

Schwingungsisolierung grosser Wohn- und Bürobauten mit bewehrten Elastomerlagern

Konzeption, Umsetzung und Details der Objekte Seesicht, Vitznau und QMP, Stuttgart

Dr.-Ing. U. Gerhaher, mageba SA, Bülach, CH

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat, vor allem aufgrund der verdichteten Bauweise im innerstädtischen Bereich, der Bedarf an Schwingungsisolierungen mehrgeschossiger Gebäude stark zugenommen. Es handelt sich dabei meist um Isolationen gegen Schwingungen aus dem Untergrund – z.B. aus Bahnverkehr – oder um Isolation vom Wohnbereich in den oberen Geschossen gegenüber einer Geschäftsnutzung im Erdgeschoss.

Bei Anordnung der elastischen Fuge oberhalb des Untergeschosses oder höher ist meist eine flächige Ausführung der Dämmschicht aufgrund der dafür erforderlichen Deckenstärken nicht ausführbar. Eine Anordnung nur unter Wänden und Stützen würde die maximal zulässigen, ständigen Pressungen von ca. 1.5 bis 2 N/mm² von üblichen, flächigen Lagerungsmaterialien (z.B. Megamat ME 950 oder Sylodyn NF) überschreiten. Daher werden höhere Lasten in der Regel linienförmig oder punktuell unter den Wänden und Stützen über hochbelastbare Punktlager abgetragen. Hierfür eignen sich Stahlfederelemente oder bewehrte Elastomerlager, welche auch bei den im Folgenden vorgestellten Projekten verwendet werden.

Die Schwingungsisolierung grosser Wohn- und Geschäftsbauten soll im Folgenden an zwei Praxisbeispielen dargestellt werden, die kurz vor Fertigstellung des Rohbaus stehen.

1.1 Residenz Seesicht, Vitznau

Bei dem Wohnbau „Residenz Seesicht“ in Vitznau (CSL Partner Architekten, Zug; Abbildung 1), handelt es sich um einen viergeschossigen Wohnbau, an welchen ein eingeschossiger Garagenbereich und ein Bereich mit eingeschossigen, luxuriösen Bungalows anschliesst. Der Neubau wird derzeit am Vierwaldstättersee auf einem Depot der Rigi Bahnen AG errichtet, einer Stahlbetonkonstruktion mit ca. 6.5 m Höhe (punktgestützte Fachdecke im Hallenbereich, erste Eigenfrequenz der Decke ca. 8.7 Hz; liniengelagerte Flachdecken im Bürobereich).



Abbildung 1: Projekt Seesicht, Vitznau, Animation; Quelle: CSL Architekten

Im Rahmen der Projektplanung wurden Schwingungsmessungen auf der Bestandsdecke (ehemaliges Parkdeck) und eine Schwingungsprognose unter Verwendung des Programms VIBRA durchgeführt. Die Messungen zeigten eine relativ tiefe, dominante Anregung bei ca. 16 Hz infolge der geringen Fahrtgeschwindigkeiten und des Zahnradantriebs.

