

Schwingungsisolierung von Gebäuden mittels hochbelastbarer, elastischer Punkt- und Streifenlagerung, dargestellt am Beispiel des Projekts „Einkaufszentrum und Hotel Moosach“

Ulrich Gerhaher, Rainer Zindler, Bertram Grass
Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, A-6706 Bürs
ulrich.gerhaher@getzner.com
www.getzner.com

Einleitung

Die elastische Lagerung von Gebäuden zur Vermeidung spürbarer Vibrationen oder störendem sekundärem Luftschall infolge von Schwingungen aus dem Untergrund (z.B. aus benachbartem Bahnverkehr) ist seit mehr als 25 Jahren Stand der Technik. Die Lagerfuge kann dazu flächig oder punktuell unterhalb der Bodenplatte des Gebäudes angebracht werden. Auch Entkopplungen mit Punkt- und Linienlagern zwischen den Geschosdecken und den angrenzenden Wänden bzw. Stützen sind möglich, wobei sich bei diesen Anwendungen durch die konzentrierten Lastabtragungen wesentlich höhere Pressungen auf die Lager ergeben. Diesen erhöhten Belastungen ist durch entsprechend widerstandsfähige Werkstoffe Rechnung zu tragen, um ein geringes Kriechverhalten und ein konstantes Materialverhalten über die Lebensdauer des Gebäudes zu gewährleisten.

Es ist sicherzustellen, dass die Lager über mehrere Jahrzehnte eine möglichst konstante, dynamische Steifigkeit aufweisen, um ihrer Aufgabe der Schwingungsisolierung gerecht zu werden. Zu einer Erhöhung der Steifigkeit und damit einer Verringerung der Isolierungswirkung kann es durch zunehmende Langzeitverformungen (Kriechen des Elastomermaterials) oder durch ein Entweichen von Weichmachern (z.B. bei Gummi, nicht bei PUR) kommen. Diese Effekte müssen bei der Produktentwicklung und vor allem bei der Dimensionierung der Lager berücksichtigt werden.

Am Beispiel des Bauvorhabens „Hotel mit Einkaufszentrum Moosach“ wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Auslegung hochbelasteter Punkt- und Linienlager aus Sicht der Statik und der Baudynamik vorgestellt.

Normative Regelung des Lagerwiderstandes

In Deutschland ist für Lager im Bauwesen, welche „der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen dienen“ [1] und die keiner Norm entsprechen, die statische Tragfähigkeit durch eine Zulassung (AbZ, AbP, ETA oder Zulassung im Einzelfall) nachzuweisen.

Sowohl für Lager aus Gummi (meist bewehrte Blocklager oder unbewehrte, profilierte Flächenlager), als auch für Lager aus PUR (Elastomer aus geschäumtem Polyurethan), welche für die Schwingungsisolierung von Gebäuden eingesetzt werden, gilt, dass diese keiner deutschen oder europäischen Norm entsprechen. Für die PUR Materialien Sylomer® und Sylodyn® von Getzner Werkstoffe ist eine „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ (AbZ), durch welche die Erreichung des nach EN 1990 geforderten Sicherheitsniveaus basierend auf dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept nachgewiesen werden kann, beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) beantragt und wird demnächst erteilt.

Ob im konkreten Anwendungsfall die geforderte Tragfähigkeit eines Bauwerks bei einem Versagen eines Elastomerlagers nicht mehr erreicht wird und die verwendeten Lager damit einer Zulassung

bedürfen, ist vom beauftragten Zivilingenieur ggf. in Absprache mit dem Prüfeningenieur zu beurteilen. Bei vollflächigen Gebäudelagerungen unter der Bodenplatte des Kellergeschosses ist häufig selbst bei bereichsweisem Nachgeben der Lagerung mit einer ausreichenden Lastumlagerung zu rechnen. Damit ist für die Bauteile in den Obergeschossen selten eine Lasterhöhung zu erwarten. Werden die Lager jedoch punktuell, in Lagergruppen oder linienförmig auf bzw. unter hochbelasteten Stützen oder Wandscheiben angeordnet, so könnten, je nach Steifigkeit der darüber liegenden Struktur, übermäßige Einsenkungen der Lager unter einem Bauteil zu einer erheblichen Erhöhung der Belastung der benachbarten Bauteile führen.

Ein vollständiger Ausfall eines Lagers ist in der Regel nur im Brandfall denkbar. Um die Lager entsprechend zu schützen (z.B. mit Brandschutzschnüren oder -platten) ist eine umsichtige Planung der Details erforderlich. Dabei ist nicht nur die direkte Hitzebelastung zu berücksichtigen, sondern auch die Wärmeübertragung durch angrenzende Bauteile. Zudem ist eine Verminderung der Dämmleistung durch die Brandschutzmaterialien zu vermeiden. Ein Totalausfall durch Überlastung ist aufgrund der Robustheit üblicher Elastomermaterialien bisher weder bei Gummi- noch bei PUR-Lagern bekannt.

