

Langzeiterfahrungen bei elastischen Gebäudelagerungen mit Sylodyn®

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

Einleitung

Elastische Gebäudelagerungen werden meist vollflächig unter einem Gebäude aber auch als Streifenund Punktlagerung, z.B. auf den Wänden des Kellergeschoßes oder auf Stützen, ausgeführt. Sie können in der Regel nicht unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nachträglich ausgetauscht. Daher muss bereits zu Beginn der Planung unbedingt das Langzeitverhalten der Lagerung unter Last und ggf. unter weiteren äußeren Einwirkungen, wie z.B. drückendes Grundwasser, berücksichtigt werden.

Dabei sind vor allem zwei Aspekte interessant: Zum einen hat das statische Verformungsverhalten unter Dauerlast Einfluss auf die Lastverteilung und damit auf die Tragfähigkeit eines Gebäudes. Zum anderen hat jede Veränderung der Steifigkeit bei dynamischen Beanspruchungen eine Auswirkung auf die Dämmleistung der elastischen Lagerung.

Im Folgenden wird dargestellt, wie die Dauerhaftigkeit von Polyurethanwerkstoffen durch Versuche im Labor und durch Messungen an Gebäuden untersucht und nachgewiesen werden kann. Anhand verschiedener Beispiele wird aufgezeigt, mit welchen Herausforderungen man bei Vergleichsmessungen an Gebäuden konfrontiert ist und inwieweit derartige Messungen aussagekräftige Ergebnisse liefern können.

Fragestellungen von Langzeituntersuchungen

Durch Langzeituntersuchungen wird versucht, das Dauerstandverhalten von elastischen Lagern unter Dauerlast zu darzustellen. Dabei wird zum einen das statische Verformungsverhalten bestimmt. Übermäßige Verformungen von Lagerelementen über die Belastungsdauer können zu folgenden Auswirkungen auf die Gebäudestruktur führen, welche durch die richtige Wahl der Elastomerlager vermieden werden sollten:

- Durch unterschiedliche Verformungen einzelner Lager kommt es zu Lastumlagerungen im Gebäude. Dadurch könnte es zu Überlastungen einzelner Bauteile kommen. Vor allem bei Stützen, deren Versagen sich nicht vorher durch Risse ankündigt, könnte dies eine Gefahr darstellen. Wie groß die zu erwartenden Lastumlagerungen sind, hängt sehr stark von den Steifigkeitsverhältnissen und dem statischen System des Bauwerks ab. Die Auswirkungen sind projektspezifisch vom Tragwerksplaner zu beurteilen.
- Durch ein übermäßiges Kriechen von Lagern könnte es zu Verformungen kommen, die zwar für den Rohbau kein Problem darstellen, jedoch zu Schäden an nichttragenden Bauteilen (z.B. Fassadenelementen oder nichttragende Wände) führen könnten.



- Durch Berücksichtigung der Lagerverformungen wird die Kollision zweier tragender Bauteile und daraus folgende Betonabplatzungen vermieden. Für die Werkstoffe Sylomer® und Sylodyn® wurden im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) [1] vom Deutschen Institut für Bautechnik Kurz- und Langzeitverformungen untersucht und beurteilt.
- Bei geklebten, stahlbewehrten Lagern ist sicherzustellen, dass die Verklebung einer Dauerbelastung standhält und damit die Steifigkeit der Lager aufrechterhalten bleibt.

Zum anderen soll untersucht werden, wie sich die dynamischen Eigenschaften von Elastomerlagern über die Lebensdauer eines Gebäudes verhalten. Dabei könnten nicht nur die Druckbelastung, sondern auch Umwelteinflüsse, wie z.B. drückendes Grundwasser oder Temperaturschwankungen, einen Einfluss haben. Eine Zunahme der dynamischen Steifigkeit würde zu einer Reduktion der Wirksamkeit führen und muss daher ausgeschlossen bzw. berücksichtigt werden.

Sowohl das statische, als auch das dynamische Dauerstandverhalten von PUR Materialien wurde von Getzner im Rahmen von Materialentwicklungen, sowie der Zulassungen [1] der Werkstoffe in zahlreichen Versuchsreihen untersucht [2] [3]. Detaillierte Nachmessungen an elastisch gelagerten Gebäuden über längere Zeiträume wurden bisher aufgrund der sehr eingeschränkten Verfügbarkeit geeigneter Objekte nur vereinzelt durchgeführt. Es besteht jedoch bei den Technikern von Getzner eine breite Basis an projektspezifischen Erfahrungen aus über 700 erfolgreich umgesetzte Gebäudelagerungen mit Sylodyn® und Sylomer®.

