Einführung zur Erdbebenverletzbarkeit von bestehenden Bauten – Situation in der Schweiz

Prof. Marc Badoux,
Institut für Statik und Konstruktion – Stahlbeton und Spannbeton,
Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL)

Einleitung

Das Jahr 1999 ist geprägt worden durch die überaus zerstörerischen Erdbeben in der Türkei und in Taiwan. Die Figuren 1 - 3 illustrieren Schäden, die infolge des Kocaeli-Erdbebens im Nordwesten der Türkei beobachtet wurden [Badoux et al., 2000]. Das Ausmass dieser Erdbebenschäden erinnert an die Verletzbarkeit insbesondere der Gebäude, deren Entwurf, Bemessung und Ausführung die Regeln des erdbeben-gerechten Bauens nicht respektieren. In der Schweiz wie anderswo haben die Katastrophen in der Türkei und in Taiwan der Frage neue Aktualität verliehen: wie steht es bei uns mit dem Erdbebenrisiko? Das Erdbebenrisiko hängt dabei von der Erdbebenverletzbarkeit der bestehenden Bauten ab und – wie gezeigt werden wird – insbesondere von den Bauten, die vor der Einführung von Erdbebenbemessungsvorschriften erstellt wurden.

Erdbebenrisiko in der Schweiz

Das Risiko kann als Produkt der Gefährdung (Eintretenswahrscheinlichkeit), der Verletzbarkeit (Schadensgrad) und dem Wert des gefährdeten Objektes bzw. des Systems ausgedrückt werden. Im Falle der Naturgefahr Erdbeben sind die gefährdeten Werte vor allem die Gebäude, die Gebäudeinsassen, die Installationen und Anlagen in den Gebäuden und die wirtschaftlichen Aktivitäten, die in den Gebäuden abgewickelt werden. Die Untersuchung des Erdbebenrisikos erfordert also die Kenntnis der Erdbebengefährdung und der Verletzbarkeit der Gebäude. Im internationalen Vergleich ist die Erdbebengefährdung in der Schweiz gering bis mittelgross. Starke Erdbeben, die grosse Zerstörungen anrichten können, sind hier selten, werden aber unausweichlich eintreten [Giardini, 1999].

Die Studie Katanos, erstellt für das Bundesamt für Zivilschutz, hat gezeigt, dass das Risiko durch die Naturgefahr Erdbeben beträchtlich ist. Nach dieser Studie bildet es bis zu einem Viertel der aggregierten Risiken aller Naturgefahren [Katanos, 1995]. Die Studie stützt sich unter anderem auf die Schätzung von Schäden, die durch eine Wiederholung von historischen Erdbeben heute eintreten würden. Bei einer Wiederholung des Basler Bebens von 1356 (Figur 4) beispielsweise werden die Gebäudeschäden auf 30 bis 60 Milliarden Schweizer Franken geschätzt. Dies ist eine beträchtliche Summe, vergleichbar mit dem Jahresbudget der Eidgenossenschaft. Selbst die Wiederholung des Visper Bebens von 1855 hätte Schäden von mehreren Milliarden Franken zur Folge. Obwohl diese Schadenschätzungen mit Vorsicht zu behandeln sind, zeigen sie, dass das Erdbebenrisiko in der Schweiz nicht vernachlässigt werden kann. Das Erdbebenrisiko sollte daher in einer nationalen Politik des Risiko-Managements für Naturgefahren berücksichtigt werden [Ammann, 1999]. Es ist die Möglichkeit zu studieren, in Erdbebenschutzmassnahmen zu investieren. Denn die bisherigen

Anstrengungen zum Erdbebenschutz blieben wesentlich unter den Investitionen zurück, die für andere Naturgefahren wie Überschwemmungen oder Lawinen getätigt wurden.

Für gewisse Naturgefahren ist es möglich, das Risiko mit hochentwickelten Warnsystemen zu reduzieren (z.B. Überschwemmungen). Manchmal kann die Gefährdung verringert werden, zum Beispiel durch Lawinenverbauungen. Diese Ansätze sind nicht möglich im Falle von Erdbeben: der einzig wirksame Schutz sind erdbebentaugliche Gebäude und Infrastrukturanlagen. Das heisst, die Gebäude sollen bei allen Erdbebenintensitäten ein zufriedenstellendes Verhalten zeigen. Nach der Philosophie des "performance based design" ist ein zufriedenstellendes Verhalten, wenn nur geringe oder keine Schäden für die kleinen, aber recht häufigen Erdbeben eintreten, und wenn bei starken und seltenen Erdbeben die Tragsicherheit gewährleistet werden kann. Die wichtigsten Faktoren, die das Erdbebenverhalten eines mehrstöckigen Gebäudes beeinflussen, sind in der Figur 5 angegeben. Das Erdbebenverhalten ist hauptsächlich das Resultat der Wechselwirkung zwischen der Bodenerschütterung und dem Gebäude mit seiner Masse, seiner Steifigkeit und seines Widerstandes gegen horizontale Verschiebungen. Die Erschütterungen an der Erdoberfläche sind das Resultat der Erdbebengefährdung und der lokalen Baugrundeigenschaften. Wenn ein bestimmtes Beschleunigungsniveau des Bodens überschritten ist, wird das Verhalten des Gebäudes inelastisch und die Steifigkeit nimmt ab. Wenn die Zähigkeit des Tragwerks klein ist, verringert sich der Widerstand gegen seitliche Einwirkungen und die Tragsicherheit ist nicht mehr gewährleistet. Die Zähigkeit hängt stark von den Konstruktionsdetails ab. Die nichttragenden Bauteile können ebenfalls das Gebäudeverhalten massgeblich beeinflussen.

