

Der neue ETH-Erdbebensimulator

Autor(en): **Bachmann, Hugo / Wenk, Thomas / Baumann, Markus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 4

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79687>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Hugo Bachmann, Thomas Wenk, Markus Baumann und Pierino Lestuzzi, Zürich

Der neue ETH-Erdbebensimulator

Der kürzlich fertiggestellte Erdbebensimulator des Instituts für Bau- statik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich ist ein hochwertiges Instrument für Forschung und Lehre in den stets wichtiger werdenden Gebieten Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen. In der Forschung können Tragwerksteile bis zu sechs Meter Höhe und 40 Tonnen Masse realistischen Erdbeben ausgesetzt und in der Lehre anspruchsvolle Begriffe und Zusammenhänge veranschaulicht und demonstriert werden.

Weltweit und in der Schweiz wurde das Erdbebenrisiko bis vor kurzem stark unterschätzt. Heute weiss man, dass mit enormen Erdbebenschäden und -folgen gerechnet werden muss. Gemäss einer kürzlichen Studie des Bundesamtes für Zivilschutz stellt die Erdbebengefahr das grösste Naturgefahrenrisiko in der Schweiz [1] [2] dar. Bild 1 zeigt die Anteile der einzelnen Naturgefahren am gesamten gewichteten Risiko aus Naturgefahren [3]. Das gewichtete Risiko berücksichtigt eine stärkere Gewichtung von Grossereignissen gegenüber kleineren Ereignissen, weil seltene Ereignisse mit grossem Schadenausmass von der Gesellschaft als wesentlich schlimmer denn häufige Ereignisse mit kleinem Schadenausmass beurteilt werden. Zudem bewirkt ein konzentriertes Grossereignis bezüglich Katastrophenbewältigung sehr viel mehr Probleme als eine Summe von zeitlich und örtlich verteilten

kleineren Ereignissen mit insgesamt gleichem Schadenausmass. Die vergleichende Betrachtung weist das Erdbeben aus der Sicht der Katastrophenvorsorge als grösstes gewichtetes Risiko - verglichen mit den anderen Naturgefahren (Hochwasser, Gewitter, Sturm, Lawinen, Kältewelle, Trockenheit usw.) - aus. Bild 1 berücksichtigt nur Ereignisse bis zu einem Ausmass, bei dem die Folgen mit der normgemässen Erdbebensicherung der Bauwerke hätten stark verringert werden können. Werden zusätzlich extrem seltene Grossereignisse mit einbezogen, so erhöht sich der Anteil des Erdbebens auf gegen die Hälfte des gesamten gewichteten Risikos [1].

Vermehrte Anstrengungen dringend

Vermehrte Anstrengungen, vor allem zur Erdbebensicherung von Bauwerken und Anlagen, sind dringend erforderlich [3]. Dabei geht es um Massnahmen auf zahlreichen Sachgebieten: die Schaffung von Rechtsgrundlagen, Normenwesen, Erdbebensicherung neuer Bauwerke, Erdbebensanierung bestehender Gebäude, bestehender Brücken und historischer Bauten, Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen, von Installationen und Einrichtungen, von chemischen Anlagen, von Bauwerken und Anlagen mit vitaler Funktion (Lifelines), von Talsperren usw. Wichtige weitere Sachgebiete mit Handlungsbedarf sind die Forschung zum Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen und die Lehre bzw. die Ausbildung von Ingenieuren und Architekten.

Die Forschung im Erdbebeningenieurwesen ist von wesentlicher Bedeutung. Sie hat vor allem Grundlagen und Erkenntnisse zu liefern, auch bezüglich der in der Schweiz verwendeten Baustoffe und hier üblichen Konstruktionsweisen. Und eine gute Ausbildung der Studierenden an den Hochschulen - wie auch die Fortbildung der praktisch tätigen Ingenieure und Architekten - ist wichtig zur Reduktion des Erdbebenrisikos, auch durch die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis. In beiden Bereichen, in der Forschung und in der Lehre des Erdbebeningenieurwesens, und auch in den zugehörigen Grundlagengebieten der Baudynamik, sind grosse Anstrengungen erforderlich. Dabei dient der neue Erdbebensimulator der ETH Zürich als hochwertiges Arbeitsinstrument.

Experimentelle Forschung wozu?

