SGEB
Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics
Schweizer Gesellschaft für Erdbeben - Ingenieurwesen und Baudynamik
Société Suisse du Génie Parasismique et de la Dynamique des Structures
Società Svizzera di Ingegneria Sismica e Dinamica Strutturale

Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz

H. Bachmann
G.R. Darbre
N. Deichmann
M.G. Koller
J. Studer
S. Tiniç
P. Tissières
Th. Wenk
M. Wieland
P. Zwicky

Dokumentation erarbeitet vom erweiterten
Vorstand der SGEB

Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen,
Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung
der Bauwerke in der Schweiz

SGEB, Zürich, Mai 1998

Die Verfasser sind dankbar für Bemerkungen
und Anregungen zu diesem Dokument.
Diese sind erbeten an:

SGEB

Dr. M.G. Koller, Präsident

CP 1571

CH-1227 Carouge

Fax: +41 / (0)22 / 342 49 37
E-mail: resonance_ch@compuserve.com

Vorwort

Zwischen zwei schweren Erdbeben kann in der Schweiz eine Zeit verstreichen, die länger dauert als ein Menschenleben. Dies verleitet dazu, die Möglichkeit schwerer Erdbeben zu verdrängen oder höchstens als rein theoretische Gefahr wahrzunehmen. Doch die Geschichte belehrt uns eines Anderen: Schwere Erdbeben sind auch in der Schweiz eine immer wiederkehrende Realität; praktisch in jedem Jahrhundert ereigneten sich ein bis zwei Beben mit ernsthaften Folgen. Das letzte trat 1946 bei Siders auf und liegt damit schon über 50 Jahre zurück.

Das Basler Beben von 1356 würde heute bis zu mehreren tausend Toten fordern sowie materielle Schäden, vor allem an Bauwerken und wirtschaftliche Folgeschäden, in der Grössenordnung von 100 Milliarden Franken bewirken. Andere historische Erdbeben hätten heute ebenfalls verheerende Folgen. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass die 1995 erschienene Studie "KATANOS" des Bundesamtes für Zivilschutz das Erdbeben als bedeutendste Naturgefahr in der Schweiz ausgewiesen hat (BZS, 1995). Wie aber sieht es mit unserer Vorsorge aus? Sie ist, verglichen mit anderen Naturgefahren, verschwindend klein. Entsprechend besteht heute bei der Erdbebengefahr ein immenser Nachholbedarf.

Das Naturphänomen Erdbeben als solches wäre nicht besonders gefährlich. Erst die einstürzenden Bauwerke sind es, welche die Menschen in unsägliches Leid stürzen. Eine wirksame Vorsorge muss deshalb bei den Bauwerken ansetzen, bei den bestehenden wie bei den neuen; diese müssen erdbebensicherer gestaltet werden, eine Forderung, die sich heutzutage bei Neubauten praktisch ohne Mehrkosten verwirklichen liesse. Doch hierzu müssten sich Behörden, Ingenieure und Architekten, aber auch die Bauherren, der Erdbebengefährdung vermehrt bewusst sein und diese ernster nehmen.

Die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) hat sich zum Ziel gesetzt, eine Wende herbeizuführen. Der erweiterte Vorstand der SGEB, bestehend aus zehn anerkannten Erdbebeningenieuren und Seismologen aus Lehre, Forschung und Praxis der Schweiz, hat deshalb als ersten Schritt hierzu das vorliegende Dokument "Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz" ausgearbeitet. Aus einer systematischen Analyse der heutigen Schwachstellen, Lücken und Mängel wurden rund 60 Massnahmen zum Handlungsbedarf abgeleitet. Diese wurden bezüglich ihrer allgemeinen Bedeutung, der Kosten, des Nutzen-Kosten-Verhältnisses und der zeitlichen Realisierung bewertet.

Aber Achtung: Dieses Dokument allein vermindert das Erdbebenrisiko noch nicht. Massgebend ist, dass die erwähnten Massnahmen in die Tat umgesetzt werden: Die eigentliche Arbeit beginnt somit erst. Die SGEB schlägt vor, auf der Basis dieses Dokumentes ein *Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)* zu erarbeiten und die notwendigen *Rechtsgrundlagen* (Bundesgesetz) für dessen Finanzierung und Umsetzung zu schaffen. Die Entscheidungsträger unseres Landes, vor allem Behördenvertreter, Parlamentarier und zahlreiche weitere Personen und Institutionen, sind aufgerufen, der Erkenntnis, dass das Erdbeben die bedeutendste Naturgefahr ist, konkrete Taten folgen zu lassen.

Das vorliegende Dokument wäre nicht entstanden ohne den aussergewöhnlichen Einsatz der Verfasser. Seit Anfang letzten Jahres wurden im Milizsystem und unter der Federführung des Erstautors mehr als 200 Expertentage geleistet. Für diesen Einsatz bedankt sich der Unterzeichnende herzlich. Dank gebührt auch der nationalen Plattform Naturgefahren, einer Expertenkommission des Bundes, welche diese Arbeit mit einem Kostenbeitrag unterstützt hat.

Mai 1998 Dr. Martin G. Koller, Präsident der SGEB

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort . . . 3

Zusammenfassung . . . 7

Résumé . . . 13

1 Motivation, Schutzziele und Übersicht Handlungsbedarf . . . 19

1.1 Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER) . . . 19
1.2 Erdbebengefahr . . . 19
1.3 Bisherige Massnahmen gegen Naturgefahren . . . 21
1.4 Bisherige Massnahmen gegen Erdbeben . . . 22
1.5 Ziele des Erdbebenschutzes . . . 22
1.6 Realisierung der Schutzziele . . . 24
1.7 Übersicht Handlungsbedarf . . . 25
1.8 Angesprochene . . . 26
1.9 Bewertung und Beurteilung . . . 26

2 Einwirkung . . . 27

2.1 Seismische Gefährdung . . . 27
2.2 Seismotektonik . . . 28
2.3 Ausbreitungseffekte der seismischen Erschütterungen . . . 29
2.4 Einfluss des Standortes . . . 31
2.5 Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion . . . 32

3 Verhalten der Bauwerke und Anlagen . . . 35

3.1 Rechtsgrundlagen . . . 35
3.2 Normenwesen . . . 36
3.3 Erdbebensicherung neuer Bauwerke . . . 38
3.4 Erdbebensicherung bestehender Gebäude . . . 40
3.5 Erdbebensicherung bestehender Brücken . . . 42
3.6 Erdbebensicherung historischer Bauten . . . 44
3.7 Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen . . . 45
3.8 Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen . . . 47
3.9 Erdbebensicherung von chemischen Anlagen . . . 48
3.10 Erdbebensicherung von Lifelines . . . 50
3.11 Erdbebensicherung von Talsperren . . . 51
3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen . . . 52
3.13 Forschung zum Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen . . . 54
3.14 Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis . . . 57
3.15 Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure und Architekten . . . 58

4 Katastrophenbewältigung 61
4.1 Rettungswesen 61
4.2 Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen 62
4.3 Erdbebenversicherung. 63

5 Bewertung und Beurteilung der erforderlichen Massnahmen 65
5.1 I. Rechtsgrundlagen und Normenwesen 67
5.2 II. Objektspezifische Massnahmen 69
5.3 III. Ausbildung und Sensibilisierung 71
5.4 IV. Forschung und Umsetzung 74

6 Weiteres Vorgehen 77

7 Literatur 79

8 Glossar 81

9 Sachwortverzeichnis 83

10 Anhänge 89
10.1 Motion Schmidhalter “Gesetzgebung betreffend Erdbebensicherheit” 89
10.2 Bildautoren 89
10.3 Verfasser 90

Zusammenfassung

Résumé en français voir p. 13

Im vorliegenden Dokument "Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz" werden die Grundlagen für ein *Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)* dargestellt. Das Dokument wurde durch ein Expertenteam bestehend aus dem erweiterten Vorstand der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) unter der Federführung des Erstautors und unterstützt durch einen Kostenbeitrag der nationalen Plattform Naturgefahren (PLANAT) in den Jahren 1997 und 1998 erarbeitet.

Die Erdbebengefahr in der Schweiz ist erheblich, und aufgrund der zunehmenden Exposition von Menschen und Sachwerten darf sie nicht mehr länger vernachlässigt oder gar ignoriert werden. Eine vergleichende Betrachtung der bisherigen Massnahmen gegen verschiedene Naturgefahren und der dafür eingesetzten finanziellen Mittel zeigt, dass bezüglich der Naturgefahr Erdbeben ein krasses Missverhältnis besteht. Dies gilt auch für den Grad der rechtlichen Regelung.

Bei den Zielen des Erdbebenschutzes der Bauwerke müssen die Gefährdung von Menschenleben (Sicherheit) und die Gefahr materieller Schäden (Gebrauchstauglichkeit) unterschieden werden. Die Realisierung der Ziele ist einerseits eine Aufgabe der Bau- und Erdbebeningenieure sowie der Architekten, anderseits stellt sie eine Herausforderung an die gesamte Gesellschaft mit zahlreichen Institutionen und Gliedern dar.

Der erforderliche Handlungsbedarf kann in die Bereiche "Einwirkung", "Verhalten der Bauwerke und Anlagen" sowie "Katastrophenbewältigung" mit insgesamt 23 Sachgebieten gegliedert werden (siehe Übersicht Seite 11).

Die grössten Defizite bestehen beim *"Verhalten der Bauwerke und Anlagen",* dem *Kernbereich der Erdbebenvorsorge.* Vor allem hier gibt es im Vergleich zu anderen Naturgefahren einen enormen Nachholbedarf und somit einen äusserst dringlichen Handlungsbedarf.

Als *Problemstellung* in den einzelnen Sachgebieten werden die Schwachstellen in der Vorsorge gegen Erdbeben systematisch analysiert und dargestellt. Lücken und Mängel werden aufgezeigt und begründet. Als *Handlungsbedarf* werden Massnahmen zur wirksamen Reduktion des Erdbebenrisikos vorgeschlagen. Diese sind jeweils kurz und prägnant formuliert. Als *Angesprochene* werden schliesslich die entsprechenden Verantwortungsträger genannt.

Kriterien für eine verbale *Beurteilung der Massnahmen* sind die allgemeine Bedeutung, die Kosten, das Nutzen-Kosten-Verhältnis und der Zeithorizont für die Realisierung.

Im folgenden werden die *prioritären* Problemstellungen und der entsprechende, dringliche Handlungsbedarf als Massnahme sowie die zugehörige verbale Beurteilung in Kurzform und gegliedert in vier Massnahmengruppen dargestellt.

I. Rechtsgrundlagen und Normenwesen

Rechtliche Grundlagen für Konzeption, Koordination, Prioritätensetzung und Finanzierung behördlicher Massnahmen zur Vorbeugung gegen die Naturgefahr Erdbeben fehlen noch weitgehend. Dieses Defizit steht im krassen Gegensatz zu den Gegebenheiten bei anderen, weniger risikoreichen Naturgefahren. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Schaffung der Rechtsgrundlagen (v.a. Bundesgesetz) für ein "Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)" und für dessen Finanzierung und Umsetzung.

  Entscheidend für wesentliche Fortschritte zur Reduktion des Erdbebenrisikos in der Schweiz. Geringe primäre Kosten, Folgekosten ähnlich wie bisherige Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Vorsorge gegen einzelne, weniger bedeutende Naturgefahren. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Die rechtliche Verbindlichkeit der Erdbebenbestimmungen der Norm 160 ist ungenügend. Es fehlt eine klare Vorschrift, welche die bestehenden Rechtsunsicherheiten beseitigt. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Einhaltung der Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen gesetzlich verbindlich regeln.

  Entscheidend für die Verbesserung der Erdbebensicherheit von Neubauten. Geringe primäre Kosten und geringe Folgekosten. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Die Normungsarbeiten des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA), insbesondere die bevorstehende Ablösung der nationalen Normen durch die Eurocodes, können wegen den stark gestiegenen Anforderungen nicht mehr wie bisher im Volontariat (unbezahlte Mitarbeit) durchgeführt werden. Da es sich eindeutig um eine Aufgabe im öffentlichen Interesse handelt (Sicherheitsprobleme) muss der Staat die Normenarbeit finanzieren, wie das in den andern europäischen Ländern bereits seit langem der Fall ist. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Finanzierung der Erdbebennormung durch die öffentliche Hand (Begleitung und Einführung des Eurocode 8, Nationales Anwendungsdokument, neue Erdbeben-Zonenkarte der Schweiz, neue Bemessungsspektren, Anwendung von Mikrozonierungen, usw.).

  Entscheidend für die Reduktion des Erdbebenrisikos bei neuen Bauwerken. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Die Beschädigung chemischer Anlagen wie Produktions-Reaktoren und dazugehörige Leitungssysteme, Lagerbehälter, usw. bei einem Erdbeben kann Bevölkerung und Umwelt in starkem Masse gefährden. Die bisherigen brancheninternen Richtlinien sowie die Störfallverordnung des Bundes berücksichtigen jedoch die spezifischen Einwirkungen aus Erdbeben ungenügend oder überhaupt nicht. Wesentliche Defizite bestehen auch bezüglich Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Ergänzung der unzureichenden brancheninternen Richtlinien sowie der Störfallverordnung mit gesetzlich verbindlichen Erdbebenbestimmungen. Schaffung von zusätzlichen Bestimmungen für die Auslegung von Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential.

  Entscheidend für die Verbesserung der Erdbebensicherheit von chemischen Anlagen, auch und vor allem von solchen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential. Geringe Primärkosten, Folgekosten im Einzelfall abzuschätzen. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

II. Objektspezifische Massnahmen

In der Schweiz gab es bis 1970 überhaupt keine Normen und erst seit 1989 gibt es fortschrittliche Normen für die Erdbebensicherung der Bauwerke. Daher wurden rund 95 % der bestehenden Gebäude nicht oder nur nach veralteten Regeln für Erdbeben bemessen. Sie haben eine nicht näher bekannte, oft aber ungenügende Erdbebensicherheit. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Identifizierung der bestehenden öffentlichen und privaten Gebäude der wichtigsten Bauwerksklasse III mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung.

  Entscheidend für eine erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

Lifelines sind im Katastrophenfall "überlebenswichtige" Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur wie solche des Sanitätsbereiches, der Feuerwehr und der Polizei, Verkehrswege von grosser Bedeutung, ausgewählte Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für Versorgung und Entsorgung sowie Einrichtungen der Telekommunikation. Sie sind bisher in der Schweiz weder systematisch identifiziert noch bezüglich Erdbebensicherheit überprüft und allenfalls saniert worden. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Identifizierung von Lifelines als im Katastrophenfall überlebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur, mit Festlegung von Mindestfunktionen bei unterschiedlich starken Erdbeben. Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

  Entscheidend für eine erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

In der Schweiz gibt es 205 dem Bund unterstellte grosse Talsperren. Rund 95 % derselben sind nach überholten Methoden auf Erdbeben ausgelegt worden und weisen eine nicht näher bekannte und eventuell ungenügende Erdbebensicherheit auf. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden grossen Talsperren inklusive Schützen, Grundablässe, elektromechanische Komponenten, usw. und Beurteilung potentieller Bruchzonen im Fundationsbereich. Dazu sollen die Aufsichtsbehörden die notwendigen Beurteilungsrichtlinien festlegen.

Entscheidend für die Reduktion eines allfälligen enormen Risikos aus dem Bruch von Talsperren. Mässige Kosten für die Überprüfung, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

III. Ausbildung und Sensibilisierung

Von vielen Architekten und Ingenieuren sowie von Behörden und Verwaltungen wird die Massgeblichkeit der vorwiegend horizontalen Erdbebeneinwirkung immer noch stark unterschätzt, und die Prinzipien eines erdbebengerechten Entwurfs sind noch viel zu wenig bekannt. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebeneinwirkung und zum erdbebengerechten Entwurf von Hochbauten bzw. von Brücken, mit Verteilung an Architektur- und Ingenieurbüros sowie an Behörden und Verwaltungen.

  Entscheidend für eine vermehrte Eigeninitiative der Baufachleute bezüglich Erdbebensicherung der Bauwerke. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Die nichttragenden aber fest eingebauten Bauteile in Gebäuden enthalten ein grosses Schadenpotential und können die Sicherheit von Personen gefährden. Der grösste Teil der Gesamtschäden stammt meist von Schäden an Zwischenwänden und Fassadenbauteilen. Diese Tatsachen sowie entsprechende Massnahmen sind jedoch noch viel zu wenig bekannt. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile von Gebäuden bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure und Versicherer.

  Sehr wichtig zur Verminderung potentieller Erdbebenschäden bei neuen Gebäuden. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Für die Durchsetzung von Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauwerken und insbesondere für die Anwendung entsprechender Normen ist die Ausbildung der akademischen Bauingenieure in der Baudynamik und im Erdbebeningenieurwesen von entscheidender Bedeutung. Sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne gibt es jedoch bis heute keine Professuren für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Schaffung einer Professur für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne zur fachspezifischen vertieften Ausbildung der Bauingenieurstudierenden in theoretischer und praktisch-konstruktiver Hinsicht.

  Entscheidend für den Stand der Kenntnisse und Fähigkeiten der Bau- und Erdbebeningenieure in der Schweiz. Mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Für ein günstiges Erdbebenverhalten von Gebäuden sind konzeptionelle und konstruktive Massnahmen, die vor allem durch Architekten bereits beim ersten Entwurf eingeplant werden müssen, von grosser Bedeutung. Sowohl an der ETH Zürich und an der EPF Lausanne werden jedoch bis heute den Architekturstudierenden keine entsprechenden Kenntnisse und Fähigkeiten vermittelt. Ähnliches gilt für die Architektur- und die Bauingenieurstudierenden an den Fachhochschulen. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Ausbildung der Architekturstudierenden an der ETH Zürich und der EPF Lausanne sowie der Architektur- und Bauingenieurstudierenden an den Fachhochschulen in den konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen zur Erdbebensicherung der Bauwerke.

  Entscheidend für die Sensibilisierung und den Stand der Kenntnisse der Architekten als wichtige "Weichensteller" bei der Erdbebensicherung von Gebäuden. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

IV. Forschung und Umsetzung

Die durch ein gegebenes Erdbeben an einem bestimmten Standort zu erwartenden Schäden an Bauwerken und Anlagen sind in hohem Masse von der Beschaffenheit und Mächtigkeit der lokalen Bodenschichten abhängig. Bis heute fehlen jedoch Mikrozonierungen in wichtigen erdbebengefährdeten Regionen. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Ausdehnung der erst in einzelnen Gebieten ausgeführten Mikrozonierung auf alle erdbebengefährdeten Regionen der Schweiz, mit Messungen und Angaben über die zu erwartenden frequenzabhängigen Bodenbeschleunigungen und Bodenverschiebungen (Antwortspektren) für verschiedende Bodentypen.

  Entscheidend für eine wesentlich verbesserte Bestimmung der Erdbebengefährdung an einem Standort.

Mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

Mit grossem Aufwand wurden hochwertige Computerprogramme zur Simulation des Erdbebenverhaltens von Staumauern mit Stausee und Untergrund entwickelt. Es fehlen jedoch die Mittel zur endgültigen Bereitstellung, Wartung und Betreuung dieser Programme. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Umsetzung moderner Forschungsergebnisse in die Praxis durch Bereitstellung, Wartung und Betreuung bereits entwickelter Computerprogramme zur Simulation des Erdbebenverhaltens von Staumauern mit Stausee und Untergrund.

  Entscheidend für den praktischen Nutzen der in den letzten 15 Jahren investierten beträchtlichen Forschungsmittel. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

Weltweit erfolgen in der Forschung grosse Anstrengungen um das Erdbebenverhalten neuer und bestehender Bauwerke besser zu beherrschen. Auch in der Schweiz wurden im Erdbebeningenieurwesen in beschränktem Rahmen hochwertige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt, doch konnten zahlreiche dringende, spezifisch schweizerische Problemstellungen sowohl bei den Tragwerken als auch bei den nichttragenden Bauteilen, Installationen, chemischen Anlagen usw. bisher nicht angegangen werden. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Tragwerken auf den Gebieten:
  - Duktilität der Bewehrungsstähle
  - Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk
  - Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Gebäuden
  - Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Brücken
  - Erdbebensicherung von historischen Bauten

  Entscheidend für weitere Fortschritte bei den Massnahmen zur Erdbebensicherung der Tragwerke. Mässige bis erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von:
  - Nichttragenden Bauteilen in Gebäuden
  - Installationen und Einrichtungen
  - Chemischen Anlagen
  - Lifelines
  - Talsperren
  - Nuklearanlagen

  Entscheidend für weitere Fortschritte bei den Massnahmen zur Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen, Installationen, chemischen Anlagen, usw. Mässige bis erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

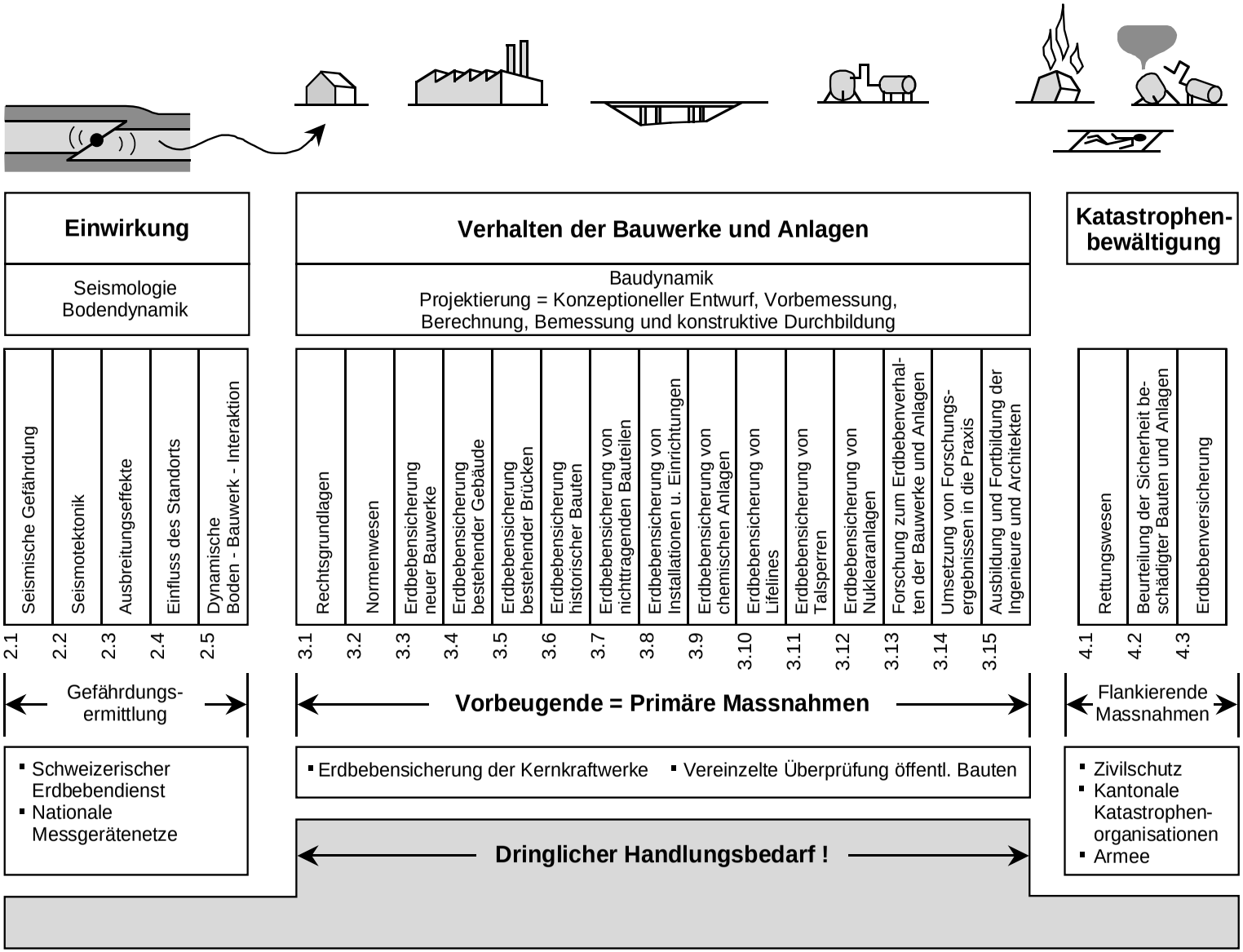
Durch die Verfügbarmachung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Praxis könnte bei den meisten Bauwerken praktisch ohne Mehraufwand eine sehr gute Erdbebensicherung erreicht werden, und es ergäbe sich ein hoher volkswirtschaftlicher Nutzen. Somit besteht folgender dringlicher Handlungsbedarf:

- Förderung von Projekten zur Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis.

  Sehr wichtig für eine wesentlich verbesserte praktische Nutzung der Forschungsergebnisse. Geringe bis mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

Im weiteren Vorgehen sollen die erforderlichen Massnahmen durch die Erarbeitung eines *Nationalen Aktionsprogramms zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)* konkretisiert und deren Realisierung vorbereitet werden. Grundlegender Teil des NAPER ist ein entsprechendes Bundesgesetz. Damit sollen die fehlenden Rechtsgrundlagen zur Vorsorge gegen die Naturgefahr Erdbeben geschaffen werden ähnlich wie bestehende Rechtsgrundlagen für die Vorsorge gegen einzelne, weniger bedeutende Naturgefahren. Neben der Erarbeitung eines Entwurfs für das Bundesgesetz müssen im NAPER alle wesentlichen weiteren grundlegenden Massnahmen mit einem angemessenen Detaillierungsgrad und dem zeitlichen Ablauf festgelegt sein. Die Erarbeitung des NAPER erfolgt wohl am besten unter der Federführung durch die Bundesverwaltung bzw. die kürzlich vom Bundesrat gebildete nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) und unter Beizug aller massgeblich betroffenen und interessierten Kreise. Ab sofort sollen aber bereits auch einzelne wichtige Massnahmen realisiert bzw. in die Wege geleitet werden, die im vorliegenden Dokument begründet sind und nicht oder nicht wesentlich vom NAPER bzw. vom zu schaffenden Bundesgesetz abhängen. Schliesslich soll das NAPER in seiner Gesamtheit systematisch realisiert werden.

Übersicht Handlungsbedarf – Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbeben-Risikos (NAPER)



Résumé

Le présent document, intitulé “Mesures à prendre par les autorités, les Hautes Ecoles, l’industrie et le public pour la sécurité parasismique des ouvrages en Suisse”, esquisse les bases d’un *Programme National d’Action pour la Réduction du Risque Sismique (NAPER)*. Il a été élaboré par un groupe d’experts composé du comité élargi de la Société Suisse du Génie Parasismique et de la Dynamique des Structures (SGEB) et conduit par l’auteur principal. La Plate-forme nationale “Dangers naturels” (PLANAT) de la Confédération a apporté en 1997 et 1998 une contribution financière à son élaboration.

Le danger sismique en Suisse est considérable, et en raison du nombre toujours croissant de vies humaines et de biens exposés, il ne peut plus être négligé ou ignoré. En regard des mesures prises et des moyens investis jusqu’à présent dans le domaine des dangers naturels, il apparaît que le danger naturel sismique est négligé de façon flagrante. Cette lacune se vérifie également au niveau législatif.

Parmi les buts de la protection parasismique des ouvrages, il faut différencier la menace pour les vies humaines (sécurité) de la menace liée aux dommages matériels (aptitude au service). Atteindre ces buts est d’une part le devoir des ingénieurs en génie civil et des ingénieurs en génie parasismique aussi bien que des architectes. Cela constitue d’autre part un défi pour l’ensemble de la société ainsi que de ses nombreuses institutions et membres.

Les mesures qui doivent être prises peuvent être divisées en domaines comme les “Actions sismiques”, le “Comportement des ouvrages et installations”, et la “Maîtrise des catastrophes”, pour constituer en tout 23 secteurs particuliers (voir sommaire p. 17).

Les plus grosses lacunes concernent le *Comportement des ouvrages et installations*, qui sont le *Domaine central de la prévention parasismique*. Il existe là et en premier lieu, comparativement aux autres dangers naturels, un déficit énorme et il est en conséquence urgent de prendre des mesures appropriées.

Les points faibles de la prévention parasismique sont analysés et décrits dans la *Problématique* (Problemstellung) de chaque secteur. Les lacunes et carences sont mises en évidence et expliquées. Sous la rubrique *Mesures à prendre* (Handlungsbedarf), des dispositions visant à réduire efficacement le risque sismique seront proposées. Celles-ci sont chaque fois formulées de manière courte et concise. Les *Milieux concernés* (Angesprochene) enfin, sont énumérés.

La signification générale, les coûts, le rapport utilité-coût ainsi que les délais nécessaires sont utilisés comme critères pour l’*Evaluation* verbale *des mesures à prendre*.

Dans ce qui suit, les problèmes *prioritaires* et les mesures à prendre correspondantes sont décrits. Une évaluation verbale de ces mesures est donnée, divisée en 4 groupes.

I. Bases légales et normalisation

Les bases légales pour la conception, la coordination, la mise en place de priorités et le financement public de mesures pour la prévention du danger naturel sismique font encore largement défaut. Cette lacune est en flagrante contradiction avec les dispositions en vigueur pour d’autres dangers naturels de moindre importance. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Elaboration de bases légales (loi fédérale) pour le Programme National d’Action pour la Réduction du Risque Sismique (NAPER) ainsi que pour son financement et son application.

  Décisif pour l’obtention de progrès substantiels, visant à réduire le risque sismique en Suisse. Coûts primaires réduits, coûts consécutifs comparables aux dépenses publiques consenties jusqu’à présent pour la prévention d’autres dangers naturels de moindre importance. Très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

Les prescriptions parasismiques des normes SIA n’ont pas un caractère légal suffisamment contraignant. Il manque une législation claire comblant les lacunes juridiques actuelles. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Légiférer afin de rendre obligatoire le respect des prescriptions parasismiques des normes SIA.

  Décisif pour l’amélioration de la sécurité parasismique des nouvelles constructions. Coûts primaires et consécutifs réduits. Très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

Les travaux de normalisation de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes (SIA), en particulier le remplacement des normes nationales par les Eurocodes, ne peuvent plus être accomplis comme c’était le cas jusqu’à présent par bénévolat (travail non rémunéré), du

fait de la forte démultiplication de la tâche. Puisqu'il s'agit de façon évidente d'un travail d'utilité publique (problème de sécurité), l'Etat se doit de financer le travail de normalisation, comme c'est le cas depuis longtemps dans les autres pays européens. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Financement public de la normalisation parasismique (patronage et introduction de l'Eurocode 8, document d'application nationale, nouvelle carte des zones de risque sismique, nouveaux spectres de dimensionnement, utilisation de microzonage, etc.).

  Décisif pour la réduction du risque sismique dans les nouveaux ouvrages. Coûts réduits, très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

En cas de séisme, des dommages aux installations chimiques tels que réacteurs et systèmes de conduites attenants, dépôts, etc. peuvent mettre la population et l'environnement en danger à grande échelle. Les directives internes ainsi que les ordonnances fédérales sur les accidents majeurs en vigueur jusqu'à présent sous-estiment cependant les effets spécifiques des séismes ou ne les prennent tout simplement pas en considération. Des lacunes essentielles existent aussi par rapport aux installations au potentiel de dommages exceptionnellement élevé. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Compléter les directives internes ainsi que l'ordonnance sur les accidents majeurs par des prescriptions parasismiques légalement obligatoires. Elaboration de prescriptions supplémentaires pour la conception des installations au potentiel de dommages exceptionnellement élevé.

  Décisif pour l'amélioration de la sécurité parasismique des installations chimiques, ainsi que de celles démontrant un potentiel de dommages exceptionnellement élevé. Coûts primaires réduits, coûts consécutifs à estimer de cas en cas. Très haut rapport utilité-coût. A réaliser à court terme.

II. Mesures spécifiques aux ouvrages

Il n'y avait en Suisse jusqu'en 1970 absolument aucune norme et c'est seulement depuis 1989 qu'il existe une norme moderne pour la sécurité parasismique des ouvrages. C'est pourquoi environ 95 % des ouvrages existants ne sont pas dimensionnés au séisme, ou le sont seulement selon des règles désuètes. Leur sécurité parasismique est à peu près inconnue, mais souvent insuffisante. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Identification des bâtiments publics et privés existants faisant partie de la classe d'ouvrages essentiels en cas de séisme, soit la III au sens de la norme SIA 160, avec vérification de la sécurité parasismique et éventuellement assainissement.

  Décisif pour une maîtrise efficace des catastrophes. Coûts considérables, mais très haut rapport utilité-coût. A réaliser à court terme. Urgent.

Le réseau vital ("lifelines") en cas de catastrophe comprend les ouvrages et installations liés à la santé, aux services du feu, à la police, les principaux axes de communication, et les ouvrages et installations destinés à l'approvisionnement, à l'évacuation, et aux télécommunications. Ces ouvrages et installations n'ont en Suisse et jusqu'à présent ni été identifiés systématiquement, ni vérifiés par rapport à la sécurité parasismique, ou assainis en cas de besoin. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Identification du réseau vital en cas de catastrophe, avec spécification des fonctions minimales requises en cas de fort séisme. Vérification de la sécurité parasismique et assainissement en cas de besoin avec établissement clair de priorités et de délais.

  Décisif pour une maîtrise efficace des catastrophes. Coûts considérables, mais très haut rapport utilité-coût. A réaliser à court terme. Urgent.

Il y a en Suisse 205 barrages placés sous la surveillance de la Confédération. Près de 95 % d'entre eux ont été dimensionnés au séisme suivant des méthodes désuètes, et démontrent une sécurité parasismique inconnue et éventuellement insuffisante. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Vérification de la sécurité parasismique et éventuellement assainissement des grands barrages incluant les vannes, vidanges de fonds, composants électromécaniques, etc., et évaluation des zones de rupture potentielles au niveau des fondations. Les autorités de surveillance doivent en outre élaborer les directives d'évaluation nécessaires.

  Décisif pour la réduction du risque potentiellement énorme lié à la rupture de barrage. Coûts modérés pour la vérification, rapport utilité-coût très élevé. A réaliser à court terme. Urgent.

III. Formation et sensibilisation

L'action sismique est surtout horizontale et le caractère déterminant de cette composante est encore très sous-estimé par beaucoup d'architectes et d'ingénieurs, aussi

bien que par les autorités et administrations. Les principes d'une conception parasismique correcte sont encore beaucoup trop mal connus. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Financement d'aide-mémoires et de brochures décrivant l'effet des séismes et la façon d'effectuer une conception parasismique correcte des structures et des ponts. Distribution aux architectes et ingénieurs, ainsi qu'aux autorités et administrations.

  Décisif pour favoriser une initiative personnelle accrue des spécialistes de la construction vis-à-vis de la sécurité parasismique des ouvrages. Coûts réduits, très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

Les éléments de construction non porteurs faisant partie du corps des bâtiments peuvent mettre en danger la sécurité des personnes. La plus grande partie des dommages tient aux dégâts infligés aux éléments de façade et aux cloisons. Ces faits, de même que les mesures à prendre dans ces cas sont encore trop souvent méconnus. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Financement d'aide-mémoires et de brochures décrivant ce qu'est la sécurité parasismique et comment effectuer une conception appropriée des éléments de construction non porteurs, ce dans le but de permettre une diminution des dommages et un gain de sécurité en cas de séisme. Distribution aux maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs et assureurs.

  Très important pour diminuer les dommages potentiels dus aux séismes dans les nouveaux bâtiments. Coûts réduits, très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

La formation d'ingénieurs universitaires en dynamique des structures et en génie parasismique est d'un intérêt essentiel pour promouvoir une sécurité parasismique accrue, et en particulier pour que les normes en la matière soient appliquées. Il n'y a cependant aussi bien à l'ETH Zürich qu'à l'EPF Lausanne aucune chaire de dynamique des structures et de génie parasismique. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Création d'une chaire de dynamique des structures et de génie parasismique aussi bien à l'ETH Zürich qu'à l'EPF Lausanne afin de fournir aux étudiants en génie civil une formation approfondie du point de vue tant théorique que pratique-constructif dans ce domaine.