Ein Nachweis der dynamischen Eigenschaften der Dämmlager bzgl. ihrer bauphysikalischen Wirksamkeit ist seitens des Gesetzgebers nicht vorgeschrieben. In der Regel sind die spezifizierten, dynamischen Eigenschaften der Lager – und nicht die Einhaltung von Grenzwerten im fertigen Gebäude – vom Hersteller gegenüber dem Bauherrn zu gewährleisten.

Anordnung der elastischen Fuge

Bei dem hier vorgestellten Beispiel des Hotels mit Einkaufszentrum wurden die Gästezimmer im zweiten bis vierten Obergeschoss gegenüber den darunterliegenden Bereichen mit Restaurant, Aufenthaltsräumen und Büros elastisch entkoppelt. Die Lagerebene wurde unterhalb der Decke über erstem Obergeschoss auf den Stützen (teilweise mit Pilzkopf) und Wänden angeordnet und wechselt im südwestlichen Bereich unter die Decke über dem zweiten Obergeschoss. Sämtliche Horizontalkräfte in Längsrichtung (NO nach SW) können über Reibung und Schubwiderstand der Lager abgetragen werden. Erhöhte Windlasten werden über konstruktive Maßnahmen wie aussteifende Wände und Horizontallager in vier Punkten abgetragen. Eine Abtragung der Horizontallasten allein über den Schubwiderstand des Elastomermaterials wäre möglich gewesen, hätte aber zu einer Biegebeanspruchung der Stützen geführt. Übermäßige Horizontalverformungen der Lager infolge Temperaturexpansion und Schwinden des Betons konnten durch geeignete Wahl der Bauabschnitte und Nachbehandlung des Betons vermieden werden.



Abbildung 1: 3D Animation des Bauvorhabens Hotel und Shopping Mall München-Moosach, Ebene der elastischen Entkopplung in rot darüber gezeichnet, horizontal unter Decke über 1. OG und Decke über 2. OG, sowie vertikal zum dreigeschossigen Gebäudeteil (Quelle: Pletschacher PE FMZ 1 GmbH & Co. KG, Eurasburg; Architektur: yes architecture, München)

Der Ausbildung der elastischen Fuge durch Punkt- und Linienlager wurde aus Kostengründen der Vorzug gegeben. Es wurde nur jener Teil der Obergeschosse entkoppelt, für welche eine Schwingungsisolierung tatsächlich notwendig ist, nämlich der Hotelbereich im zweiten bis fünften OG. Die zu lagernden Lasten sind daher geringer als bei einer Anordnung der Lagerung unterhalb der Bodenplatte des Untergeschosses. Zudem sind die Lagerflächen und damit das benötigte Lagervolumen wesentlich geringer (Fläche ca. 35 m² gegenüber ca. 1500 m²). Dem gegenüber sind die verwendeten Werkstoffe aufgrund der Notwendigkeit einer hohen Belastbarkeit erheblich teurer. Insgesamt können die reinen Lagerkosten für die gewählte Anordnung im vorliegenden Fall auf ca. ein Drittel der Kosten einer vollflächigen Lagerung geschätzt werden. Allerdings ergeben sich aus der Punkt- und Streifenlagerung zusätzliche Kosten für den erhöhten Planungsaufwand, die Anpassungen des Tragwerks und den Mehraufwand in der Bauausführung. Diese Kosten sind im vorliegenden Fall nicht bekannt.