Die Forschung im Erdbebeningenieurwesen erfolgt entlang von zwei Strängen:

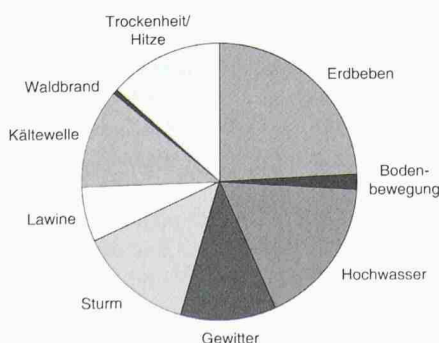
- Computer-Simulationen
- Experimentelle Untersuchungen langsam ablaufend: statisch-zyklische Versuche

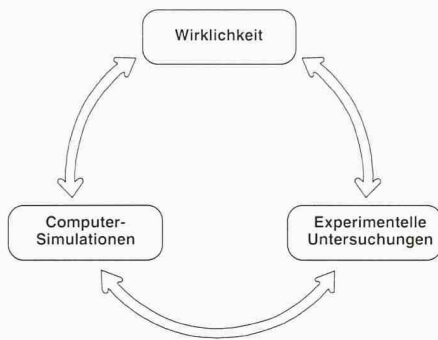
rasch ablaufend: dynamische Versuche

Einerseits werden Computerprogramme entwickelt, welche die numerische Simulation des Erdbebenverhaltens ganzer Bau- und Tragwerke erlauben (z.B. [4]). Andererseits werden experimentelle Untersuchungen durchgeführt, meist an Tragwerksteilen und in einem Modellmassstab (z.B. [5]). Sie dienen dazu, die Material- und Verhaltensgesetze der Baustoffe und Bauteile zu finden, mit denen dann die Computerprogramme geeicht werden können. Bild 2 veranschaulicht das Zusammenwirken von Computer-Simulationen und experimentellen Untersuchungen mit der Wirklichkeit.

Bei den experimentellen Untersuchungen gibt es langsam ablaufende, statisch-zyklische Versuche und rasch ablaufende, dynamische Versuche. Beide haben ihre Vor- und Nachteile: Bei den statisch-zyklischen Versuchen werden die Erdbeben von etwa 10 bis 20 Sekunden Dauer zeitlich auf mehrere Stunden oder Tage erstreckt und meist auch in einer Folge von Zyklen mit zunehmenden plastischen Verformungen schematisiert. Nach jedem Verformungs- oder Zeitschritt wird der Versuch angehalten, um im Stillstand präzise Messungen vornehmen zu können. Die Entwicklung des Verformungszustands in den plastischen Bereichen kann somit genau beobachtet und vermessen werden. Da aber die Beanspruchung nur sehr langsam verändert wird, können bestimmte, in Wirklichkeit vorhandene Einflüsse, vor allem solche aus höherer Dehngeschwindigkeit auf das Stoffverhalten, nicht erfasst werden; auch treten Phänomene wie das Kriechen und die Relaxation der Baustoffe auf, die beim wirklichen Erdbeben aus Zeitgründen nicht auftreten. Bei den dynamischen Versuchen hingegen läuft das Geschehen in Echtzeit ab (oder allenfalls mit relativ geringer Korrektur, resultierend aus dem Modellmassstab). Solche Versuche liegen näher bei der Wirklichkeit als die statisch-zyklischen Versuche; alles geht sehr rasch, und deshalb sind die Möglichkeiten für Beobachtungen und Messungen beschränkt. Ein Nachteil der dynamischen Versuche ist die erforderliche Modellierung der Massen, die bei realistischen Bauteilversuchen sehr aufwendig werden kann. Mit Hilfe eines kleineren

1
Anteile der verschiedenen Naturgefahren am gesamten gewichteten Risiko in der Schweiz [1], [3]





2

Forschung im Erdbebeningenieurwesen:
Zusammenwirken von Computer-Simulationen,
experimentellen Untersuchungen und Wirklichkeit

Modellmassstabs können die benötigten Massen in Grenzen gehalten werden. Das zentrale Instrument für rasche dynamische Versuche ist der Erdbebensimulator.

