

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Zeitschrift:</b> | Schweizer Ingenieur und Architekt  |
| <b>Herausgeber:</b> | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  |
| <b>Band:</b>        | 100 (1982)   |
| <b>Heft:</b>        | 12   |
| <b>Artikel:</b>     | Integraler baulicher Erdbebenschutz III: baulicher Erdbebenschutz an einem Wendepunkt? |
| <b>Autor:</b>       | Staudacher, Konrad   |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-74774">https://doi.org/10.5169/seals-74774</a>  |

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Integraler baulicher Erdbebenschutz III:

# Baulicher Erdbebenschutz an einem Wendepunkt?

Von Konrad Staudacher, Zürich

**Das Starkbeben von Long Beach, Kalifornien (USA), gab 1933 das Startzeichen zur gezielten Erforschung der seismischen Erdmechanismen und der Baudynamik. Der Verlust an Menschenleben und die materiellen Schäden rüttelten die Bevölkerung wach und liessen Politiker, Versicherungen und Behörden aus ihrer Reserve heraustreten. Der Auftrag war klar: «Baut unsere Häuser erdbebensicher!»**

Trotz der relativen Jugend der beiden Wissenschaftswege Seismologie und Erdbeben-Ingenieurwesen haben sie in bald fünfzig Jahren intensiver Forschung bereits beachtenswerte Erkenntnisse hervorgebracht. Die eigentliche Aufgabe, Bauwerke gegen Starkbeben umfassend zu sichern, konnte jedoch bisher nicht gelöst werden. Mit der Entwicklung der räumlich schwimmenden Lagerung zur Erdbebenisolierung der Bauwerke steht heute das technische Potential zum Schutz gegen die grössten bekannten Starkbeben nun aber bereit.

## Einleitung

Das komplexe Problem des baulichen Erdbebenschutzes einer Lösung zuzuführen könnte dann gelingen, wenn eine lösungsorientierte Formulierung der Aufgabenstellung gefunden wird. In [1] wurde der beschränkte Erdbeben-Schutzauftrag der Baunormen zugunsten des erweiterten Schutzauftrags des integralen baulichen Erdbebenschutzes aufgegeben. In [2] konnte eine Methode zur Definition des Lastfalls aufgezeigt werden, die ihn gegenüber Baunormen phänomengerechter darzustellen erlaubt. In [3] wurde mit der *räumlich schwimmenden Lagerung* eine technische Möglichkeit vorgestellt, wie der integrale Schutz sich praktisch verwirklichen lässt. Diese Konzepte wurden zwar für hochseismische Regionen entwickelt, können aber wo nötig direkt auf Starkbeben-ärmere Regionen übertragen werden. In diesem Artikel sollen nun

- die lösungsorientierte Aufgabenstellung vorgestellt werden, die zur Entwicklung der räumlich schwimmenden Lagerung geführt hat, und
- grundsätzliche Fragen der Lastfall-Definition und des Starkbeben-Sicherheitsnachweises behandelt werden.

Im folgenden werden die Voraussetzungen bezüglich Standort, technische Massnahmen zur Erdbebensicherung und rechnerischer Nachweis der tatsächlich erreichten Sicherheit von [1] und [2] übernommen. Danach sind solche Bauwerke integral erdbebensicher, deren Tragwerk intensiven und extremalen Starkbeben wiederholt und schadlos standhält. Dieser *erweiterte Schutzauftrag* bricht mit der herkömmlichen «Philosophie», wonach sich Bauwerke nur während kleinerer Stark-

beben elastisch verhalten, während bei mittelstarken bis stärksten Beben Tragwerkschäden bis zur Abbruchreife zulässig sind. Der Übergang auf den erweiterten Schutzauftrag stellt zugleich verschiedene wichtige Annahmen in Frage, die bei der Lastfall-Definition und beim Sicherheitsnachweis in Bau-normen bisher akzeptiert worden sind. Ihre Diskussion wird eingeleitet, nachdem in [1] bis [3] mögliche Lösungsansätze aufgezeigt werden konnten.

## 1. Grenzen der elastischen Reaktionsfähigkeit von Bauwerken auf Starkbeben

Bauwerke besitzen natürliche Grenzen der elastischen Reaktionsfähigkeit auf Starkbeben. Diese Grenzen werden bestimmt durch:

- die mechanischen Eigenschaften der verwendeten Baumaterialien (elastische Deformationsfähigkeit bei dynamischer Beanspruchung, Schockverhalten, Materialdämpfung)
- die Vibrationseigenschaften des Bauwerks (Eigenfrequenzen, Modalformen, Systemdämpfung)
- die Beanspruchungshöhe des Bauwerks durch die übrigen Lasten (Eigengewicht, Gebrauchslasten, Schnee, Wind).

Viele Kenntnisse, die zur *exakten Bestimmung* dieser Grenzen bei konventionell ausgebildeten Bauwerken unter Starkbeben-Beanspruchung nötig sind, fehlen bis heute (Kap. 7). Trotzdem wird Bauwerken die Fähigkeit zugesprochen, intensive Starkbeben bei normgemäßiger Ausbildung nahezu schadlos zu überstehen [7]. Dass sich diese Erwartungen in der Praxis nicht erfüllen, wurde in den letzten Jahren eindrücklich belegt: Moderne Hoch-

bauten erlitten bereits bei mittelstarken Beben Totalschaden (z. B. im Imperial Valley-Beben 1979, El Asnam-Beben 1980, Süditalien-Beben 1980). Die Grenzen der elastischen Reaktionsfähigkeit werden also weiterhin zu hoch eingeschätzt.

Die Fähigkeit von Bauwerken, Starkbeben elastisch aufzunehmen, dürfte in den meisten Fällen bei Beben mittlerer Dauer mit einer grössten (vektoriellen) Beschleunigung von 3 bis 4 [ $m/s^2$ ] erschöpft sein. Untersuchungen an einem achtgeschossigen Geschäftshaus mit optimaler Auslegung zur kombinierten Aufnahme der statischen und erdbeben-dynamischen Lastfälle haben bestätigt, dass dort die elastische Beanspruchungsgrenze mit dem bekannten El Centro-Beben (18. Mai 1940) erreicht war [3]. Damit erscheint auch der Spielraum erschöpft, der es erlaubte, seismische Baudynamikprobleme mit den klassischen Mitteln der Baustatik zu behandeln.

Die Baudynamik ist dagegen als ein Spiel mit der Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsverteilung eines Bauwerks zu verstehen mit dem Ziel, eine gegebene dynamische Erregung optimal aufzunehmen. Die Vibrationseigenschaften des Bauwerks (Eigenfrequenzen, Modalformen, Dämpfung) werden so lange überarbeitet, bis die Kräfte infolge dieser Erregung in den gefährdeten Tragwerkteilen die zulässigen Grenzen der Materialbeanspruchung nicht mehr überschreiten. Ist ein Bauwerk nicht in der Lage, die dynamischen Kräfte aufzunehmen, liegt somit meist ein *Fall von falscher Abstimmung der Bauwerk-Eigenfrequenzen auf die Frequenzen der dynamischen Erregung* vor.

## 2. Frequenzabstimmung zwischen Bauwerk und Starkbeben

Im Falle Starkbebenbeanspruchter Bauwerke konventioneller Bauweise ist die Frequenzabstimmung ein nahezu unlösbares Problem [1]. Die technischen Massnahmen, welche es erlauben, Hochbauten gegenüber den Erdbebenfrequenzen *tief abzustimmen*, schwächen sie meist empfindlich in ihrer Tragfähigkeit. Die exponierten Tragwerkteile sind nicht in der Lage, die grossen Verschiebungen aufzunehmen, die bei tief abgestimmten Bauwerken während Starkbeben unvermeidlich sind (Bild 4 in [1]). Zudem rutschen mit der Absenkung der Grundfrequenzen (tiefste Eigenfrequenzen des Bauwerks) auch die Oberfrequenzen mit nach unten in den Resonanzbereich der Erdbeben-Spektralformen (Zone C, Bild 1) und unterliegen ihrerseits der

| Grundfrequenzen Bauwerke [Hz]           |             |       |
|---|-------------|-------|
| weich                                   | mittelsteif | steif |
| < 1.0                                   | 1.0–4.0     | > 4.0 |
| weich                                   | mittelsteif | steif |
| «free field»-Eigenfrequenzen-Böden [Hz] |             |       |

Tabelle 1. Gliederung der Bauwerk- und Bodenfrequenzen

**Resonanzanregung.** Werden Bauwerke im Gegenteil steif ausgebildet, entsteht eine *hohe Abstimmung* gegenüber Erdbebenfrequenzen. Sie führt bei stossartiger Starkbeben-Bearbeitung zu einer ausgeprägten Sprödbruch-Anfälligkeit des Bauwerks. In [1] wurde deshalb von einer *konzeptionellen Pattsituation* im baulichen Erdbebenschutz gesprochen. Es ist aber dieses Problem der Frequenzabstimmung, das vor dringlich gelöst werden muss, wenn Bauwerke überhaupt erfolgreich gegen Starkbeben geschützt werden sollen.

