

Werk

Jahr: 1941

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:17

Werk Id: PPN101433392X_0017

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0017|LOG_0022

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

sekundäre Maximum um 0.15 mgal nach links gerückt ist. In den Fig. 4b und 4c entsprechend ($6 < e \leq 8$ km, $8 < e \leq 10$ km) tritt das sekundäre Maximum an ungefähr derselben Stelle wie bei der Ursprungskurve, d. h. für alle Entfernungen schwach und endlich bei der Kurve der Fig. 4d entsprechend ($10 < e < 16$ km) sehr verstärkt in Erscheinung.

Aus diesen Untersuchungen ergibt sich zwar eine Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Entfernung Basis—Feldpunkt, die aber, wie schon hervorgehoben, bei den Vergleichsmessungen Pommern-Süd kaum ins Gewicht fällt. Den Messungen von der Basis Gutsdorf müßte demnach im Vergleich zu den anderen Messungen im Durchschnitt eine um nur einige hundertstel Milligal höhere Genauigkeit zukommen.

Abgesehen hiervon sind Fehlerhäufigkeitsuntersuchungen bei verschiedenen Entfernungen lehrreich und nützlich. Sie können in Verbindung mit den zufälligen Fehleranordnungen, wie diese bei größeren Meßreihen auftreten können*), eine wertvolle Hilfe bei der Auffindung von Messungen mit systematischen Fehlern sein.

An dieser Stelle möchte ich die sorgfältige und gewissenhafte Arbeit von Herrn Dr. F. Lubiger, der als Truppführer das Material zusammenstellte, besonders hervorheben und meinen Dank aussprechen.

Neuere Untersuchungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung über bautechnische Erdbebensicherung

Von A. Sieberg, Jena. — (Mit 13 Abbildungen)

Diese Versuchsreihe vertieft die früheren des Verfassers, die Klarheit über die mechanischen Vorgänge bei der Zerstörung von Bauwerken durch Erdbeben bringen und gleichzeitig helfen sollen, eine Lücke in den Grundlagen erdbebenkundlicher Bautechnik zu schließen. Aus den Ergebnissen werden eine Reihe von Folgerungen für die Praxis gezogen.

Schwere Erdbeben schädigen das Volkswohl nicht allein durch ihre unmittelbaren Wirkungen, sondern auch durch ihre Nachwirkungen, die monate- und selbst jahrelang die Volkswirtschaft stören können. Hauptschadenbringer ist die Zerstörung von Bauwerken mit allen ihren Folgen, zu denen auch die Menschenopfer gehören; denn die zusammenbrechenden Gebäude wirken als Menschenfallen.

Begreiflicherweise wurde man sich unter diesen Umständen frühzeitig der Vorteile einer gewissen bautechnischen Erdbebensicherung bewußt. Dahin

*) St. v. Thyssen: „Der Einfluß von Fehleriterationen usw.“ Beitr. angew. Geoph. 8, Heft 3, 267—300 (1940).

zielende Andeutungen finden sich schon in der Antike. Für die Römer scheinen die Etrusker Lehrmeister gewesen zu sein. Die erste neuzeitliche Darstellung über Erdbebenbaukunst in Japan wird 1877 dem französischen Ingenieur Lescasse verdankt. Favaro gab 1883 seine in Italien gewonnenen Erfahrungen bekannt. Damals beschränkten sich die tastenden Versuche zur Erzielung bautechnischer Erdbebensicherung noch auf möglichst sachgemäße Ausnutzung zufälliger Wahrnehmungen. Aber bald gelangte man zur Einsicht, planmäßige und zielbewußte theoretische Untersuchungen auf der Grundlage von Experimenten müßten zu weit besseren Ergebnissen führen. Danach handelte man auch, vor allem in Japan und später in den Vereinigten Staaten von Amerika. In Deutschland behandelt Briske seit etwa 1927 die Beobachtungen von Erdbebenschäden theoretisch vom Ingenieurstandpunkt aus, während in Griechenland Roussopoulos und seine Schule seit dem Korinther Erdbeben von 1928 mittels statischer Berechnungen neue, aussichtsreiche Wege beschreiten.

Den heutigen Stand dieser Forschungen eingehender zu beleuchten, kann nicht-meine Aufgabe sein, zumal Freeman eine umfassende, bis zum Jahre 1932 reichende Darstellung veröffentlicht hat. Jedoch bedarf es einer *grundsätzlichen* Stellungnahme: Im Gegensatz zu den meisten einschlägigen Untersuchungen habe ich die Überzeugung gewonnen, die Kenntnis der verwickelten *mechanischen Vorgänge* bei der Zerstörung von Gebäuden durch Erdbeben bilde für die Entwicklung möglichst erdbebenfester Baukonstruktionen eine unerläßliche Voraussetzung.

