

Erdbebenszene Schweiz - eine Standortbestimmung

Autor(en): **Ammann, Walter / Bachmann, Hugo / Meyer-Rosa, Dieter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 9

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78673>

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.

Walter Ammann, Davos, Hugo Bachmann, Zürich,
Dieter Mayer-Rosa, Zürich, Thomas Wenk, Zürich

Erdbebenszene Schweiz – eine Standortbestimmung

Nicht nur wie soeben in Japan, auch in der Schweiz können enorme Erdbebenschäden auftreten. Eine Standortbestimmung gibt einen Überblick über die bisherigen Bemühungen zur Reduktion des Erdbebenrisikos und weist auf den grossen Nachholbedarf insbesondere bei der Verstärkung bestehender Bauwerke und bei den Vorkehrungen durch Behörden hin.

Enorme Schäden zu erwarten

Der Schweizerische Pool für Erdbebenversicherung hat in sogenannten «Was-wäre-wenn-Studien» versucht abzuklären, welches die Folgen wären, wenn bestimmte historische Erdbeben in der Schweiz heute auftreten würden [1]. Bild 1 zeigt Karten der Schadenintensitäten (MSK-Skala) für die Erdbeben von Visp 1855 und Basel 1356. Das Visper Beben ist etwa ein Jahrhundertbeben, es hat also eine Auftretenswahrscheinlichkeit in der Grössenordnung von einmal in hundert Jahren im Wallis, das Basler Beben eine solche von einmal in tausend Jahren in der Region.

Man erkennt, dass Schäden auftreten würden in grossen Teilen des Landes, und natürlich auch im benachbarten Ausland. Aus praktischen Gründen wurde in die Studie nur die Bausubstanz in der Schweiz einbezogen. Pro Beben wurden für ein pessimistisches Szenario A für die Intensitäten

IX, VIII, VII bzw. VI Gebäude-Schadengrade (Schaden in Prozenten des Gebäudewertes) von 35%, 13%, 4% bzw. 1% angenommen; für ein optimistisches Szenario B wurden die Intensitäten von Szenario A generell um eine Stufe reduziert. Dies ergab die in Tabelle 1 aufgeführten reinen Gebäudeschäden.

Um die Schäden am Inhalt der Gebäude, an Infrastrukturbauten für Verkehr, Kommunikation, Versorgung und Entsorgung, Kosten an Produktionsausfällen, Folgekosten von Toten und Verletzten sowie allfällige Kosten aus Umweltschäden zu berücksichtigen, müssen erfahrungsgemäss die Gebäudeschäden mit einem Faktor von 2 bis 3 multipliziert werden (2.5 in Tabelle 1). Werden die Werte der beiden Szenarien gemittelt, so kommt man auf wahrscheinliche Schäden in einer Grössenordnung, die mit der Staatsrechnung der Schweizerischen Eidgenossenschaft verglichen werden kann. Da solche Erdbeben jederzeit auftreten können, ist offensichtlich, dass auch in der Schweiz mit enormen Erdbebenschäden zu rechnen ist. Anstrengun-

gen zur Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Bauwerken sind daher dringend vonnöten.

Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) im SIA

Zur gezielten Förderung solcher Anstrengungen wurde 1978 die SGEB gegründet, zuerst als lose Gruppierung von Ingenieuren und Seismologen, die an Erdbebenfragen interessiert waren. Dann war sie während über 10 Jahren eine Untergruppe im Rahmen der Fachgruppe für Brücken- und Hochbau (FBH) des SIA. Neben Fragen des Erdbebeningenieurwesens und der Seismologie waren zunehmend auch Fragen der Baudynamik von Interesse. Am 19. November 1993 beschloss die Delegiertenversammlung des SIA die Umwandlung der SGEB in eine eigenständige SIA-Fachgruppe. Damit brachte der SIA auch die zunehmende Bedeutung der Erdbebengefährdung in der Schweiz zum Ausdruck.

Die SGEB fördert in der Schweiz alle Aspekte ihres Fachbereichs, insbesondere die Zusammenarbeit von Forschung und Praxis. Zu diesem Zweck übernimmt die Fachgesellschaft folgende Aufgaben:

- Orientierung interessierter Fachleute über wichtige Forschungsergebnisse, Publikationen und Konferenzen.

Zu erwartende Schäden [Mrd. Fr., Geldwert 1988]	Gebäudeschäden (1,0) Schweiz			Gesamtschäden (2,5) Schweiz		
	B	Mittel	A	B	Mittel	A
«Visper Beben 1855 heute»	0,6	5	9	1,5	12	23
«Basler Beben 1356 heute»	13	30	47	33	75	117

Zum Vergleich: Staatsrechnung der Schweizerischen Eidgenossenschaft 1988: 27 Mrd. Fr.

Tabelle 1.
Grössenordnung der zu erwartenden Schäden

für das «Visper Beben 1855 heute» und das «Basler Beben 1356 heute»

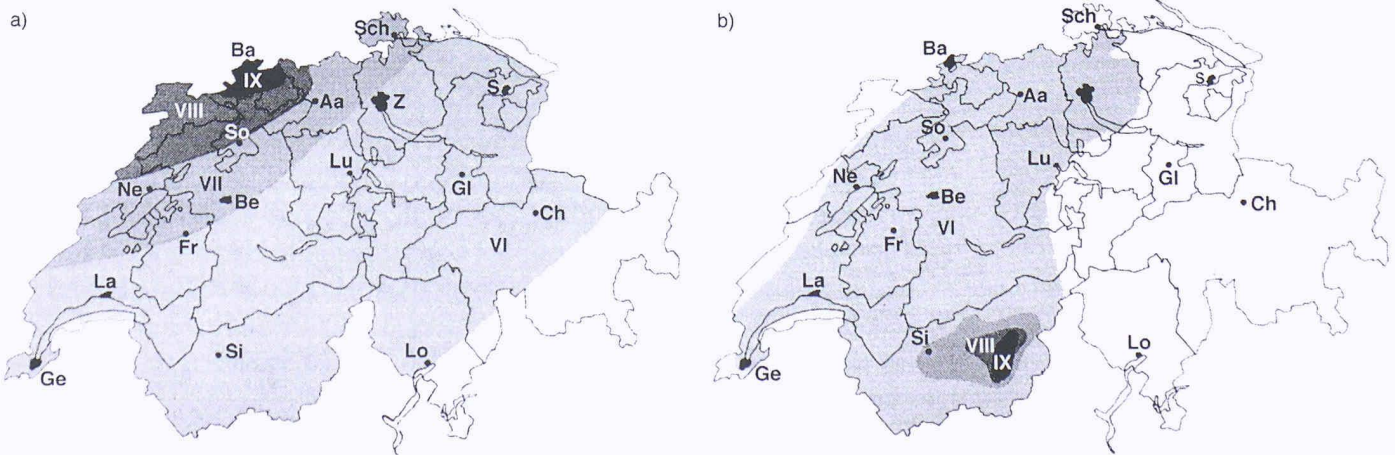


Bild 1.
Karten der Schadenintensitäten (MSK-Skala,

Szenario A) für (a) das Basler Beben 1356 und (b) das Visper Beben 1855 [1]

