

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 82 (1964)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Erdbebenwiderstehende Bauten  
**Autor:** Kränzlin, C.H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-67423>

#### **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:** 04.02.2026

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

lichen Probleme, die Betriebsführung, wirtschaftliche und technische Fragen wie auch die persönliche Entwicklung (Ausdrucksweise, Verhandlungsführung, Sprachpflege usw.). Bemerkenswert war die Auffassung einiger Franzosen, nach der grundlegendes Wissen der Wirtschafts-, Sozial- und Arbeitswissenschaften schon im technischen Studium vermittelt werden sollte. Die Hauptaufgabe seien die Befürworter darin, die natürlichen Anknüpfungspunkte zwischen den technischen, wirtschaftlichen und menschenkundlichen Gebieten zu finden. Sollte sich hiefür eine erfolgversprechende Lösung finden lassen, so würde sich das technische Bildungswesen allmählich umstrukturieren, was auch für uns in der Schweiz gewisse Folgen haben könnte.

In Deutschland besteht eine straff durchgeführte Gliederung in Techniker, Ingenieure und Diplom-Ingenieure. Beim heutigen Studium auf den Ingenieurschulen entfallen, wie Dipl.-Ing. v. Elsner, Ingenieurschule Wolfenbüttel, ausführte, etwa 30 % der Ausbildungszeit auf die Grundlagenfächer, 50 % auf das eigentliche Fachwissen und 20 % auf Arbeits- und Sozialkunde, volks- und betriebswirtschaftliche sowie allgemeinbildende Fächer. Der Betriebsingenieur hat sich aber zu 75 % seiner Arbeitszeit mit Fragen zu beschäftigen, die den Menschen angehen. Auch der Konstrukteur kann sich diesem Bereich nicht entziehen. Von berufenen Stellen aufgestellte Lehrpläne für besondere Ingenieurschulen wurden erörtert, in denen Betriebsfachleute und Stabshelfer ausgebildet werden sollen.

An den deutschen Technischen Hochschulen bestehen zwei Richtungen: Darmstadt, Karlsruhe und die TU Berlin bilden Wirtschaftsingenieure aus, wobei etwa die Hälfte der Studienzeit den technischen Fächern (Maschinenbau und Elektrotechnik) und die andere Hälfte der Volks- und Betriebswirtschaft gewidmet werden. An der Technischen Hochschule München ist, wie Prof. Dr. Bernhardt, Direktor des Instituts für Wirtschafts- und Patentrecht der TH München mitteilte, seit 1955 ein viersemestriges Aufbaustudium für Diplom-Ingenieure eingerichtet, das zusätzlich zum akademischen Grad des Dipl.-Wirtschaftsingenieurs führt und besonders für Anwärter der Unternehmerstäbe gedacht ist. Gelehrt werden Volkswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftslehre, Wirtschaftsrecht und Arbeitswissenschaft. Einen ähnlichen Weg plant die TH Aachen. Bedenklich erscheint dabei allerdings die lange Studienzeit; denn Praktikantenzeit, Militärzeit, Studium und Aufbaustudium ergeben ein Mindestalter von dreissig Jahren.

## Erdbebenwiderstehende Bauten

Von C. H. Kränzlin, dipl. Ing. ETH, Zürich

Um 05.13, am Mittwoch, den 18. April 1906, brach die Katastrophe über San Francisco herein. Die über eine Zeitspanne von 43 Sekunden dauernden Haupterdbebenstöße (im folgenden Jahr wurden noch über 900 Nachstöße registriert) zerstörten oder beschädigten unzählige Bauten. Doch das unmittelbar darauf einsetzende Feuer war noch verheerender. Mangels Wasser (die meisten Leitungen waren geborsten) war die Feuerbekämpfung unzureichend. Sprengungen ganzer Häuserzeilen entlang Strassenzügen vermochten das fortschreitende Feuer auch nicht aufzuhalten. Was vom Erdbeben verschont blieb, wurde schliesslich noch ein Raub der Flammen. Nach neueren Schätzungen betrug der eigentliche Erdbebenschaden 90 Millionen Dollar (Geldwert 1950). Der durch das nachfolgende Feuer hingegen entstandene Schaden wird mit dem rund 17fachen Betrag des Erdbebenschadens angegeben.

Die Intensität des San-Francisco-Erdbebens, Stärke X nach Rossi-Forel, wird heute in den Vereinigten Staaten als oberste Grenze angesehen, die man für die Konstruktion erdbebenwiderstehender Bauten berücksichtigen kann. Für Katastrophen dieses Ausmaßes kann es nur noch darum gehen, das menschliche Leben zu schützen. Grosse materielle Schäden hingegen können bei dieser Intensität mit normalen Mitteln nicht mehr verhütet werden.

Erdbeben bestehen aus äusserst unregelmässigen, horizontalen und vertikalen Bodenschwingungen. Die daraus entstehenden Gebäudeschäden sind fast ausschliesslich der

In Holland bestehen Lehrgänge für Personen mit abgeschlossener Hochschulbildung, die sich über zwei Jahre, jeweils an Freitagen und Samstagen, erstrecken (insgesamt 720 Stunden) und als Aufbaustudium für Anwärter auf höhere Stellungen gedacht sind. Dabei arbeiten mehrere Fakultäten zusammen; der Schwerpunkt liegt auf der Organisationslehre (Berichterstatter war Prof. Volbeda, Leiter der Universitäts-Weiterbildungs-Lehrgänge für Organisation an der Technischen Hochschule Delft).

Über die schweizerischen Verhältnisse berichtete Prof. Dr. H. Biäsch, ETH Zürich. Bekanntlich hat jeder Studierende der ETH in jedem Semester mindestens ein Fach der Allgemeinen Abteilung für Freifächer zu belegen, um seine Allgemeinbildung nach allen ihm zugesagten Richtungen zu vertiefen und in persönliche Berührung mit führenden Persönlichkeiten des Geisteslebens zu kommen. Außerdem wird im 7. Semester an der betriebswissenschaftlichen Richtung der Abteilung für Maschinen- und Elektroingenieurwesen in einer Vorlesung «Fabrikorganisation und Betrieb» eine Einführung in Führungsprobleme geboten. Wesentlich ist nun aber, dass sich der in der Praxis tätige Ingenieur über die überaus wichtigen Fragen der Menschenführung, der Unternehmungsführung und der Wirtschaftswissenschaften in vielen Weiterbildungskursen unterrichten lassen kann, die von verschiedenen Instituten veranstaltet werden. Diese Lösung hat den Vorteil, dass sie das Fachstudium nicht belastet und die Kurse eine reife und aufnahmefähige Hörerschaft finden. Erfahrungsgemäss erwacht das Verständnis für soziale und menschliche Führungsfragen in seiner ganzen Fülle und Dringlichkeit erst im ersten Jahrzehnt in der Praxis.