Entwicklung der Erdbebenvorschriften der Normen SIA

Die Normen haben einen grossen Einfluss auf den Entwurf und die Bemessung der Tragwerke. Als Ergebnis von breiten internationalen Forschungsanstrengungen ist es mit modernen Erdbebennormen möglich, erdbebentaugliche Gebäude zu bauen. Die Erfahrungen in anderen Ländern haben gezeigt, dass die Masse der erdbebenverletzbaren Gebäuden solche ohne Erdbebenbemessung sind. Eine umfassende statistische Studie, die nach dem Erdbeben in Kobe 1995 durchgeführt wurde, hat folgende Resultate geliefert (Figur 6) [Inukai, 1996]: Die grosse Mehrheit der Gebäude, die nach der Einführung der modernen Erdbebennormen 1981 gebaut wurden, wiesen geringe oder keine Erdbebenschäden auf. Dieses gute Abschneiden kontrastiert mit den älteren Gebäuden, vor allem jenen, die vor 1972 erstellt wurden, als Übergangsnormen eingeführt wurden.

Die folgenden Erkenntnisse können aus der Analyse der Entwicklung der Erdbebennormen in der Schweiz gezogen werden. Die ersten Vorschriften wurden 1970 eingeführt und beschränkten sich auf die Angabe einer horizontalen Ersatzkraft von 2 bis 5% des Eigengewichtes des Gebäudes. Erst im Jahre 1989, durch die Initiative von Prof. H. Bachmann (ETHZ), wurden wirkungsvolle Erdbebenvorschriften in die Schweizer Baunormen aufgenommen. Diese Norm [SIA, 1989] zeichnet sich aus durch die Einführung einer Erdbebenzonenkarte, eines Bemessungsspektrums (basierend auf einer Wiederkehrperiode von 400 Jahren) sowie durch Regeln für den Entwurf, die Bemessung und die Ausführung. Es darf erwartet werden, dass Gebäude, die nach dieser Norm entworfen und bemessen wurden, ein gutes Erdbebenverhalten aufweisen.

Die Entwicklung der Normen SIA ist am Beispiel der horizontalen Einwirkungen für ein repräsentatives Gebäude in Basel aufgezeigt. Figur 7 zeigt die horizontale Kraft, die im Erdgeschoss des neun-stöckigen Gebäudes mindestens aufgenommen werden muss, um die

Wind- und Erdbebenkräfte aufzunehmen (statische Ersatzkraft). Man stellt eine massive Zunahme dieser Schlüsselgrösse der Erdbebenbemessung nach 1989 fest. Die Figur 7 gibt ausserdem eine Schätzung für die Menge der Gebäude, die während der Gültigkeit einer Normgeneration erstellt wurden (Schätzung auf der Basis von [Wüest & Partner, 1995]). Dieses Altersinventar zeigt, dass mehr als 9 von 10 Gebäuden vor 1989, also vor der Einführung der wirkungsvollen Erdbebenvorschriften gebaut wurden. In dem Masse, wie diese Vorschriften umgesetzt werden, ist es künftig die Erdbebenverletzbarkeit der vor 1989 erstellten Bauten, die das Erdbebenrisiko in der Schweiz bestimmen.

Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude

Die Erdbebenverletzbarkeit der bestehenden Schweizer Gebäude ist noch wenig bekannt und schwierig zu beziffern. Ohne stärkere Erdbeben, die einen Anhaltspunkt liefern würden, ist die Ermittlung der Erdbebenverletzbarkeit eines so vielfältigen Gebäudeinventars wie des schweizerischen eine schwierige Aufgabe und erfordert einen grösseren Forschungsaufwand. Die bis heute realisierten Studien erlauben nur eine sehr begrenzte Schätzung der tatsächlichen Verletzbarkeit des bestehenden Gebäudeinventars. Es müssen noch eine Reihe von Erdbebenanalysen bestehender Gebäude (Erdbebenüberprüfungen) durchgeführt werden, um die Verletzbarkeit des Gebäudeinventars zuverlässig zu bestimmen und um die verletzbarsten Gebäudetypen zu bezeichnen. Zwei Arten von Erdbebenverletzbarkeit können unterschieden werden:

- Gebäude werden als verletzbar bezeichnet, weil sie die Anforderungen an die Tragsicherheit beim Referenzerdbeben nicht erfüllen (Grenzzustand der Tragsicherheit oder « collapse limite state »). Es handelt sich also um Bauten, die im Falle eines starken Erdbebens eine Bedrohung für Menschenleben darstellen. Diese Bedrohung betrifft theoretisch 90% der bestehenden Gebäude, weil diese nicht ausdrücklich nach den Regeln des erdbebensicheren Bauens erstellt wurden. Es scheint aber, dass eine grosse Mehrheit der Stahlbetonbauten einen Widerstand aufweist, der ausreicht, um auch bei einem "Normenbeben" ihrer Erdbebenzone einen Einsturz zu verhindern [Badoux et Peter, 2000]. Das heisst, es gibt eine bedeutende Zahl von bestehenden Gebäuden, für die ein Einsturz bei einem Erdbeben grosser Intensität nicht ausgeschlossen werden kann. Viele Gebäude, die bei einem Erdbeben schwer beschädigt wurden oder einstürzten, weisen eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften auf: weichen Baugrund, wie man ihn beispielsweise in nicht-verdichteten alluvialen Ablagerungen findet, 4 bis 15 Stockwerke, keine horizontal tragenden Wände, Exzentrizitäten im Tragwerk oder unbewehrtes Mauerwerk. Ältere Gebäude mit mehreren Etagen bilden eine Gruppe von Gebäuden mit einem grösseren Verletzbarkeits-Potential. Die Forschungsanstrengungen müssen fortgeführt werden, um diese Faktoren der Verletzbarkeit besser zu kennen.

- Eine andere Art der Erdbebenverletzbarkeit ist an die Gebrauchstauglichkeit nach einem Erdbeben geknüpft. Es gibt Gebäude, die als verletzbar zu betrachten sind, weil sie für mittlere Beben die Anforderungen an die Funktionstüchigkeit bzw. die Schadensbegrenzung nicht erfüllen. Vermutlich existieren in der Schweiz zahlreiche, in diesem Sinne erdbebenverletzbare Gebäude. Aber angesichts der Kosten von Erdbebenertüchtigungsmassnahmen sollte dieses Kriterium der Gebrauchstauglichkeit nur auf ausgewählte Gebäude angewandt werden. Zu diesen können die Infrastrukturbauten von zentraler Bedeutung gezählt werden (z.B. Spitäler, Feuerwehrgebäude, Polizeigebäude, Telekommunikationszentren, Transportsysteme etc. « lifeline structures »), gefährliche Anlagen (chemische Industrie, andere) und Bauten von historischer Bedeutung.

Es muss hier festgehalten werden, dass die aktuellen Normen für den Entwurf und die Bemessung von neuen Bauten entwickelt wurden. In ein neues Tragwerk lassen sich im allgemeinen leicht Widerstandsreserven bzw. Reserven im Erdbebenverhalten einbauen, die kaum Mehrkosten verursachen. Die Normen können daher Ansätze verwenden, die zu Tragwerken mit Verhaltens-Reserven führen (konservative Ansätze). Bei bestehenden Gebäuden verhält es sich anders. Wegen den im allgemeinen sehr hohen Kosten eines baulichen Eingriffes ist es wünschenswert, das Verhalten eines Tragwerks möglichst genau zu kennen. Diese Kenntnisse des Tragwerks erlauben, richtig über einen baulichen Eingriff zu entscheiden [Brühwiler, 2000]. Infolgedessen möchte man die realistischsten Rechenmodelle anwenden und eine Erdbebenüberprüfung sollte sich nicht ausschliesslich auf die Bemessungsbeben der aktuellen Normen sowie deren Akzeptanzkriterien stützen. Das « Perfomance Based Engineering » sieht einen Ansatz vor, der besser an die Problematik der Erdbebenüberprüfung angepasst ist [Holmes, 2000].

Erdbebenüberprüfung bestehender Gebäude

Die Erdbebenüberprüfung beginnt meist mit einer ersten, kurzen Beurteilung, die sich nach Verfahren richtet, die zur Triage von Gebäudegruppen entwickelt wurden (« screening »). Diese Verfahren beanspruchen für die Beurteilung eines einzelnen Gebäudes wenig Zeit, erlauben aber aus einer Gruppe von Gebäuden jene zu identifizieren, die potentiell ein grosses Erdbebenrisiko aufweisen. Sie bedienen sich hauptsächlich visueller Beobachtungen und keinen oder wenigen Berechnungen [Bürge et al., 1997].

Ein Gebäude, das nun in dieser ersten Beurteilung als potentiell erdbebenverletzbar eingestuft wurde, ist danach einer genaueren Überprüfung zu unterziehen, um das Ausmass der Verletzbarkeit zu präzisieren. Wenn die statischen oder dynamischen Berechnungen, die auf einem linearen Verhalten aufbauen, zu keinem klaren Ergebnis führen, benützt man nicht-lineare Rechenmodelle. Die nicht-linear dynamische Zeitverlaufsberechnung ist ein bewährtes Verfahren. Sie erlaubt es, die Verformungen eines Tragwerks zu berechnen, oder auch ein globales Schadenmass zu ermitteln. Die Figur 8 zeigt die Resultate einer solchen Zeitverlaufsberechnung für ein bestehendes Gebäude in Basel. Die nicht-linear dynamischen Zeitverlaufsberechnungen weisen gleichzeitig mehrere problematische Aspekte auf, wie die Wahl der Beschleunigungszeitverläufe oder die Berechnungskosten, die deutlich höher sind als bei anderen Verfahren.

