Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 46: SIA-Heft, Nr. 10/1973: Hochhäuser; Erdbeben

Artikel: Erdbebenprognose und seismisches Risiko
Autor: Wohnlich, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72056

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: 02.10.2025

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

diumsdiskussion an einer Fachtagung hingewiesen: Soll sich die Diskussion nicht in Nebenfragen und Details verlieren, so müssen (wie dies bei dieser Podiumsdiskussion geschehen ist) die zu behandelnden Themenkreise vorher abgegrenzt werden. Die Absicht war, die Diskussion durch die *Gegenüberstellung* der einzelnen Gesichtspunkte, welche die Referenten an einem bestimmten Objekt behandeln, in Gang zu bringen. Dass dies nicht vollständig gelungen ist, lag vielleicht an der mangelnden Brisanz der Themen und der zu wenig angriffigen Art der Diskussionsteilnehmer, jedoch kaum am Geschick, mit dem Ingenieur *R. Siegenthaler* das Gespräch sicher, mitunter humorig, geleitet hat. *St. S.*

Erdbebenprognose und seismisches Risiko

DK 50.34

Von Dr. **M. Wohnlich**, D-4460 Nordhorn

Das Problem der Erdbebenprognose ist noch so gut wie ungelöst. Von einzelnen Methoden oder deren Kombination wird man aber in Zukunft gewisse Erfolge erwarten dürfen. Bereits werden zu diesem Zweck Satelliten eingesetzt. Im Prinzip können synoptische und statistische Methoden unterschieden werden. Die synoptischen Methoden arbeiten aufgrund von direkten Messdaten ähnlich der Meteorologie, während statistische Methoden das langjährige seismische Verhalten einer Gegend beurteilen.

Für die Belange des Ingenieurs wird die generelle Wirkungsweise von Erdbeben untersucht. Das seismische Risiko im Standort eines Bauwerks wird analysiert und der Versuch einer seismischen Prognose auf statistischer Grundlage beschrieben und an einem Beispiel erläutert.

Summary

The problem of earthquake prognosis is still as good as unsolved. But in future certain successful results may be expected by particular methods or their combination. Satellites are already used for this purpose. In principle, synoptic and statistical methods can be distinguished. The synoptic methods are based on direct measurement data similar to meteorology, whereas statistical methods evaluate the seismic behaviour of a region over many years.

For the purposes of the engineer, the general kind of effect of earthquakes is investigated. The seismic risk at the site of a construction is analysed and the attempt of a seismic prognosis described and explained by an example.

1. Einleitung

Das technisierte Zeitalter, in dem wir heute leben, ist unter anderem von Grossbauwerken geprägt, deren Ausführung vor einem halben Jahrhundert noch unmöglich gewesen wäre. Fortschritte in der Ingenieurkunst, Entwicklungen in der Technologie, in Bau- und Konstruktionsmaterialien, Rationalisierung von Berechnungsmethoden und nicht zuletzt die Anforderungen der Industriegesellschaft haben die Realisierung dieser Grossbauwerke ermöglicht.

Die Betriebssicherheit von technischen Anlagen aller Art ist abhängig von inneren und äusseren Faktoren. Während bei den inneren Faktoren materielles und menschliches Versagen, Konstruktionsfehler u.a. eine Rolle spielen, können die äusseren Faktoren ungefähr mit dem Begriff «höhere Gewalt» umschrieben werden[1]).

Die Betriebssicherheit für Kraftwerkanlagen ist insofern von grosser Wichtigkeit, als ein durch äussere Faktoren verursachter Schadenfall schwere Folgen zeitigen kann: Ausser Betriebsunterbruch und Energieausfall kann die Umgebung in erheblichem Masse gefährdet werden durch sekundäre Wirkungen, wie Überschwemmungen durch Dammbruch, oder durch austretende Radioaktivität bei Kernkraftwerken.

Die stärksten Einwirkungen durch äussere Faktoren sind – abgesehen von kriegerischen Ereignissen – wohl durch Erdbeben zu erwarten. Zur Gewährleistung eines gesicherten Betriebes, der auch unter Erdbebenwirkung aufrechterhalten werden kann, können die bautechnischen Massnahmen bei hochempfindlichen Anlagen ausserordentlich aufwendig werden, besonders dann, wenn sich das Bauwerk in einem seismisch aktiven Gebiet befindet. Der Ingenieur kann aber optimale Sicherheitsmassnahmen treffen, wenn er das seismische Risiko kennt, dem die Anlage ausgesetzt ist.

Mit der Formulierung des seismischen Risikos und der Betrachtung von prinzipiellen Möglichkeiten der Bebenvorhersage befasst sich dieser Beitrag.

2. Prinzipielle Möglichkeiten der Erdbeben-Vorhersage

Die Frage nach dem zukünftigen Auftreten von Erdbeben ist so alt wie die Bebenforschung selber und ist buchstäblich von allgemeinstem Interesse. In Japan, dessen Gebiet eine ausserordentlich starke seismische Aktivität aufweist, befasst sich eine Forschungsgruppe mit nur dieser Frage. Im Jahre 1964 fand ein Kongress über die bis anhin erzielten Resultate der Beben-Vorhersage statt.

Ernsthafte Untersuchungen über Methoden und praktische Möglichkeiten der Erdbeben-Vorhersage werden erst seit 1962 angestellt [28]. Aus dem Studium der bis heute vorliegenden Literatur geht hervor, dass es im Prinzip zwei verschiedene Arten der Bebenvorhersage gibt, nämlich mit Hilfe von

- synoptischen Methoden und
- statistischen Berechnungen.

2.1 Voraussagen mittels synoptischer Methoden

Analog der kurzfristigen Wettervorhersage können auch Bebenprognosen mittels synoptischer Methoden formuliert werden[2]). Die dazu benutzten Messgrössen beruhen auf Veränderungen von physikalischen Eigenschaften der Erdkruste. Im Idealfall kann daraus eine Aussage über Ort, Zeitpunkt und Stärke eines zukünftigen Bebens abgeleitet werden. Ohne auf die komplexe Natur eines Bebens einzugehen, kann man sagen, dass sich seine Wirkung in der Deformation von Teilen der Erdkruste ankündigt. Es liegt deshalb auf der Hand, diesen Deformationsablauf sehr genau zu beobachten und verschiedenartige Messungen durchzuführen und zu interpretieren.

Es sind bis heute etwa folgende Arten von Veränderungen für synoptische Bebenprognosen in Betracht gezogen worden:

- Horizontale und vertikale Oberflächenbewegungen;
- Veränderungen des lokalen Magnetfeldes;
- Veränderung der Konzentration der Bodengase;

[1]) Rechtlich: «Jedes Ereignis, das der Betroffene nicht verschuldet hat und durch Anwendung der erforderlichen Sorgfalt nicht abwenden konnte.» Darunter fallen Einwirkungen durch Sturmwind, Blitzschlag, Erdrutsche, Erdbeben usw.

[2]) synoptikos (griech.) = zusammenschauend, im Sinne von «gleichzeitige Beobachtung».

- Beobachtung und Interpretation der Mikro-Seismizität, die in gewissen Fällen Beben ankündigt;
- andere.

Analog einer Wettervorhersage, die auf dem Verständnis und der Kombination von meteorologischen Vorgängen beruht, gewinnt eine Bebenprognose an Zuverlässigkeit, wenn mehrere der erwähnten Faktoren kombiniert werden können.

2.1.1 Oberflächenbewegungen

Während einer bestimmten Zeit wird die relative Bewegung von Punkten gegeneinander mittels Präzisions-Vermessungen bestimmt. Wenn die Bodenbewegungen über eine bestimmte Zeitdauer einen kritischen Grenzwert erreichen, so muss mit einem Erdbeben in der betreffenden Gegend gerechnet werden.

Die Beziehungen zwischen Bodenbewegung und Bebenmechanismus sind sehr kompliziert, denn es erfolgt eine Überlagerung von mehreren Bewegungs-Komponenten.

In seismisch aktiven Regionen können drei verschiedene Bewegungstypen unterschieden werden:

- langsame (säkulare) Bewegung. Eine säkulare Bewegung ohne die geringste Seismizität zeigt z. B. der skandinavische Schild, dessen Zentrum in den letzten 7000 Jahren um über 100 m aufgestiegen ist (Bild 1);
- beschleunigte Bewegungen vor Beben (präseismische);
- durch Beben verursachte Verschiebungen (Bild 2).