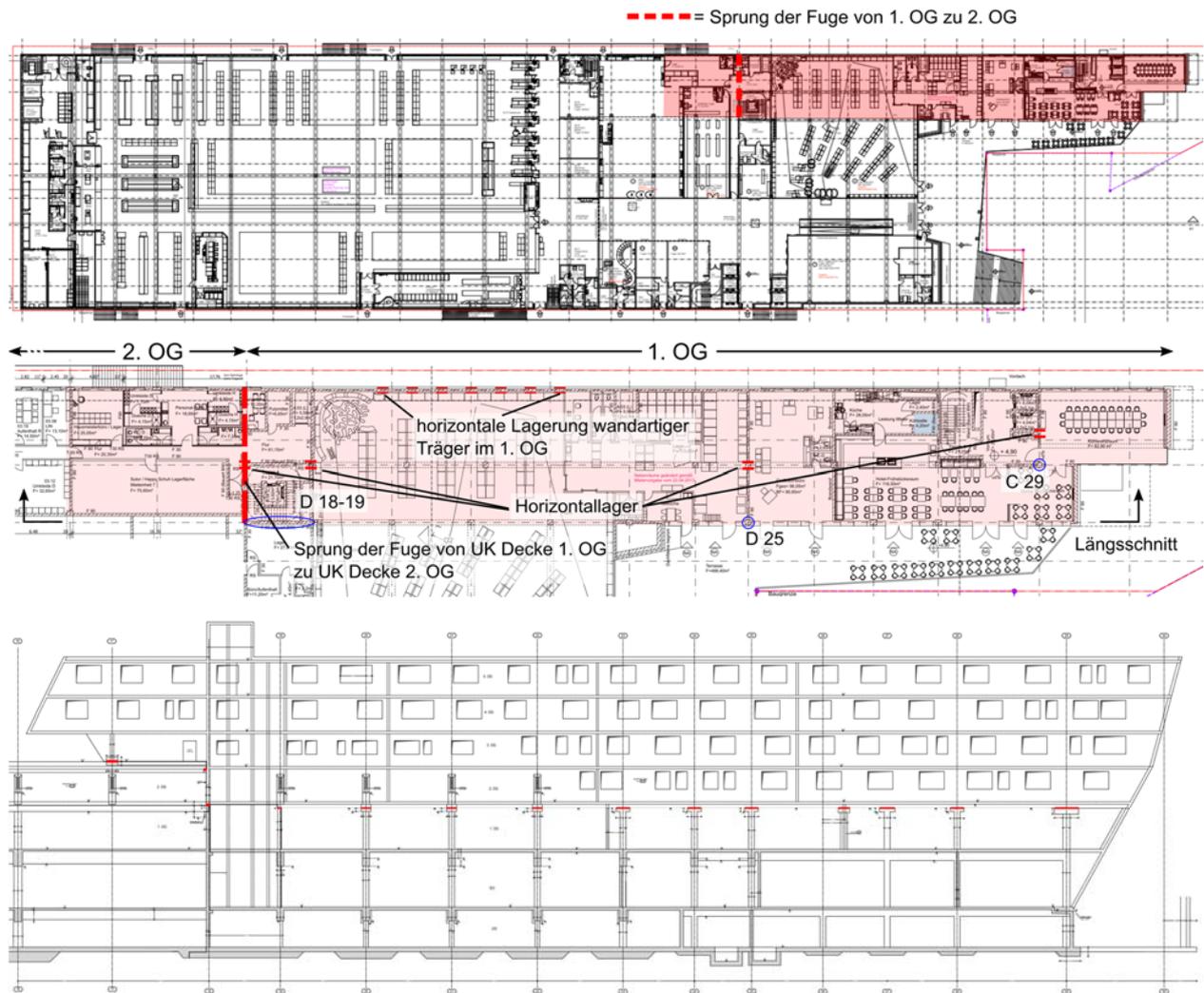


Abbildung 2: Oben, Übersicht Gesamtgebäude, elastisch entkoppelter Bereich rot hinterlegt; Mitte, elastische Entkoppelungsebenen im 1. OG und 2. OG, Lager des Monitorings markiert; unten, Längsschnitt mit PUR-Lagern auf Stützenkopfverbreiterungen (unter Verwendung von Planausschnitten von yes architecture, München)

Auslegung elastischer Punktlagerungen aus statischer Sicht

Bei der Auslegung der Lager bzgl. der Tragfähigkeit ist die Vorgehensweise beim hier verwendeten Material Sylodyn® sehr einfach, verglichen mit der üblichen Bemessung von bewehrten Gummilagern. Deren Tragfähigkeit und die vertikale Steifigkeit hängen von der Anzahl und der Dicke der Gummischichten ab. Bei hochbelasteten punkt- und linienförmigen Lagerungen unter Wänden und Stützen sind in der Regel verschiedene Lagertypen zu definieren, die den gegebenen geometrischen Vorgaben entsprechen und die Lastabtragung gewährleisten. Da in der Produktion von Gummilagern für jede Geometrie eine eigene Form gebaut bzw. adaptiert werden muss, wird in der Regel versucht, nur wenige Lagertypen zu verwenden, welche in einem gewissen Lastbereich eingesetzt werden können. Diese Optimierung der Typen und die sehr unterschiedliche Auslastung einzelner Lager führen unweigerlich zu Verformungsunterschieden zwischen benachbarten Lagerungspunkten von meist mehreren Millimetern. Die aus der Lagerbemessung resultierenden, punktuell sehr unterschiedlichen Steifigkeiten müssen in die Berechnung der Lasten einfließen, um erhebliche Lastumlagerungen zu erfassen; ein iteratives Vorgehen zwischen Berechnung der Lasten und Dimensionierung der Lager ist notwendig.

Vermeiden lässt sich dieser aufwändige Prozess, wenn alle Lager so ausgelegt werden können, dass sie (rechnerisch) die gleiche Einsenkung erfahren. Die elastische Fuge hat dann keinen Einfluss auf die Lastverteilung im Gebäudemodell. Möglich ist dies, wenn die Lager individuell der Belastung angepasst werden können. Bei Verwendung von Sylomer® und Sylodyn® Materialien ist eine exakte Anpassung durch individuellen Zuschnitt jedes Lagers und durch die zur Verfügung stehende Materialauswahl zur Abdeckung eines Pressungsbereiches von 0.011 bis 6.0 N/mm² möglich. Die iterative Bestimmung der Lagergeometrie und -lasten entfällt damit.