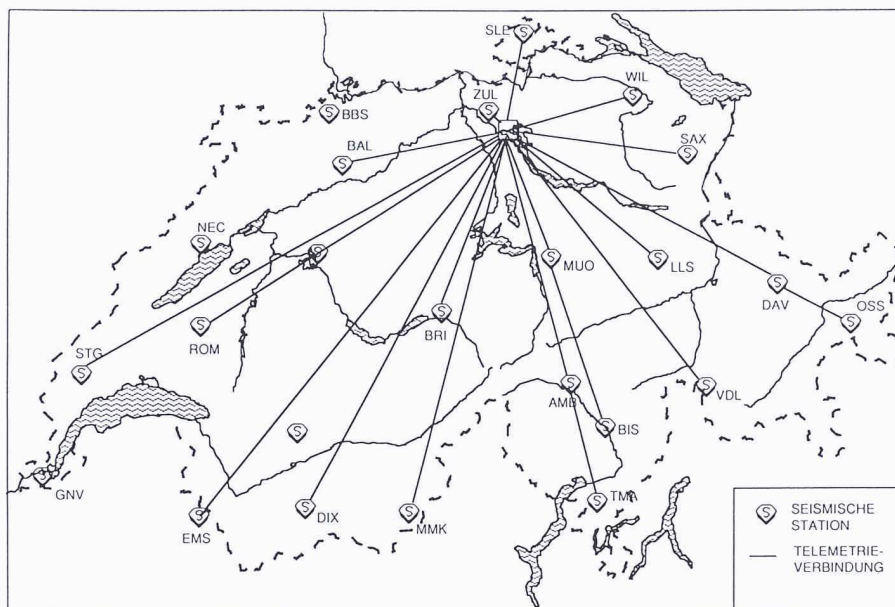


Bild 2.
Telemetrisches, hochempfindliches Seismographennetz des SED; in Betrieb seit 1975

- Organisation von Veranstaltungen (Studententagungen, Symposien, Diskussionen, Besichtigungen), mit dem Ziel, einen Austausch an Erfahrungen unter Fachleuten herbeizuführen und neue Erkenntnisse bekannt zu machen.

- Bearbeitung von Einzelfragen, die für die Schweiz von besonderem Interesse sind (technisch und wirtschaftlich relevante Probleme, Fragen der Hochschulausbildung).

- Pflege der Kontakte zu verwandten nationalen und internationalen Organisationen und zu einzelnen Kommissionen des SIA. So vertritt die SGEB die Schweiz in der European Association for Earthquake Engineering (EAEE) und in der International Association for Earthquake Engineering (IAEE).

Die SGEB vereinigt heute rund 120 Einzelmitglieder und 20 Kollektivmitglieder. Der grösste Anteil der Mitglieder sind Bauingenieure, gefolgt von Seismologen, Maschinen- und Elektroingenieuren, Naturwissenschaftlern und Vertretern weiterer Fachrichtungen. Diese breite Palette an Fachrichtungen ermöglicht eine interdisziplinäre Diskussion komplexer Fragestellungen. Die SGEB steht grundsätzlich allen Mitgliedern des SIA offen, aber auch allen Fachleuten, deren Mitgliedschaft im Interesse der Fachgesellschaft liegt, den Studenten der Schweizerischen Hochschulen sowie als Kollektivmitgliedern den öffentlich- oder privatrechtlichen Körperschaften (wie beispielsweise Projektierungsbüros, Verwaltungen, Verbände, Stiftun-

gen, Firmen und andere Institutionen), die die Fachgesellschaft in der Ausübung ihrer Tätigkeit zu unterstützen wünschen.

Schweizerischer Erdbebendienst

Die Anfänge der systematischen Beobachtung von Erdbeben in der Schweiz reichen mehr als 100 Jahre zurück. Bereits 1878 wurde im Rahmen der Naturforschenden Gesellschaft die «Schweizerische Erdbebenkommission» gegründet, um die damals weitgehend unerforschten Phänomene und Ursachen bei Erdbeben zu untersuchen und zu publizieren. Zu Beginn standen hauptsächlich makroseismische Untersuchungen, also Schadenbeobachtungen, im Vordergrund. Schon früh in diesem Jahrhundert, 1910 bis 1914, wurde mit der Konstruktion und der Einrichtung der ersten mechanischen Seismographen in Neuchâtel, Basel, Chur und Zürich begonnen, von denen heute noch die grossen Pendel mit 20 Tonnen Masse in Neuchâtel und Basel besichtigt werden können. Anfänglich war der Schweizerische Erdbebendienst (SED) der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) in Zürich unterstellt und kam erst 1956 durch ein Bundesgesetz an die ETH Zürich. Die historischen Aufzeichnungen aller schweizerischen Stationen, die seither in Betrieb waren, sind im Archiv des SED in Zürich zusammengetragen worden.

Heute liegt das Schwergewicht der Tätigkeit des Schweizerischen Erdbebendienstes in der vollständigen Aufzeichnung, Interpretation und Archivierung von Erdbeben, die sowohl in als auch ausserhalb der Schweiz ihren Ursprung haben. Zu diesem

Zweck werden in der Schweiz zwei unabhängige seismische Stationsnetze betrieben, die entsprechend ihrer Zielrichtung eine sehr unterschiedliche Empfindlichkeit haben und auch geographisch andersartig verteilt sind. Das erste Netz kam ab 1975 in Betrieb und besteht aus 22 hochempfindlichen und mit der Zentrale in Zürich per Funk verbundenen Seismographen-Stationen (Bild 2). Das zweite Netz ist das kürzlich errichtete Starkbeben-Messgerätenetz. Mit dem ersten Netz können Erdbeben sowie andere Erschütterungen von weit unterhalb der Spürbarkeitsschwelle bis zu mittlerer Stärke - in der Schweiz sind dies Erdbeben von Magnitude 1 bis 4 - und im Frequenzbereich von etwa 0,2 bis 15 Hz zuverlässig erfasst werden. Das Netz arbeitet von der Aufzeichnung am Standort bis zur ersten vorläufigen Bestimmung der Herdparameter (Ort, Zeit, Stärke) beim SED an der ETH Höggerberg praktisch vollautomatisch. Die umfangreiche Software wurde vom Erdbebendienst entwickelt.