Komponenten und Leistungsdaten des Simulators

Der ETH-Erdbebensimulator ist ein sehr hochwertiges und anspruchsvolles Sy-

stem: Mechanik, Hydraulik, Elektronik, Messtechnik und Computer sind daran beteiligt und eng miteinander vernetzt. Er wurde weitgehend aus bereits am Institut vorhandenen Komponenten kostengünstig konstruiert. Der Kernbereich des Simulators besteht im wesentlichen aus den folgenden Komponenten (Bilder 5 und 8):

- Beweglicher Tisch
- Hydraulikzylinder mit Servoventilen und Pumpen
- Reaktionsbock und Pufferelement
- Steuerungselektronik

Der bewegliche Tisch - auch «Rütteltisch» (shake table) genannt - ist auf Profilschienen möglichst reibungsfrei geführt. Die Schienen befinden sich auf einem im Aufspannboden verankerten massiven Sockel. Die Bewegung ist horizontal und eindimensional. Die Profilschienenführungen können sowohl Druck- wie auch Zugkräfte aufnehmen. Der Tisch ist 2 m lang (Bewegungsrichtung), 1 m breit und mit einem Lochraster zum Aufspannen von Versuchskörpern versehen. Die bewegte Masse kann bis über 40 Tonnen betragen.

Der hydrostatisch gelagerte, servohydraulisch gesteuerte Zylinder, mit beidseitig reibungsarmen und spielfreien Gelenkanschlüssen, kann Kräfte bis 100 kN erzeugen. Die maximal möglichen Verschie-

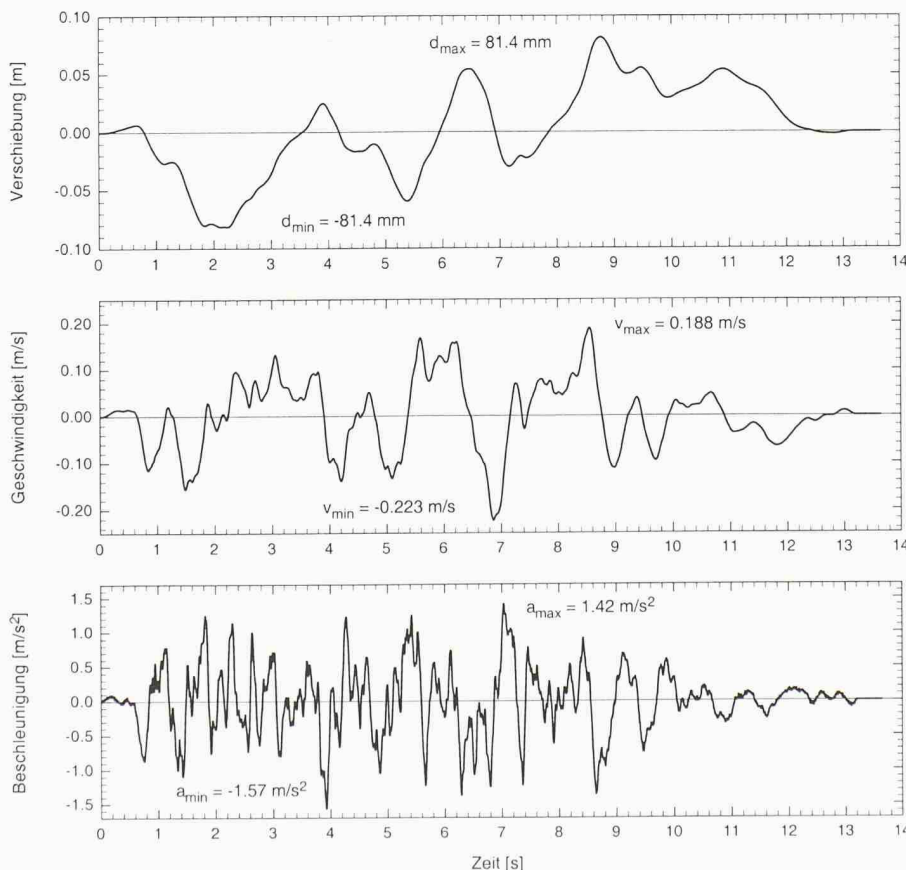
bungen aus der Ruhelage nach beiden Seiten hin betragen 125 mm. Der Frequenzbereich des Zylinders reicht von 0 bis rund 100 Hz, ist aber sehr stark von der Amplitude der Bewegung, von der Förderleistung der Hydraulikpumpen und der Durchflussleistung der Ventile und Zuleitungen abhängig. Der erforderliche Öldruck von 280 bar wird durch eine unter dem Aufspannboden eingebaute Pumpenanlage mit einer maximalen Förderleistung von 240 l/Minute erzeugt.

Die Kräfte des Zylinders werden einerseits auf den Tisch und andererseits auf den Reaktionsbock, der auf dem Aufspannboden fixiert ist, abgegeben. Damit der Zylinder nicht mit voller Geschwindigkeit in seine Endlage gefahren werden kann, befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite des Rütteltisches ein eigens konstruiertes Pufferelement, das den Tisch über eine Strecke von etwa 1 cm und bei einer Maximalkraft von 400 kN vor der Endlage des Zylinders abbrems.

