

Bild 1. Bei der herkömmlichen Kombination (oben) eines Gleitpendellagers und eines PUR-Lagers mit Lastverteilerplatte kann unter Erdbebeneinwirkung (rechts) eine klaffende Fuge (roter Kreis) auftreten. Eine integrierte Lagerkonstruktion (unten) mit PUR-Lager im Gleiter vermeidet diesen Nachteil.

Grafik: Getzner

Kombiniertes Erdbeben- und Schwingungsisolationslager

U. Gerhaher, F. Weber

In vielen Metropolen in Erdbebenregionen ergibt sich durch die verdichtete Bauweise in den Innenstädten die Notwendigkeit einer gleichzeitigen Isolation von Gebäuden gegen Erdbebeneinwirkungen und Körperschallanregungen. Dazu wird ein kombiniertes Isolationslager vorgestellt, das beiden Anforderungen gerecht wird.

Durch die immer stärker verdichtete Bauweise in Innenstädten und den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs entsteht in vielen internationalen Metropolen der Wunsch, auch auf Grundstücken in Bahnnähe hochwertige Büro- und Wohnbauten zu errichten. Infolge der starken Schwingungsbelastungen, die vor allem durch U-Bahnen und oberirdischen Bahnverkehr verursacht werden, konnten diese Grundstücke in der Vergangenheit oft nur eingeschränkt genutzt werden, da Erschütterungen und sekundärer Luftschall infolge von Körperschall eine hochwertige Nutzung nicht zuließen.

Mittlerweile ist es jedoch Stand der Technik, Gebäude durch elastische Lagerungen von diesen Schwingungen zu isolieren: entweder als vollflächige Lagerung unterhalb der Fundierung oder als Punkt- und Streifenlagerung meist unterhalb der Decke über dem Kellergeschoss. Zur An-

wendung kommen hier meist Elastomerlager auf PUR- (Polyurethan) oder Gumbasis oder sehr vereinzelt auch Federlagerungen. Die relevanten Schwingungsanregungen liegen in der Regel in einem Frequenzbereich zwischen 15 Hz bis 80 Hz mit Amplituden häufig unterhalb oder im Bereich der fühlbaren Wahrnehmungsgrenze. Durch Resonanzanregung von Decken und Trägern können sich jedoch fühlbare Erschütterungen im Bereich der ersten Eigenfrequenz der Decken und Träger beziehungsweise störende Lärmbelästigungen im hörbaren Frequenzbereich ergeben, die sich durch die elastische Lagerung wirkungsvoll reduzieren lassen. Die vertikale Abstimmfrequenz der Elastomerlager liegt dabei meist zwischen 8 Hz und 12 Hz, teilweise auch unterhalb 6 Hz.

In Regionen mit starken Erdbebeneinflüssen müssen diese Gebäude oft gleichzeitig mithilfe von Gleitpendel- oder Elas-

tomerlagern gegen Erdbebeneinflüsse horizontal isoliert werden. Die Erbebenisolatoren werden häufig auf Isolationsperioden von 2,8 bis 6 Sekunden ausgelegt, womit das Bauwerk in horizontaler Richtung einen 1-Masseschwinger mit der Eigenfrequenz im Bereich von 0,35 Hz bis 0,17 Hz darstellt, damit das Bauwerk in horizontaler Richtung vom Erdbeben effektiv entkoppelt ist. Die daraus resultierenden horizontalen Relativverschiebungen im Erbebenisolator betragen je nach Erdbebenstärke bis zu 1 Meter.

Kombination unterschiedlicher Anforderungen

Die Anforderungen an die Schwingungsisolierung in vertikaler und horizontaler Richtung sind demnach völlig unterschiedlich und konnten bisher nicht in kombinierten Lagern vereint werden. Konzipiert wurden daher häufig getrenn-

te Lösungen wie zum Beispiel die Verwendung einer vollflächig elastisch gelagerten Betonwanne zur Isolation des Körperschalls und einer Erdbebenisolation des Gebäudes auf punktuellen Erdbebenisolatoren, die in der Wanne platziert werden. Auch eine Anordnung der Erdbeben- und Schwingungsisolationslager übereinander ist denkbar (Bild 1 oben). Jedoch würde im dargestellten Beispiel eines Gleitpendellagers über einem PUR-Lager bei großen, horizontalen Verschiebungen im Erdbebenfall das Elastomerlager stark exzentrisch belastet. Eine entsprechend große Lagergeometrie und dadurch bedingt eine massive Lastverteilplatte wären notwendig, um die Vertikallasten ohne klaffende Fugen abzutragen. Zudem wäre eine optimale Auslegung der Lager für die vertikale Schwingungsisolierung bei mittlerer Stellung im Erdbebenisolator und eine gleichzeitige Gewährleistung der Tragsicherheit bei großer horizontaler Auslenkung im Erdbebenisolator nicht möglich.