Mit dem automatischen Netz ist ein Alarmsystem verbunden, über das bei stärkeren Erdbeben in der Schweiz beispielsweise das Bundesamt für Wasserwirtschaft, das zuständig für die Überwachung der grossen Stauanlagen ist, oder, bei katastrophalen Erdbeben in weiter entfernten Regionen der Erde, das Schweizerische Katastrophenhilfekorps umgehend benachrichtigt wird.

Verbunden mit diesem on-line Alarmsystem ist auch ein weltweites Informationssystem, das alle Erdbebenmeldungen verschiedener Observatorien und seismischer Dienste der Erde über Rechnernetze (Email) sammelt, auswertet und wiederum an interessierte Institutionen, wie beispielsweise an den Europarat, das Rote Kreuz oder an die Atomtest-Überwachungsstellen, unmittelbar weiterleitet. Dieser Dienst hat heute eine Grössenordnung und Effizienz erreicht, die ohne moderne Rechner und Kommunikationstechnik nicht denkbar wäre. Dank dieser Möglichkeiten ist die Schweiz durch den SED bei der Verifizierung von Atomstoppabkommen in Genf aktiv in Expertengremien beteiligt.

Zu den durch den Bund festgelegten grundsätzlichen Aufgaben des Erdbebendienstes gehören heute:

- die lückenlose Erfassung der Erdbeben-tätigkeit in der gesamten Schweiz (inkl. seismische Überwachung der grossen Stauanlagen),
- die Entdeckung und Identifizierung nuklearer Explosionen,
- die systematische geographische Erfassung von Erdbebenschäden (Makroseismik),

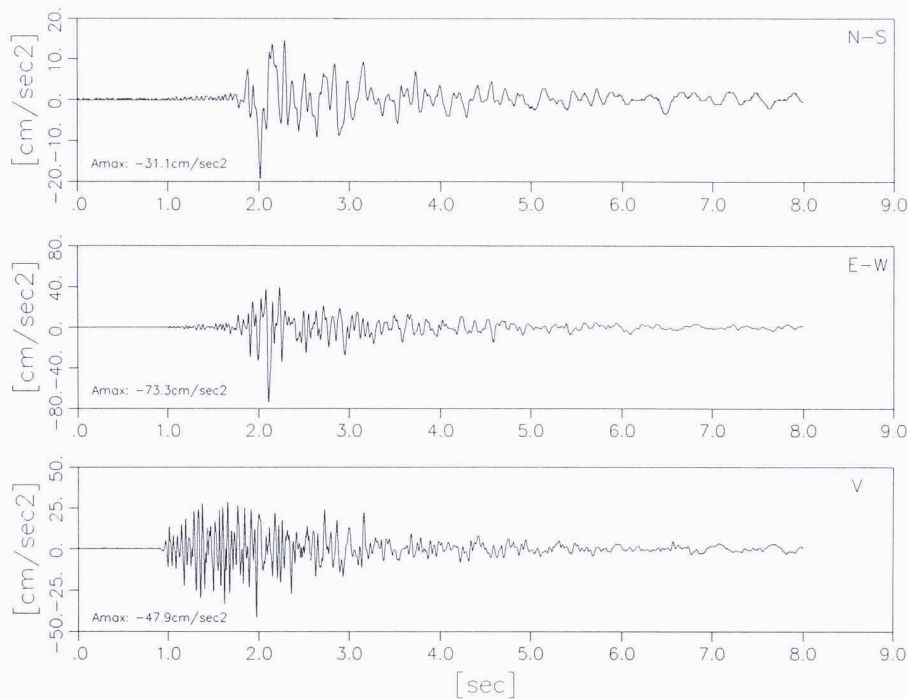


Bild 3.
Aufzeichnung der Bodenbeschleunigungen in den Richtungen N-S, E-W und vertikal an der

Starkbeben-Station in Schaan/FL in einer Entfernung von 8 km vom Erdbebenherd am 15.5.1992, 3:44 Uhr

der Betrieb des nationalen Starkbeben-Messgerätenetzes in der Schweiz.

Der Schweizerische Erdbebendienst hat sich im Laufe der vergangenen 20 Jahre von einer nationalen Sammelstelle für seismische Daten zu einer anerkannten internationalen «Drehzscheibe» für seismologische Informationen entwickelt. Durch die Eingliederung in die ETH Zürich haben junge Forscher die Möglichkeit, unmittelbar an interessanten Forschungsprojekten zum Thema Erdbeben mitzuarbeiten.

Das neue nationale Starkbeben-Messgerätenetz

Der für den Bauingenieur wichtige Bereich der Bodenerschütterungen von etwa 1 mg bis 2 g (g = Erdbeschleunigung) wird mit Accelerographen erfasst, da die hochempfindlichen Seismographen im Nahbereich des Erdbebenherdes relativ schnell übersteuert werden. Mit diesen Geräten gelingt es, den zeitlichen Verlauf der Beschleunigung, den Frequenzinhalt und die maximale Dauer der Erschütterungen zu erfassen.

Nach mehrjähriger Vorbereitung wurde 1992 in der Schweiz ein neues «Nationales Starkbeben-Messgerätenetz» mit insgesamt 65 Geräten eingerichtet [2] (Bild 5). Diese Geräte messen in drei Komponenten die Bodenbeschleunigung im Frequenzbereich von 0,3 bis 25 Hz. Die Aufzeichnung wird erst bei einer Erdbeben-

stärke aktiviert, die man auch deutlich spüren kann (1 bis 5 mg). Bei den stärksten in der Schweiz zu erwartenden Erdbeben können Beschleunigungswerte bis zu etwa 0,5 g auftreten.

Grundsätzlich hatte man bei der Errichtung des Starkbebenmessnetzes zwei Ziele im Auge. Einerseits sollen die Charakteristiken, wie beispielsweise Frequenzinhalt, Dauer, Antwortspektren und die Abschwächung der Bodenbewegung über grössere Distanzen mit sogenannten Freifeld-Instrumenten gemessen werden, andererseits ist das dynamische Verhalten grosser Talsperren bei Erdbeben von Interesse.

Das Freifeldnetz umfasst insgesamt 35 Geräte an ebenso vielen Standorten. Fast alle Geräte sind in Transformatoren-Häuschen lokaler Elektrizitätsgesellschaften installiert. In jeder Region der Schweiz ist mindestens ein Gerät mit Telefonanschluss und Modem ausgerüstet. Dadurch können die Geräte leichter überwacht und im Fall eines Erdbebens die Parameter unmittelbar abgefragt werden. In den anderen Fällen müssen die Datenspeicher der Grösse einer Kreditkarte ausgewechselt und per Post nach Zürich geschickt werden.