  Décisif pour l'état des connaissances et les capacités des ingénieurs en génie civil et des ingénieurs en génie parasismique. Coûts modérés, très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

Pour que le comportement des bâtiments en cas de séisme soit favorable, il est important que les architectes eux-mêmes interviennent dès la conception. Aussi bien à l'ETH Zürich qu'à l'EPF Lausanne, aucune connaissance ni savoir-faire ne sont transmis actuellement dans ce domaine aux étudiants en architecture. Il en va de même pour les étudiants en génie civil et architecture des Hautes Ecoles Spécialisées (HES). Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Enseigner aux étudiants en architecture de l'ETH Zürich et de l'EPF Lausanne ainsi qu'aux étudiants en architecture et génie civil des Hautes Ecoles Spécialisées (HES) les mesures de conception et constructives à prendre vis-à-vis de la sécurité parasismique des ouvrages.

  Décisif pour la sensibilisation et l'état des connaissances des architectes qui constituent le premier maillon de la construction d'un ouvrage et sont donc les premiers concernés par la sécurité parasismique des bâtiments. Coûts réduits, très haut rapport utilité-coût. A réaliser sans tarder. Urgent.

IV. Recherche et applications

Les dommages induits aux ouvrages et installations en un endroit précis sous l'effet d'un séisme donné sont fortement liés à la nature et l'épaisseur locales des couches de sol. Cependant, il manque encore à l'heure actuelle des microzonages dans des régions à risque sismique élevé. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Extension du microzonage effectué jusqu'à présent dans quelques régions à toutes les régions de Suisse soumises au risque sismique. Mesures et données des accélérations et déplacements du sol en fonction des fréquences et des différents types de sol (spectres de réponse).

  Décisif pour une délimitation nettement meilleure du risque en un lieu donné. Coûts modérés, très haut rapport utilité-coût. A réaliser de court à moyen terme. Urgent.

Des logiciels informatiques perfectionnés de simulation du comportement sismique des barrages incluant la retenue et la fondation ont été développés à l'aide de gros investissements. Les moyens permettant leur mise à disposition définitive, leur maintenance ainsi que l'encadrement manquent encore. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Fournir aux spécialistes de la pratique les résultats récents de la recherche par la mise à disposition, la maintenance, et l'encadrement des logiciels informatiques existants qui simulent le comportement sismique de barrages, en incluant la retenue et la fondation.

  Décisif pour une utilisation pratique des moyens investis dans la recherche au cours des 15 dernières années. Coûts modérés, rapport utilité-coût difficile à estimer au premier abord. A réaliser sans tarder. Urgent.

Dans le monde, de gros efforts sont consentis dans la recherche afin de mieux dominer le comportement sismique des nouvelles constructions et du bâti existant. Des travaux de recherche et de développement poussés ont été conduits dans le domaine du génie parasismique en Suisse également, mais ce dans un cadre restreint. C'est pourquoi de nombreux problèmes, urgents et spécifiquement suisses, aussi bien dans les structures que dans les éléments de structure non porteurs, équipements, installations chimiques et autres, n'ont pu être traités à ce jour. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

- Etude du comportement sismique et développement de notions de base pour la sécurité parasismique des structures porteuses dans les domaines suivants:
  - Ductilité des aciers d'armature
  - Comportement sismique de la maçonnerie armée et non armée
  - Sécurité parasismique des nouvelles constructions et du bâti existant
  - Sécurité parasismique des ponts existants et des nouveaux ponts
  - Sécurité parasismique des monuments historiques

  Décisif pour que de nouveaux progrès soient accomplis en matière de sécurité parasismique des structures. Coûts modérés à considérables, mais très haut rapport utilité-coût. A réaliser de court à moyen terme. Urgent.

- Etude du comportement et développement de bases pour la sécurité parasismique de:
  - Eléments non porteurs dans les bâtiments
  - Installations et équipements
  - Installations chimiques
  - Réseau vital
  - Barrages
  - Installations nucléaires

  Décisif pour l'amélioration des mesures de sécurité parasismique concernant les éléments non porteurs, les installations chimiques et autres, etc. Coûts modérés à considérables, mais très haut rapport utilité-coût. A réaliser de court à moyen terme. Urgent.

La mise à disposition dans la pratique des plus récentes connaissances scientifiques permettrait d'obtenir une très bonne sécurité parasismique, ce qui serait d'un grand intérêt pour l'économie nationale. Dans la plupart des cas, il n'y aurait pratiquement pas de dépenses supplémentaires. Il est donc urgent de prendre les mesures suivantes:

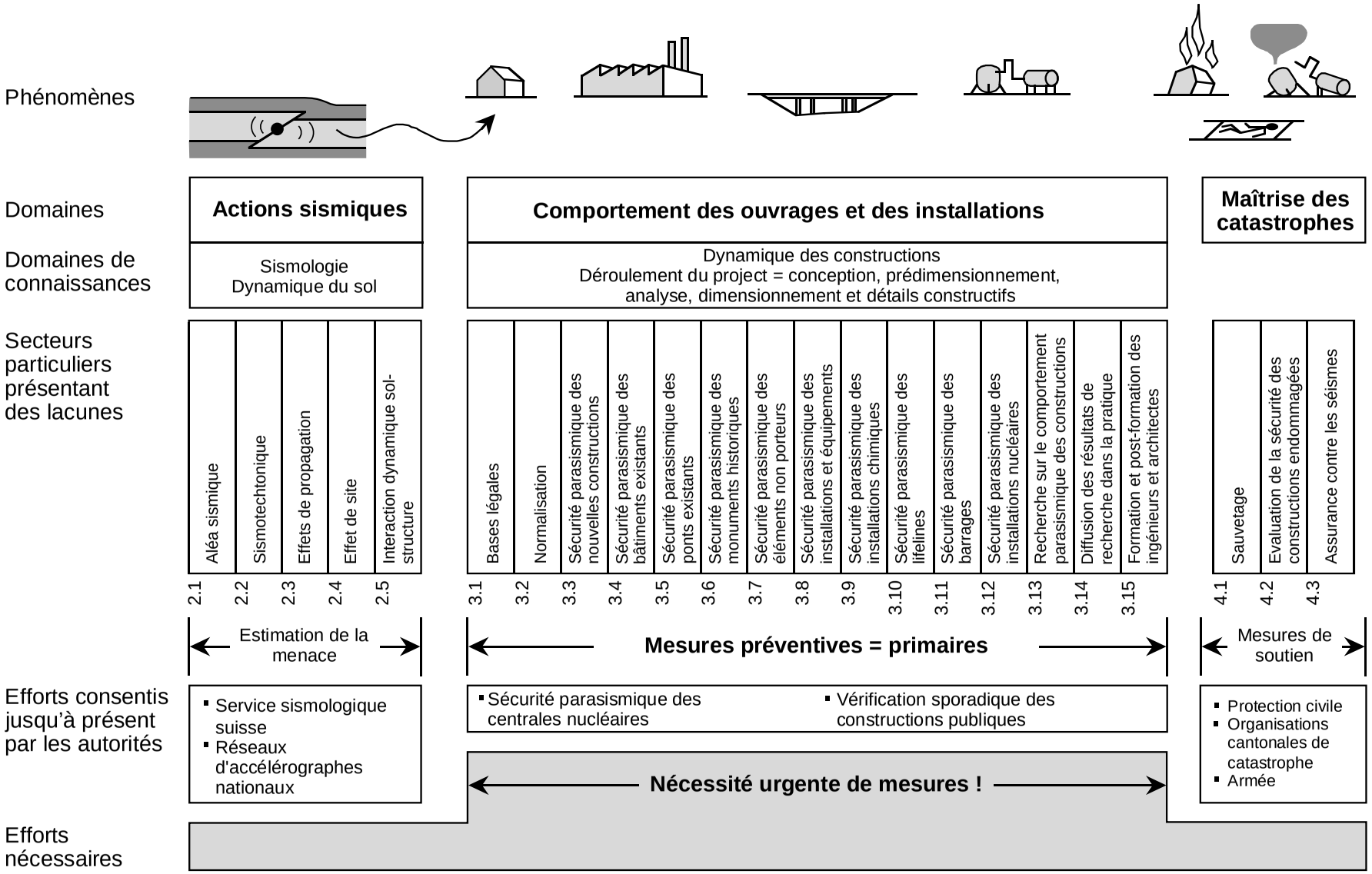
- Encouragement de projets permettant la diffusion des résultats de recherche dans la pratique.

  Très important pour une véritable exploitation des résultats de la recherche. Coûts réduits à modérés, très bon rapport utilité-coût. A réaliser de court à moyen terme. Urgent.

Les mesures nécessaires doivent d'abord être concrétisées par l'élaboration d'un *Programme National d'Action pour la Réduction du Risque Sismique (NAPER)*. Les mesures seront préparées dans ce cadre. La "pierre d'angle" du NAPER est une loi fédérale correspondante. Ainsi, les bases légales manquantes pour la prévention du danger naturel sismique seront mises en place de façon similaire aux bases légales existant déjà pour la prévention d'autres dangers naturels de moindre importance. Parallèlement à la préparation d'un concept pour un texte de loi fédérale, toutes les mesures fondamentales et essentielles qui suivront, ainsi que leur planning, doivent être déterminés dans le NAPER avec un degré de détail approprié. L'élaboration du NAPER se fera dans les meilleures conditions sous la conduite de l'administration fédérale et de la Plate-forme nationale "Dangers naturels" (PLANAT), créée récemment par le Conseil fédéral, ainsi que de toutes les autorités concernées et des milieux intéressés. Plusieurs mesures importantes doivent d'ores et déjà être menées à bien, ou mises en place. Ces mesures sont justifiées dans le présent document mais ne dépendent pas, ou pas essentiellement du NAPER, et de la loi fédérale à élaborer. Enfin, le NAPER devra être réalisé dans son intégralité, et de façon systématique.

Traduction: Aloïs Sommer

Vue d'ensemble des mesures à prendre pour la maîtrise du risque sismique en Suisse
Programme National d'Action pour la Réduction du Risque Sismique (NAPER)



1 Motivation, Schutzziele und Übersicht Handlungsbedarf

1.1 Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)

In der Schweiz können Erdbeben auftreten bis zur Stärke des Erdbebens von Kobe in Japan vom 17. Januar 1995 mit einer Magnitude von ~ 7 (Müller und Mayer-Rosa, 1980). Dieses Beben forderte rund 6‘500 Tote, 40’000 Verletzte, 350’000 Obdachlose und mehr als 200 Milliarden Dollar Schäden. In der Schweiz könnte schon ein deutlich weniger starkes Beben Auswirkungen ähnlichen Ausmasses haben. Denn die Bauwerke in der Schweiz sind bei weitem nicht so auf Erdbeben vorbereitet wie dies in Japan der Fall ist. Dort haben jahrzehntelange Bemühungen der Erdbebeningenieure und der Behörden dazu geführt, dass in Kobe ein Grossteil der Bausubstanz das Erdbeben glimpflich überstanden hat. Dies wäre in der Schweiz nicht der Fall; Einstürze und schwere Schäden wären sehr viel häufiger. Bei der Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz besteht daher ein *grosser Nachholbedarf* und somit ein äusserst *dringlicher Handlungsbedarf.*

Die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) bemüht sich seit Jahren durch Tagungen, Publikationen, Pressemitteilungen, usw., Fachleute, Behörden, Politiker, Bauherren und eine breitere Öffentlichkeit auf die Folgen von möglichen Erdbeben in der Schweiz und auf dringend notwendige Massnahmen aufmerksam zu machen. Dabei ist auf zahlreiche wichtige Aspekte hingewiesen worden. Nun hat es der erweiterte Vorstand der SGEB in einer Gemeinschaftsarbeit unternommen, im vorliegenden Dokument die *Problemstellungen* und den dringendsten *Handlungsbedarf* in den zahlreichen Sachgebieten umfassend darzustellen. Damit sollen insbesondere die Behörden sowie weitere *Angesprochene* in konkreter Weise auf die vielen bedeutenden, zur baldigen Lösung anstehenden Aufgaben und auf die diesbezügliche grosse Verantwortung hingewiesen werden.

Die heutige Situation bei der Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz birgt die Gefahr, dass nicht nur bei schweren Erdbeben, sondern auch schon bei einem mässig starken Erdbeben mit relativ grosser Auftretenswahrscheinlichkeit Tote und Verletzte und enorme Sachschäden entstehen. Nach einem solchen Ereignis wird die Suche nach *Verantwortlichen* nicht lange auf sich warten lassen, und es dürfte ihnen zumindest eine *fahrlässige Pflichtverletzung* vorgeworfen werden, mit sämtlichen *rechtlichen Konsequenzen*.

Die SGEB schlägt vor, ein *Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)* zu erarbeiten und die notwendigen Rechtsgrundlagen (Bundesgesetz) für dessen Finanzierung und Umsetzung zu schaffen. Anschliessend ist das NAPER raschmöglichst zu realisieren. Im NAPER sollen auf konkrete und zugleich koordinierte und vernetzte Weise die notwendigen Aktivitäten - insbesondere auf dem Gebiete der Gesetzgebung und der behördlichen Massnahmen - festgehalten sein. Dabei sollen sämtliche massgeblich betroffenen und interessierten Kreise einbezogen und mitbeteiligt werden. Die hauptsächlichen zukünftigen Anstrengungen müssen vor allem bei der *Erdbebensicherung bestehender und neuer Bauwerke* erfolgen, da hier die grössten Defizite bestehen.

1.2 Erdbebengefahr

Die in den 70er Jahren erarbeiteten Erdbebengefährdungskarten (Sägesser und Mayer-Rosa, 1978) gelten immer noch als Grundlage für die Beschreibung der Erdbebeneinwirkung an einem Standort in der Schweiz. Sie zeigen die regionalen Unterschiede auf, mit mässiger Gefährdung in weiten Teilen des dichtbesiedelten Mittellandes und erhöhter Gefährdung im Wallis, in der Region Basel, in der Zentralschweiz, im Engadin und im St.Galler Rheintal. Gemäss diesen Karten, die auch den heute gültigen Baunormen (SIA 160, 1989) zugrunde liegen, variiert die Intensität (Schadenmass) an einem beliebigen Standort in der Schweiz für ein Erdbeben mit einer mittleren statistischen Wiederkehrperiode von 400 Jahren je nach Standort im Bereich zwischen VII und VIII (MSK-Skala). Diese Intensitäten entsprechen in der Regel Magnituden (Richter-Skala) zwischen 5 und 6, was im weltweiten Vergleich als mittelstarke Erdbeben eingestuft wird.

Starke Erdbeben, vergleichbar mit den kürzlich aufgetretenen grossen Schadenbeben von Kobe, Japan, 1995 und Northridge, Kalifornien, 1994, veranschaulichen für schweizerische Verhältnisse etwa ein “Maximalbeben”. Sie weisen zwar eine relativ geringe jährliche

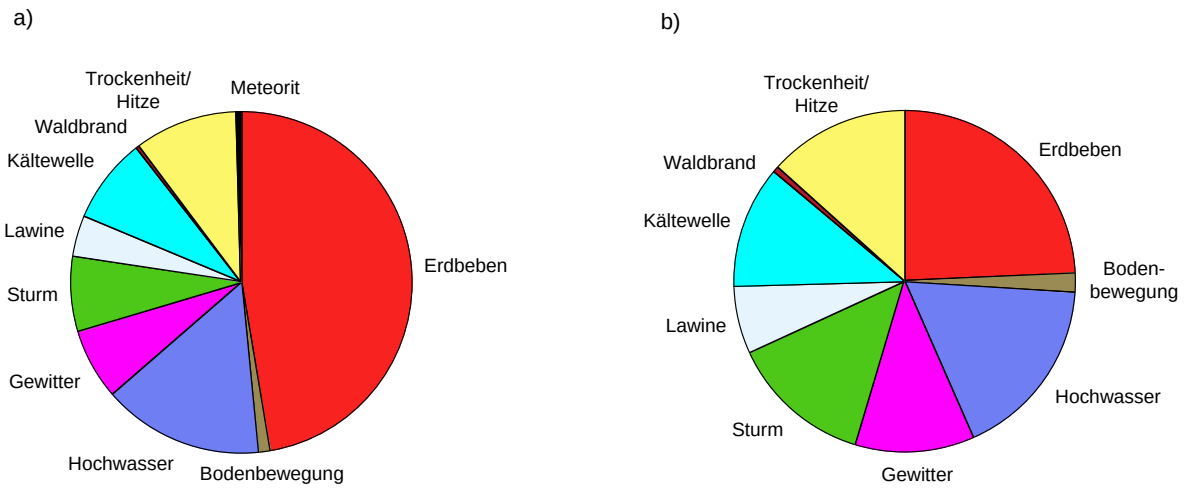


Bild 1: Anteile der verschiedenen Naturgefahren am gesamten gewichteten Risiko: a) gemäss (BZS, 1995) und b) analog ohne Risiko aus Ausmassklasse 5

Wahrscheinlichkeit auf, sind aber nicht unmöglich: Das Erdbeben von Basel 1356 gehört in diese Stärkeklasse.

Die Frage nach dem Ausmass von möglichen Erdbebenkatastrophen in der Schweiz wurde in den letzten Jahren aus der Sicht der Versicherer und der Katastrophenvorsorge intensiv untersucht.

Die Versicherer schätzten in "Was-wäre-wenn-Studien" die Folgen ab, wenn ausgewählte historische Erdbeben in der Schweiz heute wieder auftreten würden, was jederzeit möglich und zu erwarten ist (Schweizerischer Pool für Erdbebendeckung, 1988; Ammann et al., 1995). So werden für das Visper Beben von 1855 heute Gebäudeschäden in der Grössenordnung von bis zu 10 Milliarden CHF erwartet. Das Basler Beben von 1356 entspricht einem Erdbeben mit einer mittleren statistischen Wiederkehrperiode von etwa 500 bis 1000 Jahren und dürfte heute in der Grössenordnung von bis zu 50 Milliarden CHF Gebäudeschäden verursachen. Dabei wurden die Verluste an Menschenleben nicht explizit abgeschätzt. Es müsste aber mit bis zu einigen tausend Toten und bis zu zehn mal mehr Verletzten gerechnet werden. Um die Schäden am Inhalt der Gebäude, an Infrastrukturbauten für Verkehr, Kommunikation, Versorgung und Entsorgung, Kosten von Produktionsausfällen, Folgekosten von Toten und Verletzten und Umweltschäden zu berücksichtigen, müssen die Gebäudeschäden erfahrungsgemäss mit einem Faktor von etwa 2 bis 3 multipliziert werden. Damit ergäben sich Gesamtschäden, die ein Mehrfaches der jährlichen Staatsrechnung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (1996: 44 Milliarden CHF) betragen können.

Ähnlich schwerwiegende Folgerungen resultieren aus einer Studie des Bundesamtes für Zivilschutz, das sich mit der Katastrophenvorsorge befasst (BZS, 1995). Bild 1a zeigt die Anteile der einzelnen Naturgefahren am gesamten gewichteten Risiko aus Naturgefahren in der Schweiz gemäss dieser Studie. Das gewichtete Risiko berücksichtigt eine stärkere Gewichtung von Grossereignissen gegenüber kleineren Ereignissen. Ein zeitlich und örtlich konzentriertes Grossereignis bewirkt bezüglich Katastrophenbewältigung sehr viel mehr Probleme als eine Summe von zeitlich und örtlich verteilten kleineren Ereignissen mit insgesamt gleichen Folgen. Dabei fällt ins Gewicht, dass die zwar seltenen starken Beben enorme Schäden verursachen können, und dass die lokalen Katastrophenorganisationen im Ereignisfall schnell überfordert sind und auf kantonaler, nationaler, allenfalls sogar internationaler Ebene Hilfe anfordern müssen. Die vergleichende Betrachtung weist das Erdbeben aus der Sicht der Katastrophenvorsorge als grösstes gewichtetes Risiko aus. Dieses ist etwa gleich gross wie für alle andern Naturgefahren (Hochwasser, Gewitter, Sturm, Lawinen, Kältewelle, Trockenheit usw.) zusammen.

In der Darstellung von Bild 1a aus (BZS, 1995) ist auch das Risiko aus der sogenannten Ausmassklasse 5 enthalten. Es betrifft dies vor allem weiträumige Verstrahlungsschäden infolge von Problemen bei Kernkraftwerken anlässlich eines extremen Grossereignisses. Dazu kann argumentiert werden, dass ein solches Ereignis höchst unwahrscheinlich ist, und dass seine Folgen mit den gewöhnlichen Mitteln der Erdbebensicherung kaum signifikant verringert werden können. Wird das Risiko aus der Ausmassklasse 5 ausser Betracht gelassen, so resultiert das Bild 1b. Es zeigt, dass das Erdbebenrisiko immer noch grösser ist als das Risiko aus anderen Naturgefahren.

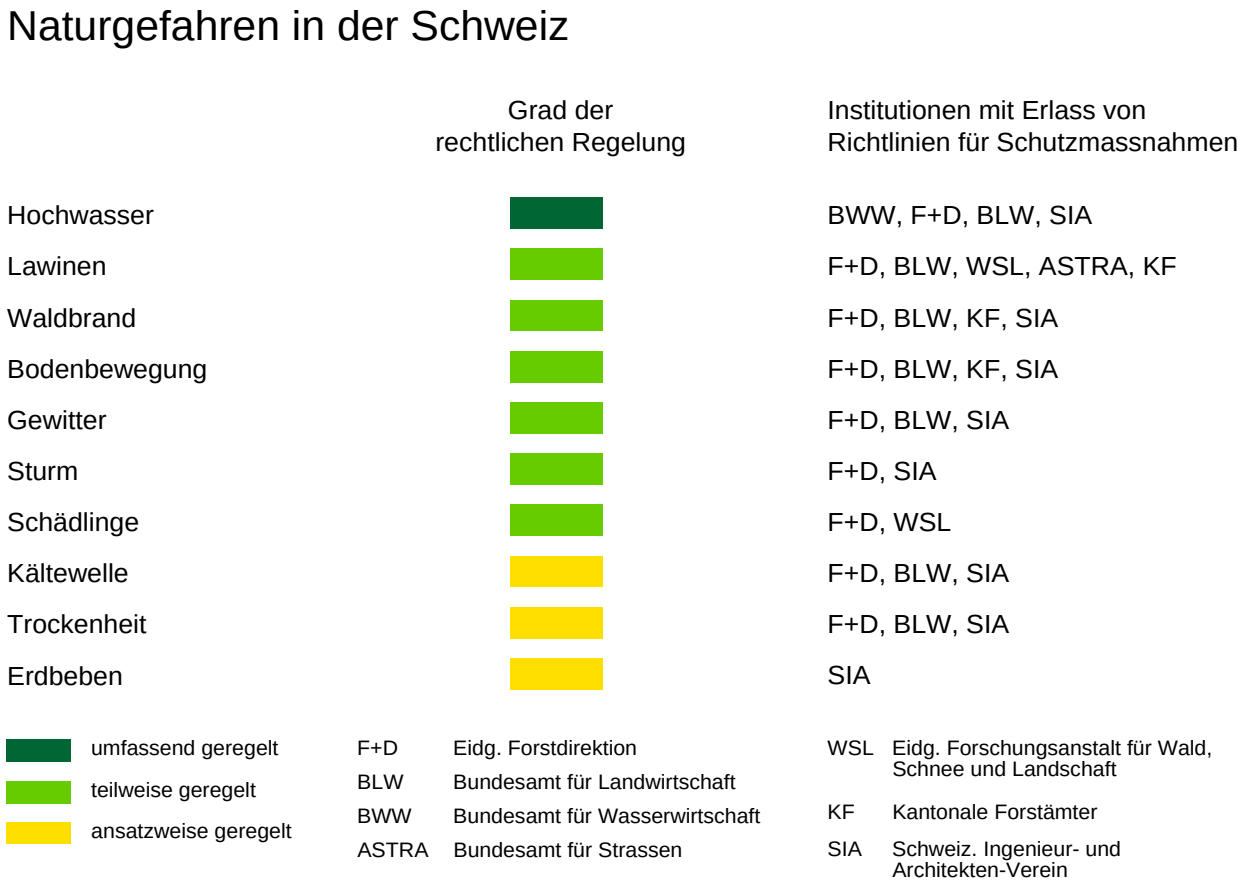


Bild 2: Grad der rechtlichen Regelung und Institutionen mit Erlass von Richtlinien für Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren in der Schweiz (nach T. Peter, 1996)

1.3 Bisherige Massnahmen gegen Naturgefahren

In der Schweiz sind in der Vergangenheit rechtliche Grundlagen zur Vorsorge und zur Bewältigung der Folgen im Bereich bestimmter Naturgefahren geschaffen worden. Die verschiedenen Erlasse auf der Stufe von Gesetzen, Verordnungen und Normen bilden vor allem die Basis für das Ergreifen und die Finanzierung von Schutzmassnahmen. Bild 2 gibt eine approximative qualitative Übersicht. Die rechteckigen Felder zeigen den Grad der rechtlichen Regelung. Umfassend geregelt ist die Naturgefahr Hochwasser. Teilweise geregelt sind Lawinen, Waldbrand, Bodenbewegungen (Erdrutsch, Steinschlag, Murgänge), Gewitter, Sturm und Schädlinge. Nur ansatzweise geregelt sind Kältewelle, Trockenheit und Erdbeben.

Mit den rechtlichen Regelungen und deren Umsetzung verknüpft sind Institutionen, die für den Erlass von Richtlinien für Schutzmassnahmen zuständig sind. Diese Institutionen sind in Bild 2 ebenfalls angegeben. Es sind dies vorwiegend Bundesämter, aber auch kantonale Ämter und der Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA). Man erkennt, dass bei den einzelnen Naturgefahren der Grad der rechtlichen Regelung und die Anzahl der mit Richtlinien für Schutzmassnahmen befassten Institutionen sich etwa entsprechen. Mit der Naturgefahr Erdbeben und insbesondere mit deren Auswirkungen auf die grosse Masse der normalen Bauwerke hat sich entsprechend dem geringen Grad der rechtlichen Regelung noch kein Bundesamt und kein kantonales Amt vertieft beschäftigt. Hier hat einzig der SIA im Bereich der Baunormen wertvolle, auf das Ganze gesehen jedoch nicht genügende Massnahmen und Aktivitäten entwickelt. Vereinzelte Anstrengungen bei Spezialbauwerken (vgl. 1.4) können dieses Manko nicht aufwiegen.

Zu ähnlichen Schlüssen führt eine Betrachtung der durch die öffentliche Hand eingesetzten finanziellen Mittel. Diese wendet pro Jahr Gelder in der Grössenord-

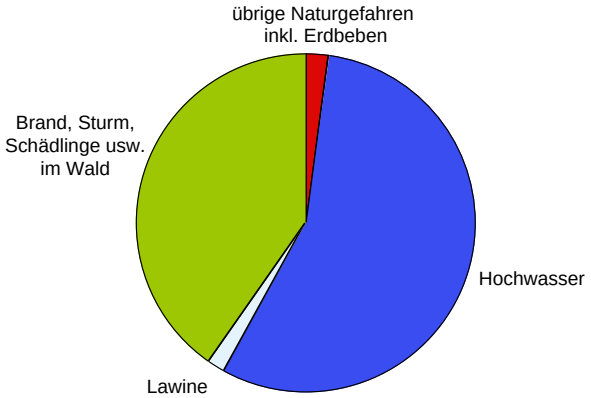


Bild 3: Anteile der verschiedenen Naturgefahren an den Aufwendungen der öffentlichen Hand für Schutzmassnahmen

nung von rund 600 Millionen CHF für Massnahmen gegen Naturgefahren auf. Bild 3 zeigt die Anteile der verschiedenen Naturgefahren, wie sie aufgrund von ungefähren Angaben von Bundesstellen geschätzt werden können. Ein Vergleich von Bild 3 mit den Darstellungen von Bild 1 zeigt das krasse Missverhältnis bei der Naturgefahr Erdbeben. Gegen diese werden vergleichsweise nur verschwindend kleine Mittel eingesetzt.

Insgesamt ergeben sich somit die folgenden Feststellungen:

Bei den Naturgefahren in der Schweiz entsprechen die rechtlichen Grundlagen, die bisherigen Massnahmen und die eingesetzten finanziellen Mittel in keiner Weise den vorhandenen Risiken. Bei der Naturgefahr Erdbeben zeigt sich im Vergleich zu anderen Naturgefahren ein krasses Missverhältnis. Hier besteht ein enormer Nachholbedarf und somit ein äusserst dringlicher Handlungsbedarf.

1.4 Bisherige Massnahmen gegen Erdbeben

Beginnend in den 60er Jahren wurden in der Schweiz die ersten Massnahmen gegen Erdbeben bei den als Spezialbauwerke einzustufenden Kernkraftwerken durchgeführt. Sowohl für die Planung und Berechnung als auch für eine möglichst erdbebensichere Gestaltung wurden erhebliche Summen aufgewendet. Kernkraftwerke gehören deshalb zu den wenigen Bauwerken, bei denen nachgewiesen wurde, dass sie auch starken Erdbeben ohne grössere Schäden widerstehen können.

In den 70er Jahren wurde auch mit Anstrengungen begonnen, welche die Erdbebensicherung der grossen Masse von normalen Bauwerken zum Ziele haben. Solche betreffen insbesondere die Normung, die Forschung und die Ausbildung; sie sind im vorliegenden Dokument beschrieben (vgl. 3.2, 3.13, 3.15). Die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) im SIA als repräsentative Vereinigung der Erdbebenfachleute in der Schweiz bemühte sich vor allem durch die Veranstaltung von Tagungen um die Weiterbildung ihrer Mitglieder und um die Sensibilisierung einer weiteren Öffentlichkeit. Diese wertvollen Anstrengungen genügen aber nicht, um die schlimmsten Folgen der Naturgefahr Erdbeben abzuwenden.

1.5 Ziele des Erdbebenschutzes

Im allgemeinen ist es nicht sinnvoll, Bauwerke so auszubilden, dass sie das stärkste an ihrem Standort mögliche Erdbeben ohne Einsturz oder gar ohne Schäden überstehen können. Vielmehr werden für ein Bauwerk *bestimmte definierte Verhalten unter Erdbeben bestimmter Stärken* angestrebt (Performance based design). Diese Stärken sind wesentlich geringer als diejenigen des stärksten möglichen Bebens, das eine sehr grosse mittlere statistische Wiederkehrperiode (sehr kleine Auftretenswahrscheinlichkeit) hat. Stärke und Wiederkehrperiode von Erdbeben sind eng miteinander verknüpft: Stärkere Beben haben eine grössere statistische Wiederkehrperiode als schwächere Beben.

Im Rahmen eines modernen Konzeptes werden für ein Bauwerk an einem bestimmten Standort definierte erforderliche Verhalten im allgemeinen für zwei verschiedene Erdbeben verlangt:

1. *Kein Einsturz* für das sogenannte *Sicherheitsbeben* (safety earthquake bzw. ultimate limit state earthquake)

2. *Keine oder nur geringe Schäden* für das sogenannte *Gebrauchstauglichkeitsbeben* (serviceability limit state earthquake bzw. damage limit state earthquake)

Die Stärke bzw. die Wiederkehrperiode des Sicherheitsbebens bzw. des Gebrauchstauglichkeitsbebens wird in Abhängigkeit von der Art und Bedeutung des betreffenden Bauwerks festgelegt. Je grösser die Bedeutung eines Bauwerks ist, desto grösser wird die Wiederkehrperiode der beiden für die Erdbebenauslegung massgebenden Erdbeben gewählt.

Damit können die Schutzziele je nach Art und Bedeutung der Bauwerke definiert werden:

Normale Bauwerke:
(Die grosse Masse von Hochbauten und Brücken, i. a. unterschieden nach 2 oder 3 Bauwerksklassen)

- Schutz von Menschenleben und vor schweren Verletzungen:
  Kein Einsturz unter dem Sicherheitsbeben (Wiederkehrperiode 400 bis 800 Jahre)
- Schutz gegen übermässige materielle bzw. volkswirtschaftliche Schäden:
  Keine oder nur geringe Schäden und somit Erhalt der Funktionstüchtigkeit unter dem Gebrauchstauglichkeitsbeben (Wiederkehrperiode 70 bis 150 Jahre)

Bauwerke mit vitaler Funktion (Lifelines):
(Im Katastrophenfall überlebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur)

- Schutz gegen Beschädigung und Unterbrechung:
  Erhalt der Funktionstüchtigkeit unter dem Gebrauchstauglichkeitsbeben (Wiederkehrperiode 200 bis 500 Jahre)

Bauwerke mit besonderem Schadenpotential:
(z.B. Chemieanlagen, Talsperren, Kernkraftwerke):

- Schutz von Menschenleben und vor Auswirkungen auf die Umwelt:
  Kein Einsturz bzw. kein Versagen der Sicherheitsbarrieren unter dem Sicherheitsbeben (Wiederkehrperiode ca. 1'000 bis 10'000 Jahre)
- Schutz gegen längere Betriebsausfälle, Erhalt der Funktionstüchtigkeit unter dem Gebrauchstauglichkeitsbeben (Wiederkehrperiode ca. 500 bis 1'000 Jahre)

Es versteht sich von selbst, dass im Rahmen eines solchen modernen Konzeptes die Schutzziele und Wiederkehrperioden (Auftretenswahrscheinlichkeiten) variieren und besonderen Anforderungen angepasst werden können. In speziellen Fällen können bestimmte definierte Verhalten für mehr als zwei, z. B. für bis zu fünf, Erdbebenstärken (Intensitätsstufen) mit entsprechenden Wiederkehrperioden angesetzt werden (Performance based design, siehe z.B. in SEAOC, 1995: Fully operational, Operational, Life safety, Near Collapse, Collapse).

Normen haben den Zweck, die Schutzziele für normale Bauwerke und Lifeline-Bauwerke in die Praxis umzusetzen. Dabei handelt es sich um Minimalanforderungen, die unter Berücksichtigung des wirtschaftlich Tragbaren und des Prinzips der Verhältnismässigkeit von Aufwand und erzielter Risikoverminderung festgelegt worden sind.

Die Norm SIA 160 (SIA 160, 1989) verwirklicht das oben skizzierte Konzept für die Schutzziele für die in der Schweiz vorherrschende mässige Seismizität auf vereinfachte Weise. Für normale Bauwerke, die in die Bauwerksklassen BWK I oder BWK II einzuteilen sind, wird nur ein Sicherheitsbeben mit einer Wiederkehrperiode von 400 Jahren (BWK I) bzw. bis zu 800 Jahren (BWK II) definiert. Unter diesem Beben dürfen einerseits die Bauwerke nicht einstürzen und andererseits bestimmte akzeptierte Schäden (sogenannte Normschäden) nicht überschritten werden:

- BWK I: Bauwerke ohne grössere Menschenansammlungen, ohne besonders wertvolle Güter und ohne Gefährdung der Umwelt

  Normschäden: grosse Schäden auch am Tragwerk, kein Einsturz
- BWK II: Bauwerke mit grösseren Menschenansammlungen, mit besonders wertvollen Gütern, mit bedeutender Infrastrukturfunktion oder mit lokaler Gefährdung der Umwelt

  Normschäden: mittlere Schäden, kein Tragwerkseinsturz

Für Lifeline-Bauwerke wird in der Norm SIA 160 ein Gebrauchstauglichkeitsbeben mit einer Wiederkehrperiode von rund 400 Jahren und implizit ein Sicherheitsbeben mit einer Wiederkehrperiode je nach Bauwerkverhalten zwischen 500 und 1500 Jahren definiert, entsprechend den folgenden Bedingungen:

- BWK III: Bauwerke mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion oder mit erheblicher Gefährdung der Umwelt, z.B. Spitäler, Ambulanzgaragen, Feuerwehrgebäude, Kommandozentralen, Versorgungs- und Telekommunikationsbauten, wichtige Brücken und Verkehrswege, Anlagen mit gefährlichen Stoffen

  Normschäden: geringfügige Schäden, keine Beeinträchtigung der wesentlichen Funktionen

Sofern die Norm korrekt angewendet wird, gelten damit die neuen Bauwerke als angemessen erdbebensicher.