Dr. Krause fasst die Hauptfragen, die an der Tagung behandelt wurden, wie folgt zusammen: 1. Ist eine zusätzliche Ausbildung der Ingenieure in Wirtschafts- und Arbeitswissenschaft überhaupt nötig? 2. Welchen Umfang und welchen Zeitraum soll sie umfassen? 3. Soll sie normaler Bestandteil des Studiums sein oder soll sie im Anschluss an das Studium als Zusatzausbildung erfolgen? 4. Wer soll die Zusatzausbildung durchführen? Er stellt abschliessend fest, dass von den Vertretern der verschiedenen Länder mannigfache Antworten gegeben wurden, dass jedes Land die seinen Möglichkeiten entsprechenden Wege beschreiten muss, dass aber gerade im Hinblick auf diese Mannigfaltigkeit ein Austausch der Meinungen und Erfahrungen fruchtbar und überdies die persönliche Begegnung wertvoll ist.

DK 624.042.7

ersten Schwingungsart zuzuschreiben. Bei plötzlichen Bewegungen des Bodens hat das Gebäude infolge seiner Massenträgheit die Tendenz, in seiner ursprünglichen Lage zu verharren (Bild 1). Durch die Trägheitskräfte, welche in entgegengesetzter Richtung zur Erdbewegung wirken, wird das Gebäude wie ein im Baugrund eingespannter Kragarm belastet. Zweck einer Erdbebenberechnung ist es, die aus den gefährlichen horizontalen Schwingungen entstehenden Kräfte nach Grösse und Wirkungsweise zu untersuchen.

Die Bestimmung der auf ein Gebäude wirkenden Erdbebenkräfte ist bis heute stark umstritten. Das selbe gilt auch für das grundlegende Konstruktionsprinzip erdbebenwiderstehender Bauten.

Der Aufwand zur Ermittlung der Spannungen infolge Erdbebeneinwirkung hat in einem vernünftigen Verhältnis zum Gesamtaufwand der Berechnungen zu stehen. Da es nie möglich sein wird, weder die Art des Erdbebens (Intensität, Beschleunigung, Richtung) vorauszusagen, noch alle aussteifenden Gebäudeelemente (Trennwände, Fassadenverkleidungen, Innenausbau usw.) in der theo-

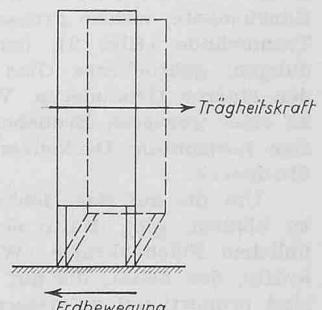


Bild 1. Erdbebenwirkung

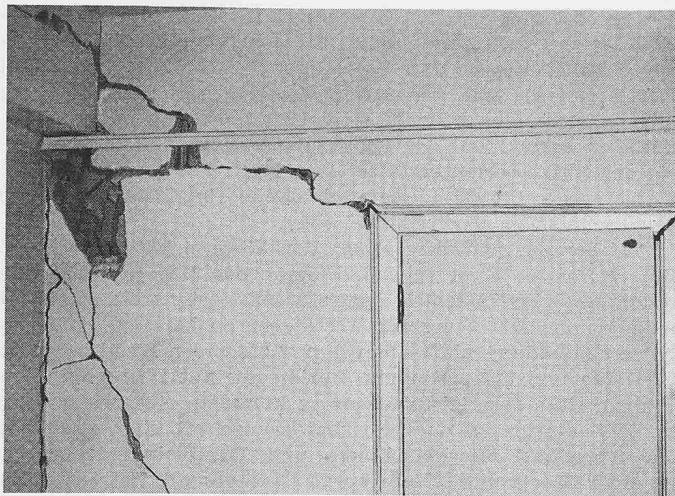


Bild 2. Typische Schäden an sekundären Bauelementen (Photo Dean)

retischen Berechnung genau zu erfassen, ist eine sehr eingehende Untersuchung selten zu befürworten. Dynamische Untersuchungen sind äusserst zeitraubend. Dabei müssen solche Berechnungen immer bis zu einem gewissen Grade idealisiert werden; es liegen ihnen daher gewöhnlich die folgenden Annahmen zu Grunde:

1. Elastisches Verhalten des Gebäudes;
2. Totale Einspannung an der Basis;
3. Konstante Gebäude-Schwingungs-Periode während des Bebens;
4. Konstante Dämpfung;
5. Harmonische Schwingung.

Bei realen Gebäuden treffen diese Annahmen in der Regel nicht zu. Erdbeben-Schwingungen haben wenig mit harmonischen Schwingungen gemein; schon diese Annahme allein macht die gesamte Untersuchung äusserst fragwürdig.

In Kalifornien, wie in anderen Erdbebenzonen, wurden daher von den Behörden verbindliche Vorschriften über Berechnung und Konstruktion von Gebäuden in erdbebengefährdeten Gebieten erlassen, welche die Behandlung der Aufgabe wesentlich vereinfachen. Das dynamische Problem wird dabei durch ein statisches ersetzt.

#### Die Entwicklung von Erdbeben-Bauvorschriften

Obwohl die Stadt San Francisco in einer ausgesprochenen Erdbebenzone liegt und das nördliche Kalifornien seit 1800 von rund 70 schweren Erdbeben heimgesucht wurde, bestanden vor der Katastrophe von 1906 keine Bauvorschriften, die den seismischen Einfluss auf Bauten berücksichtigten. Erst nachher wurde das Bedürfnis nach solchen Vorschriften wach: Es musste fortan der Nachweis erbracht werden, dass neu errichtete Gebäude einer Windbelastung von  $150 \text{ kg/m}^2$  standhielten. Diese einfache Vorschrift befriedigte jedoch auf die Dauer nicht, obwohl zwar erwiesen war, dass auf hohe Windbelastungen gerechnete Bauten in der Regel Erdbeben gut standhielten.