1. Kritik der bisherigen Methoden. Es zeigt sich, daß die Ergebnisse der früheren experimentellen Forschungen den Beobachtungen am natürlichen Objekt nur ungenügend entsprechen. Als Ursache dieser Widersprüche erkannte ich auf Grund meiner Geländeuntersuchungen in zahlreichen Zerstörungsgebieten ausländischer Erdbeben die Nichtberücksichtigung folgender Tatsachen:

a) Bei den Erdbeben handelt es sich um *Stöße*. Deshalb können sie nicht, wie der größeren Einfachheit halber üblich ist, als harmonische Sinusschwingungen behandelt werden. Das vom Erdboden mitgeschleppte Gebäude wird von den Trägheitskräften beansprucht, etwa wie ein Mensch in einem Eisenbahnwagen: Das Anfahren schleudert ihn entgegen, das Bremsen vorwärts in der Fahrtrichtung. Bei künstlich hervorgerufenen Stößen entsprechen die Bewegungskurven durchaus denjenigen, die sich aus den Seismogrammen von Erdbeben durch Integration herleiten lassen, sind aber grundverschieden von einfachen Sinusschwingungen.

b) *Verformungen* bewirken Änderung des Beanspruchungs- und Widerstandsplans. Bei Bauwerken sind sie nach Überschreiten der Festigkeitsgrenzen *bleibende*. Gleich beim Anstoß erfolgt durch Zerreißen eine gelenkige Auflockerung des bis dahin elastischen Materials und Gefüges, so daß sich die Weiterentwicklung in der bremsenden und rückläufigen Stoßphase bereits in unelastischem und weniger widerstandsfähigem Medium vollzieht. Infolgedessen kann kein Zweifel darüber

bestehen, wie sehr der bisherige Umfang, die Elastizitätstheorie anzuwenden, zu Trugschlüssen führen muß. Eine Aufeinanderfolge harmloser Erdstöße, von denen jeder bloß mäßige Gebäudeschäden verursacht, kann ein Bauwerk so gründlich zerstören, wie ein Einzelstoß großer Energie.

c) Infolge der gekoppelten Reaktionen aller Bauwerksteile genügt nicht die Untersuchung der Widerstandsfähigkeit einzelner Konstruktionsglieder. Vielmehr bedarf es der Klärung jener mechanischen Vorgänge im gesamten Bauwerk, die dieses durch Auflockerung von Verbandsfestigkeit und Gefüge für den Zusammenbruch reif machen.

d) Die Gebäuderuiner zeigen bloß das Endergebnis der Stoßwirkung; aber nicht die einzelnen Entwicklungsphasen des Heranreifens, dessen Schnelligkeit, abgesehen von der Schrecksekunde, die Aufnahmefähigkeit des Auges für eine Zergliederung erheblich überschreitet. Ohne eingehende Berücksichtigung der Reifungsvorgänge muß aber jeder Versuch zur Ermöglichung bautechnischer Erdbebensicherung unzulänglich bleiben.

2. Versuchsanordnung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung. Seit 1934 erkannte und betrat die Reichsanstalt für Erdbebenforschung den ersten Weg für die Beseitigung der bisherigen Unstimmigkeiten. Daß dieser Weg mit der Zeit zum Ziele führen wird, beweisen die bereits gewonnenen Ergebnisse grundlegender Art und die daraus gezogenen Lehren. Denn sie fanden durch meine neueren Beobachtungen in zerstörten Ortschaften ihre volle Bestätigung.

Im Gegensatz zu den sonst üblichen „Schütteltischen“ für Sinusschwingungen verwertet der „Stoßtisch“*) der Reichsanstalt für Erdbebenforschung einen der Erdbebenbewegung entsprechenden *Stoß*. Letzterer wird erzeugt durch den Anprall einer Masse mit Feder auf eine schwingungsfähige Tischmasse, den Träger des Modellhauses. Eigenperiode, Stoßenergie, Stoßhärte und Dämpfung werden den jeweiligen Verhältnissen angepaßt. Die Aufzeichnung des Stoßes erfolgt optisch mit zweckentsprechender Registriergeschwindigkeit.

Die Entwicklung der Verformungen und Zerstörungen des Modellgebäudes vom ersten Anstoß bis zur Höchstentwicklung wird *kinematographisch* aufgenommen. Aber selbst das übliche Zeitlupentempo, so wirkungsvoll es in der Vorführung erscheint, pflegt dem Auge des Zuschauers noch manche wichtige Phase des Reifungsvorganges zu verbergen. Deshalb bedarf es der zusätzlichen Auswertung sämtlicher Einzelbilder des Filmstreifens.