In einem allgemeineren Sinne können die *Hauptziele des Erdbebenschutzes* wie folgt umschrieben werden:

- Schutz von Menschenleben und Schutz vor Verletzungen
- Schutz vor materiellen Schäden und volkswirtschaftlichen Folgekosten
- Schutz der Infrastruktur und wichtiger Notfalleinrichtungen
- Schutz der Umwelt
- Schutz der Kulturgüter

Bis vor kurzem stand der Schutz von Menschenleben fast allein im Vordergrund. Erdbeben der letzten Jahre in Gebieten mit moderner Bausubstanz haben jedoch gezeigt, dass auch die materiellen Schäden und die volkswirtschaftlichen Folgekosten drastisch reduziert und auch die übrigen Schutzziele effizient verfolgt werden sollten.

Aber auch in Zukunft wird für die grosse Masse der normalen Bauwerke *kein absoluter Erdbebenschutz* angestrebt werden können, da dies unverhältnismässig hohe Kosten verursachen würde. Beschränkte Schutzziele können bei Neubauten bei Anwendung moderner Konzepte und Verfahren (Kapazitätsbemessung) mit keinem oder mit nur vernachlässigbar kleinem Mehraufwand erreicht werden. Aufwendiger ist im allgemeinen die Erdbebensicherung bestehender Bauten, die nicht oder ungenügend auf Erdbeben ausgelegt worden sind.

1.6 Realisierung der Schutzziele

Im Hinblick auf die Realisierung der Schutzziele stehen je nach Art der Bauwerke unterschiedliche Aspekte im Vorgrund.

Bei praktisch allen Arten von Bauwerken ist es die zentrale Aufgabe des Bau- und Erdbebeningenieurs, gegebene Schutzziele unter Berücksichtigung der lokalen Gefährdung in bestimmte physikalische Eigenschaften des *Tragwerks* umzusetzen:

- Genügende Steifigkeit
- Genügender Tragwiderstand
- Genügende Duktilität für zyklisch-plastische Beanspruchung

Bei Hochbauten kommt dem *erdbebengerechten konzeptionellen Entwurf* von *Tragwerk* und *nichttragenden Bauteilen* eine grosse Bedeutung zu. Dieser erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Architekt und Ingenieur und den Einbezug der Erdbebeneinwirkung vom frühesten Entwurfsstadium an ("Miteinander-Entwurf"). Falsch wäre, wenn der Architekt zuerst ein Tragwerk entwirft und die nichttragenden Zwischenwände und Fassadenbauteile wählt und erst dann einen Ingenieur beizieht, und falsch wäre auch, wenn zuerst ein Tragwerk nur für Schwerelasten entworfen und die nichttragenden Bauteile festgelegt und das Tragwerk erst im Nachhinein für die Erdbebeneinwirkung ausgelegt oder ergänzt wird ("Nacheinander-Entwurf"). Denn "erdbebenmässige" Fehler und Mängel beim konzeptionellen Entwurf des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile können durch eine auch noch so ausgeklügelte Berechnung und Bemessung durch den Ingenieur nicht kompensiert werden. Trotz unter Umständen beträchtlicher Mehrkosten resultiert kein befriedigendes Ergebnis. Viel besser und viel kostengünstiger ist ein Entwurf, bei dem von Anfang an einfache Grundsätze berücksichtigt werden. Bei einem erdbebengerechten konzeptionellen Entwurf entstehen bei der in der Schweiz vorhandenen mässigen Seismizität bei Gebäuden der Bauwerksklassen I und II in den meisten Fällen keine Mehrkosten für die Erdbebensicherung. Wichtig ist auch, dass bei der Berechnung, Bemessung und konstruktiven Durchbildung moderne Erkenntnisse und Methoden angewendet werden.

Bei Bauwerken mit vitaler Funktion (Lifeline-Bauwerke) und mit besonderem Schadenpotential ist auch die *erdbebengerechte Gestaltung* von *Installationen und Einrichtungen* von grosser Bedeutung.

Die Realisierung der Ziele des Erdbebenschutzes darf jedoch keinesfalls nur als technische Aufgabe gesehen werden, die den Ingenieuren und Architekten zukommt. Sie stellt vielmehr eine Herausforderung an die gesamte Gesellschaft mit all ihren Institutionen und Gliedern dar. Diese müssen sich der Gefährdung und der hohen Verletzlichkeit des Lebens durch starke Erdbeben mit ihren sozialen, umweltrelevanten und wirtschaftlichen Folgen vermehrt bewusst werden. Das Erdbebenrisiko ist wie andere Risiken zu anerkennen und nicht mehr zu verdrängen. Und viele Teile der Gesellschaft - vom Bundesparlament bis zum einzelnen Bürger - müssen dementsprechend aktiv werden und durch ihr Handeln mithelfen, die Schutzziele zu erreichen. Dies ist eine gemeinschaftliche Aufgabe, die eine grosse Anstrengung erfordert. Das vorliegende Dokument will dazu eine wichtige Grundlage sein: Es weist sowohl auf die notwendigen Massnahmen (Handlungsbedarf) als auch auf die wichtigsten Verantwortungsträger (Angesprochene) hin.

1.7 Übersicht Handlungsbedarf

Bild 4 gibt eine Übersicht zum *Handlungsbedarf*, der im NAPER erfasst und anschliessend realisiert werden muss. Dieser Handlungsbedarf ist in den Kapiteln 2, 3 und 4 dargestellt.

Eine Betrachtung der *Phänomene* zeigt folgendes:

Vom Erdbebenherd, der als plötzliche Verschiebung in der Erdkruste entsteht, breiten sich die Erschütterungswellen an die Erdoberfläche aus. Auf ihrem Weg werden sie durch die Geologie und die lokalen Bodenverhältnisse beeinflusst, und sie wirken auf die Bauwerke und Anlagen ein. Diese reagieren mit Schwingungen, Verformungen und Schäden, die bis zum Einsturz führen können. Je nach Exposition gefährden die beschädigten Bauwerke die Menschen direkt oder auch indirekt durch freigesetzte Stoffe.

Als *Bereiche* können unterschieden werden:

- Einwirkung
- Verhalten der Bauwerke und Anlagen
- Katastrophenbewältigung

Im Bereich "Einwirkung" erfolgt die Gefährdungsermittlung. Im Bereich "Verhalten der Bauwerke und Anlagen" führen vorbeugende = primäre Massnahmen zur entscheidenden Reduktion der Menschenopfer und Sachschäden. Es ist dies der *Kernbereich der Erdbebenvorsorge*. Im Bereich "Katastrophenbewältigung" geht es um flankierende Massnahmen.

Die *Wissensgebiete* zu den Bereichen sind:

- Seismologie
- Bodendynamik
- Baudynamik
- Projektierung = Konzeptioneller Entwurf, Vorbemessung, Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung

Die *Sachgebiete* mit Handlungsbedarf sind:

- Seismische Gefährdung
- Seismotektonik
- Ausbreitungseffekte
- Einfluss des Standorts
- Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion

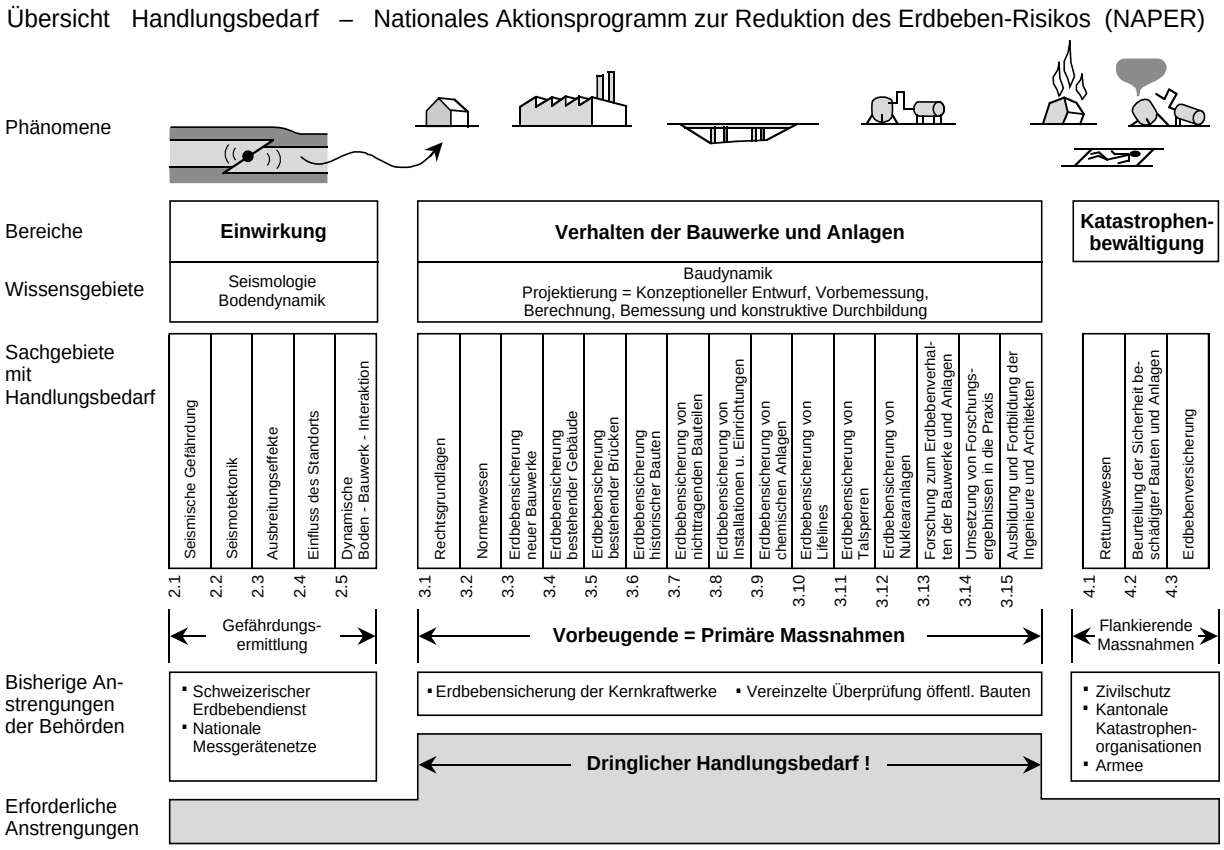


Bild 4: Übersicht Handlungsbedarf - Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbeben-Risikos (NAPER)

- Rechtsgrundlagen
- Normenwesen
- Erdbebensicherung neuer Bauwerke
- Erdbebensicherung bestehender Gebäude
- Erdbebensicherung bestehender Brücken
- Erdbebensicherung historischer Bauten
- Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen
- Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen
- Erdbebensicherung von Lifelines
- Erdbebensicherung von chemischen Anlagen
- Erdbebensicherung von Talsperren
- Erdbebensicherung von Nuklearanlagen
- Forschung zum Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen
- Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis
- Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure und Architekten
- Rettungswesen
- Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauwerke und Anlagen
- Erdbebenversicherung

Im Bild 4 sind auch die bisherigen Anstrengungen der Behörden angedeutet. Diese haben sich bis heute weitgehend auf die Bereiche "Einwirkung" und "Katastrophenbewältigung" beschränkt. Zum Bereich "Einwirkung" gehören der schon vor einiger Zeit geschaffene schweizerische Erdbebendienst und die nationalen Messgerätenetze. Zum Bereich "Katastrophenbewältigung" gehören der Zivilschutz, die kantonalen Katastrophenorganisationen und die Armee. Im Kernbereich der Erdbebenvorsorge "Verhalten der Bauwerke und Anlagen" hingegen, wo Massnahmen zur Reduktion des Erdbebenrisikos besonders wirksam wären, wurde bisher relativ wenig unternommen (Erdbebensicherung von Kernkraftwerken, vereinzelte Überprüfung öffentlicher Bauten). Die noch erforderlichen Anstrengungen sind beträchtlich. Vor allem im Bereich "Verhalten der Bauwerke und Anlagen" besteht ein enormer Nachholbedarf und somit ein äusserst dringlicher Handlungsbedarf. Dieser betrifft nebst den Behörden auch die Hochschulen, die Industrie und die Privaten.

Gegliedert nach den drei Bereichen werden in den Kapiteln 2, 3 und 4 für die insgesamt 23 Sachgebiete jeweils die spezifische *Problemstellung* und der entsprechende, eigentliche *Handlungsbedarf* dargestellt sowie die hauptsächlichen, für den Vollzug dieses Handlungsbedarfs *Angesprochenen* aufgeführt.

1.8 Angesprochene

Bei den Angesprochenen werden diejenigen Institutionen, Gruppen und Personen als hauptsächliche Verantwortungsträger aufgeführt, die *bereits ermächtigt* sind oder die *ermächtigt werden sollten*, zu handeln, Einfluss zu nehmen oder die Voraussetzungen dafür zu schaffen. Dies sind im allgemeinen öffentliche Institutionen wie Parlamente, Ämter und andere Verwaltungsstellen, die Hochschulen, die Industrie und Private als Eigentümer von Bauwerken und Anlagen sowie die Normenverantwortlichen und die Fachverbände. Im allgemeinen nicht aufgeführt sind Institutionen, Gruppen und Personen, die vorwiegend ausführende Funktionen im Sinne von Beauftragten der hauptsächlichen Verantwortungsträger ausüben.

1.9 Bewertung und Beurteilung

Im 2., 3. und 4. Kapitel werden beim Handlungsbedarf rund 60 erforderliche Massnahmen aufgeführt. Alle diese Massnahmen sind wesentlich für die Reduktion des Erdbebenrisikos in der Schweiz, doch gibt es naturgemäss Unterschiede bezüglich allgemeiner Bedeutung, Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis und Zeithorizont. Die Massnahmen wurden daher durch das Autoren- und Expertenteam bewertet. Dazu wurden vier Massnahmengruppen gebildet:

I. Rechtsgrundlagen und Normenwesen
II. Objektspezifische Massnahmen
III. Ausbildung und Sensibilisierung
IV. Forschung und Umsetzung

Aus der Bewertung ergab sich eine Einteilung in drei Prioritäten. Pro Massnahmengruppe wurden je rund ein Viertel der Massnahmen der ersten und der zweiten Priorität und die übrigen Massnahmen der dritten Priorität zugeordnet. Und entsprechend erfolgte eine verbale Beurteilung. Diese ist im 5. Kapitel wiedergegeben.

2 Einwirkung

Die Einwirkung von Erdbeben auf Bauwerke und Anlagen an einem bestimmten Standort ergibt sich aus der Kombination von drei verschiedenen Faktoren:

a) Ort, Stärke und Häufigkeit der zu erwartenden Erdbeben,

b) Energieabminderung entlang des Ausbreitungsweges der seismischen Wellen,

c) Verstärkung und Aufschaukelung der Erschütterungen, bedingt durch die Eigenschaften des oberflächennahen Untergrundes am Standort sowie durch die Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk.

a) wird in den Abschnitten 2.1 Seismische Gefährdung und 2.2 Seismotektonik, b) in Abschnitt 2.3 Ausbreitungseffekte der seismischen Erschütterungen und c) in den Abschnitten 2.4 Einfluss des Standortes und 2.5 Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion behandelt.

2.1 Seismische Gefährdung

Problemstellung

Zur Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbeben einer bestimmten Stärke sind allgemein zwei unterschiedliche Vorgehensweisen üblich, eine rein probabilistische und eine mehr deterministische. Im ersten Fall wird auf Grund einer statistischen Auswertung der aus der Vergangenheit bekannten Erdbeben für jede seismisch aktive Region die Auftretenswahrscheinlichkeit in die Zukunft extrapoliert. Im zweiten Fall geht es darum, aus geologischen Beobachtungen Ort und Ausdehnung aktiver Bruchzonen im Gelände zu identifizieren und daraus die dort maximal möglichen Erdbeben abzuleiten. Beiden Vorgehensweisen gemeinsam ist das grundsätzliche Problem, zuverlässige Wiederkehrperioden von Erdbeben einer bestimmten Stärke zu definieren.

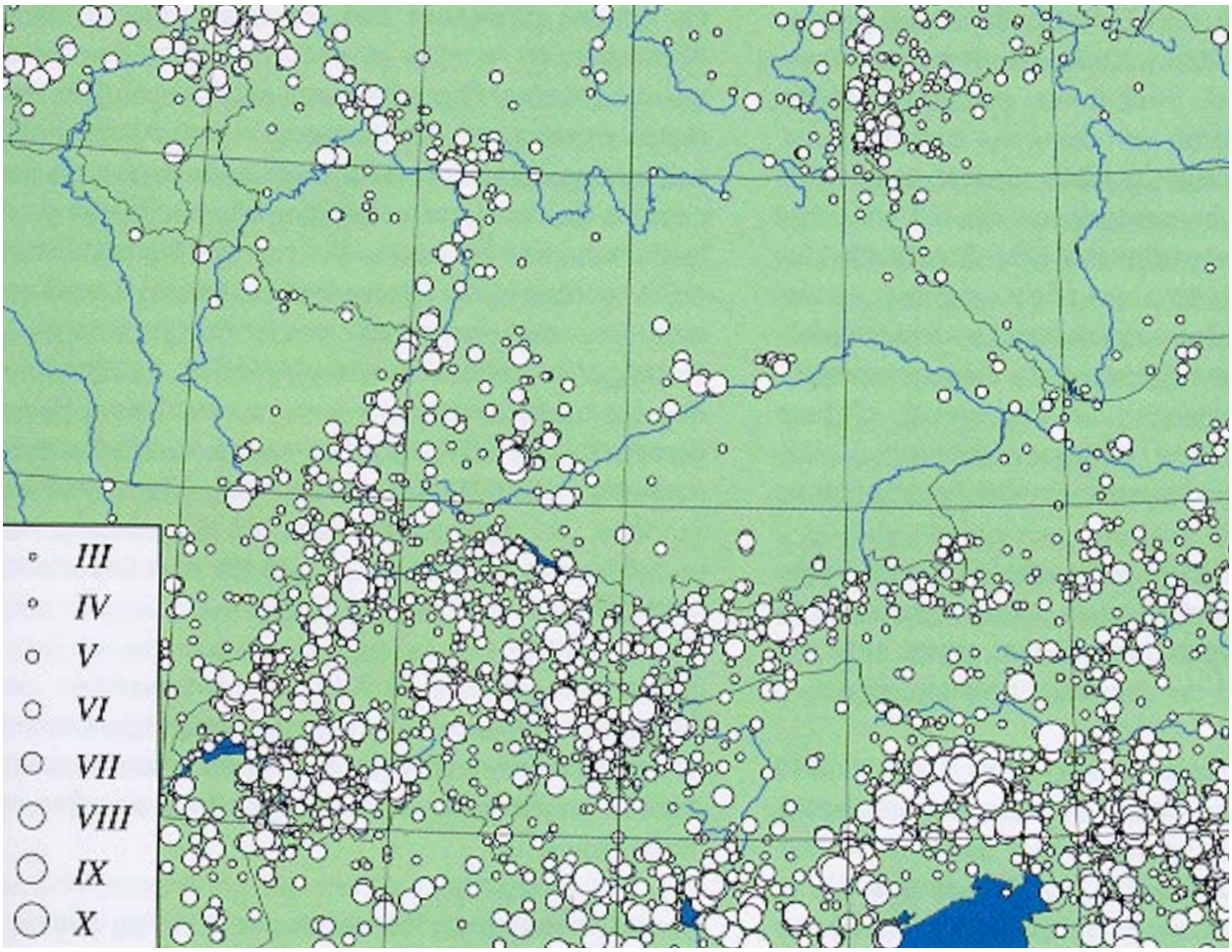


Bild 5: Seismizität in der Schweiz und angrenzenden Ländern seit dem Jahr 1000. Dargestellt sind die MSK-Epizentralintensitäten von III bis X

Die Abschätzung der seismischen Gefährdung der Schweiz basiert auf der probabilistischen Methode und ist in der 1978 veröffentlichten Gefährdungskarte erfasst (Sägesser und Mayer-Rosa, 1978). Diese Karte ist auch die Basis der zur Zeit gültigen Erdbeben-Normen (SIA 160, 1989). Die Resultate der bisher gemachten Gefährdungsstudien stützen sich auf einen historischen Erdbebenkatalog, der sich über rund 700 Jahre erstreckt, sowie auf instrumentelle Beobachtungen über rund ein Jahrhundert. Bedingt durch die beschränkte Beobachtungsdauer sowie durch die in der Schweiz und angrenzenden Gebieten moderate seismische Aktivität, sind die so abgeleiteten Wiederkehrperioden der seltenen starken Ereignisse mit grosser Unsicherheit behaftet (Rüttener, 1995).

Um die statistischen Wiederkehrperioden starker Erdbeben besser abzusichern, ist es notwendig, die Datenbasis vergangener Erdbeben zu vergrössern. Archäologische und geologische Untersuchungen (Paläoseismologie und Neotektonik) haben in den letzten Jahren weltweit wichtige neue Erkenntnisse geliefert. Solche Untersuchungen sind in der Schweiz bisher nicht durchgeführt worden.

Im Zuge des fortschreitenden Übergangs von den SIA - Normen zu den neuen Eurocodes soll auch die bisherige Norm SIA 160 durch den Eurocode 8 (EC 8, 1997) ersetzt werden. Dieser Wechsel stellt für die Einwirkung Erdbeben unter anderem neue Anforderungen an die zur Verfügung stehende Erdbebengefährdungskarte sowohl in Bezug auf die zugrundeliegende Wiederkehrperiode als auch auf die Berücksichtigung frequenzabhängiger Einflüsse des lokalen Untergrundes auf die zu erwartenden Erschütterungen (s. Abschnitt 2.4). Ein Forschungsprojekt zur Erarbeitung einer neuen seismischen Gefährdungskarte der Schweiz ist kürzlich an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen gestartet worden (Giardini D. et al., 1998). Die seismische Gefährdungskarte bildet die Grundlage für die erforderliche neue Erdbeben-Zonenkarte der Schweiz (vgl. 3.2).

Handlungsbedarf

- Durchführung archäologischer und paläoseismologischer Untersuchungen, um die Datenbasis über historische Erdbeben und ihre Wiederkehrperioden zu vergrössern.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Konferenz der Bauorgane des Bundes

Landeshydrologie und -geologie (LHG im EDI)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK im UVEK)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Schweizerischer Erdbebendienst (SED)

Normenverantwortliche (SIA usw.)

2.2 Seismotektonik

Problemstellung

Als Ergänzung zur statistischen Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbeben ist auch ein Verständnis der regional unterschiedlichen Beziehungen zwischen Erdbeben und Tektonik (geologischer Aufbau der Erdkruste, Deformation und Spannung) sehr wichtig. Einen wesentlichen Beitrag zu den bestehenden Erkenntnissen über das Auftreten von Erdbeben in der Schweiz und deren Zusammenhang mit der Tektonik liefern instrumentelle seismische Beobachtungen sowie geologische, geophysikalische und geodätische Studien.

Bild 6: Tektonische Verwerfung beim Sanetschpass im Wallis

Seit ca. 1975 betreibt der Schweizerische Erdbebendienst, SED, an der ETH Zürich ein hochempfindliches Seismometernetz zur Überwachung der seismischen Aktivität in der Schweiz und in den angrenzenden Gebieten. Zur Zeit besteht dieses Netz aus 22 über die ganze Schweiz verteilte Stationen. Ausserdem betreibt der SED ein zusätzliches Netz von 8 Stationen in der Nordschweiz und einige Einzelstationen (Baer et al., 1997).

Im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte haben in den letzten 20 Jahren Erdbebenstudien in verschiedenen Gebieten der Schweiz einen detaillierten Einblick in das seismotektonische Umfeld gegeben (Pavoni et al., 1997). Ein Gesamtbild der Seismotektonik und des Spannungsfeldes der Schweiz, basierend auf den neuen Ergebnissen ist aber noch auszuarbeiten. Ein Forschungsprojekt zur Erarbeitung einer neuen seismotektonischen Karte der Schweiz ist an der ETH Zürich mit Unterstützung der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission und in Zusammenarbeit mit der Landeshydrologie und -geologie sowie verschiedener anderer Hochschulen kürzlich gestartet worden. Die Resultate dieses Projektes werden voraussichtlich auch einen Beitrag zu den Grundlagen für eine neue seismische Gefährdungskarte liefern.

In diesem Zusammenhang steht auch der Bedarf nach einer systematischen Kartierung der gegenwärtig sowie in Zukunft potentiell aktiven Bruchzonen (Verwerfungen) in der Erdkruste. Eine solche Kartierung beruht einerseits auf geologischen Feldstudien und andererseits auf der genauen Relativlokalisierung von Erdbebenherden. Einzelne erste Arbeiten sind bereits im Gange, aber eine systematische und flächendeckende Bestandesaufnahme steht noch aus.

Bei der Abschätzung der seismischen Gefährdung eines Gebietes stellt sich die grundsätzliche Frage nach dem Verhältnis zwischen der seismisch und aseismisch verlaufenden Deformation der Erdkruste. Die Beantwortung dieser Frage bedingt einerseits eine quantitative Abschätzung der jährlich freigesetzten seismischen Energie und andererseits kontinuierliche geodätische Messungen, die zusätzlich zu den bisher ermittelten Höhenänderungen (Landesnivellement) auch die horizontalen Deformationen erfassen. Ein landesweites satellitengestütztes geodätisches Vermessungsnetz (Global Positioning System, GPS) ist zur Zeit erst im Aufbau.

Handlungsbedarf

- Systematische Kartierung aktiver Bruchzonen in der Schweiz.
- Abschätzung der seismisch bedingten Deformationsraten der Erdkruste im Gebiet der Schweiz und Verdichtung des landesweiten GPS-Netzes zur langfristigen Erfassung der an der Erdoberfläche beobachtbaren Deformation.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Schweizerische Geophysikalische Kommission (SGPK)

Landeshydrologie und -geologie (LHG im EDI)

Landestopographie (im VBS)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK im UVEK)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Schweizerischer Erdbebendienst (SED)

2.3 Ausbreitungseffekte der seismischen Erschütterungen

Problemstellung

Wie mehrere Beispiele von starken Beben der jüngeren Vergangenheit weltweit gezeigt haben, sind immer wieder erhebliche Abweichungen von den erwarteten Bodenbeschleunigungen und somit der Erdbebeneinwirkungen auf die Bauwerke zu verzeichnen, die auf dynamische Vorgänge im Erdbebenherd zurückzuführen sind. Solche Effekte können durch eine einseitige und unregelmässige Bruchausbreitung oder durch ungleichmässige Verteilung der Festigkeit und des Spannungsabfalls auf der Bruchfläche bedingt sein. Bei der Ausarbeitung von deterministischen Erdbebenszenarien gilt es, die Möglichkeit von lokal erhöhten Beschleunigungen als Folge solcher herddynamischer Phänomene zu berücksichtigen. Zum Verständnis der möglichen Effekte und zur quantitativen Abschätzung der zu erwartenden Beschleunigungen besteht jedoch noch ein grosser Forschungsbedarf.

Die Abminderung der Erdbebenerschütterungen mit zunehmender Entfernung vom Epizentrum eines Erdbebens einer bestimmten Stärke ist frequenzabhängig und weist gewisse regionale Unterschiede auf. Eine neue Studie des Schweizerischen Erdbebendienstes auf Grund detaillierter Auswertungen der über eine Zeit-

Bild 7: Visp nach dem Erdbeben vom 1855 mit zahlreichen Schäden: Turmspitze und Kamine heruntergefallen, breite Risse in Fassaden, usw.

spanne von rund zehn Jahren gemachten instrumentellen Aufzeichnungen zeigt eine gute Übereinstimmung dieser Beobachtungen mit den für das übrige Europa angewendeten Abminderungsmodellen (Smit, 1996). Im Einzelfall sind aber signifikante Abweichungen von solchen allgemeinen Modellen, besonders im herdnahen Bereich, durchaus häufig. Solche Abweichungen können sowohl durch unterschiedliche Herdtiefen als auch durch richtungsabhängige Abstrahleigenschaften des Bruchvorganges bedingt sein. Durch systematische Auswertung der in Zukunft anfallenden Aufzeichnungen gilt es, die Abminderungsmodelle seismischer Erschütterungen im Nahbereich zu verbessern.

Handlungsbedarf

- Verbesserung der Kenntnisse über die Auswirkungen herddynamischer Vorgänge auf Beschleunigungen an der Erdoberfläche.
- Verbesserung von Abminderungsmodellen seismischer Erschütterungen im Nahbereich eines Erdbebenherdes.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK im UVEK)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Schweizerischer Erdbebendienst (SED)

2.4 Einfluss des Standortes

Problemstellung

Die durch ein gegebenes Erdbeben an einem bestimmten Standort zu erwartenden Schäden an Bauwerken und Anlagen sind in hohem Masse von der Beschaffenheit (Steifigkeit) und Mächtigkeit der lokalen Bodenschichten abhängig. Gegenüber einem Standort auf festem Fels, führen weiche und zum Teil mittelsteife Böden zu einer frequenzabhängigen Veränderung der eintreffenden seismischen Wellen. Auf mittelsteifen Böden fallen sowohl maximale Bodenbeschleunigungen wie auch spektrale Amplifikationen meist signifikant höher aus als an vergleichbaren Felsstandorten. Bei weichen Böden aus schwachkonsolidierten, nacheiszeitlichen Ablagerungen, wie etwa Seekreide oder Tone, kann dieser Unterschied, zumindest bei mässigen Anregungsniveaus, wie sie in der Schweiz zu erwarten sind, noch stärker ausgeprägt sein. Verheerend sind diese Auswirkungen, wenn die durch die Bodeneigenschaften und die Mächtigkeit der oberflächennahen Schichten bedingten verstärkten Schwingungsfrequenzen mit den Eigenschwingungen der darauf fundierten Gebäude und Anlagen übereinstimmen, da es dann zu Resonanzkopplungen kommt. Tatsächlich sind die schwersten Erdbebenschäden fast immer in Gebieten mit mittelsteifen und insbesondere weichen Böden zu beobachten.

Diesen Zusammenhängen wird weltweit durch Mikrozonierungen Rechnung getragen. Aufgrund geotechnischer Untersuchungen verschiedener Bodenarten und ihrer Mächtigkeit sowie deren Korrelation mit beobachteten Schäden, werden lokale Zonen mit verminderter oder erhöhter Erschütterungsintensität ausgeschieden. Meistens liegen diese Angaben dann als makroseismische Intensitätsunterschiede vor, die direkt auf die zu erwartenden mittleren Schäden schliessen lassen. Mikrozonierungsstudien dieser Art sind in den letzten Jahren jedoch erst für wenige Gebiete der Schweiz gemacht worden (Obwalden, St. Galler Rheintal, Basel) oder noch im Gange (Wallis). Eine für alle seismisch aktiven Gebiete der Schweiz gültige Mikrozonierung mit Antwortspektren für verschiedene Bodentypen steht aber zur Zeit noch aus.

Bei der Erdbebenanregung gehen die Norm SIA 160 sowie die aktuelle Vornorm des Eurocode 8 (EC 8, 1997) von der Annahme aus, die Bodenbewegungsgrössen auf mittelsteifen und weichen Böden würden nicht oder nur unwesentlich verstärkt gegenüber Felsstandorten. Diese Annahme, mittlerweilen wissenschaftlich widerlegt, führt zu einer räumlich unausgewogenen Erdbebensicherung der Bauwerke.

Die Norm SIA 160 verlangt bei weichen Böden besondere Untersuchungen zur Bestimmung eines standortspezifischen Antwortspektrums, was in der Praxis aber kaum je befolgt wird. Der Eurocode 8 erwähnt die Möglichkeit solcher Untersuchungen sogar nur in unverbindlicher Weise. Solange aber besondere Untersuchungen, allenfalls mit Messungen der massgebenden Bodenparameter, was heutzutage mit bescheidenem Aufwand möglich ist, nicht verbindlich gefordert sind, werden die Bauherren unter dem immer schärfer werdenden Kostendruck keine solchen ins Auge fassen. Dies kann je nach Bauwerk dazu führen, dass die Erdbebenkräfte um einen Faktor zwei oder mehr unterschätzt, manchmal aber auch überschätzt werden.

Auch ausgeprägte topographische Elemente beeinflussen die Bodenbewegungsgrössen bei Erdbeben merklich. Auf Bergkämmen oder längs der oberen Kante von senkrechten Geländesprüngen werden systematisch Verstärkungen, in engen Tälern und am Fuss steiler Bergketten Abschwächungen beobachtet. Bisher gibt es noch kaum praxistaugliche, wissenschaftlich fundierte Simulationsverfahren zur rechnerischen Berücksichtigung dieser Einflüsse. Der Eurocode 8 empfiehlt zwar, den Einfluss der Topographie grob zu berücksichtigen. Die entsprechenden Phänomene sind aber den meisten Ingenieuren kaum bewusst, und auch die SIA-Norm 160 erwähnt sie in keiner Weise.

Um die hohe Empfindlichkeit zu gewährleisten, stehen die Seismometer des Überwachungsnetzes an abgelegenen Orten auf festem Fels. Daher können die entsprechenden Daten nur wenig über die zu erwartenden Erschütterungen in den besiedelten Gebieten, wo die gefährdeten Bauwerke stehen, aussagen. Zur direkten Erfassung dieser für das Erdbebeningenieurwesen rele-

Bild 8: Grossflächige Setzungen infolge Bodenverflüssigung um einen auf dem Felsuntergrund pfahlfundierten Brückenpfeiler in Kobe 1995.

vanten Daten betreibt der Schweizerische Erdbebendienst seit einigen Jahren ein landesweites Netz von Starkbebenmessgeräten. Dieses sogenannte Freifeldnetz besteht zur Zeit aus rund 50 Einzelstationen, welche die Bodenbeschleunigungen von Erdbeben, die auch von der Bevölkerung gespürt werden, aufzeichnen. Von wenigen Geräten sind die Daten per Telefon abrufbar. Bei den meisten aber ist es nötig, die Datenträger am Standort auszutauschen und später im Labor auf Computer zu übertragen. Dadurch ist es aber zur Zeit noch nicht möglich, zusammen mit den Erkenntnissen aus der Mikrozonierung, sofort nach einem starken Erdbeben detaillierte Szenarien der im Epizentralgebiet aufgetretenen Beschleunigungen zu liefern, was für die rasche und wirksame Koordination von gezielten Rettungsmassnahmen hilfreich wäre.

Handlungsbedarf

- Ausdehnung der erst in einzelnen Gebieten ausgeführten Mikrozonierung auf alle erdbebengefährdeten Regionen der Schweiz mit Messungen und Angaben über die zu erwartenden frequenzabhängigen Bodenbeschleunigungen und Bodenverschiebungen (Antwortspektren) für verschiedene Bodentypen.
- Ergänzung des Eurocodes 8 so dass die Normspektren für alluviale Böden erhöht und für Fels allenfalls reduziert werden, und dass bei wichtigen Bauten besondere Untersuchungen des Baugrundeinflusses durchzuführen sind.
- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zum Einfluss des lokalen Baugrundes und der Topographie auf die Bodenbewegungsgrössen, mit Verteilung an Bauherren, Ingenieure, Geologen und Architekten.
- Entwicklung von rechnergestützten Simulationsverfahren für standortbedingte Effekte und Umsetzung der Forschungsresultate in praxistaugliche Arbeitsverfahren und Messmethoden.
- Verbesserung der Datenübertragung aus den Freifeld-Starkbebenmessgeräten, damit die Daten sofort nach einem Beben abrufbar sind.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Konferenz der Bauorgane des Bundes (KBOB)

Bundesamt für Raumplanung (im EJPD)

Landeshydrologie und -geologie (LHG im EDI)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK im UVEK)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Schweizerischer Erdbebendienst (SED)

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

2.5 Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion

Problemstellung

Neben dem unmittelbaren Einfluss des Standortes (Kapitel 2.4) ist bei nicht allzu steifen Böden auch eine Interaktion zwischen Bauwerk und Boden zu beobachten. Diese wird bei den Berechnungen, ausser bei gewissen Spezialbauten, normalerweise vernachlässigt, was meistens, aber nicht immer, auf der sicheren Seite liegt.

Dabei treten simultan folgende Phänomene auf:

1. Die Steifigkeit und die Abmessungen des Fundamentes und des Bauwerkes führen zu einer Änderung der Bewegung an de Kontaktfläche Boden-Fundament (kinematische Interaktion). Dies führt zu einer Glättung der effektiven Erdbebenanregung auf dieser Fläche und ist somit positiv zu betrachten.