Mittlererweile hatte der japanische Ingenieur Prof. Dr. *Tachu Naito* auf Grund von Beobachtungen ein Konstruktionsprinzip entwickelt, welches wohl vom rein theoretischen Standpunkt aus falsch war, sich aber in der Praxis äusserst gut bewähren sollte: In den bisher üblichen, stark deformierbaren Bauten waren es immer die sekundären Bauelemente, welche grosse Schäden erlitten, wie gerissene Trennwände (Bild 2), heruntergefallene Fassadenverkleidungen, gebrochenes Glas usw. Naito entwickelte daher den starren Gebäudetyp. Von diesem Typ forderte er, bis zu einer gewissen Erdbebenintensität, eine maximal zulässige horizontale Deckenverschiebung von nur  $1,5 \text{ mm}$  pro Stockwerk.

Um die auf das Gebäude wirkenden Kräfte ermitteln zu können, ging Naito ebenfalls neue Wege: Die bisher üblichen Flächenkräfte (Wind) ersetzte er durch Massenkräfte, das heisst, die auf das Gebäude wirkenden Kräfte sind proportional zu dessen Masse. Den Proportionalitäts-

faktor, den sog. seismischen Faktor  $C$ , stellte er als Verhältniszahl der Erdbebenbeschleunigung  $a$  zur Erdbeschleunigung  $g$  dar:  $C = a/g$ . Damit wird die auf das Gebäude wirkende Erdbebenkraft  $F = C \cdot W = (a/g) W = a \cdot W/g$ . Somit war die Ermittlung der Erdbebenkräfte mit Newton's Gesetz in Einklang gebracht. Die Schwierigkeit bestand nun aber in der Bestimmung der Beschleunigung  $a$ , beziehungsweise des seismischen Faktors  $C$ . Bisher war es noch nie gelungen, den Wert  $a$  zu messen, da bei starken Erdbeben die Seismographen versagten. Ebenfalls auf Grund von Beobachtungen wählte Naito 0,10 bis 0,06 für  $C$ . Naitos Gebäude überstanden das grosse Kanto-Erdbeben von 1923, welches Tokio und Yokohama nahezu dem Erdbeben gleichmachte, so gut, dass daraufhin seine Ansichten weitgehend übernommen wurden. Die japanischen Bauvorschriften hatten denn auch bis 1950 als seismischen Faktor  $C = 0,10$  vorgeschrieben.

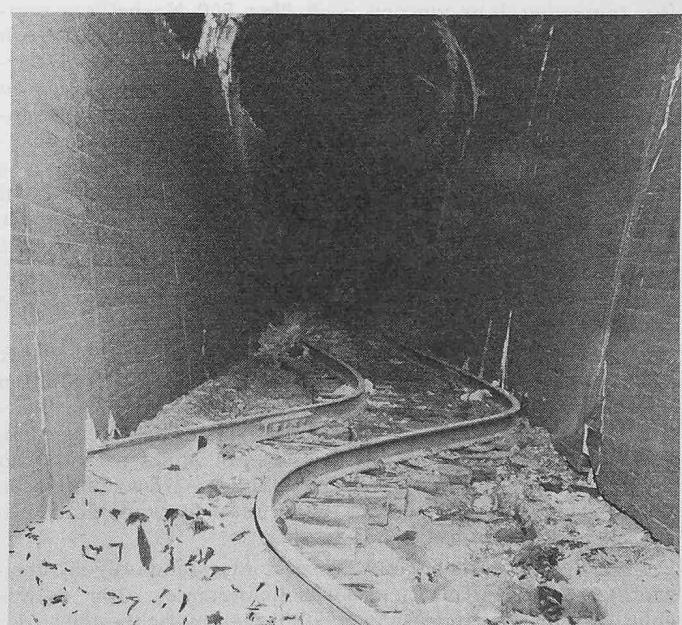
In den USA fanden diese japanischen Bestimmungen vorerst wenig Beachtung. Noch immer galt die Anwendung hoher Windlasten als genügend. Doch langsam setzten sich Naitos Ansichten durch. Die Aufnahme war zwar je nach Ort verschieden: während gewisse Ortschaften für die Erdbebenbeschleunigung  $a$  bis 20% von  $g$  verlangten, hatten andere überhaupt keine Bestimmungen. Erst nach dem Long-Beach-Erdbeben in der Nähe von Los Angeles von 1933 wurden in Kalifornien die gesetzlichen Bestimmungen erlassen, dass 1. alle öffentlichen Schulgebäude je nach Konstruktionsart und Materialien, für 2 bis 10%  $g$  (Field Act) sowie, dass 2. alle Gebäude im Staate Kalifornien fortan im Minimum auf 2%  $g$  (Riley Act) zu berechnen seien. Diese Bestimmungen hatten bis 1953 Gültigkeit. Beim Erdbeben von El Centro (Cal.) vom Jahre 1940 war es schliesslich erstmals geglückt, zuverlässige Messungen über die viel diskutierte Grösse der Erdbebenbeschleunigung  $a$  zu erhalten, welche über 30%  $g$  ergaben<sup>1)</sup>. Darauf bauend und auf Grund weiterer Beobachtungen und Messungen beim Erdbeben von Kern County, Cal. (Bild 3), 1952<sup>2)</sup> entstanden schliesslich 1956 die für ganz Kalifornien und die übrigen Staaten richtunggebenden neuen San-Francisco-Vorschriften. In einer Weiterentwicklung<sup>3)</sup> wurden

1) Lateral Forces of Earthquake and Wind. Am. Soc. of civ. Eng., Paper No 2514, Transactions Vol. 117, p. 716, 1952.

2) Earthquakes in Kern County, California, During 1952. Department of Natural Resources, Division of Mines, State of California.

3) Recommended Lateral Force Requirements and Commentary; Seismology Committee, Struct. Eng. Assoc. of California, 1960.

Bild 3. Tunnel der Southern Pacific Railroad, Erdbeben von Kern County, Cal., 1952. Die Erdbebenfalte verläuft direkt durch den Tunnel. Der Stoss erfolgte parallel zur Tunnelaxe mit gleichzeitiger Abhebung des Gewölbes vom Kämpfer. (Photo S. P. Co)





Bilder 4 und 5. Mexico City 1957, Politechnico Institute. Rechts (Bild 5) Detail eines Unterzuges. Man beachte das Fehlen einer Schubarmierung. (Photo Penzien)

1960 die heutigen gültigen Vorschriften<sup>4)</sup> erlassen, die erstmals von allen grossen Ortschaften akzeptiert wurden. Diese Vorschriften beruhen auf Jahrzehnten wissenschaftlicher Forschung und Beobachtung, sowie auf den Lehren aus unzähligen Schadensfällen.