Die *Modellbauten* werden einsteilen noch hauptsächlich aus Backsteinmauerwerk in vereinfachter Anlage, aber möglichst handwerksgerecht aufgeführt. Nach Bedarf gelangen bei den Versuchen zwei Parallelreihen zur Durchführung (Fig. 1). Die erste Reihe erfaßt den aus *Trockenmauerwerk* aufgeführten Bau, bei

*) Er ist im Prinzip dem von L. S. Jakobsen entwickelten „Schütteltisch“ verwandt. Jakobsen verzichtet aber absichtlich auf die Verwertung der angeblich störenden Stoßphase, sondern benutzt das anschließende sinusförmige Ausschwingen.

dem die Haftreibung der Bausteine den Zusammenhalt liefert. Trockenmauerwerk enthüllt die Gesetze stoßbedingter Verformungen in besonderer Klarheit, aber in übertriebenem Maßstab. Größere Naturtreue der Verformungen und Zerstörungen bietet die zweite Versuchsreihe mit üblichem *Mörtelmauerwerk*, während das

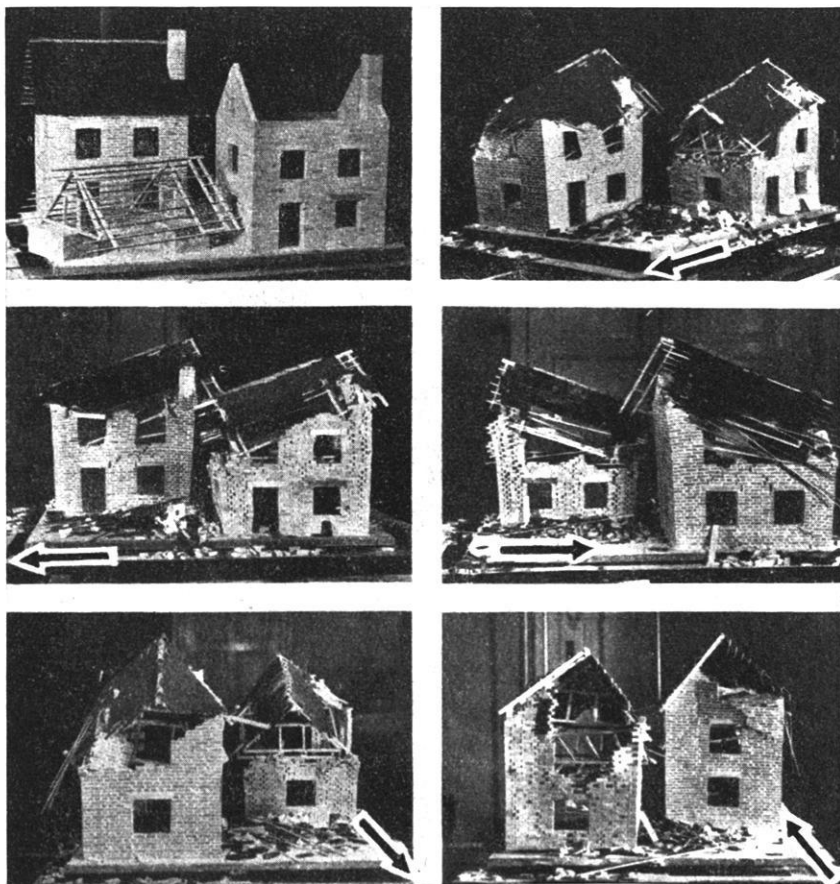


Fig. 1. Zerstörung je eines Modellhauses mit Mörtel- und Trockenmauerwerk durch Stoß auf die Giebelmauern

Prinzip der Verformung mehr zurücktritt. Selbstverständlich erfährt die Bindefähigkeit des Mörtels eine dem Maßstab des Modells entsprechende Herabsetzung. Die Fig. 1, 6 und 7 mit den eingezeichneten Stoßrichtungen geben überzeugend zu erkennen, wie sehr bei beiden Bauausführungen die Verformungen bis in Einzelheiten hinein genau den gleichen Charakter haben. Aber die bautechnisch „schlechtere“ Bauausführung in Trockenmauerwerk weist selbstverständlich umfangreichere Zerstörungen auf.

