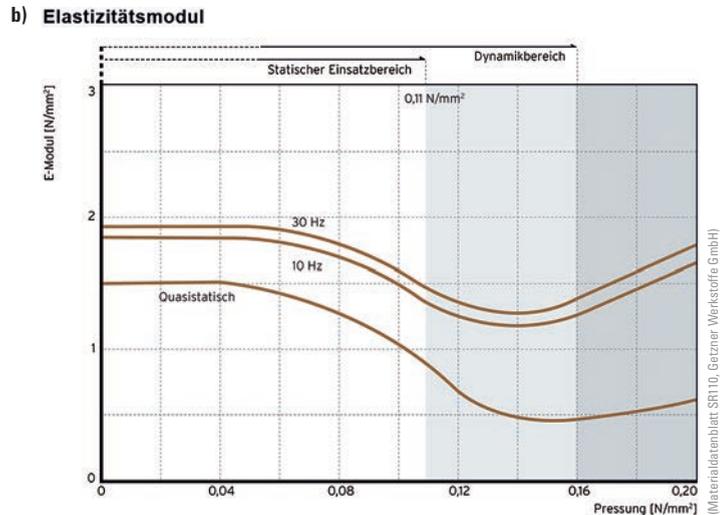
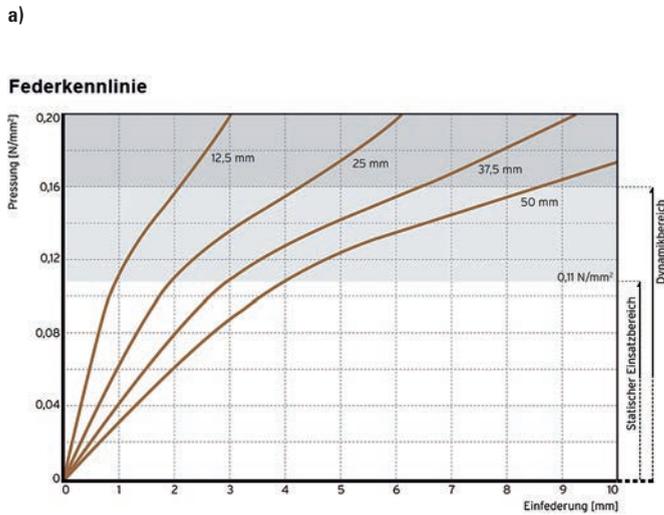


Bild 7 a) Federkennlinie und b) Elastizitätsmodul von Sylomer® SR 110 [10]
a) load-deflection curve and b) Young's modulus of Sylomer® SR 110 [10]

nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten. Bei der Kostenbetrachtung sind neben den reinen Lagerkosten auch die Kosten für die bautechnische Umsetzung zu berücksichtigen. Nachfolgend sind einige Beurteilungskriterien für die Wahl der geeigneten Lagerungsvariante aufgeführt.

4.3 Materialien/Parameter

Elastomermatten aus Polyurethan (PUR) sind im Bauwesen besonders dann interessant, wenn deren spezielle Werkstoffeigenschaften genutzt werden können [8, 9]. Sie eignen sich besonders für flächige Anwendungen, da sie aufgrund ihrer Zelligkeit das für dynamische Verformungen notwendige Volumen in sich zur Verfügung stellen. Auch vollflächig zwischen starren Oberflächen eingebaut verlieren sie nicht ihre Elastizität. Sylomer®- und Sylodyn®-Werkstoffe bilden die Grundlage der hier eingesetzten PUR-Elastomermatten. Die Struktur kann offen- oder geschlossenzellig sein. Der Anteil an geschlossenen Zellen nimmt bei Sylomer® mit steigendem Raumgewicht zu. Sylodyn® ist unabhängig vom Raumgewicht nahezu geschlossenzellig.

Das Verformungsverhalten des Lagers wird üblicherweise durch die Federkennlinie beschrieben. Einen typischen

Verlauf der Federkennlinie für Sylomer®-Werkstoffe bei quasistatischer Belastung zeigt Bild 7 (links). Der Elastizitätsmodul als Funktion der quasistatischen Belastung ist in Bild 7 (rechts) dargestellt.

Für die Schwingungsberechnung ist die dynamische Steifigkeit maßgebend. Auf dynamische Anregungen reagieren alle Elastomere – bedingt durch die Materialdämpfung – härter als auf statische Belastungen. Die Frequenzabhängigkeit der Steifigkeit ist umso ausgeprägter, je höher die Materialdämpfung ist.