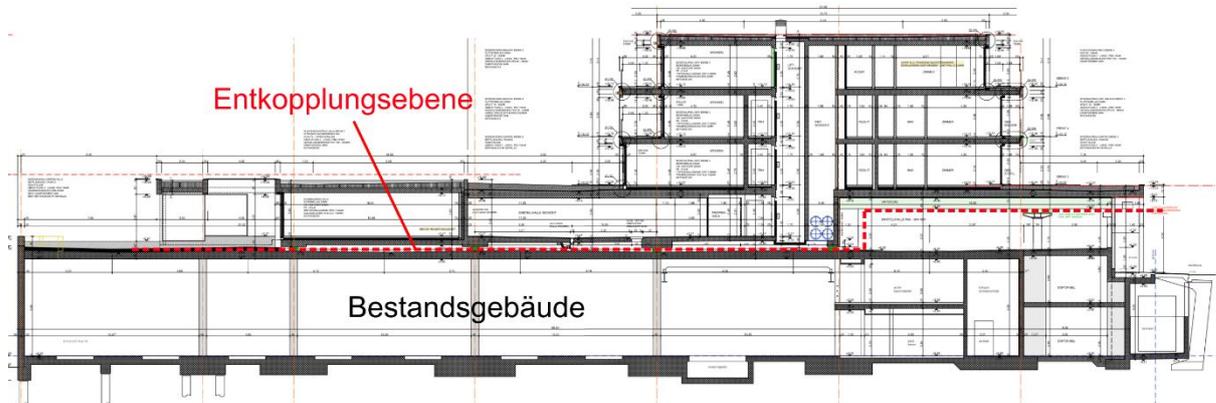


Abbildung 2: Projekt Seesicht, Vitznau, Schnitt: unten Bestandsgebäude, oben entkoppelter Neubau;
Quelle: CSL Architekten

Die vertikale, elastische Lagerung des Neubaus erfolgt über Gruppen von bewehrten Elastomerlagern, welche fast ausschliesslich im Bereich der darunterliegenden Stützen und Wände angeordnet sind, um die Bestandsdecke nicht zu belasten. Über die Lager wurden Ortbetonriegel betoniert, auf welchen die Bodenplatte des Neubaus aufliegt und die aufgehenden Wände stehen.

Aufgrund der extrem niedrigen Auslegung der Eigenfrequenz der gelagerten Struktur kleiner 6.6 Hz (inklusive Langzeiteffekte) war es erforderlich, relativ voluminöse Lager mit grossen Schichtdicken zu verwenden, was grosse Herausforderungen an die Herstellung der Lager stellte. Es wurden 257 Lager mit Seitenlängen bis 530 mm und Höhen bis 240 mm für die vertikale Lastabtragung verwendet. Die horizontale Aussteifung des Gebäudes (siehe auch 5.2) erfolgt über Schubelemente aus Stahl (siehe Abbildung 8), deren je zwei Stahlteil an der Bestandsdecke und der Bodenplatte des Neubaus durch Kopfbolzendübel und Zuganker befestigt wurden. Zwischen den Stahlteilen wird die Horizontalkraft in zwei oder vier Richtungen durch insgesamt 44 bewehrte Elastomerlager übertragen.

1.2 Quartier am Mailänder Platz QMP, Stuttgart

Bei der Bebauung des Quartiers am Mailänder Platz, Stuttgart (Architekturbüro RKW Rhode Kellermann Wawrowsky Architektur + Städtebau, Düsseldorf), handelt es sich um einen Stahlbetonbau, in dessen unteren Stockwerken jeweils Geschäftslokale angesiedelt werden (Abbildung 3). Die gesamte Fläche darüber in ca. zehn Metern über Strassenniveau (Grundfläche von ca. 30'000 m²) wurde als Bauplatz für Wohn-, Büro- und Hotelbauten verkauft. Um Lärmbelästigungen in den oberen Geschossen, z.B. infolge von Umbauarbeiten der Ladenbereiche, zu vermeiden, wurde eine elastische Lagerung der gesamten oberen Geschosse vorgesehen.



Abbildung 3: Projekt QMP, Stuttgart; oben: Modellansicht von Norden; unten: Baustelle von Süden; Quelle: www.milaneo.com

Die Abtragung der Horizontallasten wurde im Hotel und in den Wohnbauten über schallentkoppelte Horizontallager gelöst. Beim Bürobau erfolgt die horizontale Aussteifung über den durchgehenden Treppenhauskern, an welchen die Geschossdecken starr angeschlossen sind. Der zu erwartende, geringere Schallschutz zumindest im Bereich um die Kerne wird in Kauf genommen; es kann vermutet werden, dass die Dämmwirkung der Lager im Bürobau durch die starre Ankopplung an die Kerne weitgehend aufgehoben wird.