Laboruntersuchungen

Das Simulieren von Langzeitbelastungen elastischer Lager ist sehr zeit- und damit kostenintensiv. Zudem sind Untersuchungen des Materialverhaltens immer mit Bezug auf die Anwendung durchzuführen. So ist die Steifigkeitsentwicklung der Materialien im Hinblick auf den Baubereich mit konstanten Lasten zu untersuchen. Im Gegensatz hierzu werden bei Untersuchungen für Anwendungen im Bahnbereich große Lastwechsel aufgebracht, um praxisnahe Ergebnisse zu erzielen.

Eine praktikable Lösung zur Messung der dynamischen Steifigkeit über längere Zeiträume ist die statische Belastung durch Gewichte in mechanischen Prüfständen, wobei die dynamische Steifigkeit über die in Ausschwingversuchen ermittelte Eigenfrequenz gemessen und berechnet wird.



Abbildung 1: Mechanischer Dauerstandversuch der MPA Karlsruhe



Gleichzeitig kann durch diese Prüfungen auch das statische Dauerstandverhalten (Kriechen) über lange Zeiträume ermittelt werden.

Für die Lagerung großer Lasten, z.B. auf Stützen oder Pfahlköpfen, kann es – analog zu herkömmlichen, stahlbewehrten Gummilagern – in Einzelfällen erforderlich sein, den Formfaktor der Lager und damit ihre Tragfähigkeit durch eingelegte Bewehrungsbleche zu erhöhen, Abbildung 2. Dabei werden erhebliche Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Klebefugen gestellt: gerade an den Rändern ist die Pressung im Lager am geringsten, aber die Schubverzerrung am größten (seitliches Ausbauchen). Ein Versagen der Fuge würde zu einem – wenn auch geringen – plötzlichen Nachgeben der Lager und zu einer Erhöhung der dynamischen Steifigkeit führen.



Abbildung 2: Oben, stahlbewehrte Elastomerlager für quasi ständige Lasten bis 15 MN bei Pressungen bis 9.4 N/mm² für das Projekt Southbank Place, London; rechts, Prüfung eines Prototypen bis zum 2.5-fachen der quasi ständigen Lasten (maximal 20.5 MN), Ruhr Universität Bochum: das Lager wird im UG auf der verschiebbaren Belastungsfläche (im Bild rechts unten) aufgelegt und dann über den Prüfzylinder geschoben.



Zusätzlich zu dem 1-zu-1-Versuch an einem Lagerprototyp wurden weitere Belastungsversuche an kleineren bewehrten Versuchslagern, sowie Abzugversuche an künstlich gealterten Elastomerproben verklebt auf Stahlplatten durchgeführt. Aufgrund der positiven Versuchsergebnisse und der Tatsache, dass der Klebstoff eines namhaften Klebstoffherstellers für die Verbindung ähnlicher Materialien über viele Jahre in der Industrie erprobt ist, kann von einer dauerhaften Tragfähigkeit der Klebefuge ausgegangen werden.

Messung von Langzeitverformungen an Gebäudelagerungen

Für den Nachweis der Tragfähigkeit müssen Steifigkeitsverhältnisse von tragenden Bauteilen ebenso berücksichtigt werden, wie auch Lagerverformungen. Bereits Stauchungen von z.B. 3 - 5 mm einer raumhohen Stahlbetonstütze können maßgebende Auswirkungen auf die Auslastung dieser haben. Umso wichtiger ist eine genaue Kenntnis über das Verformungsverhalten der eingesetzten Elastomerlager.



Die Lagerverformungen treten nicht plötzlich auf, sondern sind von der Auslastung und damit vom Baufortschritt abhängig. Zudem ändern sich die Steifigkeitsverhältnisse im Gebäude während der Bauzustände. Welchen Einfluss die jeweiligen Anteile der Lagerverformungen auf die Lastverteilung haben, ist daher vom Tragwerksplaner zu beurteilen.