Im vorliegenden Fall wurden für alle Auflagerpunkte Lager aus den PUR Materialien Sylodyn® NF bzw. Sylodyn® HRB-HS 3000 Dicke 37.5 mm Dicke gewählt. Die für alle Lager gleiche Dicke ergibt sich aus der vom Baudynamiker geforderten, maximalen Abstimmfrequenz von 10 Hz, siehe [2]. Die Kurzzeiteinsenkung bei voller Materialausnutzung liegt bei allen Lagern bei 11.5 % (Sylomer® NF) bzw. 11.7 % (HRB-HS 3000) der Ausgangsdicke. Nach 10 Jahren werden die Einsenkungen mit 17 % bzw. 15.5 % prognostiziert. D.h. aufgrund der im vorliegenden Fall möglichst einheitlichen Ausnutzung der Lager durch entsprechende Anpassung der Grundrissfläche, ist mit Differenzverformungen < 0.6 mm zwischen benachbarten Lagern zu rechnen. Daher war mit keiner relevanten Lastumlagerung zu rechnen. Die maximal zulässigen Pressungen unter Designlasten (Traglastfall) für Sylodyn® NF bzw. HRB-HS 3000 betragen nach Zulassung je nach Abmessung der einzelnen Lager $\sigma_{R,d} = 3.3$ bis 5.0 N/mm² bzw. $\sigma_{R,d} = 8.5$ N/mm² bis 11 N/mm². Der ideale Einsatzbereich für elastische Isolationen, d.h. die empfohlene „statische Dauerlast“ (SDL) laut Datenblatt [3] [4], liegt für diese Materialien bei 1.1 N/mm² bis 1.5 N/mm² bzw. bei 2.5 N/mm² bis 3.5 N/mm² (für die beim BV Moosach eingesetzten Lagerabmessungen).

Da die genaue Anpassung der Lagerabmessungen auf die Belastungen bei PUR-Lagerwerkstoffen möglich ist, liegen bei diesem Projekt die Ausnutzungsgrade bzgl. der vom Hersteller angegebenen „statischen Dauerlast“ bei fast allen Lagern nahe 100 %. Unter Traglasten lägen bei allen Lagern die Pressungen nur bei ca. 50 % der in der Zulassung angegebenen Lagerwiderstände $\sigma_{R,d}$. Aus statischer Sicht werden bei der Bemessung von Hochbaulagern aus Sylomer® und Sylodyn® die Tragsicherheiten daher bei weitem nicht ausgeschöpft.

Zum Zeitpunkt des Einbaus im August 2014 war für den Sylodyn®-Werkstoff die Zulassung durch das DIBt noch nicht erteilt. Aufgrund dokumentierter Langzeiterfahrungen mit ähnlichen Materialien und Anwendungen konnte ein Totalausfall (z.B. übermäßiges Kriechen) der Lager ausgeschlossen werden. Daher wurde seitens des Prüfenieurs lediglich ein Nachweis der Langzeitstabilität in Form eines Lagermonitorings über mehr als 100 Tage verlangt.

Nachweis der Langzeitstabilität

Ziel des Lagermonitorings bei dem Bauvorhaben in Moosach war es, nachzuweisen, dass keine unerwartet großen Lagerverformungen auftreten und die Kriechverformungen im Rahmen der Messgenauigkeit vollständig abklingen (keine Verformungszunahme mehr messbar). Zu diesem Zweck wurden von der TU München Verformungsmessungen an den in Tabelle 1 dargestellten Lagergruppen aus HRB-HS 3000 durchgeführt, siehe [5].

Bezeichnung	Anzahl der Lager	Abmessungen [mm ³]	Formfaktor [/]	Pressung ständig [N/mm ²]	Bemerkung
C 29	1	1500 x 950 x 37.5	7.76	3.85	Konsole
D 25	1	1100 x 440 x 37.5	4.20	3.28	Konsole
D 18-19	7	790 x 200 x 37.5	2.13	2.58	Treppenhaus

Tabelle 1: Lager, Abmessungen und Pressungen unter ständigen Lasten

Die Formfaktoren (Grundrissfläche geteilt durch Summe der offenen Seitenflächen) der untersuchten Lager, die einen wesentlichen Einfluss auf die Querausdehnung der Lager und damit auf die Steifigkeit haben, liegen im oberen, mittleren und unteren Bereich der bei dem Bauvorhaben vorkommenden Werte.