Die Steuerungselektronik besteht aus einem adaptiven Digitalregler, dessen Optimierung automatisch erfolgen kann. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Bewegung ist neben einem einstellbaren mechanischen Dämpfungsglied auch noch eine Differenzdruckregelung zuschaltbar. Der Sollwert der Steuergrösse wird aus einer numerischen Tabelle in einen besonderen Funktionsgenerator eingelesen, der ihn im zeitrichtigen Ablauf an den Regler abgibt. Dieser bildet mit dem Messwert der Zylinderverschiebung ein Differenzsignal, das er in einen entsprechenden analogen Stromfluss zur Steuerung des Servoventils umwandelt.

3

Numerisch generiertes Erdbeben entsprechend Norm SIA 160, Zone 3b, für weiche Böden

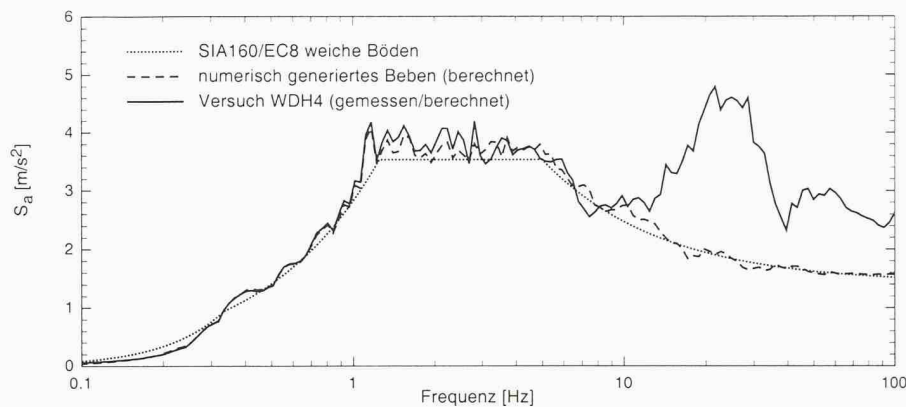


Simulation verschiedener Erdbeben

Der ETH-Erdbebensimulator ist in der Lage, Erdbeben mit ganz bestimmten Eigenschaften zu simulieren. Im Idealfall sind die Zeitverläufe der Tischbewegungsgrößen (Tischverschiebung, -geschwindigkeit und -beschleunigung) genau gleich wie vorgegebene Zeitverläufe der Bodenbewegungsgrößen. Wichtigste Zielgrösse ist im allgemeinen der Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung. Es können sowohl natürliche, d. h. anlässlich eines Erdbebens gemessene, als auch numerisch generierte Zeitverläufe verwendet werden. Letztere werden mit Hilfe von Zufallsprozessen durch Computerprogramme erzeugt (vgl. [4]).

Bild 3 zeigt als Beispiel die Zeitverläufe der Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung eines numerisch generierten Erdbebens von 14 Sekunden Dauer, das kompatibel zu einem gegebene-

nen Antwortspektrum erzeugt worden ist. Bild 4 stellt ein Bemessungs-Antwortspektrum der Beschleunigung für weiche Böden in der Zone 3b auf der Grundlage der Norm SIA 160 [6] dar (punktirierte Linie). Da diese Norm für weiche Böden keine spektralen Angaben enthält, wurde dieses Antwortspektrum mit Hilfe des Eurocodes 8 (EC 8) [7] konstruiert. Das aus dem Zeitverlauf der Beschleunigung des numerisch generierten Erdbebens berechnete Antwortspektrum (gestrichelte Linie) deckt sich sehr gut mit dem SIA 160/EC 8-Antwortspektrum; dieses Erdbeben regt somit sämtliche Tragwerksfrequenzen dem Bemessungs-Antwortspektrum entsprechend an.



