

# Entwicklungstendenzen im baulichen Erdbebenschutz: Bericht über ein Seminar an der ETH Zürich (9./10. August)

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: Article

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Band (Jahr): 97 (1979)

Heft 49

PDF erstellt am: 24.04.2024

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85592>

## Nutzungsbedingungen

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

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

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

## Haftungsausschluss

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

# Entwicklungstendenzen im baulichen Erdbebenschutz

## Bericht über ein Seminar an der ETH Zürich (9./10. August)

### Zusammenfassung, Folgerungen

Das Ziel des Seminars bestand darin, einer zukünftigen, schweizerischen Erdbebenvorschrift grundlegende und wegweisende Impulse zu vermitteln. Die Reaktionen aus Teilnehmer- und Referentenkreisen zeigten, dass die in das Seminar gesteckten Erwartungen erfüllt wurden. Die intensiv geführten Diskussionen gestatteten es, die Bereiche abzugrenzen, wo übereinstimmende Auffassungen bestehen. Sie zeigten aber auch grundsätzliche Fragen auf, bei denen auch führende Erdbebenfachleute keine eindeutige Antwort geben können oder bei denen die Meinungen stark auseinandergehen.

Übereinstimmend wurde die Auffassung vertreten, dass die Schweiz im internationalen Vergleich ein Erdbebenrisiko aufweist, das gezielte Schutzmassnahmen rechtfertigt. Aus wirtschaftlichen Gründen werden die Anforderungen an den Erdbebenschutz nicht gleichförmig alle Bauwerke erfassen. Die Vorschriften haben den sehr unterschiedlichen, direkten und indirekten Folgen von Bauwerkschäden bei Erdbeben Rechnung zu tragen. Dementsprechend werden einzelne Bauwerke selbst während und nach starken Beben voll funktionsfähig bleiben müssen, andere sollten reduziert funktionsfähig bleiben, und bei einer Kategorie von Bauwerken wird selbst der Einsturz toleriert werden können.

Die Diskussion ergab keine eindeutige Ansicht zur Frage, ob der unterschiedlichen Seismizität der Schweiz mit verschiedenen

Erdbebenzonen Rechnung getragen werden soll. Bei Gebäudetypen, die nicht besonders gegen Erdbeben geschützt werden sollen oder können, ist diese Frage ohnehin belanglos. Dabei darf nicht ausser acht gelassen werden, dass bis auf weiteres der überwiegende Anteil des Bebenrisikos aus der bestehenden Bausubstanz stammen wird, die nur beschränkt an verschärfte Vorschriften angepasst werden kann. Bei den im Sinne des Erdbebenschutzes bedeutungsvollen Bauwerken wird heute schon das seismische Risiko des Standortes zusammen mit den lokalen Baugrundeigenschaften, seismotektonischen und topographischen Gegebenheiten berücksichtigt. Ob sich in der Schweiz für die übrigen Bauwerktypen eine seismische Zonierung rechtfertigt, dürfte unter anderem von den Dimensionierungsmethoden abhängen, die dafür von den Vorschriften vorgesehen werden. Je nach Gebäudetyp dürfte als Dimensionierungsmethode das Ersatzlastverfahren oder das Verfahren der Antwortspektren zur Anwendung kommen. Dazu bleiben aber Empfehlungen für Entwurf und erdbebengerechte Detailausbildung in den Vorschriften nach wie vor erforderlich. Damit wird ohne weitere Massnahmen und zusätzliche Kosten das Verhalten während Erdbeben ganz beträchtlich verbessert. Diese ergänzenden Empfehlungen werden unter anderem auch das Verhalten der nichttragenden Elemente und Installationen berücksichtigen.

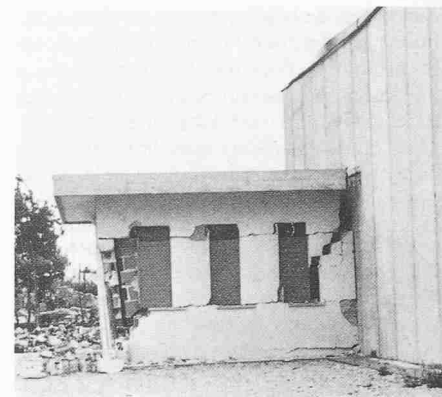
### Resumé, conclusions

Le but du séminaire était d'ouvrir des perspectives et de donner à une prescription suisse future sur les tremblements de terre une impulsion fondamentale. Les réactions des participants et des conférenciers ont montré que les espoirs placés dans ce séminaire n'ont pas été déçus. Des discussions intenses ont permis de limiter les domaines où des conceptions concordantes existent. Elles ont cependant aussi révélé des questions fondamentales auxquelles même d'éminents spécialistes des tremblements de terre ne peuvent donner une réponse nette ou sur lesquelles les avis divergent fortement.

A l'unanimité on a soutenu la thèse que la Suisse comparée aux autres pays possède un risque de tremblement de terre qui justifie des mesures de protection spécifiques. Pour des raisons économiques, les exigences pour la protection contre les tremblements de terre ne concerneront pas tous les bâtiments de la même façon. Les prescriptions doivent tenir compte des suites très variées, directes et indirectes des dégâts aux constructions en cas de tremblement de terre. C'est ainsi même que certaines constructions doivent rester pendant et après de forts tremblements de terre totalement capables de fonctionner, d'autres doivent le rester d'une manière ré-

duite et dans une catégorie de construction on pourra même tolérer la ruine.

La discussion n'a pas donné un point de vue clair sur la question de savoir si l'on doit te-



Schäden an einer Lagerhalle in Gemona als Folge des Friaul-Erdbebens vom 6. Mai 1976. Das Dach des Anbaues wurde durch die anprallende Lagerhallenwand weggedrückt. Der Schaden wäre durch eine genügend breite Fuge zwischen Halle und Anbau vermeidbar gewesen

Wichtige Infrastrukturanlagen wie Wasserversorgung, Pflichtlager, Elektrizitätsversorgung, Rohrleitungen für Energieträger, Telefon etc. sind im Blick auf das Verhalten im Katastrophenfall zu untersuchen. Bei solchen Anlagen gilt es nicht, sämtliche Schäden bei einem starken Erdbeben zu vermeiden – was ohnehin kaum möglich sein dürfte – sondern nach dem Beben noch ein einigermaßen funktionierendes und rasch reparierbares Versorgungssystem zu besitzen.

Die erste und wichtigste Aufgabe der Verfasser einer neuen Erdbebenvorschrift wird darin bestehen, das bei Erdbeben in der Schweiz zu erwartende Schadenbild zu analysieren. Dabei müssen vor allem die Primärschäden und die Folgeschäden auseinandergehalten werden. Aus den Ergebnissen dieser Analyse und der Festlegung eines akzeptablen Schadens lassen sich die Schutzmassnahmen ableiten. Die vorgeschlagenen Massnahmen sind unbedingt auf ihre Wirksamkeit und wirtschaftlichen Folgen zu überprüfen.



Schäden an einer Lagerhalle in Magnano als Folge des Friaul-Erdbebens vom 6. Mai 1976. Das äusserste Dachsegment ist vollständig heruntergestürzt. Der zweite Dreigelenkbogen fiel nur bis auf den Längsträger hinunter. Der Schaden ist primär durch die knappen Auflager der Dachelemente bedingt

nir compte de la sismicité non uniforme de la Suisse par des zones de tremblements de terre différentes. Pour les constructions qui ne doivent ou ne peuvent pas être spécialement protégées contre les tremblements de terre, la question est d'ailleurs sans importance. Ici on ne doit pas oublier que jusqu'à nouvel ordre la majeure partie du risque de tremblements de terre viendra des constructions déjà existantes qui ne peuvent être adaptées que d'une manière limitée à des prescriptions plus sévères. Dans les constructions très importantes (dans le sens de la protection contre les tremblements de terre) on considère déjà aujourd'hui le risque sismique du site avec les propriétés locales du sol et les données sismotectoniques et topographiques. Le fait de savoir si une division en zones de la Suisse se justifie pour les autres types de constructions, dépend entre autre des méthodes de dimensionnement que seront pré-

vues à cet effet par les prescriptions. Selon le type de bâtiment on devrait employer comme méthode de dimensionnement le procédé de la charge de remplacement ou le procédé des spectres de réponse. Les recommandations pour le projet et une conception des détails adaptée aux tremblements de terre restent nécessaires comme auparavant. Le comportement durant les tremblements de terre est ainsi sans mesures supplémentaires et sans coûts additionnels très sensiblement amélioré. Ces recommandations complémentaires considéreront aussi entre autre le comportement des éléments non porteurs et des installations.

Les ouvrages d'infrastructure importants tels que alimentation en eau, alimentation en électricité, stocks obligatoires, canalisations pour porteurs d'énergie, téléphone etc., doivent être examinés au point de vue du comportement en cas de catastrophe. Pour ces in-

stallations, il ne s'agit pas d'éviter tout dommage lors d'un fort tremblement de terre. Ce qui d'ailleurs devrait à peine être possible – mais de posséder encore après le séisme un système d'approvisionnement qui fonctionne tant soit peu et qui soit rapidement réparable.

Le premier et le plus important devoir des rédacteurs d'une nouvelle prescription sur les tremblements de terre consistera à analyser la carte des dommages à attendre en Suisse en cas de tremblements de terre. Il s'agira avant tout de distinguer les dommages primaires et les dommages secondaires. Des mesures de protection se laissent déduire les résultats de cette analyse et la définition d'un dommage acceptable. Les mesures proposées doivent être examinées de toute façon quant à leur efficacité et à leurs conséquences économiques.

### Summary, conclusions

The aim of the seminar was to give some basic input to the work of formulating a new Swiss earthquake regulation. The reactions of the participants and lecturers showed that the expectations of the organizers were, on the whole, fulfilled. The intensive discussion sessions enabled those areas to be defined, in which considerable agreement had been reached.

They also showed, however, that there are some basic questions, which, even among leading earthquake specialists, still have to be resolved, as either there is no clear-cut answer or opinions differ somewhat.

One outcome of the seminar is the general agreement that Switzerland possesses a high enough earthquake risk, making comparisons on an international basis, to warrant special anti-seismic measures. For socio-economic reasons not all structures will be subject to the same safety requirements. The regulation must take account of the very different direct or indirect consequences of failure. Thus some structures will have to remain completely functional, both during and after a strong earthquake, others with reduced functional capacity, while in some cases even collapse could be tolerated.

The discussions were unanimous concerning the question as to whether Switzerland should be divided up into different seismic zones due to its varying regional seismicity. For structures that do not need to be protected this question is of no consequence, whereby it should not be forgotten, however, that the major part of the earthquake risk concerns older structures, which can only be partly adapted to conform to a stricter earthquake regulation. For structures requiring earthquake resistance, already, today, the seismic risk of the site together with local soil conditions and topographical features is considered. Whether, in Switzerland, the remaining categories of structures justify seismic zoning will depend partly upon the design method adopted in the forthcoming code. According to structural type either the equivalent lateral force procedure or the response spectrum method might be implemented. In addition, recommendations for the structural layout and the design of con-

structional details adequate for earthquake loading would still have to be included in the code. Without involving substantial increases in cost the latter could vastly improve the performance of the structure during strong earthquakes. These further recommendations would also, amongst other things of necessity, include the performance of nonstructural elements and installations. Important parts of the infrastructure, such as water and electricity supply, energy pipelines, telephone services, etc., have to be investigated for their vulnerability in the case of a catastrophe. For these systems it may not be necessary to avoid total damage – which may be impossible anyway – so long as they do not suffer a complete dislocation of services and can be easily repaired afterwards.

wards.

One of the most important jobs facing the authors of a new earthquake regulation would be to analyse in detail the nature and extent of the expected damage in Switzerland, whereby primary and secondary damages would have to be clearly differentiated. On the basis of the results of such studies it would be possible to choose the necessary degree of earthquake resistance appropriate to an acceptable level of damage. The regional distribution of damage potential must be considered on a geographical basis in conjunction with the regional seismicity. The proposed measures for earthquake resistant design must be further studied in relation to their effectiveness and economic consequences for the country.



Schäden an einem Wohn- und Geschäftshaus bei Artegna als Folge des Friaul-Erdbebens vom 6. Mai 1976. Die zwei oberen Stockwerke haben sich gegenüber dem untern um das Treppenhaus verdreht (maximale Verschiebung 35 cm). Während die oberen Stockwerke unbeschädigt blieben, ist das Erdgeschoss stark beschädigt. Der Schaden ist durch die geringere Steifigkeit im Erdgeschoss gegenüber der in den beiden höheren Stockwerken bedingt

## Ausgangslage

Seit dem Jahre 1970 werden in der Schweiz Erdbebenkräfte bei der Bemessung von Hochbauten berücksichtigt. Die Bemessung stützt sich dabei auf die Norm SIA 160, Ausgabe 1970 [1], die in ihrem Art. 22 ein *sich stark an entsprechende amerikanische Vorschriften anlehnendes Verfahren vorschreibt*. Schon kurz nach der Einführung zeigte es sich, dass die neu hinzugekommene Belastung einen kaum merklichen Einfluss auf die dafür berechneten Bauwerke zu nehmen vermochte. Insbesondere wurde klar, dass ein mit statischen Ersatzlasten arbeitendes Verfahren dem wirklichen Verhalten von Bauwerken nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen annähernd Rechnung zu tragen vermag. Die im Jahre 1975 veröffentlichten *Empfehlungen* [2] stellen einen Versuch dar, diese Voraussetzungen in der Form von Kriterien für den Entwurf, die Berechnung und die Konstruktion erdbebensicherer Bauwerke zu umschreiben. Es bestand jedoch nie die Absicht, mit dieser nützlichen Ergänzung das Bedürfnis nach einer vollständigen Neubearbeitung der Erdbebenvorschrift aus dem Jahre 1970 aus dem Wege zu räumen. Die für Erdbebenfragen zuständige Arbeitsgruppe der SIA-Kommission 160 führte deshalb auch nach dem Erscheinen dieser Empfeh-

lung ihre *Überarbeitungstätigkeit* zielstrebig weiter.

Die Erforschung der Erdbebenwirkungen hat in den vergangenen zehn Jahren weltweit eine ungeahnte Entwicklung sowohl nach der Tiefe als auch in der Breite erfahren. Auch die Ingenieure in Ländern mit bescheidenem seismischem Risiko haben sich mit diesem Phänomen auseinandersetzen müssen, wenn sie im *internationalen Dienstleistungsmarkt konkurrenzfähig* bleiben wollten. Der damit verbundene Zuwachs an Kenntnissen und Erfahrungen hat in den letzten Jahren in vielen Ländern zu einer vollkommen neuen Einschätzung dieser unberechenbaren Naturgewalt geführt. In der Schweiz ist diese Neueinschätzung in der Form von *Erdbebenrisikokarten* [3] festgehalten worden, die für alle auf diesem Gebiet zu treffenden Entscheide eine solide Grundlage darstellen wird. Als weitere Folge der zunehmenden Aktualität von Erdbeben wurden kurz hintereinander das *Schweizerische Nationalkomitee für Erdbebeningenieurwesen* (SNEI) und die *Fachgruppe für Erdbebeningenieurwesen* (FEE) der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (ETHZ) gegründet. Beide Organisationen haben sich zusammen mit dem *Schweizerischen Nationalkomitee für Grosse Tal-*

*sperren* (SNGT) zum Ziel gesetzt, mit der Organisation eines Seminars über Grundsatzfragen in der Gestaltung von Erdbebenvorschriften einen Beitrag an die *Revision* der bestehenden schweizerischen Erdbebenvorschrift zu leisten. Tausende von Wissenschaftlern in allen Teilen der Erde, insbesondere Seismologen, Geologen und Ingenieure, entwickeln Massnahmen, um die zerstörenden Wirkungen von Erdbeben zu lindern. Im Bereiche des *baulichen Erdbebenschutzes* werden dabei die folgenden *Fragen* beantwortet werden müssen:

- Welche Bauwerke sollen geschützt werden?
- Welcher Grad des Erdbebenschutzes soll in die Bauwerke eingebaut werden?
- Wie soll der verlangte Schutzgrad verwirklicht werden?

Jede dieser drei Fragen spricht einen derart grossen und komplexen Problembereich an, dass es sich kaum ein Land leisten kann, sich ohne einen intensiven und internationalen Gedankenaustausch an die Antworten heranzuarbeiten. Das eingangs erwähnte Seminar, über dessen Resultate im vorliegenden Artikel zusammenfassend berichtet werden soll, bezweckte gerade diesen *internationalen Gedankenaustausch führender Erdbebenfachleute*.

## Konzept und Aufbau

Ursprünglich war eine zweitägige geschlossene Arbeitstagung geplant, in der etwa 20 schweizerische Fachleute mit drei bis vier ausländischen Experten Probleme einer neuen schweizerischen Erdbebenvorschrift diskutieren sollten. Um ein möglichst effizientes Arbeitsklima zu schaffen, wurde auf formelle Aspekte wie Manuskripte oder Proceedings verzichtet. Damit den ausländischen Experten eine aktive Teilnahme in den Diskussionen möglich war, wurde Englisch als Arbeitssprache gewählt. In den Vorträgen sollten vor allem die ausländischen Experten ihre Gesichtspunkte vertreten können. Der schweizerische Standpunkt war nur so weit vorzutragen, wie er als Grundlage für die Diskussionen im zweiten Teil notwendig war. Es galt, in den zwei Arbeitstagen so viele ausländische Meinungen wie möglich zur Schaffung der neuen schweizerischen Erdbebennormen zu erhalten. Auf Grund der unerwartet grossen Zahl von Zusagen ausländischer Experten und des grossen Kreises von schweizerischen Interessenten wurde beschlossen, die Tagung öffentlich zu gestalten, aber den infor-

mellen Charakter weiterhin beizubehalten. So nahmen an der Tagung sechs ausländische Experten und 150 Teilnehmer – grösstenteils aus der Schweiz – teil.

Das *Patronat* und die *finanzielle Absicherung* wurden von drei Organisationen übernommen. Die Federführung lag bei der *Fachgruppe der ETHZ für Erdbebeningenieurwesen* (FEE). Sie ist ein Koordinationsorgan, das Lehre, Forschung und Dienstleistung innerhalb der ETHZ im Gebiete des Erdbebeningenieurwesens koordiniert. Bei der zweiten Trägerschaft handelt es sich um das *Schweizerische Nationalkomitee für Erdbebeningenieurwesen* (SNEI), einer *technischen Delegation der Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau (FBH) des SIA*. Als dritte Trägerschaft trat das *Schweizerische Nationalkomitee für Grosse Talsperren* (SNGT) auf. Diese Gruppierung ist wegen der Bedeutung der Talsperren an seismischen *Sicherheitsfragen* stark interessiert und hat eine eigene, entsprechende Arbeitsgruppe.