Bei den Lagergruppen C 29 und D 25 handelt es sich jeweils um Einzellager, bei denen an je zwei Messpunkten gemessen wurde. Bei Gruppe D 18-19 handelt es sich um sieben Lager, wobei an drei Punkten mit größerem Abstand gemessen wurde. Da die Messungen erst nach Fertigstellung des Rohbaus und den damit auftretenden Lagereinwirkungen begonnen worden waren, können die Verformungsmessungen nur relativ zum Startzeitpunkt ausgewertet werden. Die Gesamtverformung der Lager kann – allein aufgrund der unebenen Betonoberflächen – nachträglich nicht mehr ermittelt werden. Gemessen wurde jeweils der Abstand zwischen den auf dem oberen und dem unteren angrenzenden Betonbauteil befestigten Metallplättchen.



Abbildung 3: Messpunkte, links C 29 Stützenkonsole, rechts D 18-19 im Treppenhaus innen, aus Prüfbericht [5]

In Abbildung 4 wird die aus den Messdaten in [5] berechnete Zunahme der Verformung dargestellt und einem rechnerisch ermittelten Schätzwert gegenübergestellt. Eine Schwierigkeit bei der Berechnung der Kriechverformung ergibt sich aus dem Umstand, dass vom Start der Messungen bei Fertigstellung des Rohbaus bis zur Fertigstellung des Gebäudes die Lasten des Ausbaus hinzukamen. Laut Aussage des Tragwerksplaners waren zu Beginn ca. 70 % der ständigen Lasten vorhanden. Bei einem geschätzten Anteil von 15 % der Verkehrslasten an den Gesamtlasten und davon einem ständigen Anteil von 30 % ergeben sich für das fertige Gebäude ohne Verkehrslasten ca. 95 % der ständigen Lasten.

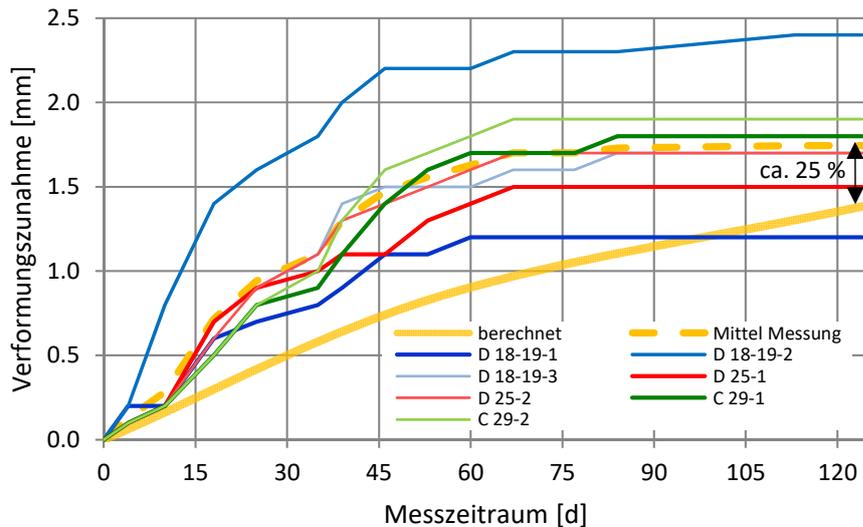


Abbildung 4: Gemessene Zunahmen der Verformungen nach der Fertigstellung des Rohbaus, nach Daten aus [5]

Das Kriechverhalten von PUR-Matten hängt stark von der Auslastung ab und zeigt einen linearen Verlauf bei logarithmischer Skalierung der Zeitachse, siehe Abbildung 5. Da die Belastungen durch den Baufortschritt zunehmen, kann die Verformungszunahme auf der Baustelle (im Gegensatz zu Laboruntersuchungen) bestehend aus Kriechanteil und elastischem Anteil nur abgeschätzt werden.

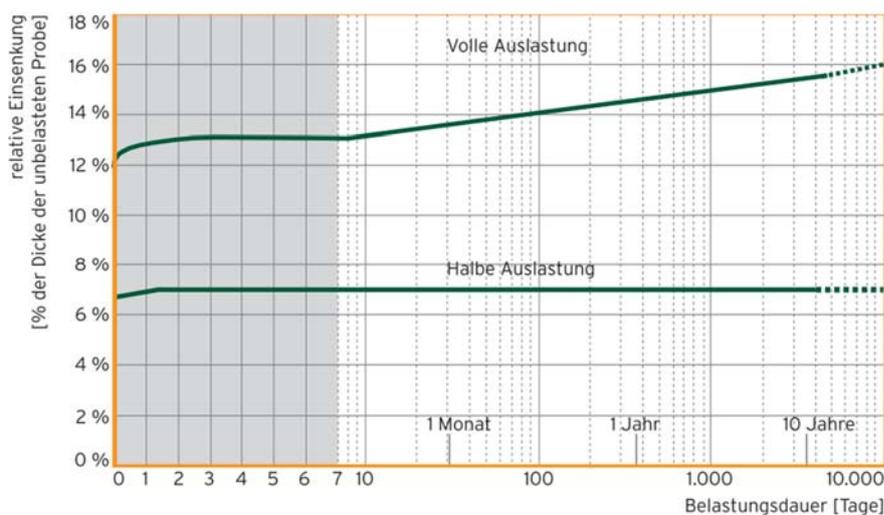


Abbildung 5: Verformungsverhalten von HRB HS3000 unter Langzeitbelastung aus [4]