Es wurden insgesamt ca. 2500 bewehrte Elastomerlager, mit Seitenlängen bis 500 mm und mit Höhen von 55 bis 70 mm für die Entkopplung der vertikalen Lastabtragung eingebaut. Der Maximalwert der ersten, vertikalen Eigenfrequenz der gelagerten Gebäude ist auf 12.5 Hz festgelegt. Für die horizontale Lastabtragung wurden 890 Lager eingebaut. Da die Breiten der Lager in vielen Fällen beschränkt waren und die Lagerabmessungen optimiert werden mussten, lag die Wiederholungszahl im Durchschnitt nur bei ca. sieben. Dies bedeutet einen enormen Aufwand für die Anpassung der Vulkanisationsformen und für die Sicherstellung des reibungslosen Ablaufs von der Abstimmung mit den Tragwerksplanern, der Produktion, der Lieferung bis hin zur Verteilung auf der Baustelle.

2 Vorgaben der Bauphysik

Die Problematik bei der Bemessung von elastischen Gebäudelagerungen besteht darin, dass zwar im fertigen Gebäude bestimmte Grenzwerte bzgl. Körperschall und spürbaren Schwingungen einzuhalten sind, es aber seitens der Normung kein Prognosemodell gibt. Da die dynamische Bemessung der Lager in der Regel auf dem Ein-Massen-Schwinger-Modell beruht, ist die Angabe einer einzuhaltenden Eigenfrequenz für die vertikale Lagerung notwendig. In der Regel wird das dynamische Verhalten der

Gebäude nicht mittels Finiter-Element-Methode für die Gesamtstruktur bestimmt. Stattdessen werden die abzutragenden Lasten in Lastgruppen zusammengefasst, welche – auf der sicheren Seite – jede getrennt für sich betrachtet werden. Dabei wird angenommen, dass aus den ständig wirkenden Lasten (in der Regel Eigengewicht + 20 bis 30 % der Nutzlasten nach Norm) entsprechende, starre Massen abgeleitet werden können. (Anmerkung: Diese Annahme mag bei Gebäuden ausreichend genau sein, kann jedoch bei der Lagerung von Strukturen mit elastischen Komponenten z.B. bei Kranbahnträgern oder Brücken nicht mehr herangezogen werden.)

Im Fall des Projekts Seesicht wurde im Auftrag des Bauherrn eine Prognose basierend auf der Auswertung von Schwingungsmessdaten auf der Decke des Bestandsgebäudes (= Baugrund) unter Verwendung von VIBRA 2 (Vorgehensweise siehe (Ziegler, 2010)) erstellt und daraus die maximal zulässige Eigenfrequenz von 6.6 Hz für die gelagerten Struktur abgeleitet.

Beim Projekt QMP, wo eine Dämmung von Körperschall infolge von Umbauarbeiten in den unteren Geschossen gegenüber den darüber liegenden Wohn- und Büroflächen erzielt werden soll, wurde ein wesentlich pragmatischerer Ansatz gewählt: Messungen der zu erwartenden Anregungsspektren wurden nicht vorgenommen. Da die Hörschwelle des menschlichen Ohres ca. bei 25 Hz liegt (bei grossen Lautstärken), sollen alle Einflüsse von 25 Hz und darüber stark gedämmt werden. Die erforderliche Eigenfrequenz der Struktur wurde auf maximal 12.5 Hz festgelegt, um – unter Annahme des Ein-Massen-Schwingers – eine Dämmleistung von mindestens 9.3 dB (bei 7 % relativer viskoser Dämpfung) zu erreichen.

Die zusätzlichen, elastischen Lagerungen, die sich bei den vorgestellten Projekten aus den elastischen Steifigkeiten der unter den Lagerungsfugen befindlichen Gebäuden ergeben, führen zu einer weiteren Reduktion der vertikalen Eigenfrequenzen der Strukturen. Dieser Effekt wurde jedoch bei beiden Projekten nicht in Rechnung gestellt.

Für die Lager der horizontalen Gebäudeaussteifung liegen in der Regel keine Vorgaben seitens des Bauphysikers vor; die Dimensionierung wird weitgehend von den Abmessungen und den Verformungen infolge Horizontallasten und Temperaturdehnungen bestimmt. Zu hohe Steifigkeiten können ggf. zu hohen Zwangskräften und damit zu Problemen bei der Verankerung der Schubelemente führen.