Das *Organisationskomitee* bestand aus Vertretern dieser drei Organisationen,

nämlich Dr. J. Studer (FEE, SNEI), Präsident, und den Mitgliedern Prof. M. Derron (SNEI), Dr. B. Gilg (SNGT), Dr. E. Glauser (SNEI), Dr. D. Mayer-Rosa (FEE) und Dr. M. Wieland (FEE, SNGT).

Der erste Tag, der für Referate reserviert war, diente der *Grundlagenbeschaffung* für die Diskussion des zweiten Tages. Die Themen der Referate waren mit den einzelnen Referenten festgelegt worden. Für den zweiten Tag erarbeitete das Organisationskomitee einen *Diskussions- und Fragenkatalog*, der sowohl den Referenten als auch den übrigen Teilnehmern vorgängig zugestellt wurde. In drei aufeinanderfolgenden Sessionen wurde versucht, die vorbereiteten Fragen zu beantworten. Als Vorsitzende, Berichterstatter und Panelisten der Session stellte sich eine grosse Zahl von Ingenieuren und Wissenschaftlern spontan zur Verfügung. Der am zweiten Tag bearbeitete Problemkreis wurde bewusst in seiner vollen Breite erfasst. Dabei wurden auch Probleme diskutiert, die später technisch nicht in eine SIA-Norm aufzunehmen sind oder nicht in die Zuständigkeit einer SIA-Norm fallen.

Die Eröffnung durch den Vertreter der



Schulleitung der ETHZ, Dr. E. Freitag, unterstrich die Bedeutung des Seminars. In seiner Eröffnungsansprache wies er auf die Aufgabe und Tradition der ETH

bei der Integration neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in praxisgerechte Lösungen hin. Der Einbezug ausländischer Erfahrung liegt ebenfalls in der besten Tradition der ETH.

Im folgenden Abschnitt «Internationaler Stand der Kenntnis im baulichen Erdbebenschutz» ist der Inhalt der am Donnerstag, 9. Aug. 1979, gehaltenen Referate zusammengefasst.

## Internationaler Stand der Kenntnis im baulichen Erdbebenschutz



### Ingenieurseismologie

N.N. Ambraseys ist Professor für Ingenieurseismologie an der Universität von London, Imperial College. Er ist unter anderem Mitglied der Royal Society und Gründungsmitglied der Europäischen Vereinigung für Erdbebeningenieurwesen (EAEE). Ambraseys hat sich in den vergangenen Jahren im Auftrag der Vereinten Nationen und der UNESCO an mehr als 20 Expeditionen zur Aufnahme und Erforschung von Erdbebenschäden beteiligt. Die Resultate dieser Untersuchungen wurden in ausführlichen Berichten festgehalten. Ambraseys verfügt deshalb über umfassende Kenntnisse der Wirkung von Erdbeben.

Erdbeben können vernichtende Schäden an den empfindlichen technischen, wirtschaftlichen und sozialen Strukturen der heutigen Gesellschaft verursachen. Wenn es dem Menschen auch kaum je möglich sein wird, diese zu verhindern, so kann er doch versuchen, ihre zerstörenden Auswirkungen möglichst klein zu halten. Die Probleme, die damit verbunden sind, fallen in den Tätigkeitsbereich des Ingenieurseismologen. Die generelle Problematik wird in [4], [5] und [6] umschrieben.

### Seismisches Risiko

Das seismische Risiko  $R$  kann im Sinne eines Schadenerwartungswertes als Produkt aus der Anzahl der der Gefährdung unterworfenen Elemente  $ER$  (elements of risk), dem Empfindlichkeitswert  $V$  (vulnerability) und der Gefährdung  $H$  (hazard) formuliert werden:

$$R = (ER) \cdot (V) \cdot (H)$$

Die Empfindlichkeit bezeichnet somit die mögliche Wertverminderung eines Elementes verursacht durch ein Erdbeben einer bestimmten Magnitude. Die Gefährdung beschreibt die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens in einem bestimmten Gebiet innerhalb eines gegebenen Zeitraumes.

Wird den Risikoelementen  $ER$  ein deterministischer Wert zugeschrieben, so bezeichnet das Risiko den zu erwartenden Schaden z.B. in Form von Verlusten an Menschenleben, zerstörter Habe, veränderter ökonomischer Aktivität usw. Eine nähere Umschreibung und Wertzuordnung der der Gefähr-

dung unterworfenen Objekte ist Aufgabe der Ökonomen, Planer und Versicherungsfachleute.

### Seismische Gefährdung

Der Begriff umfasst die Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbeben in einem bestimmten Gebiet in Abhängigkeit von der Herddistanz. Vier Fragen müssen dazu gestellt werden:

1. Handelt es sich um eine Region mit niedriger, mittlerer oder hoher seismischer Aktivität?
2. Welches ist der wahrscheinliche Herdmechanismus?
3. Welches Abminderungsgesetz kommt für die Wellenausbreitung zwischen Herd und Standort zur Anwendung?
4. Welches ist der Einfluss des lokalen Untergrundes sowie der Wechselwirkung zwischen Boden und Gebäudestruktur?

Die Auftretenshäufigkeit eines Erdbebens einer bestimmten Epizentralintensität oder Magnitude wird oft in einem Ausdruck der Form

$$\log N = a - b \cdot M$$

dargestellt.  $N$  ist dabei die Summenhäufigkeit aller Ereignisse in einem bestimmten Gebiet, die eine vorgegebene Magnitude  $M$  überschreiten;  $a$  und  $b$  sind regionale Parameter. Die Häufigkeits-Magnitudenbeziehung vereinfacht eine Reihe komplexer Zusammenhänge, die dem nicht spezialisierten Ingenieur oft zuwenig bewusst sind. Diese Probleme sollen im folgenden behandelt werden.

### Magnituden-Problematik

Ist unter der verwendeten Magnitude die lokale Magnitude  $M_L$ , die Raumwellenmagnitude  $m_B$ , die Oberflächenwellenmagnitude  $M_s$  zu verstehen, oder handelt es sich gar um Raumwellenmagnituden, berechnet aus der Oberflächenwellenmagnitude oder umgekehrt? Da alle diese Wellenarten ihre Energie in verschiedenen Frequenzbändern besitzen, kann Unklarheit in diesem Punkt zu Fehlinterpretationen führen. Zudem besteht im allgemeinen kein direkter, rechnerischer Zusammenhang zwischen  $M_{L,s}$  und  $m_B$ . Es ist auch wichtig zu wissen, ob es sich um Erdbeben mit grossem oder kleinem Spannungsabbau handelt.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass das Magnitudenkonzept verhältnismässig neu ist. Akzeptiert wurde es in den späten Vierzigerjahren. Erst seit damals wurden von einer Anzahl Stationen Registrierungen im Blick auf Magnitudenberechnungen vorgenommen. Sie basierten auf der empirischen Formel (von Gutenberg und Richter)

$$M = \log A - \log A_0$$

Darin bedeuten  $A$  die Bodenbewegung und  $A_0$  ein entfernungsabhängiger Korrekturfaktor.

Seit dem Jahre 1963 werden von einer Mehrzahl von Stationen einheitlich berechnete Magnitudenwerte ermittelt.

Ein weiteres Problem besteht in der Definition kleiner Magnituden, da insbesondere bei Raumwellen und kleinen Epizentralentfernungen der Abminderungskoeffizient stark variieren kann.

Wie sollen überdies die historischen, auf makroseismischen Beobachtungen beruhenden Beben in die Statistik aufgenommen werden? Möglichst viele dieser Daten sollen ja verwendet werden, um eine aussagekräftige Häufigkeits-Magnitudenbeziehung zu finden.

### Erfasster Flächenbereich

Es ist von Bedeutung, auf welchen Flächenbereich die statistischen Daten bezogen werden. Handelt es sich um Gebiete der Dimension von Lithosphärenplatten, sind die Daten auf den Bereich

von Untersuchungen bezogen, oder handelt es sich um kleinere Gebiete z.B. vom Ausmass potentieller Standorte? Man findet unterschiedliche Häufigkeits-Magnituden-Beziehungen, wenn beispielsweise die Verteilung für ein grösseres Gebiet durch Zusammenfassen mehrerer kleiner, aber seismisch unterschiedlicher Regionen zustandekommt (Bild 1).

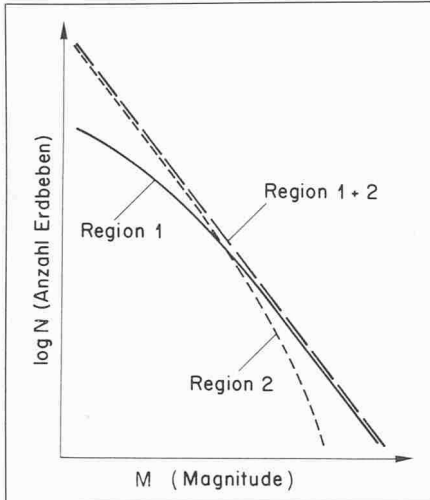


Bild 1. Datenerfassungsregionen, Änderung der Magnitudenverteilung beim Zusammenfassen von Regionen mit unterschiedlicher seismischer Aktivität

## Erfasster Zeitraum

Der Zeitraum, für den die Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmt werden soll, ist wesentlich für den Verlauf der Häufigkeits-Magnituden-Beziehung. Je nachdem, ob es sich um Jahrhunderte (konventionelle Zeitspanne), um Jahrzehnte oder um Monate (für Nachbarbeben charakteristische Zeitspanne) handelt, können ganz verschiedene Kurvenformen auftreten (Bild 2). Die üb-

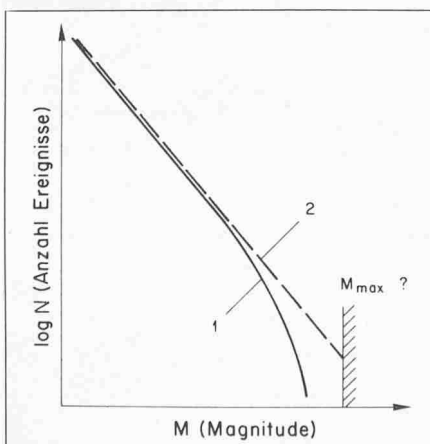


Bild 2. Datenerfassungszeiträume. Lineare (2) und quadratische (1) Magnitudenverteilung

lichste Form ist dabei eine Gerade, aber auch quadratische Verteilungen sind in verschiedenen Gebieten der Erde beobachtet worden. Die zeitliche Stabilität der statistisch erfassten Parameter wird bei langer Beobachtungsdauer besser. Dies ist von besonderer Bedeutung bei

der Dimensionierung von Kernkraftwerken, wo man vor allem auch an kleinen Auftretenswahrscheinlichkeiten interessiert ist, die aber nur dann genügend sicher bestimmt werden können, wenn die Statistik eine möglichst lange Beobachtungszeit (Hunderte von Jahren) umfasst.

## Zeitliche Änderung der Aktivität

Es ist bekannt, dass sich die mittlere seismische Aktivität in einem Gebiet, beispielsweise entlang tektonischer Störungen, sprunghaft ändern kann (Bild 3). Mit dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial sind jedoch diesbezüglich heute noch keine zuverlässigen Voraussagen möglich. Eine gewisse Ausnahme bilden die Gebiete, wo die vorhandenen Erdbebendaten einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren umfassen. Änderungen der seismischen Aktivität über Jahrtausende hinweg sind allerdings nur noch mit anderen Untersuchungsmethoden (z.B. Seismo-Archäologie) feststellbar. Auch die Magnitude des maximal möglichen Erdbebens kann über die mögliche oder beobachtete Bruchlänge von tektonischen Verwerfungen ermittelt werden.

In der Schweiz ist die historische Seismizität gut dokumentiert. Intensität und Magnitude von historischen Beben sind weitgehend bestimmt worden. Auch in anderen europäischen Ländern sind entsprechende Untersuchungen durchgeführt worden. Bei derartigen Datenmaterial ist zu beachten, dass die Epizentren der meisten bedeutenden, historischen Beben in Europa falsch lokalisiert sind. In der Türkei sind z.B. Abweichungen in der Grössenordnung von 10 bis 100 km festgestellt worden. Eine genaue nachträgliche Epizentralbestimmung ist heute meist nicht mehr möglich. Aufgrund der makroseismischen Angaben lässt sich das Zentrum der stärksten Zerstörungen ungefähr bestimmen.

Die Problematik der Schadenbeurteilung von historischen Beben kann am Beispiel der Friaul-Beben 1976 illustriert werden. Hätte dieses Beben vor 200 oder 300 Jahren stattgefunden, wäre es mit einer MSK-Intensität X oder mehr in die Annalen eingegangen. Der totale Einsturz des Glockenturms der Kathedrale von Gemona würde z.B. allein dem Hauptstoss zugeschrieben werden, während in Wirklichkeit die gesamte Zerstörung erst nach dem zweiten oder dritten Nachbarbeben ihr volles Ausmass erreicht hat.

Es ist bekannt, dass gut gebaute, freistehende Bauwerke oft starke Beben schadlos überstehen. So kennt man antike Säulen sowie alte Minarette, die stärkste Beben unbeschadet überstanden haben, während in ihrer Umgebung

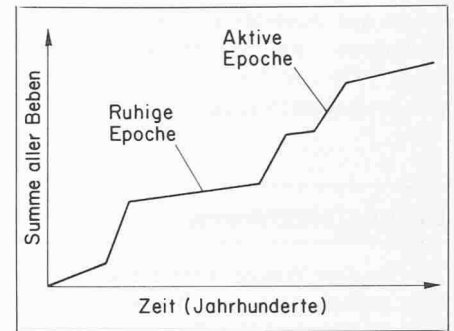


Bild 3. Änderung der seismischen Aktivität in Abhängigkeit von der Beobachtungszeit

grosse Zerstörungen auftraten. Grosse, horizontale Versetzungen von Säulen sind jeweils auf Kippbewegungen zurückzuführen. Die Rückrechnung auf einen äquivalenten, bebenbedingten Horizontalschub führt normalerweise zu einer Überschätzung der Intensität.

## Abminderungsbeziehung

Das Abminderungsgesetz ist von grosser Bedeutung bei der Ermittlung des Bemessungsbebens. Es existieren empirische Beziehungen zwischen der maximalen Bodenbeschleunigung, der maximalen Bodengeschwindigkeit, der Magnitude und der Herddistanz, allerdings im eigentlichen Nahbereich nur für Beben bis zur Magnitude 6. Die Ermittlung der Abminderungsbeziehung erfordert die Kenntnis der Herddistanz und der Charakteristik der Bodenbewegung. Die Zuverlässigkeit, mit der diese Grössen bestimmt werden können, ist stark von der Qualität des seismischen Stationsnetzes im betreffenden Gebiet abhängig.

## Bodenbeschleunigung

Es ist typisch für europäische Starkbebenaufzeichnungen, dass die Maximalbeschleunigung immer bei relativ hohen Frequenzen auftreten. Eine Ausnahme bildet das Rumänien-Beben 1977. Aufgrund von Festigkeitsüberlegungen kann eine theoretische, obere Grenze für die zu erwartenden Beschleunigungen angegeben werden. Das zu erwartende Beschleunigungsspektrum ist dabei sehr stark von den lokalen Baugrundverhältnissen abhängig. Die Zuverlässigkeit der Schätzung von Maximalbeschleunigungen und Spektren wird natürlich von der Qualität der Eingabedaten bestimmt.

## Bodenverflüssigung (Liquefaktion)

Bemerkenswert an der Bodenverflüssigung ist, dass sie auch sehr lokal, z.B. über Sandlinsen, auftreten kann. Bei-

spiele aus neuester Zeit konnten beim Erdbeben von Montenegro am 15. April 1979 vor allem in den Hafenanlagen beobachtet werden.

## Schlussfolgerungen

Das heutige Wissen über die Konstruktion erdbebensicherer Bauten ist noch unvollkommen. Die Streuung bei der

Lokalisierung, der Grösse und der Anzahl von bisherigen und möglichen zukünftigen Erdbeben erfordern, dass das seismische Risiko in Form einer *statistischen Wahrscheinlichkeitsverteilung* angegeben werden muss. Dazu kommen jedoch die oft nur näherungsweise bekannte Herddistanz und die Anzahl Beben je Zeitintervall als weitere Unsicherheitsfaktoren dazu. Eine realistische Abschätzung der Gefährdung erfordert eine enge Zusammenarbeit von

Seismologen, Geologen und Ingenieuren. Auch bei reichlich vorhandenem Datenmaterial ist zu beachten, dass uneinheitliche und unvollständige Magnitudenabschätzungen unter Umständen zu bedeutenden Fehlern in der Häufigkeits-Magnituden-Beziehung führen können. Insbesondere in Gebieten schwächerer Seismizität, wie der Schweiz, sollte dieser Aspekt der Verzerrung der statistischen Verteilungen besonders beachtet werden.



## Baulicher Erdbebenschutz in Jugoslawien

S. Bubnov ist Professor für Erdbebeningenieurwesen an der Universität von Ljubljana. Er ist unter anderem Gründungsmitglied und heutiger Präsident der Europäischen Vereinigung für Erdbebeningenieurwesen (EAEE), seit 1969 Präsident der Jugoslawischen Vereinigung für Erdbebeningenieurwesen. Unter seiner Leitung entstand die erste jugoslawische Erdbebenvorschrift, die im Jahre 1964 veröffentlicht wurde, und ebenfalls unter seiner Leitung wird heute eine Revision dieser Vorschrift bearbeitet.

Mit Massnahmen der Erdbebensicherung soll der Mensch bis zu einem gewissen Grad gegen Erdbebenschäden geschützt werden. Die Mehrheit der Menschen lebt jedoch in Altbauten, die aus einer Zeit stammen, bevor Richtlinien über erdbebengerechtes Bauen eingeführt wurden.

## Erdbebensicherung alter Gebäude

An der UNESCO-Konferenz von 1976 über die Verringerung seismischer Risiken [7] wurde u. a. eine Resolution verabschiedet, die besagt, dass alle Gebäude, in denen grössere Menschenansammlungen möglich sind (Spitäler, Schulen, Theater usw.), periodisch überprüft werden sollten, insbesondere nach einem starken Erdbeben.

Im Jahre 1978 trat in Jugoslawien ein Gesetz über Erdbebensicherung in Kraft, das vorschreibt, dass statische und dynamische Analysen für wichtige Neubauten vom Seismologischen Institut Jugoslawiens überprüft werden müssen. Im weiteren soll dieses Institut auch die Erdbebensicherheit der wichtigen bestehenden Gebäude prüfen. Sollte diese Überprüfung zeigen, dass ein wichtiges Gebäude keine genügende Erdbebenwiderstandsfähigkeit aufweist, dann sind bauliche Verstärkungsmassnahmen durchzuführen, um die geforderten Sicherheitskriterien zu erfüllen. Diese hochgesteckte Aufgabe konnte nur durch ein Gesetz und nicht durch eine Richtlinie angegangen werden, denn ein solches Vorgehen hat un-

ter Umständen weittragende, wirtschaftliche Konsequenzen.