Die über den Messzeitraum auftretenden Verformungen können wie folgt abgeschätzt werden:

Je nach Auslastungsgrad wird vereinfacht der Kriechanteil der Verformung durch lineare Interpolation zwischen den Werten bei 50 % und 100 % Auslastung (siehe Abbildung 5) ermittelt.

Der Einbau der Lager erfolgte laut [5] ca. einen Monat vor Beginn der Messungen und die Fertigstellung des Rohbaus erfolgte direkt vor Beginn der Messungen. Es wird angenommen, dass die Rohbaulasten etwa kontinuierlich zugenommen haben dürften. Da bei geringer Auslastung der Lager praktisch kein Kriechen auftritt wird als Kriechdauer für die Rohbaulasten vor Beginn der Messungen nur 1/3 der Bauzeit des Rohbaus, also 10 Tage angesetzt.

Während der darauffolgenden 124 Tage der Messungen werden die Ausbaulasten aufgebracht, wobei der größte Zuwachs der Ausbaulasten kurz nach Fertigstellung des Rohbaus stattfand (Bodenaufbau-

ten, Fassade). Vereinfacht wird daher die volle Zeitdauer für die Berechnung des Kriechens angesetzt.

Rechnerisch ergeben sich für die überprüften Lager in Summe Gesamtverformungen von 4.3 bis 5.0 mm, von denen 1.3 bis 1.5 mm während dem Messzeitraum entstehen. Demgegenüber betragen die gemessenen Verformungen während dem Messzeitraum von 124 Tagen 1.2 bis 2.4 mm, im Mittel 1.7 mm. Die gemessenen Verformungen liegen damit rund 25 % höher als die berechneten Werte, die rechnerische Abschätzung wird also gut bestätigt.

Wesentlich wichtiger als die Absolutwerte der Verformungen sind aus Sicht des Statikers die Zunahmen der Verformungen gegen Ende des Messzeitraums bei nahezu voller ständiger Last. Die Werte aller Messpunkte zeigen, dass keine messbaren Verformungszunahmen mehr stattfanden und das Kriechen also abgeklungen ist, was in Abbildung 4 an dem horizontalen Auslaufen der Messkurven ersichtlich ist.

Bauphysikalischen Anforderungen an die elastische Lagerung

Zur Auslegung einer elastischen Lagerung sollte eine Schwingungs- und Körperschallprognose erstellt werden und daraus die erforderliche dynamische Steifigkeit der elastischen Lagerung abgeleitet werden. Diese wird meist stark vereinfacht als „Abstimmfrequenz“ der Lagerung dargestellt, wobei es sich um jene Eigenfrequenz handelt, die sich unter Annahme einer starren Gebäudestruktur und eines unendlich steifen Untergrundes ergeben würde. Je nach Steifigkeit des Gebäudes kann es erforderlich sein, dass jede einzelne Lagergruppe diesen Grenzwert zu erfüllen hat oder dass die Summe aller Lagersteifigkeiten und die Gesamtmasse des Gebäudes für den Nachweis der Einhaltung des Grenzwertes herangezogen werden (Angleichung des Schwingungsverhaltens infolge der Steifigkeit des Gebäudes).

Zur Erstellung der Prognose [2] der spürbaren Schwingungen und des sekundären Luftschalls für das Bauvorhaben in Moosach wurde vom Ingenieurbüro imb-dynamik GmbH jeweils von einem Kernbereich und einem Stützenbereich ein eindimensionales Masse-Feder-Modelle erstellt (nur vertikale Verformungen), siehe Abbildung 6. Über die Federsteifigkeiten werden die Steifigkeiten des Untergrundes, der Wände und Stütze, der Deckenplatten und der elastischen Fuge modelliert. Die Massenpunkte entsprechen den modalen Massen der Bauteile, d.h. jenen Masseanteilen, die bei einer bestimmten Eigenmode der Decke aktiviert werden. Die verschiedenen Eigenmoden der Deckenfelder werden dementsprechend durch mehrere parallele Einmassenschwinger dargestellt.