3 Statische Anforderungen und Bemessung der Lager

Elastomerlager zur Schwingungsisolation werden in der Regel aus Naturkautschukmischungen (NR) mit relativ geringen Schubsteifigkeiten hergestellt, um ausreichende Dämmleistungen erreichen zu können (Gerhaher, U. et al., 2012). Der Schubmodul des für VIBRAX®BLOCK Lager verwendeten Elastomers liegt etwa bei der Hälfte von jenem üblicher Brückenlager (je nach Messmethode) und damit ausserhalb des Bereiches, der für eine Bemessung nach (DIN EN 1337-3, 2005) zulässig ist. Zudem ist nach den Landesbauordnungen mancher Bundesländer der BRD die Verwendung von Naturkautschuk für bewehrte Elastomerlager nicht zulässig und die genannte Norm nicht eingeführt.

Da die Lager demnach in Baden-Württemberg nicht den gültigen Normen entsprechen, sah sich der Prüfstatiker nicht in der Lage, die Lager für das Projekt QMP ohne weiteres freizugeben. Durch gutachterliche Stellungnahmen konnte zumindest erreicht werden, dass NR-Lager mit einer CR-Ummantelung verwendet werden konnten und die Bemessung strikt nach den Gleichungen von (DIN EN 1337-3, 2005) erfolgen konnte.

Bei Projekten in der Schweiz liegt die Verantwortung der Sicherstellung der Tragfähigkeit der Lager in der Regel beim Hersteller, ohne dass Vorgaben zur Bemessung der Lager einzuhalten sind. Für die Bemessung der Lager des Projekts Seesicht hiess dies, dass zwar eine Bemessung in Anlehnung an (DIN EN 1337-3, 2005) erfolgte. Es wurden jedoch versteckte Sicherheiten dieser Norm, welche für

Brückenlager mit starken Umwelteinflüssen und grossen, häufigen Lastwechseln sinnvoll erscheinen mögen, an die Belastungssituationen in Hochbauten angepasst.

Kritisch ist bei Lagerungen mit extrem geringen Eigenfrequenzen, wie beim Projekt Seesicht, vor allem der Stabilitätsnachweis. Da das Gebäude durch die Horizontallager horizontal nahezu unverschieblich gelagert ist, kann die Knicklänge für den Nachweis des Schubknickens halbiert werden. Ein Abtrag von Horizontallasten über die Vertikallager ist ohnehin aufgrund der geringen horizontalen Steifigkeit nicht möglich.

Auch bei der Ermittlung der abzutragenden Lasten wurden bei beiden Projekten sehr unterschiedliche Herangehensweisen gewählt. Beim Projekt QMP, bei welchem die Lager nur teilweise direkt über Stützen in den darunterliegenden Geschossen positioniert sind, wurde im statischen Modell des Bauwerks die Steifigkeit der Lager nur mit einem Schätzwert berücksichtigt, der vor der Dimensionierung der Lager festgelegt wurde. Die Unsicherheiten bei der Lastermittlung, welche sich aus der Steifigkeit des darunterliegenden Bauwerks und aus dem Einfluss der Bauphasen ergeben, wurden als so gross eingeschätzt, dass eine genauere Berücksichtigung der Lagersteifigkeit keinen Vorteil brächte. Angesichts der geringen Lagerverformungen (ca. 3 bis 6 mm unter ständigen Lasten inklusive Kriechen) scheint dies nachvollziehbar.