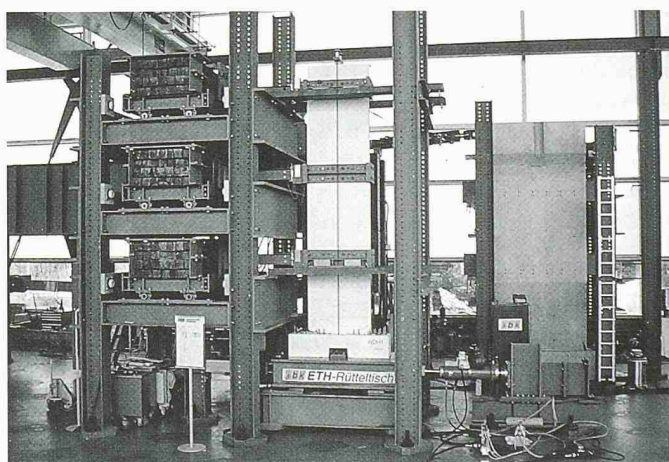
4
Antwortspektren der Beschleunigung für 5% viskose Dämpfung

Simulatorverhalten

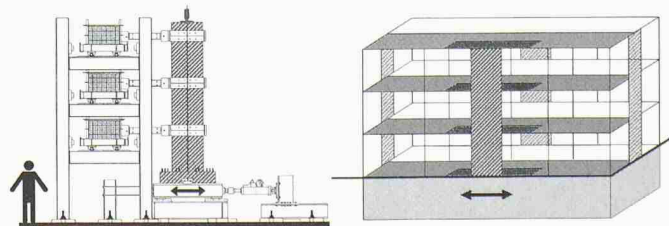
Es ist eine aussergewöhnlich anspruchsvolle Aufgabe, den Simulatortisch samt den darauf aufgebauten Versuchskörpern und den mitbewegten grossen Massen so zu steuern, dass der am Tisch gemessene tatsächliche Beschleunigungs-Zeitverlauf auch genau dem vorgegebenen entspricht. Diese Aufgabe ist bei plastischem und somit stark nichtlinearem Verhalten des Versuchskörpers noch schwieriger zu lösen als bei linearem Verhalten, bei dem der Versuch beliebig oft wiederholt und die Anregung verbessert werden kann. Für Versuche mit spektrumkompatiblen Erdbeben genügt es jedoch, wenn sich das Antwortspektrum aus der gemessenen Tischbewegung im massgebenden Frequenzbereich möglichst gut mit dem angestrebten Bemessungs-Antwortspektrum deckt.

Gewisse Zufälligkeiten des Beschleunigungs-Zeitverlaufs des Erdbebens müssen nicht ganz genau reproduziert werden. Wie man in Bild 4 sieht, ist die Steuerung im Falle der nachfolgend beschriebenen Versuche mit der Wand WDH 4 im entscheidenden Frequenzbereich von 0,5 bis 5 Hz sehr gut gelungen (ausgezogene Linie).

Erst oberhalb von etwa 12 Hz zeichnen sich Störungen ab, die vermutlich auf hochfrequente Schwingungen des mit grossen zeitlichen Druckgradienten arbeitenden Hydrauliköls zurückzuführen sind. Das hervorragende Verhalten des Simulators kam trotz der enormen Rückkopplungswirkungen der grossen Massenkräfte auf den Simulatortisch und des ausgeprägt plastischen Verhaltens der geprüften Stahlbetontragwand zustande. Für Versuche mit höheren relevanten Frequenzen, z. B. für Komponenten und Einrichtungen, müsste die Steuerung durch eine Beschleunigungskorrektur im Regelkreis ergänzt werden, um die Störungen oberhalb 12 Hz zu unterdrücken.



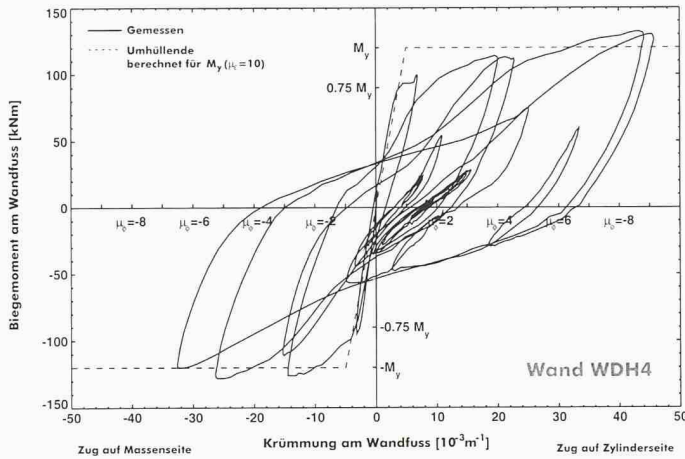
5
Erdbebensimulator mit dreistöckiger Stahlbetontragwand und 3 mal 12 t Stockwerksmassen auf mitgeführten Wagen (links)