### 3. Bauwerke bei Starkbeben-Bearbeitung

#### 3.1. Schematische Gliederung der Bauwerk- und Bodenfrequenzen

Die Ausbildung der Bauwerke wie auch die Starkbeben-Bearbeitung selbst sind von fast beliebiger Vielfalt. Diese Tatsache trägt wesentlich zur Schwierigkeit bei, das erdbeben-dynamische Bauwerkverhalten in übersichtlicher und systematischer Weise zu gliedern. Die nachfolgende Darstellung gilt deshalb speziell für Hochbauten wie Geschäfts- und Wohnhäuser, Baumaterialien wie Stahlbeton und Stahl und «gute Baugrundverhältnisse».

Die Lastfall-Definition nach [2] mit drei Starkbeben-Intensitätsstufen wird übernommen:

- Standardbeben mit  $BI \geq 3.0$
- Intensivbeben mit  $3.0 < BI \geq 6.0$
- Extremalbeben mit  $6.0 < BI \geq 15.0$

Die einzelnen Intensitätsstufen wurden mit Hilfe der seismischen Kenngrößen der vektoriellen seismischen Bewegungsintensität  $BI$  ausgeschieden. Die Grenzwerte der Bewegungsintensität  $BI$  in den drei genannten Intensitätsstufen gelten für hochseismische Regionen wie Kalifornien.

Zur Einteilung der Bauwerk-Grundfrequenzen und der sog. «free field»-Eigenfrequenzen der Böden wird Tabelle 1 verwendet. Die Baugrund-Abhängigkeit des Frequenzinhalts typischer Bemessungsbeben ist bekannt [4]. Deshalb wird zweckmässigerweise von

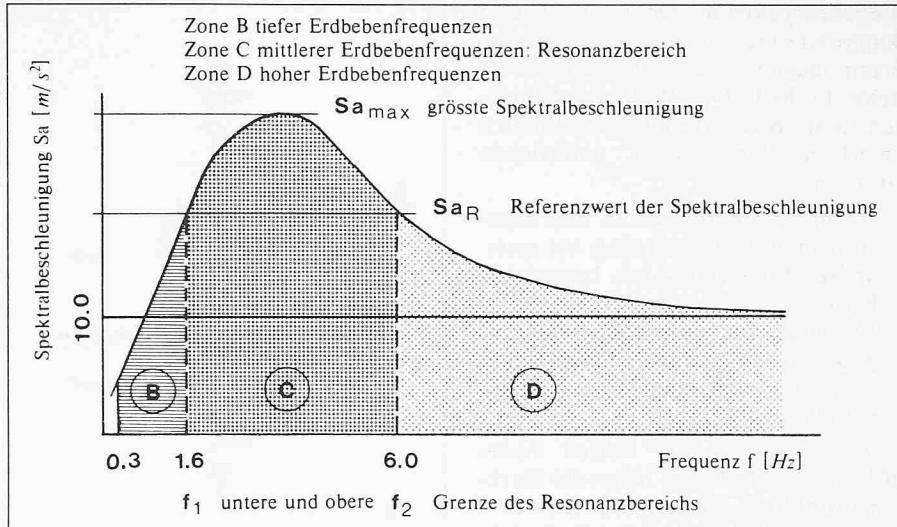


Bild 1. Normierte Bemessungs-Spektralform auf Mittelwert-Basis, repräsentativ für mittelsteife Böden und 2% Dämpfung

Starkbeben-Funktionen ausgegangen, die im Festgestein gemessen oder auf diesen *Referenzhorizont* umgerechnet wurden [2]. Sie besitzen Reaktions-Spektralformen gemäss A und B in Bild 2 (Basis: Mittelwert plus eine Standardabweichung<sup>1</sup>). Die grösste Spektralamplitude der Beschleunigung  $Sa_{max}$  liegt bei 4 bis 7 [Hz]. Auf mittelsteifen Böden fällt die grösste Spektralamplitude ab, gleichzeitig verengt sich die Spektralform (Form C). Auf weichen Böden verstärkt sich diese Tendenz (grösste Spektralamplitude in Form D bei 1.2 [Hz]). Je weicher der Boden, desto ausgeprägter wird im allgemeinen die Resonanzspitze (Filterwirkung weicher Böden); dagegen erreichen die Beschleunigungen im Fels die grössten Absolutwerte.

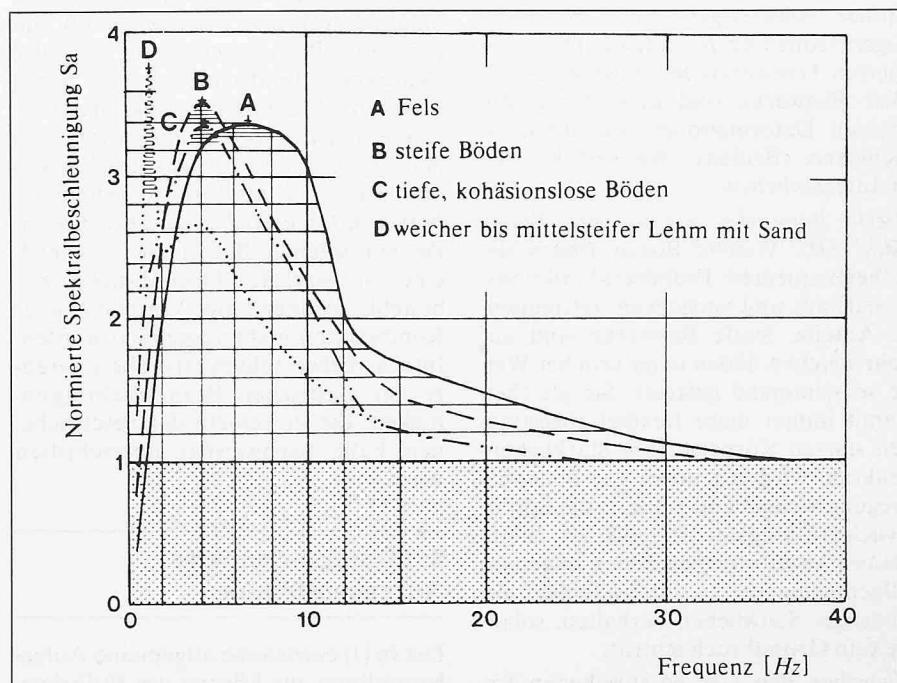
#### 3.2. Schematische Darstellung des Interaktionsverhaltens Bauwerk/Baugrund

Auf dieser vereinfachten Basis (Tabelle 1) kann die Fähigkeit von Bauwerken konventioneller Ausbildung, Starkbeben schadlos, d. h. elastisch zu überstehen, wie folgt abgeschätzt werden (Bild 3):

**Steife Bauwerke auf steifen Böden (Bild 3A):** Steife Bauwerke sind unter der stossartigen Erdbeben-Erregung Sprödbruch-anfällig; steife Böden übertragen auch den höherfrequenten Anteil im

<sup>1</sup> Bemessungs-Spektralformen auf Maximalwert-Basis sind ein relativ junger Vorschlag [3]. Baugrundabhängige Bemessungs-Spektralformen auf Maximalwert-Basis müssen deshalb erst noch entwickelt werden.

