Neues adaptives Gleitpendellager für maximale Performanz im Service- und Erdbebenfall

Felix Weber^{1,#}, Leopold Meier², Johann Distl², Florian Obholzer³, Peter Huber³ und Christian Braun³

- 1 Maurer Switzerland GmbH, Neptunstrasse 25, 8032 Zürich; Email: F.Weber@maurer.eu
- 2 MAURER ENGINEERING GmbH, Frankfurter Ring 193, 80807 München; Email: L.Meier@maurer.eu, J.Distl@maurer.eu
- 3 MAURER SE, Frankfurter Ring 193, 80807 München; Email: F. Obholzer@maurer.eu, P.Huber@maurer.eu, C.Braun@maurer.eu
- # Korrespondenz bitte an Felix Weber

Zusammenfassung

Das adaptive Gleitpendellager SIP-Adaptive stellt eine Neuentwicklung eines horizontalen Isolators gegen Erdbebenanregung von Bauwerken dar, welches sich unterschiedlichen Lastfällen durch rein passive Komponenten anpasst. Die Gleitwege an den beiden Hauptgleitflächen sind durch den Gleiter mit Gelenk entkoppelt, was es ermöglicht, dass die Parameter der beiden Hauptgleitflächen, nämlich deren Radius, Reibwert und Wegkapazität, unterschiedlich ausgelegt werden können. Über Modellbasierte Simulation werden die Parameter der unteren Hauptgleitfläche auf den Lastfall Service mit langsamen, primär thermisch-induzierten Bauwerksbewegungen und kleinste Erdbebenanregung ausgelegt. Die äquivalente Isolationsperiodendauer und Dämpfung aus dem dynamischen Zusammenspiel beider Hauptgleitflächen werden auf den Lastfall Design Basis Earthquake (DBE) optimiert, wo die Anregungskräfte und somit die Lagerverschiebungen und -kräfte mittelgroß sind. Die gesamte Wegkapazität ergibt sich aus der Simulation des SIP-Adaptive mit Bauwerk für den maximalen Lastfall des Maximum Credible Earthquake (MCE). Die Simulationen für alle Spitzenbodenbeschleunigungswerte zwischen 0 m/s² und demjenigen des MCE zeigen, dass das SIP-Adaptive die Bauwerksbeschleunigungen und die maximale Schubkraft des Isolators bis zu 30 % und die Wegkapazität bis zu 20 % im Vergleich zum herkömmlichen Gleitpendellager reduziert. Weitere Pluspunkte des SIP-Adaptive sind, dass der minimale Schubwiderstand des Isolators dank der Entkoppelung der Gleitwege unabhängig vom DBE einstellbar ist, und dass die Rotationsfähigkeit gleich groß wie diejenige eines Gleitpendellagers mit Kalotte ist.

1. Einführung

Gleitpendellager verschieben durch ihren großen Krümmungsradius die natürliche Schwingperiodendauer des Bauwerks aus dem Periodenbereich hoher Erdbebenanregung und verringern die Bauwerkbeschleunigung zusätzlich durch ihre Reibdämpfung [1, 2]. Die kompakte Bauweise von Gleitpendellagern ist vom Typ Double mit starrem Gleiter, womit die Gleitwege an beiden Hauptgleitflächen wegen der geometrischen Führung gleich groß sind und daher die effektiven Radien und Reibwerte gleich gewählt werden. Die effektiven Radien ergeben sich aus der vom Ingenieur gewählten Isolationsperiodendauer. Der Wahl des Reibkoeffizienten ist komplexer: dieser sollte so gewählt werden, dass ein minimaler Schubwiderstand gewährleistet ist, die Bauwerksisolation beim Design Basis Earthquake (DBE) maximiert ist, und die Wegkapazität und maximale Schubkraft des Isolators, welche aus der Anregung das Maximum Credible Earthquake (MCE) folgen, sollten aus Kostengründen nicht zu hoch sein resp. den spezifizierten maximalen Schubwiderstand nicht überschreiten. All diese Anforderungen mit einem Reibwert zu erfüllen ist im Allgemeinen nicht möglich. Zusätzlich führt ein eher hoher Reibwert zum Nachteil, dass die Bauwerksisolation bei kleinen Spitzenbodenbeschleunigungen (PGA) sehr suboptimal ist, denn ein hoher Reibwert verringert die Relativverschiebung im Isolator, womit der Isolator bei sehr kleiner Seismizität zu blockieren beginnt und das Bau-