Von Vorteil ist jedoch in jedem Fall,

- wenn die Verformungen in der horizontalen elastischen Fuge möglichst gleichmäßig sind, da sie dann die Lastverteilung nicht beeinflussen und
- wenn die Verformungszunahmen nach Fertigstellung des Rohbaus möglichst rasch abklingen, damit nichttragende Bauteile, wie z.B. Fassadenelemente, nicht beeinträchtigt werden.

Eine genaue Berechnung der Lagerverformungen während der Bauphase ist aufgrund des zunehmenden Auslastungsgrades nur bei genauen Materialkenntnissen möglich. Beim Projekt "Hotel und Einkaufszentrum Moosach" bei München wurde vom Prüfstatiker eine Messung der Lagerverformungen über 120 Tage ab Fertigstellung des Rohbaus verlangt, siehe Abbildung 3, da die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [1] für die Materialien zu diesem Zeitpunkt noch nicht erteilt war.

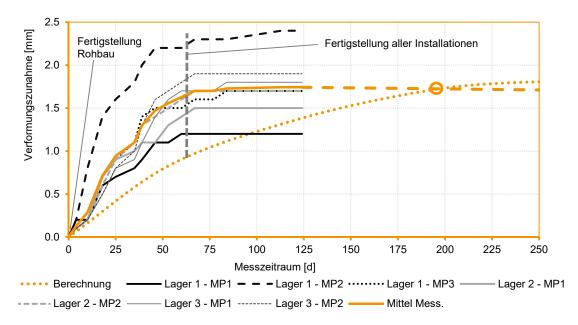


Abbildung 3: Messung der Lagerverformungen an drei Lagerungspunkten (Material HRB HS3000 mit Dicke 37.5 mm) nach Fertigstellung des Rohbaus; am Ende des Messzeitraums von 120 Tagen war die Verformungszunahme bei allen Lagern abgeklungen.

Durch diese Messungen konnte die Dauerhaftigkeit der Materialien aus statischer Sicht im praktischen Einsatz gezeigt werden: Nach der Aufbringung der letzten Lasten klingen die Lagerverformungen rasch ab und es ist mit keiner nennenswerten weiteren Zunahme der Verformungen zu rechnen.

Herausforderungen bei Wirksamkeitsmessungen an Gebäuden

Wesentlich schwieriger als der messtechnische Nachweis aus statischer Sicht ist der Nachweis der schwingungstechnischen Wirksamkeit vor allem über längere Zeiträume. Die Messung der Wirksamkeit der elastischen Lagerung von Gebäuden gestaltet sich insofern komplex, als Vergleichsmessungen ohne Lagerung in der Regel nicht möglich sind. Im Gegensatz dazu wäre z.B. bei Sanierungsmaßnahmen zur Schwingungsisolierung von Bahnstrecken oder Maschinen ein direkter Vergleich mit bzw. ohne Lagerung durchführbar. Die Wirksamkeit kann daher nur durch Vergleich der Schwingungen in zwei



ähnlichen Gebäuden mit bzw. ohne elastischer Entkopplung bei möglichst ähnlicher Anregung bestimmt werden. Eine derartige Untersuchung wurde am Objekt Arnulfpark im Jahr 2010 durchgeführt [2] und im Zuge der Erstellung einer Langzeitreferenz Ende 2016 wiederholt, siehe unten.

Der einfachste Ansatz des Vergleiches, z.B. der Schwingschnellen auf einer gelagerten Struktur nach der Erstellung und Jahre später, scheint auf den ersten Blick naheliegend. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Anregungen in der Regel über längere Zeiträume stark ändern können. Folgende Ursachen für Veränderungen von Anregungen oder Herausforderungen bei Messungen können immer wieder festgestellt werden:

- Bei Anregungen durch Bahnverkehr spielt der Schienenzustand eine erhebliche Rolle. Bei stark befahrenen Strecken kann es sein, dass die Schienen mehrmals im Jahr geschliffen werden. Durch Schienenschleifen wird das Anregungsspektrum stark beeinflusst, siehe Abbildung 4.
- Die Qualität des Schotteroberbaus und der Gleislage haben großen Einfluss auf die Stärke der Schwingungsanregungen. Schädigungen und Unstetigkeiten des Oberbaus führen bei jahrelanger Belastung zu zunehmenden Schwingungsanregungen. Die Schwingungsbelastung kann daher vor allem bei älteren Strecken abschnittsweise stark unterschiedliche sein.
- Die Tageszeit der Messung kann insofern einen erheblichen Einfluss auf die Anregungsstärke aus Bahnverkehr haben, als die Achslast durch die Passagiere in Stoßzeiten um ca. 50 % höher liegen können als zu Randzeiten.
- Änderungen der Zugtypen oder der Qualität der Radsätze können einen Einfluss auf das Anregungsspektrum durch Bahnverkehr haben.
- Der Grundwasserstand kann einen erheblichen Einfluss darauf haben, wie gut Schwingungen im Boden übertragen und an ein Gebäude abgegeben werden. Schwankt der Grundwasserstand mit den Jahreszeiten und steht das Fundament eines Gebäudes nur zeitweise im Grundwasser, so ist der Schwingungseintrag in das Gebäude stark vom Pegelstand abhängig.
- Durch Frost kann die oberste Bodenschicht stark versteift werden, so dass Schwingungen besser übertragen werden und weniger Schwingungsenergie in den Untergrund abgestrahlt wird (Baugrunddämpfung). Dadurch kann es vorkommen, dass z.B. in einem Gebäude Vibrationen aus Bahnverkehr im Winter als sehr störend empfunden werden, im Sommer aber kaum spürbar bzw. hörbar sind.
- Nutzungsänderungen von Gebäuden oder Sicht- bzw. Brandschutzverkleidungen können die Zugänglichkeit von früheren Messpunkten verhindern. Auch können Messwerte, welche am Rohbau gewonnen wurden, nicht in allen Frequenzbereichen mit Messungen an Decken mit aufgebrachtem Estrich verglichen werden.
- Nutzungsgeräusche wie Lüftungs- oder Heizungsanlagen, welche bei Initialmessungen nicht in Betrieb waren oder auf einer anderen Betriebsstufe liefen, können die Auswertung deutlich erschweren.
- Vergleiche von Messungen des Schalldruckpegels aus sekundärem Luftschall lassen sich nur bedingt für einen Vergleich heranziehen, da der Schalldruck stark durch Änderungen der Möblierung und der Oberflächen beeinflusst wird.
- Die Anregung durch Maschinen kann sich über mehrere Jahre erheblich ändern, da Anregungen aus stark beanspruchten Bauteilen wie z.B. Maschinenlager und Rotorblätter durch Abnützungen verstärkt werden.



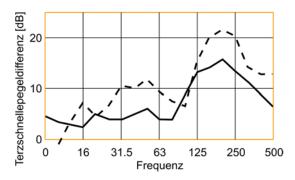


Abbildung 4: Einfluss von Schlupfwellen auf den Schnellepegel an der Tunnelwand, durchgezogen = Differenz vor zu nach dem Schienenschleifen, gestrichelt = Differenz 15 Monate nach zu unmittelbar nach dem Schienenschleifen [4]

Aufgrund dieser Einflüsse ist für die korrekte Interpretation von vergleichenden Messungen vor und nach Sanierungsmaßnahmen viel Erfahrung erforderlich. Wie am Beispiel des Projekts Arnulfpark unten gezeigt werden kann, sind diese Einflüsse meist derart stark, dass ein Vergleich von Absolutwerten von Schwingschnellen oder Schalldruckpegeln über mehrere Jahre als Nachweis der Dauerhaftigkeit einer elastischen Lagerung nicht sinnvoll ist. Diese sollte daher immer durch einen Vergleich von Relativwerten (z.B. die Schwingschnelle auf dem gelagerten Gebäude gegenüber jener an einem Referenzpunkt) nachgewiesen werden. Ein Vergleich von Absolutwerten über längere Zeiträume und gegenüber den erlaubten Grenzwerten kann zeigen, wie sich die Situation für die Nutzer verändert hat.

Langzeiterfahrungen beim Wasserkraftwerk Hochwuhr, Feldkirch

Beim Neubau des Wasserkraftwerks Hochwuhr, Feldkirch, Österreich, in den Jahren 2001 bis 2004 wurde der gesamte innere Block der Anlage, in welchem sich die zwei Turbinen mit Generatoren (Gesamtleistung 2 MW) befinden, elastisch gelagert, Abbildung 5. Dies war nötig, da der geringste Abstand des Gebäudefundaments zum Laufrad nur 13 m beträgt. Durch die Lagerung werden Störungen durch sekundären Luftschall im benachbarten Altbau mit Wohnungen, Büro- und Geschäftslokalen vermieden.