Beim Projekt Seesicht, bei welchem die Steifigkeit des darunterliegenden Bauwerks wesentlich genauer abgeschätzt werden kann, da die Lagergruppen Grossteils direkt über den Stützen liegen, wurde eine iterative Vorgehensweise bei der Lastermittlung gewählt: die berechneten Lagersteifigkeiten wurden im FE-Modell des Bauwerks eingegeben, die Lasten ermittelt und nach einer Neubemessung der Lager die neuen Steifigkeiten in das Modell übertragen. Infolge der geringen, geforderten dynamischen und damit auch der geringen statischen Steifigkeiten der Lager ergeben sich wesentlich grössere Lagerverformungen (ca. 16 bis 26 mm unter ständigen Lasten inklusive Kriechen), die gegenüber der Einsenkung des Untergrunds (Bestandsgebäude im Stützenbereich) und den Verformungen des darüber liegenden Neubaus erheblich sind. Eine genauere Berücksichtigung der Lagersteifigkeiten erscheint daher in diesem Fall plausibel.

4 Dynamische Bemessung der Lagerung

Die geltenden Normen bieten kein Bemessungsmodell für die dynamische Bemessung von Elastomerlagern an. Diese unterscheidet sich von der statischen Bemessung grundlegend wegen der geringen Amplituden bei Schwingungsvorgängen, der – relativ zu statischen Belastungen – hohen Belastungsfrequenzen und des Einflusses des nichtlinearen Materialverhaltens. Um eine ausreichend genaue Bemessung zu gewährleisten, wurde von mageba ein Bemessungsprogramm entwickelt, dessen Formeln das nichtlineare Lagerverhalten und den Zusammenhang zwischen statischer und dynamischer Steifigkeit möglichst exakt abbilden. Die Kenntnis des Verhältnisses von dynamischer zu statischer Steifigkeit (dynamische Versteifung) in Abhängigkeit von der Belastungssituation kann gleichzeitig für eine einfache Kontrolle des dynamischen Lagerverhaltens mittels statischer Versuche genutzt werden.

4.1 Entwicklung nichtlinearer Bemessungsgleichungen

Die materialspezifischen Parameter der nichtlinearen statischen und dynamischen Bemessungsformeln wurden durch umfangreiche, dynamische Belastungsversuche an 30 Versuchslagern mit zehn verschiedenen Geometrien (Seitenlängen 100 bis 300 mm, Formfaktoren 1.65 bis 5.0, Schichtdicken 5 bis 16 mm) bei unterschiedlichen Belastungsniveaus, Anregungsfrequenzen und Schwingschnellen kalibriert [6]. Die Versuche wurden durch Müller BBM in einem Federprüfstand durchgeführt. Dabei konnten, im Gegensatz zu servohydraulischen Prüfständen, die dynamischen Steifigkeiten auch in

hohen Frequenzbereichen (5 bis 400 Hz) bestimmt werden. Die maximal mögliche, statische Last war mit 185 kN auf einem relativ geringen Niveau begrenzt.

Das dynamische Verhalten der Lager aus einer Elastomermischung mit bestimmten Eigenschaften sind von der Verzerrung, der Pressung, der Verzerrungsamplitude und der Verzerrungsgeschwindigkeit abhängig. Das bedeutet, wenn diese Einflüsse durch ein entsprechendes Design der zehn Lagertypen und der Lastniveaus in den Versuchen über den gesamten Verwendungsbereich entsprechend getestet wurden und in den Gleichungen richtig berücksichtigt werden, dann können die Gleichungen mit entsprechend kalibrierten Parametern auch für wesentlich grössere Lager verwendet werden.

Im Zuge des Projekts Seesicht wurden mehrere Lager unterschiedlicher Typen mit Seitenlängen bis 530 mm und Schichtdicken bis 36 mm durch die EMPA auf einer servohydraulischen Prüfmaschine getestet. Dabei zeigte sich, dass die Steifigkeitswerte grosser Lager und solcher mit grossen Schichtdicken im Mittel um ca. 20 % höher liegen als berechnet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Herstellung grosser Lager längere Vulkanisationszeiten und entsprechend angepasste Vulkanisationstemperaturen verwendet werden, welche zu anderen dynamischen Eigenschaften des Elastomers führen. Diese Dimensionseinflüsse müssen daher bei der Bemessung der Lager berücksichtigt werden.