2. Die Antwort des Bauwerkes wird sowohl durch die Flexibilität des Bodens, auf welchem das Fundament liegt, beeinflusst, wie auch durch die Energie, die vom Bauwerk zum Teil in den Boden zurück abgestrahlt wird (inertiale Interaktion). Im Vergleich zu einem Bauwerk auf Felsuntergrund ergibt sich daraus eine Erhöhung der Resonanzperioden der Bauwerke und der entsprechenden Dämpfungswerte. Dies wirkt sich positiv aus, mit der Ausnahme von sehr steifen Bauwerken.

Die Boden-Bauwerk-Interaktion wird von der Wissenschaft grundsätzlich beherrscht. Eine zufriedenstellende Berechnung dieser Interaktion setzt voraus, dass Wellen, die sekundär am Bauwerk infolge Diffraktion entstehen und ins “Unendliche” abgestrahlt werden, befriedigend modelliert werden können. Entsprechende spezielle Rechenprogramme stehen bereit, doch ist deren Einsatz mit einem Aufwand verbunden, der sich in der Praxis in den seltensten Fällen rechtfertigen lässt. Das Problem besteht im wesentlichen darin, dass keines der in der Ingenieurpraxis weit verbreiteten, kommerziellen Finite-Elemente-Allzweckprogramme eine solche Berechnung in befriedigender Weise zulässt. Die Nachfra-

ge ist aus der Sicht der grossen Softwarehersteller zu klein, als dass sich die Entwicklungsarbeit zur Integration eines solchen speziellen Moduls kommerziell lohnen würde. Da der volkswirtschaftliche Nutzen aber beträchtlich wäre, ist eine solche Entwicklungsarbeit mit Forschungs- bzw. Entwicklungsgeldern zu unterstützen.

Da die Erdbebeneinwirkungen die Folge von elastischen Wellen sind, die sich im Boden ausbreiten, ergeben sich Phasenunterschiede zwischen auseinanderliegenden Punkten. Die Bodenbewegungen an verschiedenen Orten sind deshalb nicht synchron, und es treten dadurch insbesondere auch differentielle Verschiebungen auf. Dieses Phänomen ist für ausgedehnte Bauwerke, wie Talsperren und lange Brücken, von Bedeutung, und zwar besonders bei weichen Böden (niedrige Wellengeschwindigkeiten) oder besonderen topographischen Verhältnissen (z.B. enge Täler). Spezielle Untersuchungen wären in solchen Fällen unerlässlich, werden aber bisher praktisch nie durchgeführt. Die hierzu notwendigen Methoden liegen vor, sind aber anspruchsvoll und werden bis heute nur von Spezialisten beherrscht.

Infolge der durch Erdbeben erzwungenen Schwingungen betragen die Beschleunigungen in den oberen Bereichen von Bauwerken ein Mehrfaches der Bodenbeschleunigung. Messungen in verschiedenen Höhen und Orten eines Bauwerks liefern wertvolle Erkenntnisse zur Korrelation der auftretenden Beschleunigungen mit dem tatsächlichen Bauwerksverhalten und allfälliger Schäden unter der Einwirkung einer gegebenen Bodenbewegung. Bisher ist jedoch in der Schweiz kein einziges für die grosse Masse der vorhandenen Bausubstanz repräsentatives Bauwerk mit Beschleunigungsmessgeräten ausgerüstet worden (Kernkraftwerke und Talsperren sind Spezialbauwerke). Angesichts des enormen Schadenpotentials der bestehenden Bauwerke muss dies als gravierender Mangel bezeichnet werden.

Handlungsbedarf

- International koordinierte Integration eines Rechenmoduls zur befriedigenden Berechnung der Boden-Bauwerk-Interaktion in kommerziell verbreiteten Rechenprogrammen.
- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der nichtsynchronen Anregung bei sehr grossen Bauwerken wie Brücken und Talsperren, mit Verteilung an Bauherren und Ingenieure.
- Ausrüsten einiger typischer Bauwerke in schweizerischen Erdbebengebieten mit unter sich vernetzten Beschleunigungsmessgeräten.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Bundesamt für Strassen (ASTRA im UVEK)

Bundesamt für Verkehr (BAV im UVEK)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK im UVEK)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

Bild 9: Absturz eines Randfeldes der Nishinomiya Hafenbrücke in Kobe (Mittelspannweite 252 m) infolge nichtsynchroner Anregung der verschiedenen Brückenpfeiler

3 Verhalten der Bauwerke und Anlagen

Beim Erdbebenverhalten von Bauwerken und Anlagen handelt es sich um den *Kernbereich der Erdbebenvorsorge*. Hier sind Massnahmen zur Reduktion des Erdbebenrisikos besonders wirksam; es handelt sich dabei um vorbeugende, d.h. primäre Massnahmen. Das Erdbebeningenieurwesen hat in letzter Zeit enorme Fortschritte gemacht. Man weiss heute sehr gut, wie die Bauwerke ausgebildet sein müssen, damit sie auch starke Erdbeben ohne Einsturz und ohne oder mit nur beschränkten Schäden überstehen können. Die entsprechenden Massnahmen wären bei Neubauten zumindest für mittelstarke Erdbeben meist ohne oder ohne wesentliche Mehrkosten zu realisieren. Diese Erkenntnisse müssen in die Praxis umgesetzt werden.

Für eine entscheidende Verbesserung des Erdbebenverhaltens der Bauwerke und Anlagen sind zahlreiche Massnahmen erforderlich. Eine wichtige Basis bilden die Sachgebiete *Rechtsgrundlagen* und *Normenwesen*, die in den Abschnitten 3.1 und 3.2 dargestellt sind. In den Abschnitten 3.3 bis 3.12 werden *objektrelevante Sachgebiete* behandelt; diese sind für konkrete Objekte, d.h. für neue oder bestehende Bauwerke und Anlagen, von direkter Bedeutung. In den Abschnitten 3.13 bis 3.15 folgen die Sachgebiete *Forschung, Umsetzung in die Praxis* und *Ausbildung.*

Bild 10: Ohne Durchsetzung der Erdbebenbestimmungen der Baunormen werden Bauwerke immer wieder einstürzen (Ägion, Griechenland 1995)

3.1 Rechtsgrundlagen

Problemstellung

Eine erste grundlegende Feststellung von grosser Bedeutung ist, dass rechtliche Grundlagen für die Konzeption, die Koordination, die Prioritätensetzung und die Finanzierung behördlicher Massnahmen zur Vorbeugung gegen die Naturgefahr Erdbeben und insbesondere bei der Erdbebensicherung von Bauwerken noch weitestgehend fehlen. Dieses Defizit steht im krassen Gegensatz zu den Gegebenheiten bei anderen, weniger risikoreichen Naturgefahren (vgl. Bild 2). Auf dieses Defizit wurde im Jahre 1995 in der Motion “Gesetzgebung betreffend Erdbebensicherheit” von Nationalrat P. Schmidhalter aufmerksam gemacht, die verlangte, die bestehenden gesetzlichen Lücken durch Erlass eines Bundesgesetzes zu schliessen (siehe Anhang 10.1).

Von wesentlicher Bedeutung ist auch, dass die rechtliche Verbindlichkeit der technischen Regeln der SIA-Normen im allgemeinen sowie der Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160 im speziellen ungenügend ist. Zwar schreiben die kantonalen Baugesetze generell die Beachtung der anerkannten Regeln der Baukunde vor. Die Einhaltung der SIA-Normen wird jedoch, mit Ausnahme der Kantone Basel-Stadt und Waadt, gesetzlich nicht direkt vorgeschrieben. Immerhin gelten die technischen Bestimmungen des SIA-Normenwerkes üblicherweise als anerkannte Regeln der Baukunde. Privatrechtlich haben die technischen Bestimmungen für SIA-Mitglieder eine Verbindlichkeit in der Qualität von Vereinsstatuten. Eine weitere rechtliche Verpflichtung ergibt sich durch die Werkeigentümerhaftung des Obligationenrechtes (OR 58). Darin wird der Eigentümer eines Bauwerkes verpflichtet, bei Erstellung und Unterhalt die anerkannten Regeln der Baukunde zu beachten. Eine neue, klare Vorschrift, welche die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160 für verbindlich erklärt, würde die bestehenden Rechtsunsicherheiten beseitigen und die Umsetzung der Norm SIA 160 entscheidend verbessern. Für Spezialbauwerke wie Nuklearanlagen und Talsperren bestehen bereits gesetzliche Bestimmungen, die auch die Erdbebensicherheit umfassen (Heitzmann et al, 1996).

In der Praxis ist die Einhaltung der seit 1989 gültigen Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160 bei neuen und bestehenden Bauten tatsächlich oft ungenügend. Allgemein und gerade in der heutigen wirtschaftlichen Situation mit extrem gedrückten Honoraren besteht die akute Gefahr, dass Normenbestimmungen, deren Einhaltung besondere Kenntnisse und einen entsprechenden Arbeitsaufwand des Ingenieurs erfordern, ganz oder teilweise ignoriert werden. Dies trifft im besonderen Masse auf die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160 zu.

Bei sich wandelnden technischen Regeln, wie im Falle der Erdbebenbestimmungen, die es früher nicht oder nicht im gleichen Ausmass gab, stellt sich die Frage der Frist, innerhalb der ein bestehendes Bauwerk zu sanieren ist. Grundsätzlich ist jeder Bauherr verpflichtet, unter Beachtung des Prinzips der Verhältnismässigkeit sein Bauwerk innert angemessener Frist an neue technische Regeln anzupassen. Doch konkrete gesetzliche Fristen für die Realisierung der Erdbebensicherung bestehender Bauten entsprechend den Anforderungen der heute gültigen Norm SIA 160 fehlen. Eine klare gesetzliche Regelung dieser Sanierungsfristen ist dringend erforderlich. Gleichzeitig sind auch besondere finanzielle Anreize zu schaffen, sonst wird die Sanierung bestehender Bauwerke nur sehr schleppend vor sich gehen. Denkbar ist eine Finanzierung analog dem neuen Impulsprogramm “Energie 2000 Invest”.

Handlungsbedarf

- Schaffung der Rechtsgrundlagen (v.a. Bundesgesetz) für ein “Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)” und für dessen Finanzierung und Umsetzung.
- Einhaltung der Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen gesetzlich verbindlich regeln.
- Erlass von Sanierungsfristen und Schaffung finanzieller Anreize für die Erdbebensicherung bestehender Bauwerke analog dem neuen Impulsprogramm “Energie 2000 Invest”.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Rechtsgrundlagen:

- Bessere Durchsetzung der Erdbeben-Normenbestimmungen durch die Behörden und Verwaltungen aller Stufen bei eigenen, öffentlichen Bauten und bei Privaten aufgrund einer gesetzlich verbindlichen Regelung (Kap. 3.3).
- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung besonders verletzlicher Arten von bestehenden privaten Gebäuden basierend auf zu schaffenden gesetzlichen Verpflichtungen mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen (Kap. 3.4).
- Durchsetzung der Bestimmungen der Norm SIA 462, wonach bei allen Umbauten von bestehenden Gebäuden eine Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls eine Erdbebensanierung durchgeführt werden muss (Kap. 3.4).
- Anpassung gesetzlicher Bestimmungen zum Kulturgüterschutz bezüglich Erdbebensicherheit (Kap. 3.6).

Angesprochene

Bundesversammlung

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Kantonale Parlamente

Politische Parteien

3.2 Normenwesen

Problemstellung

Unter Normenwesen werden verstanden:

– Technische Normen, Richtlinien, Merkblätter und Empfehlungen des SIA
– Europäische Normen und Vornormen des CEN
– zugehörige Dokumentationen und Kommentare.

In der Schweiz überlässt der Staat die technische Normung den Berufsverbänden. Damit können die Normen frei entwickelt und dem sich im Vergleich zur Gesetzgebung rasch wandelnden technischen Fortschritt zeitgerecht angepasst werden. Die technischen Normen haben somit primär den Charakter von privaten Regeln. Diverse öffentlich-rechtliche Erlasse des Bundes, der Kantone und der Gemeinden verweisen jedoch auf Normenwerke oder einzelne Normen und erklären diese als verbindlich (SIA, 1997). So bestimmt zum Beispiel die Baunormen-Verordnung des Bundes (SR, 1962), dass alle Bauten, zu deren Ausführung es einer Genehmigung einer Behörde des Bundes bedarf, “nach anerkannten Regeln der Technik von Fachkundigen zu projektieren, zu berechnen, auszuführen, zu überwachen und zu unterhalten” sind. Die technischen Bestimmungen des SIA-Normenwerkes stellen auf ihrem Gebiet anerkannte Regeln der Baukunde dar, deren Missachtung straf- und zivilrechtliche Folgen haben kann. Häufig werden die Normen des SIA vertraglich übernom-

men, ferner verpflichten sich die Mitglieder des SIA statutarisch, die technischen Normen des SIA einzuhalten.

In den anderen europäischen Ländern wird die Normung im Bauwesen durch staatlich finanzierte Institute ausgeführt, z.B. in Deutschland durch das Deutsche Institut für Normung (DIN), in Frankreich durch die Association française de normalisation (AFNOR), in Italien durch die Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), usw. Auch in der Schweiz sollte die Normungsarbeit durch den Staat finanziert werden, da es sich eindeutig um eine Aufgabe im öffentlichen Interesse handelt (Sicherheitsfragen).

Auf dem Gebiete der Erdbebensicherung von Bauwerken hat der SIA erstmals 1970 (SIA 160, 1970) und dann wieder 1989 technische Normen publiziert (SIA 160, 1989). In ungefähr vier Jahren, d.h. etwa 2002, werden diese SIA-Bestimmungen durch den Eurocode 8 (EC 8, 1997) ersetzt werden. Eine erste Fassung des EC 8 ist bereits als Vornorm erschienen, und auch in der Schweiz musste ein Nationales Anwendungsdokument (NAD) erarbeitet werden. Alle diese Normungsarbeiten wurden bisher nach bewährter SIA-Tradition im Volontariat (unbezahlte Mitarbeit) erarbeitet.

Die bevorstehende Ablösung der nationalen Normen durch die Eurocodes hat jedoch die Normungsarbeit grundlegend verändert. Als Folge der komplexeren Abläufe der europäischen Normung und des grösseren Umfanges der Eurocodes ist eine Mitwirkung in unbezahlter Mitarbeit im heutigen wirtschaftlichen Umfeld nicht mehr möglich. Die bisher publizierten Vornormen des EC 8 zeigen, dass der EC 8 generell anspruchsvoller als die Norm SIA 160 wird, höhere Anforderungen an die Bauwerke stellen wird und dass die Gefahr einer Entfernung von der Praxis besteht. Mit einer verstärkten Begleitung sollte sichergestellt werden, dass eine gute Praxistauglichkeit des EC 8 erreicht wird. Die erforderlichen Finanzmittel für eine professionelle Mitwirkung bei der Erarbeitung der Eurocodes fehlen jedoch in der Schweiz.

Abgesehen von der Mitwirkung bei der Normungsarbeit auf europäischer Ebene ist auch die Einführung der Vornormen und der Eurocodes in der Schweiz mit grossem Aufwand verbunden. Es müssen Pilotprojekte durchgeführt, Nationale Anwendungsdokumente (NAD) erarbeitet und Einführungskurse organisiert werden. Abgestützt auf praktische Erfahrungen aus Pilotprojekten würden die Schweizer Anträge im Hinblick auf die Umwandlung des EC 8 zur definitiven Euronorm ein erhöhtes Gewicht erhalten. Ferner sollten eine neue Erdbeben-Zonenkarte der Schweiz erarbeitet und neue Erkenntnisse auf dem Gebiete der Mikrozonierung in die Normung umgesetzt werden. Auch hier stellt sich die Frage der Finanzierung.

Bild 11: Mit modernen Normen bemessenes, unbeschädigtes Hochhaus (links) und älteres, eingestürztes Gebäude (rechts) nach dem Erdbeben von Kobe 1995.

Die Europäische Union (EU) finanziert zur Unterstützung des Eurocodes-Programmes grosse multinationale Forschungsprojekte im Zusammenhang mit der Normungsarbeit, wobei bereits wichtige Weichenstellungen erfolgen. Als Nichtmitglied der EU ist die Schweiz davon weitgehend ausgeschlossen, was sich ebenfalls nachteilig auf unsere Möglichkeiten der Einflussnahme auswirkt.

Für die Erdbebensicherung bestehender Bauwerke fehlen technische Normen und Richtlinien weitgehend. Eine allgemeine Richtlinie für die Verstärkung bestehender Tragwerke für alle Einwirkungen ist vom SIA bereits herausgegeben worden (SIA 462, 1994), die speziellen Probleme bei Erdbebeneinwirkung bedürfen jedoch einer wesentlich umfassenderen Normierung.

Handlungsbedarf

- Finanzierung der Erdbebennormung durch die öffentliche Hand (Begleitung und Einführung des Eurocode 8, Nationales Anwendungsdokument, neue Erd-

beben-Zonenkarte der Schweiz, neue Bemessungsspektren, Anwendung von Mikrozonierungen, usw.).

- Durchführung von Pilotprojekten der Erdbebenbemessung von Bauwerken der öffentlichen Hand nach den Vornormen des Eurocode 8, um die erforderlichen praktischen Erfahrungen für das Nationale Anwendungsdokument und für die definitive Fassung des Eurocode 8 zu gewinnen.
- Erarbeitung von Normen und Richtlinien für die Erdbebensicherung bestehender Gebäude und Brücken.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls das Normenwesen:

- Ergänzung des Eurocodes 8 so dass die Normspektren für alluviale Böden erhöht und für Fels allenfalls reduziert werden, und dass bei wichtigen Bauten besondere Untersuchungen des Baugrundeinflusses durchzuführen sind (Kap. 2.4).
- Einhaltung der Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen gesetzlich verbindlich regeln (Kap. 3.1).
- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile vor allem in Normen, Richtlinien, usw. (Kap. 3.7).
- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen vor allem in Normen, Richtlinien, usw. (Kap. 3.8).
- Ergänzung der unzureichenden brancheninternen Richtlinien sowie der Störfallverordnung mit gesetzlich verbindlichen Erdbebenbestimmungen. Erlass von zusätzlichen Bestimmungen für die Auslegung von Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential (Kap. 3.9).

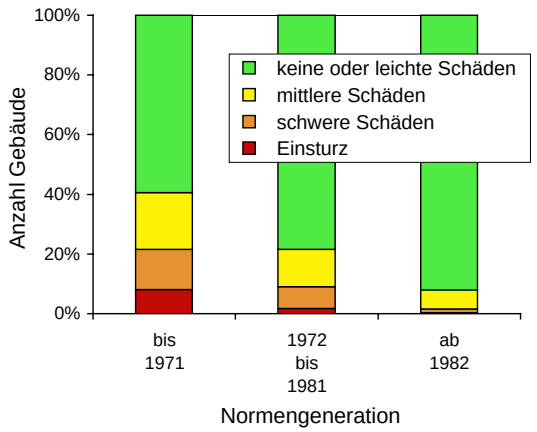


Bild 12: Einfluss der Normengeneration (Baujahr) auf das Schadenausmass von 2000 Gebäuden im Stadtzentrum von Kobe 1995, nach [Inukai 1996]

Angesprochene

Konferenz der Bauorgane des Bundes (KBOB)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Amt für Bundesbauten (AFB im EFD)

Bundesamt für Strassen (ASTRA im UVEK)

Öffentliche Bauherren

Kantonale Baudirektionen

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

3.3 Erdbebensicherung neuer Bauwerke

Problemstellung

Unter "neuen Bauwerken" werden die folgenden geplanten und somit noch zu errichtenden Bauten verstanden:

– Hochbauten: Gebäude aller Arten als Wohn-, Büro-, Gewerbe- und Industriebauten sowie Hochbauten der öffentlichen Hand
– Tiefbauten: Brücken, Tunnels, usw.

Vom jährlichen Bauvolumen in der Schweiz von rund 47 Milliarden CHF (Bachmann, 1997) gehen etwa 35 Milliarden CHF in den Hochbau und 12 Milliarden CHF in den Tiefbau. Im Hochbau sind 70 % Neuinvestitionen und 30 % Umbauten und Renovationen.

Für die fachgerechte Erdbebensicherung neuer Bauwerke (Gebäude, Brücken) sind entscheidend (Bachmann, 1995):

– Realistische Einschätzung der Bedeutung der Erdbebeneinwirkung
– Beachtung von einfachen Grundsätzen für einen erdbebengerechten konzeptionellen Entwurf des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile.
– Einhaltung der gültigen Normenbestimmungen für Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile.

Von vielen Architekten und Ingenieuren sowie von Behörden und Verwaltungen wird die Massgeblichkeit der vorwiegend horizontalen Erdbebeneinwirkung - auch im Vergleich zur vorwiegend horizontalen Windeinwirkung - immer noch stark unterschätzt. Dies geschieht aufgrund von Erfahrungen mit veralteten Normen oder schlicht aus Unkenntnis. Die Fehleinschätzung führt zur irrigen Meinung, auf Nachweise der Erdbebensicherung

verzichten zu können (vor allem in der niedrigsten Erdbebenzone).

Die Grundsätze und Prinzipien eines erdbebengerechten Entwurfs von Gebäuden sind vor allem bei den Architekten - aber auch bei manchen Ingenieuren - noch viel zu wenig bekannt. Die Gefährlichkeit z.B. von krassen Unstetigkeiten des Tragwerks in Grundriss und Aufriss, weichen Geschossen, exzentrischen Aussteifungen, unbewehrtem tragendem Mauerwerk, Ausfachungen von Rahmen durch Mauerwerk, usw. wird oft verkannt oder missachtet. Beim konzeptionellen Entwurf werden indessen die entscheidenden Weichen gestellt. Denn "erdbebenmässige" Fehler und Mängel beim Entwurf des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile können durch eine auch noch so ausgeklügelte Berechnung und Bemessung durch den Ingenieur nicht kompensiert werden. Trotz allenfalls beträchtlichen Mehrkosten resultiert kein befriedigendes Ergebnis. Viel besser und viel kostengünstiger - in den meisten Fällen gibt es keine Mehrkosten für die Erdbebensicherung - ist ein Entwurf, bei dem von Anfang an einfache Grundsätze berücksichtigt werden.

Ähnliches gilt für die Grundsätze und Prinzipien eines erdbebengerechten Entwurfs von Brücken. Vor allem bei der Wahl des Lagerungskonzepts (schwimmende Lagerung, feste Lagerung, usw.) wird der Erdbebeneinwirkung immer noch viel zu wenig Beachtung geschenkt. Dabei könnten, ähnlich wie bei Hochbauten, auch bei Brücken durch geschickte Konzepte und einfache Massnahmen ohne nennenswerte Mehrkosten die Schäden infolge potentieller Erdbeben drastisch reduziert werden. Die entsprechenden Kenntnisse sind allerdings bei den Brückeningenieuren noch viel zu wenig verbreitet. Auch die öffentlichen Auftraggeber haben diesbezüglich noch kaum Anstrengungen unternommen.

Dass die Einhaltung der gültigen Normenbestimmungen für Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile oft ungenügend ist, wird in 3.2 ausgeführt. Hier könnten eine bessere Durchsetzung durch die Behörden bei den eigenen Bauten und gesetzlich verbindliche Regelungen bei Privaten (siehe auch 3.1) wesentliche Verbesserungen bringen.

Handlungsbedarf

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebeneinwirkung und zum erdbebengerechten Entwurf von Hochbauten bzw. von Brücken, mit Verteilung an Architektur- und Ingenieurbüros sowie an Behörden und Verwaltungen.
- Bessere Durchsetzung der Erdbeben-Normenbestimmungen durch die Behörden und Verwaltungen aller Stufen bei eigenen, öffentlichen Bauten und bei Privaten aufgrund einer gesetzlich verbindlichen Regelung.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Erdbebensicherung neuer Bauwerke:

- Einhaltung der Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen gesetzlich verbindlich regeln (Kap. 3.1).
- Finanzierung der Erdbebennormung durch die öffentliche Hand (Begleitung und Einführung des Eurocode 8, Nationales Anwendungsdokument, neue Erdbeben-Zonenkarte der Schweiz, neue Bemessungsspektren, Anwendung von Mikrozonierungen, usw.) (Kap. 3.2).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Duktilität von Bewehrungsstählen" (Kap. 3.13).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk" (Kap. 3.13).

Bild 13: Spezielle Verbügelung einer neuen Stahlbetonstütze als Beispiel für die Fortschritte des modernen Erdbebeningenieurwesens (Baustelle in Kobe 1995)

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Gebäuden" (Kap. 3.13).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Brücken" (Kap. 3.13).

Angesprochene

Baubewilligungsbehörden

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Amt für Bundesbauten (AFB im EFD)

Bundesamt für Strassen (ASTRA im UVEK)

Öffentliche und private Bauherren

3.4 Erdbebensicherung bestehender Gebäude

Problemstellung

Unter "Gebäuden" werden die folgenden Arten von Hochbauten verstanden:

– Wohnbauten
– Bürobauten
– Gewerbe- und Industriebauten
– Hochbauten der öffentlichen Hand

Ohne zukünftige, grosse und systematische Anstrengungen zur Erdbebensicherung bestehender Gebäude gilt die folgende, für die "Erdbebenszene Schweiz" äusserst wichtige Feststellung:

Für die Bevölkerung der Schweiz stellen für die nächsten mindestens 50 Jahre die heute bestehenden Gebäude ein enormes Erdbebenrisiko dar. Dieses ist unvergleichlich grösser als das Erdbebenrisiko bei den in Zukunft zu erstellenden Gebäuden und Bauwerken.

Tabelle 1 zeigt die Altersstruktur der Hochbauten und die Entwicklung der Erdbebennormen in der Schweiz.

Bis 1970 waren rund 70 % des im Jahre 1995 vorhanden Bestandes (100 %) an Hochbauten erstellt, bis 1989 waren es rund 95 %. Bis 1970 gab es überhaupt keine Normen für die Erdbebensicherung der Bauwerke. Die Norm SIA 160 (SIA 160, 1970) enthielt einige wenige Bestimmungen, die jedoch aus späterer Sicht völlig ungenügend waren (Erdbebenkräfte entsprechend einer Beschleunigung von 2 % der Erdbeschleunigung g bzw. 5 % g). Die heute noch gültige Norm SIA 160 (SIA 160, 1989) stellte dann einen wesentlichen Fortschritt dar (Erdbebenkräfte entsprechend einer frequenzabhängigen Beschleunigung von bis zu 34 % g, Differenzierung nach verschiedenen Bauweisen, zweckmässige konstruktive Massnahmen); sie entspricht dem Wissensstand der frühen 80er Jahre. Nach dem Jahr 2000 soll die moderne europäische Norm EC 8, deren Entwurf als Vornorm vorliegt, die nationalen Normen ablösen (Erdbebenkräfte entsprechend einer Beschleunigung bis zu 40 % g, starke Differenzierung nach Bau- und Konstruktionsweisen bzw. Duktilität).

Aus der Altersstruktur der Hochbauten und der Entwicklung der Erdbebennormen, sowie unter der problematischen Annahme, dass die Norm SIA 160 (SIA 160, 1989) bei den jüngst erstellten Gebäuden stets und auch fachgerecht angewendet wurde, ergibt sich die weitere wichtige und zugleich gravierende Feststellung:

Rund 95 % der bestehenden Gebäude in der Schweiz wurden nicht oder nur nach veralteten Regeln für Erdbeben bemessen. Sie haben eine nicht näher bekannte, oft aber ungenügende Erdbebensicherheit, und sie sind deshalb im allgemeinen sehr verletzlich. Auch bei einem nur mässig starken Erdbeben sind Tote und Verletzte so-

Altersstruktur der Hochbauten			Erdbebennormen für Hochbauten	
Erstellt	vor 1947	40 %	–	
	vor 1970	70 %	SIA 160 (1970):	Ungenügend
	vor 1989	95 %	SIA 160 (1989):	Fortschrittlich
	bis 1995	100 %		
			EC 8 (1997 als Vornorm):	Modern

Tabelle 1: Altersstruktur der Hochbauten (Wüest und Partner, 1996) und Entwicklung der Erdbebennormen in der Schweiz

wie grosse Sachschäden von insgesamt vielen Milliarden Franken zu erwarten.

Sofern das Erdbebenrisiko in der Schweiz wesentlich reduziert werden soll, müssen bestehende Gebäude zuverlässig evaluiert und Mittel und Wege gefunden werden, um das Erdbebenverhalten der verletzlichen Gebäude wesentlich zu verbessern.

Dazu stellt sich die folgende Frage: Ist dies eine technische oder eine gemeinschaftliche Herausforderung? Handelt es sich um ein Ingenieurproblem oder um ein gesellschaftliches Problem?

Noch vor einigen Jahren wäre die Herausforderung eine vorwiegend technische gewesen. Nur ein spezialisierter Erdbebeningenieur als Experte war in der Lage, das Erdbebenverhalten bestehender Gebäude zu beurteilen. Heute jedoch stehen moderne Grundlagen zur Verfügung, welche entsprechend ausgebildeten Bauingenieuren erlauben, die Erdbebenverletzlichkeit von Gebäuden mittels einfacher und praktischer Verfahren zu beurteilen und allenfalls weitergehende Massnahmen vorzuschlagen. Insbesondere gibt es die folgenden Unterlagen:

a) Das Verfahren (Bürge, 1997) ermöglicht eine rasche generelle Beurteilung des relativen Niveaus der Verletzlichkeit von bestehenden Gebäuden und stellt ein effizientes Hilfsmittel für die Setzung von Prioritäten dar.

b) Das Dokument ATC-21 (ATC-21, 1988) und weitere amerikanische Dokumente (siehe Hamburger, 1997) ermöglichen
   - eine rasche Bestimmung des relativen Niveaus der Verletzlichkeit für zahlreiche Gebäudearten,
   - die kompetente Abklärung, ob ein bestehendes Gebäude ein nichtakzeptables Risiko für Leben und Gut darstellt,
   - die Bestimmung des Restrisikos nach der Erdbebensanierung eines Gebäudes,
   - die Abschätzung der ökonomischen Schäden bei verschiedenen Erdbebenszenarien.

Für effiziente Erdbebenevaluationen und für die Bearbeitung von Sanierungsprojekten sind entsprechende Methoden auf einem hohen Stand entwickelt worden (diese müssen z. T. noch an Schweizer Bauweisen angepasst werden). Stichworte sind:

- Statische nichtlineare Berechnung (Push over analysis)
- Dynamische lineare und nichtlineare Berechnung
- Methode der Kapazitätsbemessung, die ein duktiles und somit “gutmütiges” Verhalten der Tragwerke ermöglicht.

Auch die Technologie für eine effiziente Erdbebensanierung bestehender verletzlicher Gebäude hat in letzter Zeit grosse Fortschritte gemacht (Hamburger, 1997) (Ammann et al., 1993). Dazu gehören:

- Einbau von Stahlbetontragwänden
- Aussteifung von Rahmen durch Fachwerke mit allenfalls exzentrischen Anschlüssen
- Verstärkung von Mauerwerkswänden durch Klebebewehrung aus Kohlenstoff-Fasern
- Horizontal weiche Lagerung (Base Isolation)
- Einbau von Einrichtungen zur Energiedissipation
- Stahlumhüllung von Stützen
- Faserbetonumhüllung von Tragelementen

Bei der Erdbebensanierung bestehender Gebäude handelt es sich daher heute nicht mehr vorwiegend um eine technische, sondern um eine *gesellschaftliche Herausforderung*. Wie kann erreicht werden, dass öffentliche und private Eigentümer von Gebäuden eine Überprüfung der Erdbebensicherheit veranlassen?

Langjährige Erfahrungen in den USA (Hamburger, 1997) zeigen, dass - wie in andern Bereichen der Sicherheit - primär staatliche Stellen aktiv werden müssen. Solche Aktivitäten fehlen jedoch in der Schweiz noch weitgehend. Bis heute gibt es keine systematische Identifizierung bzw. Festlegung der bestehenden öffentlichen und privaten Gebäude der wichtigsten Bauwerksklasse III (Spitäler, Ambulanzgaragen, Feuerwehrgebäude, Kommandozentralen, usw.), die auch als Bestandteile von Lifelines bezeichnet werden können (vgl. 3.10). Somit fehlen auch Überprüfungen von deren Erdbebensicherheit und wo nötig eine Erdbebensanierung. Ähnliches gilt für die öffentlichen Gebäude der Bauwerksklassen II und I. Auch gibt es noch keine Verpflichtung privater Eigentümer von besonders verletzlichen Gebäudearten zu deren Überprüfung und allenfalls Sanierung. Ferner wird bei Umbauten bestehender Gebäude oft nicht beachtet oder gar bewusst ignoriert, dass gemäss der Norm SIA 462 (SIA 462, 1994) eine Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung erfolgen sollte.

Handlungsbedarf

- Identifizierung der bestehenden öffentlichen und privaten Gebäude der wichtigsten Bauwerksklasse III mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung.
- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden öffentlichen Gebäude der Bauwerksklasse II und teilweise Bau-

Bild 14: Einsturz eines älteren, bestehenden Gebäudes mit stark exzentrischer Aussteifung in Kobe 1995

werksklasse I mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung besonders verletzlicher Arten von bestehenden privaten Gebäuden wie z.B.
  - Gebäude mit "weichem" Erdgeschoss
  - Gebäude mit stark exzentrischer Aussteifung
  - Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk
  - Durch Mauerwerkswände "ausgesteifte" Rahmen
  - Wertvolle Natursteinbauten

  basierend auf zu schaffenden gesetzlichen Verpflichtungen und mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.
- Durchsetzung der Bestimmungen der Norm SIA 462, wonach bei allen Umbauten von bestehenden Gebäuden eine Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls eine Erdbebensanierung durchgeführt werden muss.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Erdbebensicherung bestehender Gebäude:

- Erlass von Sanierungsfristen und Schaffung finanzieller Anreize für die Erdbebensicherung bestehender Gebäude Bauwerke analog dem Impulsprogramm "Energie 2000 Invest" (Kap. 3.1).
- Erarbeitung von Normen und Richtlinien für die Erdbebensicherung bestehender Gebäude und Brücken (Kap. 3.2).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk" (Kap. 3.13).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Gebäuden" (Kap. 3.13).
- Schaffung einer risikogerechten Erdbebenversicherung sowohl für Gebäude mit klarer Abstufung der Versicherungsprämien nach der Verletzlichkeit, als auch für Bauwerke und Anlagen mit grossem Schadenpotential für die Umwelt (z. B. gefährliche Chemieanlagen) (Kap. 4.3).

Angesprochene

Baubewilligungsbehörden

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Amt für Bundesbauten (AFB im EFD)

Öffentliche und private Bauherren und Eigentümer

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

3.5 Erdbebensicherung bestehender Brücken

Problemstellung

Unter "Brücken" werden die folgenden Arten verstanden:

- Strassenbrücken von Nationalstrassen, Kantonsstrassen, Gemeindestrassen und Privatstrassen
- Eisenbahnbrücken von Bundesbahnen und Privatbahnen
- Fussgänger- und Radwegbrücken
- Rohrleitungs- und Materialtransportbrücken

Im Falle eines Erdbebens können Brücken von sehr unterschiedlicher Bedeutung sein. Bestimmte Brücken sind von grosser Bedeutung nach einem Erdbeben für die Zugänglichkeit eines Gebietes. Sie bilden Bestandteil von wichtigen Verkehrswegen, die auch als Lifelines bezeichnet werden können (vgl. 3.10). Dazu gehören z. B. eine Strasse oder eine Eisenbahnlinie, die ein grösseres Tal erschliesst, oder ein wichtiger Flussübergang. Die dazugehörenden Brücken sollen nach einem Erdbeben gebrauchstauglich bzw. funktionstüchtig bleiben und dürfen somit nur unwesentliche Beschädigungen aufweisen. Schäden, die vermieden werden müssen, sind vor allem die Zerstörung der Fahrbahnübergänge und Lager und die Beschädigung und Schiefstellung der Widerlager durch den Aufprall des Brückenträgers. Andere, nicht zu Lifelines gehörende Brücken dür-

fen zwar ihre Funktionstüchtigkeit einbüssen und somit erhebliche Schäden erleiden, sie dürfen aber auf keinen Fall einstürzen.

Gemäss der Norm SIA 160 (SIA 160, 1989) gehören Brücken von grosser Bedeutung nach einem Erdbeben in die dort definierte wichtigste Bauwerksklasse III, die übrigen Brücken je nach ihrer Bedeutung in die Bauwerksklassen II oder I.