6
Tragwandgebäude in Modell und Wirklichkeit

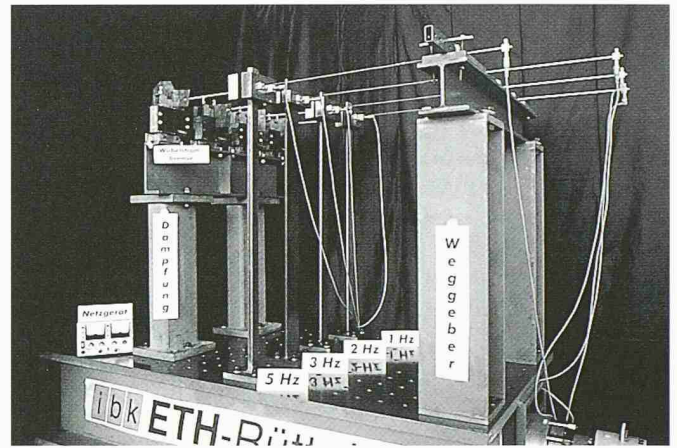
a) Versuch
Stahlbetontragwand im Modellmassstab 1:3

b) Wirklichkeit
3-stöckiges Gebäude mit Stahlbetontragwänden
Wandschlankheit: $h_w/l_w = 4.5$



7

Momenten-Krümmungs-Hysterese am Fuss der Wand WDH 4



9

Erdbebensimulator mit vier Einmassenschwingern (Mitte), Messeinrichtung (rechts) und elektrischer Dämpfungseinrichtung (links)

Stahlbetontragwand mit mitgeführten Stockwerksmassen

Bild 5 zeigt den ETH-Erdbebensimulator mit einer darauf befestigten Stahlbetontragwand und einer Nebenkonstruktion von rund 6 m Höhe. Die 3-stöckige Wand im Massstab 1:3 ist über Gelenkstäbe mit drei Stockwerksmassen aus je rund 12 Tönnen Stahlbarren verbunden, die auf horizontal rollenden Wagen fixiert sind. Die unseres Wissens hier erstmals realisierte Idee, die massstabgerechten Stockwerksmassen auf einer Nebenkonstruktion mitzuführen, entstand nach Vorversuchen, bei denen nur relativ kleine Massen direkt auf einer Wand montiert werden konnten [5]. Wie Bild 6 zeigt, stammt die Wand sozusagen aus der Wirklichkeit eines 3-stöckigen Tragwandgebäudes. Dieses besteht aus Flachdecken, dünnen Schwerelaststützen (Stützen, die nur für Schwerelasten bemessen sind, jedoch die Erdbebenverformungen des Gebäudes ohne Verlust ihres Tragwiderstands mit-

machen sollen) und in beiden Richtungen je zwei über die ganze Gebäudehöhe laufenden schlanken Stahlbetontragwänden. In Bild 6b sind die Decken-Einzugsgebiete einer Wand sowohl für die Schwerelasten (relativ kleine Fläche) als auch für die Massenträgheitskräfte bei horizontal eindimensionaler Erdbebenanregung (halbe Deckenfläche) angegeben. Die Schwerelasten auf die Wand werden im Versuch durch externe Spannstrangen und die Massenträgheitskräfte durch die Stockwerksmassen auf den erwähnten Wagen erzeugt.

Die sechs Wände einer soeben abgeschlossenen Versuchsserie wurden nach unterschiedlichen Verfahren und Normen bemessen und mit verschiedenen Arten und Stärken von Erdbeben geprüft. Die Wand WDH 4 wurde mit der Methode der Kapazitätsbemessung für den Plateauwert des Antwortspektrums «SIA 160/EC 8, weiche Böden» (Bild 4) und die Duktilitätsklasse «Mittlere Duktilität» mit einer Verschiebeduktilität $\mu_{\Delta}=3$ bemessen. Für die