Für eine Bebenvoraussage sind nur die präseismischen Bewegungen von Interesse, denn es besteht kein Zweifel, dass beschleunigte Krustenbewegungen, welche geodätisch erfasst werden können, auf ein sich anbahnendes Beben hindeuten. *Rikitake* [2] fand für ein Gebiet in Japan eine logarithmische Beziehung zwischen der beobachteten präseismischen Bewegungszeit und der Magnitude des nachfolgenden Bebens. Direkte Beobachtungsmöglichkeiten von vertikalen Krustenbewegungen manifestieren sich auch in Niveauänderungen des

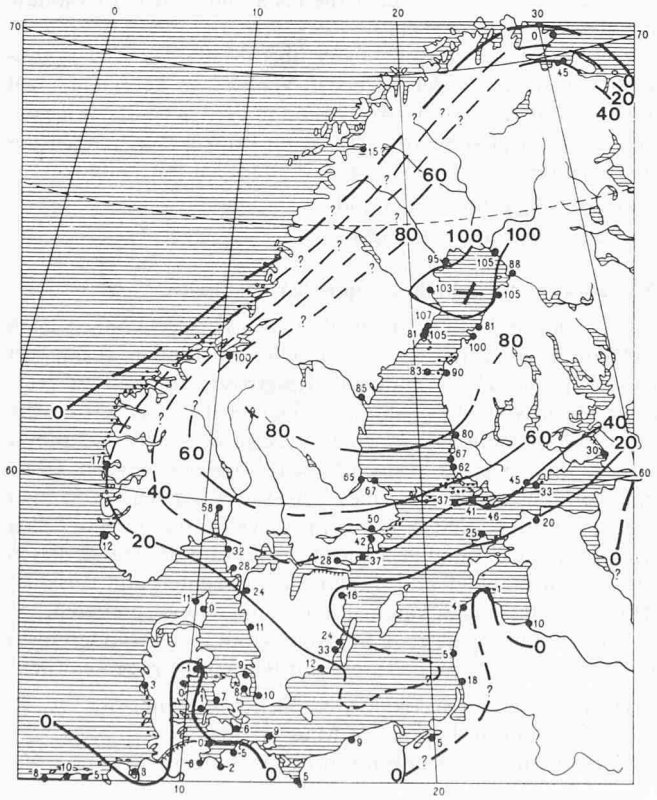

Bild 1. Karte von Skandinavien mit Linien gleicher Hebung (in m) während der letzten 7000 Jahre (48).

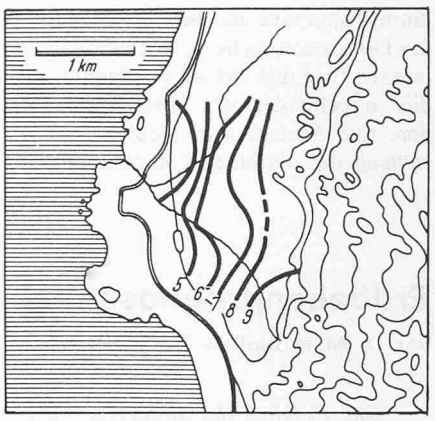

Bild 2. Karte von Kisagata (Japan) mit Linien gleicher Hebung (in m) beim Beben vom 10. 7. 1804. (50)

Meeresspiegels. Vor dem grossen Beben von Kanto (1923) wurde in Japan ein kontinuierliches Absinken des Meeresspiegels über mehrere Jahre hin beobachtet [3].

Etwas vereinfacht kann gesagt werden, dass Beben je nach ihrer Stärke eine verschieden lange «Vorbereitungszeit» benötigen. Diese Zeitdauer ist abhängig

- vom lokalen geologischen und tektonischen Aufbau der Erdkruste,
- von der Art und Grösse des wirkenden Spannungsfeldes, das zur Auslösung des Bebens notwendig ist.

Zum ersten Punkt ist zu sagen, dass durch die Bewegungsvorgänge, die durch ein Beben ausgelöst werden, die Geometrie der Untergrund-Struktur in mehr oder weniger starkem Ausmass verändert wird. Dadurch verändert sich auch der dynamische Rahmen für jedes folgende Beben. Zum zweiten Punkt sei bemerkt, dass örtlich wirkende Spannungsfelder räumlich aufzufassen sind. Wenn die Spannung in einer Richtung durch einen seismischen Vorgang abgebaut wird, so tritt dadurch eine andere Spannungsrichtung mehr in Erscheinung.

Vorhandene Spannungen erzeugen im Fels Anisotropie-Effekte. Diese können an der Erdoberfläche sichtbar gemacht werden, indem die seismischen Geschwindigkeiten des Gesteins in verschiedenen Richtungen gemessen werden. In tieferen Krustenbereichen, die der direkten Einflussnahme entzogen sind, ist keine direkte Beurteilung möglich. Dort gibt eine Analyse der aufgezeichneten Bebenwellen Hinweise auf den Spannungszustand.

Eine brauchbare Bebenvoraussage, die auf präseismischen Oberflächenbewegungen basiert, ist bisher noch nirgends gelungen. Schon für ein beschränktes Gebiet ist ein umfangreiches Beobachtungsnetz notwendig. Die grösste Schwierigkeit bietet wohl die Interpretation der Messungen. Ausserdem muss bekannt sein, in welchem Ausmass der Untergrund Spannungen zu speichern in der Lage ist und an welchem Punkt diese Spannungen sich als Beben entladen.

In analogem Sinne, wie Bewegungen von Punkten auf ein seismisches Ereignis hindeuten, können auch Neigungs-Veränderungen der Erdoberfläche beobachtet werden. In Alma Ata (Mongolei) konnten solche Messungen, die an tektonischen Bruchflächen erfolgten, in signifikanter Weise mit Lokalbeben in Zusammenhang gebracht werden, durch welche die Neigung der Messflächen verändert wurde [10].

Verschiedene Untersuchungen, die in Kalifornien, Russland und Japan erfolgten, lassen immerhin gewisse Möglichkeiten in dieser Richtung erkennen [4, 5, 6, 9].

2.1.2 Veränderungen des erdmagnetischen Feldes

Aus vielen Messungen geht hervor, dass das erdmagnetische Feld vor dem Eintritt eines Bebens sich lokal verändert. So konnten z. B. längs der San-Andreas-Verwer-

fung (Kalifornien) magnetische Veränderungen der Grössenordnung 1 Gamma beobachtet werden, die nach mehreren Stunden regelmässig von geringen, abrupten Verschiebungen der Verwerfung gefolgt waren. Die Bewegungsbeträge lagen zwischen 0,5 und 4 mm [7]. Höhere Abweichungen im geomagnetischen Feld, welche zwischen 5 und 15 Gamma liegen, werden aus Japan gemeldet [8, 11]. Diesen Beobachtungen folgten stets Beben mässiger Stärke.

Diese Methode, die wie erwähnt schon gewisse bescheidene Erfolge vorweisen kann, dürfte noch stark entwicklungsfähig sein. Hinzu kommt, dass auf technologischem Gebiet Verbesserungen gelungen sind, indem Protonen- und Rubidium-Magnetometer bedeutend bessere Messgenauigkeiten ermöglichen.

2.1.3 Veränderung der Konzentration der Bodengase

Bodengase sind zwischen dem Grundwasserspiegel und der Erdoberfläche zirkulierende Gase, die aus tieferliegenden Schichten aufsteigen. Ihre Konzentration und Zusammensetzung ist primär von sehr verschiedenen Faktoren abhängig: Beschaffenheit des Untergrundes, Bodenart, Feuchtigkeit, jahreszeitliche Klimaeinflüsse, meteorologische Einflüsse usw. An geologischen Verwerfungen, welche in die Tiefe reichen, kann eine besonders hohe Konzentration von Bodengasen beobachtet werden.

Vor und während Erdbeben, deren Herde sich in den erwähnten Verwerfungen bilden, wurde an diesen eine Veränderung der Gaskonzentration gemessen, welche unzweifelhaft im Zusammenhang mit der Bebentätigkeit steht. Es wird gegenwärtig versucht, diese Methode auf ihre Prognose-Tauglichkeit für Erdbeben zu prüfen [14].

2.1.4 Andere Arten der Bebenprognose

In intensiven Bebengebieten werden oft ortspezifische Veränderungen in der Umwelt beobachtet, die, nach Erfahrung der Bevölkerung, auf unmittelbar bevorstehende Erdstösse hinweisen. So konnten stärkere Stösse während der Erdbebenperiode von Taschkent (1966/67) durch Änderung des Gehalts an radioaktiven Stoffen in den Mineralquellen kurzfristig vorausgesagt werden [15].

In ähnlicher Weise, wie sich das erdmagnetische Feld vor seismischen Ereignissen verändert, zeigen auch gewisse Gesteinseigenschaften Veränderungen, so z. B. die seismischen Geschwindigkeiten von manchen Gesteinstypen [12], der spezifische (elektrische) Widerstand oder der piezomagnetische Effekt [13]. Die Möglichkeit, solche Effekte zur Bebenprognose zu benützen, sind über theoretische Betrachtungen nicht hinausgekommen.

Gelegentlich hört man von Prognose-Methoden, deren Grundlagen nicht dem Bereich der exakten Naturwissenschaften angehören, sondern in die Gebiete der Parapsychologie (PSI-Faktor) und Astrologie reichen. Anderseits wurde jedoch schon zuverlässig beobachtet, dass gewisse Lebewesen vor einem Beben ein absonderliches Verhalten an den Tag legten. So sollen z. B. in Japan erdbebenfühlige Hunde gehalten werden, die die Hausbewohner vor dem Eintreffen eines Bebens durch ihr Verhalten warnen [16].

Solche Phänomene sind nicht völlig von der Hand zu weisen. Es dürfte sich um einen ähnlichen Vorgang handeln, wie er sich bei gewissen Menschen als «Wetterfühligkeit» bemerkbar macht, deren Ursache medizinisch-physikalisch ebenfalls noch ungeklärt ist.