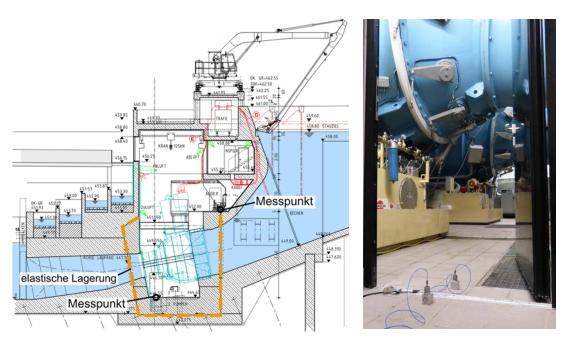


Abbildung 5: links, Schnitt durch das Kraftwerk mit Darstellung der elastischen Fuge (unter Verwendung eines Planausschnitts von ILF Beratende Ingenieure); rechts, Messpunkte beiderseits der Fuge zwischen elastisch und starr gelagerter Struktur



Die Sohlplatte ruht auf einer streifenförmigen Lagerung mit 50 mm Dicke. Die Seitenwände wurden mittels einer 25 mm dicken vollflächigen Lagerung entkoppelt, über die auch die Horizontalkräfte der Turbinen übertragen werden. Für die Auslegung der Lagerung wurde eine Schwingungsprognose erstellt, im Zuge derer die dominanten Anregungsfrequenzen des Anlagentyps zusammengestellt wurden.

Beschreibung:	1. harmonische	2. harmonische	3.harmonische
Turbine $n_T = 239^{1/min}$	$f_{T,1} = 3.98 \text{ Hz}$	$f_{T,2} = 7.97 \text{ Hz}$	$f_{T,3} = 12.0 \text{ Hz}$
Generator $n_G = 750^{-1}/m_{min}$	$f_{G,1} = 12.5 \text{ Hz}$	$f_{G,2} = 25 \text{ Hz}$	$f_{G,3} = 37.5 \text{ Hz}$
Kegelrad Anz. Zähne Z_{KR} = 50 (n_T)	$f_{Get,1} = 199 \text{ Hz}$	$f_{Get,2} = 398 \text{ Hz}$	$f_{Get,3} = 598 \text{ Hz}$
Laufradschaufeln Anz. Z_{LR} = 5 (n_T)	$f_{LR,1} = 19.9 \text{ Hz}$	$f_{LR,2} = 39.8 \text{ Hz}$	$f_{LR,3} = 59.8 \text{ Hz}$
Leitschaufeln Anz. $Z_{LA} = 13$	$f_{LA,1} = 51.8 \text{ Hz}$	$f_{LA,2} = 104 \text{ Hz}$	$f_{LA,3} = 155 \text{ Hz}$

Tabelle 1: dominante Anregungsfrequenzen des Anlagentyps aus [5]

Die maßgeblichen Anregungen sind im Schmalbandspektrum, Abbildung 6, gut zu erkennen: die erste und zweite Harmonische der Anregungen aus dem Generator bei 12.5 und 25 Hz, sowie die Anregungen des Kegelrads bei 200, 400 und 600 Hz.

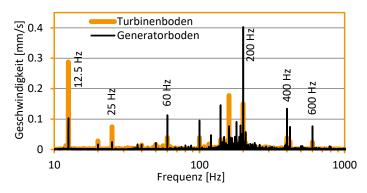
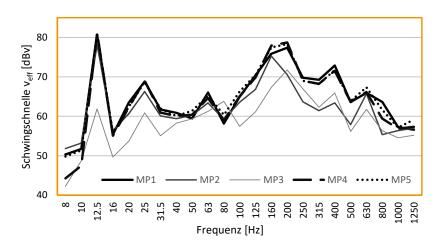


Abbildung 6: Schmalbandspektrum der Messungen im Bereich Generatorboden und Turbinenboden auf dem elastisch gelagerten inneren Blocks des Bauwerks

Im Zuge der Nachmessungen im Jahr 2015 wurden die Messungen nach Fertigstellung im Jahr 2005 [5] wiederholt. Dabei wurde auch untersucht, wie stark der Einfluss der Positionierung der Beschleunigungsaufnehmer sein kann. Obwohl es sich bei dem gelagerten, inneren Block des Bauwerks um eine sehr massive Betonstruktur mit einer Bodenplattendicke von 1.5 m und Seitenwänden mit Dicken zwischen 1.1 und 1.9 m handelt, hat die Position des Sensors einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis, Abbildung 7. Die Messpunkte nahe dem Türrahmen und in der Mitte der Tür zeigen näherungsweise die gleiche Signalstärke, die Schwingschnellen des Sensors am Boden unter der Turbine und an der Wand zwischen den beiden Turbinen sind interessanterweise wesentlich geringer. Da die Messungen vom Jahr 2005 mit Bildern genau dokumentiert waren, konnten für die Nachmessungen exakt die gleichen Positionen verwendet werden.