Bis 1970 gab es überhaupt keine Normen für die Erdbebensicherung von Brücken in der Schweiz. Die Norm SIA 160 (SIA 160, 1970) enthielt dann einige wenige Bestimmungen, die jedoch aus späterer Sicht völlig ungenügend waren. Da seit 1989 nur noch wenige neue Brücken erstellt wurden - und unter der problematischen Annahme, dass dabei die Norm fachgerecht angewendet wurde - ergibt sich die folgende sehr wichtige Feststellung:

Über 95 % der bestehenden Brücken in der Schweiz wurden nicht oder nur nach veralteten Regeln für Erdbeben bemessen. Sie haben eine nicht näher bekannte, oft aber ungenügende Erdbebensicherheit und dürften deshalb im allgemeinen sehr verletzlich sein. Auch bei einem nur mässig starken Erdbeben ist mit der Unterbrechung zahlreicher Verkehrswege zu rechnen, und bei einem stärkeren Erdbeben werden sich Einstürze ereignen.

Dazu kommt, dass trotz der Norm SIA 160 (SIA 160, 1989) unseres Wissens bisher in der Schweiz weder von Eigentümern von Autobahnen und Strassen noch von solchen der Bahnen eine systematische Identifizierung bzw. Festlegung von wichtigen Verkehrswegen als Lifelines erfolgt ist. Eine solche ist jedoch von entscheidender Bedeutung für die Festlegung der Anforderungen an neue und bestehende Brücken. Diese Festlegung und entsprechende Massnahmen an Brücken sind wesentlich für die Offenhaltung "überlebenswichtiger" Verkehrswege vor allem für den Einsatz der Rettungsdienste, und sie ist somit eine Aufgabe von hohem öffentlichem Interesse. Diese Aufgabe kann sinnvollerweise nur mit Koordination des Bundes kantonsübergreifend und unter Einbezug zahlreicher involvierter Stellen gelöst werden. Die Festlegung wichtiger Verkehrswege als Lifelines kann in grundsätzlich ähnlicher Weise angegangen werden wie seinerzeit die Festlegung von schweizerischen Routen für Schwertransporte.

Erfahrungen im Ausland und erste Beispiele der Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Brücken in der Schweiz (Strassenbrücken über den Vorbahnhof von Zürich, Basler Rheinbrücken) zeigen, dass es sich hierbei um sehr anspruchsvolle Ingenieuraufgaben handelt, die einen gewissen Aufwand erfordern. Es ist deshalb von grosser Bedeutung, dass systematisch vorgegangen wird und klare Prioritäten gesetzt werden. Zudem fehlen für Brücken Unterlagen und Verfahren, die eine einfache und rasche generelle Beurteilung des relativen Niveaus der Verletzlichkeit erlauben, ähnlich wie es dies für Hochbauten gibt (Bürge, 1997).

Handlungsbedarf

- Identifizierung ausgewählter Strassen- und Bahnverkehrswege der wichtigsten Bauwerksklasse III mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der zugehörigen bestehenden Brücken.

Bild 15: Abgestürzter Brückenträger einer Autobahnverzweigung in Kobe 1995

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden Brücken der Bauwerksklasse II und teilweise Bauwerksklasse I mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.
- Entwicklung von Unterlagen und Verfahren für eine rasche generelle Beurteilung der Erdbebenverletzlichkeit von Brücken.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Erdbebensicherung bestehender Brücken:

- Erarbeitung von Normen und Richtlinien für die Erdbebensicherung bestehender Gebäude und Brücken (Kap. 3.2).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Brücken" (Kap. 3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Bundesamt für Strassen (ASTRA im UVEK)

Bundesamt für Verkehr (BAV im UVEK)

Kantonale Strassenbauämter

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

3.6 Erdbebensicherung historischer Bauten

Problemstellung

Unter "historischen Bauten" werden kunstgeschichtlich wertvolle Bauwerke samt deren Inhalten verstanden, insbesondere

- Kirchen und Kapellen (z.B. Basler Münster)
- Öffentliche Repräsentativbauten (z.B. Stockalperpalast Brig)
- Burgen und Schlösser
- Museen
- historische Brücken
- usw.

Diese Bauwerke stellen meist unersetzliche Kulturgüter dar, und sie enthalten oft ebensolche Güter wie Gemälde, Skulpturen, usw. Einerseits sind sie durch Erdbeben häufig besonders stark gefährdet, da sie oft Mauern mit sehr viel Masse und gleichzeitig geringer Zugfestigkeit aufweisen. Sie können bereits durch mässig starke Erdbeben beschädigt werden oder unwiederbringlich verloren gehen, wie dies z.B. beim relativ schwachen Erdbeben in Mittelitalien (Umbrien) im September 1997 geschehen ist. Anderseits können Sanierungsmassnahmen einen allenfalls unzulässig starken Eingriff in die Bausubstanz und das Erscheinungsbild von historischen Bauten bedeuten. Beide Aspekte müssen von Fall zu Fall gewichtet und die zu treffenden Massnahmen entsprechend geplant werden. Und neben der eigentlichen Erdbebensanierung der Bauwerke kann auch das Sichern und Befestigen von Inhalten notwendig sein, allenfalls auch die Umplacierung wertvoller Inhalte in erdbebensichere Bauwerke.

In der Schweiz wurde, im Gegensatz zu andern Ländern - beispielsweise Italien -, bisher keine systematische Inventarisierung und Klassierung historischer Bauten bezüglich Verletzlichkeit durch Erdbeben durchgeführt. Daher besteht auch die Gefahr, dass Renovationen solcher Bauten ohne angemessene Rücksicht auf die Erdbebensicherheit vorgenommen werden.

Im weiteren ist festzustellen, dass in der Schweiz die bestehenden gesetzlichen Bestimmungen zum Kulturgüterschutz keine Hinweise auf die Erdbebengefährdung und entsprechende Massnahmen enthalten.

Handlungsbedarf

- Inventarisierung und Klassierung der historischen Bauten bezüglich Verletzlichkeit durch Erdbeben mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung, mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.
- Anpassung gesetzlicher Bestimmungen zum Kulturgüterschutz bezüglich Erdbebensicherheit

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Erdbebensicherung historischer Bauten:

- Erlass von Sanierungsfristen und Schaffung finanzieller Anreize für die Erdbebensicherung bestehender Bauwerke analog dem neuen Impulsprogramm "Energie 2000-Invest" (Kap. 3.1).
- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden öffentlichen Gebäude der Bauwerksklasse II und teilweise Bauwerksklasse I mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen (Kap. 3.4).
- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung besonders verletzlicher Arten von bestehenden privaten Gebäuden basierend auf zu

Bild 16: Im Erdbeben von 1997 beschädigter historischer Turm von Nocera Umbra in Italien

schaffenden gesetzlichen Verpflichtungen und mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen (Kap. 3.4).

- Durchsetzung der Bestimmungen der Norm SIA 462, wonach bei allen Umbauten von bestehenden Gebäuden eine Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls eine Erdbebensanierung durchgeführt werden muss (Kap. 3.4).
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen auf dem Gebiet "Erdbebensicherung historischer Bauten" (Kap. 3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Bundesamt für Kultur (Denkmalpflege) (im EDI)

Amt für Bundesbauten (AFB im EFD)

Kantonale Denkmalpflegen

Baubewilligungsbehörden

Kirchgemeinden und übrige Eigentümer

3.7 Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen

Problemstellung

Unter nichttragenden Bauteilen werden verstanden:

- Zwischenwände
- Fassadenbauteile einschliesslich Fenster, Brüstungen, usw.
- Unterdecken (Deckenverkleidungen)
- Treppenelemente
- usw.

Die nichttragenden Bauteile sind fest eingebaut, d.h. mit dem Tragwerk verbunden, sie haben jedoch keine globale, sondern höchstens eine lokale Tragfunktion. Installationen (z.B. Leitungen, fest montierte Behälter) und Einrichtungen (Mobilien) werden nicht zu den nichttragenden Bauteilen gezählt (siehe 3.8).

Die nichttragenden Bauteile sind bezüglich Erdbebenverhalten durch die folgenden Aspekte gekennzeichnet:

- Sie enthalten meist ein grosses Schadenpotential
- Sie können die Sicherheit von Personen gefährden

Bild 17: Auf die Strasse hinuntergefallene schwere Fassadenbauteile in Kobe 1995

Der grösste Teil der Gesamtschäden an Gebäuden, gerade in Gebieten mit mässiger Seismizität, stammt meist von Schäden an Zwischenwänden und Fassadenbauteilen: Bei mittelstarken Erdbeben, die das Tragwerk nicht beschädigen, entstehen "nur" Risse und Brüche in den Zwischenwänden und Fassadenbauteilen. Dies ist vor allem der Fall, wenn beim konzeptionellen Entwurf des Gebäudes bei der Wahl dieser Bauteile keine Rücksicht auf die zu erwartenden Verformungen des Tragwerks unter Erdbeben genommen wurde, d.h. wenn die Verformungsempfindlichkeit der Zwischenwände und Fassadenbauteile und das Verformungsverhalten (Steifigkeit) des Tragwerks nicht aufeinander abgestimmt worden sind. Mit sachgerechten Entscheiden und zweckdienlichen Massnahmen können jedoch oft ohne oder mit vernachlässigbar kleinen Mehrkosten die potentiellen Erdbebenschäden drastisch, z.B. um einen Faktor 10, reduziert werden. Für diese Zusammenhänge und die entsprechenden, sehr effizienten Massnahmen ist aber sowohl bei Bauherren und Architekten wie auch bei Bauingenieuren und Erdbebenversicherungen oft noch viel zu wenig Bewusstsein und Verständnis vorhanden. Allerdings fehlen auch Anleitungen zur Umsetzung der vorhandenen Erkenntnisse in die Praxis.

Ein ungünstiges Erdbebenverhalten von nichttragenden Bauteilen kann aber auch Menschenleben gefährden. Zerbrochene und umfallende Zwischenwände, beim Hauseingang oder auf das Trottoir fallende Fassadenbauteile und das Herunterfallen von an der Tragkonstruktion aufgehängten Unterdecken stellen ein grosses Sicherheitsrisiko dar. Dieses kann jedoch durch einfache Massnahmen erheblich reduziert werden. Aber auch hierfür ist sowohl bei Bauherren und Architekten als auch bei Bauingenieuren und Erdbebenversicherungen noch viel zu wenig Bewusstsein und Verständnis vorhanden. Und auch hierzu fehlen Anleitungen zur Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis.

Ein echtes Problem ist in der Praxis auch die Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der Wahl und der erdbebengerechten konstruktiven Durchbildung der nichttragenden Bauteile von Gebäuden. Grundsätzlich gehören diese Bauteile in aller Regel (Honorarordnungen) in den Zuständigkeitsbereich des Architekten, während sich der Bauingenieur mit dem Tragwerk befasst. Da der Architekt meist glaubt, dass "das Erdbeben zur Statik (des Tragwerks) gehört", kümmert sich schliesslich niemand um die für Schäden und Sicherheit bei Erdbeben sehr wichtigen, ja oft entscheidenden nichttragenden Bauteile.

Bei zahlreichen bestehenden Bauten, z.B. bei Industriebauten und -Anlagen, sind die nichttragenden Bauteile nicht erdbebengerecht gestaltet, was grosse Risiken auch bezüglich Produktionsausfällen und wirtschaftlichen Folgen (Verlust von Marktanteilen und Arbeitsplätzen) in sich birgt. In engen Gassen von Städten können abgestürzte Fassadenbauteile die Rettungswege versperren.

Handlungsbedarf

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile von Gebäuden bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure und Versicherer.
- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile vor allem in Normen, Richtlinien, usw.
- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der nichttragenden Bauteile bei bestehenden Bauten, z.B. bei wirtschaftlich bedeutenden Industriebauten und -Anlagen und bei engen Gassen in Städten (Fassadenbauteile).

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen in Gebäuden (Kap. 3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Öffentliche und private Bauherren

Amt für Bundesbauten (AFB im EFD)

Eigentümer und Betreiber von Industrie- und Dienstleistungsanlagen

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

3.8 Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen

Problemstellung

Unter Installationen und Einrichtungen (in der SIA-Norm 160, 1989, als "Anlagen und Einrichtungen" bezeichnet) werden verstanden:

- Installationen für Heizung, Lüftung und Klima ("HLK")
- Leitungen für Brauchwasser und Abwasser
- Laboreinrichtungen und Behälter
- Möbel, Schränke, Lagergestelle, usw.
- Elektrische Leitungen, Beleuchtungskörper
- Elektronische Geräte wie Computer, Video-Kameras, usw.

Von Objekten der Bauwerksklasse BWK III wird in der SIA-Norm 160 (SIA 160, 1989) verlangt, dass sie ein in dieser Norm definiertes Bemessungsbeben ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit überstehen. Die Funktionstüchtigkeit eines Objektes aber hängt entscheidend vom Verhalten der Installationen und Einrichtungen ab. Dementsprechend ist sowohl die Sicherheit, z.B. gegen Absturz, wie auch die Gebrauchstauglichkeit derselben nachzuweisen.

Schlecht konzipierte und vor allem unzureichend verankerte Installationen und Einrichtungen führen schon bei bescheidenen Beben zu grossen Schadensummen und können bei stärkeren Beben sogar die Sicherheit von Personen gefährden. Beispiele sind etwa umstürzende Aktenschränke oder von Gestellen herunterstürzende Behälter mit gesundheitsgefährdenden Stoffen.

Erfahrungen in der Praxis zeigen zwei schwerwiegende Probleme auf:

1. Installationen und Einrichtungen erdbebengerecht auszubilden und die entsprechenden Nachweise zu führen wird oft "vergessen". Das Hauptproblem besteht darin, dass sich die verschiedenen Beteiligten des Problemes oft nicht bewusst sind und deshalb auch die Verantwortlichkeiten nicht klar geregelt werden.

2. Werden Berechnungen angestellt, so sind diese meist mangelhaft. Befinden sich die zu untersuchenden Installationen und Einrichtungen nicht im Erdgeschoss, so erfahren sie im allgemeinen eine vom Gebäude verstärkte Erdbebenanregung infolge von Resonanzeffekten. Dies wird oft übersehen.

Zur Dimensionierung von Installationen und Einrichtungen, und insbesondere auch von deren Verankerungen, müssten sogenannte Stockwerk-Antwortspektren verwendet werden. Diese berücksichtigen die erwähnten Aufschaukelungseffekte. Die Verwendung solcher Stockwerk-Antwortspektren gilt bei Nuklearanlagen seit langem als Stand der Technik, ist aber im übrigen kaum verbreitet.

Echte Stockwerk-Antwortspektren zu erarbeiten erweist sich für Projekte üblichen Umfanges als zu aufwendig. Es existieren aber Näherungsverfahren, die zwar immer noch einen beachtlichen Aufwand erfordern, deren Anwendung aber bei wichtigen Objekten angezeigt wäre. In einfacheren Fällen können Abschätzungen dienen, wie sie etwa im Eurocode 8 (Teil 1.2, 3.5) (EC 8, 1997)) oder in den französischen "Recommandations afps 90" (Band 2, Kapitel 23.523.2) (AFPS, 1992) zu finden sind. Diese Abschätzungen, und ganz besonders die erwähnten Näherungsverfahren, sind aber den meisten Ingenieuren nicht bekannt.

Die Konsequenz der beschriebenen Mängel ist, dass im Falle eines Erdbebens grosse Schäden an Installationen und Einrichtungen zu erwarten sind, und zwar auch in Fällen, in denen die eigentliche Tragstruktur das Erdbeben gut übersteht. Dabei wären die Kosten einer Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen in der Regel ausgesprochen bescheiden im Vergleich zur potentiellen Schadenreduktion. Tatsächlich können entsprechende Schäden bei Industrieanlagen und Dienstleistungsbetrieben zu Produktionsausfällen führen, die zu empfindlichen, langfristig anhaltenden Verlusten an Marktanteilen und damit von Arbeitsplätzen führen können. Die fortschreitende Globalisierung der Märkte verschärft diese Problematik noch weiter.

Bild 18: Umgestürzte Büromöbel im Rathaus von Kobe nach dem Erdbeben von 1995

Handlungsbedarf

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure, insbesondere auch an Heizungs-Lüftungs-Klima-Ingenieure.
- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen vor allem in Normen, Richtlinien, usw.
- Überprüfung der Erdbebensicherheit von Installationen und Einrichtungen insbesondere bei bestehenden Industrieanlagen und Dienstleistungsbetrieben, wo Produktionsausfälle schwerwiegende wirtschaftliche Folgen (Verluste von Marktanteilen und Arbeitsplätzen) haben können.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen (Kap. 3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Öffentliche und private Bauherren

Eigentümer und Betreiber von Industrie- und Dienstleistungsanlagen

Normenverantwortliche (SIA, usw.)

3.9 Erdbebensicherung von chemischen Anlagen

Problemstellung

Unter chemischen Anlagen werden Anlagen jeglicher Art, die der Störfallverordnung (StFV, 1991) unterstellt sind, verstanden. Dies sind einerseits Produktionsanlagen, bestehend aus chemischen Reaktoren und dazugehörigen Leitungssystemen, anderseits Lagerbehälter und deren Belade- und Entladevorrichtungen.

Die Beschädigung chemischer Anlagen bei einem Erdbeben kann Bevölkerung und Umwelt in starkem Masse gefährden und/oder die Produktion für längere Zeit stilllegen und damit die weitere Existenz des Werkes am Standort gefährden (massiver Verlust von Marktanteilen).

Im Rahmen der Störfallverordnung (StFV, 1991) sind Inhaber von Anlagen verpflichtet, eigenverantwortlich alle zur Vermeidung von Risiken geeigneten Massnahmen zu treffen. Zu den Auslösern von Störfällen gehören auch Erdbeben. Der Inhaber einer Anlage hat sich deshalb stets mit den sicherheitstechnischen Fragen seiner Anlage auseinanderzusetzen und im Dialog mit der Vollzugsbehörde zu stehen. Die Massnahmen müssen dem aktuellen Stand der Sicherheitstechnik entsprechen, wobei die wirtschaftliche Tragbarkeit berücksichtigt werden darf. Kann eine schwere Schädigung von Bevölkerung und Umwelt nicht ausgeschlossen werden, so hat der Inhaber die Tragbarkeit des Risikos mittels einer Risikoermittlung nachzuweisen.

Bei Bauten, die eine erhebliche Gefährdung von Bevölkerung und Umwelt darstellen, soll in der Praxis die Auslegung im Rahmen der Norm SIA 160, “Einwirkungen auf Tragwerke” auf dem Niveau der Bauwerksklasse III vorgenommen werden (SIA 160, 1989). Die üblichen Baunormen, auch der in Ausarbeitung stehende Eurocode 8, sind jedoch auf Bauten und Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential nicht anwendbar, denn dort wird nach heutiger Auffassung solchen Bauten und Anlagen zu wenig Beachtung geschenkt. Die chemische Industrie hat in Anlehnung an SIA 160 einen Behelf erarbeitet und publiziert (ESCIS, 1994). Im ESCIS-Erdbebenbehelf werden indessen - im Gegensatz zum Titel dieser Schrift und zur Norm SIA 160 für Bauwerke - nur die Ziele und Anforderungen an die Anlagen formuliert. Es fehlen zahlreiche Angaben für die Realisierung dieser Ziele. Ferner hat die chemische Industrie allgemeine Sicherheitsvorschriften für Tankanlagen ausgearbeitet (TRCI, 1976/1992). Letztere berücksichtigen jedoch die spezifischen Einwirkungen bei Erdbeben nicht.

Generell muss festgestellt werden, dass die brancheninternen Richtlinien

– ESCIS-Behelf der chemischen Industrie (ESCIS, 1994)

– TRCI-Richtlinien der Basler chemischen Industrie (BCI) (TRCI, 1976/1992)

– Carbura-Richtlinien für fossile Brennstoffe (Carbura, 1974)

und die sicherheitsrelevanten Verordnungen und Normen

– Störfallverordnung (StFV, 1991)

– Norm SIA 160, Eurocode 8 (EC 8, 1997)

Bild 19: Seitlich gekippter Tank in einem Tanklager von Kobe 1995

Erdbebeneinwirkungen auf chemische Anlagen nicht oder nur ungenügend erfassen und darüber hinaus nicht aufeinander abgestimmt sind. Namentlich fehlen Hinweise für die Inhaber, wie sie die Auslegung einer Anlage dem Schadenpotential entsprechend anpassen müssten.

Bei den bestehenden chemischen Anlagen gibt es daher auch wesentliche Defizite bei der Klassierung aufgrund der Schadenpotentiale und entsprechend bei der Überprüfung und allenfalls Erdbebensanierung.

In der letzten Zeit wurde durch einzelne chemische Betriebe mit der Erdbebensanierung von bestehenden, besonders gefährlichen Bauten und Anlagen begonnen. Dies stellt einen wichtigen und anerkennenswerten Anfang dar. Allgemein ist jedoch festzustellen, dass den Sicherheitsverantwortlichen in der Industrie die Wirkung von Erdbeben auf Industrieanlagen oft immer noch zu wenig bekannt ist und unterschätzt wird. Die Beurteilung der Erdbebensicherheit einer Anlage verlangt nicht nur Kenntnisse über die erdbebensichere Auslegung der Tragkonstruktion, sondern auch solche, wie Lagerbehälter, Leitungssysteme, Steuerungseinrichtungen usw. konstruktiv ausgebildet sein müssen, um eine möglichst geringe Verletzlichkeit unter dynamischen Einwirkungen aufzuweisen.

Von grosser Bedeutung können auch Produktionsausfälle sein. Die Erfahrung zeigt, dass komplexe industrielle Anlagen auch bei relativ schwachen Erdbeben derart grosse Schäden aufweisen können, dass das Wiederanlaufen der Produktion über längere Zeiträume nicht mehr möglich ist und damit der Standort des Fabrikationsbetriebes gefährdet sein kann. Öffentliche Normen zielen auf die Begrenzung der Gefährdung von Bevölkerung und Umwelt ab, aus innerbetrieblichen Gründen kann es jedoch sinnvoll sein, wesentlich strengere Kriterien zu befolgen. Auf welchem Niveau Bauten der Industrie mit geringer Gefährdung von Bevölkerung und Umwelt, aber hoher Wertschöpfung, auf Erdbebeneinwirkung ausgelegt werden sollen, wird in der Praxis kaum diskutiert und auch nicht entsprechend untersucht.

Handlungsbedarf

- Ergänzung der unzureichenden brancheninternen Richtlinien sowie der Störfallverordnung mit gesetzlich verbindlichen Erdbebenbestimmungen. Erlass von zusätzlichen Bestimmungen für die Auslegung von Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential.
- Klassierung der bestehenden chemischen Anlagen aufgrund ihrer Schadenpotentiale mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.
- Ausbildung der Sicherheitsverantwortlichen der Industrie und der Aufsichtsbehörden in der Erdbebensicherung von chemischen Anlagen. Sensibilisierung des Kaders für das Erdbebenrisiko der Anlagen, auch im Hinblick auf Produktionsausfälle.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von chemischen Anlagen:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von chemischen Anlagen (Kap. 3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Aufsichtsbehörden der Störfallverordnung von Bund (BUWAL im UVEK) und Kantonen

Eigentümer und Betreiber von chemischen Anlagen

Normenverantwortliche (ESCIS, BCI, Carbura, SIA, usw.)

3.10 Erdbebensicherung von Lifelines

Problemstellung

Im hier verwendeten Sinne werden unter Lifelines "überlebenswichtige" Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur verstanden, deren Funktionieren zur Katastrophenbewältigung von vitaler Bedeutung sind. Dazu gehören solche des Sanitätsbereiches wie Spitäler und Ambulanzgaragen, solche der Feuerwehr und der Polizei wie Feuerwehrgebäude und Kommandozentralen, Verkehrswege von grosser Bedeutung, ausgewählte Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für Versorgung und Entsorgung bezüglich Wasser, Lebensmittel, Betriebsstoffen, Energie, usw. sowie Einrichtungen der Telekommunikation (vgl. BWK III). Zu beachten ist, dass nicht jeder Teil der entsprechenden Gesamtsysteme eine Lifeline-Bedeutung besitzt. Lifeline-Bedeutung haben nur diejenigen Elemente eines Systems, die im Ereignisfall zum Aufrechterhalten eines definierten, gegenüber dem Normalzustand reduzierten Auftrages unbedingt notwendig sind. Im amerikanischen Sprachraum hingegen werden unter Lifelines generell reine Infrastrukturnetze der Wasser-, Gas-, Elektrizitätsversorgung usw. verstanden.

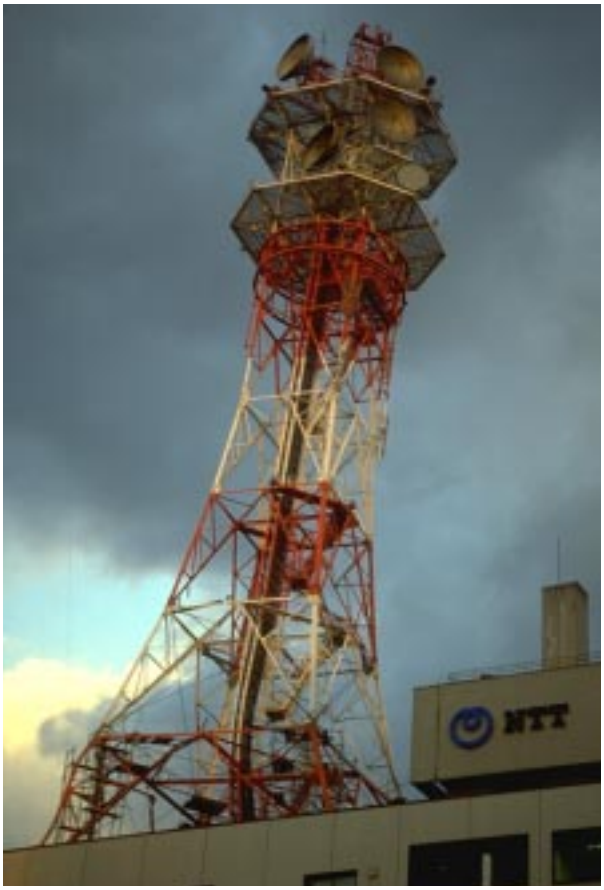


Bild 20: Am rechten Fuss eingeknickter Fernmeldeturm auf dem Dach der Telefonzentrale in Kobe 1995

Lifelines sind hier also ausgewählte Teile der Infrastruktursysteme, deren Funktionieren vor allem für die Rettungsphase von entscheidender Bedeutung sind:

- Feuerwehr als erste Interventionsstaffel
- Polizei als Element der Informations- und Nachrichtenbeschaffung
- Telekommunikationseinrichtungen für Orientierung und Führung
- Verkehrsverbindungen (Strasse, Bahn) für Hilfeleistungen
- Spitäler inkl. Apotheken und Sanitätseinrichtungen

Für die Phase des Wiederaufbaus sind zusätzlich von Bedeutung:

- Wasser-, Gas-, Strom-, Betriebsstoffversorgung, Entsorgung von Abwasser, Abfall und Schutt
- Lager und Verteilstrukturen für Lebensmittel und Betriebsstoffe

In der Schweiz werden - trotz ausgebauter Notfallvorsorge - zahlreiche Lifelines im Ereignisfall ihren Aufgaben nicht genügen, da den *Besonderheiten einer Erdbebenkatastrophe* nicht oder viel zu wenig Rechnung getragen wurde. Es besteht die grosse Gefahr, dass sie für die Katastrophenbewältigung nicht zur Verfügung stehen und deshalb die bei Erdbeben meist an vielen Orten gleichzeitig auftretenden Sekundärschäden (z. B. Feuer, Entweichen giftiger Gase, usw.) nur ungenügend bekämpft werden können.

Wesentlich ist, dass Lifelines nach einem Ereignis mit vorgegebenen klar definierten und unbedingt aufrecht zu erhaltenen *Mindestfunktionen* zur Katastrophenbewältigung zur Verfügung stehen. In der Schweiz sind jedoch weder die Lifelines klar identifiziert, noch deren Mindestfunktionen im Ereignisfall definiert. Die verantwortlichen Behörden und Werkeigentümer sind sich im allgemeinen über das Verhalten ihrer Lifeline-Systeme bei Erdbeben kaum im klaren. Es fehlen entsprechende Grundlagen und daraus abgeleitete Massnahmenpakete zum Gewährleisten der vorgegebenen Mindestfunktionen. Dabei wären auch organisatorische Aspekte (Systemvernetzung, vorhandene Reserven und Überkapazitäten, Entscheidungskompetenzen für Abschaltungen, usw.) miteinzubeziehen.

Von grosser Bedeutung ist auch, dass wenig beschädigte Lifelines rasch repariert werden können. Entscheidend sind deshalb Konzepte für Notreparaturen. Diese müssen die Ausbildung des Personals, materielle und orga-

nisatorische Massnahmen, usw. enthalten, welche die Verletzlichkeit der Systeme durch Erdbeben berücksichtigen.

Handlungsbedarf

- Identifizierung von Lifelines als im Katastrophenfall überlebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur, mit Festlegung von Mindestfunktionen bei unterschiedlich starken Erdbeben. Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.
- Erarbeitung von Konzepten für Notreparaturen, abgestimmt auf die Gegebenheiten und Bedürfnisse bei Erdbeben (Ausbildung, personelle und materielle Kapazitäten, Prioritätensetzung, Einsatzdoktrin und Führung der Reparaturequippen).

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von Lifelines:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Lifelines (Kap. 3.10).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Krisenführungsstäbe von Kantonen und Gemeinden

Eigentümer und Betreiber von industriellen Betrieben und Werken der Versorgung und Entsorgung

Eigentümer und Betreiber von Telekommunikationsnetzen

3.11 Erdbebensicherung von Talsperren

Problemstellung

Die Anfänge der Erdbebensicherung von Talsperren gehen zurück auf die dreissiger Jahre, aber erst als beim San Fernando Erdbeben bei Los Angeles im Jahre 1971 zwei Talsperren erheblich beschädigt wurden, erfolgte ein entscheidender Entwicklungsschub der Erdbebenbemessungsmethoden. Bis zu diesem Zeitpunkt, d.h. Mitte der siebziger Jahre, waren bereits 190 der 205 grossen Talsperren, die der Aufsicht des Bundes (Bundesamt für Wasserwirtschaft - BWW) unterstellt sind, gebaut. Seit Mitte der achtziger Jahre ist es der Fachwelt zunehmend klar geworden, dass auch der Kenntnisstand der siebziger Jahre als ungenügend zu betrachten ist. Da in den letzten zehn Jahren nur gerade neun Talsperren neu gebaut und drei Talsperren im Zusammenhang mit Erweiterungs- oder Unterhaltsarbeiten überprüft worden sind, muss davon ausgegangen werden, dass 95 % der Schweizer Talsperren nach überholten Methoden auf Erdbeben ausgelegt worden sind und eine nicht näher bekannte und allenfalls ungenügende Erdbebensicherheit aufweisen.

In den letzten Jahren wurden bei der Überprüfung einiger älterer Flusskraftwerke schwerwiegende Mängel bei der Erdbebensicherheit der Wehre entdeckt, die bauliche Verstärkungsmassnahmen erforderten. In Anbetracht des fortgeschrittenen Alters vieler dieser Bauwerke sowie deren konstruktiver Gestaltung (massive Maschinenbrücken auf schlanken Pfeilern) ist damit zu rechnen, dass noch weitere Flusskraftwerke eine ungenügende Erdbebensicherheit aufweisen. Flusskraftwerke sind jedoch zusammen mit den kleineren Talsperren nicht der Aufsicht des Bundes unterstellt.

Zu beachten ist ferner, dass 25 Talsperren über 100 m hoch und 4 sogar über 200 m hoch sind. Mit 285 m ist Grande Dixence weltweit die höchste Gewichtsmauer, und die 250 m hohe Mauer Mauvoisin ist die dritthöchste Bogenmauer. Bei diesen Rekordmauern hat man zum Teil Neuland betreten, es sind deshalb sehr strikte Sicherheitskriterien anzuwenden, da es kaum Erfahrungswerte gibt.

In der Schweiz sind keine Richtlinien für die Erdbebensicherung von Talsperren veröffentlicht worden. Auf internationaler Ebene empfiehlt die Internationale Tal-

Bild 21: Messgeräte des Starkbeben-Messgerätenetzes in der Bogenstaumauer Punt dal Gal, Kanton Graubünden.

sperrenkommission (ICOLD, 1989), zwei unterschiedliche Bemessungs-Erdbeben zu berücksichtigen:

1. Das Sicherheitserdbeben (sog. Maximum Credible Earthquake), das für die Sicherheitsbeurteilung einer Sperre beizuziehen ist.

2. Das Betriebserdbeben (sog. Operating Basis Earthquake) mit einer Wiederkehrperiode von ca. 145 Jahren, das für die Bemessung von Staumauern mit Hilfe des Konzeptes der zulässigen Spannungen massgebend ist.

Beim Sicherheitsbeben werden schwerere Schäden akzeptiert, soweit kein katastrophaler Ausfluss von Wasser aus dem Stausee stattfinden kann, während beim Betriebsbeben keine strukturellen Schäden (z.B. Risse in Staumauern) auftreten dürfen. Das Bundesamt für Wasserwirtschaft verlangt heute nur einen Nachweis des Sicherheitsbebens.

Die Schweizerischen Talsperren weisen eine nicht näher bekannte, möglicherweise ungenügende Erdbebensicherheit auf. Relativ kleine Schäden könnten allenfalls rasch katastrophale Folgen haben. Es fehlen jedoch - wie bereits oben erwähnt - jegliche dokumentierte Überprüfungs- und Bemessungsrichtlinien, und es fehlen die finanziellen Mittel zur dringend notwendigen Überprüfung der Erdbebensicherheit (Nachrechnung) schweizerischer Staumauern, obwohl mit grossem Aufwand hochwertige Computerprogramme entwickelt wurden. Und es fehlen die Mittel zur endgültigen Bereitstellung, Wartung und Betreuung dieser Computerprogramme (vgl. 3.13).

Ähnliches gilt auch beim Starkbeben-Messgerätenetz in grossen Talsperren. Ausgelöst durch internationale Erkenntnisse, dass direkte Aufzeichnungen des Erdbebenverhaltens von Talsperren unerlässlich sind (NRC, 1990), wurden in fünf grossen Talsperren Starkbebenmessgeräte installiert (Darbre, 1994). Eine fachgerechte Auswertung der bisher erfassten Daten konnte aufgrund mangelnder Geldmittel aber nicht erfolgen. Auch die Ausrüstung der übrigen grossen Talsperren mit Starkbebenmessgeräten, wie das im Ausland verlangt wird, konnte nicht durchgeführt werden.

Handlungsbedarf

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden grossen Talsperren inklusive Schützen, Grundablässe, elektromechanische Komponenten, usw. und Beurteilung potentieller Bruchzonen im Fundationsbereich. Dazu sollen die Aufsichtsbehörden die notwendigen Beurteilungsrichtlinien festlegen.
- Umsetzung moderner Forschungsergebnisse in die Praxis durch Bereitstellung, Wartung und Betreuung bereits entwickelter Computerprogramme zur Simulation des Erdbebenverhaltens von Staumauern mit Stausee und Untergrund.
- Erweiterung des Starkbeben-Messgerätenetzes auf alle grossen Talsperren und systematische Auswertung der Messdaten sowie deren Zurverfügungstellung an interessierte Fachleute.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von Talsperren:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Talsperren (Kap. 3.13).

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren (BWW im UVEK)

Eigentümer und Betreiber von Talsperren

Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren (SNGT)

Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen

Problemstellung

Unter Nuklearanlagen werden verstanden:

– Kernkraftwerke
– Kernforschungsanlagen
– Entsorgungsanlagen.

Die Nuklearanlagen in der Schweiz sind relativ neue Bauwerke, das erste Kernkraftwerk wurde 1969 in Betrieb genommen. Im Bewusstsein des hohen Schadenpotentials sind die Nuklearanlagen von Anfang an auf Erdbeben ausgelegt worden, wie es dem damaligen Stand der Technik entsprach. Ferner wurde die Entwicklung des Erdbebeningenieurwesens der letzten Jahre bei den älteren Kernkraftwerken im Rahmen von Nachrüstungsprojekten berücksichtigt. Bei den jüngeren Kernkraftwerken wird davon ausgegangen, dass auch unter Berücksichtigung der seit der Inbetriebnah-

me neu gewonnenen Erkenntnisse die Erdbebensicherheit gewährleistet ist.