Die Dämpfung wird für Sylomer® und Sylodyn® – wie für Kunststoffe üblich – durch den Verlustfaktor η beschrieben. Der Wert liegt je nach Sylomer®-Typ zwischen $\eta = 0,25$ und $\eta = 0,09$. Im Resonanzbereich gilt zwischen dem Verlustfaktor und der LEHRschen Dämpfung die Beziehung $\eta = 2 D$. Für Schwingungsanteile oberhalb der Resonanzfrequenz kann von einer nahezu hysteretischen Dämpfung ausgegangen werden. Die Dämpfung von Sylodyn® ist gegenüber Sylomer® um etwa den Faktor 2–3 kleiner.

Die Lagersteifigkeit von Elastomeren kann grundsätzlich auch von der Anregungsamplitude abhängen. Diese Abhängigkeit kann für Sylomer®- und Sylodyn®-Werkstoffe vernachlässigt werden. Auch auf kleinste Amplituden,

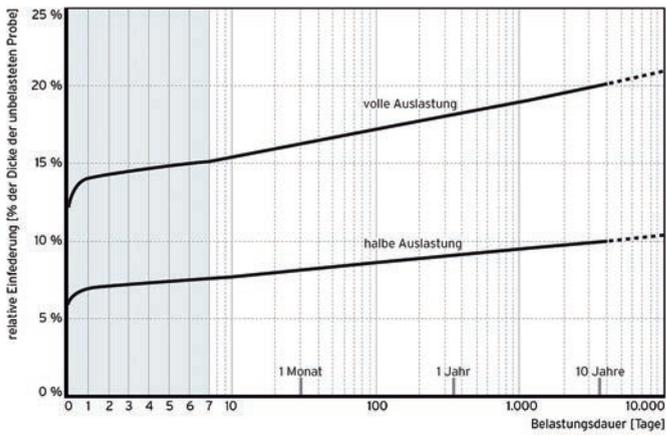
Statisches Dauerstandverhalten

Bild 8 Statisches und dynamisches Dauerstandverhalten von Sylomer® [11]
Static and dynamic durability of Sylomer® [11]

wie sie z. B. bei der Einleitung von Körperschall und Erschütterungen in Gebäude auftreten, reagieren Sylomer® und Sylodyn® sehr weich.

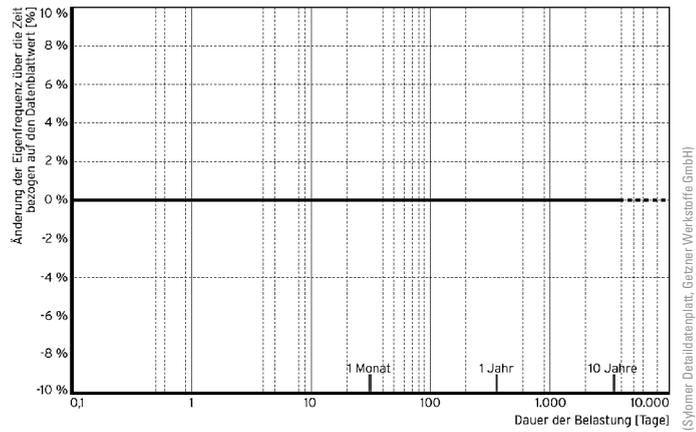
Die mögliche Lagerbelastung ist eine Funktion der Werkstoffdicke. Der maximal zulässige statische Einsatzbereich liegt für Sylomer® und Sylodyn® zwischen 11 kN/m² und 1500 kN/m².

Charakteristische Größen für die Beurteilung der Alterung und der zu erwartenden Lebensdauer sind das Setzungsverhalten, die Änderung der dynamischen Eigenschaften über die Zeit und das Verhalten bei Dauerschwellbelastung. Das statische und dynamische Dauerstandverhalten wurde für Sylomer®- und Sylodyn®-Werkstoffe sehr genau untersucht und ist in Bild 8 dargestellt.

4.4 Modellrechnungen/Dimensionierung

Zur Berechnung der Wirkungsweise der elastischen Gebäudelagerung finden das Finite-Elemente-Modell des zu untersuchenden Gebäudes sowie Halbraummodelle zur wirklichkeitsnahen Erfassung der elastischen Eigenschaften des Baugrundes Anwendung. Im FE-Modell erfolgt die Berücksichtigung der Elastomere zunächst über eine Reihenschaltung der diskreten Feder-Dämpfer-Elemente für Elastomer und Baugrund. Wie in Abschn. 4.1 verdeutlicht, ist hier die Reihenschaltung der komplexen Größe, bestehend aus Real- und Imaginärteil der Steifigkeiten, zur Ermittlung der Dämmwirkung erforderlich.