An den vier verschiedenen Stauanlagen Mauvoisin, Grande Dixence, Mattmark und Punt dal Gall sind vernetzte Geräte, je 4 bis 12 Stück, eingerichtet, die im Fall eines Ereignisses gleichzeitig gestartet werden. Alle Anlagen sind im Prinzip per Modem ansprechbar.

Seit Bestehen dieses Starkbebenmessnetzes konnten in der Schweiz mindestens 20 stärkere Erdbeben aufgezeichnet werden; Bild 3 zeigt ein Beispiel. Die Registrierungen werden nach Entnahme aus den Geräten in Zürich aufbereitet und in einer eigens dafür geschaffenen Datenbank verwaltet.

Norm SIA 160 und Eurocode 8

Seit 1989 hat die Schweiz moderne Erdbebenbestimmungen im Rahmen der Norm SIA 160 [3] und erläutert in [5]. Als allgemeine Zielsetzung dieser Bestimmungen sollen die Schäden an einem Bauwerk mit beliebigem Standort unter der Einwirkung des Bemessungsbebens bestimmte Normschäden (akzeptierte Schäden) nicht überschreiten. Die beim Bemessungsbeben zugelassenen Schäden sind nach der Bedeutung des Bauwerks abgestuft und in sogenannten Norm-Schadenbildern festgehalten. Die Norm-Schadenbilder erlauben, das Ziel der Vorkehrungen zur Verbesserung des Erdbebenverhaltens von Bauwerken anschaulich darzustellen. Sie beschreiben die zugelassenen Schäden sowohl am Tragwerk selbst als auch an den nichttragenden Bauteilen wie Zwischenwände, Fassaden und Fenster.

Die erforderlichen Vorkehrungen bestehen einerseits aus konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen, andererseits aus rechnerischen Nachweisen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Gerade in Zonen mässiger Seismizität wie in der Schweiz können Massnahmen in bezug auf Konzeption und Konstruktion für das Erdbebenverhalten bedeutender sein als rechnerische Nachweise. Konzeptionelle Massnahmen wie beispielsweise eine möglichst symmetrische Anordnung der Traglelemente für horizontale Kräfte über den Grundriss können nicht nur den Tragwiderstand erhöhen, sondern auch die Beanspruchungen erheblich reduzieren. Konstruktive Massnahmen wie beispielsweise das Bewehren von Mauerwerkswänden verbessern die Duktilität und sichern zusätzlich den Tragwiderstand.

In etwa einem Jahr wird der Eurocode 8 als Europäische Vornorm erscheinen und bald auch in der Schweiz zusammen mit dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) anwendbar sein. Während der voraussichtlich etwa fünfjährigen Phase als Vornorm darf alternativ entweder nach den SIA-Tragwerksnormen oder nach den Eurocodes bemessen werden. Für die Erdbebenbemessung eines Bauwerks mit Standort in der Schweiz wird ein Wechsel von der Norm SIA 160 zum Eurocode 8 im allgemeinen nicht angezeigt sein, da dies ge-

Magnitudenbereich	Anzahl Erdbeben 1975 bis 1994
1,0 bis 1,9	3200 (unvollständig)
2,0 bis 2,9	1610
3,0 bis 3,9	105
4,0 bis 4,9	14
5,0 bis 5,9	1

Tabelle 2.

Anzahl der in der Schweiz registrierten Erdbeben pro Magnitudenbereich im Zeitraum 1975 bis 1994

nerell mit aufwendigeren und anspruchsvolleren Nachweisen verbunden sein wird. Andererseits erlaubt dann der Eurocode 8 ausdrücklich, die Methode der Kapazitätsbemessung anzuwenden. In den höheren seismischen Zonen wird es in gewissen Fällen interessant sein, eine bessere konstruktive Durchbildung nach der Methode der Kapazitätsbemessung vorzusehen, um dafür von den grösseren Duktilitätsfaktoren zur Reduktion der Erdbebeneinwirkung zu profitieren. Dagegen führt die konventionelle Bemessung nach Eurocode 8 bei praktisch allen Tragwerksarten zu höheren Einwirkungswerten als nach der Norm SIA 160. Als weiterer Vorteil des Eurocode 8 zu werten sind die präziseren Regeln zur Abgrenzung der regelmässigen von den unregelmässigen Gebäuden und der daraus folgenden Anforderungen an Berechnungsmethode, Berechnungsmodell und Duktilität.

Ausbildung von Bauingenieuren und Seismologen

Seit 1978 wird an der Abteilung für Bauingenieurwesen der ETH Zürich die Vorlesung «Erdbebensicherung von Bauwerken» gehalten. Jährlich haben durchschnittlich rund 20 Bauingenieurstudenten diese Möglichkeit genutzt, die Grundzüge des Erdbebeningenieurwesens zu erlernen. Zudem sind mehrere Diplomarbeiten und Dissertationen entstanden. Etliche unter den Diplomanden und Doktoranden konnten und können ihre Kenntnisse auch bei Bauten im Ausland anwenden, sei es für schweizerische oder für ausländische Ingenieurunternehmungen. Vor allem für Bauingenieure mit entsprechendem Ausbildungsbedarf sollen demnächst Fortbildungskurse veranstaltet werden.

Die Ausbildung in Seismologie findet an der ETH Zürich im Rahmen der Vorlesungen und Übungen der allgemeinen Geophysik statt. Hier werden die theoretischen Grundlagen auf breiter Basis gelegt. Eine spezielle Ausbildung geschieht meist erst auf der Stufe einer Dissertation. Die anwendungsbetonte Aus- und Weiterbildung, wie sie weltweit in «Engineering-Seismo-

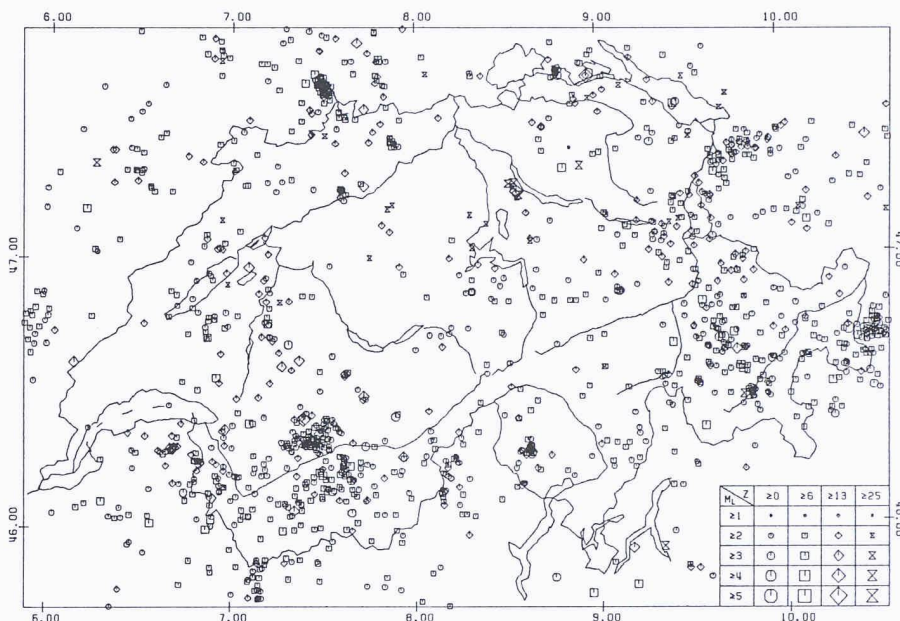


Bild 4. Epizenterkarte der Schweiz für 1975-1993.