Bild 2. Typische, baugrundabhängige Bemessungs-Spektralformen nach Seed et al. (Basis: Mittelwert plus eine Standardabweichung, 5% Dämpfung)



Erdbebenspektrum. Da Bauwerk und Baugrund eine ähnliche Steifigkeit besitzen, reagieren sie auf Starkbeben als steife Einheit. Die Widerstandsfähigkeit steifer Bauwerke auf steifen Böden unterliegt damit zwei natürlichen Grenzen:

1. Abrupter Sprödbruch in überbeanspruchten Tragwerksteilen bei stossartiger Einwirkung (ab Intensivbeben)
2. Erreichen der elastischen Materialgrenzen bei kontinuierlicher dynamischer Einwirkung (oft schon bei Standardbeben).

*Weiche Bauwerke auf steifen Böden (Bild 3B):* Steife Böden leiten die Starkbebenfunktion weitgehend unverändert weiter; die tiefen Grundfrequenzen bauen sich nicht auf. Weiche Bauwerke mit tiefen Grundfrequenzen bilden hier das nachgiebigste Element im System. Je steifer die Böden, um so stärker entkoppelt sich die Bauwerkreaktion von der Bodenbewegung. Die Grundfrequenzen des Bauwerks liegen unterhalb der Resonanzzone des Bemessungsspektrums, Oberfrequenzen liegen darin und darüber. Weiche Bauwerke auf steifen Böden haben bei Standardbeben ein potentiell günstiges Starkbeben-Verhalten, während Intensiv- und Extremalbeben gröserer Dauer werden die elastischen Materialgrenzen jedoch rasch überschritten.

*Weiche Bauwerke auf weichen Böden (Bild 3C):* Weiche Bauwerke besitzen tiefe Grundfrequenzen. Weiche Böden verstärken die tiefen Erdbeben-Funktionsanteile. Bauwerk und Baugrund sind von ähnlicher Steifigkeit; sie reagieren damit auf Starkbeben als weiche Einheit und mit grossen Deformationen. Mit abnehmender Bauwerk-Höhe wird es zudem technisch immer schwieriger, tiefe Bauwerk-Eigenfrequenzen zu erzielen. Die exponentierten Tragwerksteile an der Basis solcher Bauwerke sind nicht fähig, die grossen Deformationen aufzunehmen (Knicken, Beulen): Bauwerk-Kollaps ab Intensivbeben.

*Steife Bauwerke auf weichen Böden (Bild 3D):* Weiche Böden filtern die höherfrequenten Erdbeben-Funktionsanteile aus und verstärken tiefenfrequente Anteile. Steife Bauwerke sind auf sehr weichen Böden in natürlicher Weise schwimmend gelagert. Sie gleichen damit immer mehr flexibel abgestützten starren Körpern. Ihre Starkbebenreaktion wird gegenüber der Bodenbewegung weitgehend isoliert; die Sprödbruch-Anfälligkeit ist reduziert. Steife Bauwerke auf weichen Böden zeigen im allgemeinen bis zu Intensivbeben ein günstiges Starkbeben-Verhalten, solange kein Grundbruch eintritt.

Zwischen den vier beschriebenen Ex-

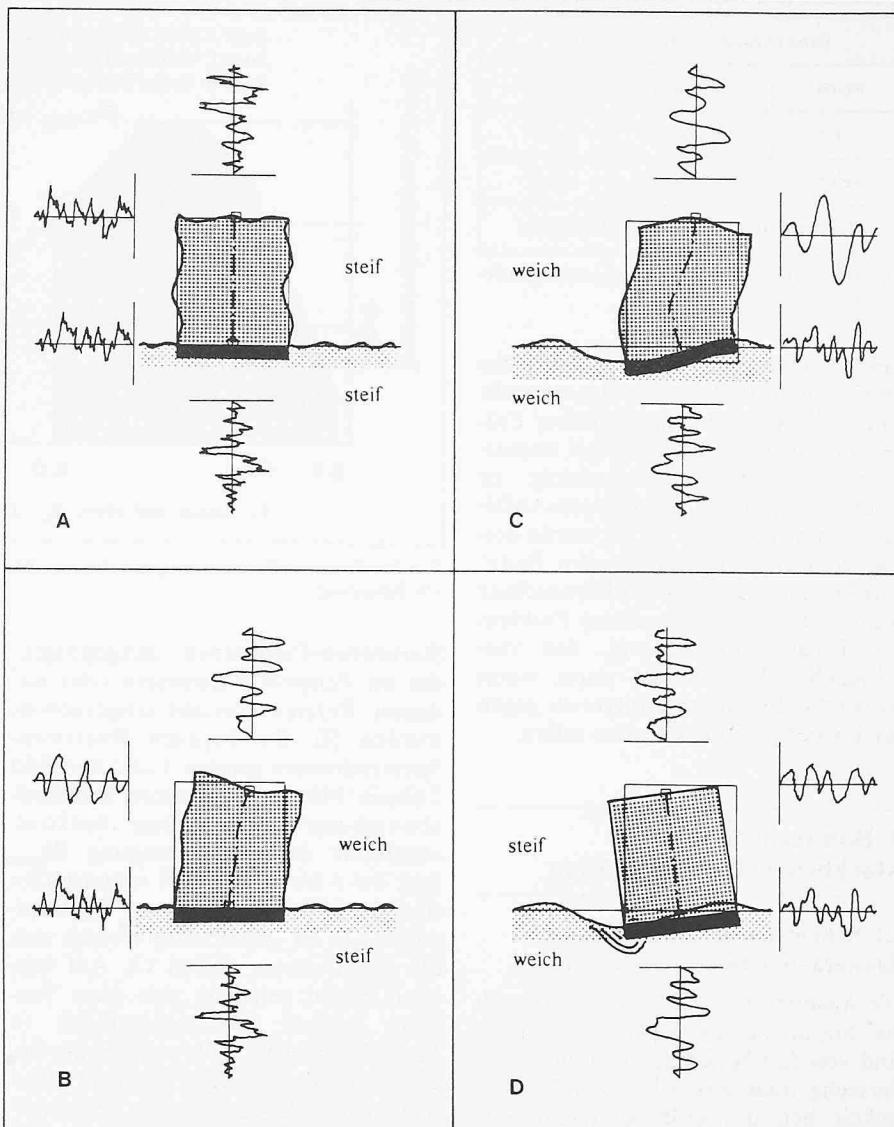


Bild 3. Optimale Systemkonfiguration: steife und weiche Bauwerke auf steifen und weichen Böden

tremalfällen treten alle Zwischenstufen auf. Mittelsteife Bauwerke auf mittelsteifen Böden reagieren wiederum als Einheit. Es ist bekannt, dass diese Kombination während Starkbeben oft die grössten Beanspruchungen erleidet (Bauwerk-Grundfrequenzen im Resonanzbereich der Bemessungs-Spektralformen). Diese Darstellung zeigt, dass bei steifen Bauwerken auf weichen Böden prinzipiell das beste Reaktionsverhalten auf Starkbeben zu erwarten ist. Da auf solchen Böden aber zugleich eine ausgeprägte Grundbruchgefahr besteht, können die Vorteile dieser Kombination nicht ausgenutzt werden. Intensivbeben bilden eine obere Grenze der elastischen Beanspruchungsfähigkeit, die in keinem der beschriebenen Fälle nachweisbar überschritten wird.

#### 4. Lösungsorientierte Aufgabenstellung

Die in [1] enthaltene allgemeine Aufgabenstellung zur Lösung des Erdbeben-

Schutzproblems kann nun präzisiert werden. Die Darstellung des Interaktionsverhaltens Bauwerk/Baugrund gemäss Kap. 3 zeigt, dass mit der gesuchten neuen Baukonzeption die bauseitigen Ursachen zu folgenden Schadklassen beseitigt werden sollten:

1. *Kollapsgefahr* bei Bauwerken mit seismisch anregbaren tiefen Grundfrequenzen in Zone B der Standortabhängigen Bemessungs-Spektralform (Bild 1). – Tiefe Grundfrequenzen können im Bauwerk grössere Deformationen bewirken, als es zerstörungsfrei aufnehmen kann.
2. *Resonanzgefahr* bei Bauwerken mit seismisch anregbaren mittelhohen Grundfrequenzen in Zone C. – Bei Grundfrequenzen in Zone C können ab Intensivbeben mittlerer Dauer höhere Tragwerkkräfte entstehen, als für klassische Baumaterialien zulässig ist.
3. *Sprödbruchgefahr* bei Bauwerken mit seismisch anregbaren hohen Grundfrequenzen in Zone D. –

Höherfrequente, stossartige Bodenbewegungen können bei steifen Bauwerken ungefiltert ab Intensivbeben zu Sprödbruch führen.