Ein an der ETH Lausanne laufendes Forschungsprojekt im Bereich der Erdbebenüberprüfung von bestehenden Stahlbetongebäuden befasst sich mit nicht-linear statischen Verfahren für Erdbebenberechnungen. Die Vor- und Nachteile der "capacity spectrum method" (Kapazitätsspektrum-Verfahren) werden in [Peter et Badoux, 2000] beschrieben. Das Kapazitätsspektrum-Verfahren erlaubt eine recht zuverlässige Berechnung der inelastischen Verformungen mit einem vertretbaren Rechenaufwand. Sie ist geeignet, die Schäden beispielsweise eines Stahlbetontragwerks zu berechnen. Obwohl es sich um ein approximatives Verfahren handelt, wird es in zahlreichen Fällen als genügend exakt erachtet angesichts der anderen Unsicherheiten, die bei der Ermittlung der Erdbebenbeanspruchungen unvermeidlich sind. Die Figur 9 zeigt die Resultate des Kapazitätsspektrum-Verfahrens des selben Gebäudes, für das in Figur 8 die Ergebnisse der nicht-linear dynamischen Berechnung dargestellt sind.

Die Vorhersage des tatsächlichen Erdbebenverhaltens eines Tragwerks ist im allgemeinen zahlreichen Unsicherheiten (bzw. nur "unscharf" bekannten Parametern) unterworfen. Diese

sind die Intensität und Eigenschaften eines Erdbebens mit einer bestimmten Wiederkehrperiode, den lokalen Baugrund, die Modellierung der Tragwerkselemente und den Einfluss von nicht-tragenden Bauteilen. Zusätzlich sind die mechanischen Eigenschaften des Tragwerks (frühere Werkstoffe, Armierungsdetails oder Verbindungen, Fundationen etc.) oft nur wenig bekannt. In Anbetracht dieser Unsicherheiten und Unschärfen und in einem Risiko-Kontext ist es zweckmässig, einen probabilistischen Ansatz für Erdbebenüberprüfungen zu entwickeln.

Erdbebenertüchtigungen

Sanierungen von erdbeben-untauglichen Tragwerken ("Erdbebenertüchtigungen") sind insbesondere in den Vereinigten Staaten und in Japan nichts aussergewöhnliches. Beispielsweise wurden in Kalifornien tausende von Brückenpfeilern mit Ummantelungen verstärkt. Es gibt Ingenieurbüros, die auf Erdbebenertüchtigungen spezialisiert sind. Die Ertüchtigung eines bestehenden und im Gebrauch stehenden Gebäudes ist im allgemeinen ein teures und schwieriges Unterfangen. Ein baulicher Eingriff an einem Tragwerk erfordert oft die Räumung eines Teils oder des ganzen Gebäudes sowie umfangreiche Eingriffe an den Inneneinrichtungen. Diese grossen Aufwendungen rechtfertigen sich in der Regel nur für Gebäude, die ein reelles Einsturz-Risiko aufweisen beim Referenzbeben oder für besondere Bauten. Zu dieser zweiten Gruppe gehören Gebäude von grosser Bedeutung, Gebäude mit gefährlichem Inhalt oder unersetzliche Gebäude, bei denen Betriebsstörungen oder schwere Beschädigungen während einem Erdbeben nicht akzeptiert werden.

Was die Schweiz betrifft, kann man folgende Beispiele für Erdbebenertüchtigungen anführen: das Physikgebäude der ETH Zürich Hönggerberg, ein Polizeigebäude in Sion und ein Lagertank der chemischen Industrie im Oberwallis. Die Figur 10 zeigt eine Ertüchtigung einer Mauerwerkswand mit Karbonlamellen, die bei einer Anpassung des Tragwerks eines älteren Gebäudes in Zürich ausgeführt wurde.

Ausblick und Herausforderungen

Im Hinblick auf die Reduktion des Erdbebenrisikos stellen die bestehenden Gebäude eine besondere Herausforderung dar [Hamburger, 1997]. In technischer Hinsicht handelt es sich darum, zuerst Überprüfungs-Verfahren und Kriterien zu entwickeln, die es erlauben, die wirklichen Erfordernisse für Ertüchtigungen zu bestimmen. Überprüfungs-Pilotprojekte sind notwendig, um diese Verfahren auf die Schweizer Verhältnisse abzustimmen und um die Eigenheiten der Erdbebenverletzbarkeit des Schweizer Gebäudeinventars zu präzisieren. Weiter sind zuverlässige und kostengünstige Ertüchtigungstechniken zu entwickeln und zu testen [Badoux, 1997].