werk nicht mehr isoliert ist. Es sei angemerkt, dass der Effekt, dass ein eher großer Reibwert bei kleiner Seismizität zum Blockieren des Isolators führt, nur aus zeitbasierter nichtlinearer Simulation des Bauwerks mit Gleitpendellager ersichtlich ist, im Gegensatz zum Antwortspektrumsverfahren [3], welches diesen Effekt nicht abbilden kann, weil dort die Reibdämpfung linearisiert ist.

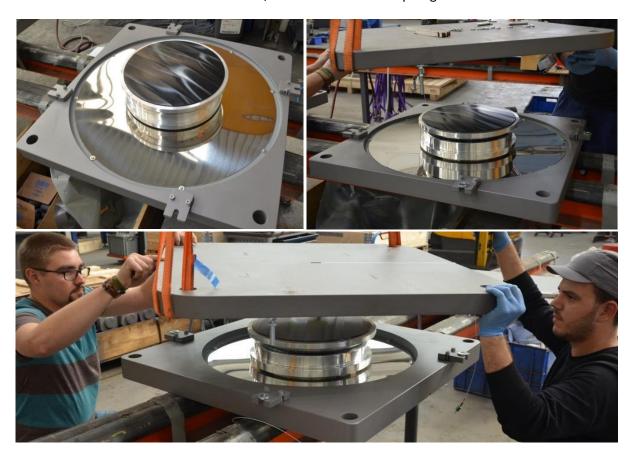


Abbildung 1. Zusammenbau des SIP-Adaptive #2 (oben) und SIP-Adaptive #3 (unten) im Werk München.

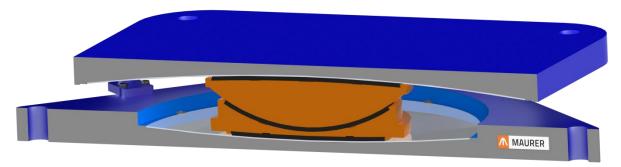


Abbildung 2. SIP-Adaptive #3 in Mittelposition.

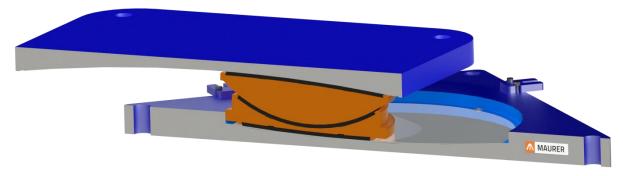


Abbildung 3. SIP-Adaptive #3 in voll ausgelenkter Position.

Dieser Aufsatz stellt das neue Gleitpendellager **SIP-Adaptive** vor, dessen Bauweise mit gelenkigem Gleiter es erlaubt, die effektiven Radien und Reibwerte beider Hauptgleitflächen unterschiedlich zu wählen [4]. Der höhere Reibwert kann somit für minimale Bauwerksbeschleunigung im Fall des DBE optimiert werden, während der tiefere Reibwert auf kleinere Seismizität und den geforderten Mindest-schubwiderstand ausgelegt werden kann.

2. SIP-Adaptive

2.1 Reibwerte

Der **Gleiter** ist mit **einem Gelenk** bestehend aus Kalotte und Kalottenaufnahme ausgeführt, um die **Gleitwege** an den beiden Hauptgleitflächen zu **entkoppeln** (Abbildung 1 - Abbildung 3). Damit können die Parameter der beiden Hauptgleitflächen, nämlich:

- ullet die effektiven Radien $R_{\rm eff-1}$ und $R_{\rm eff-2}$, wobei der effektive Radius den Radius des äquivalenten idealen Pendels beschriebt,
- die Reibwerten μ_1 und μ_2 , und
- die Wegkapazitäten d₁ und d₂

unterschiedlich gewählt werden, was bei einem herkömmlichen Gleitpendellager mit zwei Hauptgleitflächen ohne gelenkigen Gleiter (SIP-Double) nicht möglich ist. Die Parameter der unteren Hauptgleitfläche 1 werden auf Servicelasten und kleine aber häufig auftretende Erdbeben mit kleinen Spitzenbodenbeschleunigungswerten (peak ground acceleration: PGA) resp. auf den geforderten Mindestschubwiderstand ausgelegt. Die Hauptgleitfläche 1 kann geschmiert sein, womit μ_1 je nach Pressung im Bereich von 0,5 % bis 1,5 % liegt, oder trocken ($\mu_1 \ge 2$ %). Gleiten an der nichtgeschmierten Hauptgleitfläche 2 wird über das Kräftegleichgewicht

$$\mu_1 N_S + u_1 \frac{N_S}{R_{eff-1}} = \mu_2 N_S$$
 (1)

ausgelöst, wo N_S die vertikale Last auf dem Lager beschreibt und u_1 die Relativverschiebung des Gleiters an der Hauptgleitfläche 1 ist (Abbildung 3). Um zu verhindern, dass der Gleiter auf der Hauptgleitfläche 1 mit dem tieferen Reibwert μ_1 über den Rand hinausgleitet, ist die Wegkapazität der Hauptgleitfläche 1 durch einen Absatz (Rezess) auf d_1 begrenzt. Die Parameter μ_2 und R_{eff-2} der nicht-geschmierten Hauptgleitfläche 2 werden mittels zeitbasierter nichtlinearer Simulation des Bauwerks mit SIP-Adaptive bei der Anregung durch das DBE für minimale Bauwerksbeschleunigung optimiert, womit μ_2 typischerweise im Bereich von 3,5 % bis 6,5 % liegt. Die Wegkapazität d_2 der Hauptgleitfläche 2 und damit die Wegkapazität (d_1+d_2) des SIP-Adaptive sind nicht begrenzt.

2.2 Radien

2.2.1 SIP-Double ohne Gelenk

Bei einem SIP-Double mit starrem Gleiter sind die Gleitwege an den beiden Hauptgleitflächen zu jedem Zeitpunkt identisch, da der starre Gleiter eine geometrische Zwangsführung bez. der Gleitwege darstellt. Daher bestimmt die Summe der beiden effektiven Radien $R_{\rm eff-1}+R_{\rm eff-2}$ die Isolationsperiodendauer $T_{\rm iso}$ des SIP-Double, was folgendes Design ergibt

$$R_{\text{eff}-1} = R_{\text{eff}-2} = 0.5 R_{\text{eff}}$$
 (2)

$$R_{\rm eff} = g \left(\frac{T_{\rm iso}}{2\pi}\right)^2 \tag{3}$$

2.2.2 SIP-Double mit Gelenk / SIP-Adaptive

Beim SIP-Adaptive sind die Gleitwege an beiden Hauptgleitflächen, also \mathbf{u}_1 und $(\mathbf{u}_2-\mathbf{u}_1)$, je nach Höhe des PGA unterschiedlich. Bei sehr kleinen Erdbeben tritt nur Relativbewegung an der Haupt-

gleitfläche 1 auf, weil die horizontale Kraft an der Hauptgleitfläche 1 Gleiten an der Hauptgleitfläche 2 nicht auslöst (Gl. (1)). Beim PGA des DBE jedoch sind die Gleitwege an beiden Hauptgleitflächen während eines Zyklus in etwa gleich groß. Also findet während ca. der Hälfte des Schwingzyklus im SIP-Adaptive nur Gleiten an der Hauptgleitfläche 1 statt und während ca. der Hälfte des Zyklus Gleiten an den Hauptgleitflächen 1 und 2 gleichzeitig (vgl. Kraft-Weg-Charakteristika in Abbildung 5 - Abbildung 7 bei 60 % der Wegkapazität). Werden demnach die effektiven Radien des SIP-Adaptive mindestens wie folgt angesetzt

$$R_{eff-1} = 0.7 R_{eff} \Rightarrow T_{iso-1} (\text{nur Gleiten 1}) = \sqrt{0.7} T_{iso} \approx 0.837 T_{iso}$$
 (4)

$$R_{\text{eff}-2} = 0.7 R_{\text{eff}} \Rightarrow T_{\text{iso}-1-2} \text{ (Gleiten 1 und 2 gleichzeitig)} = \sqrt{1.4} T_{\text{iso}} \approx 1.183 T_{\text{iso}}$$
 (5)