Insbesondere bei flächiger Lagerung von Gebäuden kann anhand eines Halbraummodells unter Berücksichtigung des Baugrundes und eines Ausschnittes bzw. der gesamten Fundamentplatte die zusätzliche schwingungsmindernde Wirkungsweise einer Impedanzplatte nachgewiesen werden. Ein solches Modell bildet dann die Bodenplatte sowie darunter die Elastomermatten mittels Volumenelementen und folgend eine Impedanzplatte ab. Die Impedanzplatte selbst liegt auf dem geschichteten

Dynamisches Dauerstandverhalten

Boden mit angeschlossenem Halbraum. Die Schwingungsanregung kann über eine auf einem Nachbarfundament eingeprägte Kraft erfolgen. Die Bodenplatte muss zusätzlich durch die statische Auflast des aufgehenden Gebäudes belastet werden.

Verschiedene Gebäude in der Hilde-Ephraim-Straße wurden in der beschriebenen Weise elastisch gelagert. Für andere Gebäude, z. B. in der Trabener Straße, erfolgte die Gründung auf Streifenfundamenten. Für ein nur teilweise unterkellertes Gebäude wurde der nicht unterkellerte Bereich über Elastomere auf Streifenfundamente, der unterkellerte Bereich durch elastische Elemente auf den Untergeschosswänden entkoppelt.

5 Ergebnisse durchgeführter Schwingungsmessungen

Nach Fertigstellung konnten in zwei der errichteten Einfamilienhäuser in der Trabener Straße Schwingungsmessungen durchgeführt werden. Die beiden Gebäude liegen in unmittelbarer Nachbarschaft und im gleichen Abstand zur Gleisanlage. Während sich ein Bauherr für den Einbau einer elastischen Lagerung seines Gebäudes entschieden hatte, verzichtete der Bauherr des anderen Gebäudes auf eine schwingungsreduzierende Maßnahme.

Das gelagerte Gebäude wurde über Streifenfundamente elastisch auf Materialien der Firma Getzner Werkstoffe GmbH gelagert. Die Lagerung erfolgte entsprechend der vorab vorgenommenen Dimensionierung auf Sylodyn®-Streifenlagern mit einer Dicke von 37,5 mm.

Die Schwingungsmessungen unter Anregung aus dem Schienenverkehr in den beiden Wohngebäuden erfolgten zeitgleich. Es wurden Schwingungssensoren auf verschiedenen Deckenmitten sowie im Gründungsbereich der nicht unterkellerten Bauwerke aufgezeichnet. Bild 10 beinhaltet den Vergleich der gemittelten Terzspektren der Schwingungsschnelle für den jeweils ver-



(Gezner Werkstoffe GmbH)

Bild 9 Einbau der Sylodyn®-Lager auf Streifenfundamenten und unter Filigranplatten / Haus Schröder
Installation of the Sylodyn®-bearings on strip footings and below permanent shutterings / Schröder house

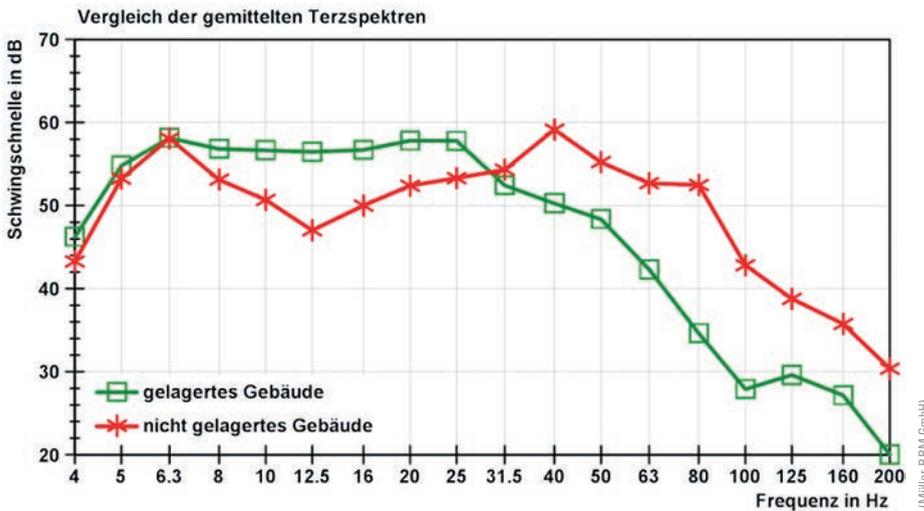


Bild 10 Gegenüberstellung der mittleren Terzspektrn der Schwinggeschwindigkeit auf der Bodenplatte beider Gebäude
Comparison of averaged third-octave band spectra of oscillation velocity on the base plate of both of the buildings

tikal orientierten Gründungsmesspunkt in beiden Gebäuden.