4.2 Einfluss der Belastungsdauer

Unter hohen Dauerlasten ist bei Elastomerlagern eine gewisse Zunahme der elastischen Einfederung mit der Dauer zu beobachten. Dieses Kriechen wird bei der Bemessung der VIBRAX®BLOCK Lager dem Tragwerksplaner mitgeteilt, damit dieser die resultierenden Lastumlagerungen abschätzen kann.

Zudem zeigt sich bei Elastomerlagern und ähnlichen Lagermaterialien, die zur Schwingungsdämmung verwendet werden, dass sich die dynamischen Eigenschaften über die Belastungsdauer ändern. Gerade bei Gebäudelagerungen, bei welchen die Lager in der Regel nicht ausgewechselt werden können, werden oft vom Bauherrn entsprechende Nachweise gefordert, welche unbedingt in der Bemessung berücksichtigt werden sollten.

Infolge der geringeren Anforderungen der Eigenfrequenz sind beim Projekt QMP die Lager wesentlich kleiner dimensioniert als beim Projekt Seesicht, was dazu führt, dass die Lager bzgl. der Elastomerverzerrung – oder einfacher gesagt, der Materialbelastung – wesentlich stärker ausgenutzt sind. Daher liegt hier die prognostizierte Zunahme der Eigenfrequenz (Wert nach 15 Jahren gegenüber jenem nach 5 Minuten Belastungsdauer unter ständigen Lasten) bei ca. 10 bis 15 % gegenüber nur 5 bis 10 % beim Projekt Seesicht.

Bei den „Villen“ des Projekts Seesicht (eingeschossige Bauteile zum See hin) wurde wegen der geringen Belastungen in diesem Bereich überlegt, die Lagerung flächig mit Gummigranulatmatten (Produkt Megamat) auszuführen. Diese Art der Lagerung wurde jedoch von den Planern wegen der angenommenen starken Veränderung der elastischen Eigenschaften infolge Dauerlast abgelehnt. Derzeit laufende Versuchsreihen bestätigten die Zunahme der Eigenfrequenz bei auf Gummigranulatmatten gelagerten Strukturen. Mit nur geringem Einfluss des Ausnutzungsgrades (Anteil der Belastung gegenüber der maximal zulässigen Dauerlast) nimmt die gemessene Eigenfrequenz nach einer Belastungsdauer von 2 Wochen je nach Produktvariante um ca. 10 bis +20 % zu (gegenüber dem Wert nach fünf Minuten). Diese Zunahme ist bei der Dimensionierung der Gummigranulatmatten mit zu berücksichtigen.

Alle Messungen über mehrere Wochen zeigen, dass die Eigenfrequenzen jeweils mit dem Logarithmus der Belastungsdauer zunehmen. Geht man davon aus, dass dies auch über die Lebensdauer von Bauwerken der Fall wäre, könnte man bei der angedachten Variante der flächigen Lagerung mit Gummigranulatmatten davon ausgehen, dass sich die Eigenfrequenz der gelagerten Struktur über die

Lebensdauer um rund 20 bis 40 % erhöhen würde (je nach Materialsteifigkeit der Megamat-Variante). Um diesen Effekt zu kompensieren, wäre die Auslegungsfrequenz zum Zeitpunkt null so gering zu wählen, dass sich extreme Materialstärken von bis zu ca. 30 cm ergeben würden. Diese Lagerungsart wäre damit sehr unwirtschaftlich. Zudem wären weitere Langzeitversuche durchzuführen.

Als wirtschaftlichere Alternative wurde daher auch die Lagerung der „Villengebiete“ mit bewehrten Elastomerlagern als punktuelle Lagerung ausgeführt. Die Lager wurden an den Kreuzungspunkten der Halbfertigteilelemente angeordnet, wodurch auf eine verlorene Schalung verzichtet werden konnte.