Gelöst wird diese Problematik indem das PUR-Lager direkt im Gleiter des doppelten Gleitpendellagers integriert wird (Bild 1 unten). Im normalen Gebrauchszustand wirkt das runde Lager als Isolator gegen Körperschall, genau wie ein herkömmliches Elastomer-Punktlager. Im Erdbebenfall wird das Lager selbst bei großen Auslenkungen nahezu ausschließlich auf Druck beansprucht, da der Gleiter Horizontal- und Vertikallasten infolge der Schiefstellung stets senkrecht zur Fläche des PUR-Lagers überträgt. Nur die Reibung der Hauptgleitflächen erzeugen geringe Schubbeanspruchungen, die jedoch aufgrund der geringen Reibungszahl von typischerweise 3 % bis 7 % ohne weiteres durch das Elastomerlager abgeleitet werden können. Die

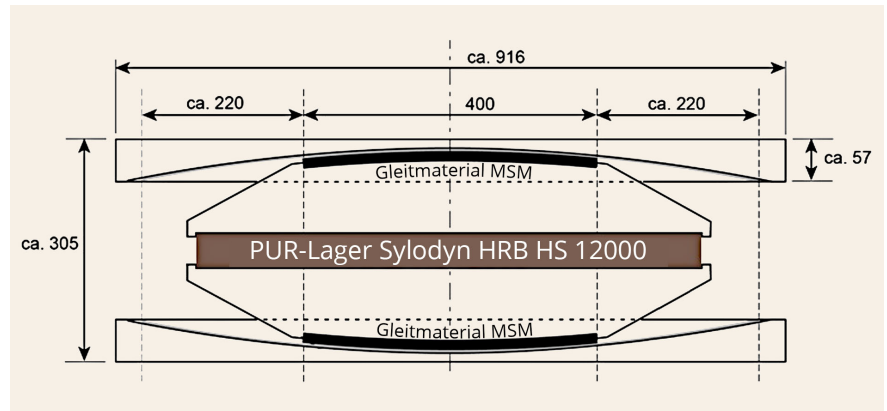


Bild 2. Abmessungen des Prototyps Grafik: Getzner

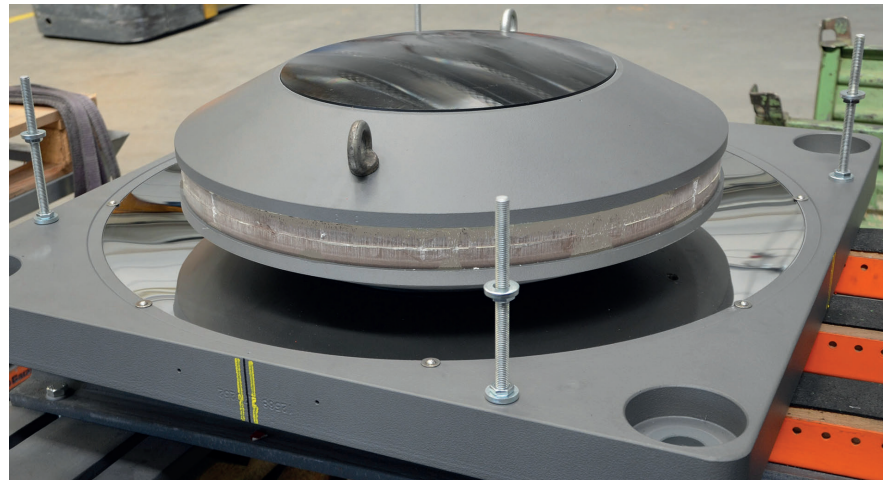


Bild 3. Prototyp während des Zusammenbaus mit unterer Trägerplatte, unterer Hauptgleitfläche (Gleitmaterial MSM auf Edelstahlblech), Gleiter mit integriertem PUR-Schallisolationslager und auf Gleiteroberseite sichtbarem Gleitmaterial MSM Foto: Getzner

Gefahr eines Aufklaffens der Lagerfuge besteht also nicht.