Wie erwähnt bezieht sich dieses Gesetz auf wichtige Gebäude, deren Zerstörung grosse Verluste verursachen würde, weil ihre Funktionstüchtigkeit auch nach einem Erdbeben wichtig wäre oder auf Gebäude mit grossen Menschenansammlungen oder auf sehr hohe Gebäude oder auf bedeutende kulturelle Monumente. Solche Bauwerke sind insbesondere Kernkraftwerke, thermische Kraftwerke, Deponien für radioaktives Material, grosse Talsperren, chemische Anlagen, Giftlager, Spitäler, Feuerwehrationen, Trinkwasserversorgungen, Schulen, Kindergärten, Altersheime, Hochhäuser, Museen usw. Das neue Gesetz liefert jedoch keine Lösung für den Schutz von Menschen in ländlichen Gegenden und in alten Gebäuden, die gemäss dem neuen Gesetz nicht auf ihre Erdbebenresistenz hin überprüft werden müssen. Verschiedene Gremien, unter anderen auch die UNESCO, haben sich mit diesem Problemkreis auseinandergesetzt. Bisher sind noch keine wirtschaftlich realisierbaren Lösungen gefunden worden. Es ist hier beizufügen, dass die amerikanischen Vorschriften des *Applied Technology Council (ATC-3)* [8] bezüglich Altbauten ähnliche Vorschriften enthalten wie das jugoslawische Gesetz.

## Richtlinien und ihre Philosophien

Die Grundzüge der bestehenden Richtlinien sind einander oft sehr ähnlich. Die ISO (International Organization

for Standardization) definiert folgende Ziele des Erdbebenschutzes: Schutz von menschlichem Leben; Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit vitaler, öffentlicher Dienstleistungen; Minimalisierung von materiellen Schäden.

Auch das «COMECON» stellt den Schutz des menschlichen Lebens in den Vordergrund, zudem wird der Schutz von Versorgungseinrichtungen und von Lagern für Giftstoffe usw. gefordert. Bei Erdbeben mit relativ grosser Wiederkehrperiode sind lokale Schäden an nichttragenden Bauteilen zugelassen. Die Grundsätze der jugoslawischen Richtlinie folgen weitgehend denen der ISO.

In der amerikanischen Vorschrift ATC-3 [8] hat der Schutz des menschlichen Lebens Priorität. Davon ausgehend sollten die Gebäude:

1. Schwache Erdbeben ohne jeglichen Schaden überstehen;
2. Mittleren Erdbeben widerstehen, und zwar ohne bedeutende Schäden am Tragsystem. Lokale Schäden an nichttragenden Bauteilen sind zugelassen;
3. Starken Erdbeben widerstehen, und zwar ohne grösseres Versagen der



Bild 4. Setzung einer Hafenanlage infolge von Bodenverflüssigung beim Montenegro-Erdbeben vom 15. April 1979



Tragsysteme. Wichtige Gebäude, die dem Wohle der Allgemeinheit dienen, sollen funktionstüchtig bleiben. Angesichts dieser Grundsätze darf nicht übersehen werden, dass wegen der komplexen und schwer vorhersehbaren Vorgänge bei einem Erdbeben ein absoluter Schutz des menschlichen Lebens nicht gewährleistet werden kann. Die Gründe für diese Aussage sollen nachfolgend aufgezeigt werden. Bis heute gibt es noch keinen Beweis dafür, dass die Richtlinien das Erreichen, was sie sich zum Ziele setzen.

## Erdbebenkenngrößen

Aus Mangel an geeigneten Messungen hat man bis heute zum Teil nur *ungenügende Kenntnisse über die physikalische Natur von Erdbeben*. Es werden wohl ausgeklügelte mathematische Modelle zur dynamischen Berechnung von Bauwerken verwendet, aber die Eingabedaten für diese Rechenmodelle sind noch nicht befriedigend definiert.

Das *seismische Risiko* einer bestimmten Region wird meistens mit der zu erwartenden *Intensität* ausgedrückt. Die Intensität stellt aber kein physikalisch definiertes Mass für die Bodenbewegungen bei einem Erdbeben dar, sondern beschreibt vielmehr das Ausmass des zu erwartenden Schadens. Das *Schadenbild* selbst hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, wie z. B. von der maximalen Bodenbeschleunigung, der Schwingungsdauer der Erdbebenere-

gung, von der Anzahl Stösse, dem Frequenzinhalt der Bodenbewegung, der Epizentralentfernung, der Herdtiefe, den lokalen Baugrundverhältnissen usw. Welches sind aber die Auswirkungen dieser Parameter auf das Schadenbild? Es traten zum Beispiel bei starken Erdbeben nicht dort die grössten Schäden auf, wo auch die grössten Bodenbeschleunigungen gemessen wurden. Neben der Bodenbeschleunigung sind andere Parameter für die Schäden verantwortlich. Die lokale Bodenbeschaffenheit kann einen beträchtlichen Einfluss ausüben.

Gewisse *Baugrundverhältnisse* können starke Resonanzerscheinungen hervorrufen und damit grössere Schäden verursachen. Auch die Lage des *Grundwasserspiegels* kann einen massgebenden Einfluss auf die zu erwartenden Schäden haben. Es ist offensichtlich, dass keine Richtlinie und kein Gesetz diesen Mangel an Kenntnissen über die Auswirkungen der einzelnen Erdbebenparameter beheben kann.

Ein weiteres Problem stellen die *Erdbebenkarten* dar, die nach jedem starken Erdbeben korrigiert werden müssen. *Skopje* war z. B. auf der Erdbebenkarte von 1950 mit einer zu erwartenden Intensität von VI bis VII eingestuft, doch das verheerende Erdbeben von Skopje wies dann eine Intensität zwischen VIII und IX auf. Das heisst, es müssen die seismologischen Angaben verbessert werden. Die Erdbebenkarten sollten nicht mehr wie bis anhin mittels deterministischer Methoden, sondern auf der Grundlage eines probabilistischen

Vorgehens ermittelt werden, wie dies übrigens bei den Erdbebenrisikokarten der Schweiz [3] gemacht wurde. Die probabilistische Methode bedeutet einen Schritt vorwärts in der Bestimmung des seismischen Risikos für eine bestimmte Region.

Bei der Diskussion der Erdbebenparameter sollte nicht vergessen werden, dass ein Architekt durch die *Wahl der Konstruktion* einen wesentlichen Einfluss auf die Erdbebenwiderstandsfähigkeit eines Bauwerkes ausüben kann. Durch die *Einhaltung einfacher konstruktiver Regeln* wie z. B. Symmetrie des Bauwerks, Homogenität mit Bezug auf die Massen- und Steifigkeitsverteilung usw. kann die Erdbebenresistenz entscheidend verbessert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Eine Erdbebensicherung von Altbauten kann nur auf dem Gesetzesweg durchgesetzt werden. Für eine zuverlässige, erdbebensichere Auslegung von Neubauten sind zusätzliche Kenntnisse über die seismischen Grundparameter und den Einfluss lokaler Baugrundverhältnisse erforderlich. Im weiteren brauchen wir eine gute Planung und Auslegung der Fundation, einen erdbebengerechten Entwurf des Gebäudes, geeignete Baumaterialien und hinreichende Kenntnisse ihrer Eigenschaften sowie eine angemessene Qualitätskontrolle. Die Erdbebensicherung von Gebäuden ist eine gemeinsame Aufgabe von Seismologen, Geologen, Erdbebeningenieurwesen und Architekten. Keiner dieser Spezialisten ist in der Lage, das Problem für sich allein zu lösen.



## Elemente einer neuen Erdbebenvorschrift der Vereinigten Staaten

R. V. Whitman ist Professor für Bauingenieurwesen am Massachusetts Institute of Technology und hält Vorlesungen in Bodenmechanik, Bodendynamik und Erdbebeningenieurwesen. Er ist unter anderem Mitglied verschiedener Arbeitsgruppen, die kürzlich die ATC-3 Erdbebenvorschriften [8] veröffentlicht haben. Sie dürfte heute wohl die modernste und umfassendste Vorschrift zur Bemessung erdbebensicherer Konstruktionen darstellen. Er ist ausserdem Direktionsmitglied des namhaften Forschungsinstitutes für Erdbebeningenieurwesen (EERI).

Der vor einem Jahr erschienene Bericht ATC-3 [8] stellt einen Vorschlag für eine neue ausführliche Erdbebennorm für die USA dar. Dieser detaillierte Bericht befasst sich nach einer allgemein gehaltenen Einleitung zuerst mit den Belastungsannahmen für die Erdbebendimensionierung, d. h. mit der Gleichung für den Horizontalschub und mit seiner Verteilung über die Bauwerkhöhe. Neben Ausführungen zu dynamischen Berechnungsmethoden ist ein umfangreiches Kapitel über minimale konstruktive Anforderungen enthalten. Es wer-

den u. a. Vorschriften für *Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen* gemacht. Im Bericht befinden sich ebenfalls die in der Schweiz besonders interessierenden Angaben über *gemauerte und vorgespannte Bauwerke* sowie *Holzkonstruktionen*. Den Schluss bilden umfassende Kommentare zu den einzelnen Vorschriften.

Bis heute kommt den Vorschriften noch kein gesetzlicher Charakter zu, aber in naher Zukunft sollen sie von verschiedenen Organisationen und Regierungen geprüft und angenommen werden.

Gegenwärtig befindet sich der Entwurf dieser Vorschriften in einer Probephase, in der die Auswirkungen auf die Projektierung bestimmter Bauwerke untersucht werden soll.

## Erdbebenzonen

Um die Entstehung der neuen Zonenkarten besser verständlich zu machen, muss zuerst etwas über die *Gleichung für den Horizontalschub* gesagt werden. Die Grösse der horizontalen Kraft  $H$  ist das Produkt aus dem Eigengewicht  $G$  der Konstruktion inklusive Nutzlastanteil und einem seismischen Koeffizienten  $C_s$ . Dieser Koeffizient ist eine Funktion des Geschwindigkeitskoeffizienten  $A_v$ , des lokalen Baugrundprofils  $S$ , der Grundperiode des Gebäudes  $T$  und der Art der Gebäudestruktur  $R$ ,

$$(1) \text{ wobei } H = C_s \cdot G$$

$$(2) \text{ und } C_s = \frac{1,2 \cdot A_v \cdot S}{R \cdot T^{2/3}}$$



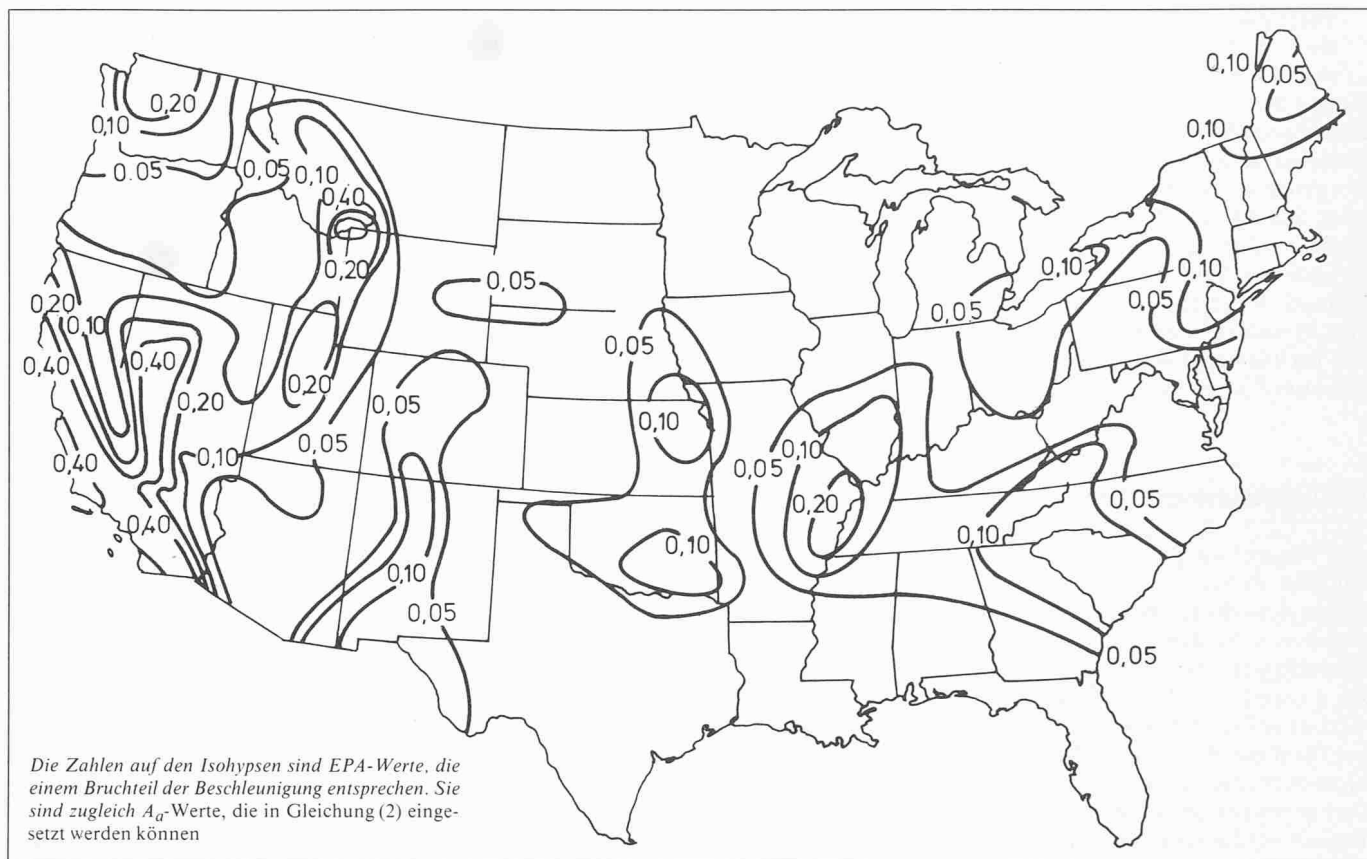


Bild 5. Isohypsenkarte für effektive Spitzenbeschleunigung (EPA)

$A_v$ : Geschwindigkeitsbezogener Beschleunigungsbeiwert

$S$ : Koeffizient des lokalen Baugrundprofils

$R$ : Qualitätskoeffizient, abhängig von den Eigenschaften des Tragsystems und des verwendeten Materials

$T$ : Grundperiode des Gebäudes

Der Faktor  $C_s$  unterscheidet sich von früheren Faktoren dadurch, dass ein Koeffizient  $R$  im Nenner erscheint, der die Duktilität einer Konstruktion berücksichtigt. Im vorliegenden Bericht variiert sein Wert zwischen 1,5 für eine spröde Konstruktion und 7,0 für ein sehr duktiles Stahlgebäude.

Im weiteren werden zwei verschiedene Faktoren für die Charakterisierung des Bemessungsbebens vorgeschlagen: der Wert EPA (Effective Peak Acceleration), der später durch den Koeffizienten  $A_a$  ersetzt wird, und der Wert EPV (Effective Peak Velocity).

$A_a$  ist proportional zum Beschleunigungswert des Bemessungsspektrums für Perioden von weniger als 0,5 s und wird als Faktor der Erdbeschleunigung angegeben. Zur Vereinfachung der Berechnungen – auch des seismischen Koeffizienten  $C_s$  – wurde der Faktor EPV ebenfalls als dimensionsloser Parameter in Form eines Beschleunigungskoeffizienten ausgedrückt. Dieser Parameter wird als geschwindigkeitsbezogener Beschleunigungsbeiwert  $A_v$  bezeichnet.

$A_v$  ist proportional zum Wert des Bemessungsspektrums für eine Periode von ungefähr 1,0 s. Die Berücksichtigung

der beiden Faktoren  $A_a$  und  $A_v$  hat zur Entstehung von zwei verschiedenen Zonenkarten geführt.

In den letzten zehn Jahren wurde in den USA eine Zonenkarte verwendet, die von Algermissen und Perkins zusammen mit dem U.S. Geological Survey erarbeitet wurde [9]. Sie basiert auf effektiv gemessenen, maximalen Intensitäten ohne Berücksichtigung der aufgetretenen Frequenzen. Ihre Werte sollten mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 Prozent in 50 Jahren nicht überschritten werden.

Es war nun eine Aufgabe der ATC-3 Kommission, die Frequenzen in einer zukünftigen Zonenkarte mitzuberechnen. Zuerst musste sich die Kommission aber auf eine Wiederkehrperiode einigen, was etliche Schwierigkeiten bereitete. Die Wahrscheinlichkeit der Algermissen-Perkins-Karte entspricht einer 475jährigen Wiederkehrperiode. Es war aber nicht unbedingt die Meinung aller Kommissionsmitglieder, diese Wiederkehrperiode zu berücksichtigen. In einer Abstimmung einigte man sich hingegen auf den maximalen Wert des Koeffizienten  $A_a$  für die Zonen in Kalifornien mit der höchsten Seismizität. Die höchste je gemessene Beschleunigung in Kalifornien beträgt über 1,0 g. Sie wurde aber nur von einem Gerät angezeigt. Die Abstimmung unter den Mitgliedern der Kommission ergab ein sehr kleines Streuband zwischen 0,4 g und 0,5 g. Der endgültige Wert für Kalifornien wurde dann mit  $A_{a\max} = 0,4$  festgelegt. Auf diese Weise gelangte

man zu einem Wert, dessen Wiederkehrperiode doch der von Algermissen und Perkins entspricht.

Die nächste Aufgabe der Kommission bestand darin, die Karte für die Beschleunigung noch weiter zu vereinfachen, wobei man auf das Konzept der EPA-Werte kam. Die Spitzenbeschleunigungen wurden weggelassen, dafür verwendete man die EPA-Werte, die einem bestimmten Schadenpotential der Erregung entsprechen. Auf diese Weise werden sehr hohe Frequenzen, die meistens keine grossen Schäden verursachen, nicht in die Berechnung mitbezogen. Gleichzeitig wird die Tatsache berücksichtigt, dass ein Erdbeben von sehr kurzer Dauer mit sehr hohen Beschleunigungen ebenfalls keinen grossen Schaden zur Folge hat.

Als Resultat dieser Arbeiten entstand die Isohypsenkarte für effektive Spitzenbeschleunigungen EPA, wie sie in Bild 5 für den Koeffizienten  $A_a$  dargestellt ist. Zur Erstellung der Zonenkarte für den Koeffizienten  $A_v$ , der die längeren Perioden (ungefähr 1,0–2,0 s) eines Bemessungsspektrums berücksichtigt, standen wenig Unterlagen zur Verfügung. Deshalb wurde die EPV-Karte durch Modifikation der EPA-Karte entwickelt. Um die Abminderung der EPV zu schätzen, wurde angenommen, dass diese bei grossen Epizentralentfernungen von der modifizierten Mercalli-Intensität abhängt.

Der nächste Schritt bestand nun darin, diese Konturkarten für die Koeffizienten  $A_a$  und  $A_v$  in seismische Zonenkar-

ten für einzelne Distrikte umzuformen, dabei war auf die politischen Grenzen Rücksicht zu nehmen. Diese Karten wurden in sieben verschiedene Zonen mit Werten für  $A_a$  und  $A_v$  zwischen 0,05–0,40 unterteilt.