2.2 Statistische Berechnungen

Im Gegensatz zur Bebenprognose, die direkte Messungen und Beobachtungen heranzieht, basieren statistische Berechnungen über seismische Ereignisse auf Daten von Beben, die schon erfolgt sind. Aus dem Zahlenmaterial, das

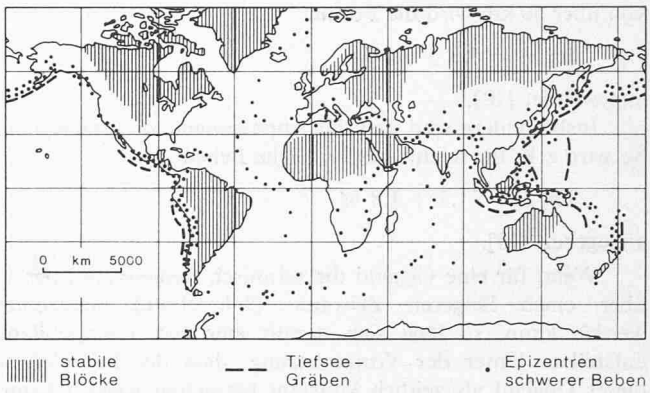

Bild 3. Bebenzonen der Erde

zur Verfügung steht, soll versucht werden, das seismische Verhalten einer Gegend oder eines bestimmten Ortes in die Zukunft zu projizieren.

Auf statistischen Berechnungen beruhen zwei Verfahren, auf die hier näher eingegangen wird:

- die Konstanz des Energieflusses,
- das seismische Risiko.

Folgende Voraussetzungen müssen hierzu erfüllt sein:

- Über Zeit und Ort von erfolgten Beben müssen klare und lückenlose Aufzeichnungen vorliegen,
- die einzelnen Beben müssen ihrer Natur nach objektiv (instrumentell) charakterisiert werden können nach Magnitude, Intensität, Herdtiefe usw.

Als Rechnungsgrundlagen müssen folgende Beziehungen bekannt sein, deren allgemeine Formeln lauten:

- für den konstanten Energiefluss: die Beziehung zwischen freigesetzter Energie E und Magnitude M eines Bebens:

$$\log E = a + bM$$

- für das seismische Risiko: die Abhängigkeit der Oberflächenintensität I von Magnitude M und Herdtiefe h eines Bebens:

$$I = c \cdot \log M - d \cdot \log h + e$$

Über Natur und Berechnung der Grössen Energie, Magnitude und Intensität wird in Kapitel 2.2.2 berichtet.

2.2.1 Die Konstanz des Energieflusses

Ein Blick auf die seismische Erdkarte zeigt, dass die Gebiete, in denen Beben vorkommen, über relativ eng begrenzte Gürtel verteilt sind (Bild 3). Die Magnitude M eines Bebens ist ein Mass für dessen Stärke und ist folgendermassen definiert:

$$M = \log \frac{a_1}{T_1} - \log \frac{a_2}{T_2} = \frac{5}{9} \log \frac{E_1}{E_2}$$

worin a die horizontalen Schwingungsamplituden, T deren Perioden und E die erzeugten Energien der Beben 1 und 2 bedeuten. Diese Definition gilt für Beben, deren Herde innerhalb der Erdkruste etwa 20 bis 30 km tief liegen [10]. Aufgrund experimenteller Ergebnisse werden noch verschiedene Korrekturen notwendig. Die von *Gutenberg* und *Richter* 1942 angegebene klassische Formel lautet [17]:

$$\log E = 11{,}8 + 1{,}5\, M$$

Diese Beziehung wurde später von verschiedenen Autoren leicht modifiziert[3]). Für Beben mit einer Herdtiefe

[3]) *Bath* (1966) gibt ein verfeinertes Ergebnis an [26]:
$\log E = 12{,}24 + 1{,}44\, M$

von über 50 km wird die Formel

$$\log E = 5{,}8 + 2{,}4\,M$$

angewendet [20].

Insbesondere sind örtliche Anpassungen zu verzeichnen. So wird z. B. für seichte kalifornische Beben

$$\log E = 11{,}3 + 1{,}8\,M$$

angegeben [18].

Wenn für eine Gegend die seismisch freigesetzte Energie über einen längeren Zeitraum (Jahrzehnte) beobachtet werden kann, so lässt sich daraus eine Art Energiebilanz aufstellen. Unter der Voraussetzung, dass der Energiefluss dieser Gegend als zeitlich konstant betrachtet werden kann, lässt sich berechnen, ob die kalkulierte Durchschnittsenergie z. B. für ein Jahrzehnt schon durch Beben freigesetzt wurde oder nicht. Wenn nicht, muss mit einer Zunahme der Bebentätigkeit in naher Zukunft gerechnet werden.

Aufgrund der je Zeiteinheit freigesetzten Energiebeträge lässt sich eine Energiekarte (Isenergeten-Karte) einer Gegend erstellen. So hat z. B. *Oecal* [19] eine solche für die Türkei erstellt (Bild 4). Die geotektonischen Verhältnisse treten darauf bemerkenswert klar hervor. Eine Isenergeten-Karte von Europa wurde von *Karnik* mittels ausserordentlich reichen Datenmaterials 1971 herausgegeben [20]. Ähnliche Zusammenstellungen liegen vor z. B. für das östliche Mittelmeer und den griechischen Archipel [21], für den Iran [22], für Japan [23].

In gleichem Masse wie die Energiemenge ist die Grösse der einzelnen Energieschübe, d. h. die Intensität der auftretenden Beben, von Interesse. Zu dieser Information dienen die Frequenzkarten verschiedener Intensitäten. Hier sei z. B. diejenige für die Türkei für die Intensitäten 5 bis 6 (MM-Skala) angeführt (Bild 5).

Zur Bemessung gewisser Bauwerke ist auch die Angabe der höchsten je verspürten Intensität wichtig. Eine Europakarte, die diese Angabe liefert, wurde ebenfalls von *Karnik* zusammengestellt [20]. Für kleinere Gebiete bestehen analoge Karten (für die Schweiz in Vorbereitung). Solche Karten sind von besonderem Interesse für Regionen, wo sich in historischer Zeit einmalige, ausserordentlich starke Beben ereignet haben, z. B. Basel 1356.

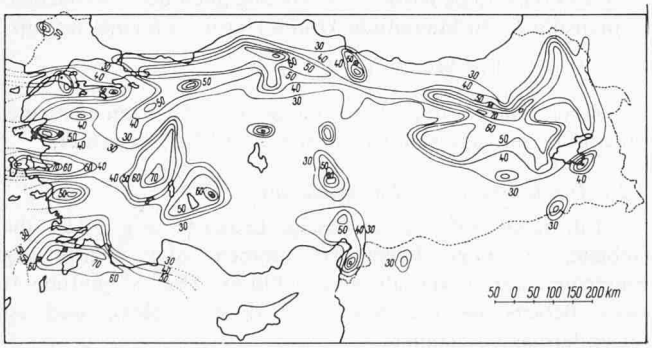

Bild 4. Isenergetenkarte der Türkei. Einheit: erg/m²h

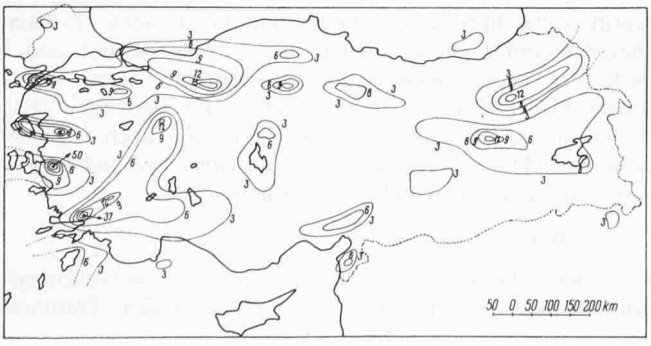

Bild 5. Frequenzkurven der beobachteten jährlichen Anzahl Beben mit einer Intensität von 5 bis 6 (MM-Skala)

Die beschriebene Methode, eine zukünftige seismische Tätigkeit in einem bestimmten Gebiet vorauszusagen, weist zwei schwerwiegende Nachteile auf:

- Je kleiner ein betrachtetes Gebiet ist, desto ungenauer wird die Angabe über den Energiefluss. Diese Einschränkung hängt zusammen mit der Ausdehnung von seismisch aktiven Zonen. Eine maximale Genauigkeit erfordert ein maximal grosses Gebiet, d. h. die ganze Erde.
- Auch in einem verhältnismässig grossen Gebiet eines seismischen Gürtels, wie es z. B. die Türkei darstellt, ist der «konstante» Energiefluss langperiodischen Änderungen unterworfen. *Oecal* hat festgestellt, dass die Bebenfrequenz in den Jahren nach 1940 vier- bis fünfmal so hoch war wie vorher (Bild 4). Dadurch nimmt auch der Energiefluss bedeutend zu. Ähnliche Hinweise finden sich bei *Karnik*. Diese Erscheinung steht in Zusammenhang mit dem allmählichen Wandern von Erdbebenschwärmen längs Geofrakturen [24]. Solche langsame Ortsveränderungen konnten in Chile [25] und auf dem mittelatlantischen Rücken beobachtet werden [26].