An den Fußpunkten der Modelle wurden die im Freifeld gemessenen Verformungs-Zeit-Verläufe aufgebracht, wobei die Amplituden entsprechend der Gründungstiefe abgemindert wurden. Zudem wurde durch eine Filterfunktion die Abminderung der hohen Frequenzen infolge der ausgleichenden Wirkung der biegesteifen Bodenplatte berücksichtigt. Da nur eine geringe Zahl von gemessenen Schwingungssignalen zur Verfügung stand, wurden erfahrungsgemäß die KB_{Fmax} -Werte mit 150 % der KB_{Ftm} -Werte abgeschätzt. Die KB_{FT} -Werte wurden durch Zugrundelegung der Zugfahrpläne aus den Einzelvorbeifahrten hochgerechnet.

Die Modelle zeigen für die Gästezimmer in OG 2 bis 5, dass die – mit gewissen Sicherheiten – prognostizierten Schwingungen ohne elastische Lagerung gerade den Mindestanforderungen nach Norm entsprechen würden, jedoch um Faktor 2 über den empfohlenen Schutzziele liegen würden. Die empfohlenen Schutzziele für den sekundären Luftschall von $L_m < 30$ dB(A) bzw. 35 dB(A) für straßen- bzw. bahnseitige Gästezimmer würden ohne elastische Lagerung um 12 dB(A) überschritten. Durch eine elastische Lagerung mit 10 Hz Abstimmfrequenz würden laut Prognose die empfohlenen Schutzziele gerade erreicht.

Gleichzeitig mit der Verringerung der Schwingungen in den Obergeschossen werden durch Reflexion an der elastischen Fuge die hörbaren und spürbaren Schwingungen im EG und 1. OG um ca. 50 % verstärkt [2]. Da in diesen Gebäudeteilen jedoch keine Wohn- oder Schlafräume untergebracht sind, liegen die Grenzwerte wesentlich höher und werden trotz Verstärkung nicht überschritten.

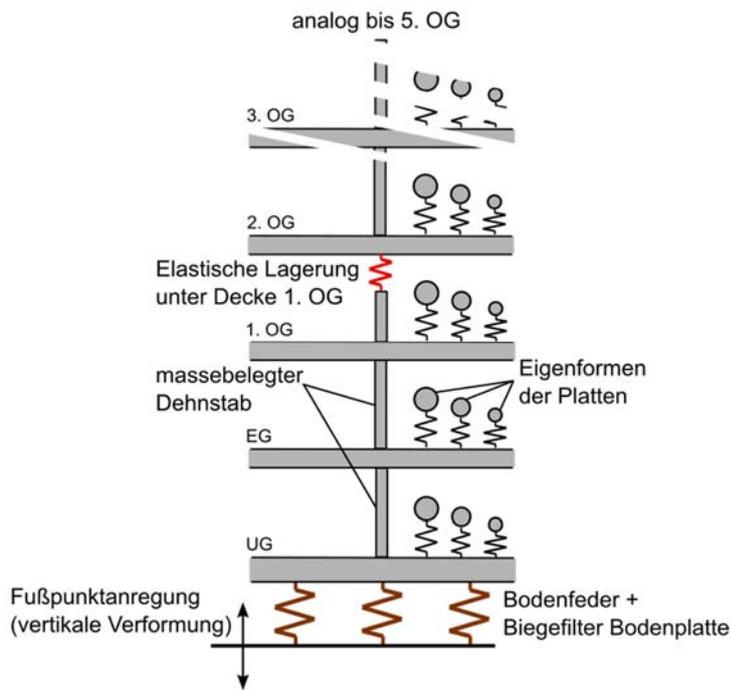


Abbildung 6: Eindimensionales Mehrmassen-Feder-Modell nach [2]

Nach Fertigstellung des Gebäudes wurden Nachmessungen durchgeführt [6], um die Funktionstüchtigkeit der elastischen Lagerung zu prüfen und das Erreichen der Grenzwerte nachzuweisen. Während den Vorbeifahrten von 49 Zügen (davon 19 Güter- und Regionalzüge) wurden an elf Messpunkten im Gebäude die Schwingschnellen gemessen und daraus die KB-Werte der Schwingungen, sowie die aus den Schwingschnellen errechneten L_{max} -Werte des Schalldruckpegels ermittelt. Ein Vergleich der Messwerte mit den Prognosewerten zeigt:

- der maximale, gemessene Wert $KB_{Fmax} = 0.07$ liegt bei ca. 50 % des prognostizierten KB_{Fmax} -Wertes (Prognose $KB_{Fmax} = 0.15$)
- die aus den gemessenen Schwingschnellen abgeleiteten Wert $L_{max} = 35$ dB(A) liegt bei ca. 70 % (minus 3 dB) des prognostizierten Wertes (Prognose $L_{max} = 38$ dB(A))