Die Kernbestimmung findet sich als Ausdruck zur Ermittlung des Totalschubes  $V$  an der Gebäudebasis:  $V = KCW$ . Darin stellt  $K$  einen von der Konstruktionsart abhängigen Faktor,  $C$  den seismischen Faktor im Bereich zwischen 3,5 und 10%  $g$  in Funktion der Gebäudegrundschwingung, und schliesslich  $W$  das totale Gebäudeeigengewicht dar.

#### Die Bedeutung von Vorschriften

Bestimmungen von Behörden über die Berechnung und Konstruktion von Bauten in erdbebengefährdeten Gebieten (Bilder 4 und 5) können nur ein gesetzliches Minimum zum Schutze der Öffentlichkeit darstellen. Der private Bauherr hat sich selbst zu entscheiden, wie weit er sich vor materiellem Schaden schützen will. Die zu wählende Gebäudekonstruktion hängt von verschiedenen Faktoren ab: Häufigkeit und Stärke der zu erwartenden Erdbeben während der Lebensdauer des Gebäudes, wirtschaftliche Tragbarkeit verstärkter Konstruktionen, Zweck des Gebäudes usw. Untersuchungen über die Kostenerhöhungen bei Hochbauten, verursacht durch neuere Erdbeben-Bauvorschriften, ergaben eine Größenordnung von rund 5 % der Totalkosten<sup>5)</sup>. Wenn jedoch selbst nach einem Erdbeben hoher Intensität die Funktionsfähigkeit des Gebäudes erhalten bleiben soll, steigen die zusätzlichen Kosten sehr stark an. Für solche Bauten können die gesetzlichen Minimalvorschriften selbstverständlich nicht mehr angewendet werden.

Solche allgemein gültige Vorschriften mit ihrer Vereinfachung des komplexen Problems können keine allzu grosse Genauigkeit beanspruchen. In vielen Fällen werden die Anforderungen an die Gebäudekonstruktion auf die eine oder andere Seite falsch erfasst. Als Beispiel möge das zwölfstöckige Flood-Building in San Francisco dienen, welches das Erdbeben von 1906 praktisch schadlos überstand. Nachrechnungen, beruhend auf den vor einigen Jahren gültigen Vorschriften, ergaben, dass das Gebäude mit der neunfachen Stärke zur Aufnahme der horizontalen Erdbebenkräfte konstruiert sein müsste<sup>6)</sup>.

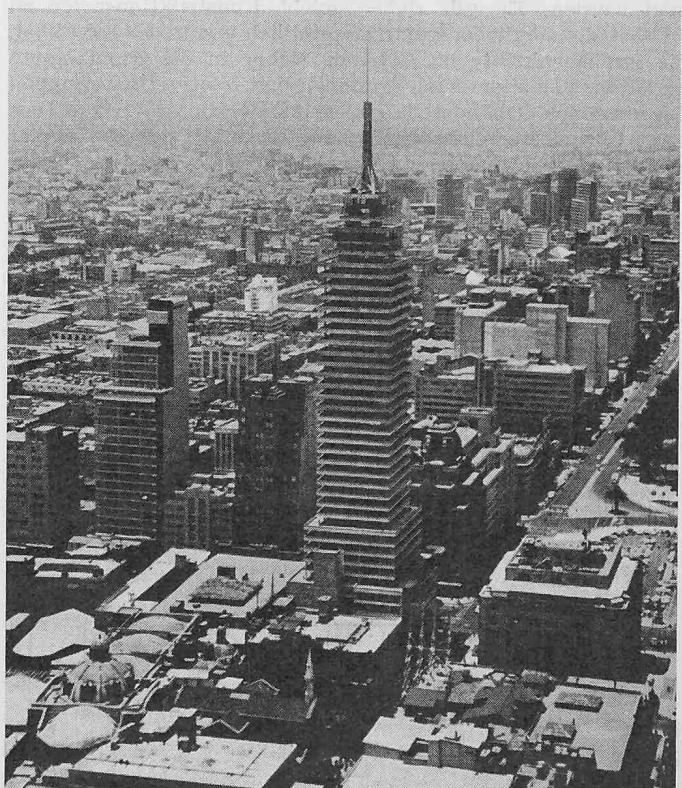
In wenigen Einzelfällen wurden überhaupt andere Wege beschritten: Bei der Berechnung des 43stöckigen Latino-American-Gebäudes in Mexico-City (Bild 6) wurde auf die übliche Art der Annahme statischer Horizontalkräfte verzichtet. Durch eingehende dynamische Berechnungen

und Schwingungsuntersuchungen an Modellen verschaffte man sich Klarheit über die Wirkungsweise der Gebäudekonstruktion. Die Kosten solcher Untersuchungen gehen selbstredend weit über die übliche Größenordnung, zudem ist deren Verlässlichkeit, wie eingangs erwähnt wurde, in den häufigsten Fällen fragwürdig.

#### Konstruktionsprinzipien

Starr oder flexibel? Das ist und wird wahrscheinlich immer die Streitfrage bei erdbebenwiderstehenden Bauten sein. Theoretisch gesehen ist die Beanspruchung flexibler Tragkonstruktionen unter Erdbebeneinwirkung geringer als bei starrer Bauart. Doch, wie erwähnt, besteht in der Regel eine Diskrepanz zwischen der Verformbarkeit dieser flexiblen Tragkonstruktion und derjenigen der sekundären Bauelemente. Ein Gebäude, welches z. B. einen den Erdbebenkräften widerstehenden Stahlrahmen enthält, welcher jedoch erst zur Wirkung kommen kann, wenn die teuren Fassadenverkleidungen, Zwischenwände usw. zerstört werden sind, mag vom Standpunkt der Sicherheit in Ordnung sein, ist aber wirtschaftlich gesehen eine Fehlkonstruktion. Solange das Konstruktionsproblem der Verbindungen zwischen flexibler Tragkonstruktion und den meist starren

Bild 6. Latino-Americana-Haus in Mexico City



4) Uniform Building Code. Kurzer Auszug daraus in: Vorschriften für den Entwurf von Bauwerken im Erdbebengebiet, in «Der Bauingenieur» Heft 6, 1963.

