

Entwicklung einer neuartigen Dämpfungsmaßnahme mit Formgedächtnislegierungen

Masterarbeit von Thorsten Krampe

Schwingungen im Bauwesen stellen eine große Herausforderung dar. So entstehen vor allem durch Erdbeben oder Wind stochastische Anregungen, die sich nur schwer kontrollieren lassen. Eine immer filigraner werdende Bauweise trägt zudem zu deutlich schwingungsanfälligeren Systemen bei. Dämpfungsmaßnahmen können Schwingungen reduzieren und so die Standsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit sowie die Lebensdauer eines Bauwerks erhöhen.

Gegliedert werden Dämpfungsmaßnahmen in aktive, passive, hybride und semiaktive Systeme. Rückstellkräfte der aktiven Dämpfer werden durch Aktoren gezielt aufgebracht. Es ist allerdings ein externer Energieanschluss notwendig. Passive Systeme funktionieren ohne Energie von außen. Hier sind z.B. Stahl-Hysterese-Dämpfer sehr wirkungsvoll für Bauwerke, da durch die plastische Verformung des Stahls viel Energie dissipiert wird. Der große Nachteil dieser Systeme liegt in der verbleibenden Verformung. Nach jedem Erdbeben müssen die Dämpfer ausgetauscht werden, was hohe Kosten und einen großen Arbeitsaufwand verursacht. Hybride Systeme bestehen aus der Kombination eines passiven Dämpfers mit einem Aktor. Semiaktive Dämpfer reagieren durch Sensoren auf Schwingungen und passen ihre Eigenschaften entsprechend optimal an.