dann erzeugt "nur Gleiten 1" eine kleinere Isolationsperiodendauer $T_{\rm iso-1} < T_{\rm iso}$ als gefordert, während die Isolationsperiodendauer $T_{\rm iso-1-2}$ resultierend aus gleichzeitigem Gleiten an den Hauptgleitflächen 1 und 2 größer als $T_{\rm iso}$ ist. Bei der Anregung durch das DBE sind die Gleitwege "nur Gleiten 1" und "Gleiten 1 und 2 gleichzeitig" in etwa gleich groß sind, womit die Isolationsperiodendauer des SIP-Adaptive über einen Schwingzyklus gemittelt für die Anregung durch das DBE gleich der geforderten Isolationsperiodendauer ist

$$T_{\text{iso-Adaptive}} = \frac{T_{\text{iso-1}} + T_{\text{iso-1-2}}}{2} \approx 1,0099 \, T_{\text{iso}} \approx T_{\text{iso}}$$
 (6)

Werden die effektiven Radien grösser als die Mindestanforderung (4, 5) gewählt, resultiert eine größere Isolationsperiodendauer bei der Anregung des DBE, was zu einer besseren Beschleunigungsreduktion des Bauwerks führt, ohne dass dabei die Wegkapazität des SIP-Adaptive grösser wird (vgl. Abschnitt 3).

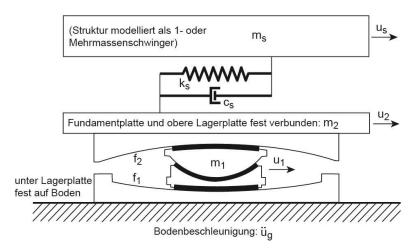


Abbildung 4. Zustandsvariablen des Simulationsmodells des SIP-Adaptive mit Bauwerk.

2.3 Optimierung mittels dynamischer Simulation

Für die zeitbasierte nichtlineare Simulation des Bauwerks mit SIP-Adaptive und Anregung durch Bodenbeschleunigungszeitreihen (accelerograms), welche dem gegebenen Spektrum äquivalent sind, werden die gekoppelten nichtlinearen Bewegungsgleichungen der einzelnen Massen des SIP-Adaptive und des Bauwerks mit einem für steife und nichtlineare Differentialgleichungssysteme geeigneten Solver (ode15s(stiff/NDF)) mit adaptiver Schrittweite gelöst (hier der Einfachheit halber Bauwerk als 1-Massenschwinger modelliert)

$$m_s \ddot{u}_s + c_s (\dot{u}_s - \dot{u}_2) + k_s (u_s - u_2) = -m_s \ddot{u}_g$$
 (7)

$$m_2 \ddot{u}_2 + f_2 = c_s (\dot{u}_s - \dot{u}_2) + k_s (u_s - u_2) - m_s \ddot{u}_a$$
 (8)

$$m_1 \ddot{u}_1 + f_1 = f_2 - m_s \ddot{u}_s \tag{9}$$

wo m_s , c_s und k_s die modale Masse, den viskosen Dämpfungskoeffizienten und die Steifigkeit des Bauwerks bezeichnen, \ddot{u}_x ist die absolute Beschleunigung der Masse x, \dot{u}_x und u_x sind die Ge-

schwindigkeit und Verschiebung der Masse x relativ zum Boden und $-m_x \ddot{u}_g$ ist die Anregungskraft der Bodenbeschleunigung \ddot{u}_g auf die Masse x. Die Kräfte f_1 und f_2 sind die horizontalen Kräfte der Hauptgleitflächen 1 und 2

$$f_2 = \operatorname{sgn}(\dot{u}_2 - \dot{u}_1) \mu_2 g(m_s + m_2) + (u_2 - u_1) \frac{g(m_s + m_2)}{R_{\text{eff}-2}}$$
(10)

$$f_1 = sgn(\dot{u}_1)\mu_1 g(m_s + m_2 + m_1) + u_1 \frac{g(m_s + m_2 + m_1)}{R_{eff-1}} + f_{recess}$$
(11)

$$f_{recess} = \begin{cases} 0 & : |u_1| \le d_1 \\ k_{recess} (|u_1| - d_1) sgn(u_1) & : |u_1| > d_1 \end{cases}$$
 (12)