Diese Einwände führen automatisch zur Frage, ob der globale Energiefluss, wie er durch seismische Tätigkeiten in Erscheinung tritt, als zeitlich konstant angesehen werden darf, mit andern Worten, ob eine Transposition von statistisch erarbeiteten Grössen in die Zukunft überhaupt realistisch ist. Dieses Problem ist von fundamentaler Bedeutung für alle Voraussagen statistischer Art und wird in Abschnitt 2.2.2 diskutiert.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Methode des konstanten Energieflusses wenig dazu beitragen kann, die Frage des Ingenieurs nach dem zukünftigen seismischen Verhalten einer Gegend oder eines bestimmten Ortes zu beantworten.

Es ist kein Fall bekannt, wo eine konkrete Voraussage erfolgt wäre. Höchstens dürfen solche Berechnungen als «Trend» betrachtet werden, wie z. B. der Hinweis von *Shimazaki*, dass in der Gegend des grossen Kanto-Bebens in Japan (1923) aufgrund langjähriger seismischer Ruhe ein neues Beben in Aussicht steht, dessen Magnitude 7,7 übersteigen dürfte [27]. Immerhin sind diese energetischen Überlegungen geeignet, eine Gegend qualitativ als seismisch aktiv oder schwach zu charakterisieren.

2.2.2 Das seismische Risiko

Begriff. Das seismische Risiko eines Punktes an der Erdoberfläche gibt Auskunft über dessen Beeinflussung durch Erdbeben, und zwar im Rahmen von Häufigkeit, Intensität und Wirkungsweise von Beben, wie sie sich in der Vergangenheit ereignet haben. Wenn das seismische Geschehen über mehrere Jahrzehnte hinweg verfolgt werden kann, besteht ausserdem die Möglichkeit, für die Zukunft in gewisser Weise eine Prognose zu stellen. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, dass die seismische Aktivität der Umgebung sich auch in Zukunft in gleichem Rahmen hält.

Grundlagen. Die Berechnung des seismischen Risikos eines vorgegebenen Punktes setzt sich aus zwei Stufen zusammen, nämlich

a) der Beurteilung der virtuellen[4]) Wirkung von Beben der Umgebung, die während einer Beobachtungsdauer aufge-

[4]) «der Möglichkeit nach vorhanden».

treten sind. Die Grösse der in Frage kommenden Umgebung ist abhängig von deren Seismizität, sie kann in einem Umkreis von etwa 300 bis 600 km Radius liegen. Die Beobachtungsdauer hängt davon ab, ob Aufzeichnungen aus der Vergangenheit vorhanden sind.

b) der statistischen Bearbeitung der erhaltenen virtuellen Wirkungsdaten[5]). Diese werden in bezug auf ihre zeitliche Abfolge untersucht. Lassen sich Zusammenhänge erkennen, so kann – unter allem Vorbehalt auf die statistische Aussagequalität – eine seismische Risiko-Prognose für die Zukunft versucht werden.

Benötigte Daten. Die Wirkung eines Bebens in einem entfernten Punkt resultiert aus drei voneinander verschiedenen Vorgängen:

- den Herdcharakteristiken,
- der spezifischen Wirkungsweise des Zwischenmediums auf die durchlaufenden seismischen Wellen,
- den Reaktionen des Baugrundes und dessen Wechselwirkung mit den Fundamenten eines Bauwerkes.

Unter *Herdcharakteristiken* wird im wesentlichen Ort, Zeitpunkt, Herdtiefe und Stärke verstanden. Der Begriff «Stärke» beinhaltet die Energie eines Bebens und wird mit *Magnitude* umschrieben. Alle diese Angaben können von geeigneten Apparaten mit genügender Genauigkeit geliefert werden.

Das *Zwischenmedium,* der Teil des Erdkörpers, der von den seismischen Wellen durchlaufen wird, übt auf diese eine komplexe Wirkung aus. Gewisse Wellenarten werden stärker abgeschwächt als andere oder gar vollständig unterdrückt (Transversalwellen verschwinden z. B. im Erdkern). Darüber hinaus werden auch diskrete Wellenfrequenzen stärker absorbiert (Filterwirkung). An Schichtflächen treten Beugungs- und Reflexionserscheinungen auf. Endlich wird ein Teil der seismischen Energie durch nicht-elastische Reaktion des Mediums in Wärmeenergie umgewandelt. Alle diese Veränderungen des Bebenspektrums sind abhängig von Aufbau und Zusammensetzung der durchlaufenen tektonischen Einheiten.

Brauchbare Informationen über diese Zusammenhänge sind ausserordentlich spärlich, ausgenommen Beobachtungen über die Fortbewegungs-Geschwindigkeit seismischer Wellen, die unter dieser bautechnischen Betrachtungsweise eine geringe Bedeutung haben. Immerhin konnte *Shebalin* zeigen, dass Beben gleicher Energieentwicklung beim Überschreiten einer Herdtiefe von etwa 70 km eine abrupte Veränderung der Intensität im Epizentrum zeigen [29].

Der *Baugrund,* in welchem ein Grossbauwerk fundiert wird, verdient bezüglich seiner dynamischen Reaktion auf Bebenwellen besondere Beachtung. Hier ist besonders zu vermerken, dass Lockergesteinsböden (Alluvionen, Moränen, Aufschüttungen) im Vergleich zu Felsoberflächen je nach Mächtigkeit und Zusammensetzung eine Verstärkung oder Dämpfung der Bebenwirkung erzeugen können. Eine beträchtliche Verstärkung wird bei wenigmächtigen Böden (20 bis 30 m) beobachtet, die mehr als den doppelten Beschleunigungswert der unterliegenden Felsoberfläche erreichen kann. Dieses Phänomen ist bereits ziemlich genau untersucht, und zwar in der Weise, dass das beobachtete Verhalten von Lockergesteinsschichten mit rheologischen Modellen verglichen wird.

Am Ende dieser Wirkungskette eines Bebens käme jetzt die Beurteilung der Reaktion der Fundamente und des ganzen Bauwerkes. Es ist dies das einzige Glied der Kette, wo künstlich eine Optimierung der Bebenwirkung in gewissen Grenzen möglich wird, sei es

- durch geeignete Fundation,
- durch Verbesserung des Baugrundes in bezug auf seine seismische Reaktion (Verdichten usw.),
- durch die Wahl besonderer konstruktiver Massnahmen («erdbebensichere Bauweise»),
- durch Ausweichen auf einen geeigneteren Standort, der ein geringeres seismisches Risiko verspricht.

Voraussetzung für diese Beurteilung ist allerdings, dass das seismische Risiko von verschiedenen Punkten bzw. Standorten gegeneinander abgewogen werden kann.

Die Komponenten der Bebenwirkung. Die Einwirkung von Bebenwellen auf die Fundamente eines Bauwerkes ist von komplexer Natur. Die inneren Zusammenhänge der Wirkungskomponenten sind noch nicht genau bekannt. In bautechnischer Hinsicht spielen folgende Eigenschaften eine Rolle:

- die Bodenbeschleunigung
- die vorherrschenden Wellenfrequenzen
- die Dauer der starken Bodenbewegung
- die Richtung der Wellenbewegungen

Die Bodenbeschleunigung. Unter diesem Begriff versteht man die Beschleunigung der einzelnen Bodenpartikel, die diese beim Durchlaufen der seismischen Wellenfronten erfahren. Diese Eigenschaft der Bebenwirkung wurde lange Zeit als die alleinige Ursache für Beschädigungen von Bauwerken angesehen. Tatsache ist, dass durch die oszillierende Bodenbeschleunigung die Fundamente in einen Bewegungszustand geraten.

[5]) Genau genommen handelt es sich um stochastische Zusammenhänge. Es sind Ereignisse ohne einen strengen funktionalen Zusammenhang, die aber dennoch voneinander abhängig sind und einen klaren Trend aufzeigen.

Tabelle 1, Zuordnung Intensität – Bodenbeschleunigung (in cm/s ^{2})

MM-Skala[1]) Grad	*Cancani* 1904 [32]	*Gassmann* 1925 [33]	*Oldham* 1926 [34]	*Ishimoto* 1932 [39]	*Sieberg* 1933 [40]	*Richter* 1942 [18, 37]	*Peterschmitt* 1952 [42]	*Neumann* 1954 [41]	*TID* 1963 [38]	*Sponheuer*[2]) 1965 [35, 36]
1	0,25	—	—	0,2	2,5	—	0,14	1,8	—	
2	0,25	0,34	2,7	0,6	2,5	1	0,45	3,8	1,5	
3	0,5	0,73	4,8	1,6	5	2,2	1,4	7,6	3,5	3
4	1	1,58	8,0	4,2	10	4,7	4,5	15,5	7,2	6
5	2,5	3,40	12,5	11	25	10	14	32	15	12
6	5	7,32	22	29	50	22	45	64	32	25
7	10	16	50	76	100	47	140	131	70	50
8	25	34	100	197	250	100	450	264	130	100
9	50	75	180	510	500	220	1400	542	310	200
10	100	158		1340	1000	470	4500	1100	680	400
11	250	340		3500	2500	1000	14000	2200	1300	800
12	500	732		9100	5000	2200	45000		3100	

[1]) Modified *Mercalli* Scale [30]

[2]) entspricht der *Medwedew-Sponheuer-Karnik*-Skala

Ausser der Bodenbeschleunigung tragen die übrigen Bewegungskomponenten einen wichtigen Teil zum Endeffekt bei.