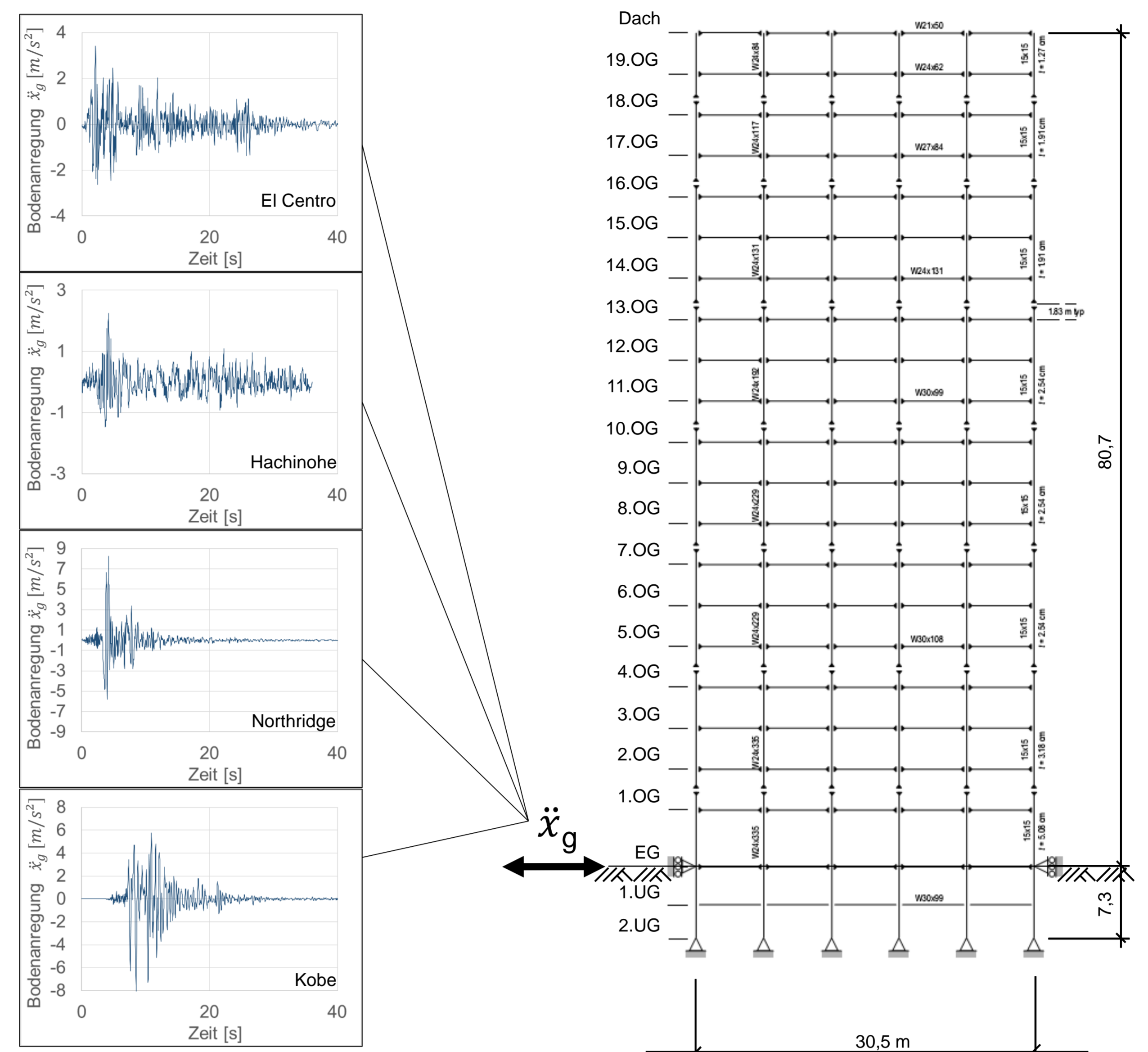


Abb. 2: Numerische Verifikation am Beispiel eines seismisch angeregten Benchmark-Gebäudes

Die mit FGL-Kabeln entwickelte Dämpfungsmaßnahme wird an einem zwanzig geschossigen nichtlinearen Benchmark-Gebäude verifiziert (vgl. Abb. 2). Dadurch kann die Dämpfungsmaßnahme über verschiedene Evaluationskriterien mit anderen Dämpfungsmaßnahmen verglichen werden. Das Gebäude ist eine Stahlrahmenkonstruktion mit einer Höhe von 81 m und einem Grundriss von 30 m x 36 m. Modelliert ist es als 2-D Modell. Eine physikalische Nichtlinearität wird über ein bilineares Materialgesetz für den Stahl implementiert, welches für große Spannungen deutlich an Steifigkeit verliert. So können die Effekte von plastischen Verformungen abgebildet werden. Die erste Eigenfrequenz beträgt 0,26 Hz. Als Belastung werden vier historische Erdbeben untersucht, deren Verläufe links in Abb. 2 dargestellt sind.

Abb. 3 zeigt beispielhaft eine Etage mit installierter Dämpferbox. Darunter dargestellt sind die Schwingungsverläufe einer Etage mit- (blau) und ohne- (rot) Dämpfungsmaßnahme. Die Ausschwingphase der gedämpften Verläufe ist bis zu 35 % reduziert. Zu beachten ist die größere Skalierung der Verschiebungsachse der beiden Erdbeben *Northridge* und *Kobe*. Diese sind deutlich stärker als das *El Centro* oder *Hachinohe* Beben und bewirken entsprechend große Verschiebungen. Durch die Dämpfer können hier die plastischen Verformungen des Gebäudes stark gesenkt werden.