5 Ausführungsdetails

Im Folgenden wird auf verschiedene Ausführungsdetails eingegangen, welche bei den beiden Projekten Anwendung fanden. Neben der Vorstellung praxisgerechter Lösungen soll verdeutlicht werden, welche unerwarteten Schwierigkeiten bei der Ausführung auftreten können. Es zeigt sich immer wieder, vor allem wenn die Dimensionierung der Lager und die Ausführung der Details erst in einer späten Planungsphase erfolgt, dass diese Schwierigkeiten von den beteiligten Planern unterschätzt werden. Ein frühzeitiges Einbinden des Lagerherstellers in die Planung und ausreichende Vorlaufzeit zur Prüfung und Abstimmung der Lager- und Schalpläne ist unbedingt erforderlich, um grössere Verzögerungen infolge nachträglicher Lageränderungen zu vermeiden und Einflüsse der Lager auf angrenzende Bauteile berücksichtigen zu können.



Abbildung 4: Einfluss der Lagerung auf angrenzende Bauteile; links: ungewollte Schiefstellung von Stützen infolge exzentrischer Lasteinleitung, rechts: Verdopplung der Knicklänge der Stütze durch die Lagerung

Dies betrifft vor allem bei schlanken Wänden oder Stützen die Berücksichtigung von Lastexzentrizitäten (siehe Abbildung 4 links) oder die Verdopplung der Knicklänge, da die horizontalen Steifigkeiten der Lager – je nach Ausnutzungsgrad – zumindest rechnerisch bei null liegen können (siehe Abbildung 4 rechts).

5.1 Einbau der Lager

Bei den verwendeten VIBRAX®BLOCK Lagern handelt es sich um Elastomerlager vom Typ B nach (DIN EN 1337-3, 2005), also um Lager, welche an der Ober- und Unterseite eine Elastomerdeckschicht

aufweisen. Sie dürfen direkt auf die Oberfläche des darunterliegenden Stahlbetonbauteils verlegt werden, wenn dieses die erforderliche Ebenheit aufweist (z.B. durch Planschleifen). Ein Höhenausgleich ist durch ein Mörtelbett oder durch Ausgleichsbleche möglich.

Beim Projekt QMP wurden Fertigteilbalken auf den Lagern verlegt, daher musste die Oberkanten der Lager zueinander genau ausgerichtet werden, um unplanmäßige Lastverteilungen zu vermeiden. Die Anpassungen wurden durch Abschleifen des Betonuntergrundes oder durch Futterbleche vorgenommen. Ausführungen wie in Abbildung 5 links dargestellt, sind nicht zulässig und wurden bei der Baufirma beanstandet, da die Bleche festgelegte Mindestdicken aufweisen müssen, verankert sein müssen und entsprechende Oberflächenbehandlungen erforderlich sind, um ein Wegggleiten der Lager zu verhindern. Zudem sind für die Herstellung von Lagerplatten und Ankerplatten, die zur Lagerausstattung zählen, entsprechende Zulassungen erforderlich.



Abbildung 5: Fehlerhafter Lagereinbau Projekt QMP; links: Höhenausgleich durch nicht zugelassene, nicht normgerechte Futterbleche; rechts: Behinderung der Lagerverformung durch Schrauben

Bei der Anordnung der Lager ist darauf zu achten, dass ein ausreichender, lichter Abstand unter den Lagern eingehalten wird, um das seitliche Ausbauchen der einzelnen Elastomerschichten nicht zu behindern. Im Traglastfall (bei maximaler Schubverzerrung $\varepsilon_d \leq 7.0$ infolge von Vertikallasten) ergibt sich damit ein minimal zulässiger Lagerabstand von 3.5mal der Dicke der einzelnen Elastomerschichten! Schrauben, wie in Abbildung 5 rechts, könnten zu einer Beschädigung des Elastomers führen. Schichten benachbarter Lager, die in Kontakt treten, würden darüber hinaus zu Horizontalbelastungen der mittleren Schichten führen und dadurch den Stabilitätswiderstand der Lager (Schubknicken) verringern. Im vorliegenden Fall mussten die Schrauben gekürzt werden. Die angeschraubten Blechschablonen dienen ohnehin nur als Lagesicherung im Bauzustand und haben keine statische Wirkung.