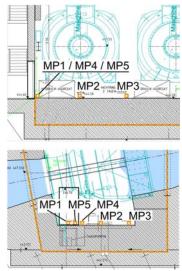


Abbildung 7: links: Schwingschnellen Turbinenboden gemessen links, mittig und rechts der Tür (a2, d2 und e2), im Raum unter der Turbine (b2) und an der Wand zwischen den Turbinen (c2), rechts: Quer- und Längsschnitt durch den Turbinenraum mit Angabe der Sensorpositionen, Planausschnitt von ILF Beratende Ingenieure

Dies zeigt deutlich, dass bereits bei der Erstmessung nach Fertigstellung darauf geachtet werden sollte, dass die Messpunkte so gewählt werden, dass sie auch bei einer späteren Messung wieder zugänglich sind.

Ein Vergleich der in Abbildung 8 dargestellten Absolutwerte der Messungen aus den Jahren 2005 und 2015 auf der starr und der elastisch gelagerten Struktur zeigt folgendes: Die Messwerte von 2015 lagen im Bereich von 8 bis 160 Hz wesentlich höher und im Bereich von 160 bis 500 Hz wesentlich tiefer als die entsprechenden Werte von 2005 (sowohl auf der elastisch gelagerten Struktur, als auch auf der starr gelagerten). Obwohl es sich um die gleiche Anlage handelt, welche in einem ähnlichen Lastbereich betrieben wurde, lässt sich aus einem direkten Vergleich der Absolutwerte nicht auf eine Veränderung der elastischen Lagerungsbedingungen schließen.

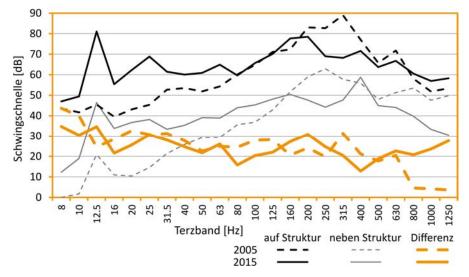


Abbildung 8: Schwingschnellen gemessen am Turbinenboden; Werte aus den Jahren 2005 [5] und 2015

Betrachtet man jedoch die Pegeldifferenzen zwischen dem elastisch gelagerten und dem starr auf dem Untergrund gelagerten Bereich, so zeigt sich, dass diese Differenzwerte über den gesamten Frequenzbereich bei beiden Messungen jeweils in einem ähnlichen Bereich liegen. Daraus lässt sich schließen, dass das Übertragungsverhalten bzgl. der Schwingungsanregung im gesamten Frequenzbereich in



etwa unverändert ist und daher von einer gleichbleibend hohen Wirksamkeit der elastischen Entkopplung ausgegangen werden kann.

Langzeiterfahrung beim Wohn- und Bürogebäude Arnulfpark, München

Das Areal Arnulfpark in München, auf welchem in den vergangenen Jahren zahlreiche größere Gebäude entstanden sind, liegt längs der stark befahrenen Bahnlinien, welche zum Hauptbahnhof führen. Ein Bauherr hat zwei benachbarte Gebäude errichten lassen, wobei der westlich gelegene Bürobau nicht elastisch gelagert wurde, der östlich gelegene Wohnbau jedoch schon. Da angenommen wurde, dass die Schwingungsanregungen, welche von den Bahnlinien ausgehen, für beide Gebäude etwa ähnlich sind, wurden im Mai 2010 nach Fertigstellung der Rohbauten Vergleichsmessungen durchgeführt. Geht man des Weiteren davon aus, dass das Schwingungsverhalten der Gebäude in den beiden Untergeschossen etwa ähnlich ist und die Anregung beider Gebäude gleich ist, so kann die Pegeldifferenz der beiden Gebäude als Einfügedämmung verstanden werden.