Kernforschungsanlagen sind, ihrem Schadenpotential entsprechend, ähnlich auf Erdbeben bemessen wie Kernkraftwerke. Dies gilt auch für Entsorgungsanlagen, wo zur Zeit mögliche Standorte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht werden. Es fehlen jedoch die notwendigen Richtlinien für die Erdbebensicherung von Endlagern.

Die Nuklearanlagen in der Schweiz unterstehen der Aufsicht der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) des Bundesamtes für Energie (BFE). Die HSK erlässt unter Berücksichtigung des internationalen Standes der Technik Richtlinien für ihren Aufsichtsbereich, die auch die Erdbebensicherung umfassen. Es werden zwei Bemessungserdbeben unterschieden:

1. Das Sicherheitserdbeben (SSE = Safe Shutdown Earthquake) entspricht einem Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren. Beim Sicherheitserdbeben muss die Anlage sicher abgeschaltet werden können und die Integrität des Kühlsystems muss gewährleistet sein.

2. Das Betriebserdbeben (OBE = Operating Basis Earthquake) ist abgestimmt auf die Betriebsdauer des Kernkraftwerks. Die Wiederkehrperiode des Betriebserdbebens liegt in der Grössenordnung von 400 - 600 Jahren. Nach dem OBE soll eine Weiterführung des Betriebs nach einer Kontrolle und eventuell notwendigen Instandstellungen möglich sein.

Umfangreiche seismologische Untersuchungen, Baugrunduntersuchungen und dynamische Analysen gehören zur Erdbebenauslegung von Nuklearanlagen. Dabei werden speziell die Einflüsse der Wechselwirkung zwischen Baugrund und Gebäude, zwischen einzelnen Gebäuden, zwischen Komponenten und Gebäuden sowie Kopplungseffekte zwischen Flüssigkeiten und Behälterschwingungen untersucht. Die Anforderungen betreffen nicht nur den Sicherheitsnachweis, sondern auch den Funktionsnachweis. Die mechanischen und elektrischen Komponenten werden zusätzlich je nach Anforderung auf Rütteltischen getestet.

Die Erdbebengefährdung in der Schweiz ist nach den neusten seismologischen Untersuchungen (Rüttener, 1995), (Smit, 1996) höher als bisher angenommen (siehe Abschnitt 2.1). Zudem zeigten gewisse Stahlbauten Sicherheitsmängel beim Northridge Erdbeben 1994 in Kalifornien auf. Der Einfluss neuerer Erkenntnisse auf bestehende Untersuchungen und Resultate wurde bis jetzt nicht spezifisch untersucht. Die meisten seismischen Berechnungen wurden mit linear elastischen Modellen durchgeführt, die nicht mehr dem neusten Stand der Technik entsprechen.

Bild 22: Seismisches Isolationssystem des Kernkraftwerkes Koeberg in Südafrika

Alle Kernkraftwerke verfügen über eine seismische Instrumentierung. Diese besteht aus Starkbeben-Messgeräten, Datenerfassungsanlagen und Alarmlogistik. Die Freifeldaufzeichnungen werden auf Anfrage für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt, die Anlagenaufzeichnungen sind aber nicht allgemein zugänglich.

Seit mehr als zehn Jahren sind in der Schweiz keine neuen Kernkraftwerke mehr projektiert worden. Das besondere Know-how kann nur durch Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure an internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten erhalten werden. Die Ingenieurbüros und die Elektrizitätswirtschaft stehen unter steigendem Kostendruck und können diese Tätigkeiten nicht mehr wie bisher finanzieren. Damit sind die Erhaltung des Know-hows und die Förderung des Nachwuchses gefährdet. Die HSK soll in Zusammenarbeit mit den Kraftwerksbetreibern die erforderliche Finanzierung sicherstellen und die internationale Zusammenarbeit koordinieren.

Handlungsbedarf

- Erarbeitung von Richtlinien für die Erdbebenauslegung der Endlager.
- Aktualisierung der seismologischen und seismischen Untersuchungen der bestehenden Nuklearanlagen mit Einbezug des neusten Standes der Wissenschaft und Technik sowie der Erkenntnisse der Erdbeben der letzten Jahre.
- Zurverfügungstellung aller Erdbeben-Messdaten aus Kernkraftwerken an interessierte Fachleute.
- Erhaltung des Know-hows zur Erdbebensicherung der Nuklearanlagen und Förderung des Nachwuchses

durch finanzielle Unterstützung der Ausbildung und Fortbildung der Erdbeben-Ingenieure und durch Beteiligung an internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Erdbebensicherung von Nuklearanlagen:

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Nuklearanlagen (Kap.3.13).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK, im BEW)

Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra)

Eigentümer und Betreiber von Nuklearanlagen

Schweizerische Vereinigung für Atomenergie (SVA)

Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

3.13 Forschung zum Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen

Problemstellung

Weltweit werden in der Forschung grosse Anstrengungen unternommen um die *Erdbebeneinwirkung und das Erdbebenverhalten neuer und bestehender Bauwerke* besser zu beherrschen. Auch in der Schweiz wurden im Erdbebeningenieurwesen seit etwa 1980 in beschränktem Rahmen hochwertige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt, womit sich die betreffenden Institutionen einen sehr guten internationalen Ruf erworben haben: Das Institut für Geophysik mit dem Schweizerischen Erdbebendienst (SED) an der ETH Zürich: Nationales Starkbeben-Messgerätenetz, lokale Mikrozonierung, Seismotektonik (bis 1997 vier Dissertationen); das Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) an der ETH Zürich: Entwicklung der Computerprogramme DUCS und DANAID STRATUM zum nichtlinearen dynamischen Verhalten von Gewichts- und Bogenstaumauern mit Stausee und Untergrund, Entwicklung des Computerprogrammes ABAQUS/QUAKE zur nichtlinearen Erdbebenberechnung von Stahlbetontragwerken von Gebäuden und Brücken, experimentelle Forschungsarbeiten an Stahlbetontragwänden statisch-zyklisch, pseudodynamisch und dynamisch mit dem ETH-Erdbebensimulator (Rütteltisch) (bis 1997 insgesamt 12 Dissertationen); das Laboratoire de Constructions Hydrauliques an der EPF Lausanne: Boden-Bauwerk-Interaktion und nichtlineares dynamisches Verhalten von Erdstaudämmen (bis 1997 eine Dissertation); das Centre d'Etude des Risques Géologiques an der Universität Genf: Pilotprojekt für Mikrozonierung im Wallis; die Sektion Talsperren des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BWW): Nationales Talsperren-Messgerätenetz zusammen mit dem SED, Schwingungsversuche an zwei Staumauern zusammen mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt und der Universität von Sherbrooke (Kanada), Arbeiten in Strukturdynamik; die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): Validieren von Berechnungsverfahren im Rahmen von internationalen Testprogrammen zum Schwingungsverhalten von Bauwerken und Bauteilen. Die bisherigen Anstrengungen genügen jedoch bei weitem nicht, denn es gibt zahlreiche dringende *spezifisch schweizerische Problemstellungen*, die bisher nicht angegangen werden konnten.

Der Forschungsbedarf im Bereich "Einwirkung" ist im 2. Kapitel beschrieben. Der Forschungsbedarf im Bereich "Verhalten der Bauwerke und Anlagen" wird im folgenden in Kurzbeschreibungen dargestellt. Einige Forschungsbedürfnisse sind bereits in den vorangehenden Abschnitten zu den Sachgebieten erwähnt, sie werden aber hier wiederholt und begründet.

– Duktilität der Bewehrungsstähle:
  Ein wesentlicher Teil der in der Schweiz in Stahlbetonbauten verwendeten Bewehrungsstähle weist völlig ungenügende Duktilitätseigenschaften auf. Die Erdbebensicherheit der Bauwerke wird dadurch entscheidend beeinträchtigt, d.h. Stahlbetonbauten können bereits bei relativ schwachen Erdbeben einstürzen. Das Verhalten entsprechender Bauwerke ist jedoch noch zu wenig bekannt und adäquate Massnahmen fehlen.

– Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk:
  In der Schweiz wurde und wird in grossem Ausmass und wie kaum in einem andern Land tragendes Mauerwerk für Schwerelasten in mehrgeschossigen Bauwerken eingesetzt (Wohnbauten, Büro- und Gewerbebauten). Die Kenntnisse über das zyklisch-statische und das dynamische Verhalten von Mauerwerkswänden sind jedoch noch sehr mangelhaft. Auch fehlen weitgehend Strategien zur Beurteilung und Ver-

besserung des Erdbebenverhaltens bestehender Mauerwerksbauten ebenso wie anwendungsorientierte Verfahren und Systeme zur Bewehrung neuer Mauerwerksbauten.

– Erdbebensicherung neuer Gebäude:
  Bei der Erdbebensicherung neuer Gebäude bestehen noch zahlreiche Wissenslücken wie z.B. Verhalten und Bemessung bestimmter Arten von Stahlbetontragwerken, Stahl- und Holztragwerken, mit einem starken Bezug zu den Besonderheiten der in der Schweiz üblichen Bauweisen.

– Erdbebensicherung bestehender Gebäude:
  Die meisten der bestehenden Gebäude in der Schweiz wurden nicht für Erdbeben bemessen und bilden ein enormes Schadenpotential (vgl. Abschnitt 3.3). Viele Gebäude müssen überprüft und allenfalls saniert werden. Dazu fehlen jedoch Grundlagen mit einem starken Bezug zu den ausgeprägten Besonderheiten der schweizerischen Gebäudesubstanz und insbesondere für entsprechende Strategien und Verstärkungstechniken.

– Erdbebensicherung neuer und bestehender Brücken:
  Zahlreiche Brücken in der Schweiz weisen aussergewöhnlich lange Brückenabschnitte zwischen Dilationsfugen auf (bis 700 m). Entsprechend gross sind die schwingende Masse und die entsprechenden Kräfte unter Erdbeben. Es fehlen systematische Grundlagen über das Erdbebenverhalten solcher und anderer Arten von Brücken und über effiziente Massnahmen zur Schwingungsdämpfung und zur Reduktion der zu erwartenden Schäden.

– Erdbebensicherung historischer Bauten:
  Bei der Erdbebensicherung historischer Bauten handelt es sich um ein anspruchsvolles Spezialgebiet, zu dem wichtige Grundlagen noch fehlen. Stichworte dazu sind z.B. Bruchsteinmauerwerk mit grosser Masse und geringer Zugfestigkeit, mangelnde Diaphragmawirkung von schlecht eingebundenen Holzbalkendecken, ästhetische Empfindlichkeit auf Sicherungsmassnahmen, usw.

– Erdbebenverhalten nichttragender Bauteile in Gebäuden:
  Erdbebenschäden an Gebäuden hängen in beträchtlichem Ausmass vom Verformungsverhalten der nichttragenden Elemente wie Zwischenwände und Fassadenbauteile ab. Durch eine geschickte Wahl und Ausbildung derselben können die Schäden drastisch reduziert werden. Es fehlen jedoch entsprechende, auf die schweizerischen Verhältnisse abgestimmte Grundlagen und Bemessungsverfahren.

Bild 23: Statisch-zyklische Erdbebenversuche an 5.50 m hohen Stahlbeton-Tragwänden am Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich

– Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen:
  Die für Objekte der BWK III geforderte Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben hängt entscheidend vom Erdbebenverhalten wichtiger Installationen und Einrichtungen ab. Dieses aber ist, ausser bei Nuklearanlagen, kaum bekannt und sowohl rechnerisch wie versuchstechnisch nur mit grossem Aufwand zu bestimmen. Entsprechend besteht ein enormer Nachholbedarf an Grundlagendaten und Erfahrungswerten, insbesondere bei spezifisch schweizerischen Lösungen. Im Gegensatz zur Situation in anderen Ländern fehlen entsprechende Forschungsanstrengungen in der Schweiz bisher praktisch vollständig.

– Erdbebensicherung von chemischen Anlagen:
  Chemische Anlagen sind komplexe Gebilde aus Behältern, Reaktoren, Messsystemen und Leitungssystemen, die entweder in sich selbsttragend oder an Tragskeletten befestigt sind. Es fehlen praxisnahe, einfach umsetzbare Berechnungsverfahren und konstruktive Richtlinien für schweizerische Verhältnisse,

die sowohl die lokale Standortgefährdung wie auch das Schadenpotential der Anlage berücksichtigen.

– Erdbebensicherung von Lifelines:
  Eine minimale Funktionstüchtigkeit von Lifelines wie medizinische Notversorgung, Energieversorgung, Transportsysteme und Telekommunikation sind entscheidend für eine effiziente Katastrophenbewältigung und den raschen Wiederaufbau nach einem Ereignis. Es fehlen Untersuchungen, wie ausländische Erfahrungen auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden können, und wie die Erdbebensicherheit der Systeme kostengünstig verbessert werden kann.

– Erdbebensicherung von Talsperren:
  Seit Anfang der achtziger Jahre hat das Bundesamt für Wasserwirtschaft grundlegende und im weltweiten Vergleich sehr erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Erdbebenverhalten von Talsperren mit Stausee und Untergrund massgeblich gefördert. Aus finanziellen Gründen wurden diese Forschungsarbeiten kürzlich vorzeitig gestoppt. Die Komplettierung und Weiterentwicklung der bereits erarbeiteten wertvollen Ergebnisse (v.a. hochwertige Computerprogramme) ist deshalb nicht mehr möglich (vgl. 3.11).

– Erdbebensicherung von Nuklearanlagen:
  Die Bauten und Komponenten der Nuklearanlagen stehen unter speziellen Einwirkungen, wie Temperatur, hoher Druck, Radiation. Bei einem Erdbeben werden sie zusätzlich durch seismische Einwirkungen beansprucht. Aufgrund dieser speziellen Bedingungen und hohen Sicherheitsanforderungen sind die Forschungsbedürfnisse betreffend das Erdbebenverhalten weitgehend bereichsspezifisch. Als Beispiel kann die Untersuchung des Verhaltens der in der Schweiz verwendeten Baustoffe und Materialien mit zunehmendem Alter unter seismischen Einwirkungen erwähnt werden. Meistens führen ungenügende Erkenntnisse über das Materialverhalten zu konservativen Annahmen. Diese sind durch Initialisierung von Forschungsprojekten an Hochschulen und Versuchsanstalten in Zusammenarbeit mit den Kernkraftwerkbetreibern und der Nuklearindustrie nach spezifischen Bedürfnissen zu vermeiden.

– Berechnungsverfahren der nichtlinearen Baudynamik:
  Die nichtlineare Baudynamik (auch nichtlineare Strukturdynamik genannt) bildet die Grundlage zur Überprüfung von konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit vor allem der gerade in der Schweiz häufigen unregelmässigen Bauwerke. Es fehlen jedoch Mittel zur Weiterentwicklung von Modellen für die wirklichkeitsnahe Berechnung des nichtlinearen plastisch-zyklischen Erdbebenverhaltens.

Die obigen Hinweise betreffen nur einen Teil der bestehenden Forschungsbedürfnisse. Es gibt zahlreiche weitere wichtige ungelöste Fragestellungen (z.B. Zusammenhang zwischen Erdbeben und Rutschungen, Erdbebensicherung von Maschinenkomponenten, usw.).

Handlungsbedarf

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Tragwerken auf den Gebieten:
  – Duktilität der Bewehrungstähle
  – Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk
  – Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Gebäuden
  – Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Brücken
  – Erdbebensicherung von historischen Bauten.
- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von:
  – Nichttragenden Bauteilen in Gebäuden
  – Installationen und Einrichtungen
  – Chemischen Anlagen
  – Lifelines
  – Talsperren
  – Nuklearanlagen.
- Entwicklung von Berechnungsverfahren der nichtlinearen Baudynamik.

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Rat und Schulleitungen der Eidgenössischen Technischen Hochschulen

Eidgenössische Fachhochschulkommission

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT)

Schweizerischer Nationalfonds (NF)

Kommission für Technologie und Innovation (KTI)

Bundesstellen mit Verantwortung für Sicherheit (AFB, ASTRA, BAV, HSK, BWW, BUWAL)

Konferenz der Bauorgane des Bundes (KBOB)

Private Forschungsförderungsstellen

3.14 Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis

Problemstellung

Wissenschaftliche Forschung zur Erdbebengefährdung und zum Erdbebenverhalten von Bauwerken wird weltweit und in der Schweiz vorwiegend an Hochschulen und Universitäten im Rahmen von Forschungsprojekten und entsprechenden Dissertationen durchgeführt. Daneben gibt es auch Forschungsvorhaben, die an eigentlichen Forschungsanstalten bearbeitet werden. Die meist auf hohem Niveau anfallenden Forschungsergebnisse sind - ähnlich wie in andern Bereichen der technischen Wissenschaften - im allgemeinen nicht direkt in die Praxis übertragbar. Es ist eine *Zwischenstufe* erforderlich mit den folgenden Tätigkeiten:

– Kritische Sichtung und "Filterung" der Forschungsergebnisse im Hinblick auf ihre praktische Relevanz
– Auswahl von besonders praxistauglichen Forschungsergebnissen mit Prioritätensetzung
– Vereinfachung der entsprechenden Modelle und Vorgehensweisen
– Erarbeitung von praktischen Anleitungen
– Erarbeitung von praktischen Beispielen als Vorlagen für ähnliche Fälle

Leider konnte bisher diese Zwischenstufe im allgemeinen nicht realisiert werden, da keine Mittel für entsprechende Anschlussprojekte zur Verfügung standen. Denn es ist meist weniger schwierig, Mittel für wissenschaftliche Forschung (Dissertationen) als für praxisorientierte Vorhaben zu bekommen. Die Folge ist, dass zahlreiche wertvolle in- und ausländische Forschungsergebnisse ungenützt bleiben. Dabei hätte gerade in der Schweiz eine Verfügbarmachung wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Praxis einen *hohen volkswirtschaftlichen Nutzen*. Bei der in unserem Land vorhandenen vergleichsweise mässigen Seismizität kann bei neuen Bauwerken mit keinem oder mit vernachlässigbar kleinem Mehraufwand eine sehr gute Erdbebensicherung erreicht werden. Voraussetzung dazu ist aber die konsequente Anwendung neuer Erkenntnisse und die Erarbeitung von Anleitungen und praktischen Beispielen. Ohne dieselben kann ein viel zu grosser Aufwand für die Erdbebensicherung anfallen.

Der grosse Nachholbedarf bei der Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis hängt auch damit zusammen, dass das Erdbebeningenieurwesen weltweit erst in der letzten Zeit zu einem Forschungsschwerpunkt des Bauingenieurwesens geworden ist, mit stark wachsender Forschungstätigkeit. Die Umsetzung in die Praxis konnte mit dieser Entwicklung nicht Schritt halten, was auch für das Normenwesen zutrifft.

Eine günstige Wirkung würde auch dadurch ermöglicht, dass Forschungsarbeiten durch praktisch tätige Ingenieure begleitet werden. Damit könnte gewissermassen von Anfang an ein starker Praxisbezug und ein unmittelbarer Knowhow-Austausch sichergestellt werden.

Handlungsbedarf

- Förderung von Projekten zur Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis.
- Finanzierung von Anleitungen und praktischen Beispielen zur Erdbebensicherung von Bauwerken basierend auf neuen Forschungsergebnissen mit Verbreitung in der Praxis.
- Förderung des Praxisbezuges von Forschungsarbeiten mittels Begleitung durch praktisch tätige Ingenieure.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betreffen folgende Massnahmen ebenfalls die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis:

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebeneinwirkung und zum erdbebengerechten Entwurf von Hochbauten bzw. von Brücken, mit Verteilung an Architektur- und Ingenieurbüros sowie an Behörden und Verwaltungen (Kap. 3.3).

Bild 24: Pilotanwendung einer an der EMPA Dübendorf entwickelten Methode zur nachträglichen Erdbebensanierung von Mauerwerk mit Kohlefaserlamellen beim Umbau eines Geschäftshauses in Zürich

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile von Gebäuden bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure und Versicherer (Kap. 3.7).
- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure, insbesondere auch an Heizungs-Lüftungs-Klima-Ingenieure (Kap. 3.8).
- Umsetzung moderner Forschungsergebnisse in die Praxis durch Bereitstellung, Wartung und Betreuung bereits entwickelter Computerprogramme zur Simulation des Erdbebenverhaltens von Staumauern mit Stausee und Untergrund (Kap. 3.11).

Angesprochene

Gruppe für Wissenschaft und Forschung (im EDI)

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Rat und Schulleitungen der Eidgenössischen Technischen Hochschulen

Eidgenössische Fachhochschulkommission

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT)

Schweizerischer Nationalfonds (NF)

Kommission für Technologie und Innovation (KTI)

Bundesstellen mit Verantwortung für Sicherheit (AFB, ASTRA, BAV, HSK, BWW, BUWAL)

Konferenz der Bauorgane des Bundes (KBOB)

Öffentliche Bauherren

Private

Fachverbände (SIA usw.)

3.15 Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure und Architekten

Problemstellung

Für die Durchsetzung von Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauwerken und insbesondere für die Anwendung entsprechender Normen ist die Ausbildung der akademischen Bauingenieure im Erdbebeningenieurwesen und in der Baudynamik von entscheidender Bedeutung.

Bisher waren in der Schweiz an der ETH Zürich das Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) und teilweise auch das Institut für Geotechnik (IGT) kontinuierlich in der Ausbildung von Bauingenieurstudierenden im Erdbebeningenieurwesen tätig. Seit Beginn der 80er Jahre werden jährlich rund 20 bis 30 Studierenden in entsprechenden Vorlesungen Grundkenntnisse zur Erdbebensicherung von Bauwerken und geotechnisches Erdbebeningenieurwesen vermittelt. Diese Anstrengungen sollten jedoch erheblich verstärkt werden, vor allem durch vermehrte Durchführung von Semester- und Diplomarbeiten im Erdbebeningenieurwesen.

An der EPF Lausanne gibt es bisher keine Ausbildung im Erdbebeningenieurwesen. Eine solche wäre jedoch dringlich und von grosser Bedeutung nicht nur für die schweizerischen sondern auch für zahlreiche in Lausanne studierende ausländische Bauingenieurstudierenden, die in ihren Herkunftsländern in Zukunft noch stark vermehrt mit Erdbebenproblemen konfrontiert sein werden.

Sehr wesentlich für die effiziente Vermittlung von Kenntnissen zur Erdbebensicherung von Bauwerken ist auch die Ausbildung in der Baudynamik. Die Baudynamik bildet eine unabdingbare Grundlage für das Verständnis des Schwingungsverhaltens der Bauwerke und somit auch des Verhaltens unter Erdbeben. Sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne gibt es jedoch bis heute keine Professuren für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen.

Für ein günstiges Erdbebenverhalten von Gebäuden sind konzeptionelle und konstruktive Massnahmen, die vor allem durch Architekten bereits beim ersten Entwurf eingeplant werden müssen, von grosser Bedeutung. Sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne werden jedoch bis heute den Architekturstudierenden keine entsprechenden Kenntnisse und Fähigkeiten vermittelt.

Auch an den Fachhochschulen gibt es bis heute keine Ausbildung der Studierenden des Bauingenieurwesens

und der Architektur in den Grundzügen der Erdbebensicherung der Bauwerke.

Von grosser Bedeutung für die Durchsetzung von Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauwerken und insbesondere für die Anwendung entsprechender Normen ist nebst der Ausbildung im Studium auch die berufsbegleitende Fortbildung der praktisch tätigen Ingenieure und Architekten. 1995 führte das Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich erstmals einen 2-tägigen Fortbildungskurs für Bauingenieure mit dem Titel "Erdbebensicherung von Bauwerken" mit Vorlesungen, Übungen und Demonstrationen - auch mit dem ETH-Erdbebensimulator - durch, dem eine grosse Beteiligung beschieden war (180 Teilnehmer). Die entsprechenden Mittel mussten jedoch weitgehend durch die Belastung von Forschungskrediten beschafft werden. Dies wird in Zukunft - in Anbetracht der immer knapper werdenden Forschungsgelder - nicht mehr möglich sein.

Handlungsbedarf

- Schaffung einer Professur für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne zur fachspezifischen vertieften Ausbildung der Bauingenieurstudierenden in theoretischer und praktisch-konstruktiver Hinsicht.
- Ausbildung der Architekturstudierenden an der ETH Zürich und der EPF Lausanne sowie der Architektur- und Bauingenieurstudierenden an den Fachhochschulen in den konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauwerken.
- Finanzierung von regelmässigen Fortbildungskursen für praktisch tätige Bauingenieure und Architekten in der Erdbebensicherung von Bauwerken.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls die Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure und Architekten:

- Erhaltung des Know-hows zur Erdbebensicherung der Nuklearanlagen und Förderung des Nachwuchses durch finanzielle Unterstützung der Ausbildung und Fortbildung der Erdbebeningenieure und durch Beteiligung an internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten (Kap. 3.12).

Angesprochene

Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT)

Rat und Schulleitungen der Eidgenössischen Technischen Hochschulen

Eidgenössische Fachhochschulkommission

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT)

Fachverbände (SIA, usw.)

Bild 25: Demonstrationsversuche mit dem ETH-Erdbebensimulator im Rahmen der Vorlesung "Erdbebensicherung von Bauwerken" an der ETH Zürich

4 Katastrophenbewältigung

Durch Massnahmen zur Katastrophenbewältigung kann das Erdbebenrisiko kaum oder nur sehr beschränkt beeinflusst werden. Im Gesamtrahmen der Erdbebenvorsorge handelt es sich um *flankierende Massnahmen*. Im Falle eines Ereignisses sind sie jedoch von wesentlicher Bedeutung für eine effiziente Bewältigung von dessen Folgen.

Der Abschnitt 4.1 behandelt das Fachgebiet *Rettungswesen*. Erforderliche Vorbereitungen zur effizienten *Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen* sind im Abschnitt 4.2 beschrieben. Abschnitt 4.3 schliesslich behandelt die Einrichtung einer risikogerechten *Erdbebenversicherung* in der Schweiz.

4.1 Rettungswesen

Problemstellung

Bei einem Erdbeben treten meist ohne jegliche Vorwarnung Schäden in grosser Zahl gleichzeitig auf. Dies führt im allgemeinen zu einer Überraschung und Überforderung der Rettungskräfte.

Es gilt, die Schadenlage in ihrem Ausmass und Schwerpunkt zu erfassen, um einerseits die Rettung Verschütteter zielgerichtet in den Schadenschwerpunkten zu führen und andererseits das Ausbreiten von Sekundärschäden (wie Feuer) zu vermeiden. Zur frühzeitigen Unterstützung der Informationsbeschaffung könnten auch Mittel des Bundes (z.B. Luftwaffe, Übermittlungstruppen) eingesetzt werden. Die entsprechenden organisatorischen Vorkehrungen für einen unverzüglichen Einsatz solcher Mittel fehlen jedoch weitgehend.

Als erste Rettungsformationen stehen in der Zeit unmittelbar nach dem Ereignis gemeindeweise organisierte Feuerwehreinheiten sowie Betriebsschutzeinheiten, die auch über gewisses Pioniermaterial verfügen, zur Verfügung. Als Informations- und Übersichtsbeschaffer eignet sich die Polizei. Diese Organisationen verfügen über die notwendige Ausrüstung, Alarmorganisation und Kommandoordnung sowie z.T. auch Ausbildung. Allerdings fehlt im allgemeinen ein erdbebengerechtes Einsatzkonzept (Prioritätensetzung, Einsatzbefehle, wechselnde Verantwortlichkeiten im Verlauf der Rettungsarbeiten, usw.).

Bild 26: Zeltstadt des Italienischen Zivilschutzes für Obdachlose in Bagnara, Umbrien, nach dem Erdbeben von 1997

Im weiteren - aber stets nur mit zeitlicher Verzögerung - stehen für die Rettungsphase als Führungsinstrumente die Gemeinde- und kantonalen Krisenstäbe und als Rettungsformationen die Armee (Rettungstruppen, Genie, usw.) und der Zivilschutz sowie Unterstützungsformationen (Feuerwehr usw.) aus nicht betroffenen Landesteilen zur Verfügung. Während die Armee-Einheiten weitgehend über geeignetes schweres Rettungsmaterial und eine geeignete Kommandostruktur und Ausbildung verfügen, wird der Zivilschutz in der heutigen Form aus materiellen und Ausbildungsgründen nur für sekundäre Aufgaben (Absperrungen, Transporte, Betreuungen, usw.) beigezogen werden können. Die Erfahrung bei ausländischen Grossereignissen lehrt, dass bis zu 90 % der Verletzten und Verschütteten, durch lokale Kräfte, auch von Angehörigen oder Nachbarn, gerettet werden. Der verbesserte und raschere Einbezug des Zivilschutzes in die Rettung ist deshalb wegen seiner lokalen Verankerung unbedingt notwendig. Hingegen ist es so, dass ein effizienter Einbezug von kleineren Unterstützungsformationen aus nichtbetroffenen Landesteilen wegen der geringen lokalen Vertrautheit meist mit Schwierigkeiten verbunden ist.

Ein wesentliches Problem für die Rettungsphase ist, dass die Reparaturequippen von industriellen Betrieben und Werken der Versorgung und Entsorgung organisatorisch und materiell kaum für angemessene Einsätze vorbereitet sind (siehe Kap. 3.10) und deshalb mit unkontrolliert sich ausbreitenden Sekundärschäden zu rechnen ist.

Handlungsbedarf

- Schaffung der rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen zur frühzeitigen Unterstützung der Informationsbeschaffung durch Mittel des Bundes (Luftwaffe, Übermittlungstruppen, usw.)
- Anpassung der bestehenden Rettungsformationen einschliesslich Zivilschutz an die Besonderheiten einer Erdbebenkatastrophe, insbesondere Schaffung erdbebengerechter Einsatzkonzepte mit entsprechender Ausbildung und Vorbereitung von vorbehaltenen Entschlüssen mit Prioritätensetzung für die verschiedenen Phasen der Rettung.

Aus dem Handlungsbedarf der übrigen Kapitel betrifft folgende Massnahme ebenfalls das Rettungswesen:

- Erarbeitung von Konzepten für Notreparaturen, abgestimmt auf die Gegebenheiten und Bedürfnisse bei Erdbeben (Ausbildung, personelle und materielle Kapazitäten, Prioritätensetzung, Einsatzdoktrin und Führung der Reparaturequippen) (Kap. 3.10).

Angesprochene

Ausschuss des Stabes für Gesamtverteidigung für die Koordination der Vorbereitung der Katastrophenhilfe (COMCAT)

Zentralstelle für Gesamtverteidigung

Generalstab

Bundesamt für Zivilschutz (im VBS)

Bundesamt für Logistiktruppen

Krisenführungsstäbe von Kantonen und Gemeinden

Fachverbände (Feuerwehr, usw.)

4.2 Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen

Problemstellung

Eine rasche Beurteilung der Sicherheit von beschädigten öffentlichen und privaten Bauten sowie der Infrastruktur bezüglich der Einsturzgefahr bei Nachbeben ist sowohl für die Rettung als auch im Hinblick auf eine Evakuation oder weitere Nutzung von grosser Bedeutung. Es gilt, rasch Bauten in “weiter bewohnbar”, “nicht weiter bewohnbar”, “darf zum Räumen der persönlichen Sachen kurzfristig betreten werden”, “Zutritt verboten” zu klassieren. Ebenso sind Lifeline-Systeme bezüglich ihrer Funktionstüchtigkeit (z.B. Tragfähigkeit von Brücken, Funktionstüchtigkeit der Elemente der Versorgungsbetriebe) fachlich richtig zu beurteilen. Damit kann das Schadensrisiko bei Nachbeben verringert und gleichzeitig können unnötige Evakuierungen vermieden werden, womit der Übergang zum Normalfall erleichtert wird. Ein rasches und zielgerichtetes Reagieren der Behörden nach dem Ereignis ist, wie ausländische Erfahrungen zeigen, für die verunsicherte und verängstigte Bevölkerung äusserst wichtig.

Die rasche Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen ist eine äusserst anspruchsvolle Aufgabe, die nur speziell ausgebildete und erfahrene Bauingenieure übernehmen können. Wegen der grossen Anzahl Schäden sind entsprechende personelle Kapazitäten und eine geeignete Organisation erforderlich.

Handlungsbedarf

- Vorbereitung der organisatorischen Voraussetzungen und der Prozeduren für eine rasche Ermittlung des Zustandes von öffentlichen und privaten Bauten und der Infrastruktur nach einem Ereignis.
- Ausbildung der Fachleute zur Beurteilung der Sicherheit von Bauten nach einem Ereignis.

Angesprochene

Ausschuss des Stabes für Gesamtverteidigung für die Koordination der Vorbereitung der Katastrophenhilfe (COMCAT)

Krisenführungsstäbe von Kantonen und Gemeinden

Eigentümer und Betreiber von industriellen Betrieben und Werken der Versorgung und Entsorgung

Eigentümer und Betreiber von Telekommunikationsnetzen

Gebäude- und Sachversicherer

Bild 27: Markierung eines beschädigten Gebäudes (Zutritt verboten) in Ägion, Griechenland, nach dem Erdbeben von 1995

4.3 Erdbebenversicherung

Problemstellung

Die schweizerische Versicherungswirtschaft hat bereits vor längerer Zeit Schritte in Richtung einer Deckung von Erdbebenschäden an Gebäuden in der Schweiz unternommen. Sowohl die in zahlreichen Kantonen bestehenden staatlichen Gebäudeversicherungsanstalten als auch die privaten Versicherungsgesellschaften, welche in den übrigen Kantonen und im Fürstentum Liechtenstein im Gebäudeversicherungsgeschäft tätig sind, haben sich aus eigener Initiative zu Versicherungsgruppen zusammengeschlossen. Die Gruppen haben je einen Fonds gegründet, in den laufend Mittel eingelegt werden, und dessen Möglichkeiten zur Schadendeckung durch Rückversicherung vergrössert sind. Dem "Schweizerischen Pool für Erdbebendeckung", dem 18 kantonale Gebäudeversicherungsanstalten angehören (ZH separat), stehen für zwei Ereignisse je rund 300 Millionen CHF zur Verfügung (Zurzeit sind Bestrebungen im Gange, diesen Betrag auf 500 Millionen CHF zu erhöhen). Voraussetzung für die Ausrichtung von Zahlungen ist, dass die Epizentralintensität nach der MSK-Skala mindestens VII beträgt. Der Selbstbehalt pro beschädigtes Gebäude beträgt 10 % der Gebäudeversicherungssumme. Übersteigt pro Ereignis die Summe aller Gebäudeschäden (exklusive Selbstbehalte) die obgenannte Deckungssumme, müssen die Schadenzahlungen proportional gekürzt werden. Der Erdbebenfonds der Gruppe der privaten Gebäudeversicherer (AI, GE, OW, SZ, TI, UR, VS, FL) ist grundsätzlich analog gestaltet und mit den gleichen Bedingungen versehen. Die Fonds beruhen auf freiwilligen Zuwendungen der Gebäudeversicherer, da keine speziellen Prämien für eine eigentliche Erdbebenversicherung erhoben werden.

In der Schweiz können Erdbeben auftreten, bei denen gemäss (Schweizerischer Pool für Erdbebendeckung, 1988) mit Gebäudeschäden von bis zu rund 50 Milliarden CHF zu rechnen ist. Dies gilt z.B. für eine Wiederholung des Erdbebens zu Basel 1356 mit Magnitude $M \approx 6.5$. Ein solches Beben wäre in der Wirkung ähnlich wie das Erdbeben von Kobe in Japan 1995. Solche Erdbeben haben in der Schweiz eine statistische Wiederkehrperiode in der Grössenordnung von rund 500 bis 1000 Jahren und sind deshalb relativ selten. Bei Erdbeben mit einer statistischen Wiederkehrperiode in der Grössenordnung von rund 100 bis 200 Jahren sind Gebäudeschäden von bis zu rund 10 Milliarden CHF zu erwarten (z.B. Wiederholung des Erdbebens von Visp 1855 mit Magnitude $M \approx 6$). Vergleicht man die Schadensummen solcher Ereignisse mit der heute vorhande-

nen Deckungssumme von rund 300 Millionen CHF, so zeigt sich, dass im ersten Fall (50 Milliarden CHF) nur rund 0.6 % und im zweiten Fall (10 Milliarden CHF) rund 3 % der Schäden gedeckt werden können.