Zum Einsatz kommt dabei der PUR-Werkstoff Sylodyn HRB HS 12000 von Getzner mit vergleichsweise hoher Dichte. Mit diesem Werkstoff können Pressungen aus quasi ständigen Lasten ($G + 30\% Q$ nach EN 1990 [1]) von bis zu 30 N/mm^2

aufgebracht werden, ohne dass es zu einer maßgeblichen Zunahme der dynamischen Steifigkeit des Werkstoffs oder zu erhöhten Kriechverformungen kommt. Zur Erreichung üblicher vertikaler Abstimmungsfrequenzen zwischen 8 und 12 Hz und quasi ständigen Vertikallasten zwischen 1 500 und 7 000 kN sind PUR-Lager mit

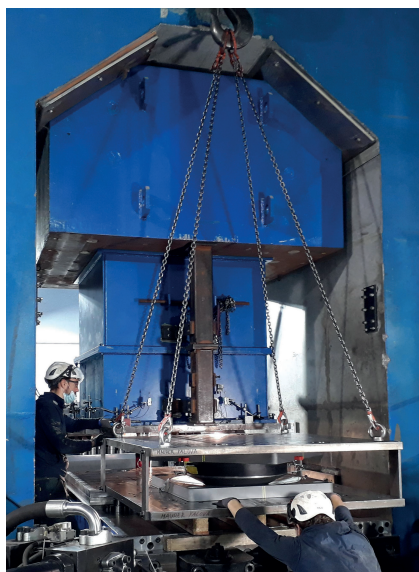


Bild 4. Einbau des Lagers in die Prüfmaschine am Eucentre Foto: Getzner

Durchmessern zwischen 490 und 870 Millimeter und Elastomerhöhen zwischen 50 und 75 Millimeter notwendig. Dabei ergeben sich Pressungen zwischen $6,6 \text{ N/mm}^2$ und 16 N/mm^2 . Für die Erreichung üblicher Reibungswerte zwischen 3 % und 7 % wären dabei Durchmesser des Gleitmaterials zwischen 190 und 580 Millimeter notwendig. Dieser geometrische Unterschied bedingt die Aufweitung der Gleitober- und Unterteile, was aber nicht zu einer Vergrößerung des Gleitpendellagers in horizontaler Richtung führt (Bild 2).

Die Tragfähigkeit der PUR-Lager beträgt laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung je nach Geometrie bis zu 52 N/mm^2 und für die oben genannten

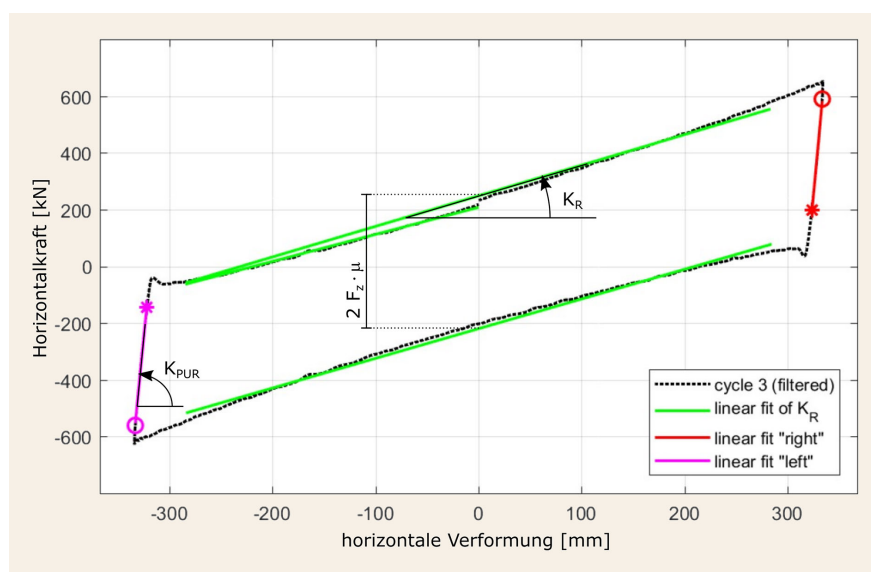


Bild 5. Last-Verformungs-Diagramm eines dynamischen Versuchs mit horizontaler Amplitude 300 mm bei einer Maximalgeschwindigkeit von 0,4 m/s und einer Vertikallast $F_z = 4\,500 \text{ kN}$ Grafik: Getzner

üblichen Abmessungen 20 N/mm^2 bis 36 N/mm^2 . Das Verhältnis des Lagerwiderstands im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Lasten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit liegt in diesen Fällen bei etwa 2,2 bis 3,2. Aufgrund dieses hohen Verhältniswertes sollte in jedem Fall ein Erbringen der statischen Nachweise ohne Anpassungen möglich sein.

Da sich die Funktionsweisen des Gleitpendellagers und des vertikalen Schwingungsisolationslagers nicht gegenseitig beeinflussen, ist es möglich, beide Isolatoren unabhängig voneinander zu dimensionieren. Dies erlaubt ein effizientes Design der Isolatoren, ohne Verzögerungen der Planung.