Obwohl beim Projekt Seesicht die Bauteile direkt über den Lagern in Ortbeton hergestellt wurden, mussten alle Lager im Mörtelbett verlegt werden, um das Gefälle des Bestandgebäudes auszugleichen. Zudem mussten Lager, auf welchen Stahlplatten als verlorene Schalung verwendet wurden, in vertikaler Richtung durch die Verwendung von selbstnivellierendem Fließmörtel auf ± 1 mm ausgerichtet werden.



Abbildung 6: Projekt Seesicht; links: Mörtelbett mit Fliesmörtel zur genauen vertikalen Ausrichtung der Lager; rechts: Verlorene Schalung zur Verminderung des Aufwands bei der Holzschalung

5.2 Horizontale Lastabtragung

Wird eine konsequente elastische Entkopplung des oberen vom unteren Bauteil in einer Ebene ausgeführt, so ist eine Aussteifung des Gebäudes über die Kerne nicht möglich. Die Horizontallasten müssen über elastisch entkoppelte Aussteifungen abgetragen werden. Hierfür eignen sich verschiedene Konstruktionen:

Beim Projekt QMP wurden die Horizontallager zwischen Schubnocken (Stahlbetonquader $40 \times 40 \times 27.5 \text{ cm}^3$) und den Abfangträgern in den Ecken der Kreuzungspunkte angeordnet (siehe Abbildung 7 links). Im Bereich der Treppenhäuser werden die Horizontallasten durch Lager übertragen, welche zwischen Verzahnungen der oberen und unteren Wand angebracht sind.



Abbildung 7: Horizontallager; links: Projekt QMP, Elastomerlager zwischen Schubnocken und Abfangträgern; rechts: Projekt Seesicht, Horizontallagerkonstruktion für eine Richtung

Beim Projekt Seesicht müssen die Horizontalkräfte in die Bestandsdecke eingeleitet werden. Die dazu verwendeten Stahlkonstruktionen (siehe Abbildung 7 links und Abbildung 8) mit elastischer Entkopplung wurden über Kopfbolzen und Zuganker jeweils oben und unten im Stahlbeton verankert; die

Lager schrittweise (Risse in Blechen), unter zunehmender Verformung, also mit angekündigtem, nicht plötzlichem Versagen.

5.4 Baubegleitende Schwingungsmessungen

Eine optimale Schwingungsdämmung kann nur dann gewährleistet werden, wenn Schallbrücken (z.B. durch Leitungen, vergessene, temporäre Unterstellungen oder undichte Betonschalungen) konsequent vermieden werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, den Einbau der Lager und die Ausführung der Entkopplungsfuge durch Schwingungsmessungen in der Bauphase überwachen zu lassen. Beim Projekt Seesicht werden sowohl diese Überwachung, als auch abschliessenden Schall- und Erschütterungsmessungen im Gebäude von Ziegler Consultants durchgeführt. Beim Projekt QMP hingegen wurden seitens des Bauherrn alle Schwingungs- und Schallmessungen strikt untersagt; abschliessende Messungen am fertigen Gebäude sind nicht geplant.

6 Schlussbemerkung

Die vorgestellten Projekte zeigen, dass je nach den Schwingungseinflüssen, der Bauwerkssituation, den Ansichten der beteiligten Planer und der Rechtslage des entsprechenden Staates sehr unterschiedliche Anforderungen und Vorgehensweisen für die Planung und Ausführung von elastischen Entkopplungen anzutreffen sind. Eine frühzeitige Abklärung aller Details der Bemessung und Ausführung der Lagerung ist unbedingt zu empfehlen, um Fehler und Probleme zu vermeiden.

7 Literaturverzeichnis

- DIN EN 1337-3. (2005). *Lager im Bauwesen - Teil 3: Elastomerlager*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- Gerhaher, U. (2010). *Faserbewehrte Elastomerlager - Konzeption und Bemessung*. Wien: Universität für Bodenkultur.
- Gerhaher, U. et al. (2012). *Dynamic Design of Elastomeric Bearings for Vibration Isolation*. Seoul: 18th IABSE Congress.
- Ziegler, A. (2010). *Erschütterungsausbreitung bei Schienenverkehr*. 13. Ziegler Symposium.