4. Gefahr der Überbeanspruchung des Tragwerks infolge *differentieller Auflagerbewegungen*. – Je grösser die horizontalen Abmessungen des Bauwerks, um so ausgeprägter wird die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der Erdbebenwellen in den verschiedenen Tragwerk-Auflagerpunkten auf Fundationshöhe.
5. Gefahr von Schäden an *Installatissen und Geräten* im Innern der Bauwerke. – Der Wert dieser Installatissen und Geräte übersteigt im allgemeinen die Rohbaukosten. Während Erdbeben erleiden sie in Bauwerken mit Eigenfrequenzen in den Zonen C und D durchwegs höhere Beschleunigungen als das Bauwerk [6]. In solchen Fällen ist im Innern mit grösseren Schäden zu rechnen als am Bauwerk selbst.

Bisher ist keine Baukonzeption konventioneller Art bekannt, womit alle fünf Schadenursachen gleichzeitig beseitigt oder wirksam unter Kontrolle gebracht werden könnte. Wie in [5] gezeigt wird, gelingt dies hingegen bei *räumlich schwimmender Lagerung* der Bauwerke.

## 5. Auswirkungen der praktischen Realisierbarkeit des integralen baulichen Erdbebenschutzes

Der integrale bauliche Erdbebenschutz ist technisch realisierbar. Das hat vielfältige Auswirkungen auf die Methodik der Lastfall-Definition, das Verfahren zum Nachweis der Extremalbeben-Sicherheit und die bauliche Ausbildung der Bauwerke. Wissenschaft und Technik sind in der Entwicklung der theoretischen Grundlagen und bautechnischen Konzepte durchwegs vom beschränkten Schutzauftrag der Baunormen ausgegangen [1]. Deshalb ist das Denken der Bauingenieure und Architekten heute auf «zulässige Zerstörungen» am Bauwerk und «tolerierbare Risiken» für seine Bewohner ausgerichtet. In der Folge sind «versteckte Annahmen» in die Baunormen aufgenommen worden, deren sachlicher Gehalt jetzt überprüft werden sollte. Die nachfolgende Zusammenstellung vereinigt einige grundlegende Gedanken, die seinerzeit den bestehenden Baunormen zugrunde gelegt wurden. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; es soll sich vielmehr um Hinweise handeln, wo Korrekturen nötig erscheinen.

## 6. Auswirkungen auf die Lastfall-Definition

Dieser Darstellung liegen eine Serie von Erdbebenormen [7 bis 10] und verschiedene ergänzende Publikationen [11 bis 18] zugrunde. Die Frage soll geprüft werden, ob der aktuelle Entwicklungsstand der Methode zur Definition des Lastfalls Erdbeben den Ansprüchen an den integralen baulichen Erdbebenschutz genügt.

### 6.1. Grundelemente der Lastfall-Definition

Moderne Erdbebenormen bedienen sich zur Lastfall-Definition folgender Elemente:

1. Starkbeben-Gefährdungskarten mit modified Mercalli- bzw. verwandten Intensitäten oder Richter-Magnituden als seismische Referenzgrössen
2. Normierte Bemessungs-Spektralformen auf Mittelwert-Basis, erstellt mit einer Serie von repräsentativen gemessenen Starkbebenfunktionen
3. Umrechnungsverfahren von den seismologischen auf ingenieurmässige Intensitätsangaben zur Eichung der Bemessungs-Spektralformen entsprechend der regionalen Starkbeben-Gefährdung

fall-Definition werden, sobald dazu genügend statistische und geologisch-tektonische Unterlagen vorliegen. Das ist heute nicht der Fall. Die Kenntnisse über die seismischen Herdmechanismen, welche Starkbeben auslösen, wie über die Lage, Länge und tektonische Stabilität bestehender oder zukünftiger Verwerfungen, welche die Intensität der seismischen Bodenbewegung massgeblich beeinflussen, bleiben mangelhaft. Das verwendete probabilistische Modell der Starkbeben-Gefährdung vermag den Zusammenhang zwischen Herdspannungen als Ursache und Starkbeben als Folge der seismischen Herdvorgänge nicht herzustellen [18]. Die statistischen Proben enthalten für die meisten Regionen der Welt noch zuwenig Starkbeben-Aufzeichnungen, um für die gängigen Baugrundtypen und Erdbeben-Intensitätsstufen wie erforderlich getrennte Statistiken zu führen. Schliesslich sei daran erinnert, dass Karten beobachteter Wiederkehrperioden und grösster beobachteter Intensitäten bereits dazu genügen, die Zonen traditionell hoher Erdbebenhäufigkeit auszuscheiden und dafür grösste Erdbeben-Intensitäten zu bestimmen.

Diese Beobachtungen legen den Schluss nahe, dass die *präzise geographische Abgrenzung von Zonen unterschiedlicher*

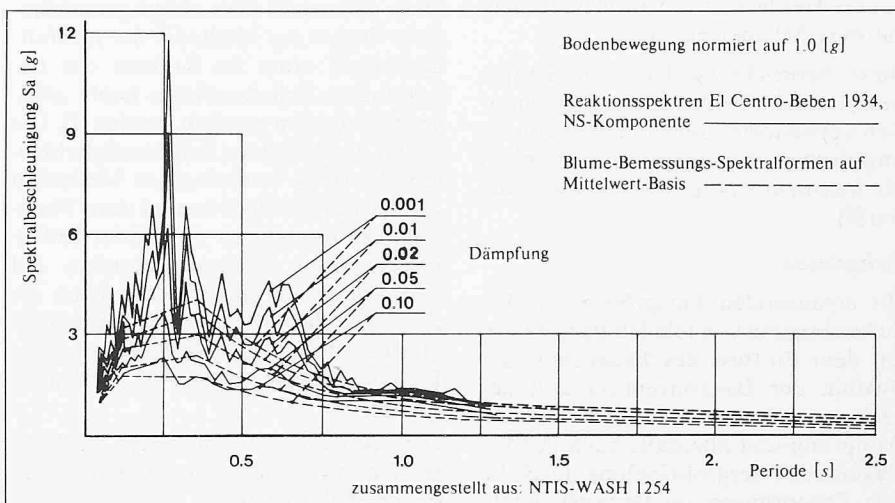


Bild 4. Problematik von Bemessungs-Spektralformen auf Mittelwert-Basis: Überschlagsgefahr bei wirklichen Beben, z. B. El Centro-Beben 1934 (zusammengestellt aus: NTIS-WASH 1254)

4. Satz von ergänzenden Eichgrössen zur Berücksichtigung von lokalen Parametern wie der Baugrundverhältnisse, der Geologie/Tektonik am Standort bzw. von Bauwerk-Charakteristika wie der Konstruktionsart (Duktilität), der Bauwerksklasse (Risikofaktor) oder der Grundfrequenzen der Bauwerke.

Intensitätsstufen, die von Starkbeben-Gefährdungskarten erwartet wird, aufgrund der heutigen Kenntnisse noch nicht möglich ist.

### Bemessungs-Spektralformen auf Mittelwert-Basis:

Dass Bemessungs-Spektralformen üblicherweise auf einer Mittelwert-Basis beruhen (Definitionspunkte errechnet als arithmetisches Mittel aller zur Analyse verwendeten Starkbeben-Einzelspektren), entspricht einer stillschweigend akzeptierten Konvention. In solchen Fällen beträgt die Wahrscheinlichkeit 50 Prozent, dass die

### 6.2. Bemerkungen zu einzelnen Grundelementen

#### Starkbeben-Gefährdungskarten:

Starkbeben-Gefährdungskarten könnten ein geeignetes Hilfsmittel der Last-

Starkbeben-Bbeanspruchung während eines realen Bebens gleicher Intensitätsstufe die Normwerte übertrifft. Bild 4 zeigt, dass die wirkliche Beanspruchung im Resonanzbereich der Bemessungs-Spektralform (wo die Bauwerk-Grundfrequenzen am häufigsten auftreten) bis über 300 Prozent der nominalen Werte betragen kann [16].