Der Grund dieser subjektiven Überbewertung der Beschleunigung besteht darin, dass diese verhältnismässig leicht mit geeigneten Instrumenten gemessen werden kann. Die übrigen Komponenten sind instrumentell bedeutend schwieriger festzustellen, weil die Aufzeichnungen der gebräuchlichen Seismographen diese Bewegungseigenschaften des Bodens nicht ohne weiteres erkennen oder berechnen lassen.

Die Bodenbeschleunigung wird mit dem Begriff *Intensität* umschrieben. Die Intensität wird, ausser in Japan[6]), mit Hilfe der 12teiligen modifizierten Mercalli-Skala [30] definiert (MM-Skala). Bei der Zuordnung der einzelnen Intensitätsstufen in die Skala werden folgende Prinzipien berücksichtigt:

- unmittelbare Empfindungen und Beobachtungen der Bodenbeschleunigung von und an Menschen,
- Veränderungen und Beschädigungen an Bauwerken.

Ähnlich wie man in der Meteorologie die Windstärke schätzt, so wird die Verschiedenheit der Reaktionsweisen den verschieden starken Bodenbeschleunigungen zugeschrieben. Jedem Grad der MM-Skala wird demnach eine bestimmte Beschleunigung zugeordnet. Verschiedene Autoren haben hiezu Überlegungen oder Untersuchungen beigetragen. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Interpretationen angeführt.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Zahlenwerte ausserordentlich stark schwanken. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, dass diese Beschleunigungswerte die übrigen Wirkungskomponenten implizit enthalten. Richtigerweise müssten zu allen angeführten Beschleunigungswerten die zugehörigen Frequenzen usw., aber auch die Eigenschaften des Erdbodens bzw. Baugrundes bekannt sein. Bei Beben in Kalifornien wurde z. B. beobachtet, dass bei gleicher Intensität die Wellenfrequenzen zwischen 2,5 und 3 Hz bei gewöhnlichen Bauten (Wohn- und Geschäftshäuser) bedeutend grösseren Schaden anrichten als solche zwischen 0,6 und 0,8 Hz [31].

Von Ausnahmen abgesehen, sind Angaben, die über den Intensitätsgrad eines Bebens hinausgehen – zumindest in Europa – nicht erhältlich.

Die Frage, welche Beschleunigung den einzelnen Intensitäts-Graden der MM-Skala zugeordnet werden soll, entpuppt sich als ein Streit um des Kaisers Bart, wenn keine zusätzlichen Informationen über das Bebenspektrum vorhanden sind. Trotz dieses offensichtlichen Mangels müssen wir uns bis auf weiteres in vielen Fällen damit begnügen, nur die Bodenbeschleunigung allein als Mass für die Bebenwirkung zu betrachten.

Zur Berechnung der Beben-Fernwirkung

Die Herleitung von brauchbaren Formeln beruht auf der Beziehung zwischen den Herdcharakteristiken (Stärke, Tiefenlage) und der Intensität in einem vorgegebenen Standort. Diese Beziehungen wurden empirisch auf statistischer Grundlage untersucht. Den Verfahren liegen die folgenden vereinfachenden Annahmen zugrunde [43]:

- Der Bebenherd ist punktförmig. Diese Vereinfachung darf nur angewendet werden für Gebiete, die nicht im Einflussbereich grosser Bruchsysteme liegen (Geofrakturen), wie z. B. die San Andreas-Verwerfung in Kalifornien oder die nordanatolische Bruchzone in der Türkei. Wo die Bebenherde nicht an Geofrakturen liegen, fällt diese Vereinfachung um so weniger ins Gewicht, je weiter der Herd vom Standort entfernt ist.
- Das Zwischenmedium ist homogen und isotrop. Bebenwellen bewegen sich geradlinig fort.
- Eine mittlere Wellenfrequenz wird angenommen, die von der Herdentfernung unabhängig ist. In Wirklichkeit nehmen die Frequenzen mit der Entfernung etwas ab.

Verschiedene Autoren haben sich mit diesem Problem im Hinblick auf die Herdtiefe-Bestimmung befasst. Eine Übersicht findet sich bei *Sponheuer* [43].

Die Fragestellung des Ingenieurs ist genau umgekehrt: bei bekannten Herdcharakteristiken soll die virtuelle Wirkung eines Bebens in einem vorgegebenen Punkt ermittelt werden.

Die Ermittlung der Energie eines Bebens ist schwierig und ergibt grössere Ungenauigkeiten als die Bestimmung der Herdtiefe aus den Laufzeiten verschiedener Wellenarten. Aus diesem Grunde führt eine Beziehung, die die Oberflächeneffekte in bezug zur Herdtiefe berücksichtigt, am besten zum Ziel. *Koevesligethy* [44] hat die folgenden Formeln entwickelt:

$$I_0 - I_s = 3 \log s/h + 3k\,(s-h) \log e$$

Hierbei ist:

I_0: Intensität im Epizentrum
I_s: Intensität im Standort
s: Hypozentraldistanz in km (siehe Bild 6)
h: Herdtiefe in km
k: Absorptionskoeffizient

$$\log e = 0{,}4343$$

Die Energie der seismischen Wellen im Punkte S verhält sich zu derjenigen im Epizentrum

$$\frac{E_s}{E_0} = \frac{h^2}{s^2}\, e^{-2k\,(s-h)}$$

und die entsprechenden Beschleunigungen

$$\frac{a_s}{a_0} = \frac{h}{s}\, e^{k\,(h-s)}$$

Diese Beziehungen gelten für Beben, die sich in der Erdkruste ereignen. Liegen die Herde tiefer als etwa 70 km, so treten Korrekturen in die Rechnung, wie sie von *Shebalin* [29] vorgeschlagen wurden.

Die Bebenwirkung in einem vorgegebenen Standort nimmt ab mit abnehmender Magnitude (Energie) und zunehmender Entfernung. Die Herdtiefe tritt insofern in Erscheinung, als in einer Tiefe von etwa 50 km ein Maximum an Fernwirkung eintritt.

Die Wahl des Absorptionskoeffizienten k, der ein Mass für die Energieabsorption im Gestein ist, bietet gewisse Schwierigkeiten. Der Grund ist, dass die Absorptionsverhältnisse des geologischen Unterbaues praktisch unbekannt sind. Die Grösse des Koeffizienten schwankt in einem Bereich von etwa $k = 0{,}1$ bei ganz geringen Herdtiefen und schwachen Beben bis etwa zu $k = 0{,}001$. Bei fast allen grösseren Beben nimmt er den Wert von 0,001 an [43].

[6]) Die japanische Skala umfasst 7 Intensitätsgrade.

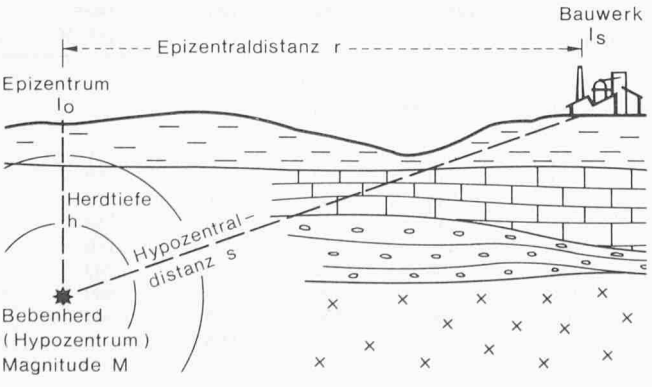

Bild 6. Begriffe

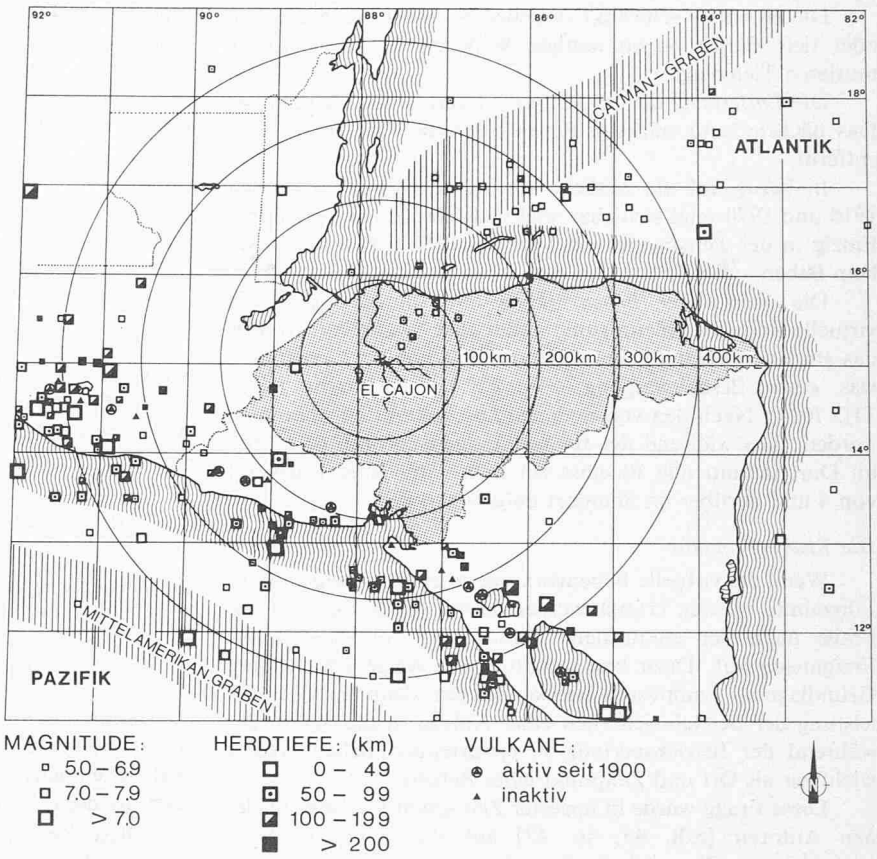

Bild 7. Epizentren 1910–1970 in Zentralamerika mit Lage der projektierten Sperrstelle (El Cajon)

Werden die Wirkungen ihrer Stärke nach tabelliert, so können die verursachenden Beben der Tabellenspitze unter verschiedenen Gesichtspunkten beurteilt werden, so z. B.