Die vorhandene Erdbebenversicherung deckt somit nur einen sehr geringen Teil des vorhandenen Erdbebenrisikos ab. Die Einrichtung der erwähnten Fonds stellt einerseits - da in weiser Voraussicht und auf freiwilliger Basis erfolgt - eine Pioniertat der Schweizerischen Versicherungswirtschaft dar; anderseits stehen die möglichen Schadenersatzleistungen in einem gravierenden Missverhältnis zu den zu erwartenden Schäden.

In der Schweiz gibt es somit keine allgemeine Erdbebenversicherung, weder auf freiwilliger noch auf obligatorischer Basis (wie heutige Brand- und Elementarschaden-Versicherung), und dies auch nicht in besonders gefährdeten Gebieten (z.B. Wallis, Basel). Ob ein Gebäudeeigentümer in der Schweiz eine Erdbebenversicherung bei einer privaten Versicherungsgesellschaft abschliessen kann, ist unklar (in bekannten Einzelfällen kam eine solche gegen den Willen des Eigentümers nicht zustande).

Bild 28: Für Monate lahmgelegter Containerhafen in Kobe nach dem Erdbeben von 1995

Grosse Impulse für eine mittel- und langfristig erhebliche Verminderung des Erdbebenrisikos und zur allgemeinen Förderung des Erdbebeningenieurwesens in der Schweiz würde eine Abstufung der Versicherungsprämien nach der Verletzlichkeit der betreffenden Gebäude geben. Die Prämien sollten stark differenziert werden entsprechend einem Bonus- und Malus-System, welches die für die Verletzlichkeit entscheidenden Aspekte angemessen berücksichtigt: Regelmässigkeit und Gestaltung (Bauweise, Duktilität) des Tragwerks, Verhältnis der Steifigkeit von Tragwerk und nichttragenden Bauteilen (Zwischenwände, Fassadenbauteile), angewendete Baunormen, Erfassung der lokalen Bodenverhältnisse, usw. Daneben müssen bei der Prämienfestlegung auch andere Parameter berücksichtigt werden, wie z.B. die Erdbebenzone. Wichtig wäre in der Schweiz auch die Schaffung einer risikogerechten Erdbebenversicherung für Bauwerke und Anlagen mit grossem Schadenpotential für die Umwelt (z.B. gefährliche Chemieanlagen).

Nützlich wäre zudem die Schaffung einer Versicherung für Produktionsausfälle aus Betriebsunterbrüchen infolge Erdbeben.

Handlungsbedarf

- Schaffung einer risikogerechten Erdbebenversicherung sowohl für Gebäude mit klarer Abstufung der Versicherungsprämien nach der Verletzlichkeit, als auch für Bauwerke und Anlagen mit grossem Schadenpotential für die Umwelt (z.B. gefährliche Chemieanlagen).
- Schaffung einer Versicherung für Produktionsausfälle aus Betriebsunterbrüchen infolge Erdbeben.

Angesprochene

Gebäude- und Sachversicherer

5 Bewertung und Beurteilung der erforderlichen Massnahmen

Im 2., 3. und 4. Kapitel werden beim Handlungsbedarf rund 60 erforderliche Massnahmen aufgeführt. Alle diese Massnahmen sind wesentlich für die Reduktion des Erdbebenrisikos in der Schweiz, doch gibt es naturgemäss Unterschiede bezüglich allgemeiner Bedeutung, Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis und Zeithorizont der Realisierung. Die Massnahmen wurden daher durch das Autoren- und Expertenteam bewertet und beurteilt. Dazu wurden vier Massnahmengruppen gebildet:

I. Rechtsgrundlagen und Normenwesen
II. Objektspezifische Massnahmen
III. Ausbildung und Sensibilisierung
IV. Forschung und Umsetzung

Objektspezifische Massnahmen bewirken eine unmittelbare Verminderung des Erdbebenrisikos bei den betreffenden einzelnen Objekten (Bauwerke, Anlagen, Systeme). Alle andern Massnahmen wirken sich erst mittelbar aus, indem sie die Realisierung objektspezifischer Massnahmen ermöglichen bzw. fördern.

Die *Bewertung* der Massnahmen geschah in drei Runden mit einer gewissen Variation der Gesichtspunkte und Verfahren. Pro Runde wurde eine numerische Rangfolge erstellt, wobei die Ergebnisse jedoch nicht stark differierten. Um eine ungerechtfertigte Scheingenauigkeit zu vermeiden, erfolgte eine Einteilung in drei Prioritäten. Pro Massnahmengruppe wurden je rund ein Viertel der Massnahmen der ersten und der zweiten Priorität und die übrigen Massnahmen der dritten Priorität zugeordnet. Und entsprechend erfolgte auch eine allgemein verständliche verbale *Beurteilung* der Massnahmen unter den folgenden vier Aspekten:

	Einmalige Kosten	Kosten während mehreren Jahren
“Geringe Kosten”	≤ 1 Mio. CHF	≤ 100’000 CHF/Jahr
“Mässige Kosten”	≤ 10 Mio. CHF	≤ 1 Mio. CHF/Jahr
“Erhebliche Kosten”	≤ 100 Mio. CHF	≤ 10 Mio. CHF/Jahr
“Hohe Kosten”		≤ 100 Mio. CHF/Jahr

Tabelle 2: Bezeichnungen und entsprechende Kriterien für die Kosten

1. Allgemeine Bedeutung

“Entscheidend”

“Sehr wichtig”

“Wichtig”

2. Kosten

Die Bezeichnungen und die entsprechenden Kriterien für die Kosten der Massnahmen in der Schweiz sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

3. Nutzen-Kosten-Verhältnis

Basis für den Nutzen ist die geschätzte Verminderung des relevanten Schadens bei einem mittelstarken bis starken Erdbeben, das typischerweise etwa alle 100 bis 200 Jahre in der Schweiz auftritt.

“Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis”

“Gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis”

“Vertretbares Nutzen-Kosten-Verhältnis”

4. Zeithorizont

Die Bezeichnungen und die entsprechenden Kriterien für den Zeithorizont der Realisierung zeigt Tabelle 3. Die angegebene Anzahl Jahre ist als Richtwert gemeint. In dieser Zeitspanne sollen die entsprechenden Massnahmen umfassend in die Wege geleitet und weitgehend vorangetrieben worden sein.

	Zeithorizont
“Unverzüglich”	Sollte unverzüglich realisiert werden
“Kurzfristig”	5 Jahre
“Mittelfristig”	5 - 20 Jahre
“Längerfristig”	> 20 Jahre

Tabelle 3: Bezeichnungen und entsprechende Kriterien für den Zeithorizont der Realisierung

Die verbale Beurteilung der Massnahmen ist, gegliedert nach den vier Massnahmengruppen, in den Kapiteln 5.1 bis 5.4 in der rechten Spalte *kursiv* wiedergegeben. Massnahmen der ersten Priorität sind mit einem dicken vertikalen Strich markiert; sie haben hohe Dringlichkeit. Massnahmen der zweiten Priorität sind mit einem dünnen vertikalen Strich markiert.

Die Bewertung und Beurteilung der Massnahmen erfolgte somit auf der Basis einer fachgerechten ingenieurmässigen Betrachtung. Für genauere Aussagen wären für jede Massnahme aufwendige Nutzen-Kosten-Analysen erforderlich. Entsprechende Ergebnisse hängen indessen erfahrungsgemäss stark von oft schwierig festzulegenden Annahmen und Voraussetzungen ab. Die Aussagen solcher Analysen dürften sich deshalb ebenfalls im Streubereich der Ergebnisse der vorgenommenen ingenieurmässigen Bewertung und Beurteilung bewegen.

5.1 I. Rechtsgrundlagen und Normenwesen

2.4 Einfluss des Standortes

- Ergänzung des Eurocodes 8 so dass die Normspektren für alluviale Böden erhöht und für Fels allenfalls reduziert werden, und dass bei wichtigen Bauten besondere Untersuchungen des Baugrundeinflusses durchzuführen sind.

Wichtig für die Erfassung des Standorteinflusses. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren.

3.1 Rechtsgrundlagen

- Schaffung der Rechtsgrundlagen (v.a. Bundesgesetz) für ein "Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)" und für dessen Finanzierung und Umsetzung.

Entscheidend für wesentliche Fortschritte zur Reduktion des Erdbebenrisikos in der Schweiz. Geringe primäre Kosten, Folgekosten ähnlich wie bisherige Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Vorsorge gegen einzelne, weniger bedeutende Naturgefahren. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Einhaltung der Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen gesetzlich verbindlich regeln.

Entscheidend für die Verbesserung der Erdbebensicherheit von Neubauten. Geringe primäre Kosten und geringe Folgekosten. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Erlass von Sanierungsfristen und Schaffung finanzieller Anreize für die Erdbebensicherung bestehender Bauwerke analog dem neuen Impulsprogramm "Energie 2000 Invest".

Sehr wichtig für die Verbesserung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke. Geringe primäre Kosten, mässige bis erhebliche Folgekosten je nach gewählter Lösung. Kurzfristig zu realisieren.

3.2 Normenwesen

- Finanzierung der Erdbebennormung durch die öffentliche Hand (Begleitung und Einführung des Eurocode 8, Nationales Anwendungsdokument, neue Erdbeben-Zonenkarte der Schweiz, neue Bemessungsspektren, Anwendung von Mikrozonierungen, usw.).

Entscheidend für die Reduktion des Erdbebenrisikos bei neuen Bauwerken. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Durchführung von Pilotprojekten der Erdbebenbemessung von Bauwerken der öffentlichen Hand nach den Vornormen des Eurocode 8, um die erforderlichen praktischen Erfahrungen für das Nationale Anwendungsdokument und für die definitive Fassung des Eurocode 8 zu gewinnen.

Sehr wichtig für eine angemessene Berücksichtigung der schweizerischen Gegebenheiten in der europäischen und nationalen Normung. Geringe bis mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

- Erarbeitung von Normen und Richtlinien für die Erdbebensicherung bestehender Gebäude und Brücken.

Sehr wichtig für kostengünstige Lösungen bei der Erdbebensanierung bestehender Gebäude und Brükken. Geringe primäre Kosten, bewirkt Kosteneinsparungen. Kurzfristig zu realisieren.

3.3 Erdbebensicherung neuer Bauwerke

- Bessere Durchsetzung der Erdbeben-Normenbestimmungen durch die Behörden und Verwaltungen aller Stufen bei eigenen, öffentlichen Bauten und bei Privaten aufgrund einer gesetzlich verbindlichen Regelung.

Sehr wichtig für die Verbesserung der Erdbebensicherheit neuer Bauwerke. Geringe primäre Kosten und geringe Folgekosten. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.4 Erdbebensicherung bestehender Gebäude

- Durchsetzung der Bestimmungen der Norm SIA 462, wonach bei allen Umbauten von bestehenden Gebäuden eine Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls eine Erdbebensanierung durchgeführt werden muss.

Sehr wichtig für die Reduktion des Erdbebenrisikos anlässlich von Umbauten. Geringe primäre Kosten, mässige Folgekosten. Kurzfristig zu realisieren.

3.6 Erdbebensicherung historischer Bauten

- Anpassung gesetzlicher Bestimmungen zum Kulturgüterschutz bezüglich Erdbebensicherheit.

Wichtig für die Erdbebensicherung unersetzlicher historischer Bauten. Geringe Primärkosten, Folgekosten im Einzelfall abzuschätzen. Kurzfristig zu realisieren.

3.7 Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen

- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile vor allem in Normen, Richtlinien, usw.

Wichtig für die Beseitigung von bisherigen "Grauzonen" der Verantwortung z. B. für die personengefährdenden Fassadenbauteile und Unterdecken. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.8 Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen

- Klare Regelung der Verantwortlichkeiten unter den Planenden bezüglich der erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen vor allem in Normen, Richtlinien, usw.

Wichtig für die Beseitigung von bisherigen "Grauzonen" der Verantwortung z. B. für personengefährdende Installationen. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.9 Erdbebensicherung von chemischen Anlagen

- Ergänzung der unzureichenden brancheninternen Richtlinien sowie der Störfallverordnung mit gesetzlich verbindlichen Erdbebenbestimmungen. Erlass von zusätzlichen Bestimmungen für die Auslegung von Anlagen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential.

Entscheidend für die Verbesserung der Erdbebensicherheit von chemischen Anlagen, auch und vor allem von solchen mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential. Geringe Primärkosten, Folgekosten im Einzelfall abzuschätzen. Sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen

- Erarbeitung von Richtlinien für die Erdbebenauslegung der Endlager.

Wichtig zur Behebung bisheriger Lücken. Geringe Primärkosten, mässige Folgekosten. Gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

4.1 Rettungswesen

- Schaffung der rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen zur frühzeitigen Unterstützung der Informationsbeschaffung durch Mittel des Bundes (Luftwaffe, Übermittlungstruppen, usw.).

Wichtig für einen raschen und zielgerichteten Rettungseinsatz. Geringe Kosten, gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

4.3 Erdbebenversicherung

- Schaffung einer risikogerechten Erdbebenversicherung sowohl für Gebäude mit klarer Abstufung der Versicherungsprämien nach der Verletzlichkeit, als auch für Bauwerke und Anlagen mit grossem Schadenpotential für die Umwelt (z. B. gefährliche Chemieanlagen).

Wichtig für eine angemessene Schadendeckung im Ereignisfall und als starker Anreiz (Bonus-Malus-System) für eine erdbebengerechte Gestaltung der Bauwerke. Kosten und Nutzen-Kosten-Verhältnis können nicht direkt angegeben werden. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

- Schaffung einer Versicherung für Produktionsausfälle aus Betriebsunterbrüchen infolge Erdbeben.

Wichtig für die Schadendeckung bei bestehenden Bauten und Anlagen, wenn keine Erdbebensanierung durchgeführt wird. Vermutlich geringe Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

5.2 II. Objektspezifische Massnahmen

3.4 Erdbebensicherung bestehender Gebäude

- Identifizierung der bestehenden öffentlichen und privaten Gebäude der wichtigsten Bauwerksklasse III mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung.

Entscheidend für eine erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden öffentlichen Gebäude der Bauwerksklasse II und teilweise Bauwerksklasse I mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Wichtig für Gebäude mit grossen Menschenansammlungen (Schulhäuser, usw.). Erhebliche Kosten, jedoch gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung besonders verletzlicher Arten von bestehenden privaten Gebäuden wie z.B.:
  - Gebäude mit “weichem” Erdgeschoss
  - Gebäude mit stark exzentrischer Aussteifung
  - Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk
  - Durch Mauerwerkswände “ausgesteifte” Rahmen
  - Wertvolle Natursteinbauten

  basierend auf zu schaffenden gesetzlichen Verpflichtungen und mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Sehr wichtig für eine signifikante Reduktion des Erdbebenrisikos bestehender Bauten. Erhebliche Kosten, jedoch gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Verpflichtung kurzfristig, Überprüfung und Erdbebensanierung mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

3.5 Erdbebensicherung bestehender Brücken

- Identifizierung ausgewählter Strassen- und Bahnverkehrswege der wichtigsten Bauwerksklasse III mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der zugehörigen bestehenden Brücken.

Entscheidend für eine erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Erhebliche Kosten, jedoch gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden Brücken der Bauwerksklasse II und teilweise Bauwerksklasse I mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Wichtig für Brücken mit hohem Verkehrsaufkommen. Gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

3.6 Erdbebensicherung historischer Bauten

- Inventarisierung und Klassierung der historischen Bauten bezüglich Verletzlichkeit durch Erdbeben mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung, mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Wichtig für die Sicherung unersetzlicher Kulturgüter. Erhebliche Kosten. Mittelfristig zu realisieren.

3.7 Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der nichttragenden Bauteile bei bestehenden Bauten, z.B. bei wirtschaftlich bedeutenden Industriebauten und -Anlagen und bei engen Gassen in Städten (Fassadenbauteile).

Wichtig für die Reduktion des Risikos für Schäden und für Betriebsausfälle bzw. für Tötung und Verletzung durch herunterfallende Bauteile. Mässige Kosten. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

3.8 Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen

- Überprüfung der Erdbebensicherheit von Installationen und Einrichtungen insbesondere bei bestehenden Industrieanlagen und Dienstleistungsbetrieben, wo Produktionsausfälle schwerwiegende wirtschaftliche Folgen (Verluste von Marktanteilen und Arbeitsplätzen) haben können.

Wichtig für die Reduktion des Risikos für Schäden bzw. Betriebsausfälle. Mässige bis erhebliche Kosten. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

3.9 Erdbebensicherung von chemischen Anlagen

- Klassierung der bestehenden chemischen Anlagen aufgrund ihrer Schadenpotentiale mit Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Sehr wichtig für eine signifikante Reduktion der Umweltgefährdung durch giftige Gase usw. Erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.10 Erdbebensicherung von Lifelines

- Identifizierung von Lifelines als im Katastrophenfall überlebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur, mit Festlegung von Mindestfunktionen bei unterschiedlich starken Erdbeben. Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung mit Setzung klarer Prioritäten und Fristen.

Entscheidend für eine erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

3.11 Erdbebensicherung von Talsperren

- Überprüfung der Erdbebensicherheit und allenfalls Erdbebensanierung der bestehenden grossen Talsperren inklusive Schützen, Grundablässe, elektromechanische Komponenten, usw. und Beurteilung potentieller Bruchzonen im Fundationsbereich. Dazu sollen die Aufsichtsbehörden die notwendigen Beurteilungsrichtlinien festlegen.

Entscheidend für die Reduktion eines allfälligen enormen Risikos aus dem Bruch von Talsperren. Mässige Kosten für die Überprüfung, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren. Dringlich.

3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen

- Aktualisierung der seismologischen und seismischen Untersuchungen der bestehenden Nuklearanlagen mit Einbezug des neusten Stands der Wissenschaft und Technik sowie der Erkenntnisse der Erdbeben der letzten Jahre.

Wichtig zur Verbesserung der standortspezifischen Kenntnisse. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis schwierig abzuschätzen. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

5.3 III. Ausbildung und Sensibilisierung

2.4 Einfluss des Standortes

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zum Einfluss des lokalen Baugrundes und der Topographie auf die Bodenbewegungsgrössen, mit Verteilung an Bauherren, Ingenieure, Geologen und Architekten.

Wichtig für die Sensibilisierung bezüglich Standort- bzw. Bodeneinfluss. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

2.5 Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der nichtsynchronen Anregung bei sehr grossen Bauwerken wie Brücken und Talsperren, mit Verteilung an Bauherren und Ingenieure.

Wichtig für die Sensibilisierung bezüglich der nichtsynchronen Anregung bei sehr grossen Bauwerken. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis vor allem bei Brücken (Absturzsicherung). Kurzfristig zu realisieren.

3.3 Erdbebensicherung neuer Bauwerke

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebeneinwirkung und zum erdbebengerechten Entwurf von Hochbauten bzw. von Brücken, mit Verteilung an Architektur- und Ingenieurbüros sowie an Behörden und Verwaltungen.

Entscheidend für eine vermehrte Eigeninitiative der Baufachleute bezüglich Erdbebensicherung der Bauwerke. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

3.7 Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung der nichttragenden Bauteile von Gebäuden bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure und Versicherer.

Sehr wichtig zur Verminderung potentieller Erdbebenschäden bei neuen Gebäuden. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

3.8 Erdbebensicherung von Installationen und Einrichtungen

- Finanzierung von Merkblättern und Broschüren zur Bedeutung der Erdbebensicherung und zur erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen bezüglich Schadenverminderung und Sicherheitsgewinn mit Verteilung an Bauherren, Architekten, Ingenieure, insbesondere auch an Heizungs-Lüftungs-Klima-Ingenieure.

Sehr wichtig zur Verminderung potentieller Erdbebenschäden bei Installationen und Einrichtungen. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.9 Erdbebensicherung von chemischen Anlagen

- Ausbildung der Sicherheitsverantwortlichen der Industrie und der Aufsichtsbehörden in der Erdbebensicherung von chemischen Anlagen. Sensibilisierung des Kaders für das Erdbebenrisiko der Anlagen, auch im Hinblick auf Produktionsausfälle.

Wichtig für die Eigeninitiative der Sicherheitsfachleute bezüglich Erdbebensicherung chemischer Anlagen. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.10 Erdbebensicherung von Lifelines

- Erarbeitung von Konzepten für Notreparaturen, abgestimmt auf die Gegebenheiten und Bedürfnisse bei Erdbeben (Ausbildung, personelle und materielle Kapazitäten, Prioritätensetzung, Einsatzdoktrin und Führung der Reparaturequippen).

Wichtig für die rasche Behebung von kleineren Schäden an Lifelines. Geringe Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen

- Erhaltung des Know-hows zur Erdbebensicherung der Nuklearanlagen und Förderung des Nachwuchses durch finanzielle Unterstützung der Ausbildung und Fortbildung der Erdbeben-Ingenieure und durch Beteiligung an internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Wichtig für den sachgerechten Unterhalt der bestehenden Kernkraftwerke. Mässige Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

3.14 Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis

- Finanzierung von Anleitungen und praktischen Beispielen zur Erdbebensicherung von Bauwerken basierend auf neuen Forschungsergebnissen mit Verbreitung in der Praxis.

Wichtig für die rasche Umsetzung wichtiger Forschungsergebnisse in die Praxis. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren.

3.15 Ausbildung und Fortbildung der Ingenieure und Architekten

- Schaffung einer Professur für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen sowohl an der ETH Zürich als auch an der EPF Lausanne zur fachspezifischen vertieften Ausbildung der Bauingenieurstudierenden in theoretischer und praktisch-konstruktiver Hinsicht.

Entscheidend für den Stand der Kenntnisse und Fähigkeiten der Bau- und Erdbebeningenieure in der Schweiz. Mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Ausbildung der Architekturstudierenden an der ETH Zürich und der EPF Lausanne sowie der Architektur- und Bauingenieurstudierenden an den Fachhochschulen in den konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen zur Erdbebensicherung von Bauwerken.

Entscheidend für die Sensibilisierung und den Stand der Kenntnisse der Architekten als wichtige "Weichensteller" bei der Erdbebensicherung von Gebäuden. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Finanzierung von regelmässigen Fortbildungskursen für praktisch tätige Bauingenieure und Architekten in der Erdbebensicherung von Bauwerken.

Sehr wichtig für die rasche Anhebung des Standes der Kenntnisse und Fähigkeiten von praktisch tätigen Bauingenieuren und Architekten bezüglich Erdbebensicherung der Bauwerke. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren.

4.1 Rettungswesen

- Anpassung der bestehenden Rettungsformationen einschliesslich Zivilschutz an die Besonderheiten einer Erdbebenkatastrophe, insbesondere Schaffung erdbebengerechter Einsatzkonzepte mit entsprechender Ausbildung und Vorbereitung von vorbehaltenen Entschlüssen mit Prioritätensetzung für die verschiedenen Phasen der Rettung.

Sehr wichtig für eine möglichst erfolgreiche Katastrophenbewältigung. Geringe bis mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

4.2 Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen

- Vorbereitung der organisatorischen Voraussetzungen und der Prozeduren für eine rasche Ermittlung des Zustandes von öffentlichen und privaten Bauten und der Infrastruktur nach einem Ereignis.

Wichtig für eine rasche Klassierung beschädigter Bauten und Anlagen. Geringe Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

- Ausbildung der Fachleute zur Beurteilung der Sicherheit von Bauten nach einem Ereignis.

Entscheidend für eine rasche Klassierung beschädigter Bauten und Anlagen. Geringe Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

5.4 IV. Forschung und Umsetzung

2.1 Seismische Gefährdung

- Durchführung archäologischer und paläoseismologischer Untersuchungen, um die Datenbasis über historische Erdbeben und ihre Wiederkehrperioden zu vergrössern.

Entscheidend für eine bessere Abschätzung der Erdbebengefährdung bei grossen Wiederkehrperioden, d.h. von Bauten mit hohem Schadenpotential wie Kernkraftwerke, Talsperren, Chemieanlagen. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis schwierig zu beurteilen, da neuartiges Forschungsgebiet. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

2.2 Seismotektonik

- Systematische Kartierung aktiver Bruchzonen in der Schweiz.

Entscheidend für eine bessere Abschätzung der Erdbebengefährdung bei grossen Wiederkehrperioden. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis je nach Ergebnissen. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

- Abschätzung der seismisch bedingten Deformationsraten der Erdkruste im Gebiet der Schweiz und Verdichtung des landesweiten GPS-Netzes zur langfristigen Erfassung der an der Erdoberfläche beobachtbaren Deformation.

Wichtig für die Ergänzung der Grundlagen zur Abschätzung der seismischen Gefährdung. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Mittelfristig zu realisieren.

2.3 Ausbreitungseffekte der seismischen Erschütterungen

- Verbesserung der Kenntnisse über die Auswirkungen herddynamischer Vorgänge auf Beschleunigungen an der Erdoberfläche.

Wichtig für die Abschätzung der möglichen Bodenbeschleunigung. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

- Verbesserung von Abminderungsmodellen seismischer Erschütterungen im Nahbereich eines Erdbebenherdes.

Wichtig als Grundlage für die Abschätzung der seismischen Gefährdung. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

2.4 Einfluss des Standortes

- Ausdehnung der erst in einzelnen Gebieten ausgeführten Mikrozonierung auf alle erdbebengefährdeten Regionen der Schweiz, mit Messungen und Angaben über die zu erwartenden frequenzabhängigen Bodenbeschleunigungen und Bodenverschiebungen (Antwortspektren) für verschiedene Bodentypen.

Entscheidend für eine wesentlich verbesserte Bestimmung der Erdbebengefährdung an einem Standort. Mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

- Entwicklung von rechnergestützten Simulationsverfahrenfür standortbedingte Effekte und Umsetzung der Forschungsresultate in praxistaugliche Arbeitsverfahren und Messmethoden.

Wichtig zur Erfassung von standortspezifischen Effekte bei Fehlen einer Mikrozonierung. Mässige Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

- Verbesserung der Datenübertragung aus den Freifeld-Starkbebenmessgeräten, damit die Daten sofort nach einem Beben abrufbar sind.

Wichtig zur raschen Abschätzung einer approximativen Schadensumme im Falle eines starken Erdbebens. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Mittelfristig zu realisieren.

2.5 Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion

- International koordinierte Integration eines Rechenmoduls zur befriedigenden Berechnung der Boden-Bauwerk-Interaktion in kommerziell verbreiteten Rechenprogrammen.

Wichtig zur Erfassung der meist geringeren Erdbebenauswirkungen im Falle von starker Boden-Struktur-Interaktion. Mässige Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Mittelfristig zu realisieren.

- Ausrüsten einiger typischer Bauwerke in schweizerischen Erdbebengebieten mit unter sich vernetzten Beschleunigungsmessgeräten.

Sehr wichtig für die Korrelation der auftretenden Boden- und Bauwerks-Beschleunigungen mit dem tatsächlichen Gebäudeverhalten. Geringe Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

3.5 Erdbebensicherung bestehender Brücken

- Entwicklung von Unterlagen und Verfahren für eine rasche generelle Beurteilung der Erdbebenverletzlichkeitvon Brücken.

Wichtig für eine rationelle und kostengünstige Ermittlung der Erdbebenverletzlichkeit von Brücken. Geringe Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurzfristig zu realisieren.

3.11 Erdbebensicherung von Talsperren

- Umsetzung moderner Forschungsergebnisse in die Praxis durch Bereitstellung, Wartung und Betreuung bereits entwickelter Computerprogramme zur Simulation des Erdbebenverhaltens von Staumauern mit Stausee und Untergrund.

Entscheidend für den praktischen Nutzen der in den letzten 15 Jahren investierten beträchtlichen Forschungsmittel. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Unverzüglich zu realisieren. Dringlich.

- Erweiterung des Starkbeben-Messgerätenetzes auf alle grossen Talsperren und systematische Auswertung der Messdaten sowie deren Zurverfügungstellung an interessierte Fachleute.

Sehr wichtig für die Erweiterung der Kenntnisse über das Erdbebenverhalten von Talsperren. Mässige Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden. Kurzfristig zu realisieren.

3.12 Erdbebensicherung von Nuklearanlagen

- Zurverfügungstellung aller Erdbeben-Messdaten aus Kernkraftwerken an interessierte Fachleute.

Wichtig für die Erweiterung der Kenntnisse über das Erdbebenverhalten von Gebäuden. Geringe Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis kann nicht direkt angegeben werden.

3.13 Forschung zum Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von Tragwerken auf den Gebieten:
  - Duktilität der Bewehrungsstähle
  - Erdbebenverhalten von unbewehrtem und bewehrtem Mauerwerk
  - Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Gebäuden
  - Erdbebensicherung von neuen und bestehenden Brücken
  - Erdbebensicherung von historischen Bauten

  Entscheidend für weitere Fortschritte bei den Massnahmen zur Erdbebensicherung der Tragwerke. Mässige bis erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

- Erforschung des Erdbebenverhaltens und Entwicklung von Grundlagen für die Erdbebensicherung von:
  - Nichttragenden Bauteilen in Gebäuden
  - Installationen und Einrichtungen
  - Chemischen Anlagen
  - Lifelines
  - Talsperren
  - Nuklearanlagen

  Entscheidend für weitere Fortschritte bei den Massnahmen zur Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen, Installationen, chemischen Anlagen, usw. Mässige bis erhebliche Kosten, jedoch sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- und mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

- Entwicklung von Berechnungsverfahren der nichtlinearen Baudynamik.

  Wichtig für die Verbesserung der Möglichkeiten zur Erdbebensicherung der häufig vorkommenden unregelmässigen Bau- und Tragwerke. Geringe bis mässige Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

3.14 Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis

- Förderung von Projekten zur Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis.

  Sehr wichtig für eine wesentlich verbesserte praktische Nutzung der Forschungsergebnisse. Geringe bis mässige Kosten, sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren. Dringlich.

- Förderung des Praxisbezuges von Forschungsarbeiten mittels Begleitung durch praktisch tätige Ingenieure.

  Wichtig für den Dialog zwischen Forschung und Praxis. Geringe Kosten, gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Kurz- bis mittelfristig zu realisieren.

6 Weiteres Vorgehen

Bild 29 zeigt einen Vorschlag für den Ablauf der Arbeiten mit dem Ziel einer wesentlichen Reduktion des heute in der Schweiz bestehenden erheblichen Erdbebenrisikos. Der Ablauf gliedert sich im wesentlichen in drei Phasen.

In der Phase I wurde das vorliegende Dokument "Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz" erarbeitet. Es bietet für die wesentlichen Sachgebiete eine systematische Analyse der Schwachstellen, Lücken und Mängel in der Vorsorge gegen die Naturgefahr Erdbeben *(Problemstellung)*. Das Erdbebenrisiko ist beträchtlich, vor allem wegen der Tatsache, dass rund 95 % der bestehenden Bauwerke und Anlagen in der Schweiz nicht oder nur nach veralteten Regeln für Erdbeben bemessen worden sind, und es erhöht sich immer noch laufend durch die in manchen Fällen nicht erdbebengerechte Gestaltung neuer Bauwerke und Anlagen. Das Dokument enthält daher Vorschläge für Massnahmen zur wirksamen Reduktion des Erdbebenrisikos *(Handlungsbedarf)*. Zudem sind die entsprechenden Verantwortungsträger genannt *(Angesprochene)*. Und schliesslich enthält das Dokument eine Bewertung sowie eine verbale Beurteilung der erforderlichen Massnahmen bezüglich allgemeine Bedeutung, Kosten, Nutzen-Kosten-Verhältnis und Zeithorizont der Realisierung. Das vorliegende Dokument ist allerdings erst ein bescheidener Anfang, es vermindert das Erdbebenrisiko noch nicht; entscheidend ist, dass und wie die gemachten Vorschläge konkretisiert und realisiert werden.

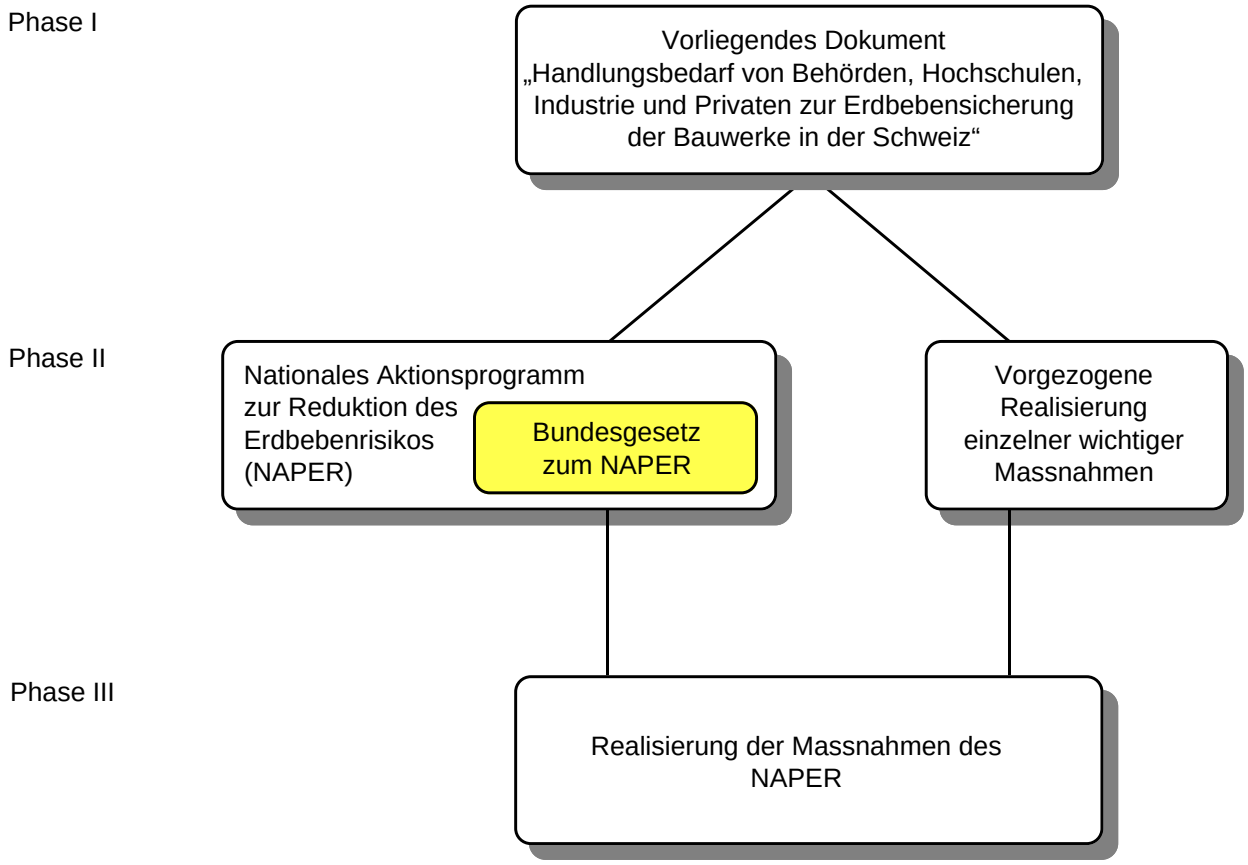


Bild 29: Schematische Darstellung des Vorgehens zur Reduktion des Erdbebenrisikos in der Schweiz

In der Phase II sollen daher die erforderlichen Massnahmen durch die Erarbeitung eines *"Nationalen Aktionsprogramms zur Reduktion des Erdbebenrisikos (NAPER)"* konkretisiert und deren Realisierung vorbereitet werden. Grundlegender Teil des NAPER ist ein entsprechendes Bundesgesetz. Damit sollen die fehlenden Rechtsgrundlagen zur Vorsorge gegen die Naturgefahr Erdbeben geschaffen werden ähnlich wie bestehende Rechtsgrundlagen für die Vorsorge gegen einzelne, weniger bedeutende Naturgefahren (vgl. Bilder 2 und 1). Neben der Erarbeitung eines Entwurfs für das Bundesgesetz müssen im NAPER alle wesentlichen weiteren grundlegenden Massnahmen mit einem angemessenen Detaillierungsgrad und dem zeitlichen Ablauf festgelegt sein. Die Erarbeitung des NAPER erfolgt wohl am besten unter der Federführung durch die Bundesverwaltung bzw. die kürzlich vom Bundesrat gebildete nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) und unter Beizug aller massgeblich betroffenen und interessierten Kreise.