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die Mittelwert-Basis sich in erster Linie für Bauwerke eignet, die Erdbeben-tüchtig ausgelegt werden. Sie eignet sich jedoch nicht zur Bestimmung von Bemessungs-Spektralformen für Erdbeben-sichere Bauwerke [1].

#### Seismische Kenngrössen:

Als seismische Kenngrössen für Baunormen werden heute vor allem Richter-Magnituden und modified Mercalli-bzw. verwandte Intensitäten verwendet. Beide Kenngrössen erlauben es nicht, die Intensität der seismischen Bodenbewegung eines vergangenen Starkbebens für einen gegebenen Bauwerk-Standort zu rekonstruieren oder für zukünftige Beben abzuschätzen. Wie Bild 5 zeigt, besteht tatsächlich zwischen den genannten globalen und den ingenieurmässig benötigten lokalen Intensitätsangaben keine nachweisbare Korrelation. Das gilt insbesondere für das weitere Herdgebiet, wo die eigentlichen Bauwerk-Schäden auftreten.

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die beiden heute in Baunormen verwendeten seismologischen und empirischen Kenngrössen sich nicht zur ingenieurmässigen Anwendung eignen [2].

#### Eichgrössen:

Mit ergänzenden Eichgrössen zur Berücksichtigung von lokalen Parametern soll dem Einfluss des Baugrunds, der Qualität der Baukonzeption und der Baumaterialien, der strukturellen Dämpfung und allenfalls auch der Fähigkeit zur Energieaufnahme durch lokale Zerstörungen im Bauwerk Rechnung getragen werden [7 bis 10]. Das mathematische Modell wird dadurch drastisch vereinfacht. So wird in Baunormen z. B. der Einfluss des mitwirkenden Baugrunds auf die Bauwerk-Dynamik oft mit einem einzigen Parameter berücksichtigt. In Wirklichkeit ist der Baugrund aber häufig das nachgiebigste Element im System Bauwerk/Baugrund. Er beeinflusst damit sowohl die Bauwerk-Eigenfrequenzen wie die Sprödbruch- und Grundbruch-Anfälligkeit entscheidend.

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass einfache Eichgrössen die komplexen Zusammenhänge bei der Starkbeben-Sicherheit von Bauwerken zuwenig genau zu erfassen vermögen.

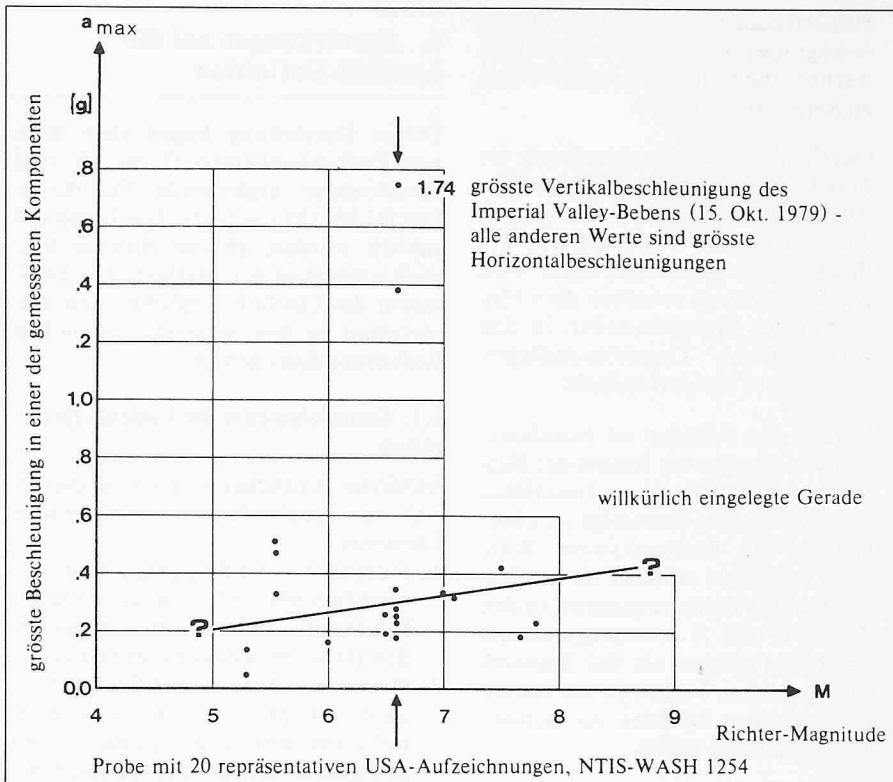


Bild 5. Problematik der geeigneten Wahl der seismischen Kenngrössen: Im weiteren Herdbereich ist keine Korrelation zwischen den grössten Beschleunigungen der Starkbeben und den zugehörigen Richter-Magnituden zu erwarten (Probe mit 20 repräsentativen USA-Aufzeichnungen, NTIS-WASH 1254)

### 6.3. Weitere konzeptionelle Schwächen

Diese Übersicht über einige grundsätzliche Fragen der Methodik der Lastfall-Definition muss im Kontext des beschränkten Schutzauftrags heute gültiger Baunormen gesehen werden [2]. Die bisher beschränkten Schutzmöglichkeiten, die stark vereinfachten Methoden zur Lastfall-Definition und zum Nachweis der tatsächlich erreichten Erdbebensicherheit bilden zusammen ein «ausgewogenes Ganzes». Es hätte im Rahmen der heutigen Normbestimmungen deshalb wenig Sinn, einzelne Elemente daraus anspruchsvoller zu definieren.

Die heute üblichen Methoden zur Lastfall-Definition besitzen weitere konzeptionelle Schwächen:

1. Erdbeben sind ein geometrisch dreidimensionales Phänomen. Echt dreidimensionale Bemessungsbeben wurden aber bisher nicht zur Lastfall-Definition verwendet.
2. Die analytische Untersuchung der dreidimensionalen Erdbebenfunktionen erfolgte bisher im Definitions-Koordinatensystem, d. h. in jenem willkürlich orientierten Koordinatensystem, worin die Funktionen an der Messstation aufgezeichnet wurden. Ins Verfahren wurde bevorzugt nur die Komponente mit der grössten Beschleunigung einbezogen, obwohl die tatsächlich grösste Beschleunigung der Funktion höchstens zufällig in einer solchen Achse liegt. Auf dieser Basis wurden die bekannten Charakteristika typischer Starkbeben ermittelt.
3. Die Bemessungs-Spektralformen werden vielfach direkt mit der grössten Beschleunigung geeicht, obwohl diese Kenngrössen nur für Schäden an ungewöhnlich steifen Bauwerken repräsentativ ist. Es fehlt ein anerkanntes Verfahren, um dafür geeignete Kenngrössen heranzuziehen.
4. Die Normierung von Starkbeben zum Einbau in statistische Proben erfolgt vielfach bis weit über die eigene Intensitätsstufe hinaus. Lineare Transformationen sollten aber nur innerhalb enger, bodenmechanisch zulässiger Grenzen ausgeführt werden.
5. Es fehlt ein anerkanntes Verfahren zur ingenieurmässigen Klassifizierung von Starkbeben, das die Abhängigkeit der Intensität der Bauwerkreaktion von der Intensität der seismischen Bodenbewegung zuverlässig und einfach ausdrückt.
6. Bemessungsbeben werden gemäss den Normvorstellungen durchwegs parallel zu Außenwänden des untersuchten Bauwerks und ohne Vororientierung ihres Koordinatensystems zur rechnerischen Einwirkung gebracht. Bauwerke besitzen aber (auch bei geplanter Grundriss-Symmetrie) eigentlich nie einen echt symmetrischen Aufbau. Es wäre richtiger, vorgängig zum eigentlichen Sicherheitsnachweis die un-

günstigsten Einfallsrichtungen eines dreidimensionalen Bemessungsbebens zu bestimmen [1].