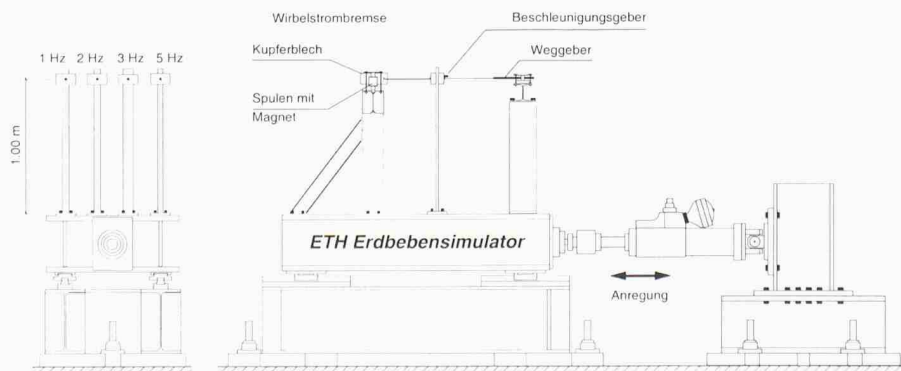
vertikale Bewehrung der Wand wurde ein spezieller Bewehrungsstahl mit guter Duktilität verwendet. Mit einem Stahl hingegen, der nur gerade die Bedingungen der SIA-Normen erfüllt und somit eine ungenügende Duktilität aufweist [8], wären die Ergebnisse katastrophal ausgefallen. Die Versuchswand hat sich bei mehreren Erdbeben hervorragend verhalten. Bild 7 zeigt als wichtigstes Ergebnis eines Versuchs mit einem Erdbeben gemäss Bild 3 die Momenten-Krümmungs-Hysterese im plastischen Bereich am Wandfuss. Die Kurven sind sehr stabil, sie zeigen praktisch keinen Abfall der Festigkeit (Tragwiderstand) und keine übermässige Einschnürung (Pinching). Es wurden Krümmungsduktilitäten μ_{ϕ} von bis zu 8 erreicht, ohne dass ein Bruch eintrat.

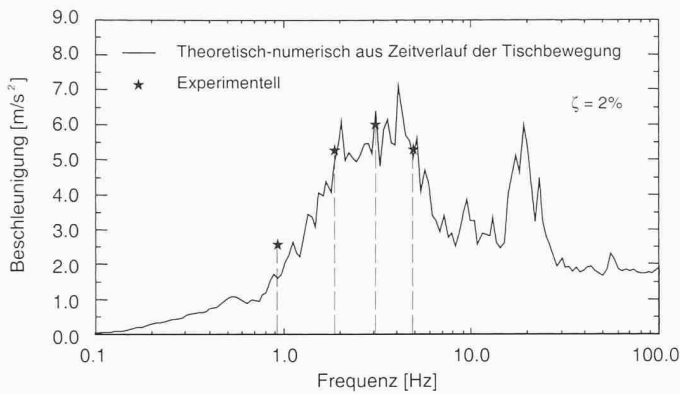
Einsatz in der Lehre

Der Erdbebensimulator dient aber nicht nur der Forschung, sondern er leistet auch in der Lehre hervorragende Dienste zur Vermittlung von grundlegenden Begriffen und Zusammenhängen. In der Baudynamik können anspruchsvolle theoretische Begriffe viel besser verstanden werden, wenn sie anlässlich von Demonstrationen möglichst anschaulich gemacht werden. Von grosser Bedeutung ist das Antwortspektrum. Für ein gegebenes Erdbeben beschreibt das Antwortspektrum die Maximalantwort eines Einmassenschwingers mit bestimmter Dämpfung in Funktion seiner Frequenz. Es gibt Verschiebungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Antwortspektren. Das Antwortspektrum (nicht zu verwechseln mit Fourieramplituden-, Leistungsspektrum usw.) ist ein grundlegendes und vielseitig verwendetes

8

Schnitt und Ansicht des Erdbebensimulators mit vier Einmassenschwingern und elektrischer Dämpfungseinrichtung





10
Vergleich des experimentell erzeugten Antwortspektrums (vier Punkte) mit den berechneten Werten (ausgezogene Linie)

«Werkzeug» in der Baudynamik und im Erdbebeningenieurwesen. Am Institut für Baustatik und Konstruktion wurde vermutlich erstmals die Idee und eine entsprechende Anlage entwickelt, um Antwortspektren auf experimentelle Weise zu ermitteln und dies anschaulich demonstrieren und simultan auswerten zu können. Das ist ein hervorragendes Beispiel für den Einsatz des Erdbebensimulators in der Lehre.