Anhand der Darstellung wird die schwingungsmindernde Wirkung der elastischen Gebäudelagerung für Frequenzanteile oberhalb von 30 Hz sehr deutlich. Im Frequenzbereich der maßgebenden Anregung durch den Zugverkehr, zwischen 40 Hz und 80 Hz, ergibt sich eine Reduktion der Schnellepegel um 10–17 dB. Im Ergebnis wurden anhand der gemessenen Fußboden- und Deckenschwingungen folgende Maximalwertpegel des sekundären Luftschalls in den beiden Einfamilienhäusern berechnet:

- nicht elastisch gelagert: mittlerer Maximalwertpegel $\bar{L}_{AF, max} = 48,7 \text{ dB (A)}$
- elastisch gelagert: mittlerer Maximalwertpegel $\bar{L}_{AF, max} = 34,7 \text{ dB (A)}$

Die höchsten Maximalwertpegel des sekundär abgestrahlten Luftschalls infolge der Zuanregung lagen im elas-

tisch gelagerten Einfamilienhaus bei ca. 37 dB(A) und im nicht gelagerten Gebäude bei über 50 dB(A). Durch die Lagerung des Einfamilienhauses konnten die Frequenzanteile oberhalb von 30 Hz somit derart reduziert werden, dass eine Einhaltung der Komfortansprüche gewährleistet wird. Im nicht gelagerten Gebäude sind dagegen auch bei geschlossenen Fenstern die Überfahrten der Züge auf dem nächstgelegenen Gleis gut hörbar.

6 Fazit

Die Bebauung des Geländes des ehemaligen Güterbahnhofs in Berlin Grunewald zeigt exemplarisch die zunehmende Tendenz, auch hochwertige Wohnbebauung auf schwingungsbelastetem Baugrund zu realisieren. Da keine allgemeingültigen gesetzlichen Vorschriften zum Erschütterungsschutz existieren, bleibt es privaten Investoren dabei überlassen, sich für oder gegen eine Maßnahme zum

Schutz vor Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall zu entscheiden. In dem dargestellten Beispiel wurde gezeigt, dass es mithilfe einer fachgerecht dimensionierten elastischen Lagerung des Gebäudes möglich ist, auch bei hohen Ansprüchen bezüglich der Ruhe im Gebäude diese

Komfortansprüche zu ermöglichen. Eine elastische Gebäudelagerung schützt somit vor den störenden Einflüssen des Schwingungseintrags durch den nahegelegenen Schienenverkehr und trägt dazu bei, auch bei Wiederverkauf einen Wertverlust der Immobilie zu vermeiden.

Literatur

- [1] Müller BBM: *Erläuterungsbericht zur erschütterungstechnischen Untersuchung*. Bericht Nr. M70148/2 vom 25.04.2007.
- [2] DIN 4150-2: *Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*. Juni 1999.
- [3] Rüdiger Borgmann: *Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall an Schienenverkehrswegen*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe „Umwelt und Verkehr“, Heft 147 (2001).
- [4] 24. *Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*. 04.02.1997.
- [5] VDI 2719: *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen*. August 1987.
- [6] 6. *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz* (Technische Anweisung zum Schutz gegen Lärm, TA-Lärm). 26.08.1998.
- [7] Deutsche Bahn AG : *Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer*. Ausgabe August 1996.
- [8] Technische Universität München: *Allgemeines Bauaufsichtliches Prüfzeugnis ABP C-10BvL-2003; Lager aus Sylomer® der Typenreihe SR und Sylodyn®*.
- [9] Getzner Werkstoffe GmbH: *Technische Informationen: Werkstoffeigenschaften und Schwingungsisolation*.
- [10] Getzner Werkstoffe GmbH: *Werkstoffdatenblatt Sylomer® SR 110*.
- [11] Getzner Werkstoffe GmbH: *Sylomer® Detaildatenblatt*.
- [12] Hass, R.; Meyer-Ottens, C.; Richter, E.: *Stahlbau-Brandenschutz-Handbuch*. Berlin: Ernst & Sohn, 1993.
- [13] Haenel, J.; Kina, J.; Schaumann, P.: *Zur Erweiterung des Anwendungsbereiches von Stahlträgerverbundkonstruktionen*. Stahlbau 63 (1994), H. 4, S. 279–283.

Autoren

Dr.-Ing. Silke Appel
silke.appel@mbbm.com
Müller-BBM GmbH
Schwieberdinger Straße 62
70435 Stuttgart

Michael Biskup
michael.biskup@getzner.com
Getzner Werkstoffe GmbH
Am Borsigturm 11
13507 Berlin