Es war zu erwarten, dass die Messwerte mit gewissem Abstand unter den prognostizierten Werten liegen, da bei jeder berechneten Prognose Unsicherheiten zu berücksichtigen sind. Aus den oben angegebenen Verhältnissen lässt sich abschätzen, dass der maßgebliche Grenzwert der Schwingungsimmission $KB_{Fim} < 0.1$ (empfohlenes Schutzziel) auch ohne elastische Entkopplung vermutlich gerade eingehalten worden wäre. Bezüglich sekundärem Luftschall wurden bahnseitig Werte von $L_m = 47$ dB(A) bzw. 35 dB(A) ohne bzw. mit elastischer Entkopplung prognostiziert. Reduziert man den Prognosewert um den durch den Vergleich bestimmten Sicherheitsabstand von 3 dB, so liegt der zu erwartende Wert von $L_m = 47 - 3 = 44$ dB(A) immer noch erheblich über dem empfohlenen Schutzziel von 35 dB(A), welches den entscheidenden Grenzwert für die Auslegung der Maßnahme darstellt. Eine schwingungsreduzierende Maßnahme war also tatsächlich notwendig.

Durch die Messungen ist der Unterschied zwischen Modellen und Wirklichkeit bekannt. Mit diesem Wissen ließe sich die Prognose nachträglich entsprechend verfeinern. Für eine Lagerung mit einer Abstimmfrequenz von 12 Hz wäre dann ein Summenpegel von $L_m = 35 \text{ dB(A)}$ zu erwarten (Prognosewerte Stützenbereich 32.5 dB(A) bzw. Kernbereich 40 dB(A), daraus energetisches Mittel = 38 dB(A), korrigiert mit minus 3 dB(A) ergibt 35 dB(A)). Mit dieser reduzierten Lagerung würden demnach alle Grenzwerte gerade eingehalten werden. Diese Aussage ist jedoch nur durch die Auswertung der Messungen möglich und beinhaltet immer noch die Unsicherheiten einer eher geringen Anzahl an Messungen. Ohnedies wäre mit der nächst geringeren Standarddicke der Materialien von 25 mm die zu erwartende Abstimmfrequenz 12.9 Hz und damit zu hoch. Eine Verringerung der schwingungsreduzierenden Maßnahme wäre daher selbst mit einem genaueren Prognosemodell unter Einhaltung der Grenzwerte nicht möglich gewesen.

Zusammenfassung

Anhand des Bauvorhabens „Einkaufszentrum und Hotel Moosach“ wird die Vorgehensweise bei der Planung einer punkt- und linienförmigen, elastischen Lagerung aus statischer und bauphysikalischer Sicht exemplarisch dargestellt. Je nach Nutzung eines Gebäudes kann die Anordnung der Lagerung in einem höheren Geschoss sinnvoll erscheinen und damit aufgrund der geringeren Belastungen und kleineren Lagerflächen zu einer Kosteneinsparung führen. Die damit verbundene punkt- und streifenförmige Lagerung auf hochbelastbaren, elastischen Werkstoffen erfordert jedoch einen größeren planerischen sowie erhöhten ausführungstechnischen Aufwand. Zudem sollte die elastische Trennung der Bauteile in vertikaler und ggf. in horizontaler Richtung durchgezogen werden, um Schallbrücken zu vermeiden. Alle verbindenden Elemente (z.B. Treppenläufe und Rohrleitungen) müssen elastisch isoliert werden.

Die Darstellung der Prognose und Auslegung der Lagerung vor Baubeginn und der Vergleich zu den Schwingungsmessungen am fertigen Bauwerk geben einen Eindruck bzgl. der Wirksamkeit derartiger Lagerungen und bzgl. der Genauigkeit der Prognose. Zudem wird die Stabilität der Lager unter Langzeitbelastung durch Verformungsmessungen und einen Vergleich mit auf Labormessungen basierenden Berechnungen bestätigt.

Elastische Lagerungen mit hochbelasteten Lagerwerkstoffen stellen damit eine technisch sichere und wirtschaftlich oft sinnvolle Alternative zu vollflächigen Lagerungen unter Gebäuden dar.

Quellen:

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik, Bauregelliste, Ausgabe 2015/2, Berlin: DIBt, 2015.
- [2] N. Breitsamter, „BV Hotel mit Einkaufszentrum Moosach, Bahn-Immissionen, Erschütterungs- und Sekundärluftschalltechnische Untersuchung, imb-dynamik-Bericht NR. B301541f,“ imb-dynamik GmbH, Hersching, 2013.
- [3] Getzner Werkstoffe GmbH, „Datenblatt Sylodyn NF,“ Bürs, 2012.
- [4] Getzner Werkstoffe GmbH, „Datenblatt Hochbelastbares Lager HRB-HS3000,“ Bürs, 2010.
- [5] S. Feuerstein und W. Stahl, „Bericht Nr. 3247,“ Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamf für Verkehrswegebau, München, 2015.
- [6] N. Breitsamter, „BV Hotel mit Einkaufszentrum Moosach, Bahn-Immissionen,

Nachmessung der Wirksamkeit der elastischen Lagerung, imb-dynamik-Bericht
Nr. B301542,“ imb-dynamik GmbH, Hersching, 2015.