Durch das Gewählte Vorgehen resultierten in Gebieten stark variierender Seismizität *Sprünge in den Seismizitätskoeffizienten zwischen benachbarten Distrikten*. In solchen Regionen muss nun unbedingt zur *Mikrozonierung* übergegangen werden, was aber nicht Inhalt einer allgemeingültigen Norm sein soll.

## Baugrundfaktoren

In den USA dauerte es sehr lange bis man erkannte, welchen Einfluss die lokalen Baugrundverhältnisse auf die seismischen Kräfte zur Dimensionierung eines Bauwerkes haben. Erstmals wurde ein solcher Baugrundfaktor im 1976 erschienenen «Uniform Building Code» [10] eingeführt.

Der Normenentwurf ATC-3 schlägt nun *drei verschiedene Baugrundprofile* vor, die durch einen einzigen Baugrundfaktor  $S$  charakterisiert werden. Dieser Baugrundfaktor  $S$  kann direkt in die Gleichung für den Horizontalschub eingesetzt werden.

- $S_1$ : Fels und dichtgelagerte oder steife Böden, Mächtigkeit  $< 60$  m  $S = 1,0$   
 $S_2$ : Dichtgelagerte oder steife Böden, Mächtigkeit  $> 60$  m  $S = 1,2$   
 $S_3$ : Weiche bis mittelsteife Böden, Mächtigkeit  $> 10$  m  $S = 1,5$

Bei der Festlegung der zu diesen Baugrundprofilen gehörenden Bemessungsspektren (vgl. Bild 6) wurden die Arbeiten von Seed et al. [11] über *Aufschaukelungseffekte durch die verschiedenen Bodenschichten* mitberücksichtigt. Aus diesen Bemessungsspektren ist ersichtlich, dass während eines starken Bebens in weichen Böden die Spitzenbeschleunigungen des entsprechenden Spektrums bis zu 20 Prozent reduziert werden.

Das Problem der *Bodenverflüssigung*

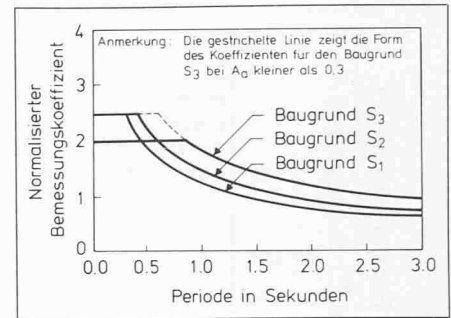


Bild 6. Normalisierte horizontale Schubkoeffizienten ( $A_a = A_v = 1,0$ )

wird im vorliegenden Normentwurf nur am Rande diskutiert. Es existieren keine Angaben, die ein Gebiet wegen Verflüssigungsgefahr als untauglich taxieren würden. Vielmehr wird auf zwei Methoden hingewiesen, wie das Verflüssigungspotential von gesättigten Sandablagerungen bestimmt werden kann. Mit den hieraus gewonnenen Ergebnissen kann dann die Sicherheit gegen Verflüssigung bestimmt werden.



## Seismische Bemessungskriterien wichtiger Bauwerke

W. Housner ist «C. F. Bronn Professor» am California Institute of Technology in Pasadena. Er liest Baustatik und Ingenieur-Seismologie. Er ist Experte für seismische Probleme bei verschiedenen grösseren Kernkraftwerkprojekten in und ausserhalb der USA. Er gehört zu den massgeblichen Schöpfern der ATC-3 Norm. Eines seiner neueren Projekte befasst sich mit der Dimensionierung grosser Tankanlagen. Housner war Präsident verschiedener Gesellschaften, so z. B. der International Association for Earthquake Engineering (IAEE), des Earthquake Engineering Research Institute (EERI) und der Seismological Society of America.

Bei der Bemessung wichtiger Bauwerke (Kernkraftwerke, Talsperren, Spitäler, Trinkwasserversorgungen, Raffinerien usw.) gegen Erdbebenwirkung würde die unbesohene Anwendung bestehender Erdbebennormen und Vorschriften eine in der Regel zu starke Vereinfachung darstellen. Mit zunehmender Wichtigkeit des Gebäudes (Gefährdungspotential, Menschenansammlung, Grad der Funktionstüchtigkeit nach der Katastrophe) müssen oft über die Normen hinausreichende, *objekt-spezifische Abklärungen* durchgeführt werden, wie z. B. Untersuchung des Schwingungsverhaltens des Bauwerks und seiner Einrichtungen, Festlegung des zu erwartenden Schadenmasses im Katastrophenfall, usw. Die Sicherheitsmassnahmen sind auf ihre *Wirtschaftlichkeit* hin zu überprüfen.

## Probleme der Projektierung

Die sich bei einem wichtigen Bauwerk im Problemkreis Erdbeben stellenden Fragen können im wesentlichen in *vier Kategorien* eingeteilt werden:

- *Seismische Grundlagenbeschaffung*: Festsetzung der massgebenden Belastung des Bauwerks.
- *Berechnung der Schnittkräfte* aufgrund der massgebenden Belastung
- *Bemessung der Tragelemente*: Nachweis der Spannungen und Dehnungen, konstruktive Ausgestaltung, usw.
- *Management-Probleme*: Sie stellen sich dem Projektleiter bei der Koordination seiner verschiedenen fachtechnischen Berater (Geologe, Seismologe, Ingenieur) und im Kontakt

mit der *Öffentlichkeit*, die auf Lage, Konzept, usw. wichtiger Bauwerke einen zunehmenden Einfluss ausüben. Im weiteren vertritt er sein Projekt vor der ständig wachsenden Zahl von Prüfbehörden. In Kalifornien durchläuft z. B. ein wichtiges Projekt 40 bis 50 verschiedene Prüf- und Genehmigungsverfahren.

All dies erfordert vom Projektleiter einen umfassenden Überblick über das Gesamtprojekt.

## Seismologische Grundlage

Die seismologischen Grundlagen sind wegen der Unvollständigkeit der zur Verfügung stehenden Datensätze (beschränkte Beobachtungsdauer, fehlende instrumentelle Messungen) stets ungenügend. Vernünftige Aussagen können nur gemacht werden, wenn *genügend Daten* sowohl *hoher Qualität* (instrumentell gemessen), als auch *grosser Quantität* (genügend Anzahl auch stärkerer Beben) vorliegen.

Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung müssen deshalb bei der Datenaanalyse unbedingt beigezogen werden. Diese Werkzeuge bringen zwar keine grundsätzlich neuen Daten und sind nicht in der Lage, fehlende Messungen zu ersetzen, helfen aber die bestehenden zu relativieren und ermöglichen eine bessere Bewertung. Grundsätzlich darf bei der Angabe einer maximalen

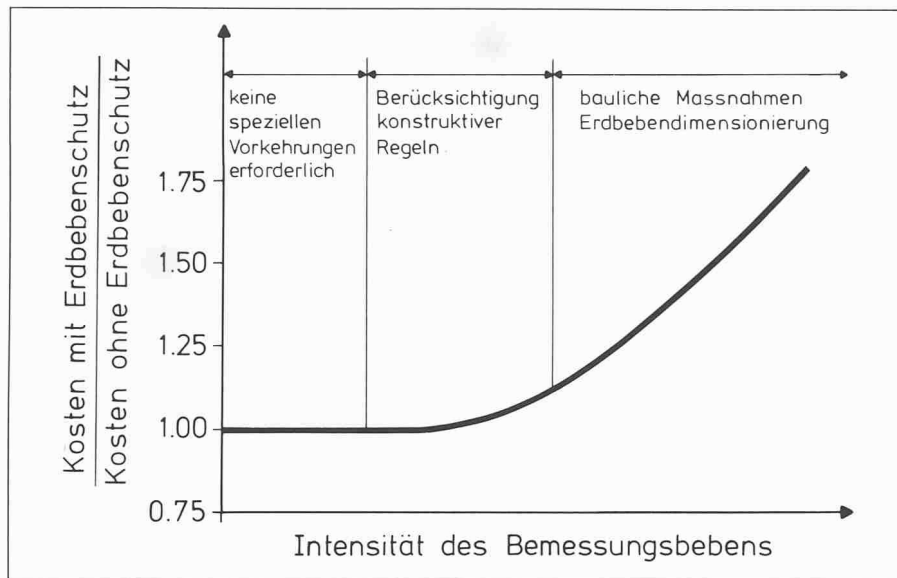


Bild 7. Relative Mehrkosten erdbebensicherer Bauwerke in Abhängigkeit des Bemessungsbebens

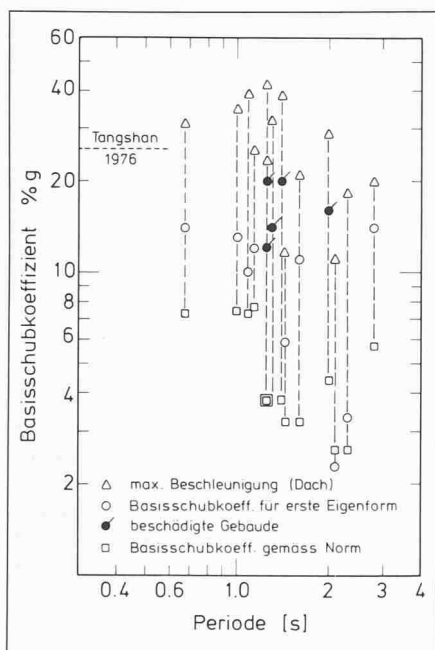


Bild 8. Tragreserve von Gebäuden ausgedrückt durch den Basisschubkoeffizienten (Verhältnis von Horizontalschub zu Eigengewicht). Basisschubkoeffizient von mehrstöckigen Betongebäuden während des San Fernando-Erdbebens vom 9. Febr. 1971. Die Perioden entsprechen der Grundschwingungsdauer der Gebäude. Der Basisschubkoeffizient entspricht dem Verhältnis des Horizontalschubes zur Bauwerksmasse

Grundbeschleunigung deren Wiederkehrperiode nicht fehlen.

Ein Erdbeben kann im wesentlichen durch drei Grössen bestimmt werden, die maximale Beschleunigung, die Dauer (für Schadenausmass wichtig) und den Frequenzinhalt. Eine grosse Unsicherheit liegt in der Festlegung der maximalen Beschleunigung des stärksten zu erwartenden Erdbebens (*maximum credible earthquake*) in einem vorgegebenen Gebiet. Dies gilt vor allem für Länder mit mässiger Seismizität (Beispiel Schweiz).

Mit kleineren Unsicherheiten ist etwa in Kalifornien zu rechnen, wo man weiss, dass häufiger zerstörende Erdbeben auftreten können und deshalb zu

erwarten ist, dass mit den bestehenden Normen und Vorschriften starken Beben in geeignetem Masse entgegengetreten werden kann. Zusätzliche Informationen lassen sich durch ein *exaktes Studium der tektonischen Verhältnisse* erhalten. Es bestehen z. B. empirische Zusammenhänge zwischen der Magnitude und der Ausdehnung einer Verwerfung.

### Bemessungskriterien

Das Ziel der Bemessung besteht darin, eine genügende *Erdbebenresistenz eines Bauwerks* zu erzielen. Besteht dieses Bauwerk aus einer Vielzahl von Einzelstrukturen unterschiedlicher Bedeutung oder Gefährdung, wird eine alles umfassende, konsistente Erdbebenresistenz angestrebt. Wichtigere Gebäude oder Komponenten weisen grössere Widerstände auf als unbedeutende Hilfsbauten. Gesamthaft betrachtet jedoch bleibt das Erdbebenrisiko in etwa konstant.

Bei der Ermittlung eines *Sicherheitskoeffizienten* zeigt sich eine gewisse *Problematik*. Ein globales Vermischen von Lasten, Material, Gebäudetypen usw. in einem einzigen Sicherheitsbegriff soll vermieden werden. Vielmehr sollen einzelne Teilaspekte getrennt beurteilt und gewichtet werden. Dies kann zu einem *kumulativen Konservatismus* führen, indem für alle Teilbereiche gewisse Teilsicherheiten gefordert werden, die sich dann zu einer *konservativen globalen Sicherheit* aufmultiplizieren. Für die *zusätzlichen Kosten* einer erdbebenresistenten Bauweise (Bild 7) gilt aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, dass diese *kleiner sein müssen als die Summe aller Reparaturkosten von Erdbebenschäden während der Lebensdauer eines Bauwerks*. Dieser Gesichtspunkt isoliert betrachtet, würde auf ein relativ niedriges Bemessungsniveau führen, hätte aber möglicherweise alle paar hundert Jahre

eine totale Katastrophe zur Folge, was – obwohl wirtschaftlich gerechtfertigt – vom sozialen Standpunkt aus unbedingt verhindert werden muss. *Wirtschaftliche und soziale Aspekte müssen deshalb – soweit überhaupt möglich – stets in ihrer Gesamtheit beurteilt werden.*

Ein Beispiel für eine soziale und wirtschaftliche Katastrophe ist das Erdbeben von *Tangshan, China*, vom 28. Juli 1976, bei dem rund die Hälfte der anderthalb Millionen Einwohner zählenden Industriestadt ihr Leben verloren. Das Gebiet galt als seismisch wenig aktiv und die Norm verlangte für mehrgeschossige Wohnblöcke keine zusätzlichen Massnahmen. Von rund 960 weniger als dreissig Jahre alten, mehrstöckigen Wohnblocks wurden 85 Prozent total zerstört oder schwer beschädigt, 10 Prozent wiesen beträchtliche Schäden auf, und nur 5 Prozent waren wenig beschädigt.

Aufgrund der beobachteten Schäden konnte *rückwärts* auf die Erdbebenbelastung geschlossen werden. Es ergab sich ein Wert von 0,25 für das Verhältnis von Horizontalschub zu Eigengewicht (Basisschubkoeffizient). Aus einer amerikanischen Studie [12] geht hervor, dass ein zwei- bis dreimal so grosser Horizontalschub, wie er der Bemessung zugrunde gelegt wird, praktisch schadlos überstanden werden kann und dass erst bei einer Überschreitung des fünffachen Wertes grössere Schäden auftreten (Bild 8).

### Bemessungsprobleme

Abschliessend werden Fragen formuliert, die es bei der Bemessung eines Bauwerkes für den Lastfall Erdbeben zu beantworten gilt [12].

#### Lastfall Erdbeben: Fragen, die bei der Bemessung zu beantworten sind

1. Welche aktiven Verwerfungen befinden sich im Umkreis von etwa 80 Kilometer?
2. Welche signifikanten Erdbeben wurden in diesem Umkreis festgestellt?
3. Mit welchen Wiederkehrperioden muss für zukünftige Beben unterschiedlicher Stärke gerechnet werden?
4. Wie gross ist die geschätzte, maximale Beschleunigung eines *N*-jährigen Bebens (*N* = 50, 100, 200, 1000, 10 000)?
5. Welche Beschleunigungsseismogramme und Antwortspektren sind repräsentativ? Welche Dämpfungswerte sollen angenommen werden?
6. Welche Folgen hat ein Überschreiten der in der Bemessung angenommenen zulässigen Spannungen und Dehnungen?
7. Welches Schadenmass kann bei einer definierten Eintretenswahrscheinlichkeit noch akzeptiert werden?
8. Welche Duktilität ist in Bezug auf die aufzuwendenden Kosten sinnvoll?





## Seismisches Risiko industrieller Systeme

C.A. Cornell ist Professor für Bauingenieurwesen am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Seine Vorlesungen betreffen Bauwerksicherheit und angewandte Wahrscheinlichkeitstheorie. Er gilt als Pionier in der wahrscheinlichkeitstheoretischen Erfassung seltener Ereignisse. Schon seit längerer Zeit befasst er sich intensiv mit der seismischen Sicherheit von Kernkraftwerken. Im Rahmen verschiedener Normen, z. B. der ANSI-Norm, bearbeitet er allgemeine Sicherheitsprobleme. Mehrere seiner Veröffentlichungen sind preisgekrönt worden, so z. B. «The Seismic Risk Analysis of Boston», 1976 [13].

## Überblick USA

In den Vereinigten Staaten ist die Entwicklung neuer Normen sehr komplex. Der Grund dazu liegt im Fehlen einer mit Befugnissen ausgerüsteten Koordinationsstelle. Verschiedene Gruppen haben mehrere Modelle als Grundlage neuer Normvorschriften ausgearbeitet. Die Entwerfer neuer Normen haben die Möglichkeit, Teile dieser Modelle in die Norm miteinzubeziehen. Leider fehlt oft auf der technischen Stufe eine Koordination unter den Stahl-, Stahlbeton- und Holzbaunormen wie auch mit der unter anderem für die verschiedensten Belastungsarten verantwortlichen ANSI-Norm (American National Standards Institute). Die einzige technische Koordination zwischen den verschiedenen Kommissionen ist mehr zufälliger Natur und ergibt sich durch deren jeweilige Mitglieder.

Der gegenwärtige ANSI-Ausschuss versucht, neben der Beschaffung von Bemessungsunterlagen für Erdbeben- und Windlasten auch die Lastfaktoren der verschiedenen Materialnormen zu harmonisieren. Dies ist notwendig, da die entsprechenden Normen alle individuell und unabhängig voneinander entwickelt werden und die verschiedenen Bemessungsparameter wie Lastfaktoren oder Abminderungsfaktoren sich untereinander unterscheiden. In der gegenwärtigen Situation wählt der Ingenieur diese Faktoren entsprechend dem im Gebäude verwendeten Baustoff. Dies kann zu Problemen führen, wenn dabei verschiedene Materialien zur Anwendung gelangen.

Das American Institute of Steel Construction (AISC) ist für die Entwicklung einer neuen, auf Lastfaktoren basierenden Stahlbaunorm verantwortlich, die im Konzept der vom American Concrete Institute (ACI) geschaffenen Stahlbetonnorm ähnlich ist. Diese Norm beruht auf einem probabilistischen Konzept, ähnlich dem, das den neueren, europäischen Normen zugrunde gelegt wurde. Es wäre wünschenswert, wenn unter Zustimmung baustofforientierter Organisationen, wie z. B. AISC und ACI, ein unabhängiges Komitee mit der Ausar-

beitung neuer, probabilistischer Grundlagen für das Konzept der Lastfaktoren beauftragt würde. Zweck dieser Arbeit wäre, dass in der massgebenden Gleichung für die Last- und Widerstandsfaktoren die nur von der Last abhängige Seite der Gleichung unverändert übernommen würde, während die materialabhängige Seite den spezifischen Bedürfnissen angepasst würde.