Über die technische Herausforderung für die Spezialisten (Ingenieure, Architekten, …) stellt der Erdbebenschutz eine nicht-technische Herausforderung für die Gesellschaft dar. Der von der Schweizerischen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen (SGEB) entwickelte Massnahmenkatalog, festgehalten in der Dokumentation SIA D0150 [Bachmann et al., 1998], schliesst namentlich die Sensibilisierung der Entscheidungsträger und der Öffentlichkeit ein sowie die Klärung der rechtlichen Grundlagen und Verantwortungen. Es geht für die Gesellschaft auch darum, den politischen Willen zu bilden und die wirtschaftlichen Mittel bereitzustellen, um Korrekturmassnahmen ergreifen zu können. Weil den Behörden die Verantwortung obliegt, die Bevölkerung und die Wirtschaft vor voraussehbaren Katastrophen zu bewahren, sollten sie eine vorbildliche Haltung einnehmen. Sie können auch als Eigentümer

von wichtigen Bauten, Pilotprojekte für Erdbebenüberprüfungen und –Ertüchtigungen durchführen. Die Erfahrung mit anderen Naturgefahren und die Erfahrungen in anderen Ländern zeigen, dass die Versicherungen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Politik zur Risikoreduktion einnehmen können.

Schlussfolgerungen

Die meisten Gebäude in der Schweiz, rund 90% des Gebäudeinventars, wurden vor der Einführung von modernen Erdbebenvorschriften im Jahre 1989 erstellt. Diese Gebäude weisen deshalb nur den Erdbebenwiderstand auf, den horizontal aussteifende Bauteile "zufällig" ergeben. Unter diesen Gebäuden gibt es eine unbekannte Zahl von Gebäuden, die erdbebenverletzbar sind. Es geht vor allem in den am meisten erdbebengefährdeten Gebieten darum, die Gebäude zu identifizieren, die eine tatsächliche Bedrohung für ihre Benützer darstellen. Sodann ist die Zweckmässigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen zu studieren. Weiter sind die Gebäude zu bezeichnen, die ertüchtigt werden sollten um deren Erdbebenschäden zu begrenzen (Gebäude mit lebenswichtigen Funktionen, gefährliche Anlagen, historische bedeutsame Bauten etc.).

Die Verringerung der Erdbebenverletzbarkeit der bestehenden Gebäude erfordert also zunächst die Entwicklung von zuverlässigen Überprüfungsverfahren und dann die Entwicklung von wirkungsvollen Techniken zur Ertüchtigung. Über die technischen Gesichtspunkte hinaus stellt die Verletzbarkeit der bestehenden Gebäude auch eine Herausforderung dar für die Gesellschaft, den politischen Willen zu bilden sowie die juristischen und finanziellen Werkzeuge zu entwickeln, die das Ergreifen von Korrekturmassnahmen begünstigen. Dabei sollte die Reduktion des Erdbebenrisikos in die Politik des Risiko-Managements aller Naturgefahren integriert werden [PLANAT, 1998].

Références

Ammann W.; *Besoins de recherche pour réduire les risques naturels dans les régions montagnardes,* Int. Conference on Mountain Natural Hazards, Grenoble, 12 – 14 April, 1999

Bachmann H., Darbre G. R., Deichmann N., Koller M. G., Studer J., Tinic S., Tissières P., Wenk Th., Wieland M., Zwicky P.; *Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung in der Schweiz,* SGEB- Schweizer Gesellschaft für Erdbeben-Ingenieurwesen und Baudynamik, SIA-Dokumentation D 0150, 1998

Badoux M. ; *Forschung und Entwicklung zur Erdbebensicherung bestehender Bauwerke*, Documentation SIA D0145, DACH-Tagung 1997

Badoux M., Peter K.; *Seismic Vulnerability of Older Swiss R. C. Buildings,* 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000

Badoux M., Studer J., Göksu E., Lestuzzi P.; *Le séisme de Kocaeli en Turquie: mission de reconnaissance,* Ingénieurs et Architectes Suisses No. 01/02, 2000

Brühwiler, E.; *Sicherheit und Zuverlässigkeit in der Konstruktion,* Nachdiplomkurs Risiko und Sicherheit technischer Systeme, Modul V3, École polytechnique fédérale Lausanne, Januar 2000

Bürge M., Kölz E., Neujahr M., Schneider J.; *Handlungsprioritäten für die Erdbebensicherung bestehender Bauten der öfentlichen Hand*, Documentation SIA D0145, DACH-Tagung 1997

Giardini D.; *Prenez garde! Le prochain tremblement de terre est inévitable,* Rapport de gestion 1998 du Pool suisse pour la couverture des dommages sismiques, 1999

Hamburger R.O.; *The Challenge of Existing Buildings,* Earthquake Engineering Research Institute, 49th Annual Meeting, 1997

Holmes W.; *Risk Assessment and Retrofit of Existing Buldings,* 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000

Inukai M.; *Investigation of building damages by the 1995 Hyogken Nambu Earthquake,* Structural Dynamics – Eurodyn , 1996

Moser K., Bachmann H.; *Erdbebentauglichkeit von Stahlbetonhochbauten,* Schweizer Ingenieur und Architekt, No. 21, p. 30 – 35, 1996

KATANOS, Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine vergleichende Übersicht, Rapport pour l'Office Fédéral de la Protection Civile, 1995

Peter K., Badoux M.; *Application of the Capacity Spectrum Method to R.C. Buildings with Bearing Walls,* 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000