Diese Sachlage zeigt, weshalb die heute in Baunormen verwendete Methode zur Lastfall-Definition nicht auf die Verhältnisse des integralen baulichen Erdbebenschutzes übertragen werden konnte. Eine Neudefinition des Lastfalls drängte sich auf, die insbesondere dem Ungenügen des erdbebenstatistischen Materials offen Rechnung tragen und den «Zielen einer Neudefinition des Lastfalls» gemäss Kap. 1 in [2] entsprechen sollte.

## 7. Auswirkungen auf den numerischen Nachweis der Erdbebensicherheit

### 7.1. Reaktionsspektren-Methode

Der praktische Einsatz einer echt dynamischen Methode zum Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken zu Normzwecken geht auf Housner und Hudson zurück [11, 12]. Ihre Methode verbindet die Vorteile und Eleganz der modalen Strukturanalyse mit jenen einer spektralen Definition des Lastfalls und ist als *Reaktionsspektren-Methode* bekannt. Tatsächlich wurden auf diese Weise alle vor fünfundzwanzig Jahren verfügbaren erdbebenstatistischen, analytischen und bautechnischen Kenntnisse in die Methode eingebbracht. Wird das erweiterte Schema nach [13] auf die spektrale Analyse der Baunormen übertragen, verläuft die Methode wie folgt:

1. Mathematische Modellierung des Tragwerks mit einer Serie von Bewegungs-Differentialgleichungen, eine für jeden vorgewählten Freiheitsgrad
2. Berechnung der fundamentalen Eigenfrequenzen des Bauwerks und der zugehörigen Modalformen im massgeblichen seismischen Frequenzband
3. Berechnung der sog. verallgemeinerten Massen und dynamischen Erregerkräfte
4. Aufstellen der entkoppelten Bewegungs-Differentialgleichungen des Systems und Definition der modalen Dämpfung
5. Auswahl der seismisch aktivierbaren, massgeblichen Modalformen
6. Ermittlung der spektral grössten kinematischen Systemreaktionen in jeder massgeblichen Modalform
7. Approximation der spektral grössten totalen Systemreaktionen (Bewegungen und Kräfte) durch Superposition der modalen Anteile.

Der Vorschlag von Housner und Hudson enthielt bereits alle Grundelemente

zu diesem Schema, wies aber in wesentlichen Punkten weitere Vereinfachungen auf. So beschränkte sich die Lastfall-Definition auf die horizontale Erregung. Das entsprach der damaligen Vorstellung, wonach die vertikale Erdbebenereggung vernachlässigt werden darf. Es wurde empfohlen, Bauwerke mit der Stabanalogie (Bild 6) zu modellieren und nur die horizontalen Translations-Freiheitsgrade zu berücksichtigen. Nur je die eine Modalform mit der tiefsten Eigenfrequenz in zwei zueinander senkrechten charakteristischen Vertikalebenen des Bauwerks wurde zur Berechnung der spektral grössten Reaktionen verwendet. Es waren Varianten dieses vereinfachten Grundschemas, die zum Vorbild vieler moderner Baunormen wurden.

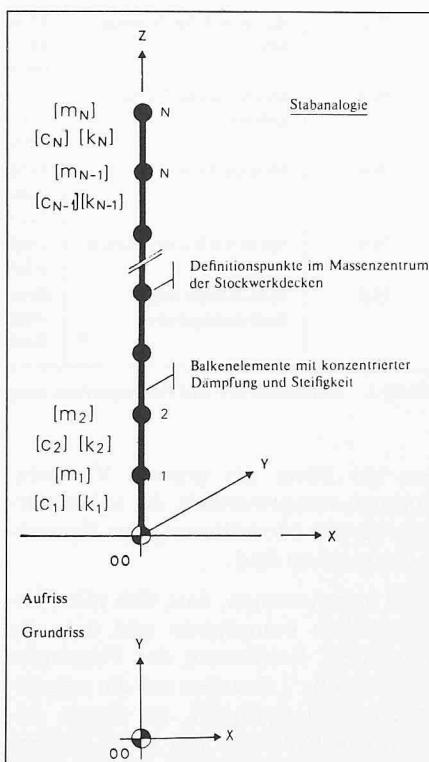


Bild 6. Problematik der geeigneten Wahl des physikalisch-mathematischen Modells: Mit der Stabanalogie können die wirklich grössten Kräfte in den exponierten Tragwerksteilen (z. B. Eckstützen, -wände) nicht bestimmt werden

### 7.2. Grenzen der Reaktionsspektren-Methode

Der Wert der Reaktionsspektren-Methode liegt vor allem darin, für kleinere bis mittlere Erdbebenintensitäten eine einfache, direkte und kostengünstige Abschätzung seismischer Ersatzkräfte zu ermöglichen. Sie dürfen nach Normkonvention zur Bemessung herangezogen werden. Die Methode war jedoch von Anfang an nicht für den Sicherheitsnachweis von Bauwerken bei Extremalbeben-Belastung ausgelegt. Das hat folgende Gründe:

1. Erdbeben können mit der Reaktionsspektren-Methode nicht direkt

dreedimensional verarbeitet werden, sobald für die vertikale Erregung eine andere Spektralform nötig wird als für die horizontale Erregung.

2. Die Lastfall-Definition erfolgt mit Bemessungs-Spektralformen auf Mittelwert-, nicht auf Maximalwert-Basis (Kap. 6.2).
3. Die Stabanalogie (Bild 6) ist das bevorzugte physikalische Bauwerkmodell der Reaktionsspektren-Methode. Danach lässt sich die komplexe Geometrie realer Hochbauten mit einem einzigen, im Baugrund meist voll eingespannten, massenbehafte Stab darstellen. Für den Extremalbeben-Sicherheitsnachweis sind solche Modelle zuwenig aussagekräftig [3].
4. Bei der Bestimmung der massgeblichen Bauwerk-Eigenfrequenzen und der zugehörigen Modalformen mit diesen stark vereinfachten Modellen müssen grosse Fehlerspannen in Kauf genommen werden (zu grobe Vereinfachung in der System-Modellierung), die in vielen praktischen Fällen bis über  $+/- 100$  Prozent betragen.
5. Erfolgt die Untersuchung des Gesamtsystems Bauwerk/Baugrund mit der Finite-Element-Methode, werden echt dreidimensionale (3-D) Modelle mit hoher innerer Auflösung benötigt (Bild 1 in [1]). Diese mathematischen Modelle besitzen eine sehr grosse Anzahl Freiheitsgrade und führen zu extrem hohen Rechenkosten. Deshalb wurden solche Untersuchungen in der Praxis bisher kaum durchgeführt.
6. Die Entkopplung des Bewegungsdifferential-Gleichungssystems mit Hilfe der Modalformen (Punkt 4 in Kap 7.1) setzt ein rein lineares Reaktionsverhalten des Starkbeben beanspruchten Tragwerks voraus: Theorie der kleinen Verschiebungen und Modellierung des Bauwerks mit linearen Federelementen und viskoser Dämpfung. Diese Vereinfachung kann unter Extremalbeben zu unzulässig grossen Fehlern führen.
7. Zur Berechnung der spektral extremalen Tragwerk-Reaktionen durch Superposition der modalen Anteile wird ein grobes Näherungsverfahren angewendet. Deshalb weichen spektrale Resultate von modalen Resultaten, die im Rahmen des mathematischen Modells exakt sind, unzulässig stark ab.
8. Die dynamischen Baumaterial-Eigenschaften unter Starkbeben-Belastung sind ungenügend bekannt und werden meist als linear vorausgesetzt. Das betrifft z. B. den Stahlbeton mit seinem Sprödbruch-Verhalten unter der stossartigen Erdbebenereggung und einem dyna-

mischen Elastizitätsmodul mit ausgeprägter Altersabhängigkeit (Faktor 2 zwischen  $\beta w_{28\text{ Tage}}$  und  $\beta w_{50\text{ Jahre}}$  [19]). Dazu ist die Wahl der rechnerischen Querschnittswerte stark von der Rissebildung und -öffnung abhängig.

9. Der Baugrund wird vielfach nicht ins mathematische Modell einbezogen. Einfache Korrekturverfahren sollen seinen Einfluss simulieren. Die Modellierung der dynamischen Baugrund-Eigenschaften unter Starkbeben bildet weiterhin einen komplexen Bereich aktueller Forschung. Da der Baugrund oft einen ausgeprägten Einfluss auf das dynamische Bauwerkverhalten besitzt, leidet die Resultatqualität diesbezüglich ganz besonders unter mangelhaften Rechenannahmen.