Es wurde der Versuch unternommen, Daten für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Belastungen und der Tragfähigkeit einzelner Bauelemente zu sammeln, um mit elementaren Verfahren und unter Berücksichtigung gegenwärtig gültiger Normvorschriften Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Dies bedeutet, dass unter Beachtung der gültigen Bemessungsgrundlagen für verschiedene Materialien, für verschiedene Belastungsarten und verschiedene Quotienten von Nutzlast zu Eigengewicht oder Wind- zu Nutzlasten die grundlegenden Wahrscheinlichkeiten berechnet würden. Daraus könnten Schlüsse über die Höhe der berechneten Sicherheiten gezogen werden, um eine vernünftige Grösse für die angestrebte erforderliche Wahrscheinlichkeit festzulegen.

Leider weicht der verantwortliche Ausschuss der Frage aus, wie die eigentliche Versagenswahrscheinlichkeit oder die erforderliche Sicherheit quantitativ festgelegt werden soll. Mögliches Ziel dieser Arbeit könnte auch sein, mittels Kalibrierung mit bestehenden Normen die Übereinstimmung mit den in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen zu überprüfen.

## Lastkombinationen

In diesem Zusammenhang wäre es auch wichtig, den Einfluss verschiedener Lastkombinationen auf die Bemessungsgleichungen zu untersuchen. Als Beispiel einer Lastkombination kann der Fall der extremen Nutzlast für ein Gebäude mit einer erwarteten Lebensdauer von 50 Jahren betrachtet werden. Der Mittelwert der zufälligen, extremen Nutzlast soll mit anderen wichtigen La-

sten kombiniert werden, die gleichzeitig und gleichenortes auftreten. Im Falle des Zusammenwirkens der extremen Nutzlast mit der im gleichen Moment wirkenden Windlast ist es unwahrscheinlich, dass beide Ereignisse gleichzeitig mit extremer Intensität eintreffen. Dies ist der Hauptgrund für die Berücksichtigung einer nur vernachlässigbar kleinen Windlast in Kombination mit extremer Nutzlast. Analog werden unter der Annahme extremer Windlasten nur die ständig wirkenden Nutzlasten berücksichtigt. Ähnliche Überlegungen gelten auch für Kombinationen von Erdbeben- und Windlasten.

## Versagenswahrscheinlichkeiten

Für Eigengewicht, Nutz- und Schneelasten wurden im Falle von Stahl- und Betontragwerken unter Annahme einer 50jährigen Lebensdauer der Bauwerke, für die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Querschnitt plastifiziert, Werte in der Grössenordnung von  $10^{-3}$  ermittelt. Für Belastungen infolge Wind und Seismik kann die Zuverlässigkeit von Bauwerken durch Anwendung der in der Praxis üblichen Verfahren direkt geschätzt werden. Die daraus resultierenden Versagenswahrscheinlichkeiten liegen für Wind in der Grössenordnung von  $10^{-2}$  und können für seismische Lasten Werte bis  $10^{-1}$  erreichen.

Wenn man die verschiedenen Gebiete eines Landes mit unterschiedlichen seismischen Zonen betrachtet, kann man entweder eine fixierte Versagenswahrscheinlichkeit für alle Gebiete annehmen oder das hier vorgestellte Vorgehen wählen, das von den jetzt gebräuchlichen Methoden nur schwach abweicht. Im ersten Fall ergeben sich erhöhte Lastfaktoren, während im zweiten Fall implizit höhere Versagenswahrscheinlichkeiten für Wind und Seismik angenommen werden.

## Einfluss der Duktilität

Um im Falle von Seismik angemessene Versagenswahrscheinlichkeiten zu erhalten, sollte sich die Risikobetrachtung nicht nur auf die Kapazität eines einzelnen Querschnittes beschränken. Vielmehr sollte das gesamte Tragwerk berücksichtigt und zusätzlich auch der Einfluss der Duktilität in die Betrachtungen einbezogen werden.

Das mit Normenentwürfen beschäftigte Komitee ATC-3 (Applied Technology Council) hat zusätzliche R-Faktoren eingeführt, um Duktilitätseinflüsse erfassen zu können. Diese Faktoren können als Lastreduktionen oder als Erhöhung der Tragwerkskapazität verstanden werden. Sie verkleinern die Versagenswahrscheinlichkeit auf einen Wert

von  $10^{-2}$ . Damit liegen für ständige Lasten die Wahrscheinlichkeiten in der Grössenordnung von  $10^{-3}$ , während sich für Wind und Seismik Werte von  $10^{-2}$  ergeben. Dabei wird im Falle eines Erdbebens ein Versagen des Bauwerkes zugrunde gelegt, während in den beiden übrigen Fällen nur die *Plastifizierung*

*einzelner Querschnitte* erfolgt.

Der Grund für diese beträchtlichen Unterschiede in der Versagenswahrscheinlichkeit liegt in einer mangelhaften, statistischen Erfassung der Tragwerkskapazität oder der Belastungen. Beispiele einer Unterschätzung der Tragwerkskapazität finden sich bei Stahlbeton- und

Stahlrahmen mit aussteifenden Schubwänden, für die *R*-Faktoren zwischen 4,5 und 5 festgelegt werden. Realistische Schätzungen in diesen Fällen ergeben jedoch *R*-Faktoren in der Grössenordnung von 9 bis 10, die zu seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten von  $10^{-3}$  führen.



## Grundzüge einer einheitlichen europäischen Erdbebenvorschrift

**J. Despeyroux** ist stellvertretender Generaldirektor der Gesellschaft SOCOTEC in Paris und Lehrbeauftragter an der Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Er ist Vizepräsident der Internationalen Vereinigung für Brücken- und Hochbau (IVBH). Innerhalb der Kommission zur Schaffung einer einheitlichen Vorschrift für erdbebensicheres Bauen der Europäischen Gemeinschaft vertritt er die französische Regierung. Als UNESCO-Experte war er an den Untersuchungen der Erdbeben von Skopje 1963, Rumänien 1977 und Montenegro 1979 massgeblich beteiligt.

Im Jahre 1972 beschloss die *Europäische Gemeinschaft (EG)*, die *Bauwerksnormen der Mitgliedländer zu vereinheitlichen*. Der Zweck war:

- die unterschiedlichen Bemessungsvorschriften für gleichgeartete Bauten einander anzupassen,
- den Export von Dienstleistungen und Produkten des Baugewerbes zu fördern,
- durch die Vereinheitlichung das Vertrauen in die europäische Technologie zu fördern

Bei der Schaffung dieser Erdbebenvorschrift wollte man nicht allein auf Altbewährtes zurückgreifen, sondern auch neueste Entwicklungen berücksichtigen. Die Norm ist eine Synthese diverser Arbeiten internationaler Komitees und Vereinigungen auf den Gebieten der Bauwerksicherheit sowie der Bemessungs- und Konstruktionsvorschriften wie z. B. des «Comité Euro-International du Béton» (CEB), der «Fédération Internationale de la Précontrainte» (FIP), etc. Die gemeinsame Arbeit der FIP und CEB hat vor kurzem zur Veröffentlichung von *einheitlichen Regeln* (Band I) für verschiedene Typen von Konstruktionen und Baumaterialien sowie zu einer auf Betonbauten anwendbaren *Musternorm* (Band II) geführt [14]. Es zeigte sich bald, dass in diesem vereinheitlichten System auch Erdbebenvorschriften einzuführen sind.

Der endgültige Entwurf der seismischen Mustervorschrift der EG soll bis Ende dieses Jahres fertiggestellt werden. Er basiert grösstenteils auf dem Entwurf der Europäischen Vereinigung für Erdbeben-Ingenieurwesen, der im Jahre 1977 in *Belgrad* vorgestellt wurde.

## Grundgedanken

Die *EG-Erdbebennorm* stützt sich auf ein *semiprobabilistisches Vorgehen mit Lastfaktoren basierend auf dem Traglastverfahren* der CEB/FIP Mustervorschrift [14].

Bei der seismischen Bemessung müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Während und nach einem Erdbeben müssen das Bauwerk und die Traglelemente ihre Widerstandsfähigkeit mit genügender Zuverlässigkeit beibehalten.
- Nichttragende Elemente müssen ihre Gebrauchsfähigkeit behalten und dürfen nicht zerstört werden.

Es wird eine anspruchsvolle Arbeit sein, diese Kriterien zu erfüllen. Der Grad der verlangten Zuverlässigkeit ist abhängig von:

- der Anzahl der gefährdeten Personen,
  - dem wirtschaftlichen Verlust,
  - den Aufwendungen für eine Schadenverhütung und
  - der Lebensdauer des Gebäudes, usw.
- Die *Mustervorschrift* unterscheidet im weiteren drei Arten von Einwirkungen:
- permanente Einwirkungen (Eigengewicht);
  - variable Einwirkungen (häufig auftretend und um einen Mittelwert schwankend);
  - Ausnahmeereignisse (selten, die Einwirkung kann aber grosse Konsequenzen in Bezug auf das Gebäude haben).

In Ländern mit *grosser Seismizität*, wie z. B. *Italien* werden Erdbeben zu den *variablen Lasten* gezählt. In Ländern

mit *geringer Seismizität*, wie z. B. *Frankreich* und *Deutschland* zu den *zufälligen Ereignissen*. Die Unterscheidung in variable und zufällige Einwirkungen drückt sich im Lastfaktor aus. Beim letzteren wird ein Faktor von 1.0 verwendet im Vergleich zu 1.5 für variable Einwirkungen.

Für die *Erdbebenanalyse* von Bauten stehen drei Methoden zur Verfügung:

- Ersatzlastverfahren,
- Methode der Antwortspektren,
- Methoden im Zeitbereich.

Die *Erdbebenbewegung* wird in den ersten beiden Fällen durch ein *Antwortspektrum* charakterisiert und im dritten Fall durch ein *Beschleunigungsseismogramm*.

Die Untersuchung im *Zeitbereich* ist die genaueste, eignet sich aber nur für wirtschaftlich bedeutende Bauwerke. Schwierigkeiten ergeben sich bei dieser Methode vor allem bei der Normierung.

Die erste Methode wird in den Erdbebennormen der Länder benutzt, die sich auf die amerikanischen Vorschriften abstützen [10]. Der Horizontalschub wird durch eine Reihe von Faktoren bestimmt, die von folgenden Parametern abhängen:

- Seismizität der Region,
- sozio-oekonomische Bedeutung des Bauwerks,
- Verteilung der seismischen Lasten über die Höhe des Bauwerks,
- Beschaffenheit des Bodens,
- dynamische Antwort des Gebäudes.

Für die Erdbebenanalyse von Gebäuden wird der Horizontalschub entsprechend der Massenbelegung auf die verschiedenen Stockwerke verteilt.

Die zweite Methode wird z. B. in *Frankreich*, der *Sowjetunion* sowie in der Erdbebenvorschrift der EG verwendet. Sie stützt sich auf die *Theorie der Antwortspektren für lineare Systeme mit mehreren Freiheitsgraden*. Die Analyse basiert auf den natürlichen Eigenfrequenzen und den Eigenformen des Gebäudes. Die Kräfte werden aus den verschiedenen Schwingungsformen berechnet. Die gesamte Antwort des Tragwerkes (Kräfte, Verformungen, etc.) ergibt sich aus der Quadratwurzel der Summe der quadratischen Beiträge der verschiedenen Eigenschwingungen. Die *quadratische Kombination* muss für jede interessierende Grösse durchgeführt werden.

In gewissen Fällen – insbesondere im Zusammenhang mit Verdrehungsfreiheitsgraden – kann die quadratische Superposition problematisch sein.

Eine Vereinfachung der Antwortspektrenmethode besteht darin, nur die Grundschiwingung zu berücksichtigen. Unter Annahme eines linearen Verlaufs der Grundschiwingungsform über die Gebäudehöhe erhält man eine Verteilung der seismischen Lasten entsprechend der amerikanischen Vorschrift

ATC-3 [8]. Bei Systemen mit mehreren Freiheitsgraden wird es schwierig, die zur Grundschiwingung gehörenden Massen auf einfache Art und Weise festzulegen.

Der Einfluss der *Bodeneigenschaften* wird durch *Bodenabhängige Antwortspektren* berücksichtigt. Mit einem zusätzlichen Faktor wird die Empfindlichkeit verschiedener Strukturen bezüglich bestimmter Fundamentverhältnisse erfasst (Zusammenwirken Bau-

werk-Untergrund).

Die Probleme, die sich aus den *differentiellen Verschiebungen bei Bauwerken grosser Länge* ergeben, werden ebenfalls in diesen Normen behandelt. Dies kann z. B. bei einer Brücke mit grosser Spannweite, bei der sich die Pfeiler unterschiedlich bewegen, von Bedeutung sein. Die differentiellen Bewegungen ergeben sich aus der Fortpflanzung einer seismischen Welle zwischen zwei gegebenen Punkten.

## Erdbebensicherheit schweizerischer Bauwerke



### Seismizität der Schweiz

**Dr. D. Mayer-Rosa** ist Mitarbeiter am *Institut für Geophysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (ETHZ)*. Er leitet den *Schweizerischen Erdbebendienst*. Durch diese Tätigkeit ist er mit praktisch allen seismischen Problemstellungen in der Schweiz vertraut. Er ist einer der massgeblichen Autoren der «Erdbeben-Risikokarten der Schweiz» [3].

### Seismizität

Unter der Seismizität eines Gebietes versteht man die *quantitative Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Erdbeben*. Der Schweizeri-

sche Erdbebendienst registriert seit 1911 instrumentell die Daten von Erdbeben. In Tabelle 1 sind die stärksten Beben in der Schweiz in diesem Jahrhundert aufgeführt, deren Intensität den Wert VI oder grösser erreicht hat. Die Intensität eines Bebens wird heute

Tabelle 1. Die Schadenbeben in der Schweiz in diesem Jahrhundert. Die Intensität ist nach der MSK-Skala angegeben

| ORT     | DATUM    | ZEIT  | EPIZ.           | INT. (MSK) |
|---------|----------|-------|-----------------|------------|
| BERN    | 02.11.13 | 01:50 | 47°13' / 07°24' | VI-VII     |
| CHUR    | 22.12.13 | 11:38 | 46°46' / 09°26' | VI         |
| ENGADIN | 09.12.17 | 21:40 | 46°36' / 09°54' | VI         |
| BRIG    | 15.04.24 | 12:48 | 46°15' / 07°55' | VII        |
| "       | 21.04.24 | 22:24 | "               | VI         |
| JURA    | 08.01.25 | 02:45 | 46°52' / 06°30' | VII+       |
| YVERDON | 01.03.29 | 10:32 | 46°46' / 06°45' | VII+       |
| "       | 12.08.33 | 09:56 | "               | VII-VIII   |
| SIERRE  | 25.01.46 | 17:31 | 46°19' / 07°30' | VIII       |
| "       | 26.01.46 | 03:15 | "               | VII        |
| "       | 04.02.46 | 04:11 | "               | VII        |
| "       | 30.05.46 | 04:41 | "               | VII        |
| SION    | 19.05.54 | 09:34 | 46°16' / 07°17' | VII        |
| SIERRE  | 29.07.54 | 04:42 | 46°17' / 07°30' | VI         |
| BRIG    | 23.03.60 | 23.08 | 46°21' / 08°05' | VII-VIII   |
| SARNEN  | 17.02.64 | 12:19 | 46°57' / 08°13' | VII        |
| "       | 14.03.64 | 02:37 | "               | VII        |
| GLARUS  | 29.09.71 | 07:19 | 46°59' / 08°57' | VII        |

nach der MSK-Skala bewertet. Tabelle 2 enthält eine Kurzfassung der MSK-Skala, wobei die ungefähr entsprechenden Magnitudenwerte (Energie im Erdbebenherd nach der Richter-Skala) und die maximalen Bodenbeschleunigungen zugeordnet sind.

### Historische Erdbeben

Mit der *Intensitäts-Skala* ist es möglich, auch historische Erdbeben zu klassifizieren. Für die Schweiz existiert ein *Erdbebenkatalog*, der etwa 1000 Jahre zurückreicht und mehr als 2000 Ereignisse umfasst. Die Karte dieser Erdbeben ist in der Veröffentlichung [3] dargestellt. Besondere Schwerpunkte der seismischen Aktivität können im Wallis, in der Zentralschweiz, im Gebiet um Basel, um Chur und im Engadin festgestellt werden.

Die Untersuchung der Verteilung von Schäden bei einem Erdbeben wird anhand von *makroseismischen Karten* durchgeführt, in denen für jeden Ort im Schüttergebiet die Intensität kartennässig festgehalten wird. In der Schweiz existiert praktisch für jedes stärkere Beben eine makroseismische Karte.

Neben der räumlichen Verteilung von Erdbeben werden auch *zeitliche Änderungen* der Aktivität festgestellt. So zeigt z. B. eine Analyse im Wallis, dass die Bebenaktivität seit dem letzten Jahrhundert eine Verschiebung nach Westen erfahren hat.