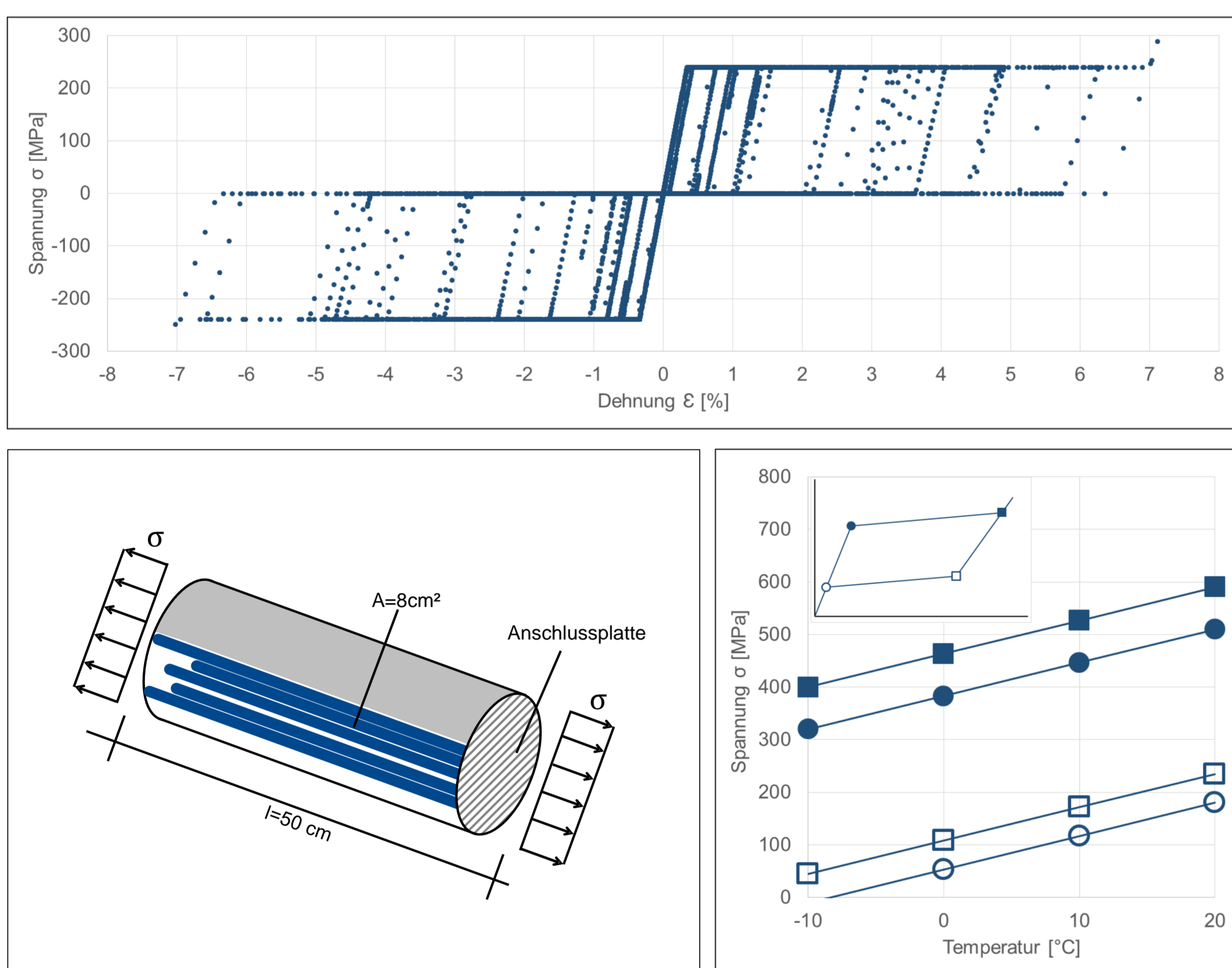


Abb. 1: Hysteresekurve des FGL-Dämpfers (oben), FGL-Einheit (unten links), semiaktive Steuerung über Temperaturabhängigkeit des FGL-Dämpfers (unten rechts)

Formgedächtnislegierungen (FGL) sind ein für das Bauwesen innovativer Werkstoff. Mit steigender Temperatur durchläuft die Spannungs-Dehnungs-Linie ein höheres Spannungsniveau (vgl. Abb. 1). Dies hat zwei Effekte zur Folge: Ist das Material kälter als eine Grenztemperatur, kann es plastisch verformt werden. Ein anschließendes Erwärmen formt das Material zurück in die Ausgangsform. Dies wird der *Formgedächtniseffekt* genannt. Ist das Material hingegen wärmer, verhält es sich *superelastisch*. Es können große Dehnungen bis etwa 8 % aufgenommen werden, ohne dass es zu bleibenden Deformationen kommt. Zum Vergleich: Stahl kann weniger als 0,2 % Dehnung aufnehmen, bevor er sich plastisch verformt. Durch eine Phasenumwandlung in der Kristallstruktur der FGL durchläuft das Material bei der Belastung eine Hysterese. Auf diese Weise wird dem System Energie entzogen, wodurch Schwingungen reduziert werden. Im Rahmen der Abschlussarbeit wurde eine neuartige Dämpfungsmaßnahme mit FGL entwickelt. Dabei wird die FGL in Form von Drähten als Zugkabel, im *superelastischen* Zustand, zwischen die Rahmenstruktur eines Gebäudes geschaltet.