Diese Zusammenstellung zeigt, wo die grössten Unsicherheiten beim rechnerischen Nachweis der Extremalbeben-Sicherheit von Bauwerken auftreten. Extreme Beanspruchungszustände in gefährdeten Tragwerksteilen, die auf dieser Grundlage ermittel werden, sind mit einer *erheblichen Fehlerspanne* verbunden (Kap. 8). Dieser Sachverhalt gab Anlass zu den Änderungsvorschlägen gemäss Kap. 3.2 in [1], und zur Entwicklung der *2-Stufen-Methode* als Ersatz für die Reaktionsspektren-Methode im Sicherheitsnachweis. *Die Reaktionsspektren-Methode kann nicht zur Anwendung beim Extremalbeben-Sicherheitsnachweis empfohlen werden.*

## 8. Fehlerspanne bei der Anwendung der Reaktionsspektren-Methode

Der integrale bauliche Erdbebenschutz muss definitionsgemäss rechnerisch oder experimentell nachweisbar sein [1]. Welche Fehler sind zu erwarten, wenn dazu die Reaktionsspektren-Methode verwendet wird? Tabelle 2 erfasst die Fehlerspanne für die wichtigsten Parameter.

Die Kennwerte vieler Parameter, die zur *Lastfall-Definition* verwendet werden, beruhen auf einer *Mittelwert-Basis* (L.2, L.3, L.4 in Tabelle 2). Diese Regel gilt allerdings nicht für die seismische Zonierung mit Gefährdungskarten oder entsprechenden Hilfsmitteln (L.1). Von solchen Karten wird angenommen, dass sie sich auf Maximalwerte der Erdbebenintensität beziehen. Dadurch kann der falsche Eindruck entstehen, die Anwendung der Vorschriften führe zu grösstmöglichen Erdbeben-Kräften im Bauwerk. Für die *Nachweis-bedingten Fehlerursachen* (zweite Hälfte der Tabelle 2) sind dage-

| Lastfall-bedingte Fehlerursachen |  |  |              |
|----------------------------------|--|--|--------------|
| Position                         | Ursache                                | Grund  | Fehlerspanne |
| L.1                              | Starkbeben-Zonierung                   | Unsicherheit über grösstmögliche Starkbeben  | 1.5          |
| L.2                              | Seismische Referenzgrösse              | Übergang von Magnituden/Intensitäten auf grösste Beschleunigungen am Standort  | 3.0          |
| L.3                              | Bemessungs-Spektralformen              | Mittelwert- statt Maximalwert-Basis  | 3.0          |
| L.4                              | Baugrund                               | Veränderung der Erdbebenfunktion zwischen Referenzhorizont Festgestein und Standort Bauwerk  | 1.5          |
| L.5                              | Bestimmung der seismischen Kenngrössen | Mangelnde Hauptachsen-Orientierung der Starkbeben-Funktion   | 1.2          |
| Nachweis-bedingte Fehlerursachen |  |  |              |
| N.1                              | Physikalisch-mathematisches Modell     | Grobe Vereinfachung in der Modellierung: 2-D-Modelle statt 3-D-Modelle, Stabanalogie statt detaillierte Finite-Element-Modelle mit grosser innerer Auflösung | 2.0          |
| N.2                              | Baugrund-Nachgiebigkeit                | Mangelnde Berücksichtigung der Interaktion Bauwerk/Baugrund im physikalischen Modell   | 2.0          |
| N.3                              | Mechanische Kenngrössen                | Unsicherheit über wirkliche Massenverteilung, Steifigkeitsmoduli, Dämpfung, rechnerische Querschnitte  | 2.0          |
| N.4                              | Modale Reaktion                        | Fehler Grundfrequenzen $\pm 100\%$ Auswirkung bei mittelsteifen Systemen: 1.2, bei tiefrequenten Systemen: 2.0   | 1.2. – 2.0   |
| N.5                              | Spektrale Superposition                | Grobe Vereinfachung im mathematischen Modell   | 1.4          |
| N.6                              | Einfallsrichtungen Bemessungsbeben     | Orientierung entlang Aussenwänden ist willkürlich, führt nicht zu grössten Reaktionen  | 1.2          |

Tabelle 2. Fehlerursachen und Fehlerspannen, ausgehend von den Annahmen der Baunormen

gen vor allem die grossen Vereinfachungen verantwortlich, die in Baunormen für die Modellierung der Bauwerke vorgesehen sind.

Wird angenommen, dass sich alle Fehlerursachen kumulieren und dass die wirklichen Kennwerte der Parameter nach Tabelle 2, bezogen auf die angegebenen Fehlerspannen, in einem zukünftigen Erdbeben um je 15 Prozent höher liegen, als die Normen angeben, entsteht in den am meisten exponierten Tragwerksteilen bereits eine *sechsmal höhere Starkbeben-Beanspruchung* als vorausgesetzt. Auch andere Kombinationen mit kleineren Parametergruppen der Tabelle 2, z. B. Lastfall-Annahmen oder mathematisches Bauwerk-Modell je für sich, führen schnell zu wesentlich höheren Werten, als aufgrund der Normannahmen zu erwarten sind. Es darf deshalb als konservative (zu tiefe) Abschätzung angesehen werden, wenn die totale Fehlerspanne auf einen *Faktor 2 bis 6* festgelegt wurde [1, 2].

Die Reaktionsspektren-Methode wurde zum Sicherheitsnachweis von erdbebentüchtigen Bauwerken bis zur Intensitätsstufe Intensivbeben ausgelegt; für solche Bauwerke sind lokale Zerstörungen im Tragwerk zugelassen. Zugehörige Begriffe wie «zulässige Zerstörung»

und «tolerierbare Risiken» sind jedoch schwer zu definieren bzw. rechnerisch oder experimentell nachzuweisen. Dieses Konzept des normgemäss zulässigen Erdbebenverhaltens wurde deshalb in [1] zugunsten der *Erdbeben-Sicherheit* als elastisches Verhalten während Starkbeben bis zu einer festgelegten Bewegungsintensität *BI* einerseits und der *Kollapsicherheit* andererseits aufgegeben. Bei Extremalbeben-sicheren Bauwerken fallen die beiden Begriffe zusammen. Mit der vorgeschlagenen Definitionsweise wird der Weg zurück zu zerstörungsfreiem Verhalten und zu klar definierten Grundlagen beim Sicherheitsnachweis angetreten. Im Zuge der Neuorientierung müssen die Lastfall-Annahmen neu auf die beiden Beanspruchungsgrenzen *elastisch zulässige Beanspruchung* und *ohne Kollaps zulässige Beanspruchung* ausgerichtet werden.

Ein wesentlicher Vorteil des beschriebenen Konzepts liegt darin, dass das Hauptgewicht von Forschung und Entwicklung wieder den eigentlichen Aufgaben des baulichen Erdbebenschutzes zugewendet werden kann:

- Verbesserung der materialtechnischen und baukonzeptionellen Kenntnisse mit dem Ziel, die Gren-

- zen der elastisch zulässigen Erdbeben-Beanspruchung anzuheben
- Entwicklung von technisch einfachen und wirtschaftlichen Baukonzepten zur Kollaps sicherung der Bauwerke
  - Entwicklung eigentlicher Erdbeben-Schutzsysteme für solche Bauwerke, die extremalbebensicher ausgelegt werden müssen.

## Zusammenfassung

In diesem Artikel wird auf die Grenzen der elastischen Reaktionsfähigkeit der Bauwerke bei Starkbeben hingewiesen. Entscheidende Fortschritte lassen sich nur bei geeigneter Frequenzabstimmung zwischen Bauwerk und Starkbeben erzielen. Zum besseren Verständnis wurde deshalb das Starkbeben-Reaktionsverhalten von Bauwerken unter Berücksichtigung unterschiedlich steifer Bauwerke und Böden schemaartig dargestellt. Daraus ergibt sich, dass bei konventioneller Bauweise ein *steifes Bauwerk auf sehr weichem Boden* grundsätzlich am besten befähigt ist, Starkbeben schadlos zu überstehen. Allerdings sind diesem Konzept wegen der ausgeprägten Grundbruchgefahr auf solchen Böden natürliche Grenzen gesetzt. Damit ist der Weg zur Lösung des Erdbeben-Schutzproblems durch *Erdbeben-Isolation der Bauwerke* vorgezeichnet.