5) Pacific Fire Rating Bureau, San Francisco.

6) «Journal of the American Concrete Institute», Multistory Building to Resist Earthquakes 48-3, 1951.



Bild 7 (links). Schaden infolge schlechter konstruktiver Ausführung: Eisenabstand, Befestigung, Betonüberdeckung. (Photo Engle)

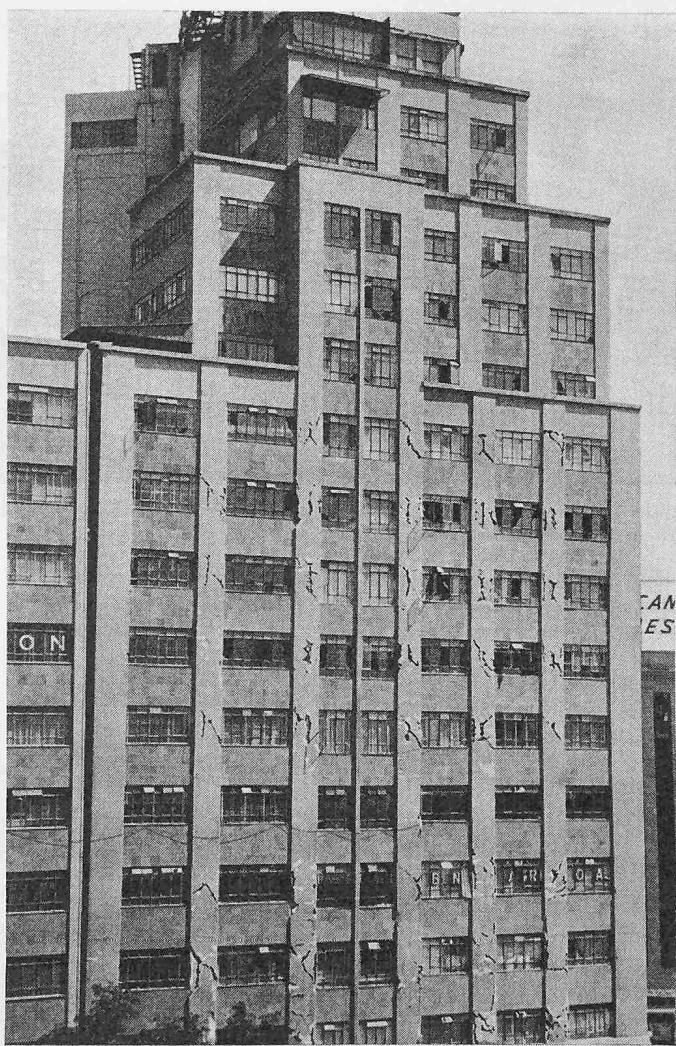


Bild 8 (rechts). Mexico City. Bereits durch frühere Erdbeben in Mitleidenschaft gezogen, erlitt dieses Gebäude 1957 dermassen grosse Schäden, dass es abgerissen werden musste. Be merke Schrägstellung des Gebäudes im Vergleich zum Nachbargebäude links. (Photo America)

sekundären Elementen nicht auf einfache Art gelöst ist (beim erwähnten Latino-American-Gebäude sind, als selte ne Ausnahme, Trag- und Ausbausystem vollständig getrennt), wird die auf Deformation wenig anfällige, daher in langer Sicht gesehen doch wirtschaftlichere, starre Konstruktionsmethode das Feld beherrschen. Das Folgende wird sich hauptsächlich auf diese Konstruktionsart beziehen.

Schadenfälle an Bauten infolge der Einwirkung von Erdbeben können in der Mehrzahl aller Fälle auf folgende Ursachen zurückgeführt werden: schlechte Konstruktion, Nichtberücksichtigung der seismischen Kräfte, schlechte Bauausführung, minderwertige Materialien (Bilder 7 und 8).

Natürlich spielt auch die Qualität der statischen Berechnung eine gewisse Rolle. Da aber sämtliche Annahmen über zu erwartende Erdbeben höchst spekulativ sind und nur als richtungweisend angesehen werden können, muss sich das Augenmerk in erster Linie auf die Konstruktionsweise selbst richten. Ueber die Grösse und Richtung der zu erwartenden Erdbebenkräfte kann in der Regel wenig ausgesagt werden. Es gilt daher solche Konstruktionsarten zu wählen, die möglichst wenig empfindlich und in der Lage sind, die Erdbebenkräfte im Gebäude sicher in die Fundamente zu leiten. Vor allem sind Torsionen und relative Bewegungen der einzelnen Gebäudeteile gegeneinander zu vermeiden. Dies kann teilweise erreicht werden durch: Gute Verbindung aller Konstruktionselemente untereinander (besonders bei Fundamenten), druck- und zugfeste Verankerungen, Verwendung

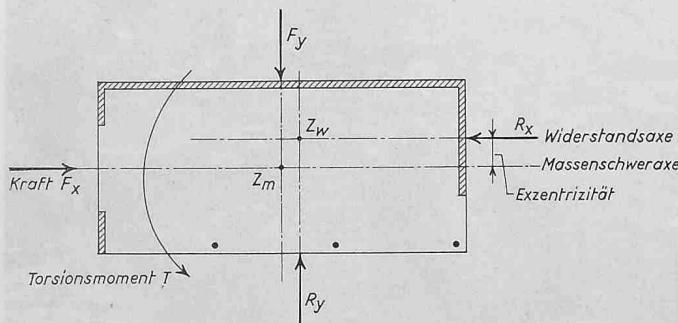
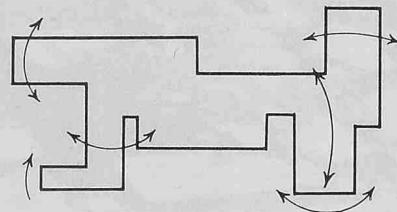


Bild 9. Wirkung von Torsionsschwingungen

Bild 10. Gegen Erdbebenbewegungen besonders empfindlicher Grundriss



der Dächer, Decken und Wände als Scheiben. Der letztgenannte Punkt ist wohl das charakteristische Merkmal in der Konstruktionspraxis erdbebenwiderstehender Bauten.