Dabei wird vorausgesetzt, dass die unterschiedliche Ausbildung der oberirdischen Geschoße (der Bürobau hat drei Obergeschosse bis zur Gebäudekante, der Wohnbau hat bahnseitig keine Obergeschosse, zur Straße hin aber 13 Obergeschosse) keinen wesentlichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten der Untergeschosse hat. Die beiden Gebäude sind in den Tiefgaragen verbunden – was die Messungen erheblich erleichtert – jedoch durch eine elastische Fuge schwingungstechnisch vollständig elastisch getrennt.



Abbildung 9: Situation der benachbarten Gebäude, gestrichelt die elastische Fuge zwischen den Gebäuden

Für den Vergleich wurden nur die Signale von Zügen auf den ersten beiden Gleisen verwendet (S-Bahn, Typ ET 423/425), da das dritte und vierte Gleis vor dem Bürobau von der geraden Strecke in Überwerfungsbauwerke übergehen. Bei den Nachmessungen im Dezember 2016 wurden vor beiden Gebäuden Beschleunigungssensoren auf Erdspießen angebracht. Durch einen qualitativen Vergleich beider Signale konnten die Vorbeifahrten von Zügen auf dem dritten und vierten Gleis gut erkannt und damit nicht berücksichtigt werden (Züge auf den ersten beiden Gleisen zeigen etwa gleichstarke Signale bei den Sensoren auf den Erdspießen, bei Zügen auf dem dritten oder vierten Gleis sind die Signale beim Wohnbau wesentlich stärker). Ein Zugprotokoll war daher nicht notwendig.

Alle Sensoren waren in der Nähe von steifen Wandscheiben angebracht, da nur die "Starrkörperschwingungen" der Gebäude erfasst werden sollten, jedoch nicht die Verstärkungen der Schwingungen durch Deckenresonanzen. Bei der Nachmessung wurden die Sensoren in beiden Tiefgaragen nahezu an denselben Positionen angebracht, an welchen sie bei der vorangegangenen Messung im Jahr 2010 auch



angebracht waren. Teilweise war dies jedoch nicht exakt möglich, da mittlerweile Doppelparker installiert sind, bzw. ein Kellerraum nicht zugänglich war.

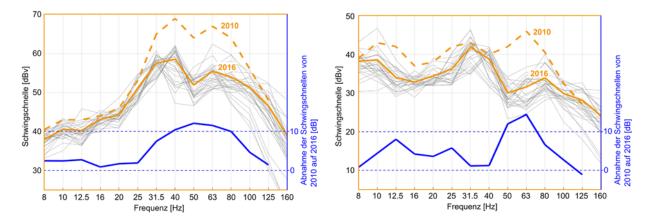


Abbildung 10: Darstellung der Schwingschnellen gemessen (links) an der Geländeoberfläche vor dem Wohnbau und (rechts) im 2. UG des starr gelagerten Bürobaus; orange gestrichelt = Mittelwert der Messwerte von 2010, orange durchgezogen = Mittelwert der Messwerte von 2016, blau = Differenz der Mittelwerte

Der Vergleich der Absolutwerte der Schwingschnellen beider Messzeitpunkte zeigt, dass die Signale im relevanten Frequenzbereich zwischen 25 und 80 Hz bei der Nachmessung um teilweise mehr als 10 dB geringer waren. Recherchen haben ergeben, dass der Grundwasserspiegel bei der Nachmessung um 25 cm höher war (ca. 50 cm über UK Bodenplatte) und daher, wenn überhaupt, eher ein etwas stärkeres Signal zu erwarten wäre. Der starke Unterschied konnte daher nur auf eine Veränderung der Anregung zurückgeführt werden.

Laut Deutscher Bahn waren die Oberbauten beider Gleise im Jahr 2010 bereits etwa 30 Jahre alt und in einem sehr schlechten Zustand. Im Jahr 2012 wurde bei beiden Gleisen eine Neulage durchgeführt. Zudem werden derzeit die Gleise zweimal im Jahr geschliffen, was einen erheblichen Einfluss auf die Schwingungsemission hat. In früheren Jahren wurde in der Regel seltener, dafür intensiver geschliffen.