- nach Richtung und Entfernung der Epizentren bzw. der Angehörigkeit der Beben zu seismischen Regionen,
- nach der Herdtiefe,
- nach ihrer zeitlichen Abfolge während der zugrunde gelegten Beobachtungsdauer.

Diese Zusammenhänge können an einem Beispiel erläutert werden.

In Honduras (Zentralamerika) wurde das seismische Risiko einer projektierten Talsperre im Landesinnern berechnet (Bild 7). Es treten hier drei verschiedene Bebenzonen ins Bild, nämlich

- der zirkumpazifische Gürtel,
- der kontinentale Raum,
- der atlantische Raum.

Aus der Karte geht hervor, dass der zirkumpazifische Gürtel eindeutig die aktivste Bebenzone darstellt. Der atlantische Raum zeigt eine mittlere Seismizität, und auf dem Kontinent, d. h. hier im Landesinnern von Honduras, sind sehr wenige Epizentren bekannt. Die Tiefenlage der Herde ist in den verschiedenen Zonen unterschiedlich: Während die pazifischen Beben gegen die Landbrücke abtauchen und mehrmals Herdtiefen von über 200 km erreichen, liegen die Beben der beiden übrigen Zonen eher seicht und erreichen selten Tiefen von über 50 km. Das Landesinnere endlich scheint nur geringe Aktivität zu zeigen; es fehlen Hinweise auf häufige oder starke Beben.

Im Umkreis von 400 km um den Standort wurde die virtuelle Wirkung von 110 Beben errechnet, welche sich während der Jahre 1910 bis 1970 ereigneten.

Die Eigenschaften der 8 stärksten Beben sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es handelt sich ausschliesslich um mittlere bis starke Beben (Magnituden zwischen 6,5 und 7¾ [7]).

Alle erwähnten Beben gehören dem *zirkumpazifischen Gürtel* an. Die andern Zonen treten kaum in Erscheinung.

[7]) Die allerstärksten Beben erreichen etwa die Magnitude 8,8.

Tabelle 2. Beben mit stärkster Wirkung im Standort El Cajon

Rang	Ort		Datum	Magnitude	Herdtiefe (km)	Entfernung (km)	Beschleunigung[1]) in cm/s²	in g[2])
1	14 N	89 W	7. 9.1915	7¾	80	180	52	0,053
2	15 N	91 W	4. 2.1921	7,5	120	350	18	0,018
3	13,5 N	86,5 W	29. 5.1919	6¾	90	220	13	0,013
4	12,5 N	86,3 W	26. 1.1947	7,2	170	330	13	0,013
5	12,3 N	85,8 W	5.11.1926	7,2	135	370	12	0,012
6	12 N	87,5 W	21. 5.1932	6,9	90	340	10	0,010
7	14,5 N	89,8 W	2.10.1944	6,5	160	225	9	0,009
8	11,9 N	86 W	15.10.1967	7,0	162	400	6,5	0,007

[1]) Der Intensitätsskala wurden die Bodenbeschleunigungen nach TID 7024 zugrunde gelegt, (siehe Tabelle 1).

[2]) g = Erdbeschleunigung = 981 cm/s²

Die *Herdtiefe* schwankt zwischen 80 und 170 km. Seichte oder tiefe Beben zeigen weniger Wirkung als solche dieser mittleren Tiefenlage.

Die *Entfernung* der Epizentren ist verhältnismässig gross. Das nächste (und stärkste) Beben ist immerhin 180 km weit entfernt.

In bezug auf die zeitliche Abfolge der Beben zwischen 1910 und 1970 zeigt sich eine relativ gleichmässige Verteilung. Einzig in der Zeitspanne von 1948 bis 1966 tritt in der Liste kein Beben auf.

Die *Stärke der Bebenwirkung* am Standort, d.h. die virtuelle Bodenbeschleunigung, mutet eher bescheiden an. Für das stärkste Beben wurde eine Intensität von 6,53 errechnet, was einer Beschleunigung von 0,053 *g* entspricht (nach TID 7024). Nach den vorhandenen Daten kann angenommen werden, dass während der Beobachtungsdauer von 61 Jahren im Durchschnitt alle 10 Jahre ein Beben mit einer Intensität von 4 und darüber im Standort aufgetreten ist.

Die Risiko-Prognose

Wenn die virtuelle Bebenwirkung an einem Standort über Jahrzehnte hinweg erfasst werden kann, so drängt sich die Frage nach der zukünftigen Einwirkung von seismischen Ereignissen auf. Dazu bieten statistische Werte eine bessere Grundlage als synoptische Beobachtungen, denn zur Gewährleistung der Betriebssicherheit einer Anlage ist die Stärke der während der Betriebsperiode zu erwartenden Bebenwirkung wichtiger als Ort und Zeitpunkt eines Bebens.

Diese Frage wurde in neuester Zeit schon von verschiedenen Autoren [z.B. 45, 46. 47] auf theoretischem Wege angeschnitten. Theoretische Betrachtungen erscheinen uns jedoch verfrüht, solange über grundlegende Zusammenhänge der Wellenausbreitung noch so wenig Kenntnisse bestehen.

Die einfachste, empirische Betrachtungsweise besteht wohl darin, dass man die virtuellen Wirkungsgrössen in bezug auf ihre zeitliche Abfolge einer Gaussschen Verteilung (Normalverteilung) zuordnet. Dabei wird nur das am stärksten

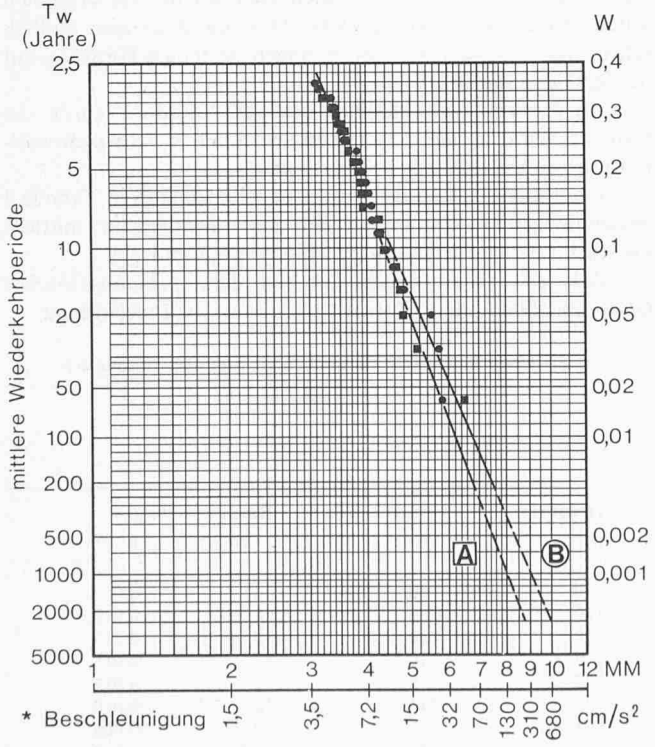

Bild 8. Seismisches Risiko für zwei Standorte A und B:
A in Honduras B im schweizerischen Mittelland
*) nach TID, siehe Tabelle 1

Tabelle 3. Seismische Einwirkung / Wiederkehrperiode in A und B

Intensität (MM-Skala)	Beschleunigung (cm/s²)	Wiederkehrperiode T_w (Jahre)	
		A	B
4	7,2	7	6
5	15	22	17
6	32	77	48
7	70	280	133
8	130	1000	370
8,5	220	(1800)	(600)

wirksame Beben während eines Kalenderjahres berücksichtigt. Wenn die Beobachtungsdauer N Jahre beträgt, so ist die Wahrscheinlichkeit W, dass sich ein Beben der Intensität I_j bemerkbar macht

$$W = \frac{I_j}{N+1} \quad \text{und somit}$$

die Wiederkehrperiode T_w des Ereignisses I_j in Jahren

$$T_w = \frac{N+1}{I_j}.$$

Wenn die Annahme einer Normalverteilung von T_w richtig ist, so müssen die entsprechenden Punkte auf dem benutzten Wahrscheinlichkeitspapier auf einer Geraden liegen. Wie Bild 8 zeigt, ist diese Forderung mit guter Annäherung erfüllt[8]).

Diese Verteilung gilt nur für den uns interessierenden Kurventeil der starken Beben. Werden die häufigeren, schwächeren Beben aufgetragen, zeigt sich deutlich eine konkave Krümmung der Punkteschar. Diese Darstellungsart gibt auf zwei Fragen Antwort:

- Sie liefert eine Prognose für das seismische Risiko eines Standortes.
- Es besteht eine Vergleichsmöglichkeit des seismischen Risikos von verschiedenen Standorten.