wo m_2 die Masse der Fundamentplatte zusammen mit der oberen Lagerplatte beschreibt, m_1 ist die Masse des gesamten gelenkigen Gleiters und $f_{\rm recess}$ ist die Kraft der Wegbegrenzung der Hauptgleitfläche 1. Mit dem Simulationstool (7-12) werden die Parameter $R_{\rm eff-1}$, μ_1 , d_1 , $R_{\rm eff-2}$ und μ_2 des SIP-Adaptive so optimiert, dass die Extrema der totalen Bauwerksbeschleunigung $\max\{abs(\ddot{u}_s+\ddot{u}_g)\}$ als Funktion des PGA den vom planenden Bauingenieur spezifizierten Verlauf zeigen, also Mindestschubwiderstand und Isolation beim DBE unter Berücksichtigung der Wegkapazität und maximaler Schubkraft des SIP-Adaptive. Es sei angemerkt, dass zu jedem Zeitpunkt t die horizontalen Kräfte des Bauwerks und der beiden Hauptgleitflächen gleich sind

$$f_1(t) = f_2(t) = c_s \{ \dot{u}_s(t) - \dot{u}_2(t) \} + k_s \{ u_s(t) - u_2(t) \}$$
(13)

2.4 Wegkapazität

Die Wegkapazität (d_1+d_2) des SIP-Adaptive folgt aus der Simulation mit Bodenbeschleunigungszeitreihen äquivalent zum spezifizierten Spektrum des MCE.

3. Performanz des SIP-Adaptive

3.1 Performanzkriterien

Die hier betrachteten Performanzkriterien als Funktion des PGA sind:

- Extrema der totalen Bauwerkbeschleunigung $\max\{abs(\ddot{u}_s + \ddot{u}_g)\}$,
- Extrema der totalen Lagerverschiebung $\max\{abs(u_2)\}$, was die Wegkapazität U_2 liefert, und
- Extrema der horizontalen Lagerkraft $\max\{abs(f_2)\}$.

Zusätzlich wird der maximale Rückzentrierfehler relativ zur Wegkapazität ausgewiesen.

3.2 Vergleichsisolatoren

Die Performanzkriterien des SIP-Adaptive werden mit den Resultaten des herkömmlichen Gleitpendellagers vom Typ Double mit starrem Gleiter (SIP-D) und einem Gleitpendellager mit linear-viskoser Dämpfung (SIP-viskos) als vollständig linearem Isolator verglichen. Beide Vergleichsisolatoren haben die Isolationsperiodendauer $T_{\rm iso}$ und deren Reibdämpfung resp. viskose Dämpfung sind auf den PGA des DBE optimiert.

3.3 Bodenbeschleunigungszeitreihen

Die Performanzkriterien der SIP-Adaptives #1, #2 und #3 werden für die PGA-skalierte Bodenbeschleunigungszeitreihe des El Centro (Nord-Süd) Erdbebens berechnet, wobei die SIP-Adaptives #2 und #3 experimentell getestete Lager darstellen (Abbildung 1 - Abbildung 3). Die Performanzkriterien der SIP-Adaptives #4 und #5 werden für das PGA-skalierte Loma Prieta Erdbeben berechnet, um die Wirksamkeit des SIP-Adaptive auch für ein Erdbeben mit anderem Frequenzgehalt nachzuweisen. Die Berechnungen werden mit dem Simulationsmodell (7-12) für kleinste PGAs bis zum PGA des MCE durchgeführt, wo die übliche Annahme getroffen ist, dass das MCE einen 1,5-fach größeren PGA-Wert als das DBE aufweist.

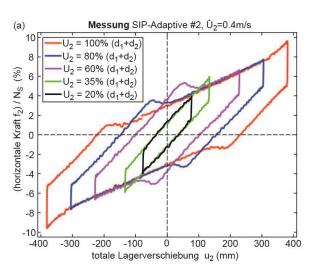
3.4 Parameter der betrachteten SIP-Adaptives

Die Designs der SIP-Adaptives #1, #2 und #3 für die PGA-skalierte Bodenbeschleunigungszeitreihe des El Centro Erdbebens sind in Tabelle 1 gezeigt. Das SIP-Adaptive #1 hat die gleiche $T_{\rm iso}$ wie die Vergleichsisolatoren, während die SIP-Adaptives #2 und #3, welche am EUCENTRE in Pavia getestet wurden (Abbildung 1 - Abbildung 3), eine größere $T_{\rm iso}$ und damit größere $T_{\rm iso}$ aufweisen. Für das PGA-skalierte Loma Prieta Erdbeben sind die SIP-Adaptives #4 und #5 mit gleicher resp. höherer $T_{\rm iso}$ entworfen (Tabelle 1).