PLANAT - Plate-forme nationale «Dangers naturels»; *De la défense contre les dangers à la gestion du risque,* Brochure d'information, 1998

SIA - Société suisse des ingénieurs et des architectes; *Actions sur les structures porteuses,* Norme SIA 160, Édition 1989

Wüest & Partner Rauminformation; *Monitoring 1995, Bau- und Immobilienmarkt Schweiz,* 1995

Figuren



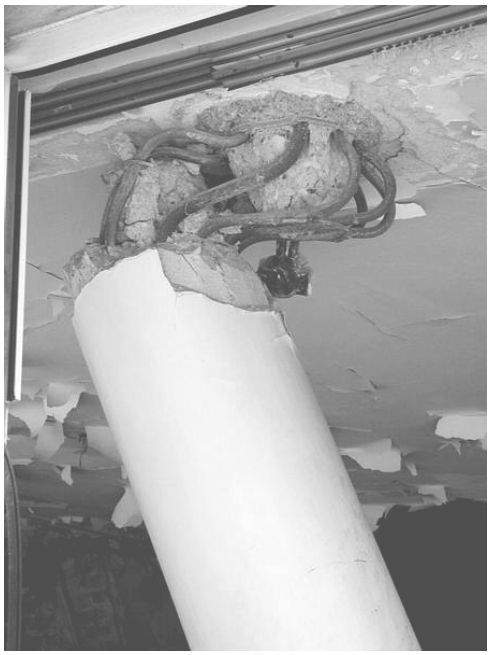
Figur 1 – Auswirkungen des Erdbebens vom 17. August 1999 in Golcük im Westen der Türkei

Figure 1 – Effets du séisme du 17 août 1999 à Golcuk à l'Ouest de la Turquie



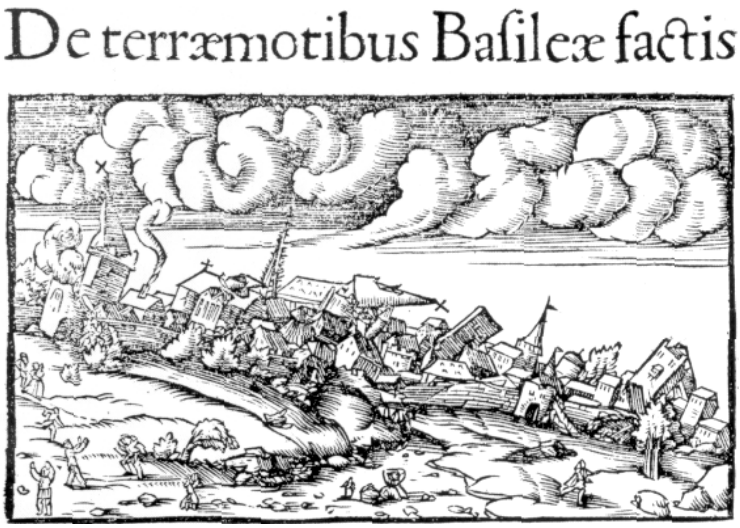
Figur 2 – Typische Erdbebenschäden an einem Wohnblock mit einem weichen Erdgeschoss («soft-story»)

Figure 2 – Dégâts sismiques typiques d'un immeuble multi-étage («soft-story»)



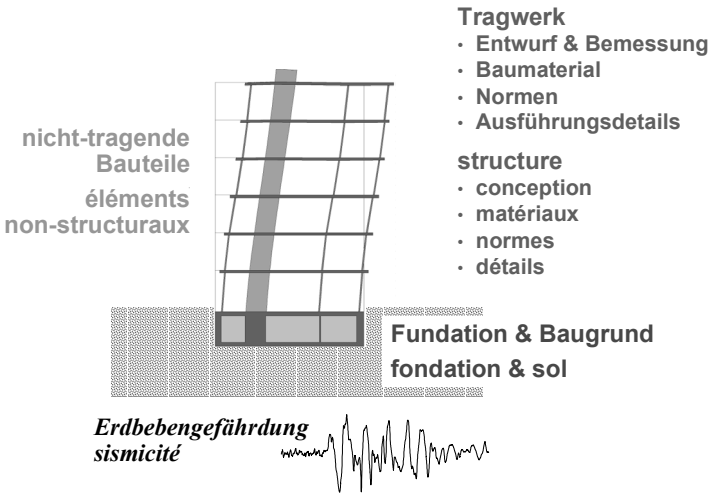
Figur 3 – Erdbeben-Untauglichkeit eines Konstruktionsdetails einer Stütze aus Stahlbeton

Figure 3 – Insuffisance sismique des détails de construction des éléments verticaux d'une structure en béton armé