In Bild 8 ist diese zweite Möglichkeit ebenfalls dargestellt (Kurven A und B). Der Standort A befindet sich in Honduras, B im schweizerischen Mittelland.

Die Lage der Geraden ergibt die Beziehung zwischen Wiederkehrperiode T_w und der zu erwartenden Bodenbeschleunigung. Aus tektonischen Erwägungen kann aber die Intensität nicht ad infinitum extrapoliert werden, d.h. eine bestimmte Bodenbeschleunigung wird nie überschritten werden. Es gibt Gebiete, wo in kurzen Zeitabständen verhältnismässig geringe Beben auftreten, und andere, wo in säkularen Abständen ungewöhnlich starke Beben erfolgen, z.B. Skopje: 9. Jahrhundert – 1963, Basel: 856 – 1356 – 1610 [49]. Die absolute Stärke der zu erwartenden Beben hängt vom seismischen Charakter einer Gegend ab (siehe Bild 3). Diese Grösse kann nicht genau angegeben, sondern nur mit den aus der geschichtlichen Zeit zur Verfügung stehenden Aufzeichnungen und Berichten vorsichtig abgeschätzt werden.

Werden die beiden Standorte A und B von Bild 8 gegeneinander abgewogen, so lassen sich aus dem Diagramm die Daten der Tabelle 3 entnehmen.

Im Standort B tritt eine gleiche Wirkung nach einer kürzeren Wiederkehrperiode auf als in A, demzufolge wäre der Standort A vom seismischen Standpunkt aus günstiger einzuschätzen.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich hier um statistische Grössen handelt, deren Regelmässigkeit des Eintreffens nicht überschätzt werden darf. Ausserdem trägt ja die

[8]) Ein Versuch mit einer Pearson-III-Verteilung ergab nur unwesentliche Unterschiede.

Bodenbeschleunigung nur einen Teil zur gesamten Bebenwirkung bei.

Eine logische Weiterführung dieser Darstellungsmethode besteht darin, dass man für grössere Gebiete bzw. Länder Karten anfertigt, die Linien gleicher Beschleunigung für 10-, 20-, 50- und 100jährige Wiederkehrperioden enthalten, wie das z.B. *Cornell* [47] getan hat (Bild 9). Dazu werden längs eines Koordinatennetzes Punkte kursorisch ausgewertet und ihre Bodenbeschleunigung für die gewünschten Wiederkehrperioden tabelliert. Zu beachten ist, dass die Beschleunigungswerte der Felsoberfläche entsprechen. Örtlich bedingte Korrekturen für Fundationen in Lockergesteinen müssen separat errechnet werden.

In neuester Zeit wurde auch eine entsprechende Karte für das Gebiet von Japan erarbeitet [52]. Solche Unterlagen geben den Baubehörden wichtige Hinweise für generelle Bauvorschriften. Für einzelne Grossbauwerke erscheint es dennoch sinnvoller, wenn von Fall zu Fall besondere Risiko-Analysen angefertigt werden.

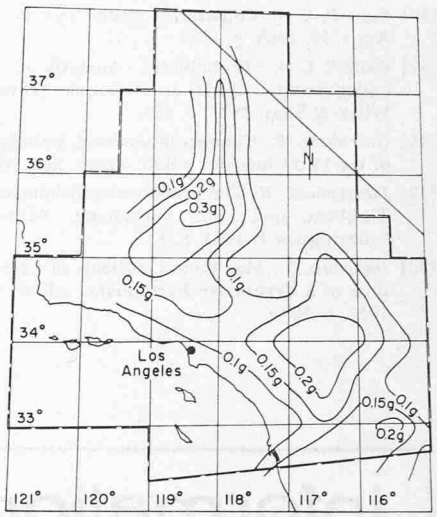

Bild 9. Karte der 100jährigen mittleren Wiederkehrperiode seismischer Bodenbeschleunigungen für Südkalifornien (47).

Literaturverzeichnis

[1] Proceedings of the United States – Japan Conference on Research related to Earthquake prediction problems. March 1964, New York.

[2] *Rikitake, T.:* An approach to prediction of Magnitude and occurrence time of Earthquakes. «Tectonophysics» 8/2, 1969, p. 81.

[3] *Hagiwara, T.:* Abnormal changes in the mean Sea level at Aburatsubo before the Kanto Earthquake of 1923. In [1], p. 35.

[4] *Mescherikov, J.A.:* Recent crustal movements in seismic regions: Geodetic and geomorphic data. «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 29.

[5] Prediction of earthquakes. Progress to data and plans for further development. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan, January 1962.

[6] *Press, F.* and *Brace, W.F.:* Earthquake Prediction. «Science» 152, Nr. 3729, 1966, p. 1575.

[7] *Breiner, S.* and *Kovach, R.L.:* Local magnetic events associated with displacement along the San Andreas fault (California). «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 69.

[8] *Rikitake, T.:* Geomagnetism and earthquake prediction. «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 59.

[9] *Imamura, G.* and *Sakiguti, T.:* «Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo» 17/1, 1939, p. 107.

[10] *Sawarenski, E.F.* und *Kirnos, D.P.:* Elemente der Seismologie und Seismometrie. Akademie-Verlag Berlin, 1960, S. 45.

[11] *Kato, Y.:* Changes in the Earth magnetic field accompanying earthquakes. In [1], p. 80.

[12] *Savarenski, E.F.:* On the prediction of earthquakes. «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 17.

[13] *Brace, W.F.:* Current laboratory studies pertaining to earthquake prediction. «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 75.

[14] *Ernst, W.:* Erdbebenvorhersage. Zusammenhang zwischen Gaskonzentration und Erdbeben. Taschenbuch 4/1970, Goldmann-Verlag, München.

[15] Natur, Kleine Enzyklopädie. VEB Bibliogr. Institut Leipzig, 1971, S. 154.

[16] «RGS, Schweiz. Zeitschrift für Radiästhesie, Geopathie, Strahlenbiologie» 18/86, 1968.

[17] *Gutenberg, B.* and *Richter, C.F.:* On seismic waves. Gerl. Beitr. «Geoph.» 47, 1936, p. 73.

[18] *Gutenberg, B.* and *Richter, C.F.:* Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. «Bull. Seism. Soc. Am.» 32/3, 1942, p. 163.

[19] *Oecal, N.:* Die Seismizität der Türkei. «Pageoph.» 57/1, 1964, S. 103.

[20] *Karnik, V.:* Seismicity of the European Area, part 1 and 2. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, Holland, 1969 and 1971.

[21] *Galanopoulos, A.G.:* On quantitative determination of Earthquake risk. «Ann. di Geof.» 21, 1968, p. 193.

[22] Institute of Geophysics, Teheran University: A Report on the tentative evaluation of Intensity, Magnitude and Energy Dissipation relations in Earthquakes of Northern Iran. Publ. No. 21, Jan. 1965.

[23] *Aki, K.:* Seismicity and seismological Method. «Tectonophysics» 6/1, 1968, p. 41.

[24] *Ambraseys, N.N.:* Some characteristic features of the Anatolian Fault Zone. «Tectonophysics» 9, 1970, p. 143.

[25] *Duda, S.J.:* Strain release in the circum-Pacific belt: Chile 1960. «J. Geophys. Res.» 68, 1963, p. 5531.

[26] *Bath, M.:* Earthquake Seismology. «Earth-Sci. Rev.» 1, 1966, p. 69.

[27] *Shimazaki, K.:* Unusually low seismic activity in the focal region of the great Kanto Earthquake of 1923. «Tectonophysics» 11, 1971, p. 305.

[28] *Parkiser, L.C.* et *Healy, J.H.:* Prédiction et contrôle des tremblements de terre. «La Recherche» 15/2, 1971, p. 717.

[29] *Shebalin, N.U.:* O svyazi mezhdu energey, ballnost'yu i glubinoy ochaga zemletryaseniya. «Izvestiya Akad. Nauk SSSR, ser. geofiz.», 1955, p. 377.

[30] *Wood, H.O.* and *Neumann, F.:* Modified Mercalli Intensity Scale of 1931. «Bull. Seism. Soc. Am.» 21, 1931, p. 277.

[31] *Seed, B.* and *Idriss, I.M.:* Influence of Soil Conditions on Building Damage Potential during Earthquakes. «Jour. struct. Div., ASCE» Vol. 97 No. ST2, p. 639, 1971.

[32] *Cancani, A.:* Sur l'emploi d'une double échelle séismique des intensités empirique et absolue. Verh. d. Internat. Seismol. Ass. zu Manchester 1903, Leipzig 1904.

[33] *Gassmann, F.:* Die makroseismischen Intensitäten der schweizerischen Nahbeben im Zusammenhang mit den Registrierungen in Zürich. Jahresbericht schweiz. Erdbebendienst 1925, Zürich.

[34] *Oldham, R.D.:* The depth of origin of earthquakes. «Quart. Jour. geol. soc.» vol. 82/1, London 1926.

[35] *Sponheuer, W.:* Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala. «Veröff. Inst. Geodyn.» Jena, 8, 1965.