Experimentell erzeugtes Antwortspektrum

Bilder 8 und 9 zeigen vier auf dem Erdbebensimulator aufgebaute Einmassenschwinger mit Eigenfrequenzen von 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz und 5 Hz. Die Schwinger, bestehend aus je einem Stab und einer möglichst konzentrierten Masse aus Stahl, sind alle 1 m hoch, damit ihr stark unterschiedliches dynamisches Verhalten gut beobachtet werden kann. Besondere Probleme stellten sich bei der Entwicklung einer Dämpfungseinrichtung: Wie kann eine viskose, d.h. geschwindigkeitsproportionale Dämpfungskraft entsprechend einem Dämpfungsmaß ζ von z.B. 2, 5 oder 10% experimentell realisiert werden? Denn für die Ermittlung von Antwortspektren wird üblicherweise eine viskose Dämpfung vorausgesetzt. Zahlreiche Ideen für mechani-

sche Einrichtungen wurden ausprobiert, die aber alle nicht zum Erfolg führten. Schliesslich gelang es mit einer elektrischen Einrichtung (Wirbelstrombremse) eine praktisch vollkommene geschwindigkeitsproportionale Dämpfung der Einmassenschwinger zu erzeugen [9]. In Bild 10 ist als ausgezogene Linie das Antwortspektrum der Beschleunigung gezeichnet, das aus dem am Simulatortisch gemessenen Zeitverlauf der Erdbebenbeschleunigung für ein Dämpfungsmaß ζ von 2% berechnet wurde. Die eingezeichneten Sterne markieren die an den vier Einmassenschwingern mit einer elektrisch erzeugten Dämpfung von 2% experimentell bestimmten Maximalausschläge. Die experimentellen und die theoretisch-numerischen Werte zeigen eine erstaunlich gute Übereinstimmung.

Folgerungen

Mit dem neuen Erdbebensimulator des IBK der ETH Zürich können anspruchsvolle dynamische Forschungsversuche an grossen Tragwerksteilen mit linearem oder auch ausgeprägt nichtlinearem plastischem Verhalten durchgeführt werden. Der Simulator dient aber auch in der Lehre zur Vermittlung und Demonstration anspruchsvoller Begriffe und Zusammenhänge der Baudynamik. Der Erdbebensimulator ist daher ein hochwertiges Instrument für Forschung und Lehre in den stets wichtiger werdenden Gebieten Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen.

Adresse der Verfasser:

Hugo Bachmann, Prof. Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, Thomas Wenk, dipl. Bauing. ETH, Markus Baumann, dipl. Bauing. ETH, Pierino Lestuzzi, dipl. Bauing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich

Literatur

- [1]
Bundesamt für Zivilschutz: Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, eine vergleichende Übersicht (KATANOS). Bern, 1995
- [2]
Peter T. et al.: Erdbeben - das grösste Naturgefahrenrisiko in der Schweiz. SGE/SIA-Dokumentation D0145. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1997
- [3]
Bachmann H. et al.: Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz. SGE/SIA-Dokumentation D0150, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1998
- [4]
Wenk T., Bachmann H.: Nichtlineare dynamische Berechnung von Balkenbrücken unter Erdbebeneinwirkung. Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, Bericht Nr. 212, Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin, 1995
- [5]
Dazio A., Wenk T., Bachmann H.: Vorversuche an einer Stahlbetontragwand auf dem ETH-Rütteltisch. Vorversuche an Stahlbetontragwänden unter statisch-zyklischer Einwirkung. Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, Berichte Nr. 213 und 214, Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin, 1995
- [6]
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Norm SIA 160, Einwirkungen auf Tragwerke. Zürich, 1989
- [7]
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Eurocode 8 (EC 8): Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Norm SIA V 160.801, Zürich, 1997
- [8]
Bachmann H., Wenk T.: Ungenügende Duktilität beim Bewehrungsstahl. Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Heft 29/98, Zürich, 1998
- [9]
Riemer H.: Experimentelle Ermittlung eines Antwortspektrums. Vertiefararbeit am Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, 1995

Dank

Die Verfasser danken der Schulleitung der ETH Zürich, der «Stiftung für systematische wissenschaftliche Forschung auf dem Gebiet des Beton- und Stahlbetonbaus» des Vereins Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten (VSZKGF) und der «Kommission für Technologie und Innovation des Bundes» (KTI) für die Unterstützung bei der Entwicklung des Erdbebensimulators und der damit ermöglichten Forschungsarbeiten und Demonstrationen.

Handlungsbedarf bei der Erdbebensicherung

An dieser Stelle sei noch einmal auf die SGE/SIA-Dokumentation D0150 «Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz» (Lit. [3]) hingewiesen. Eine Kurzbeschreibung findet sich in SI+A 37 vom 17.9.1998, S. 718. Die Dokumentation kann unter der Nummer 061 467 85 74 bzw. unter Fax 061 467 85 76 oder per E-Mail unter «auslieferung@schwabe.ch» zum Preis von Fr. 80.- (SIA-Mitglieder: Fr. 64.-) bestellt werden.