In der Phase II - das heisst ab sofort - sollen aber bereits auch einzelne wichtige Massnahmen realisiert bzw. in die Wege geleitet werden. Dabei handelt es sich um Massnahmen, die im vorliegenden Dokument begründet sind und nicht oder nicht wesentlich vom NAPER bzw. vom entsprechenden Bundesgesetz abhängen.

In der Phase III sollen die übrigen Massnahmen gemäss dem NAPER realisiert werden.

7 Literatur

AFPS, 1992:
'Recommandations AFPS 90, Tome 2', Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris.

Ambraseys, N.N., Simpson, K.A. und Bommer, J.J., 1996:
'Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25, 371-400.

Ammann W. J. et al., 1993:
'Verstärkungsmassnahmen für erdbebengefährdete Bauwerke', Dokumentation D 097, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Ammann W. J. et al., 1995:
'Erdbebenszene Schweiz - eine Standortbestimmung', Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 9/95, Zürich.

ATC-21, 1988:
'Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards', Applied Technology Council (ATC), Redwood City, California.

Bachmann H. et al., 1989:
'Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160', SIA-Dokumentation D044, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Bachmann H., 1995:
'Erdbebensicherung von Bauwerken', Birkhäuser Verlag Basel Boston Berlin.

Bachmann H., 1997:
'Hochbau für Ingenieure', 2. Auflage, Vdf Verlag Zürich und B.G. Teubner Verlag Stuttgart.

Baer M.T., et al., 1997:
'Earthquakes in Switzerland and surrounding regions during 1996', Eclogae geol. Helv. 90/3, 557-567.

Bard P.-Y., 1994:
'Effects of Surface Geology on Ground Motion: Recent Results and Remaining Issues', Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering, 305-324.

Bürge M. et al., 1997:
'Handlungsprioritäten für die Erdbebensicherung bestehender Bauten der öffentlichen Hand', SIA-Dokumentation D0145, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

BZS, 1995:
'Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, eine vergleichende Übersicht (KATANOS)', Bundesamt für Zivilschutz, Bern.

Carbura, 1974:
'Richtlinien für Tankanlagen', Carbura, Schweizerische Zentralstelle für die Einfuhr flüssiger Treib- und Brennstoffe, Zürich.

Darbre, 1994:
'Réseaux d'accélérographes pour barrages', Ingénieurs et Architectes Suisses, Nos. 11 & 12, Lausanne.

EC 8, 1997:
'Europäische Vornorm SIA V160.801: Eurocode 8, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Sammelband Gebäude', Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

ESCIS, 1994:
'Behelf zur Ermittlung der Erdbebensicherheit von Bauten und Anlagen der chemischen Industrie', Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz (ESCIS), Basel.

Giardini D. et al., 1998:
'Earthquake Scenarios for Switzerland', Interner Bericht des Schweizerischen Erdbebendienstes, ETH, Zürich.

Hamburger R. O., 1997:
'The Challenge of Existing Buildings', Manuskript des Vortrages am Annual Meeting des Earthquake Engineering Research Institute (EERI) in Austin, Texas.

Heitzmann P. et al., 1996:
'Erdbeben, Risiko und Vorbeugung in der Schweiz', Bericht zuhanden der nationalen Plattform Naturgefahr, Bern.

ICOLD, 1989:
'Selecting Seismic Parameters for Large Dams', Guidelines, Bulletin 72, International commission on Large Dams, Paris.

Inukai M., 1996:
'Investigation of building damages by the 1995 Hyogken Nanbu Earthquake'. Structural Dynamics - Eurodyn'96, Augusti, Borri & Spinelli (eds), Balkema, Rotterdam.

Müller S. and Mayer-Rosa D., 1980:
'The new seismic hazard map for Switzerland', Revista Geophysica, Numero 13, Mexico.

NRC, 1990:
'Earthquake engineering for concrete dams: design, performance, and research needs', Panel on earthquake engineering for concrete dams, Committee on earthquake engineering, Division of natural hazard mitigation, Commission on engineering and technical systems, National research council, National academy press, Washington D.C.

Pavoni N. et al., 1997:
'Seismicity and seismotectonics of the Swiss Alps', In: Deep structure of the Swiss Alps, results of NRP 20, Birkhäuser, Basel, 241-250.

Peter T., 1996:
'Risiken aus Naturgefahren in der Schweiz', Vortrag an der Universität Zürich.

Rüttener E., 1995:
'Earthquake hazard evaluation for Switzerland', Diss. ETH Zürich Nr. 11048.

Sägesser R. and Mayer-Rosa D., 1978:
'Erdbebengefährdung in der Schweiz', Schweizerische Bauzeitung, Heft 7/78, Zürich.

Schweizerischer Pool fur Erdbebendeckung, 1988:
'Erdbebenszenarien Schweiz', Untersuchungsbericht, Bern, 1988. Kurzfassung im 10. Geschäftsbericht 1989.

SEAOC, 1995:
'Vision 2000: Performance based seismic engineering', Structural Engineers Association of California, USA.

SIA 160, 1970:
'Norm SIA 160: Belastungsannahmen, Inbetriebnahme und Überwachung der Bauten', Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 160, 1989:
'Norm SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke', Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA, 1997:
'Ausführungsbestimmungen zum Technischen Normenwerk des SIA', Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 462, 1994:
'Richtlinie SIA 462: Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke', Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Smit P., 1996:
'Datenerfassung und Bestimmung der Abminderung der Bodenbewegung bei Erdbeben in der Schweiz', Dissertation ETH Zürich Nr. 11396.

SR, 1962:
'Verordnung über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten (Baunormen-Verordnung) vom 21. August 1962', Systematische Rechtssammlung des Bundes SR 720.1, Bern.

SR, 1996:
'Bundesgesetz über die technischen Handelshemmnisse (THG) vom 6. Oktober 1995', Systematische Rechtssammlung des Bundes SR 946.51, Bern.

StFV, 1991:
'Verordung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung)', Systematische Rechtssammlung des Bundes SR 814.012, Bern.

TRCI, 1976/1992:
'Tanklager-Richtlinien für die Chemische Industrie', Basler Chemische Industrie (BCI), Geschäftstelle c/o Lonza AG, Visp.

Wüest & Partner, 1996:
'Monitoring: Bau und Immobilienmarkt Schweiz', Zürich.

8 Glossar

AFB
Amt für Bundesbauten (EFD) (Bundesamt für Immobilien und Beschaffung ab 1.1.1999), 3003 Bern.

ASTRA
Bundesamt für Strassen (UVEK), 3003 Bern.

Bauwerksklasse
Einteilung der Bauwerke gemäss Norm SIA 160 in drei Bauwerksklassen (BWK) aufgrund ihres Schadenpotentials nach einem Erdbeben (siehe Bedeutungskategorie und BWK).

Bedeutungskategorie
Einteilung der Bauwerke gemäss Eurocode 8 in vier Bedeutungskategorien aufgrund ihres Schadenpotentials nach einem Erdbeben (siehe Bauwerksklasse und BWK).

Betriebserdbeben
Siehe Gebrauchstauglichkeitsbeben

BCI
Basler Chemische Industrie, Geschäftsstelle c/o Lonza AG, Visp.

BEW
Bundesamt für Energiewirtschaft (UVEK), 3000 Bern.

BUWAL
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (UVEK), 3003 Bern.

BWK I
Bauwerksklasse I gemäss Norm SIA 160 (entspricht Bedeutungskategorien III und IV gemäss Eurocode 8). Beispiele: Wohn-, Büro- und Gewerbegebäude, Industrie- und Lagergebäude, Parkgaragen, Brücken von untergeordneter Bedeutung.

BWK II
Bauwerksklasse II gemäss Norm SIA 160 (entspricht Bedeutungskategorie II gemäss Eurocode 8). Beispiele: Einkaufszentren, Sportstadien, Kinos, Schulen, Kirchen, Gebäude der öffentlichen Verwaltung, Brücken von erheblicher Bedeutung, Hochkamine.

BWK III
Bauwerksklasse III gemäss Norm SIA 160 (entspricht Bedeutungskategorie I gemäss Eurocode 8). Beispiele: Spitäler, Ambulanzgaragen, Feuerwehrgebäude, Kommandozentralen; Brücken von grosser Bedeutung nach einem Erdbeben; ausgewählte, lebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für Versorgung und Entsorgung sowie der Telekommunikation (Lifelines); Behälter und Rohrleitungen mit umweltgefährdenden Gasen und Flüssigkeiten.

BWW
Bundesamt für Wasserwirtschaft (UVEK), 2001 Biel

Carbura
Schweizerische Zentralstelle für die Einfuhr flüssiger Treib- und Brennstoffe, Zürich

CEN
Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung) B-1050 Brüssel

CHF
Schweizer Franken

EC 8
siehe Eurocode 8

EDI
Eidgenössisches Departement des Innern

EFD
Eidgenössisches Finanzdepartement

EJPD
Eidgenössisches Justiz- und Polizei-Departement

EVD
Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement

Erdbebengefährdung
Mass dafür, wie häufig an einem bestimmten Ort eine bestimmte Erdbebenstärke erreicht oder überschritten wird.

Erdbebenrisiko
Das Erdbebenrisiko setzt sich grundsätzlich aus drei Faktoren zusammen: Erdbebengefährdung mal Verletzlichkeit der Bauwerke mal Schadenwert der exponierten Personen und Güter. Wird meist pro Jahr angegeben.

ESCIS
Expertenkommission für die Sicherheit in der chemischen Industrie, Basel.

Eurocode 8
Europäische Norm herausgegeben vom CEN. Die Tragwerksnormen des CEN werden als Eurocodes bezeichnet, unter diesen befasst sich der Eurocode 8 mit der Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.

Gebrauchstauglichkeitsbeben
Erdbeben bestimmter Stärke, das keine oder nur geringe Schäden bewirkt, so dass die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks oder der Anlage nicht beeinträchtigt ist.

Gefährdung
siehe Erdbebengefährdung

GPS
Global Positioning System (Globales Satelliten-Vermessungs-System)

HSK
Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (BEW), 5232 Villigen-HSK

IBK
Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Hönggerberg, 8093 Zürich

Intensität
Mass für die lokale Zerstörungskraft eines Erdbebens (z.B. MSK-Skala)

KBOB
Konferenz der Bauorgane des Bundes: Koordinationsstelle des Bundes für Baufragen (AFB, ASTRA, usw.)

KKW
Kernkraftwerk

KTI
Kommission für Technologie und Innovation, Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern

LHG
Landeshydrologie und -geologie (EDI), 3003 Bern.

Lifelines
Im Katastrophenfall überlebenswichtige Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen der Infrastruktur (siehe auch BWK III).

Magnitude
Mass für die im Erdbebenherd freigesetzte Energie (z.B. Richterskala).

Mikrozonierung
Kartierung der Erdbebengefährdung unter Berücksichtigung der lokalen Baugrundverhältnisse.

MSK-Skala
In Europa gebräuchliche Skala, von I bis XII, der Intensität eines Erdbebens, benannt nach Medvedev, Sponheuer und Karnik 1964.

NF
Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, 3001 Bern

Norm SIA 160
Schweizer Norm: Einwirkungen auf Tragwerke, herausgegeben vom Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein, 8039 Zürich. In Kapitel 4 19 dieser Norm befinden sich die Erdbebenbestimmungen.

OBE
Operating Basis Earthquake: siehe Gebrauchstauglichkeitsbeben

Öffentliche Bauherren
Auftraggeber der öffentlichen Hand für Bauten und Anlagen in Bund, Kantonen und Gemeinden

PLANAT
Nationale Plattform Naturgefahren, eine ausserparlamentarische Expertenkommission des Bundes (Sekretariat c/o LHG).

Risiko
Allgemein die Möglichkeit einen Schaden zu erleiden. Spezifisch im Falle Erdbeben: siehe Erdbebenrisiko

Risiko, gewichtetes
Zur Berücksichtigung der sinkenden Regenerationsfähigkeit der betroffenen Gemeinschaft mit steigendem Ausmass einer Katastrophe wird das Erdbebenrisiko korrigiert, d.h. Erdbeben mit einem grösseren Schadenausmass erhalten mehr Gewicht.

SGEB
Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (Fachgesellschaft des SIA)

SEAOC
Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA 95825 USA

SED
Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich, Hönggerberg, 8093 Zürich

Sicherheitserdbeben
Erdbeben bestimmter Stärke, des keinen Einsturz des Tragwerks bewirken darf

SSE
Safe Shut-down Earthquake: Sicherheitserdbeben, bei der eine Anlage noch sicher abgestellt werden kann.

Seismogramm
Zeitverlauf der Bodenbewegung während eines Erdbebens

SIA
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 8039 Zürich

Starkbebengerät
Registriergerät, das den zeitlichen Verlauf der Bodenbeschleunigung während eines Erdbebens aufzeichnet.

SR
Systematische Rechtssammlung des Bundes, Bundeskanzlei, 3000 Bern

StFV
Verordung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung). Systematische Rechtssammlung des Bundes SR 814.012.

UVEK
Eidgenössisches Departement für Umweltschutz, Verkehr, Energie und Kommunikation

VBS
Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport

Verletzlichkeit
Schadenanfälligkeit von Bauwerken bei unterschiedlicher Erdbebenstärke.

Wiederkehrperiode
Zeitdauer innerhalb der bei sehr langer Beobachtungsdauer eine gewisse Erdbebenstärke im Mittel einmal erreicht oder überschritten wird.

9 Sachwortverzeichnis

Folgende Verweise werden unterschieden:
Seitenzahl fett: **Verweis auf Massnahme des Handlungsbedarfes**
Seitenzahl kursiv: *Verweis auf Angesprochene*
Seitenzahl normal: Verweis auf übrigen Text

A

Abminderungsmodelle **30**, **74**
Adressen der Verfasser 90
Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos siehe NAPER
Ambulanzgaragen 50
Amt für Bundesbauten *38*, *40*, *42*, *45*, *46*, *56*, *58*
Angesprochene 26
Archäologische Untersuchungen **28**, **74**
Architekten
  Ausbildung der Architekturstudierenden **59**, **73**
  Ausbildung und Fortbildung der 58
  Finanzierung von Fortbildungskursen **59**, **73**
Aufsichtsbehörden der Störfallverordnung *49*
Auftretenswahrscheinlichkeit 22
Ausbildung
  Der Architekturstudierenden **59**, **73**
  Der Fachleute zur Beurteilung beschädigter Bauten **63**, **73**
  Der Ingenieure und Architekten 58
  Der Sicherheitsverantwortlichen der Industrie **49**, **72**
  Finanzierung von Fortbildungskursen **59**, **73**
  Massnahmen 71
  Professur für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen **59**, **72**
Ausbreitungseffekte der seismischen Erschütterungen 29
Ausschuss des Stabes für Gesamtverteidigung für die Koordination der Vorbereitung der Katastrophenhilfe *62*, *63*

B

Baubewilligungsbehörden *40*, *42*, *45*
Baugrund
  Boden-Bauwerk-Interaktion 32
  Einfluss des lokalen **32**, **71**
  Untersuchungen bei wichtigen Bauten **32**, **67**
Bauwerke
  Beurteilung der Sicherheit beschädigter 62
  Erdbebensicherung neuer 38
  Mit besonderem Schadenpotential 23
  Mit vitaler Funktion 23
  Normale 23
  Sanierungsfristen für bestehende **36**, **67**
Bauwerksklassen 23, 81
Bedeutungskategorie 81
Beleuchtungskörper 47
Berechnungsverfahren der nichtlinearen Baudynamik 56, **56**, **76**
Beschädigte Bauten und Anlagen
  Beurteilung der Sicherheit 62
Beschleunigung an der Erdoberfläche **30**, **74**
Beschleunigungsmessgeräte **33**, **75**
Betriebserdbeben 52, 53
Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten 62
  Ausbildung der Fachleute **63**, **73**
  Organisatorische Voraussetzungen **63**, **73**
Bewertung und Beurteilung der erforderlichen Massnahmen 65
  Bezüglich Ausbildung und Sensibilisierung 71
  Bezüglich Forschung und Umsetzung 74
  Bezüglich Rechtsgrundlagen und Normenwesen 67
  Objektspezifische Massnahmen 69
Bildautoren 89
Boden-Bauwerk-Interaktion 32
  Rechenprogramme für **33**, **75**
Broschüren siehe Merkblätter
Bruchzonen
  Im Fundationsbereich von Talsperren **52**, **71**
  Kartierung der aktiven **29**, **74**
Brücken
  Beurteilung der Erdbebenverletzlichkeit **44**, **75**
  Erdbebensicherung bestehender 42
  Historische 44
  Identifizierung der Bauwerksklasse III **43**, **70**
Brüstungen 45
Bundesamt für Berufsbildung und Technologie *56*, *58*, *59*
Bundesamt für Kultur *45*
Bundesamt für Logistiktruppen *62*
Bundesamt für Raumplanung *32*
Bundesamt für Strassen *33*, *38*, *40*, *44*, *56*, *58*
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft *56*, *58*
Bundesamt für Verkehr *33*, *44*, *56*, *58*
Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren *28*, *29*, *30*, *32*, *33*, *52*, *56*, *58*
Bundesamt für Zivilschutz *62*
Bundesstellen mit Verantwortung für Sicherheit *56*, *58*
Bundesversammlung *36*
Burgen 44
Bürobauten 40

C

Chemische Anlagen 48
siehe auch Industrieanlagen
Betreiber von *49*
Eigentümer von *49*
Erdbebensanierung von **49**, **70**
Erdbebensicherung von 55
Mit aussergewöhnlich hohem Schadenpotential **49**, **68**

D

Deformationsraten der Erdkruste **29**, **74**
Denkmalpflege *45*
Dienstleistungsanlagen
Betreiber von *46*, *48*
Eigentümer von *46*, *48*
Duktilität der Bewehrungsstähle 54
Durchsetzung der Erdbebenbestimmungen **39**, **68**
Durchsetzung der Norm SIA 462 **42**, **68**
Dynamische Boden-Bauwerk-Interaktion siehe Boden-Bauwerk-Interaktion

E

Eidgenössische Fachhochschulkommission *56*, *58*, *59*
Eidgenössische Technische Hochschulen
Rat der *56*, *58*, *59*
Schulleitungen der *56*, *58*, *59*
Einfluss des Standortes 31
Baugrund **32**, **71**
Simulationsverfahren **32**, **74**
Topographie **32**, **71**
Einrichtungen siehe Installationen
Einwirkung 27
Eisenbahnbrücken 42
Elektronische Geräte 47
Endlager 53
Entsorgungsanlagen 52
Entwurf
Erdbebengerechter **39**, **71**
Konzeptioneller 24
Miteinander-Entwurf 24
Erdbebenbestimmungen
Durchsetzung der **39**, **68**
Einhaltung der **36**, **67**
Entwicklung der 40
Erdbebeneinwirkung
Bedeutung der **39**, **71**
Erdbebengefahr 19
Schutzziele 24
Erdbebeningenieur 24
Erdbebenrisiko 20, 81
Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos siehe NAPER
Vorgehen zur Reduktion des 77
Erdbebensanierung
Der Brücken der Bauwerksklasse III **43**, **70**
Der Brücken der Bauwerksklassen II und I **44**, **70**
Der chemischen Anlagen **49**, **70**
Der Gebäude der Bauwerksklasse III **42**, **69**
Der historischen Bauten **45**, **70**
Der Lifelines **51**, **70**
Der nichttragenden Bauteile **46**, **70**
Der öffentlichen Gebäude der Bauwerksklasse II und I **42**, **69**
Der privaten Gebäude **42**, **69**
Der Talsperren **52**, **71**
Erdbebensicherung
Bestehender Brücken 42, 55
Bestehender Gebäude **38**, 40, 55, **67**
Chemischer Anlagen 48
Historischer Bauten 44, 55
Installationen und Einrichtungen 47, **48**, **72**
Lifelines 50
Neuer Bauwerke 38
Neuer Brücken 55
Neuer Gebäude 55
Nichttragender Bauteile 45
Nuklearanlagen 52
Talsperren 51
Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen 35
Forschung zum 54
Erdbebenverletzlichkeit
Von Brücken **44**, **75**
Von Gebäuden 41
Erdbebenversicherung 63
Für Produktionsausfälle **64**, **69**
Gebäudeversicherer *63*, *64*
Risikogerechte **64**, **69**
Sachversicherer *63*, *64*
Erdbeben-Zonenkarte **37**, **67**
Eurocodes **32**, 37, **37**, **38**, **67**

F

Fachverbände *58*, *59*, *62*
Fassadenbauteile 45
Fenster 45
Feuerwehrgebäude 50
Flusskraftwerke 51
Forschung
Berechnungsverfahren der nichtlinearen Baudynamik **56**, **76**
Erdbebenverhalten der Bauwerke und Anlagen 54, **56**, **76**
Förderung des Praxisbezuges von Forschungsarbeiten **57**, **76**
Massnahmen 74
Private Forschungsförderungsstellen *56*

Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis **57**, **76**
Fortbildung der Ingenieure und Architekten 58
Freifeld-Starkbebenmessgeräte **32**, **75**
Fussgängerbrücken 42

G

Gebäude
Altersstruktur 40
Erdbebensicherung bestehender 40
Erdbebenverletzlichkeit von 41
Identifizierung der Bauwerksklasse III **42**, **69**
Gebäudeversicherer *63*, 63, *64*
Gebrauchstauglichkeitsbeben 22
Gefährdung
Gefährdungskarte 28
Seismische 27
Gefährdungskarte 28
Generalstab *62*
Gewerbe- und Industriebauten 40
GPS-Netz **29**, **74**
Gruppe für Wissenschaft und Forschung *28*, *29*, *30*, *32*, *33*, *52*, *56*, *58*

H

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen *28*, *29*, *32*, *33*, *54*, *56*, *58*
Heizungen 47
Herddynamische Vorgänge **30**, **74**
Historische Bauten 44
Inventarisierung und Klassierung **45**, **70**

I

Industrieanlagen
siehe auch Chemische Anlagen
Betreiber von *46*, *48*
Eigentümer von *46*, *48*
Industrielle Betriebe
siehe auch Lifelines
Betreiber von *51*, *63*
Eigentümer von *51*, *63*
Informationsbeschaffung **62**, **69**
Ingenieure
Aufgaben der Erdbebeningenieure 24
Ausbildung und Fortbildung der 58
Installationen
Erdbebensicherung von 47, **48**, 55, **72**
Produktionsausfälle **48**, **70**
Regelung der Verantwortlichkeiten **48**, **68**

K

Kantonale Baudirektionen *38*
Kantonale Denkmalpflegen *45*
Kantonale Parlamente *36*
Kantonale Strassenbauämter *44*
Kapazitätsbemessung 24, 41
Kapellen 44
Kartierung aktiver Bruchzonen **29**, **74**
Katastrophenbewältigung 61
Anpassung der Rettungsformationen **62**, **73**
Beurteilung der Sicherheit beschädigter Bauten und Anlagen 62
Kernforschungsanlagen 52
Kernkraftwerke 52
Kirchen 44
Kirchgemeinden *45*
Klimaanlagen 47
Kommandozentralen 50
Kommission für Technologie und Innovation *56*, *58*
Konferenz der Bauorgane des Bundes *28*, *32*, *38*, *56*, *58*
Kosten 65
Krisenführungsstäbe von Kantonen und Gemeinden *51*, *62*, *63*
Kulturgüterschutz **45**, **68**

L

Laboreinrichtungen 47
Landeshydrologie und -geologie *28*, *29*, *32*
Landestopographie *29*
Leitungen 47
Lifelines 23, 50, 82
Erdbebensanierung von **51**, **70**
Erdbebensicherung von 50, 56
Identifizierung von **51**, **70**
Notreparaturen von **51**, **72**
Lüftungen 47

M

Massnahmen
Bewertung und Beurteilung der erforderlichen Massnahmen 65
Bezüglich Ausbildung und Sensibilisierung 71
Bezüglich Forschung und Umsetzung 74
Bezüglich Rechtsgrundlagen und Normenwesen 67
Der ersten Priorität 66
Der zweiten Priorität 66
Objektspezifische 65, 69
Verbale Beurteilung 66
Vorgezogene Realisierung wichtiger 77
Massnahmengruppe 65
Mauerwerk 54

Merkblätter
Zum Einfluss des lokalen Baugrundes **32**, **71**
Zum erdbebengerechten Entwurf **39**, **71**
Zur Bedeutung der nichtsynchronen Anregung **33**, **71**
Zur erdbebengerechten Gestaltung nichttragender Bauteile **46**, **71**
Zur erdbebengerechten Gestaltung von Installationen und Einrichtungen **48**, **72**
Zur Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis **57**, **72**
Mikrozonierung 31, **32**, **38**, **67**, **74**, 82
Möbel 47
Motion Schmidhalter 89
Museen 44

N

Nahbereich des Erdbebenherdes **30**, **74**
NAPER 19, 25, **36**, **67**
Bundesgesetz zum 77
Realisierung der Massnahmen 77
Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle *54*
Nationale Plattform Naturgefahren *28*, *29*, *30*, *32*, *33*, *36*, *38*, *40*, *42*, *44*, *45*, *46*, *48*, *49*, *51*, *52*, *54*, *56*, *58*, *59*, 78
Nationales Aktionsprogramm zur Reduktion des Erdbebenrisikos siehe NAPER
Nationales Anwendungsdokument **38**, **67**
Naturgefahren
Anteile der verschiedenen Naturgefahren am gesamten gewichteten Risiko 20
Aufwendungen für Schutzmassnahmen 22
Bisherige Massnahmen 21
Grad der rechtlichen Regelung 21
Neotektonik 28
Nichtsynchrone Anregung **33**, **71**
Nichttragende Bauteile
Erdbebengerechte Gestaltung **46**, **71**
Erdbebensicherung von 45, **46**, **70**
Erdbebenverhalten von 55
Regelung der Verantwortlichkeiten **46**, **68**
Norm SIA 160 23, 28, 31, 37, 40
Norm SIA 462 **42**, **68**
Normenverantwortliche *28*, *32*, *33*, *38*, *42*, *44*, *46*, *48*, *49*
Normenwesen 36
Durchsetzung der Erdbebenbestimmungen **39**, **68**
Durchsetzung der Norm SIA 462 **42**, **68**
Erdbebensicherung bestehender Gebäude **38**, **67**
Erdbebenverletzlichkeit von Brücken **44**, **75**
Finanzierung der Erdbebennormung **37**, **67**
Massnahmen 67
Verantwortlichkeiten bezüglich Installationen und Einrichtungen **48**, **68**
Verantwortlichkeiten bezüglich nichttragenden Bauteilen **46**, **68**
Notreparaturen **51**, **72**
Nuklearanlagen
Aktualisierung der seismologischen Untersuchungen **53**, **71**
Betreiber von *54*
Bisherige Massnahmen 22
Eigentümer von *54*
Erdbebenauslegung der Endlager **53**, **68**
Erdbeben-Messdaten **53**, **75**
Erdbebensicherung von 52, 56
Erhaltung des Know-hows **53**, **72**
Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle *54*
Nutzen-Kosten-Verhältnis 65

O

Objektspezifische Massnahmen 65, 69
Öffentliche Bauherren *38*, *40*, *42*, *46*, *48*, *58*, 82
Öffentliche Eigentümer *42*

P

Paläoseismologische Untersuchungen **28**, **74**
Politische Parteien *36*
Private *58*
Private Bauherren *40*, *42*, *46*, *48*
Private Eigentümer *42*
Private Forschungsförderungsstellen *56*
Produktionsausfälle **48**, **70**
Versicherung für **64**, **69**

R

Rat der Eidgenössischen Technischen Hochschulen *56*, *58*, *59*
Rechtsgrundlagen 35
Für das NAPER **36**, **67**
Für die Informationsbeschaffung **62**, **69**
Für Erdbebenbestimmungen zum Kulturgüterschutz **45**, **68**
Massnahmen 67
Motion Schmidhalter 89
Zur Vorsorge gegen Naturgefahren 78
Regeln der Baukunde 35
Reparaturequippen 62
Repräsentativbauten 44
Rettungsformationen **62**, **73**
Rettungswesen 61
Rohrleitungsbrücken 42

S

Sachversicherer *63*, *64*
Sanierungsfristen
  Erlass von **36**, **67**
Schadenpotential
  Bauwerke mit besonderem 23
  Erdbebenversicherung für besonderes 64
  Von chemischen Anlagen **49**
  Von nichttragenden Bauteilen 45
  Von Nuklearanlagen 52
Schlösser 44
Schränke 47
Schulleitungen der Eidgenössischen Technischen
  Hochschulen *56*, *58*, *59*
Schutzmassnahmen
  Aufwendungen der öffentlichen Hand 22
Schutzziele 24
Schweizerische Geophysikalische Kommission *29*
Schweizerische Vereinigung für Atomenergie *54*
Schweizerischer Erdbebendienst *28*, *29*, *30*, *32*
Schweizerischer Nationalfonds *56*, *58*
Schweizerischer Pool für Erdbebendeckung 63
Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren *52*
Seismische Erschütterungen 29
Seismische Gefährdung 27
Seismotektonik 28
Sensibilisierung siehe Ausbildung
Sicherheitserdbeben 22, 52, 53
Sicherheitsverantwortliche der Industrie **49**, **72**
Simulationsverfahren **32**, **74**
Spitäler 50
Standort siehe Einfluss des Standortes
Standortspezifisches Antwortspektrum 31
Starkbeben-Messgerätenetz
  Ausrüstung typischer Bauwerke **33**, **75**
  Erweiterung bei Talsperren **52**, **75**
  Freifeld-Starkbebenmessgeräte **32**, **75**
Stockwerk-Antwortspektren 47
Strassenbrücken 42

T

Talsperren
  Betreiber von *52*
  Computerprogramme für die Simulation **52**, 54, **75**
  Eigentümer von 52
  Erdbebensanierung von **52**, **71**
  Erdbebensicherung von 51, 56
  Erweiterung des Starkbeben-Messgerätenetzes **52**, **75**
  Schweizerisches Nationalkomitee für Grosse Talsperren *52*
  Sektion Talsperren siehe Bundesamt für Wasserwirtschaft, Sektion Talsperren
Tektonik 28
Telekommunikationsnetze
  siehe auch Lifelines
  Betreiber von *51*, *63*
  Eigentümer von *51*, *63*
  Einrichtungen der 50
Topographie **32**, **71**
Treppenelemente 45

U

Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis **57**, **76**
  Computerprogramme **52**, 54, **75**
  Finanzierung von praktischen Beispielen **57**, **72**
  Förderung des Praxisbezuges **57**, **76**
Unterdecken 45

V

Verbale Beurteilung 66
Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke *52*, *54*
Versicherung siehe Erdbebenversicherung

W

Wehre 51
Weiteres Vorgehen 77
Werke der Versorgung und Entsorgung
  siehe auch Lifelines
  Betreiber von *51*, *63*
  Eigentümer von *51*, *63*
Werkeigentümerhaftung 35
Wiederkehrperiode 22, 82
Wohnbauten 40

Z

Zeithorizont der Realisierung 65
Zentralstelle für Gesamtverteidigung *62*
Ziele des Erdbebenschutzes 22
Zwischenwände 45

10 Anhänge

10.1 Motion Schmidhalter “Gesetzgebung betreffend Erdbebensicherheit”

Am 22.6.1995 hatte Nationalrat Paul Schmidhalter (CVP, VS) die Motion 95.3314 “Gesetzgebung betreffend Erdbebensicherheit” mit folgendem Text eingereicht: “Der Bundesrat wird eingeladen, dem Parlament eine Gesetzgebung betreffend Erdbebensicherheit zu unterbreiten”. Einziger Mitunterzeichner war Nationalrat Simon Epiney (CVP, VS).

In der Begründung der Motion wurden umgehend Massnahmen in folgenden Bereichen verlangt:

1. Massnahmen zum Katastrophenmanagment
   - Systematische Überprüfung und Verbesserung der organisatorischen Vorbereitungen für den Katastrophenfall Erdbeben.
   - Systematische Information der Öffentlichkeit zum Verhalten vor, während und nach einem Erdbeben.
   - Bildung interkantonaler Führungsstäbe mit nationaler Koordination.
   - Schaffung eines Einsatzfonds für Ereignisanalysen im In- und Ausland.

2. Bauliche Massnahmen
   - Systematische Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke und Anlageteile nach Dringlichkeitsgruppen.
   - Verstärkung von Bauwerken mit ungenügender Sicherheit.
   - Unterstützung der Normenarbeit.
   - Intensivierung von Forschung, Lehre und Weiterbildung.

3. Versicherungstechnische Massnahmen
   - Einführung einer Erdbebenversicherung mit Prämienabstufung.

4. Raumplanerische Massnahmen
   - Raumplanerische Massnahmen für Bauwerksklassen II und III.
   - Umfassender Einbezug des Untergrundes in die Bemessung der Bauwerke gegen Erdbeben

5. Gesellschaftspolitische Massnahmen
   - Erarbeitung eines “Erdbeben-Masterplans” als Grundlage für die Prioritätensetzung bei den Massnahmen.
   - Schaffung eines nationalen “Koordinationsgremiums Naturgefahren” (Forschung, Lehre, Politik, Behörden, Planung, Bau, Katastrophenmanagement, Versicherer usw.).

Der Vorstoss wurde am 21.12.1995 noch vor der Behandlung im Nationalrat abgeschrieben, da der Urheber der Motion aus dem Rat ausgeschieden war.

10.2 Bildautoren

Bildarchiv des SED:
Bild 7.

Dazio Alessandro:
Bild 16.

Grünthal Gottfried:
Bild 5.

Lenhardt Wolfgang:
Bild 5.

Mayer-Rosa Dieter:
Bild 5.

Pavoni Nazario:
Bild 6.

Wenk Thomas:
Bilder 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27 und 28.

Wetterwald Viktor:
Bild 22.

Yamada Kentaro:
Bild 9.

10.3 Verfasser

Bachmann Hugo
Prof. Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing. ETH
Professor für Baustatik und Konstruktion
Gruppe Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen
Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK)
ETH Zürich, Hönggerberg, 8093 Zürich

Darbre Georges R.
Ph. D., Dipl. Bau-Ing. ETH
Wissenschaftlicher Adjunkt
Sektion Talsperren
Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW)
Ländtestrasse 20, 2001 Biel

Deichmann Nicolas
Dr. sc. nat., Dipl. Natw. ETH
Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Lehrbeauftragter für Seismotektonik
Schweizerischer Erdbebendienst (SED)
Institut für Geophysik
ETH Zürich, Hönggerberg, 8093 Zürich

Koller Martin G.
Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing. ETH
Beratender Ingenieur für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik
Résonance Ingénieurs-Conseils SA
Rue Jacques Grosselin 21, 1227 Carouge

Studer Jost
Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing. ETH
Lehrbeauftragter für Bodendynamik an der ETH Zürich
Beratender Ingenieur für die Sicherung von Bauwerken gegen Naturgefahren
Studer Engineering
Thujastrasse 4, 8038 Zürich

Tinic Sener
Dipl. Bau-Ing. TU Istanbul
Leiterin des Ressorts Spezielle Berechnungen, Umwelt, Sicherheit, Ökonomie der Direktion Technik
Nordostschweizerische Kraftwerke (NOK)
Parkstrasse 23, 5401 Baden

Tissières Pascal
Dr. sc., ing. civ. dipl. EPF
Bureau d'ingénieurs P. Tissières
Rue du Grand-Verger 1, 1920 Martigny

Wenk Thomas
Dipl. Bau-Ing. ETH
Oberassistent und Lehrbeauftragter für die Erdbebensicherung von Bauwerken
Gruppe Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen
Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK)
ETH Zürich, Hönggerberg, 8093 Zürich

Wieland Martin
Dr. sc. techn., Dipl. Bau-Ing. ETH
Fachexperte Baudynamik
Electrowatt Engineering AG
Bellerivestrasse 36, 8034 Zürich

Zwicky Peter
Dipl. Bau-Ing. ETH
Projektleiter und Fachexperte im Bereich Sicherheit
Basler & Hofmann, Ingenieure + Planer AG
Forchstrasse 395, 8029 Zürich