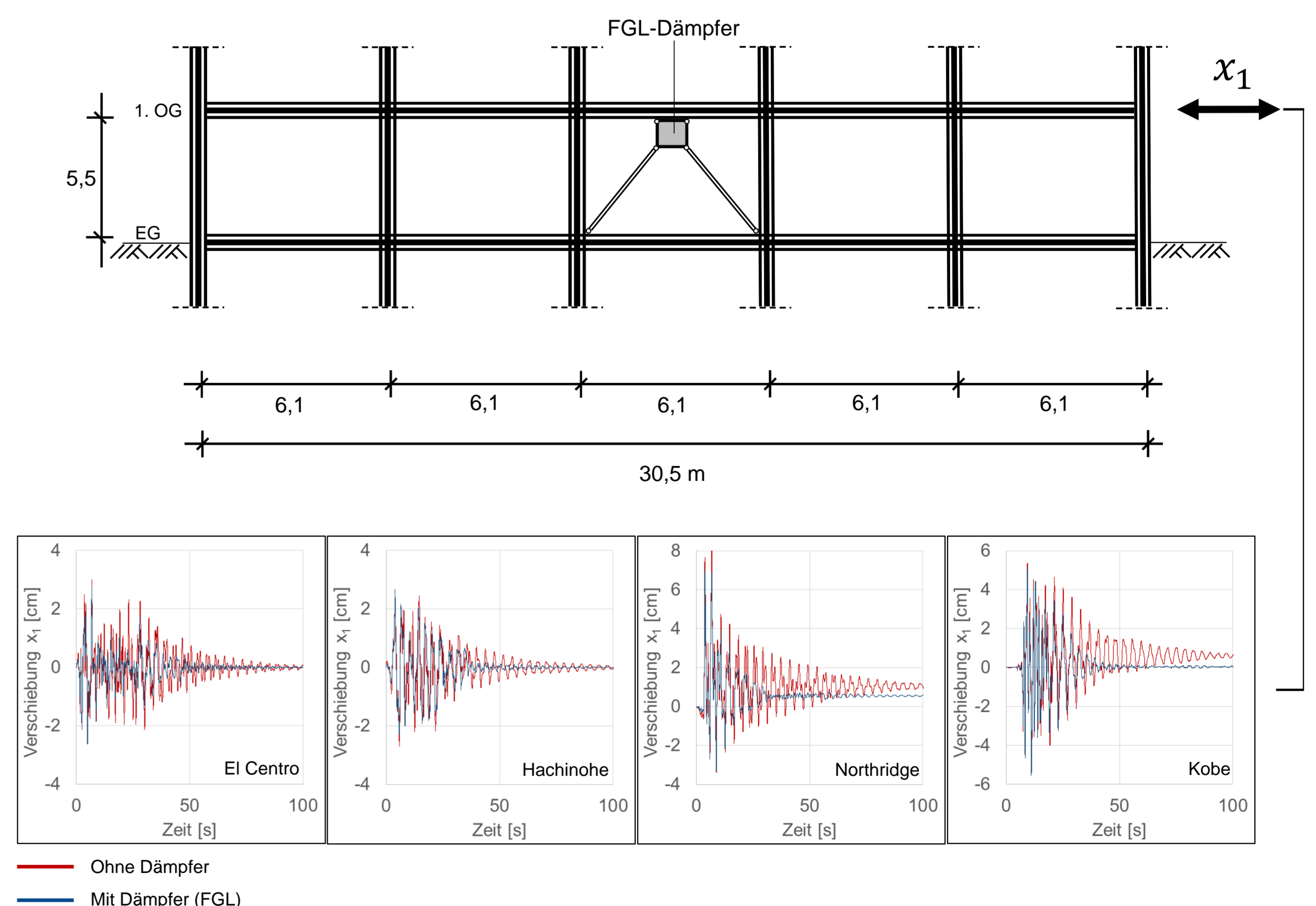


Abb. 3: Effektivität der FGL-Dämpfer am Benchmark Gebäude