Um zusätzliche Belastungen während der Erdbeben einwirkung zu vermeiden, sind einige wesentliche Punkte zu beachten:

Eine gefürchtete Erscheinung sind Torsionsschwingungen. Diese treten häufig schon bei Bauten mit symmetrischen, erst recht aber bei solchen mit unsymmetrischen Grundrissen auf, wo Widerstandszentrum  $Z_w$  und Massenschwerpunkt  $Z_m$  (als gedachter Angriffspunkt der Erdbebenkraft pro Stockwerk) nicht zusammenfallen (Bild 9). Besonders ungünstig verhalten sich Gebäude mit komplizierten, aufgelösten Grundrissen mit ungleichen Massen, wo jeder Einzelteil andere Schwingungsmerkmale aufweist (Bild 10). Die gegenseitige Behinderung infolge zu geringen Abstandes zweier Gebäude führt zu weiteren Schäden (Hammereffekt, Bild 11). Auch beim Aufriss gilt es, Komplikationen aus dem Wege zu gehen: Fassadenrücksprünge, aufgesetzte Türme (Kamine!) haben extreme Schwingungsbeanspruchungen zur Folge.

Das Beispiel einer Grossüberbauung mit elf Hochhäusern direkt an der berüchtigten San Andreas-Falte in San Francisco<sup>7)</sup>, mit je 13 gleichen Geschossen, möge illustrierend wirken. Mit dieser Ueberbauung, vollständig in Eisenbeton,

<sup>7)</sup> Siehe Fussnote 6.

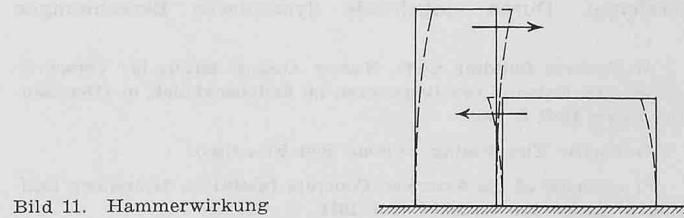


Bild 11. Hammerwirkung

war eine grosse Investition einer bekannten amerikanischen Versicherungsgesellschaft verbunden, wobei jedes Risiko eines kapitalen Schadens ausgeschlossen werden musste (Bild 12).

#### Baustoffe

Die Erdbebenkatastrophe von Skopje 1963 hat erneut bewiesen, wie wenig sich die klassische *Mauerwerk-Bauweise* in erdbebengefährdeten Gebieten eignet. Wegen seiner geringen Schubfestigkeit, der Unfähigkeit zur Aufnahme von Zug, sowie wegen der Schwierigkeit einer konstanten Qualitätskontrolle während der Ausführung muss nichtarmiertes Mauerwerk (Bild 13) von der Verwendung als tragender Bauteil unbedingt ausgeschlossen werden. Nicht weniger verhängnisvoll zeigt sich Füllmauerwerk in Verbindung mit moderner Skelettbauweise (Mexico City 1957). Bei geringsten Verschiebungen der Rahmen löst sich das Mauerwerk von diesen, so dass weitere Bewegungen oder Stöße genügen, um es zum Einsturz zu bringen. Wenn damit auch nicht unbedingt eine Katastrophe verbunden sein muss, so ist der entstandene Schaden doch unverhältnismässig gross. Gemauerte Kamine sind in der Regel die ersten Gebäudeteile, die Schaden erleiden (Stärke VII nach modifizierter Mercalli-Skala; ersetzt seit 1931 die Rossi-Forel-Skala).

Kein Material genügt der Forderung nach einer möglichst wenig deformierbaren Bauweise besser als *armierter Beton*. Durch die erwähnten Scheibenkonstruktionen, unter Zuhilfenahme armierter Außen- und Innenwände und vor allem der Decken, kann ein Gebäude fast beliebig starr ausgeführt werden, wodurch die kostspieligen und häufigen Schäden an nichttragenden Elementen weitgehend verhütet werden können. Gut konstruierte Eisenbetonbauten haben eine enorme Widerstandskraft. Der Anordnung der Bewehrung kann allerdings nicht genug Beachtung geschenkt werden, da bei Erdbeben Kräfte auftreten können, die nach Grösse und Richtung vollständig von den Normalverhältnissen abweichen. Auch stark beschädigte Eisenbetonkonstruktionen weisen noch gute Eigenschaften auf: Dank kräftiger Armierung können sich die Elemente nicht vollständig voneinander lösen; durch reibende und hämmерnde Bewegungen sind auch in diesem Zustand noch gute Dämpfungseigenschaften vorhanden. Um in diesem Stadium starker Beschädigung den vollständigen Einsturz zu verhindern, hat sich der Einbau einer sekundären, unabhängigen Tragkonstruktion in Stahl gut bewährt (Bild 14). Die kalifornischen Erdbebenvorschriften verlangen bei reinen Eisenbetonkonstruktionen von über 13 Stockwerken, beziehungsweise 16 ft Höhe ein unabhängiges Rahmentragwerk, welches mindestens 25 % der nach den Vorschriften ermittelten Erdbebenkräfte sowie das gesamte Eigengewicht des Bauwerkes aufnehmen kann.

Dank seinen hervorragenden Eigenschaften hat sich *Stahl* als besonders zweckmässig erwiesen. Bei Hochhäusern in Erdbebengebieten dominiert eindeutig Stahl, oder zumindest Stahl mit Beton, wie dies aus den oben erwähnten Vorschriften hervorgeht. Interessanterweise ist aber gerade bei reinen Stahlkonstruktionen ein häufiges Versagen bei Erdbeben festzustellen. Die betroffenen Bauten sind fast aus-

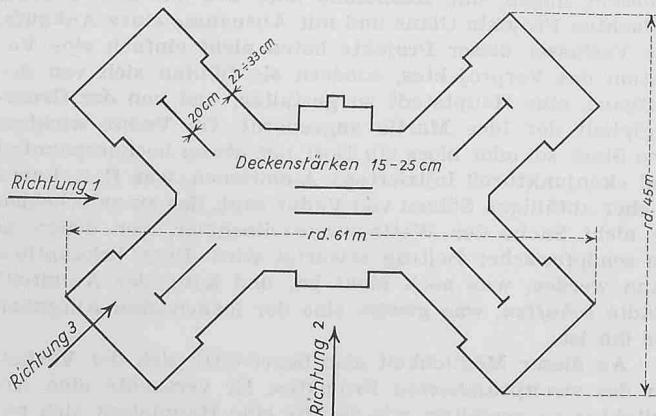


Bild 12. Statisches System zur Aufnahme der horizontalen Kräfte, mit den untersuchten Angriffsrichtungen