Angesichts der wesentlich schlechteren Qualität des Oberbaus im Jahr 2010 wäre es durchaus denkbar, dass ein Gebäude infolge einer schlechteren Gleisqualität in diesem Bereich eine stärkere Anregung erfahren hat als das andere. Sehr wahrscheinlich war eine lokale Verschlechterung der Gleislage im Bereich vor den Gebäuden infolge eines Schienenschweißstoßes (im Innerstädtischen Bereich etwa alle 60 Meter) vorhanden. Diese Vermutung wird unterstützt durch den Vergleich der Schwingschnellen an der Geländeoberfläche (Abbildung 10 links) und den Schwingschnellen im Untergeschoss des nicht elastisch gelagerten Bürobaus (Abbildung 10 rechts). Wäre die Anregung beider Gebäude zu beiden Messzeitpunkten etwa gleich gewesen, so müsste auch die Differenz der Mittelwerte der Anregungen (blaue Linien) etwa gleich sein. Die Pegeldifferenzen sind jedoch bei 31.5 und 40 Hz stark unterschiedlich.

Infolge dieser Unsicherheiten und der starken Änderung des Anregungsniveaus können die berechneten Pegeldifferenzen beider Gebäude nur als Schätzwert der Einfügedämmung verstanden werden, siehe Abbildung 11. Die dargestellten Kurven lassen darauf schließen, dass die elastische Lagerung mit Sylodyn® im drückenden Grundwasser nach wie vor eine Lösung darstellt, die weit über den gestellten Anforderungen liegt.



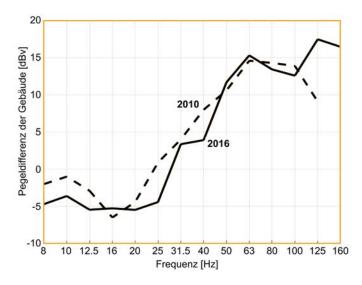


Abbildung 11: Mittelwerte der Pegeldifferenzen der Schwingschnellen der beiden Gebäude, gestrichelt = Messung Mai 2010 durch Möhler und Partner aus [6], durchgezogen = Messung Dez. 2016 durch Getzner Werkstoffe

Zusammenfassung

Die Erfahrungen mit Versuchen zum Langzeitverhalten von Gebäudelagerungen – durch Laborversuche und durch Messungen an Gebäuden – zeigen, dass gewisse Unsicherheiten berücksichtigt werden müssen. Zum einen ist es aufwändig, reale Bedingungen im Labor nachzustellen. Zum anderen ist bei Messungen an Gebäuden damit zu rechnen, dass es unwahrscheinlich ist, nach vielen Jahren nahezu identische Bedingungen vorzufinden. Durch eine genaue Kenntnis der Anregung und Verwendung fixierter, zugänglicher Messpunkte am Gebäude könnte die Genauigkeit von Vergleichsmessungen verbessert werden. Reine Vergleiche der Absolutwerte, egal ob Schwinggeschwindigkeiten oder Sekundärluftschallpegel, lassen keinen eindeutigen Rückschluss auf das Langzeitverhalten der Elastomerlager zu. Am Beispiel Arnulfpark konnte ebendiese Herausforderung aufgezeigt werden. Durch die Vergleichsmessungen an Gebäuden konnte bestätigt werden, dass elastische Gebäudelagerungen im drückenden Grundwasser mit dem geschlossenzelligen Werkstoff Sylodyn® effiziente Lösungen darstellen, welche selbst nach vielen Jahren die geforderte Wirksamkeit besitzen.

Quellen:

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik, "Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung /-16.8-468," Berlin, 2016.
- [2] R. Zindler und M. Tecklenburg, "Elastische Lagerung von Gebäuden in drückendem Grundwasser. Kriterien für die Funktionalität, Ausführung, Ergebnisse.," VDI-Fachtagung Baudynamik, Kassel, 2012.
- [3] R. Wettschureck, M. Heim und M. Tecklenburg, "Langzeitwirksamkeit von Getzner-Unterschottermatten," ICSV10 10th International Congress on Sound and Vibration, Stockholm, 2003.
- [4] R. G. Wettschureck, G. Hauck, R. J. Diehl und L. Willenbrink, Taschenbuch der Technischen Akustik, Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- [5] H. Schmid, "Wasserkraftwerk Hochwuhr der Stadtwerke Feldkirch," Bautechnik 82 (2005), Heft 12, Berlin, 2005.



[6] R. Liegl und H. Högg, "Erschütterungstechnische Untersuchung - Elastische Gebäudelagerung beim BVH Arnulfpark in München, Bericht Nr. 800-3164," Möhler + Partner, München, 2010.