Für die Simulationen der SIP-Adaptives #2 und #3 wurden die aus den Messungen mittels kinematischem Modell des SIP-Adaptive identifizierten Parameter inklusive modelliertem Stribeck-Effekt verwendet (Abbildung 5, Abbildung 6), um die Performanzkriterien für die tatsächlichen Paramater der SIP-Adaptives #2 und #3 mittels dynamischer Simulation zu bestimmen. Die berechneten Performanzkriterien der SIP-Adaptives #1, #4 und #5 basieren auf den Auslegungsparametern und damit auf den simulierten Kraft-Weg-Charakteristika (Abbildung 7).

	Isolator	С	μ_1	$\frac{R_{eff-1}}{R_{eff-1}}$	d_1	μ_2	$\frac{R_{eff-2}}{R_{eff-2}}$	T_{iso}
		(kNs/m)	(%)	R _{eff}	(m)	(%)	R _{eff}	(s)
El Centro (NS)	SIP-D	NA	4.80	0.5	NA	4.80	0.5	3.75
	SIP-viskos	940	NA	0.5	NA	NA	0.5	3.75
	SIP-Adaptive #1	NA	3.00	0.70	0.17	5.00	0.70	3.75
	SIP-Adaptive #2	NA	1.20*	0.80*	0.19*	4.76*	1.10*	~5.1
	SIP-Adaptive #3	NA	1.01*	0.80*	0.13*	4.65*	0.95*	~4.9
Loma Prieta	SIP-D	NA	4.65	0.5	NA	4.65	0.5	3.75
	SIP-viskos	1225	NA	0.5	NA	NA	0.5	3.75
	SIP-Adaptive #4	NA	2.50	0.70	0.20	4.70	0.70	3.75
	SIP-Adaptive #5	NA	1.50	0.90	0.18	4.60	0.90	~4.9

Tabelle 1. Parameter der für Simulationen verwendeten Gleitpendellager.



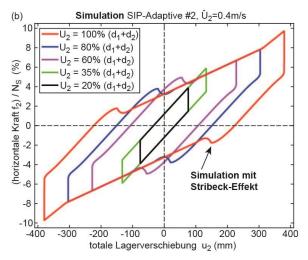


Abbildung 5. (a) Gemessene und (b) simulierte Kraft-Weg-Charakteristika des SIP-Adaptive #2 bei sinusförmiger horizontaler totaler Lagerverschiebung als Input (kinematische Anregung).

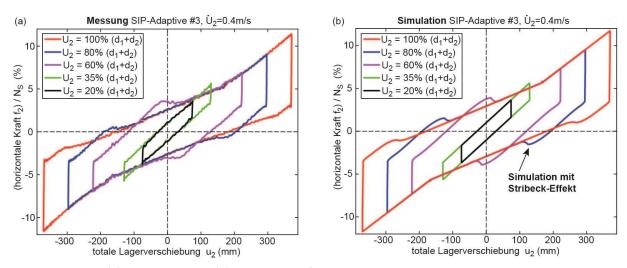


Abbildung 6. (a) Gemessene und (b) simulierte Kraft-Weg-Charakteristika des SIP-Adaptive #3 bei sinusförmiger horizontaler totaler Lagerverschiebung als Input (kinematische Anregung).

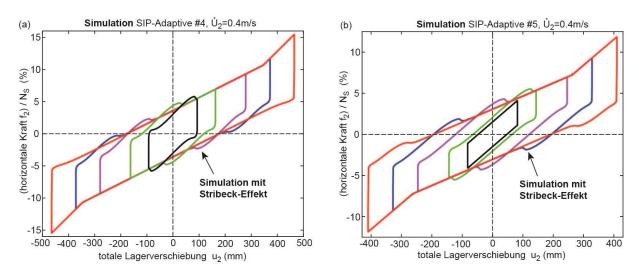


Abbildung 7. Simulierte Kraft-Weg-Charakteristika der SIP-Adaptives #4 (links) und #5 (rechts) bei sinusförmiger horizontaler totaler Lagerverschiebung als Input (kinematische Anregung).