Auf dieser Grundlage konnte eine lösungsorientierte Formulierung der Aufgabenstellung vorbereitet werden. Das erklärte Ziel ist der integrale bauliche Erdbebenschutz. Er bedingt eine Baukonzeption, womit sich die bauseitigen Ursachen zu den fünf typischen Erdbeben-Schadenklassen gleichzeitig beseitigen lassen. Bei räumlich schwimmender Lagerung der Bauwerke gelingt es, diese Anforderungen zu erfüllen.

Welche Auswirkungen hat die technische Realisierbarkeit des integralen baulichen Erdbebenschutzes auf die Methoden der Lastfall-Definition und des Erdbeben-Sicherheitsnachweises? Sie werden detailliert beschrieben und münden in zwei Listen mit geeigneten Verbesserungsvorschlägen. Diese Listen sind in zwei früheren Artikeln der Reihe «Integraler baulicher Erdbebenschutz» enthalten und zeigen Methoden zur Lastfall-Definition und zum Extremalbeben-Sicherheitsnachweis auf, die den neuen Bedingungen entsprechen.

## Verdankungen

Der Autor ist den Herren Prof. M.H. Derron und Prof. Dr. R. Walther (Institut de statique et des structures, EPFL) und Herrn Prof. M. Del Pedro (Institut

## Literaturverzeichnis

- [1] Staudacher K.: «Integraler baulicher Erdbebenschutz I: Schutzauftrag - Begriffe - Rechnerischer Nachweis»; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 17/81, Schweiz, 1981
- [2] Staudacher K.: «Integraler baulicher Erdbebenschutz II: Definition des Lastfalls Erdbeben»; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 47/81, Schweiz, 1981
- [3] Staudacher K.: «Grundlagen zum Nachweis der Erdbebensicherheit schwimmend gelagerten Gebäudes»; Dissertation, Presse Polytechnique Fédérale, Lausanne, Schweiz, 1980
- [4] Seed H.B., Ugas C., Lysmer I.: «Site-dependent Spectra for Earthquake-Resistant Design»; EERC 74-15, University of California, Berkeley, USA, 1974
- [5] Staudacher K.: «Integraler baulicher Erdbebenschutz IV: Räumlich schwimmende Lagerung und Seismische-Masse-Analogie»; Veröffentlichung 1982
- [6] Kelly J.M., Sackman J.L.: «Response Spectra Design Methods for Tuned Equipment-Structure Systems»; Journal of Sound and Vibration, Vol. 59, No. 2, USA, 1978
- [7] Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California: «Recommended lateral force requirements and commentary»; Structural Engineers Association of California, San Francisco, USA, 1980
- [8] Groupe de coordination des textes techniques: «Règles parasismiques 1969 et annexes»; Société de diffusion des techniques du bâtiment et des travaux publics, Paris, Frankreich, Oktober 1970
- [9] Deutscher Normausschuss: «DIN 4149»; Deutscher Normausschuss, BRD, 1974
- [10] Comision international de normas sismoresistentes: «Norma sismoresistente»; Spanien, 1968
- [11] Housner G.W.: «Behavior of Structures during Earthquakes»; Proceedings ASCE, 85 EM4, USA, 1959
- [12] Hudson D.E.: «Response Spectrum Techniques in Engineering Seismology»; Proceedings of the First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, USA, 1956
- [13] Clough R.W., Penzien J.: «Dynamics of structures»; McGraw-Hill, New York, USA, 1975
- [14] Müller F.P., Kleintzel E.: «Erdbebensicherung von Hochbauten»; Verlag von Ernst und Sohn, Berlin, BRD, 1978
- [15] Bachmann H., Wieland M.: «Erdbebensicherung von Bauwerken»; Eidgenössische Technische Hochschule, Abteilung für Bauingenieurwesen, Autographie, Zürich, Schweiz, 1979
- [16] Blume J.A. et al.: «Recommendations for Shape of Earthquake Response Spectra»; National Technical Information Service NTIS, WASH-1254, USA, Februar 1973
- [17] Sägesser R., Mayer-Rosa D.: «Erdbebengefährdung in der Schweiz»; Schweizerische Bauzeitung, Nr. 7/78, Zürich, Schweiz, 15. Februar 1978
- [18] Cornell C.A., Merz H.A.: «Seismic risk analysis of Boston»; ASCE National Structural Engineering Meeting, Cincinnati, Ohio, USA, April 1974
- [19] Bulletin du ciment: «La résistance finale du béton»; Bulletin du ciment, no 11, Wildegg, Schweiz, November 1976

des métaux et machines, EPFL) dankbar für die Unterstützung, die sie ihm in den letzten Jahren zukommen ließen. Spezieller Dank sei Herrn Prof. Dr. H. Bachmann (Institut für Baustatik und Konstruktion, ETHZ) und Herrn Prof. Dr. J.M. Kelly (Structural Engineering Division, University of California, Berkeley) ausgesprochen. Sie haben in offener fachlicher Ausein-

andersetzung Entscheidendes zur sachlichen Klärung der dargestellten Materie beigetragen.

Adresse des Verfassers: Dr. Konrad Staudacher, University of California, Berkeley, Dept. of Civil Engineering, USA - Berkeley, CA. IBK-ETHZ, CH-8093 Zürich.

Der erste Beitrag wurde in Heft 17/1981, der zweite in Heft 47/1981 veröffentlicht. Zwei weitere Beiträge folgen.

## Wettbewerbe

### Ideenwettbewerb für die Gestaltung des Areals Breite-Zentrum in Basel

Mit der Ermächtigung des Regierungsrates des Kantons Basel-Stadt und des Verwaltungsrates der GGG Breite AG veranstalten das Baudepartement und die Breite AG einen öffentlichen Ideenwettbewerb für die Gestaltung des Areals Breite-Zentrum in Basel. Teilnahmeberechtigt sind alle im Wirtschaftsraum Nordwestschweiz heimatberechtigten oder seit mindestens dem 1. Januar 1980 niedergelassenen (Wohn- oder Geschäftssitz) Architekten und Planungsfachleute. Betreffend Arbeitsgemeinschaften und Architekturfirmen wird ausdrücklich auf die Art. 27 und 28 der Wettbewerbsordnung SIA 152 und auf den Kommentar zu Art. 27 hingewiesen. Der Wirtschaftsraum Nordwestschweiz setzt sich zusammen aus den Kantonen Basel-Stadt, Baselland, den Bezirken Dorneck und Thierstein im Kanton Solothurn, dem Laufental im Kanton Bern und den Bezirken Laufenburg und Rheinfelden im Kanton Aargau. Fachpreisrichter sind C. Fingerhuth, Kantonsbaumei-

ster, Basel, F. Peter, Stadtplanchef, Basel, Esther Guyer, Zürich, Alberto Camenzind, Zürich/Lugano, Daniel Reist, Stadtplaner, Bern, N. Bischoff, GGG, Basel; ferner gehören dem Preisgericht an Dr. H. Köchlin, GGG Breite AG, Dr. W. Strösslin, Zentralstelle für staatlichen Liegenschaftenverkehr, E. Müller, Quartierverein und Verein Alters- und Pflegeheim St.-Alban-Breite, R. Fässler, Komitee für wohnliche Breite, R. Ziltener, Verein Breite-Zentrum; Ersatzpreisrichter ist N. Goetz, Basel. Die Preissumme für fünf bis sechs Preise und Ankäufe beträgt 60 000 Fr.

Das Ergebnis soll dazu dienen:

- zu beurteilen, ob das beschlossene Raumprogramm eine städtebaulich erfreuliche Umsetzung erlaubt und ob die resultierende bauliche Dichte genügend Raum für spätere, heute noch nicht bekannte Nutzungen für das Quartier-Zentrum offen lässt
- einen Überbauungsplan zu erarbeiten, um die damit zusammenhängenden planungsrechtlichen Bestimmungen festzulegen