Die Symbole sind nach Magnitude, ML, und Herdtiefe, Z [km], gegliedert

logy»-Kursen der grossen Universitäten geschieht, ist in der Schweiz nicht möglich. Dieser Zweig ist, im Gegensatz zum eigentlichen Erdbebeningenieurwesen, in den Programmen der Schweizer Hochschulen nicht vertreten.

Die «Fachgruppe der ETH Zürich für Erdbebeningenieurwesen (FEE)» ist ein Koordinationsorgan der am Erdbebeningenieurwesen interessierten ETH-Institute. Die FEE wurde 1980 aufgrund einer Initiative von Prof. D. Vischer durch die folgenden Institute gegründet:

- Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW),

- Institut für Geophysik (Schweizerischer Erdbebendienst),
- Institut für Baustatik und Konstruktion,
- Institut für Informatik,
- Institut für Grundbau und Bodenmechanik,
- Institut für Geologie.

Die FEE organisiert an der ETH Zürich im Rahmen des Kolloquiums «Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik» regelmässige Vorträge, meist drei pro Semester. In- und ausländische Fachleute referieren jeweils über aktuelle Themen aus Praxis und Wis-

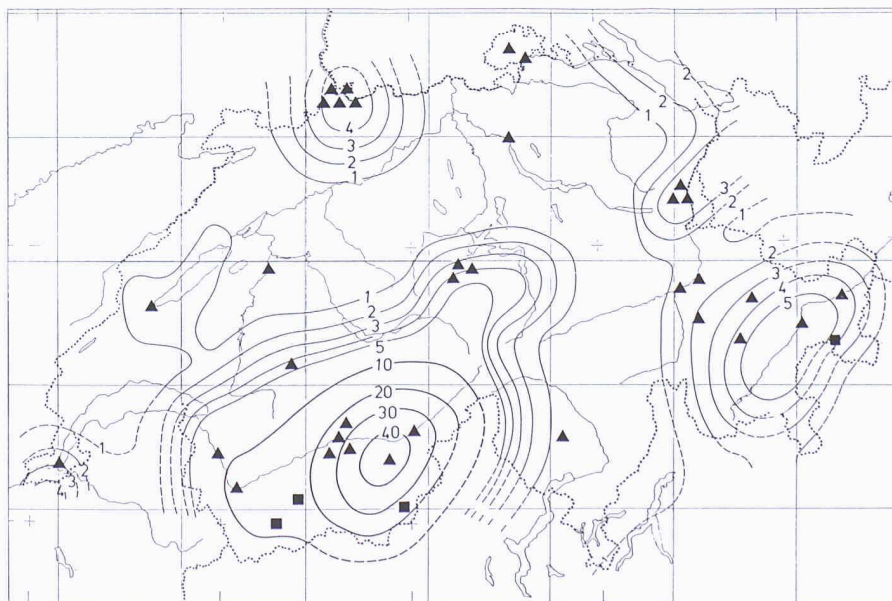


Bild 5. Zonen unterschiedlicher Erdbebengefährdung in der Schweiz. Die Zahlen geben an, wie oft stärkere Erschütterungen (Intensität V) statistisch in etwa 100 Jahren an jedem Ort zu

erwarten sind. Ebenfalls eingezeichnet ist das neue Beschleunigungs-Messgerätenetz (Dreiecke: Freifeldstationen; Vierecke: Geräte-netz an Stauanlagen)

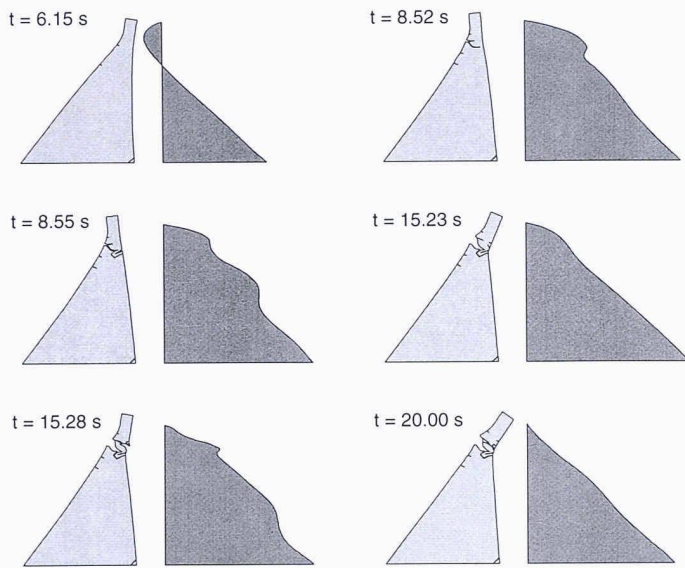


Bild 6.
Gewichtstauwasser mit starker Rissbildung sowie Wasserdruck zu verschiedenen Zeiten während eines Erdbebens (nichtlineares Computermodell)

Plane - Joint Analysis: maxima and minima

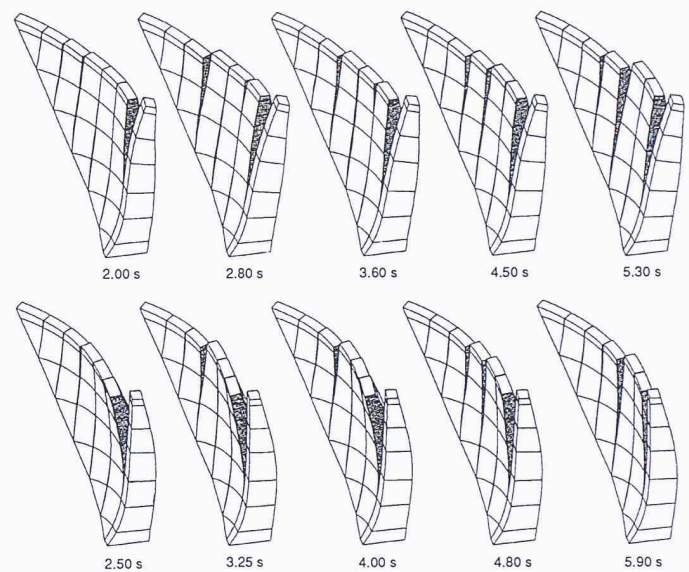


Bild 7.
Bogenstauwasser mit geöffneten Blockfugen zu verschiedenen Zeiten während eines Erdbebens (nichtlineares Computermodell)

senschaft. Diese Vorträge bieten eine gute Gelegenheit, neueste Entwicklungen zu verfolgen, und sie tragen damit auch zur ständigen Weiterbildung interessierter Fachleute bei.