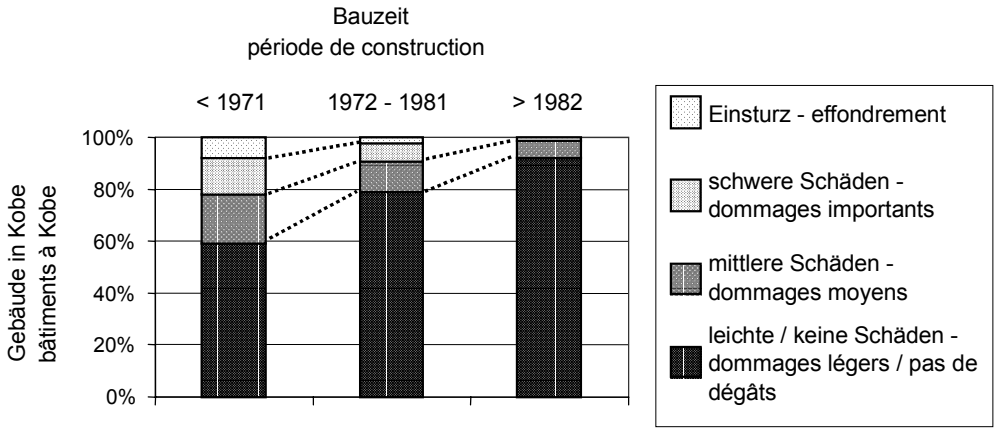
Figur 4 – Mittelalterliche Darstellung des grossen Erdbebens von Basel im Jahre 1356

Figure 4 – Interprétation d'époque sur le thème du grand séisme de Bâle en 1356



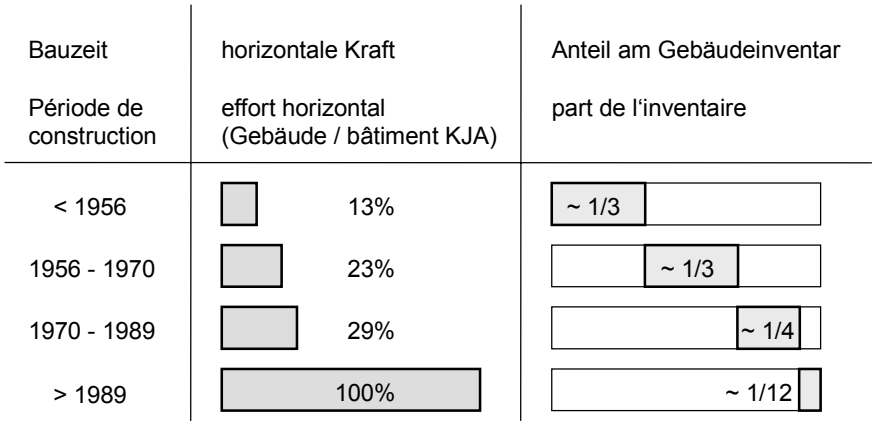
Figur 5 – Wichtigste Parameter für das Erdbebenverhalten eines mehrgeschossigen Gebäudes

Figure 5 – Principaux facteurs d'influence sur la performance sismique d'un bâtiment multi-étage



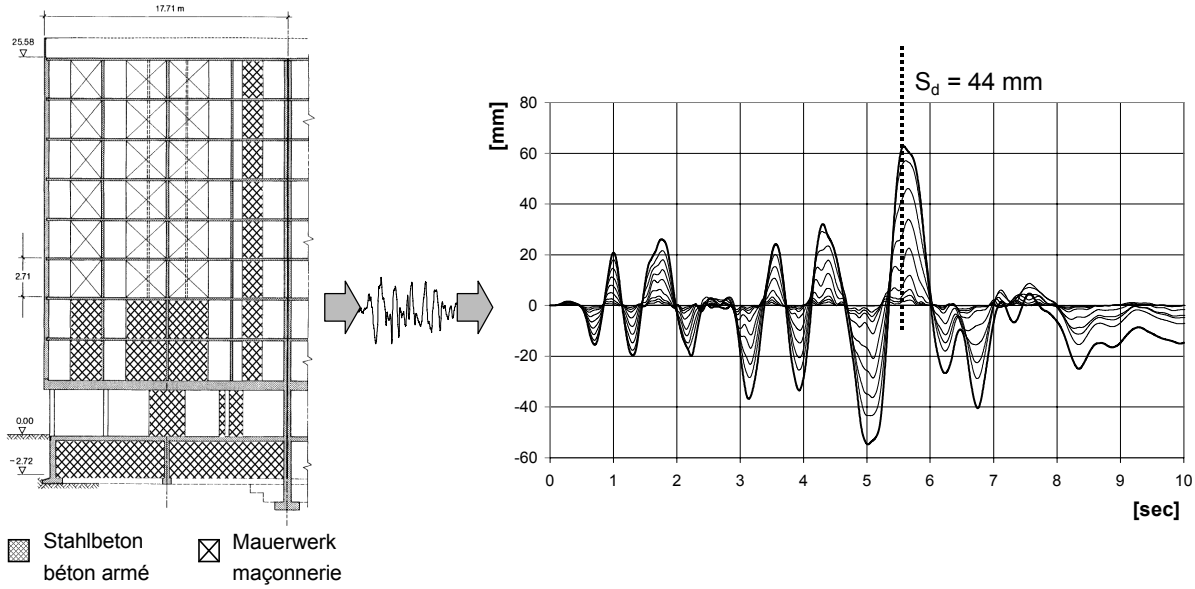
Figur 6 –Erdbebennormen und Verhalten von Gebäuden des Stadtzentrums von Kobe während dem Erdbeben von 1995 (erste Norm 1972 eingeführt, moderne Normen ab 1982)