### Epizentren

In Bild 9 ist die Verteilung von Erdbebenepizentren wiedergegeben, wie sie aufgrund von Registrierungen mit dem *neuen Stationsnetz des Schweizerischen Erdbebendienstes* ermittelt wurde. Die Genauigkeit bei der Bestimmung der Epizentren und Magnituden ist gegenüber historischen Beben sehr gut, nämlich 1–3 km bzw. 0,3 Magnitudeneinheiten. Im Zeitraum 1972–1979, der in Bild 9 erfasst ist, sind nur schwächere



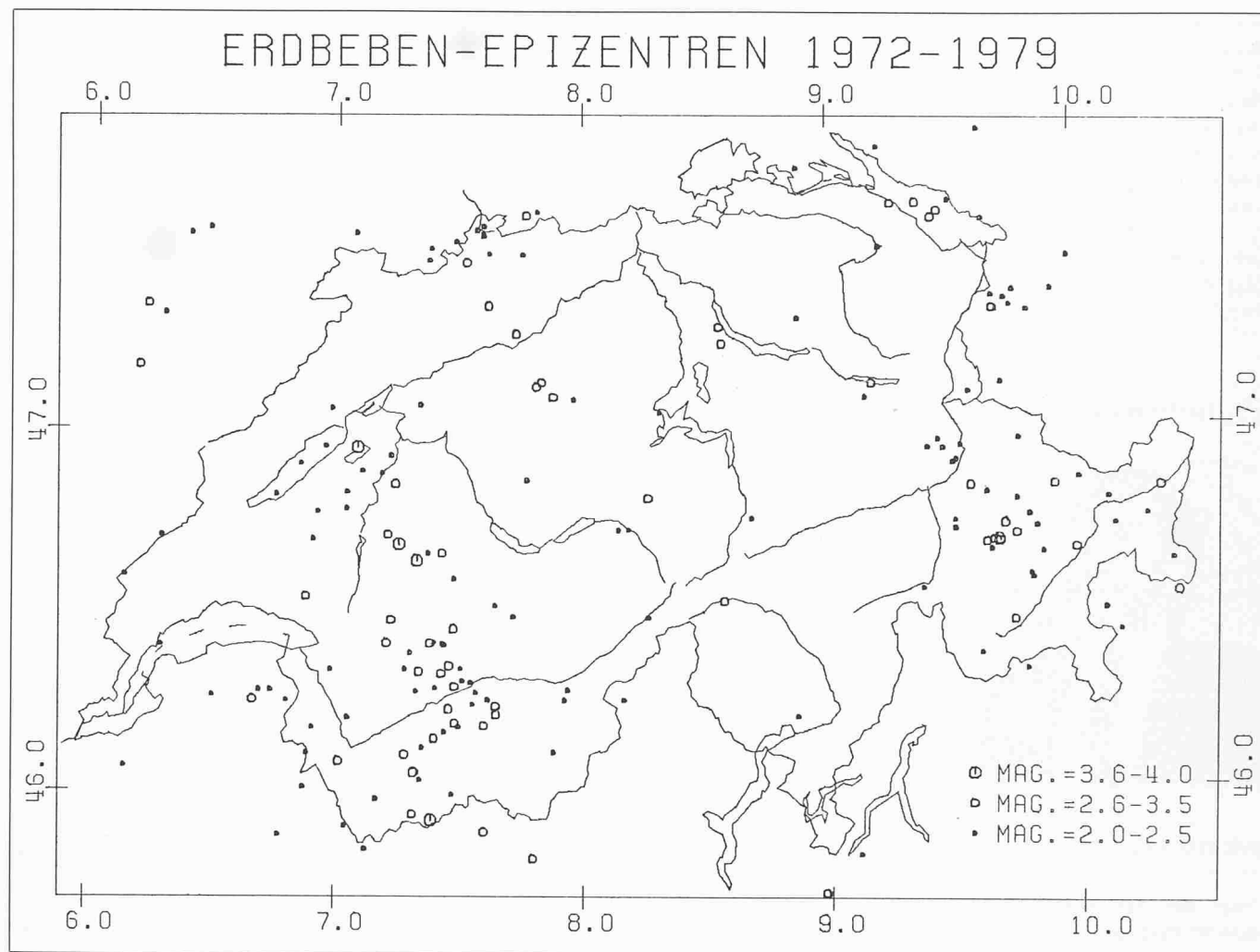


Bild 9. Karte der Erdbeben-Epizentren in der Schweiz zwischen 1972 und 1979, registriert und lokalisiert mit dem Stationsnetz des Schweizerischen Erdbebedienstes. Die Herdtiefe liegt zwischen 2 und 20 km

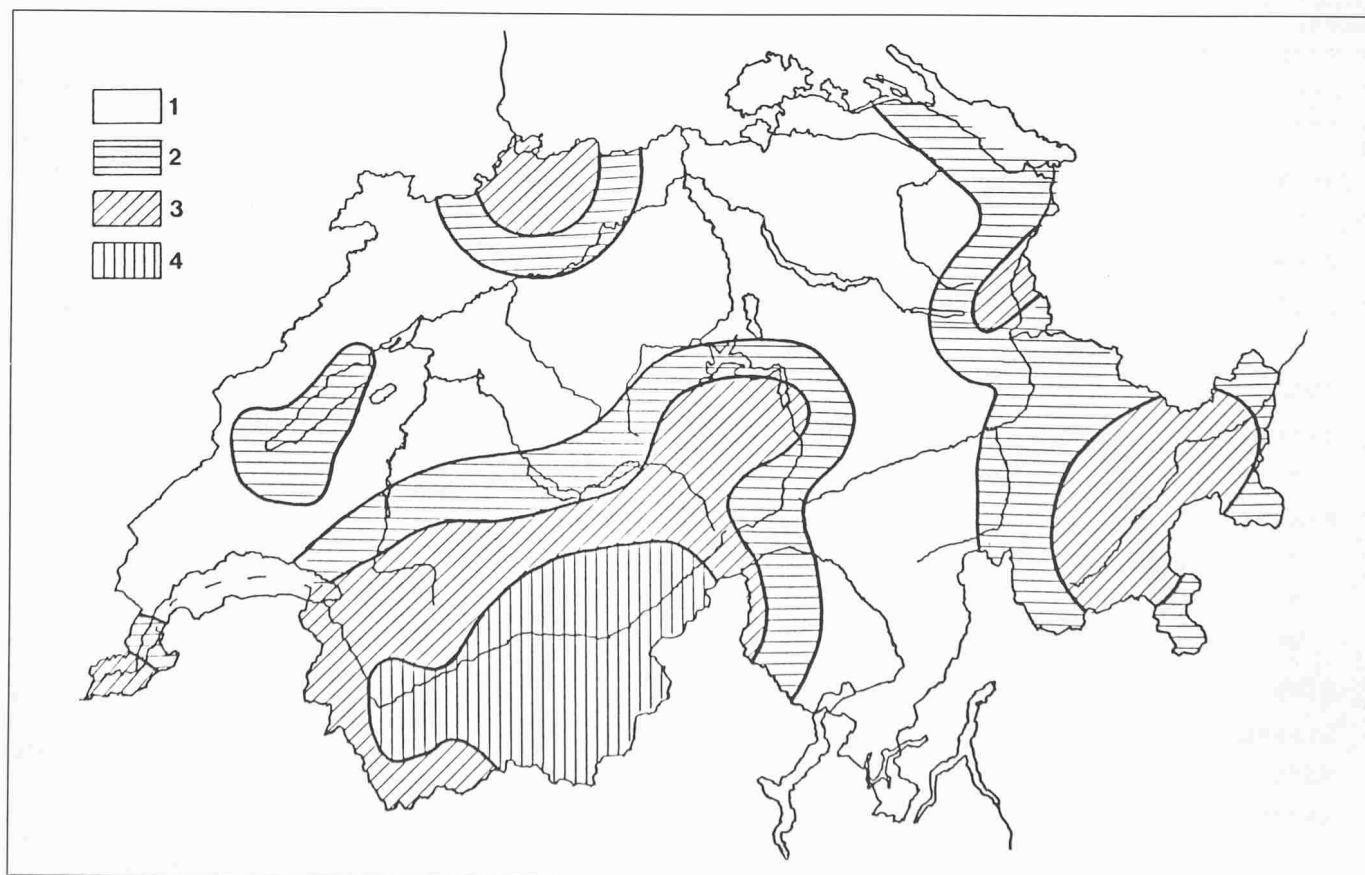


Bild 10. Erdbebenzonen-Karte der Schweiz

Zone 1: geringe Erdbebengefährdung  
Zone 2: mässige Erdbebengefährdung

Zone 3: mittlere Erdbebengefährdung  
Zone 4: grössere Erdbebengefährdung

Beben bis zur Magnitude 4 oder Intensität V aufgetreten. Trotzdem zeigt dieses Bild, dass die Verteilung auch für grössere Beben charakteristisch ist. Auf der anderen Seite sind heute offensichtlich bestimmte Gebiete seismisch inaktiv, die in früheren Zeiten beträchtliche Erdbeben produziert haben, wie z. B. das Gebiet *Sarnen und Brig/Visp*. Die Herdtiefe der Erdbeben in der Schweiz liegt durchwegs zwischen 2 und 20 km mit einer Häufung um 10 km. Epizentrenkarten erlauben auch eine Korrelation mit tektonischen und geologischen Strukturen, eine Zuordnung, die in der Praxis allerdings ausserordentlich kompliziert ist, da man ja Phänomene in unterschiedlichen Tiefenbereichen miteinander zu vergleichen hat. Eine wesentliche Hilfe bei dieser Korrelation bilden *seismotektonische Karten* [15], in denen alle bekannten tektonischen, geologischen und seismologischen Daten zusammengetragen sind.

### Gefährdung

Mit möglichst vollständigen, seismologischen und seismotektonischen Daten kann die Erdbebengefährdung an einem Standort bestimmt werden. Neben deterministischen Methoden werden heute vorwiegend probabilistische, d. h. *statistische Rechenmethoden* verwendet. Das prinzipielle Vorgehen ist in [3] beschrieben und wird hier nur kurzgefasst wiedergegeben:

- Festlegung der seismisch aktiven Zonen,
- Ermittlung der seismischen Gesetzmässigkeiten dieser Zonen,
- Ermittlung der Abminderungsrelation für die Intensität oder Bodenbeschleunigung zwischen der Zone und dem Standort,
- Summierung der Einflüsse aller Zonen auf einen Standort.

Die Darstellung der Erdbebengefährdung geschieht in Form von Kurven, die immer einer bestimmten Stärke der

Tabelle 2. Kurze Charakteristik der Intensitäts-Skala MSK 1964. Magnituden (nach Richter) und maximale Bodenbeschleunigungen (in g) sind Näherungswerte

| INTENSITÄT |                                                                      | MAGN. | Amax        |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-------|-------------|
| I          | Nur von Instrumenten registriert                                     | 2     |             |
| II         | Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen               |       |             |
| III        | Nur von wenigen verspürt                                             | 3     | $\leq 0.01$ |
| IV         | Von vielen wahrgenommen, Geschirr und Fenster klirren                |       |             |
| V          | Haengende Gegenstände pendeln, viele Schlafende erwachen             | 4     | $0.02-0.05$ |
| VI         | Leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz                  |       | $0.04-0.1$  |
| VII        | Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen            | 5     | $0.07-0.2$  |
| VIII       | Grosse Spalten im Mauerwerk, Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein |       | $0.15-0.3$  |
| IX         | An einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein, Erdrutsche           | 6     | $0.25-0.5$  |
| X          | Einsturz vieler Gebäude, Spalten im Boden                            |       | $0.4-0.8$   |
| XI         | Viele Spalten im Boden, Erdrutsche und Felsstürze                    | 7     | ca 1.0      |
| XII        | Starke Veränderungen an der Erdoberfläche, grosse Katastrophe        |       |             |

Tabelle 3. Erdbebenintensität (MSK) und ihre jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit in verschiedenen Zonen

| Auftretens-Wahrsch. | $0.01 \text{ p.a.}$ | $0.001 \text{ p.a.}$ | $0.0001 \text{ p.a.}$ |
|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Zone 1              | V - VI              | VI - VII             | VII - VIII            |
| Zone 2              | VI                  | VII                  | VIII                  |
| Zone 3              | VI - VII            | VII - VIII           | VIII - IX             |
| Zone 4              | VII                 | VIII                 | IX                    |

Bodenbewegung eine berechnete Auftretenswahrscheinlichkeit zuordnen.

### Zonierung

In Bild 10 ist der Versuch unternommen worden, aus allen berechneten Risikokarten eine vereinfachte Zonenkarte zu entwerfen. Die Zonen 1-4 sind durch zunehmende Erdbebengefährdung gekennzeichnet und die zugehörige Tabelle 3 zeigt die maximalen Erd-

bebenintensitäten, die in den einzelnen Zonen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten können. Man kann diesen Zusammenhang auch so ausdrücken, dass die für jede Zone aufgeführten drei Intensitäten statistisch einmal pro 100 Jahre mit 63 Prozent, 10 Prozent und 1 Prozent Wahrscheinlichkeit auftreten können. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass je nach Objekt bzw. erforderlicher Sicherheit immer *das zu berücksichtigende maximale Erdbeben* angegeben und *mit Risiken aus anderen Lebensbereichen* verglichen werden kann.



## Schadenpotential in der Schweiz

R. Sägger, M.Sc., dipl. Ing. ETH, ist Mitarbeiter bei Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer, in Zürich. In seinem Nachdiplomstudium befasste er sich mit Problemen der *Baugrunddynamik*. Er ist seit längerer Zeit im Gebiet der *Gefährdungsermittlung* und *Bauwerksicherheit bei Erdbeben* tätig. Er ist einer der massgeblichen Autoren der «Erdbeben-Risikokarten der Schweiz» [3].

Die Erdbebensicherheit hängt von der Gefährdung an einem Ort und vom Erdbebenverhalten eines Bauwerks bei einem Erdbeben ab. Wie im vorhergehenden Abschnitt über die Seismizität in der Schweiz beschrieben, ist eine quantitative Darstellung der Gefährdung unter bestimmten Voraussetzungen für jeden Ort der Schweiz möglich und in Form der Erdbebenrisikokarten heute vorhanden [3].

### Problematik der Erfassung

*Keine umfassenden Untersuchungen wurden bisher über das gesamtheitliche Verhalten von typisch schweizerischen Bauten bei Erdbeben angestellt. Quervergleiche mit von Erdbeben betroffenen Siedlungsgebieten erlauben es, gewisse Abschätzungen zu machen. Grundlagen dazu bilden die sogenannten Schadenfunktionen, die je nach Bautyp oder als Mittel verschiedener Bautypen einer Region ermittelt werden können. Mit der Schadenfunktion wird der Zusammenhang zwischen der Erdbebenintensität und dem Zerstörungsgrad*

(Verhältnis von Schadenwert zu Inventarwert) dargestellt. Solche Daten wurden für einige von Erdbeben betroffene Siedlungsgebiete im Ausland eruiert. Ist das Schadenpotential einer Region oder des Landes von Interesse, können einerseits Schadenssummen tatsächlicher Ereignisse und andererseits Auswertungen der obenerwähnten regionalen Schadenfunktionen ermittelt und miteinander in Beziehung gebracht werden. Die Grösse des schweizerischen Schadenpotentials lässt sich mittels typischer Schadenfunktionen und Schadenzahlen beobachteter Ereignisse einigermaßen abschätzen. Für das bessere Verständnis der Abhängigkeiten sollen dazu die bei uns dominierenden Parameter bei der Erdbebenwirkung auf Bauten kurz beleuchtet werden.

### Schadenursachen

Schäden infolge Erdbeben entstehen im wesentlichen durch folgende Wirkungen:

- 1) *Baugrunderschütterungen*
  - Fundationsversagen

- Strukturversagen

#### 2) *Bodenversagen*

- Verwerfungen
- Verflüssigung
- Setzungen
- Hanginstabilität

#### 3) *Indirekte Wirkungen*

- Flutwellen bei Talsperrenbruch
- Verseuchungen etc.

Der Schaden infolge *Erschütterungen* steht dabei im Vordergrund des Interesses, da Erschütterungen alle Objekte erfassen.

### Schaden durch Erschütterungen

Erschütterungen wirken auf Bauten sehr unterschiedlich. Das *Zusammenwirken von Erregerfrequenz mit Eigenfrequenzen* der Bauten (*Resonanzproblem*), mögliches, *exzentrisches Schwingverhalten* (Torsionsbeanspruchungen), das *Vorhandensein nichtlinearer Dämpfungseigenschaften*, *Sprödeheit der Struktur* etc. spielen dabei eine Rolle. Es dürfte aber kaum möglich sein, bei älteren Bauten irgendwelche typisch schweizerischen Verhaltensmuster zu finden. Die Einführung der einfachen Erdbebenartikel in der Norm SIA 160 [1], eine teilweise Standardisierung im Wohnungsbau, Anforderungen an Skelettbauten aus Brandsicherheitsgründen, der vermehrte Ausbau der Untergeschosse zu Schutzräumen und anderes mehr lassen erwarten, dass neuere Gebäude im Falle einer dynamischen Beanspruchung, im weltweiten Vergleich gesehen, gewisse typische Verhaltensmuster aufweisen.

Einen z. T. systematischen Einfluss auf das Verhalten können auch die *regionalen, geologischen Baugrundverhältnisse* haben. Auf den ersten Blick bieten sich auch da in der Schweiz wegen der Vielfalt geologisch möglicher Baugrundverhältnisse keine regionsspezifischen Einschränkungen an. Es ist aber bekannt, dass die Mehrheit der oberflächennahen Böden für Fundationszwecke hinsichtlich des dynamischen Verhaltens noch in Grenzen variiert. So weisen etwa Flussschotter, Molassemergel, verwitterte Kalke, Moränenablagerungen etc. dynamische Steifigkeiten in ähnlicher Grössenordnung auf (Schubmodul:  $G_{dyn} = 100 - 700 \text{ MN/m}^2$ ).

### Schadenfunktionen

In Bild 11 sind Schadenfunktionen in Abhängigkeit der Standortintensität (MSK) dargestellt. Es werden vier verschiedene Bautypengruppen, zusammengefasst nach ihrem Schubverhalten gezeigt. Die Kurven basieren auf ausländischen Erdbebenschadenuntersuchungen [16, 17, 18]. Gut ersichtlich

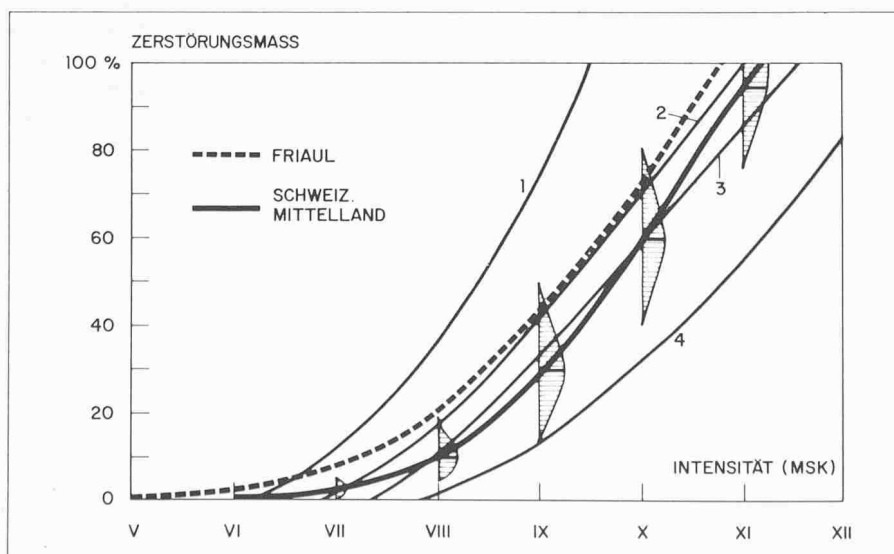


Bild 11. Schadenfunktionen. Das Verhältnis von Schadenwert zu Inventarwert an verschiedenen Gebäudetypen (1-4) und für Regionen in Funktion der Standortintensität (MSK).

1: einfache Backstein-/Betonhochbauten.

2: Skelettbauten in Stahl oder Beton ohne besondere Erdbebenbemessung.

3: Stahlbetonbauten mit einfacher seismischer Bemessung.

4: gegen Erdbeben ausgelegte Bauten.

Regionale Schadenfunktion aufgrund der Zusammensetzung des Inventars typischer Flächen



wird darin die Wirkung einer Auslegung gegen Erdbeben auf die Schadenerwartung einer Baute (Tendenz von Kurve 1 zu Kurve 4).

Die regionalen Schadenfunktionen geben die Schadenanfälligkeit nicht eines Bautyps, sondern eines regional mittleren Bautyps, d. h. des mittleren vorhandenen Inventars, an. In Bild 11 ist der Vergleich zweier typischer, regionaler Schadenfunktionen angegeben (Friaul und schweizerisches Mittelland). Darin kommt zum Ausdruck, dass dem Inventar im Mittelland um ca. eine halbe Intensität (MSK) höhere Robustheit zugemutet wird. Der Grund dafür ist nicht etwa in einer generell stärkeren Bauweise zu suchen, sondern in der Zusammensetzung der Bautypen. Im Friaul betrug 1976 der Anteil an alten Natursteinbauten mehr als einen Drittel aller Gebäude.