Seismologische Forschung

Seit Bestehen des Seismographennetzes wurde in den vergangenen rund 20 Jahren die in Tabelle 2 wiedergegebene Anzahl Erdbeben in der Schweiz registriert. Bild 4 zeigt die räumliche Verteilung von Erdbeben in der Schweiz für den Zeitraum 1975 bis 1993. Die Stärke der dargestellten Erdbeben reicht von etwa 2,0 bis 5,1 in der Richterskala und ist homogen für das ganze Gebiet erfasst.

Die Bestimmung der Erdbebengefährdung setzt die langzeitliche Erfassung beziehungsweise historische Erforschung von bisher aufgetretenen Erdbeben voraus. Erst wenn diese Daten in zuverlässiger Form vorliegen, können die statistischen Gesetzmässigkeiten abgeleitet werden, die zur heute üblichen probabilistischen Methode der Gefährdungsermittlung erforderlich sind. Ein spezielles Projekt in der Schweiz hat 1977 zur ersten landesweiten Gefährdungskarte in Europa geführt, die auch als Grundlage für die Erdbebenbemessung der Kernkraftwerke und für die neue Norm SIA 160 diente [6] (Bild 5).

Neben der rein statistischen Untersuchung des Auftretens der Erdbeben ist auch deren Ursache und Mechanismus von grossem Interesse. Die Forschungsrichtung

Seismotektonik befasst sich hier mit den Zusammenhängen zwischen Erdbeben-tätigkeit und den an der Erdoberfläche sichtbaren geologischen Strukturen sowie den heutigen Spannungszuständen und Deformationsmechanismen im Untergrund der Schweiz. Schon relativ früh hat man erkannt, dass die Erdkruste bei einer NNW-SSE gerichteten maximalen Einengungsrichtung zumindest unter der Nordschweiz einer relativ gleichmässigen Deformation unterworfen ist.

Die in der Schweiz registrierten Erdbeben sind teilweise als Serien von Ereignissen mit fast identischem Hypozentrum und Herdmechanismus aufgetreten (Bild 4). Wegen der grossen Ähnlichkeit der Seismogramme innerhalb jeder Serie konnten in mehreren Fällen mittels Kreuzkorrelation der Signale Lokalisierungsunterschiede der einzelnen Erdbebenherde von weniger als 100 m aufgelöst werden. Mit dieser Methode kann die Lage der Bruchfläche im Erdinnern kartiert werden, so dass der Deformationsvorgang genauer erfasst wird. Ausserdem hat sich gezeigt, dass solche Erdbebenserien durch wiederholte Verschiebung auf der gleichen Bruchfläche verursacht werden.

Speziell die Untersuchung der Herdtiefenverteilung unter dem nördlichen Alpenvorland und den Alpen hat zu unerwarteten Ergebnissen geführt. In den Alpen, wo die Erdkruste Mächtigkeiten von über 50 km erreicht, sind die Erdbeben auf die obersten 15 bis 20 km beschränkt, während unter dem mittelländischen Molassebecken die Seismizität bis zur Krusten-

Mantel-Grenze in ungefähr 30 km Tiefe hinabreicht. Der in den Alpen beobachtete Abbruch der Erdbeben-tätigkeit mit der Tiefe lässt sich mit rheologischen Modellen der Erdkruste erklären, welche als Folge zunehmender Temperaturen einen Übergang zu duktilem Verhalten in dieser Tiefe erwarten lassen. Das Auftreten von Erdbeben in der unteren Kruste unter dem Alpenvorland lässt sich hingegen mit diesen Modellen nicht erklären. Tatsächlich ist die beobachtete Herdtiefenverteilung genau gegenläufig zu den an der Erdoberfläche gemessenen Wärmeflusswerten. Dieses Phänomen ist Gegenstand der laufenden Forschung des SED. Daneben werden weitere Untersuchungen durchgeführt, wie beispielsweise seismotektonische Langzeitstudien im Rahmen des Untersuchungsprogramms der Nagra.

Tragwerksforschung

Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich wurden seit den 80er Jahren Forschungsprojekte im Erdbebeningenieurwesen durchgeführt. Hauptsächlich Themen sind:

- Erdbebenverhalten grosser Balkenbrücken mit nichtlinearem Materialverhalten und nichtsynchrone Anregung,
- Nichtlineare Erdbebenberechnung von Stauwasser (Gewichtstauwasser und Bogenstauwasser) mit Stausee und Untergrund [7],
- Erdbebenverhalten von Stahlbetonhochbauten [8].

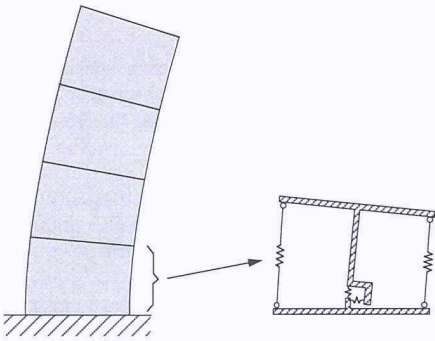


Bild 8.
Makroelement für das nichtlineare dynamische Verhalten von plastischen Gelenken in Stahlbetontragwänden (nichtlineares Computermodell)

Später wurde auch an der ETH Lausanne mit systematischen Forschungsarbeiten zum Erdbebenverhalten von Erddämmen begonnen und die Erfassung der Boden-Struktur-Interaktion für eine Vielzahl von Anwendungen vereinfacht [9].

Besonders in der Anfangszeit war der Aufbau von Kontakten und gemeinsamen Vorhaben mit führenden Kompetenzzentren des Erdbebeningenieurwesens von grosser Bedeutung, um den dortigen Vorsprung an Wissen und Erfahrung so weit als möglich nutzen zu können. Schliesslich gelang es, vor allem im Rahmen von Dissertationen auch Erfolge auf internationalem Niveau zu erzielen. Beispiele sind die Modellierungen der Rissbildung in Gewichtstaumauern sowie des Öffnens und Schliessens von Fugen in Bogenstaumauern (Bilder 6 und 7) oder die Modellierung des nichtlinearen dynamischen Verhaltens von Stahlbetontragwänden (Bild 8). Grosses Gewicht wurde stets auch auf die praktische Verwendbarkeit neuer Erkenntnisse gelegt. Als Beispiel sei das Lehrbuch [10] erwähnt, das zu einem Standardwerk geworden ist.