3.5 Resultate

Die Extrema der totalen Bauwerksbeschleunigung und totalen Lagerverschiebung zeigen, dass alle SIP-Adaptives die Beschleunigungsantwort des Bauwerks im Vergleich zum herkömmlichen SIP-D, dessen Reibdämpfung für das DBE optimiert ist, im ganzen PGA-Bereich signifikant reduzieren, und dies – je nach Auslegung des SIP-Adaptive – bei einer um 12 % bis 22 % kleinerer Wegkapazität (Abbildung 8, Abbildung 9). Ähnlich wie die Extrema der totalen Bauwerksbeschleunigung sind auch die Extrema der horizontalen Kraft des SIP-Adaptive wegen $f_2 \sim (\ddot{u}_s + \ddot{u}_g)$ reduziert (Abbildung 10). Der relative Rückzentrierfehler ist mit 8 % bis 16 % bei weitem unterhalb des maximal akzeptierten Rückzentrierfehlers [3]. Alle getesteten SIP-Adaptives zeigen, dass sich die minimale Schubkraft des Lagers über den Reibwert μ_1 der unteren Hauptgleitfläche einstellen lässt, ohne dabei Einbußen bei höheren PGAs im Bereich des DBE bis hin zum MCE in Kauf nehmen zu müssen, da in diesem PGA-Bereich die Bauwerkbeschleunigung und die Relativverschiebung des SIP-Adaptive primär durch die Parameter μ_2 und $R_{\rm eff-2}$ der oberen Hauptgleitfläche bestimmt sind. Der Vergleich mit dem linearen Isolator SIP-viskos mit $T_{\rm iso}$ =3,75 s und optimierter viskoser Dämpfung zeigt, dass das SIP-Adaptive den linearen Zusammenhang zwischen PGA und Bauwerkbeschleunigung annährend erreicht, jedoch mit

dem vorteilhaften Unterschied, dass der minimale Schubwiderstand von Null verschieden und über μ_1 einstellbar ist.

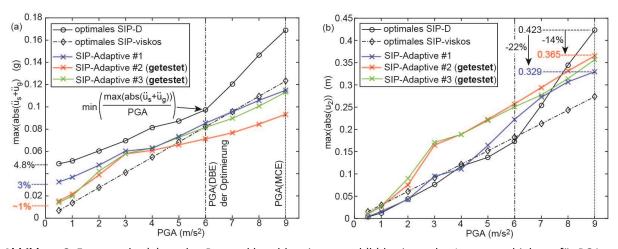


Abbildung 8. Extrema der (a) totalen Bauwerkbeschleunigung und (b) horizontalen Lagerverschiebung für PGA-skaliertes El Centro Erdbeben.

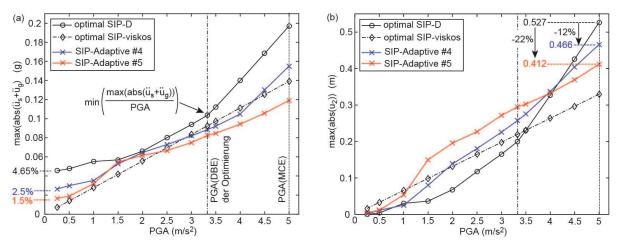


Abbildung 9. Extrema der (a) totalen Bauwerkbeschleunigung und (b) horizontalen Lagerverschiebung für PGA-skaliertes Loma Prieta Erdbeben.

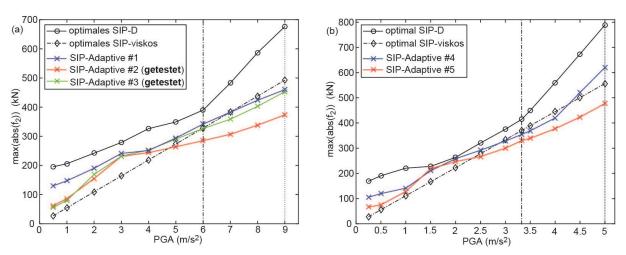


Abbildung 10. Extrema der horizontalen Lagerkraft für (a) skaliertes El Centro Erdbeben (b) skaliertes Loma Prieta Erdbeben.