Prüfung des Prototyps nach EN 15129

Im November 2020 wurde der erste Prototyp (Bild 3) mit Parametern wie in Tabelle 1 beschrieben am Eucentre in Pavia nach EN 15129 geprüft (Bild 4). Die Testergebnisse zeigen eher kleine Abweichungen des tatsächlichen Reibwertes μ (+ 9 % bis + 16 %) und der tatsächlichen horizontalen Steifigkeit K_R (+ 4,7 % bis + 7,7 %) im Vergleich zu ihren Designwerten. Wie in Bild 5 zu sehen ist, beeinflusst die Schubsteifigkeit K_{PUR} des PUR-Lagers das Verhalten des Gleitpendellagers nur in der Phase bevor Gleiten an den Hauptgleitflächen eintritt, weshalb K_{PUR} die horizontale Erdbenenisolation nicht negativ beeinflusst.

Die vertikale dynamische Steifigkeit des Gesamtsystems wurde bei Anregungen mit 2,5 Hz, 5,0 Hz und 10,0 Hz bei 100 dBv gemessen. Die Abweichungen der gemessenen Steifigkeiten zu den nach Datenblattwerten ermittelten Steifigkeiten betragen – 3,9 % bis + 4,3 %. Damit ergibt sich eine vertikale Eigenfrequenz für die Auflast von 4 500 kN (entsprechend einer Masse von 458,7 t) von 12,1 Hz, die nur unwesentlich über dem prognostizierten Wert von 11,8 Hz liegt. Die effektive Dämpfung wurde unabhängig von der Amplitude und der Anregungsfrequenz mit im Mittel 5,1 % bestimmt. Dieser geringe Dämpfungsgrad gewährleistet eine gute Wirksamkeit der Körperschallisololation.

Prototyp-Spezifikation	
Vertikallast im Erdbebenfall	$N_{S,SLS} = 4500 \text{ kN}$
Vertikallast im GZT	$N_{ULS} = 9000 \text{ kN}$
Horizontale Isolationsperiodendauer	$T_{iso} = 4,0 \text{ s}$
Effektiver Pendelradius	$R_{eff} = 3976 \text{ mm}$
Horizontale Steifigkeit bei $N_{S,SLS}$	$K_R = 1132 \text{ kN/m}$
Dynamischer Reibwert	$\mu = 5 \%$
Maximale horizontale Verschiebung	$d = \pm 400 \text{ mm}$
Vertikale Abstimmfrequenz	$f_{vert} = 11,8 \text{ Hz}$
Durchmesser PUR-Lager	$D_{PUR} = 650 \text{ mm}$
Höhe PUR-Lager	$H_{PUR} = 50 \text{ mm}$

Tabelle 1. Die maßgeblichen Entwurfparameter des Prototyps (GZT: Grenzzustand der Tragfähigkeit). Quelle: Getzner

Schlussfolgerung

Durch die neuartige Integration eines Schwingungsisolationslagers auf PUR-Basis im Gleiter des Erdbebenisolationslagers kann den Anforderungen an die Isolation von Erdbebenanregungen in horizontaler Richtung und von Schwingungsanregungen durch Körperschall in vertikaler Richtung in idealer Weise begegnet werden. Beide Teilsysteme wirken unabhängig voneinander ohne gegenseitige Beeinträchtigungen. Der konstruktive Mehraufwand für den etwas höheren Gleiter ist minimal, sodass die Kosten für die kombinierte Lösung in der Regel deutlich unter der Summe der Kosten einer reinen Erdbebenisolation und einer reinen Schwin-

gungsisolation inklusive der im Text beschriebenen Zusatzmaßnahmen liegen. Die unproblematische Handhabung in Planung und Installation wurde bereits durch die praktischen Erfahrungen beim Gebäude des BioSense-Instituts (Novi Sad, Serbien) bestätigt [2]. ■

Literatur

- [1] ÖNORM EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe März 2013.
- [2] Butenweg, C.; Marinkovi, M.; Michel, P. et al.: Isolierung und BIM-basiertes Bauwerksmonitoring des neuen Gebäudekomplexes für das BioSense-Institut in Novi Sad, Serbien. In: Bauingenieur 97 (2022), Heft 6, S. S3-S4.



**Dr.-Ing.
Ulrich Gerhaher**

ulrich.gerhaher@
getzner.com
Getzner Werkstoffe
Herrenau 5, 6706 Bürs
Österreich

Foto: Getzner



**Dr.-Ing.
Felix Weber**

F.Weber@maurer.eu
Maurer Switzerland GmbH
Grossplatzstrasse 24, 8118
Pfaffhausen, Schweiz

Foto: Maurer