[36] *Zatopek. A.:* Seismicity and related problems. IISEE Lecture Note No. 6, Tokyo, 1969.

[37] *Richter, C.F.:* Elementary Seismology. Freeman and Comp., Inc., 1958.

[38] TID 7024, Nuclear reactors and earthquakes. United States Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, Washington D.C., 1963.

[39] *Ishimoto, M.:* Echelle d'intensité sismique et accélération maximale. «Bull. Earthqu. Res. Inst. Tokyo» 10, 1932, p. 614.

[40] *Sieberg, A.:* Erdbebenforschung. Gustav Fischer, Jena, 1933.

[41] *Neumann, F.:* Earthquake Intensity and related Ground Motion. University of Washington Press, Seattle, 1954.

[42] *Peterschmitt, E.:* Sur la variation de l'intensité macroséismique avec la distance épicentrale. Publ. Bureau Central Séismol. Intern. série A, fasc. 18, 1952.

[43] *Sponheuer, W.:* Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. Freiberger Forschungsheft C 88, 1960.

[44] *Koevesligethy, R.:* Seismischer Stärkegrad und Intensität der Beben. Gerlands Beitr. «Geophysik» 8, 1907.

[45] *Lomnitz, C.:* Statistical prediction of Earthquakes. «Rev. of Geophysics» 4, 1966, p. 377.

[46] *Cornell, C.A.:* Engineering seismic risk analysis. «Bull. Seism. Soc. Am.» 58, 1968, p. 1583.

[47] *Cornell, C.A.:* Probabilistic Analysis of Damage to Structures under Seismic Loads. In: Dynamic Waves in Civil Engineering. Wiley & Sons, 1971, p. 473.

[48] *Gutenberg, B.:* Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility of the Earth interior. «Bull. Seism. Soc. Am.» 52, 1941, p. 721.

[49] *Langenbeck, R.:* Die Erdbebenerscheinungen in der oberrheinischen Tiefebene und ihrer Umgebung. «Geogr. Abh. aus Elsass-Lothringen» 1, 1892, S. 1.

[50] *Imamura, G.:* Maximum Gradients of Crustal Deformations at the time of a destructive Earthquake. «Bull. Seism. Soc. Am.» 42/4, 1952, p. 309.

[51] *Hansen, R.J.* (editor): Seismic Design for Nuclear Power Plants. M.I.T. Press, 1970.

[52] *Goto, H.* and *Kameda, H.:* A statistical Study of the maximum Ground Motion in strong Earthquake. «Trans. of the Japan Soc. of Civ. Eng.» 159, 1968, p. 1.

Adresse des Verfassers: Dr. *Martin Wohnlich,* ten Wellberg-Strasse 4a, D-446 Nordhorn.

Der Verfasser dankt der Firma Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden, dass sie diesen Bericht ermöglicht hat und das Material zur Verfügung stellte.

informationen SIA

SIA Generalsekretariat Selnaustrasse 16 Postfach 8039 Zürich Telephon (01) 36 15 70

Bemerkungen zu einem Urteil über den Architektenvertrag

Nachdruck eines Artikels von Prof. *P. Jäggi* (Freiburg) in der «Schweizerischen Juristen-Zeitung», Heft 20 vom 15. Oktober 1973, S. 301–305

Einleitung

Die Qualifikation des Architektenvertrags gibt immer noch viel zu reden. Schon in den dreissiger Jahren hatte das Bundesgericht erklärt, dass der Architektenvertrag als Ganzes ein Auftrag sei, dass aber aushilfsweise auf Bestimmungen des Werkvertrags zurückgegriffen werden könne. In seinem «Berner-Kommentar» hatte sich Dr. Gautschi eindeutig für den Auftrag allein ausgesprochen. Das Bundesgericht schloss sich mit Entscheid vom 3. Okt. 1972 dieser Meinung an.

Prof. P. Jäggi (Freiburg) hat sich nun in der «Schweizerischen Juristen-Zeitung» vom 15. Okt. 1973 zu diesem Bundesgerichts-Urteil kritisch geäussert. Wir sind überzeugt, dass Prof. Jäggi die Realität des Architektenvertrags besser erfasst als das Bundesgericht mit seiner theoretischen und abstrakten Auslegung und empfehlen die nachfolgenden «Bemerkungen zu einem Urteil über den Architektenvertrag» der Aufmerksamkeit der Architekten und Ingenieure. Gleichzeitig danken wir dem Verfasser und der Schweizerischen Juristen-Zeitung für die Erlaubnis, diesen Artikel in der Bauzeitung abzudrucken.

M. Beaud, *Leiter der Rechtsabteilung des SIA-Generalsekretariats*

«Der Architektenvertrag untersteht *vorbehaltlos* den Bestimmungen des Auftrags», sagt die Inhaltsangabe des kürzlich veröffentlichten Urteils des Bundesgerichts vom 3. 10. 1972 (BGE 98 II 305 ff.). Mit diesem als «Änderung der Rechtsprechung» bezeichneten Satz rückt das Gericht von seinen früheren, allerdings nicht zahlreichen Urteilen ab, die zwar den Architektenvertrag bereits den Regeln über den Auftrag unterstellten, aber mit dem (jetzt fallengelassenen) Vorbehalt, «dass nötigenfalls die Spezialvorschriften des Werkvertrags aushülfsweise herangezogen werden dürfen» (BGE 63 II 176, insbes. S. 180; 89 II 406 f.). Hierzu ist zu bemerken:

1. In seinem neuen Urteil hatte das Bundesgericht gar nicht einen Architektenvertrag zu beurteilen, sondern eine *«Architektenverpflichtung»* (a.a.O., S. 312), nämlich eine in der «Architektenklausel» (a.a.O., S. 306) eines Grundstückkaufes begründete (und nachher nicht erfüllte) Verpflichtung des Käufers, «für sämtliche Architekturarbeiten bezüglich des Kaufsareals» ein (von der Verkäuferin verschiedenes) Architekturbüro «zu SIA-Bedingungen zu berücksichtigen». Umstritten war die Rechtsgültigkeit dieser Verpflichtung. Das Bundesgericht hat sie, als solche, nicht geprüft:

Es befasste sich nicht mit der Vorfrage, ob eine Architektenverpflichtung nicht schon wegen ihrer Koppelung mit einem Grundstückkauf *sittenwidrig* sei[1]). Anscheinend wurde diese Frage – die allerdings von Amtes wegen zu prüfen wäre (BGE 80 II 48) – im Prozess gar nicht aufgeworfen, sowenig wie die weitere (immerhin in Erw. 4 angetönte) Frage, ob sich der verpflichtete Käufer – die Unwirksamkeit der Architektenverpflichtung vorausgesetzt – auf die Unwirksamkeit berufen dürfe, solange er gleichwohl am Grundstückkauf festhält.

Unerörtert blieb ferner die von der einen Prozesspartei vorgetragene Ansicht, die Architektenverpflichtung sei deswegen unwirksam, weil ihr Inhalt weder bestimmt noch *genügend bestimmbar* sei. Das Bundesgericht begnügte sich damit, die Architektenklausel als Vorvertrag (zu einem Architektenvertrag) zu qualifizieren und argumentierte dann wie folgt (a.a.O., S. 307 und 312): Gesetzt auch der Fall, dass die Architektenverpflichtung genügend bestimmbar ist, kann sie doch dann «praktisch nicht erzwungen werden», wenn der abzuschliessende Hauptvertrag, der Architektenvertrag, sofort und unter allen Umständen widerrufen werden könnte. Da nun ein Auftrag kraft zwingenden Rechts jederzeit widerruflich und der «sogenannte Architektenvertrag vorbehaltlos als... Auftrag zu würdigen ist» (was beides näher ausgeführt wird, Erw. 2 und 3), kann offenbleiben, ob die Architektenverpflichtung genügend bestimmbar ist.

Diese Argumentation ist zwar logisch richtig, ändert aber nichts daran, dass das Bundesgericht einem wünschbaren Grundsatzentscheid über die in der Praxis recht häufige Architektenklausel und über deren Koppelung mit einem Grundstückkauf ausgewichen ist, dafür sich aber von seinen früheren Urteilen über den Architektenvertrag distanzierte, obwohl im zu beurteilenden Fall ein solcher Vertrag gar nicht abgeschlossen worden war.

2. Der *«sogenannte Architektenvertrag»* (a.a.O., S. 312) hat keinen feststehenden Inhalt. Die einheitliche Bezeichnung rechtfertigt sich aber deswegen, weil immer ein Vertrag gemeint ist, den der wirtschaftlich selbständige Architekt mit seinen Kunden abschliesst. Zu unterscheiden sind zwei mögliche Hauptinhalte:

a) Das Erstellen eines Projektes für einen Hochbau (mit Ausführungsplänen, gewöhnlich auch mit Kostenvoranschlag) oder nur das Erstellen von (Ausführungs-) Plänen für ein bereits vorliegendes Projekt.

b) Die Oberleitung eines Hochbaus (Ausschreibung und Mitwirkung bei der Arbeitsvergebung, Oberaufsicht über die Bauausführung, Prüfung der Baurechnungen).

Der einzelne Vertrag kann sehr wohl nur den einen oder den anderen Inhalt

[1]) Siehe das in SJZ *68*, 1972, 132, mitgeteilte Urteil des Oberlandesgerichtes Frankfurt a. M.