## Gesamtschäden

Ein zu erwartender Schaden in der Schweiz unter einem beliebigen Erdbebenereignis lässt sich aufgrund von aufdatierten Schadenzahlen vergangener Erdbebenschadensummen und Extrapolationen anhand zweier repräsentativer Einzugsgebiete im Mittelland und im Alpengebiet ermitteln. Bild 12 zeigt sowohl die Datenpunkte vergangener Erdbebenereignisse korrigiert auf den heutigen Geldwert, als auch die Extremkurve der Schadenerwartung in der Schweiz.

Zwei wichtige Parameter sind die *Bevölkerungsdichte* (und damit die Dichte der Investitionen) und der *Lebensstandard* (Wert der Investitionen [19]). Während der Lebensstandard, immer im weltweiten Vergleich, für die ganze Schweiz allgemein als hoch bezeichnet werden kann, variiert die Bevölke-

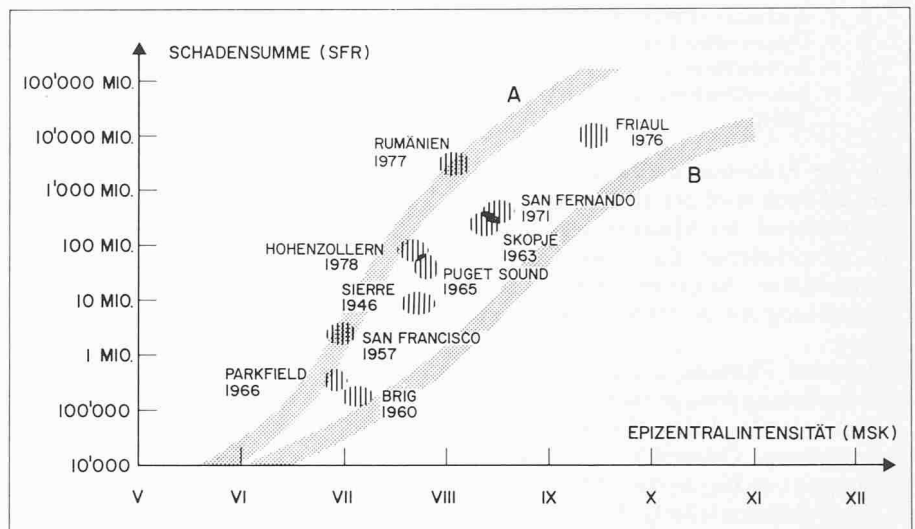


Bild 12. Schadenssummen. Auf den Stand Dezember 1978 normierte Schadenssummen vergangener Erdbebenereignisse und Extremwerte für schweizerische Verhältnisse.

A: max. Schadenerwartung im schweiz. Mittelland. B: min. Schadenerwartung im Alpengebiet

rungsdichte. Sie liegt nördlich der Alpen im Mittel bei 200 Einwohnern/km<sup>2</sup> und sogar höher, während sie im übrigen Gebiet im Mittel bei etwa 50 Einwohnern/km<sup>2</sup> liegt.

Für den Gesamtschaden bei einem Erdbeben mit gegebener Epizentralintensität spielt als weiterer Parameter die *Herdtiefe* (und damit der *Schütterradius*) eine massgebende Rolle. Mögliche Herdtiefen von stärkeren Beben dürften im Alpenraum bis zu 30 km, allgemein eher zwischen 2–20 km betragen. (Im Vergleich *Friaul* 1976: H = 8 km, *Rumänien* 1977: H = 100 km).

Die Schadenssummen vergangener Ereignisse sind mit Unsicherheiten der Verrechnungsart wie Kursumrechnung in Schweizerfranken, Indexanpassung, etc., behaftet. Die Extremkurven A und B für schweizerische Verhältnisse basieren ausschliesslich auf Hochrechnungen aufgrund von Erdbebenwirkungen durch Erschütterungen. Indirekte Wirkungen (z. B. Flutwellen) sind nicht berücksichtigt.

Trotz all dieser Einschränkungen lassen sich einige eindeutige Aussagen zum schweizerischen Schadenpotential unter Erdbeben machen, nämlich:

1. Auf der dicht besiedelten, industrialisierten Alpennordseite dürfte mit einem eher hohen (Kurve A) und im übrigen Gebiet mit einem tieferen Schadenvolumen (bis zu Kurve B) zu rechnen sein.
2. Es ergibt sich, dass das Produkt von Gefährdung und Schadenerwartung (Risiko), in der Schweiz etwa überall gleich gross ist, weil die Gefährdung, mit Ausnahme des Rheingraben, bei gleicher Eintretenswahrscheinlichkeit im Alpenraum eine um 1–2 Einheiten höhere Intensität aufweist. Der rechnerische Schadenerwartungswert ergibt so einen Gesamtbetrag in der Grössenordnung von etwa hunderttausend Franken pro Jahr für die ganze Schweiz, je nach Stärke des für maximal möglich gehaltenen Erdbebens.



## Erdbebenvorschriften in der Schweiz

Dr. M. Wieland ist Oberassistent am Institut für Baustatik und Konstruktion der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (ETHZ). Er beschäftigt sich mit der Erdbebensicherheit von Hochbauten wie auch von Stau-mauern. Seine Dissertation befasste sich mit der Beanspruchung einer Gewichtsmauer infolge Erdbeben unter Berücksichtigung des Einflusses des Stausees. Er hat einen Lehrauftrag für eine Einführungsvorlesung in das Gebiet des Erdbebeningenieurwesens.

Erdbebenvorschriften für die Dimensionierung von Hochbauten gibt es in der Schweiz seit 1970. Sie sind in der Norm SIA 160, Art. 22 [1] sowie in einer Empfehlung zur Norm [2] enthalten. Beide Vorschriften haben nicht Gesetzeskraft und müssen in der Praxis nur

dann verwendet werden, wenn dies von den verantwortlichen Stellen oder dem Bauherrn vorgeschrieben wird. Neben den SIA-Normen gibt es für spezielle Bauwerke zum Teil schon seit längerem Vorschriften oder Empfehlungen für die Erdbebedimensionierung. Zur-

zeit befindet sich der Erdbebenartikel der SIA-Norm in der Revision. Ein Normenentwurf wird im Verlauf der nächsten Jahre erscheinen.

## Lastannahmen und Bemessung

Grundsätzlich sollen die Tragwerke den Belastungen durch Erdbeben widerstehen. In der Norm SIA 160 [1] wird von einer *statischen Erdbebenlast* ausgegangen. Die gesamte, horizontale Ersatzlast setzt sich wie folgt zusammen:

$$H = \alpha \cdot \beta \cdot \delta \cdot g \cdot M$$

mit

$H$  = Horizontalschub

$\alpha$  = Seismischer Koeffizient

- $\beta$  = Wichtigkeitsfaktor des Bauwerkes  
 $\delta$  = Dynamischer Faktor  
 $g$  = Erdbeschleunigung  
 $M$  = Bauwerksmasse inkl. Nutzlastenanteil

Für die Erdbebenanalyse mehrstöckiger Gebäude wird der Horizontalschub entsprechend der Massenbelegung auf die verschiedenen Geschosse verteilt. Konstruktive Angaben sind in der Empfehlung zur Norm SIA 160 [2] enthalten.

Folgenden Punkten sollte unter anderem Rechnung getragen werden:

- Konzept der Bauwerke (Grundrissgestaltung, Geometrie und Abmessungen von Bauwerken, Massen- und Steifigkeitsverteilung, Tragsysteme)
- Foundationen (Bodenarten, Foundationstyp, Zusammenwirken von Foundation und Bauwerk)
- Konstruktive Einzelheiten (Duktilität der Tragelemente, Verbindungen, Vorfabrikation, Elemente aus Mauerwerk, unbewehrtem Beton, Stahlbeton und Stahl, Leitungen, Bauprogramm).

Den konstruktiven Massnahmen werden vom Ingenieur und Architekten meist zuwenig Beachtung geschenkt. Durch das strikte Einhalten konstruktiver Kriterien erhält man ohne wesentlichen Mehraufwand ein erdbebenresistentere Bauwerk als im Fall eines projektierten Bauwerks, wo nachträglich mit kostspieligen Untersuchungen und baulichen Massnahmen versucht wird, eine adäquate Erdbebenresistenz zu erhalten.

Werden Bauwerke nach den in Art. 22 [1] festgelegten Bestimmungen berechnet und konstruiert, «so werden sie auch stärkere, zerstörende Beben mit geringeren oder noch tragbaren Schäden überstehen. Noch schwerere, sog. Katastrophenbeben, soll der Grossteil der Bevölkerung überleben können» [1].

## Vergleich verschiedener Vorschriften

Am Beispiel eines viergeschossigen Lagerhauses und eines 27stöckigen Hochhauses ist in Bild 13 ein Vergleich zwischen einem effektiven Erdbeben (geglättetes Antwortspektrum aus Friaul-Beben vom 6. Mai 1976, Station Codroipo, max. Beschleunigung 0,09g) und den folgenden Erdbebenvorschriften

- Norm SIA 160, Art. 22 [1] SIA
- Richtlinie Baden-Württemberg [21] BW
- ATC-3 [8] ATC

aufgeführt [22]. Die Berechnungen basieren auf der Annahme eines Gebäudestandortes auf steifem Sediment mit

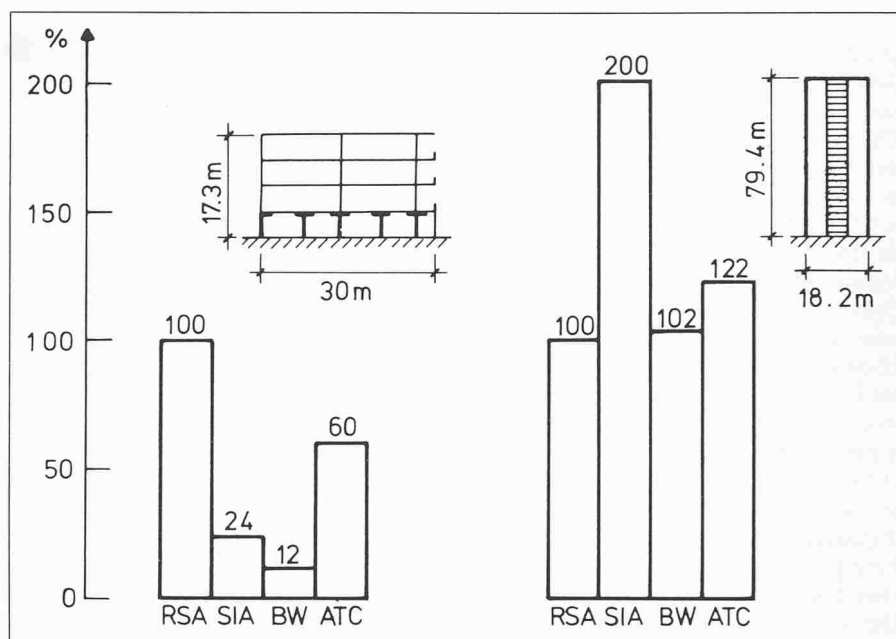


Bild 13. Vergleich verschiedener Erdbebennormen, dargestellt an einem Lagerhaus und an einem Hochhaus. Aufgetragen sind die maximalen Biegemomente aus reiner Erdbebenbelastung am Fuss der linken Stütze des Lagerhauses bzw. am Fuss des Kerns des Hochhauses. Der Wert der Antwortspektrenberechnung (RSA) wird als Vergleichswert zu 100 Prozent festgelegt

einem wirksamen Beben der Intensität  $I_{MSK} = VII$ .

In Bild 13 sind jeweils die maximalen Biegemomente, bezogen auf die Momente, die aus einer Analyse mit der Methode der Antwortspektren mit dem effektiven Beben (RSA) resultieren, dargestellt. Im Fall des relativ steifen Lagerhauses mit einer Grundschnungsdauer von 0,7 s werden die effektiven Belastungen deutlich unterschätzt. Auf der anderen Seite ergeben sich beim Hochhaus (Grundperiode 3,0 s) für die Normen zu ungünstige Verhältnisse, was sich insbesondere bei der Norm SIA deutlich feststellen lässt.

Aufgrund dieses Vergleiches können für die Norm SIA etwa folgende Schlüsse gezogen werden:

- bei relativ steifen Hochbauten wird die Bebenwirkung unterschätzt;
- bei Gebäuden mit langer Grundschnungsdauer wird die Bebenwirkung überschätzt.

## Spezielle Bauwerke

Der Geltungsbereich der Norm SIA bezieht sich praktisch nur auf Hochbauten. Für spezielle Bauwerke wie Brücken, Talsperren, Wasserkraftanlagen, thermische Kraftwerke, Kernkraftwerke und andere Anlagen, die in den Zuständigkeitsbereich des Bundes oder der Kantone fallen, gelten zum Teil andere Bedingungen als in der SIA-Norm. Die Ersatzbeschleunigung muss in diesen Fällen im Einvernehmen mit den verantwortlichen Stellen festgelegt werden. Als typische Beispiele gelten hier einerseits die Talsperren, die schon seit Anfang der 50er Jahre für eine horizon-

tale Ersatzbeschleunigung von 0,1 g bemessen wurden und andererseits die Kernkraftwerke, wo die seismischen Auslegungskriterien von der Sicherheitsbehörde festgelegt werden. Bei den Kernkraftwerken sind bisher in der Schweiz die aufwendigsten seismischen Risikostudien und Erdbebenanalysen durchgeführt worden.

## Mängel der Norm SIA 160

Artikel 22 [1] zeigt im Vergleich zu ATC-3 [8] folgende Schwachstellen:

- ungenügende oder fehlende Berücksichtigung der regionalen Seismizität, der geografischen Verteilung der Bevölkerung und der Schadenpotentiale,
- keine Berücksichtigung der lokalen Baugrundverhältnisse,
- keine Unterscheidung von Bauwerksklassen und Baumaterialien,
- keine Angaben über Duktilitätsanforderungen,
- keine adäquate Berücksichtigung der dynamischen Eigenschaften der Bauwerke,
- Bemessung nur mit dem Ersatzlastverfahren.

Die konstruktiven Vorschriften [2] weisen hingegen detaillierte Angaben auf. Ein Mangel besteht vor allem an Angaben über nichttragende Bauelemente, Installationen und Einrichtungen. Diese, für den Ingenieur meist unwichtigen Dinge können im Fall eines Erdbebens für die grössten Schäden verantwortlich sein, sollten also nicht isoliert betrachtet werden.

## Empfehlungen und Ausblicke

Der Stand der Erdbebenvorschriften ist von Land zu Land sehr verschieden. Die Gründe dazu liegen vorwiegend in der aktuellen Seismizität, der wirtschaftlichen Lage und den technologischen Möglichkeiten eines Landes. Bezogen auf die Schweiz sind die wirt-

schaftlichen und technologischen Bedingungen vorhanden, hingegen sind zerstörerische Beben sehr selten. Aufgrund der zahlreichen Mängel des SIA-Erdbebenartikels sollten die Anstrengungen zur Einführung einer fortschrittlichen Erdbebennorm, die dem stets wachsenden Schutzbedürfnis der Bevölkerung Rechnung trägt, verstärkt

werden. Zurzeit ist eine umfassende Norm über die Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken (SIA 260) in Vorbereitung. Die Grundsätze dieser Sicherheitsnorm werden die zukünftige Erdbebennorm stark beeinflussen, da Sicherheitskonzepte und wirksame Belastungen für ein Bauwerk nicht isoliert betrachtet werden können.

## Gestaltung von Erdbebenvorschriften

In den Diskussionsrunden vom Freitag, 10. Aug. 1979 ging es darum, die Meinung eines gemischt zusammengesetzten Gremiums von Fachleuten zu Grundsatzfragen in der Gestaltung von Erdbebenvorschriften herauszuarbeiten. Anschliessend werden die Ergebnisse der drei Sessionen zusammengefasst.

### Seismisches Risiko, lokale Verhältnisse und Schutzgrade

#### Zusammensetzung der Gesprächsrunde

|                   |                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorsitz:          | Dr. P. Courvoisier                                                                                     |
| Berichterstatter: | Dr. W. Bosshard                                                                                        |
| Diskussionsrunde: | Prof. N. N. Ambraseys<br>Prof. C. A. Cornell<br>Dr. N. Pavoni<br>Dr. R. Walther<br>Prof. R. V. Whitman |

#### Wie gross ist das Erdbebenrisiko in der Schweiz?

Das Erdbebenrisiko wurde übereinstimmend als zu klein beurteilt, um grossen Aufwand für Schutzmassnahmen zu rechtfertigen. Von dieser Einschätzung ausgenommen wurden Anlagen von besonderer Bedeutung für die Versorgung sowie solche mit hohem Folgeschadenpotential (Versorgungsleitungen und Transportwege, Spitäler, Kernkraftwerke, Stauanlagen, chemische Anlagen usw.).

#### Welche Kriterien sollten der Erdbebenrisiko-Zoneneinteilung zugrunde gelegt werden?

Es wurde keine Einstimmigkeit erzielt, doch betrachten die meisten Gesprächsteilnehmer die Erdbebenintensität als geeignete Grundlage für die Risikobeurteilung. Dieser Grundsatzentscheid ist für die Schweiz in den kürzlich abgeschlossenen Untersuchungen [3] über die Erdbebengefährdung vorweggenommen. Die Konstruktionsnormen sollten

den verschiedenen Intensitätswerten konstruktive Mindestanforderungen sowie Bemessungswerte der Bodenbewegungsparameter (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Verschiebungen, Frequenzinhalt) zuordnen.

#### Soll das Land in eine, zwei oder mehrere Zonen eingeteilt werden?

Auch hier wurde keine Einstimmigkeit erzielt. Im Interesse der Einfachheit wurde die Wahl einer einzigen Risikozone für das ganze Land befürwortet. Es wurde auch die kritische Frage gestellt, ob die vorhandenen historischen und seismographischen Aufzeichnungen eine feinere Einteilung überhaupt rechtfertigen.

#### Sollen die lokale Topographie, Geologie und Tektonik berücksichtigt werden? Wenn ja: wie?

Übereinstimmend wurde betont, dass der Einfluss der lokalen geotechnischen, topographischen und tektonischen Gegebenheiten in den Projekten zu berücksichtigen sei. Die Mindestanforderungen und Bemessungswerte der Konstruktionsnormen wären somit z.B. in Abhängigkeit von den lokalen Untergrundverhältnissen abzustufen.

Die Einführung von Mikrozoneneplänen in das Normenwerk wurde dagegen allgemein abgelehnt.

#### Welche Gebäudeschäden sind in der Schweiz zu erwarten? Was kann akzeptiert werden?

Diese Frage wurde nur unvollständig diskutiert. Betont wurden die entscheidende Bedeutung lebensgefährdender Grenzzustände des Tragverhaltens sowie die gesamtwirtschaftliche Auswirkung grosser Beben. Erwähnt wurde auch die Frage, ob historisch wertvolle Bauten besondere Schutzmassnahmen rechtfertigen.

