

# Seismische Vulnerabilität von bestehenden Bauwerken

C. Butenweg\*, H. Sadegh-Azar\*\*, K. Meskouris\*

\* Chair of Structural Statics and Dynamics, RWTH Aachen, Germany

\*\* Hochtief Construction AG, Frankfurt, Germany

Erdbeben verursachen durch zunehmende Verstädterung, Besiedlung und Industrialisierung hochexponierter Regionen sowie steigende Verwundbarkeit und Kapitalintensität moderner Technologien in Industrieländern immer größere volkswirtschaftliche Schäden, während Entwicklungsländer eine hohe Anzahl von Todesopfern auf Grund unsolider Bebauung aufweisen. Die Hauptursache sowohl für finanzielle Verluste als auch für die Todesopfer liegt dabei in dem Versagen von Bauwerken. Primäre Schäden ergeben sich durch den Einsturz öffentlicher Gebäude und Wohnhäuser, sekundäre Schäden entstehen vor allem aus der Zerstörung infrastruktureller Bauwerke, wie Brände infolge beschädigter Gasleitungen, Überflutungen infolge Versagen von Absperrbauwerken oder das Austreten von giftigen Stoffen durch die Schädigung industrieller Anlagen. Erdbeben setzen also eine komplexe Schadenskette in Gang, die im Wesentlichen von der seismischen Verletzbarkeit oder auch **Vulnerabilität** der bestehenden Bauwerke abhängig ist. Deshalb kommt der Entwicklung von zuverlässigen Methoden zur Bestimmung der seismischen Vulnerabilität eine zentrale Bedeutung bei der Ableitung geeigneter Verstärkungsmaßnahmen von Bauwerken zu. Außerdem ermöglicht die Vulnerabilitätsbestimmung die Simulation von Schadenszenarien, etwa zur Ausarbeitung von Katastrophenplänen oder zur Prognostizierung von volkswirtschaftlichen und versicherungstechnischen Schadenssummen.

Die seismische Vulnerabilität kann gemäß Eurocode 8 in drei verschiedenen **Untersuchungsstufen** mit unterschiedlicher Genauigkeit bestimmt werden. In der **Untersuchungsstufe I** basiert die Beurteilung der seismischen Vulnerabilität auf der statistischen Auswertung von Erdbebenschäden und auf der systematischen Nutzung von Expertenwissen. Im ersten Fall werden die Schäden infolge eines Bebens aufgenommen und statistisch ausgewertet, so dass der Zusammenhang zwischen dem Schädigungsgrad des Bauwerks und der Erdbebenintensität als **Vulnerabilitätskurve** dargestellt werden kann. Im zweiten Fall werden durch systematische Befragungen von Experten und einer anschließenden statistischen Auswertung Matrizen erstellt, die den Zusammenhang zwischen dem Schädigungsgrad des Bauwerks und der Erdbebenintensität angeben. Die **Untersuchungsstufe II** umfasst Methoden, die auf vereinfachten Rechenmodellen der Bauwerke basieren. Als wichtigstes Rechenverfahren hat sich in dieser Stufe die Kapazitätsspektrummethode etabliert. Die Kapazitätsspektrummethode findet zum Beispiel in dem Programm HAZUS99 Anwendung, das in den U.S.A. entwickelt wurde, um in kurzer Zeit eine Aussage über die seismische Gefährdung einer großen Anzahl von Bauwerken treffen zu können. Die Methode wurde erfolgreich für großflächige Untersuchungen eingesetzt, da sie alle notwendigen Werte für die Ermittlung der ökonomischen und sozialen Konsequenzen in einem Erdbebenfall liefert. In der **Untersuchungsstufe III** wird die seismische Vulnerabilität durch die Kopplung der probabilistischen seismischen Gefährdungsuntersuchung (PSHA) mit einer transienten nichtlinearen Tragwerksanalyse bestimmt. Diese Untersuchung kann auf Grund des hohen Zeitaufwands nur auf Einzelbauwerke mit einer übergeordneten Bedeutung angewendet werden und eignet sich nicht für großflächige Schadenszenarien.

Der Beitrag stellt das systematische Verfahren „EQ-FAST“ zur Bestimmung der seismischen Vulnerabilität von Wohngebäuden basierend auf den drei vorgestellten Untersuchungsstufen vor. Das Verfahren wurde im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Gerling Global Rückversicherungs AG und der Gerling Consulting Gruppe GmbH an der RWTH Aachen entwickelt. Direkter Anlass für die Entwicklung der Methode waren das katastrophale Türkei-Beben am 17. August 1999 und die daraus entstandene Nachfrage der Finanz- und Versicherungswirtschaft nach geeigneten Werkzeugen zur Abschätzung des Risikos von Gebäuden für künftige Erdbeben, um entsprechende Versicherungsleistungen zu entwickeln. Da das Verfahren quantitative Aussagen zur Versagenswahrscheinlichkeit von Gebäuden durch seismische Erschütterungen liefert, können daraus vielfältige Aussagen zur Sicherheit und Sicherung von Gebäuden abgeleitet werden. Das Verfahren wurde in ein benutzerfreundliches Programm umgesetzt, mit dem eine schnelle Bewertung der seismischen Vulnerabilität durchgeführt werden kann. Die aktuellen Entwicklungen betreffen die Erweiterung des Verfahrens auf Sonderbauwerke (z.B. Industrieanlagen, Kraftwerke, Talsperren) und infrastrukturelle Bauwerke (z.B. Brücken).

Die Anwendung des entwickelten Verfahrens wird an Beispielbauwerken demonstriert und die Ergebnisse in den einzelnen Untersuchungsstufen werden verglichen. Durch eine systematische Übertragung der Untersuchungsergebnisse in GIS-Systeme lassen sich bei einem genügend großen Gebäudebestand klein- bis großräumige Risikomodelle erstellen. Neben der Sicherung von Einzelgebäuden lässt sich auf diese Weise eine deutlich verbesserte, statistisch abgesicherte Analyse und Bewertung exponierter Risiken realisieren, die für alle diejenigen von Bedeutung ist, die sich strategisch und planerisch mit dem seismischen Risiko beschäftigen, seien dies kommunale Verwaltungen, Organe des Katastrophenschutzes oder, nicht zuletzt, die Versicherungswirtschaft.