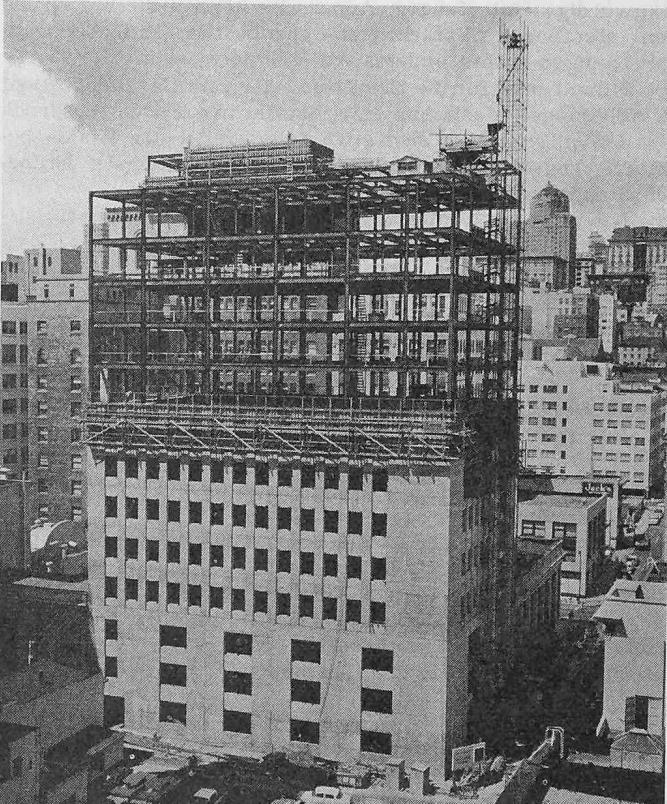
Bild 13. Tehachapi, Cal., 1952: Typische Mauerwerkschäden (Photo Degenkolb)

schliesslich Industriebauten. In der Regel sind folgende Ursachen bezeichnend: Hohe bis Ueber-Beanspruchung schon unter Nutzlast, weitgehendes Fehlen der Dämpfungselemente (Zwischenwände, Innenausbau usw.), ungeeignete Konstruktionsart.

Diesen letzten Punkt mag folgende Einzelheit illustrieren: Während Eisenbeton sich hauptsächlich für die starre Bauweise eignet, sollte Stahl für deformierbare Systeme, wie Rahmen, verwendet werden. Die starren Verbände, als häufigster der Kreuzverband (Bild 15), haben sich als Ursache unzähliger Schäden erwiesen. Das beliebte Spannschloss z. B. bei Zugstäben zeigte sich als ein äusserst gefährlicher Konstruktionsbeihilfe: Wird ein solcher Zugstab bis in den Fließbereich beansprucht, stellt das Nachziehen des vorhandenen Spannschlosses den Verband scheinbar wieder her. Dadurch wird man über die tatsächliche Sicherheit leicht getäuscht. Weitere Ueberbeanspruchungen (Bild 16) im Fließbereich bei nachfolgenden Erdbeben erschöpfen schliesslich einen solchen Stab, wodurch der Verband seine Funktionsfähigkeit einbüsst. Dem kumulativen Effekt der Erdbeben ist Rechnung zu tragen.

Für kleinere Bauten, zwei- und dreigeschossig, hat sich *Holz* als sehr gutes Baumaterial bewährt. Allerdings ist den

Bild 14. American Trust Co., San Francisco, 1. Bauetappe: Beispiel eines Gebäudes mit eingebautem Stahlskelett und starren, armierten Beton-Aussenwänden. (Photo A. T. Co.)



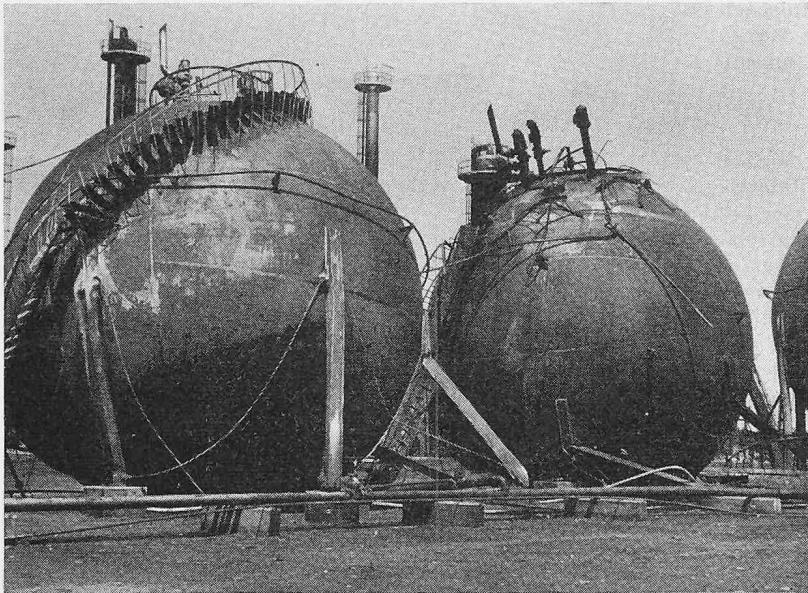


Bild 15. Einsturz von Tanks infolge Versagen der Kreuzverbände. (Photo Moran)

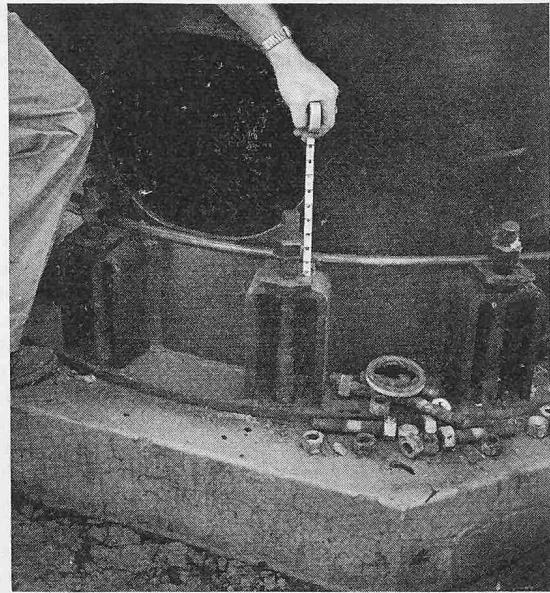


Bild 16. Ueberstreckte Ankerschrauben eines Cracking-Turmes in einer Raffinerie; Masstab in Zoll. (Photo C. F. Braun & Co.)