Moderne Computermodelle erfordern Material- und Verhaltensgesetze, die an Ergebnissen experimenteller Forschungsarbeiten kalibriert werden müssen. Experimentelle Arbeiten fördern aber auch ganz allgemein den Lern- und Verständnisprozess und liefern Ideen zur Modellbildung. Bild 9 zeigt die Anlage für statisch-zyklische Versuche zur Ermittlung des nichtlinearen und plastischen Verhaltens von Stahlbetontragwänden in der Forschungshalle der ETH. Die Prüfkörper im Massstab 1:3 geben praktisch ohne Einbusse alles Wesentliche wieder. Beispielsweise kann der drastische Unterschied im qualitativen und quantitativen Verhalten von Wänden, die konventionell bemessen beziehungsweise nach der Methode der Kapazitätsbemessung gestaltet worden sind, hautnah erfahren werden – vorzeitiger spröder Schubbruch bei konventioneller Bemessung, duktiles plastisches Verhalten mit hoher Erdbebensicherheit bei Kapazitätsbemessung.

Eine bedeutsame Erweiterung der experimentellen Möglichkeiten brachte die kürzliche Inbetriebnahme des ETH-Rütteltisches (Bild 10). Dessen Plattform ist 2 m lang und 1 m breit. An Prüfkörpern von bis zu 10 Tönnen Masse und bis zu 5 m Höhe können registrierte oder künstliche Erdbeben der üblichen Stärken wirklichkeitsnah simuliert werden. Beispielsweise kann ein Erdbeben entsprechend dem Bemessungsspektrum der Norm SIA 160 für die Zone 3b (Wallis) und einer Starkbebenphase von 5 bis 10 Sekunden Dauer gefahren werden. Bild 10 zeigt den Versuch an einer 3-stöckigen Stahlbetontragwand im Massstab 1:3. Die Stockwerksmassen werden durch Bleimassen simuliert. Bild 11 zeigt die gemessenen dynamischen Hysteresekurven des Momenten-Krümmungsverhaltens im plastischen Gelenk am Wandfuss.

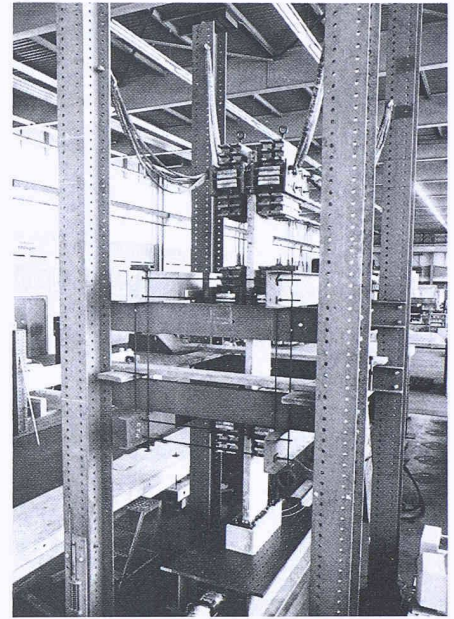


Bild 10.
ETH-Rütteltisch mit einer Stahlbetontragwand im Massstab 1:3 und 3 Stockwerksmassen

Verstärkung bestehender Bauten

Erdbebenbestimmungen wurden in der Schweiz erstmals 1970 in die Norm SIA 160 aufgenommen. Die damaligen Einwirkungswerte haben sich später in manchen Fällen als zu gering herausgestellt. Mit der Ausgabe 1989 der Norm SIA 160 «Einwirkungen auf Tragwerke» [3] sind die Erdbebenbestimmungen neu festgelegt worden. Man muss deshalb davon ausgehen, dass bestehende Bauwerke entweder gar nicht oder dann für zu geringe Erdbebenkräfte bemessen worden sind und deshalb verstärkt werden müssen (Bild 12). Zwar hat jedes Bauwerk bereits aus konstruktiven Gründen oder von der Windbemessung her einen gewissen Grundschutz gegen

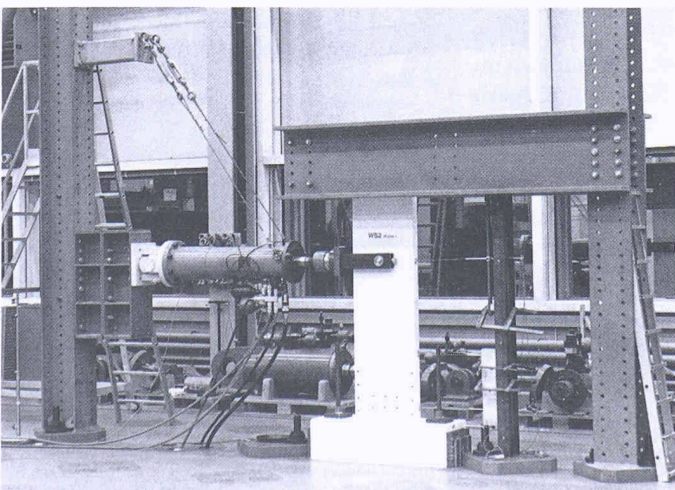


Bild 9.
Anlage für statisch-zyklische Versuche an Stahlbetontragwänden im Massstab 1:3

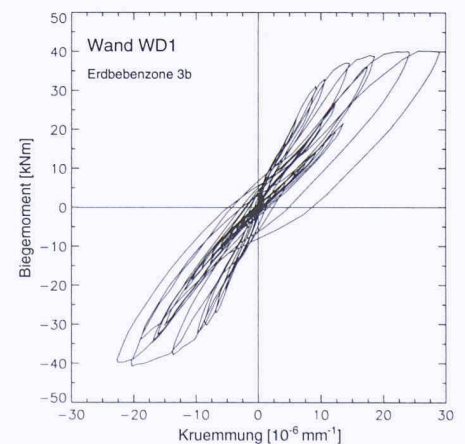


Bild 11.
Gemessene Hysteresekurven des Momenten-Krümmungsverhaltens im plastischen Gelenk am Wandfuss der Stahlbetontragwand vom Versuch gemäss Bild 10



Bild 12.
Verstärkung des Physikgebäudes HPH der ETH
Hönggerberg

Erdbeben, doch ist dieser Grundsatz vor allem in den höheren seismischen Zonen und bei den oberen Bauwerksklassen oft ungenügend. Die Verstärkung für die Einwirkung Erdbeben wird auch im Zusammenhang mit der zunehmenden Bedeutung der Erhaltung der bestehenden Bausubstanz durch Renovation immer wichtiger. Die kürzlich erschienene Richtlinie SIA 462 [4] legt die Grundsätze fest, die bei der Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke zu beachten sind. Unter anderem ist das Gefährdungsbild Erdbeben im Rahmen der Überarbeitung des Sicherheits- und Nutzungsplanes auf die Restnutzungsdauer des bestehenden Bauwerks abzustimmen. Dies kann bedeuten, dass die Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens verkürzt werden darf.