#### Welche Gebäudeklassen sollen von den Normbestimmungen erfasst werden?

Es wurde vorgeschlagen, zwischen Ingenieurtragwerken (engineered

structures) und anderen zu unterscheiden. Die Bedeutung dieser Unterscheidung für die Verhältnisse in unserem Land ist allerdings fraglich. Übereinstimmung herrschte dagegen darin, dass die zur ersten Frage erwähnten Sonderbauwerke strenger Anforderungen genügen sollten als die grosse Masse der Tragwerke.

## Berechnungsmethoden

#### Zusammensetzung der Gesprächsrunde

|                   |                                                                                                                  |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorsitz:          | Dr. J. P. Wolf                                                                                                   |
| Berichterstatter: | Dr. R. Dungar                                                                                                    |
| Diskussionsrunde: | Prof. S. Bubnov<br>Prof. M. H. Derron<br>J. Despeyroux<br>Dr. H. Ermutlu<br>Prof. G. W. Housner<br>Dr. N. Pavoni |

#### Welche analytischen Methoden werden als praxisgerecht betrachtet?

Bestimmte Kategorien von Bauwerken bzw. ihr Erdbebenverhalten können mit dem statischen Ersatzlastverfahren analysiert werden. Für andere Bauwerke ist es empfehlenswert, wenigstens eine dynamische Analyse in Betracht zu ziehen.

Im Falle einer dynamischen Berechnung wurde im allgemeinen die Methode der Antwortspektren als geeignet erachtet. Eine Berechnung im Zeitbereich (time history analysis) ist in Fällen geometrischer und materialbedingter Nichtlinearitäten durchzuführen. Die Anzahl der in einer dynamischen Analyse zu berücksichtigenden Eigenschwingungen kann von Fall zu Fall variieren. Eine Eigenform dürfte oft genügen. Dies erfordert jedoch eine sorgfältige Voraussage dieser Eigenschwingungsform.

#### Wie soll die Erdbebenbelastung in Bezug auf das seismische Risiko am Standort, die lokalen Verhältnisse des Standorts,



## den Bauwerktyp, die zulässigen Beanspruchungen (Gebrauchszustand, Bruchzustand), sowie in bezug auf die Berechnungsmethoden spezifiziert werden?

Die Erdbebengefährdung sollte durch ein einziges Bemessungsbeben charakterisiert werden. Bei der Definition dieser Gefährdung wurde übereinstimmend festgehalten, dass der Kollaps eines Bauwerks unter allen Umständen verhindert werden muss.

Ein Antwortspektrum oder eine Erdbebenersatzlast muss dem inelastischen Verhalten oder den Duktilitätseigenschaften des Bauwerks sowie den Aufschaukelungseffekten des Untergrundes in geeigneter Weise Rechnung tragen, die das Antwortspektrum aufgrund ihrer Auswirkungen auf Amplitude und Frequenz der Erschütterung beeinflussen. Gewisse minimale Bodeneigenschaften sollten angegeben werden.

Bei der Formulierung einer Erdbebennorm wird im allgemeinen berücksichtigt, dass während eines Erdbebens in beschränktem Ausmass plastische Deformationen auftreten. In vielen Fällen kann die Antwort des Bauwerks abgeschätzt werden, indem elastische Antwortspektren verwendet werden. Bei anderen Bauten hingegen ist es empfehlenswert, ein Antwortspektrum zu benützen, das plastische Effekte berücksichtigt. Für die Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Bauwerksantwort muss die Erdbebenbelastung in Form eines Beschleunigungsverlaufs angegeben werden. Hier kann man entweder auf Aufzeichnungen vergangener Beben zurückgreifen oder künstlich generierte Seismogramme, die mit einem vorgegebenen Bemessungsantwortspektrum kompatibel sind, beziehen.

## Wie sind Erdbebenlasten mit anderen Lasten zu kombinieren (z.B. Schnee, Wind usw.)?

Erdbebenlasten sollten mit den «üblichen» Lasten überlagert werden, um die ungünstigsten Deformations- und Beanspruchungsverhältnisse zu erhalten. Es ist nicht üblich, Erdbebenlasten mit anderen extremen Lasten zu überlagern.

## Nichttragende Elemente, Installationen, Infrastruktur und sozio-ökonomische Gesichtspunkte

### Wie sollen nichttragende Elemente (Fassaden, Trennwände usw.) und Gebäudeausrüstungen berücksichtigt werden?

Nichttragende Elemente haben einen wesentlichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten eines Gebäu-

### Zusammensetzung der Gesprächsrunde:

|                   |                                                                                                 |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vorsitz:          | Dr. G. Lombardi                                                                                 |
| Berichterstatter: | Dr. E. G. Prater                                                                                |
| Gesprächsrunde:   | Prof. S. Bubnov<br>K. Gaehler<br>Prof. G. W. Housner<br>Dr. H. Tiedemann<br>Prof. R. V. Whitman |

des. Leider ist ihre Berücksichtigung in der Berechnung schwierig. Das gleiche gilt für Maschinen und andere Gebäudeausrüstungen. Die Befestigung der Installationen (z.B. Elektrizitäts- und Gasleitungen) erfordert besondere Aufmerksamkeit und eine gute Zusammenarbeit zwischen den betreffenden Fachleuten.

Es wurde in der Diskussion darauf hingewiesen, dass der Schaden bei nichttragenden Elementen einen beträchtlichen Anteil des gesamten Schadens ausmacht und zu Produktionsausfällen, Beeinträchtigung des Fremdenverkehrs und Arbeitslosigkeit führen kann. Das Versagen von nichttragenden Elementen kann auch zu einer direkten Gefährdung von Menschen führen.

Die Erfahrung zeigt, dass ein grosser Teil der Schäden an Gebäudeausrüstungen mit relativ wenig Aufwand verhindert werden kann (z.B. Anordnung und Befestigungen von Maschinen). Die Gebäudehomogenität (Massen- und Steifigkeitsverteilung) ist von grosser Bedeutung: Insbesondere sind «weiche Stockwerke» («soft storeys») zu vermeiden.

Die Reparatur nichttragender Elemente kann sehr kostspielig sein. Es lohnt sich deshalb, diesem Gesichtspunkt besondere Aufmerksamkeit zu schenken, indem u.a. auf die Zugänglichkeit zu schadenanfälligen Stellen geachtet wird.

Eine zukünftige Entwicklung bestünde darin, die Wirkung nichttragender Elemente durch eine berechenbare Masse-, steifigkeits- und festigkeitsabhängige Funktion zu simulieren, womit eine bedeutende Vereinfachung des mathematischen Modells einer Struktur erzielt werden kann. Da aber das Problem rechnerisch nicht allein gelöst werden kann, ist es nötig, weiterhin praktische Erfahrungen zu sammeln und die vorhandenen Erkenntnisse besser zu verbreiten.

### Welche Teile der Infrastruktur sollen geschützt werden?

Die Frage wurde nur am Rande diskutiert. Es handelt sich hier vor allem um Gebäude und Systeme, deren Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben erhalten bleiben soll, sog. «Lifelines» wie Energieversorgungs-

anlagen (Elektrizität, Gas, Öl), Transportsysteme, Wasserversorgungen, Spitäler, Feuerwehrestationen und Kommunikationssysteme (Massenmedien, Telefon usw.) [23,24].

### Sozio-ökonomische Gesichtspunkte: Welche Aufgaben sollten Versicherungen bei Erdbebenschäden übernehmen?

Die Frage wurde nicht im einzelnen diskutiert, hingegen wurde sie bei der Behandlung der ersten Frage gestreift. Die ökonomischen Aspekte lassen sich durch Kosten-Nutzen-Analysen beantworten. Die Kapitalaufwendungen für eine erdbebenresistente Konstruktion müssen den allfälligen Reparaturkosten, Einnahmeverlusten durch Betriebsausfall usw. und den aufzuwendenden Versicherungsprämien gegenübergestellt werden.

Die gesamten Versicherungskosten in seismisch aktiven Gebieten können 2-7 Prozent der Bausumme oder auch mehr betragen. Sie werden mit Hilfe des PML-Wertes («probable maximum loss»), der auf Gebäudetyp und Intensität basiert, ermittelt. Bei wichtigen Bauwerken (z.B. Brücken) oder Systemen, die intakt bleiben müssen, können die Prämien relativ hoch sein, so dass es auf lange Sicht hinaus günstiger wird, in eine erdbebensichere Struktur zu investieren. Ein zerstörerisches Beben mit Epizentrum in stark industrialisierten Regionen (z.B. Schweizer Mittelland) könnte Schäden verursachen, die einen beträchtlichen Prozentsatz des Landes-Bruttosozialproduktes ausmachen. Demzufolge wäre eine geographische Verteilung des Risikos eine denkbare Lösung.

### Autoren und Redaktion des Berichtes

Der vorliegende Tagungsbericht wurde auf Grund von Tonbandaufnahmen und persönlichen Notizen von W. Ammann, Dr. W. Bosshard, Prof. M. Derron, Dr. R. Dunger, Dr. H. Ermutlu, K. Gähler, Dr. E. Glauser, Dr. Ch. Heiniger, Dr. D. Mayer-Rosa, Dr. G. Prater, R. Sägger, Dr. J. Studer, Dr. M. Wieland und N. Zingg verfasst und von Dr. E. Glauser, Dr. D. Mayer-Rosa, Dr. J. Studer, Dr. M. Wieland redaktionell bearbeitet.

Kontaktadresse: Dr. J. Studer, Präses,  
Organisationskomitee, IGB-ETHZ, 8093  
Zürich



## Literatur

- [1] Norm SIA 160: «Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten». Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1970.
- [2] Empfehlung zu Norm SIA 160: «Praktische Massnahmen zum Schutz der Bauwerke gegen Erdbebenwirkung». Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1975.
- [3] Sägger, R. und Mayer-Rosa, D.: «Erdbebengefährdung in der Schweiz». Schweiz. Bauzeitung, Heft 7, 1978.
- [4] Ambraseys, N. N.: «Value of historical records of earthquakes». Nature, London 232, 5310, 375-9, 1971.
- [5] Ambraseys, N. N.: «Engineering Seismology». Inaug. Lect., Imperial College of Science and Technology, X, London, 1975.
- [6] Ambraseys, N. N.: «Middle East - A Reappraisal of the Seismicity». Q. Jl. Engng. Geology, 11, 19-32, 1978.
- [7] UNESCO: «Final Report: Intergovernmental Conference on the Assessment and Mitigation of Earthquake Risk, Paris, Februar 1979». Publikation SC/MD/53, UNESCO, Paris, 1979.
- [8] Applied Technology Council: «Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings (ATC-3)». National Bureau of Standards, Publication NBS SP-510, 1978.
- [9] Algermissen, S. T. und Perkins, D. M.: «A Probabilistic Estimate of Maximum Acceleration in Rock in the Contiguous United States». U. S. Geological Survey, Open File Report, 76-416, 1976.
- [10] Uniform Building Code. 1976 edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California, 1976.
- [11] Seed, H. B., Ugas, C. and Lysmer, J.: «Site Dependent Spectra for Earthquake-Resistant Design». Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, No. 1, p. 221-244, 1976.
- [12] Housner, G. W. and Jennings, P. C.: «Earthquake Design Criteria for Structures». Earthquake Engineering Research Laboratory, Report EERL 77-06, California Institute of Technology, Pasadena, 1977.
- [13] Cornell, C. A. und Merz, H. A.: «Seismic risk analysis of Boston». ASCE National Structural Engineering Meeting, Cincinnati, Ohio, USA, 1974.
- [14] CEB/FIP Model Codes for Concrete Structures. Volume 1: «Common Verified Rules for Different Types of Construction and Material». Volume 2: «CEB/FIP Model Code for Concrete Structures». FIP Publications, Wexham Springs, Slough, England, 1978.
- [15] Pavoni, N. und Mayer-Rosa, D.: «Seismotektonische Karte der Schweiz». Institut für Geophysik, ETH-Zürich, 1978.
- [16] Conti, M. und Fantoni, L.: «Some aspects of the methodology of restoration and renewal of buildings damaged in the 1976 Friuli earthquakes». Seminar on Constructions in Seismic Zones, Bergamo, Italy, May 1978.
- [17] Sauter, F. und Shah, H. C.: «Estudio de Seguro contra Terremoto». Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica, 1978.
- [18] Petak, W. J., Aktissson, A. A. und Gleye, P. H.: «Natural Hazards: A Public Policy Assessment». NSF Grants AEN-74-23992 submitted to NTIS, Dez., 1978.
- [19] Eidgenössisches Statistisches Amt: «Statistisches Jahrbuch der Schweiz», 1975 und 1978.
- [20] Bachmann, H. und Wieland, M.: «Einführung in die Erdbebensicherung von Bauwerken». Autographie, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Zürich, 1979.
- [21] «Vorläufige Richtlinien für das Bauen in Erdbebengebieten des Landes Baden-Württemberg». Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg, 21. Dezember 1972.
- [22] Ziegler, A., Ammann, W. und Bachmann, H.: «Erdbebenbeanspruchung von Beton- und Leichtbetontragwerken nach verschiedenen Normen und Berechnungsverfahren». Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Zürich, Bericht 7501-2, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart, (im Druck) 1980.
- [23] Duke, C. M. und Moran, D. F.: «Guidelines for Evolution of Lifeline Earthquake Engineering». U. S. Nat. Conf. on Earthquake Engineering, Ann Arbor, Michigan, 367-395, 1975.
- [24] ASCE: «The current state of knowledge of Lifeline Earthquake Engineering». Proc. Specialty Conference ASCE on Lifeline Earthquake Engineering, Los Angeles, California, 1977.

## Umschau

## Mehr Licht aus weniger Strom

## Energiesparende Revolution in der Beleuchtungstechnik

Eine der grössten Umwälzungen im Beleuchtungssektor seit der Erfindung der Glühlampe durch Thomas A. Edison vor 100 Jahren hat kürzlich die amerikanische General Electric an gleichzeitigen Pressekonferenzen in New York und London bekanntgegeben. Sie hat eine völlig neue Lichtquelle vorgestellt. Diese ersetzt die herkömmliche Glühbirne, braucht weniger Strom und lebt länger. Erstmals kann damit bald jeder Haushalt aus den Fortschritten der modernen Beleuchtungstechnik Nutzen ziehen. Nach Ansicht der Fachleute stellt die neue Lampe die wichtigste Entwicklung seit der Einführung der Leuchtstoffröhre 1938 durch die General Electric dar. Sie soll unter dem Namen «Electronic Halarc» Anfang 1981 auf den Markt gelangen. Die gesamten Kosten für Forschung und Entwicklung werden auf rund 34 Millionen Franken veranschlagt. Dazu kommen jetzt Investitionen von 40 Millionen Franken für den Bau besonderer Fabrikationsanlagen.

Die «Electronic Halarc»-Lampen arbeiten nach der Halogendampftechnik, wobei eine in den Lampenfuss eingebaute Elektronik für optimale Umsetzung der elektrischen Energie in Licht sorgt. Schwankungen in der Versorgungsspannung gleicht die Elektronik sofort aus. Damit erreichen die neuen Lichtquellen eine vier- bis fünfmal höhere Lebensdauer als herkömmliche Glühlampen. Da gleichzeitig die Lichtausbeute fünfmal grösser ist, verbrauchen sie zur Erreichung der gleichen Beleuchtungsstärke fünfmal weniger Strom. Aus diesem Grund kommt die «Electronic Halarc»-Lampe trotz einem Anschaffungspreis von rund 17 Franken den Konsumenten bei den heutigen Stromkosten

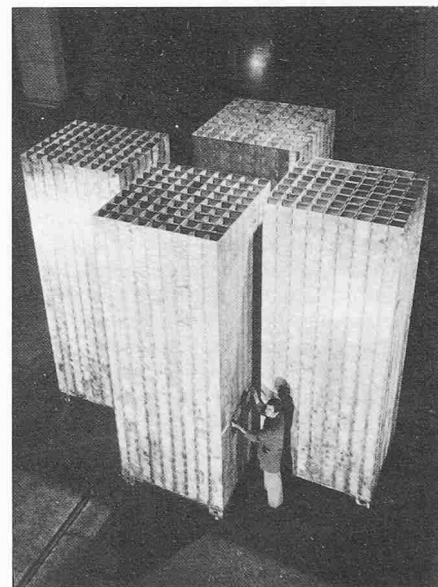
am Schluss mehr als einen Drittel günstiger zu stehen.

Die Einsparungen auf der Energieseite erreichen zusammengefasst eine sehr grosse Bedeutung. Hätten einmal alle 105 Millionen Haushalte Westeuropas wenigstens eine herkömmliche Glühlampe durch eine «Electronic Halarc»-Lampe ersetzt, so ergäbe sich über deren mittlere Lebensdauer von fünf Jahren ein Minderverbrauch von insgesamt 40 Milliarden Kilowattstunden. Das ist mehr als der jährliche Stromverbrauch der ganzen Schweiz.

In ihrer äusserlichen Aufmachung wird sich die neue Lampengeneration wenig von der gewohnten Glühbirne unterscheiden. Im Gegensatz zur Leuchtstoffröhre erfordert sie keine besonderen Fassungen und passt in die üblichen Schraubanschlüsse. Sie wird in allen gebräuchlichen Lampenformen und Lichtstärken erhältlich sein, zudem auch als Reflektorlichtquelle für Spotbeleuchtung. Die Lichtfarbe entspricht weitgehend derjenigen von Glühlampen, und sie eignet sich deshalb ohne Einschränkung für die Beleuchtung von Wohnräumen, aber auch von Arbeitsräumen sowie von Schaufenstern.

## Brennelement-Kompaktagergestelle

Kompaktagergestelle für verbrauchte Brennelemente sind ein Sulzer-Produkt im Bereich der Entsorgung von Kernkraftwerken. Die Kompaktagergestelle erlauben eine maximale Ausnutzung der in den Kernkraftwerken vorhandenen Lagerbecken und eine wirtschaftliche Planung und Auslegung von zentralen Brennstoff-Zwischenlagern. Das Konzept der Kompaktagergestelle kann den individuellen Erfordernissen jedes Kernkraftwerkes (mit Siedewasser- oder Druckwasserreaktor) angepasst werden. Je nach Bedarf werden die Gestelle auf vorhandene



Auflagebolzen oder Träger abgestützt und verankert. Der Einbau von Kompaktagern in bestehende Kernkraftwerke wird durch das weiterentwickelte System der freistehenden, beweglichen Gestelle erleichtert. Die Kühlung der eingelagerten Brennelemente erfolgt in der Regel durch freie Konvektion über entsprechende Öffnungen in der Grundplatte.

## Reaktorsicherheit - Das grösste Risiko ist der Mensch

Prof. Adolf Birkhofer von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) in Köln hat ausgerechnet: Der Einfluss menschlichen Fehlverhaltens beim Ausfall von Sicherheits-