Verbindungsmittern (Ausreissen der Nägel usw.) besondere Beachtung zu schenken. Starre Konstruktionen lassen sich in der Holzbauweise leicht durch Verwendung von Scheiben erstellen. Diese Scheiben (Wände, Decken) können aus starken Sperrholzplatten oder zwei Lagen kreuzweise diagonal vernagelter Bretter bestehen.

#### Schlussbetrachtungen

«Erdbebensichere» Bauten lassen sich mit normalen Mitteln kaum erstellen. Hingegen ist es wohl möglich, «erdbebenwiderstehende» Bauten schon mit geringen finanziellen Mehraufwendungen zu errichten. Nur durch eine einwandfreie Konstruktion allein ist schon sehr viel erreicht. Auf eine saubere Konstruktionsweise ist daher höchster Wert zu legen.

Berechnungen, die nur annähernd das wirkliche Verhalten einer Tragkonstruktion während eines Bebens erfassen wollen, sind wegen der Komplexität des ganzen Problems fragwürdige Unterfangen. Anderseits können die auf Grund von staatlichen Vorschriften ermittelten Erdbebenbeanspruchungen nichts anderes als Leitwerte sein.

Nimmt man für die Ermittlung der vom Gebäudegewicht  $W$  abhängigen statischen Horizontalkräfte  $F$  den Ausdruck  $F = CW/g$ , so lassen sich etwa folgende in der Praxis bewährte Angaben für den Wert  $C$  (in Prozenten der Erdbebeschleunigung  $g$ ) machen:

Niedrige, horizontal wenig deformierbare Bauten:

3 bis 4 %  $g$  für Sicherheit gegen Einsturz,

8 bis 10 %  $g$  für Schutz vor Grossschaden

Hohe, deformierbare Bauten:

1. Beton mit Stahlrahmen (starre Bauweise)

Stahlrahmen min. 1 %  $g$ , mit gleichzeitig wirkender vertikaler Totallast

Betonwände min. 2 %  $g$  im Erdgeschoss bis

10 %  $g$  im Dachgeschoss (linear über Gebäudehöhe).

2. Stahlrahmen, von allen nichttragenden Elementen getrennt (flexible Bauweise): 3 bis 5 %  $g$ .

Normalerweise erfolgt die Berechnung nach zwei Hauptachsen getrennt, obwohl Erdbebenstöße in jeder beliebigen Richtung auftreten können. Bei annähernd quadratischen, turmhähnlichen Bauten können Kräfte in der Diagonalen massgebend sein. Ueblicherweise werden für Erdbebenbeanspruchungen 33 1/3 % erhöhte Spannungen zugelassen (kurzfristige Belastung).

Gebäude, bei welchen der Einfluss seismischer Kräfte sorgfältig berücksichtigt wurde, sowohl im Büro wie auf dem Bauplatz, haben die beste Aussicht, schwere Beanspruchungen durch horizontal wirkende Kräfte, sei es nun infolge Erd-

beben, Orkanen oder etwa Druckwellen heftiger Explosionen, gut zu überstehen.

\*

Dankbar für die mir gewährte Unterstützung in der Beschaffung von Unterlagen, sowie für Hinweise und Anregungen möchte ich an dieser Stelle meines verstorbenen Chefs, *John J. Gould*, gedenken. Ebenso sei *Henry J. Degenkolb*, Consulting Engineer (*Gould & Degenkolb*, San Francisco) für die Ueberlassung von Photos und Schriften, wie auch *Karl V. Steinbrugge* (Pacific Fire Rating Bureau) herzlich gedankt.

Adresse des Verfassers: *Carl H. Kränzlin*, Ing. SIA/ASCE/PE Cal., Teilhaber in Firma Schwarzenbach & Huber, Löwenstrasse 1, Zürich 1.

#### Zum Wettbewerb

DK 711.561.001.1

#### Landesbank und Postamt in Vaduz

In der SBZ 1963, H. 45, S. 794 hat *R. R. Barro* zum Wettbewerb für die Handelsbank und das Postamt Vaduz und zum Urteil des Preisgerichts einige kritische Betrachtungen angestellt. Er gibt damit Anlass, dass sich auch ein Wettbewerbsteilnehmer, der ja als Preisgerichteter zum Urteil nicht öffentlich Stellung nehmen soll, zum Wort melden darf; denn einem Nicht-Mitspieler Antwort zu geben, ist das gute Recht dessen, der mitgemacht hat.

Es stimmt, dass — wie *R. R. Barro* ausgeführt hat — die Wettbewerbsentwürfe gegenüber dem Vorprojekt Marti/Kast/Tilgenkamp in städtebaulicher Hinsicht nichts Neues gebracht haben, mit Ausnahme aber des mit dem 2. Preis bedachten Projekts Glaus und mit Ausnahme eines Ankaufs. Die Verfasser dieser Projekte boten nicht einfach eine Variation des Vorprojektes, sondern sie fühlten sich von der Aufgabe, eine Hauptstadt zu gestalten, und von der Grosszügigkeit der Idee Martis angespornt. Ob Vaduz wirklich eine Stadt sei oder bloss ein Dorf mit etwas hochgespannten und «konjunkturell injizierten» Ambitionen, was *R. R. Barro* in eher abfälligen Sätzen von Vaduz sagt, das zu entscheiden ist nicht Sache der Wettbewerbsteilnehmer, von denen ja ein schöpferischer Beitrag erwartet wird. Denn bekanntlich kann werden, was noch nicht ist, und kann der Architekt Städte schaffen, was gewiss eine der lockendsten Aufgaben für ihn ist.

An dieser Möglichkeit also begeisterte sich der Verfasser des zweitprämierten Projektes. Er versuchte eine Architektur zu gestalten, wie sie für eine Hauptstadt sich gehört und wie sie das Vorprojekt angezeigt hat: Eine Architektur mit Gesicht. Lädt die hohe Wand des Schlossbergs