3.6 Grund der verbesserten Performanz

Durch das Gelenk des Gleiters sind die Gleitwege an den Hauptgleitflächen 1 und 2 voneinander entkoppelt; dies ist nicht der Fall bei einem starren Gleiter, wo die Gleitwege an den beiden Gleitwegen eines SIP-D unabhängig der Reibwerte der beiden Hauptgleitflächen wegen der geometrischen Zwangsführung identisch sind. Die Entkoppelung der Gleitwege beim SIP-Adaptive ermöglicht es, die Parameter der beiden Hauptgleitflächen 1 und 2 unterschiedlich anzusetzen. In einem ersten Designschritt wird die Hauptgleitfläche 1 auf kleine und häufig auftretende Erdbeben und den spezifizierten minimalen Schubwiderstand ausgelegt, während die Hauptgleitfläche 2 für maximale Isolation des Bauwerks bei PGAs im Bereich des DBE ausgelegt wird. In einem zweiten Designschritt werden alle Paramater beider Hauptgleitflächen hinsichtlich der Performanzkriterien als Funktion des gesamten PGA-Bereichs und hinsichtlich maximaler Wegkapazität und maximalem Schubwiderstand beim MCE optimiert. Die verbesserte Performanz des SIP-Adaptive im gesamten PGA-Bereich ist also die direkte Folge der Entkoppelung beider Gleitwege, was die optimierte Isolation im gesamten PGA-Bereich erst ermöglicht.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Relativverschiebungen an beiden Hauptgleitflächen des SIP-Adaptive sind dank des gelenkigen Gleiters entkoppelt, womit die effektiven Radien und Reibwerte beider Hauptgleitflächen unabhängig voneinander auf unterschiedliche PGAs ausgelegt werden können. Dies bringt folgende Vorteile gegenüber herkömmlichen Gleitpendellagern mit starrem Gleiter:

- Die Hauptgleitfläche 1 kann optimal auf den geforderten minimalen Schubwiderstand und kleine (PGA) aber häufig auftretende Erdbeben ausgelegt werden.
- Die Hauptgleitfläche 2 kann für maximale Bauwerkisolation bei PGAs im Bereich des DBE optimiert werden, wobei der Optimierungsbereich bez. PGA vom Kunden spezifiziert werden kann.
- Der maximale Schubwiderstand und die Wegkapazität sind reduziert, weil das SIP-Adaptive in allen Betriebspunkten (PGAs) annährend optimal arbeitet: kleine PGAs erfordern kleine Reibwerte, größere PGAs erfordern größere Reibwerte für optimale Isolation.
- Bauwerksrotationen werden durch den gelenkigen Gleiter zwangsfrei aufgenommen.
- Relativverschiebung wird im Lager auch nach langen Stillstandzeiten ausgelöst, da der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Reibung an der geschmierten Hauptgleitfläche vernachlässigbar klein ist.

Das Konzept des SIP-Adaptive macht es also möglich, die vom Kunden spezifizierte, PGA-abhängige Performanz zu realisieren.

Dank

Allen an der Entwicklung des SIP-Adaptive beteiligten Mitarbeitern der MAURER Gruppe sei hier gedankt.

Literaturverzeichnis

- [1] Yen K.Z.Y. and Lee Y.J. *Passive vibration isolating system.* US Patent No. 6126136, October 3, 2000.
- [2] Weber F., Meier L., Distl J. and Braun C. Optimum Design of Curved Surface Sliders for Minimum Structural Acceleration and Its Sensitivity. *Geoscience* 2018, 8, 83; doi:10.3390/geosciences8030083.
- [3] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. EN 1998-1:2004 + AC:2009.
- [4] Weber F., Obholzer F., Huber P., Hartinger M., Meier L., Distl J., and Braun C. New adaptive Curved Surface Slider for Enhanced Structural Isolation and Reduced Displacement Capacity. *Proc. of 16th European Conference on Earthquake Engineering (16 ECEE)*, Thessaloniki, Greece, June 18-21, 2018.