Figure 6 – Influence des normes de construction parasismique sur la tenue sismique d'un échantillon de bâtiment du centre de la ville de Kobe durant le tremblement de terre de 1995 (premières prescriptions introduites en 1972, puis norme parasismique moderne dès 1982)



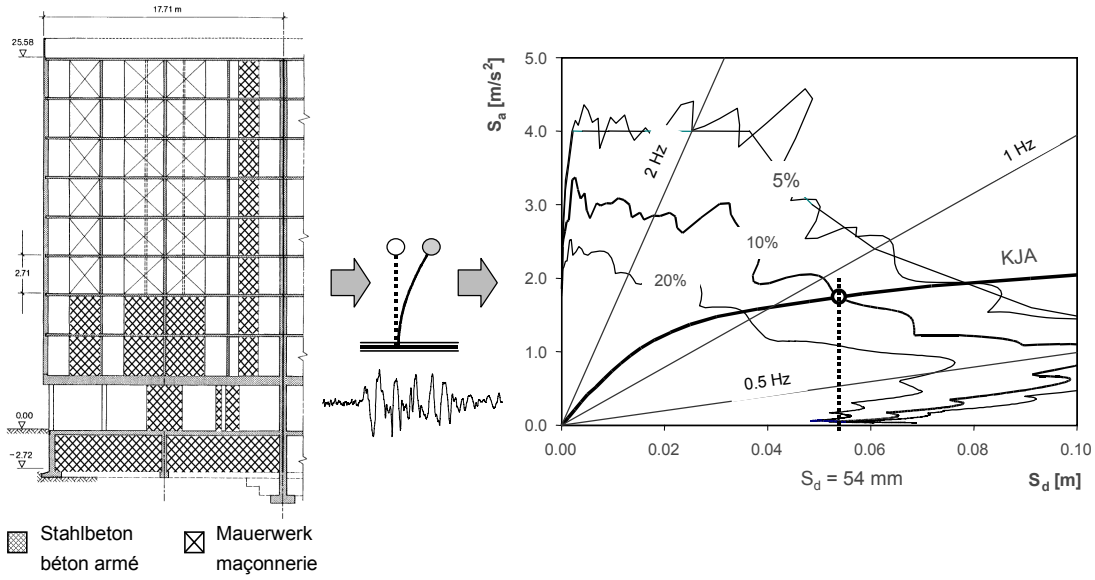
Figur 7 – Horizontale Bemessungskräfte für einen repräsentativen Wohnblock in Basel nach verschiedenen Generationen der Normen SIA

Figure 7 – Influence de la période de construction (génération de normes SIA) sur l'effort horizontal statique de dimensionnement pour un immeuble représentatif à Bâle



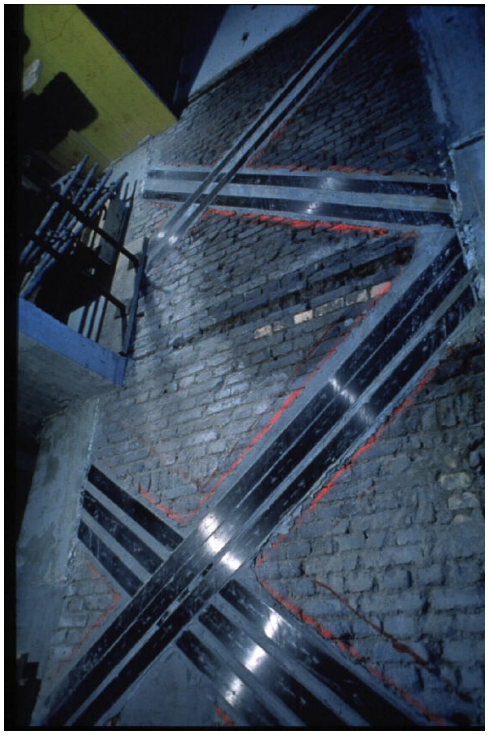
Figur 8 – Numerische Simulation der Erdbebenantwort eines bestehenden Gebäudes in Basel mittels nicht-linear dynamischer Zeitverlaufsberechnung. Der verwendete Beschleunigungszeitverlauf entspricht dem Antwortspektrum der in Entwicklung befindlichen Europäischen Normen.

Figure 8 – Simulation numérique par calcul non-linéaire dynamique de la réponse sismique d'un bâtiment existant à Bâle pour un séisme correspondant au spectre des normes européennes en développement.



Figur 9 – Numerische Simulation mit dem Kapazitätsspektrum-Verfahren ("capacity spectrum method") für das selbe Gebäude wie in der Figur 8

Figure 9 – Simulation numérique par la « capacity spectrum method » pour le même bâtiment et le même séisme que ceux présenté à la figure précédente



Figur 10 – Erdbebenertüchtigung einer Mauerwerkswand beim Umbau eines älteren Gebäudes in Zürich

Figure 10 – Renforcement parasismique d'un mur en maçonnerie lors de la transformation lourde d'un bâtiment ancien à Zürich