Bei der Bestimmung des Tragwiderstandes für Erdbebeneinwirkung ist es wie auch bei anderen dynamischen Einwirkungen, wie beispielsweise Anprall, wichtig, dass das plastische Verformungsvermögen (Duktilität) des Bauwerks einbezogen wird, da die Grösse der Einwirkung direkt von der Duktilität abhängt. Bei der Verstärkung eines bestehenden Bauwerks ist folglich zu beachten, dass nicht nur die Erhöhung des Tragwiderstandes, sondern auch die Erhöhung der Duktilität das Erdbebenverhalten verbessern kann. Das Produkt aus den beiden Grössen Tragwiderstand und Duktilität bestimmt die Güte des Erdbebenverhaltens in bezug auf Einsturzgefahr. Die Erdbebenbemessung nach der Norm SIA 160 berücksichtigt die Duktilität global mit dem Verformungsbeiwert K . Im Fall eines bestehenden Bauwerks dürfen die Richtwerte dieses Verformungsbeiwertes der Norm SIA 160 aktualisiert, das heisst aufgrund des vorhandenen plastischen Verformungsvermögens allenfalls vergrössert werden. Umgekehrt muss bei lokal zu wenig duktil ausgebildeten und bei stark unsym-

metrischen Bauwerken mit ungünstiger Konzentration der plastischen Verformungen an wenigen Stellen der Verformungsbeiwert reduziert werden. Praktische Anleitungen zur Planung von Verstärkungsmassnahmen werden in [11] gegeben.

Stellenwert der Erdbebengefahr bei den Behörden

Eine kürzliche Studie des Bundesamtes für Zivilschutz (BZS) [12] zeigt, dass die Erdbebengefahr für die Schweiz potentiell die weitaus wichtigste Naturgefahr darstellt. Trotzdem ist deren Stellenwert in der Schweiz im Vergleich zu anderen Naturgefahren wie Überschwemmungen, Wildbäche, Murgänge, Lawinen, oder im Vergleich mit der behördlichen Behandlung technischer Risiken, wie beispielsweise durch die Störfallverordnung, gering. Viele natürliche und technische Gefahren haben ihren Niederschlag in Gesetzen und Verordnungen gefunden. Bundes- und kantonale Instanzen wachen über die Einhaltung der entsprechenden Bestimmungen. Der technische Zwischenfall «Schweizerhalle» führte zu gesamtschweizerischen, umfassenden gesetzlichen Bestimmungen.

Und wie steht es mit den Erdbeben? Erdbeben können auch in der Schweiz verheerende Folgen haben, möglicherweise weniger an Toten und Verletzten, aber insbesondere als Schäden an Sachwerten und am Kultur- und Naturraum. Seit Jahren gibt es Bemühungen, Behörden, Politiker, Bauherren und eine breitere Öffentlichkeit auf die möglichen Folgen von Erdbeben aufmerksam zu machen. Trotzdem: Es gibt in der Schweiz kein Gesetz, kein Bundesamt und keine anderen behördlichen Stellen, die sich den Auswirkungen von Erdbeben auf breiterer Basis annehmen. Es kann aber nicht Aufgabe allein der Ingenieure und Seismologen beziehungsweise des SIA sein, sich mit diesen zu befassen und die entsprechende Verantwortung vollumfänglich zu tragen. Es ist dringend notwendig, dass in der Schweiz auf wesentlich breiterer Basis Anstrengungen unternommen werden mit dem Ziel, das Risiko für Erdbebenschäden zu verringern.

Folgerungen

Der vorliegende Aufsatz zeigt, dass in der letzten Zeit vornehmlich durch private Initiative der Ingenieure und Seismologen, durch die SGEB des SIA und durch die Hochschulen bereits Wesentliches unternommen wurde, um dem Erdbebenrisiko in der Schweiz zu begegnen. Bei der

Literatur

- [1] Schweizerischer Pool für Erdbebenversicherung: Erdbebensenarien Schweiz, Untersuchungsbericht, Bern, 1988. Kurzfassung im 10. Geschäftsbericht 1988.
- [2] *Pougatsch H., Mayer-Rosa D.*: Développement du Réseau Sismique National d'Accélérographes, Wasser-Energie-Luft, Heft 11/12, 1993.
- [3] *Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA)*: Norm SIA 160, Einwirkungen auf Tragwerke, Zürich 1989.
- [4] *Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA)*: Richtlinie SIA 462, Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, Zürich 1994.
- [5] *Bachmann H. et al.*: Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160. Dokumentation SIA D 044, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich 1989.
- [6] *Sägesser R., Mayer-Rosa D.*: Erdbebengefährdung in der Schweiz, Schweizerische Bauzeitung, Heft 7, 1978.
- [7] *Bachmann H.*: Modelle zur wirklichkeitsnahen Erdbebenberechnung von Stauwehren mit Stausee. Wasser-Energie-Luft, Heft 9, 1994.
- [8] *Wenk T., Linde P. and Bachmann H.*: User Elements Developed for the Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Structures, Proceedings of the ABAQUS Users' Conference; Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, RI, USA, June 1993.
- [9] *Wolf J.P.*: Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models. Prentice Hall, 1994.
- [10] *Paulay T., Bachmann H., Moser K.*: Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten, Birkhäuser Verlag Basel, 1990.
- [11] *Ammann W. et al.*: Verstärkungsmassnahmen für erdbebengefährdete Bauwerke, Dokumentation SIA D 097, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich 1993.
- [12] *Hostettler B., Peter T.*: Welche Naturrisiken bedrohen die Gemeinschaft?, Bundesamt für Zivilschutz, Infoheft Bundesamt für Raumplanung RP 1/1994.

behördlichen Behandlung des Erdbebenrisikos und bei den entsprechenden Vorkehrungen klaffen jedoch im Vergleich zu anderen Naturgefahren erhebliche Lücken. Anstrengungen zu deren Beseitigung sind dringend nötig.

Adresse der Verfasser:

Walter Ammann, Dr.sc.techn., Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 7260 Weissfluhjoch-Davos, *Hugo Bachmann*, Prof. Dr.sc.techn., und *Thomas Wenk*, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich, *Dieter Mayer-Rosa*, Dr., Schweizerischer Erdbebedienst, Institut für Geophysik, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.