3. Verformungen und Zerstörungen (Fig. 2). Die Wahl von Backsteinmauerwerk für die Versuche hat sich aus mehreren Gründen ganz besonders bewährt. Bisher spricht noch keine Erfahrung gegen den allgemein üblichen Brauch, die

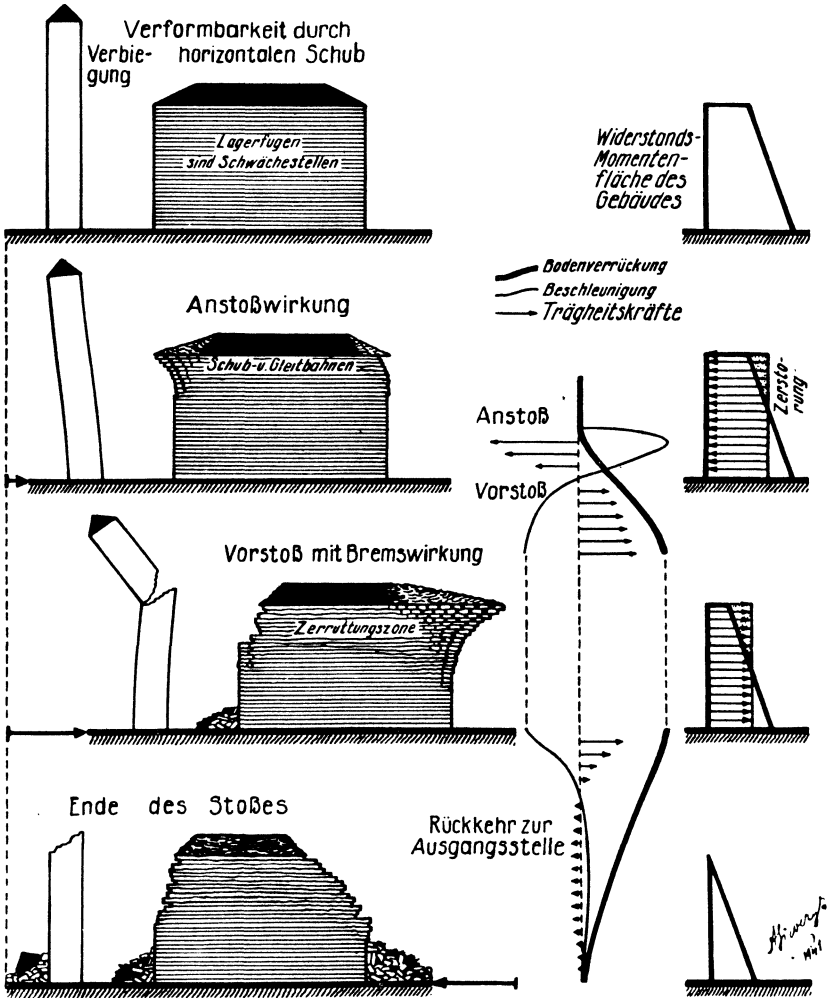


Fig. 2. Verformung und Zerstörung von Backsteinmauerwerk durch horizontalen Schub

Vertikalkomponente der Erdbebenbewegung zu vernachlässigen. Deshalb berücksichtigt die gesamte Untersuchung lediglich die Beanspruchung des mitgeschleppten Gebäudes durch die Horizontalkomponente der Bodenverrückung. Der Einfluß dieser Komponente tritt am schärfsten in die Erscheinung bei Back-

steinbauten. Denn deren Mauerflächen werden, parallel zur Bodenverrückung, durch die mörtelgefüllten Lagerfugen in Scharen horizontal glatt durchlaufender Schwächezonen des Materials und Verbandes aufgeteilt. Überdies haben neuere Erfahrungen der Reichsanstalt gezeigt, wie sich innerhalb bestimmter Grenzen manche Erfahrungen an Backsteinbauten auch für die Beurteilung anderer Baukonstruktionen und Baumaterialien sinngemäß verwerten lassen.

Bei der Verformung von Backsteinbauten bestehen grundlegende Verschiedenheiten zwischen „normal“ dimensionierten Gebäuden, deren Höhe die größte Länge nicht wesentlich überschreitet, und „überschlanken“ Gebäuden wie Hochhäuser, Türme, Fabrikkamine und dergleichen.

Normalbauten erleiden horizontale Schubbeanspruchung. Die Gebäudebewegung beginnt mit einem Zurückweichen des oberen Abschnittes gegen die Stoßrichtung, wobei die Reaktionskräfte zum Teil durch Zerrüttung des Mauerwerkes aufgezehrt werden. Der zugehörige erste Maximalwert der Beschleunigung wird bereits erreicht, wenn die Amplitude der Bodenverrückung noch recht klein ist. Mit wachsender Bodenamplitude führt dann die Bremsbeschleunigung zum zweiten Maximum, das im Umkehrpunkt der Bodenverrückung erreicht wird. Hierbei erfolgt ein Vorwärtsschnellen in der Stoßrichtung mit Fortschleudern loser Trümmer.

Die Amplitude der Gebäudeverformung bestimmt das Maß des Schadens. Das schwächste Material, die wabenartige Mörtelbettung der Ziegel,

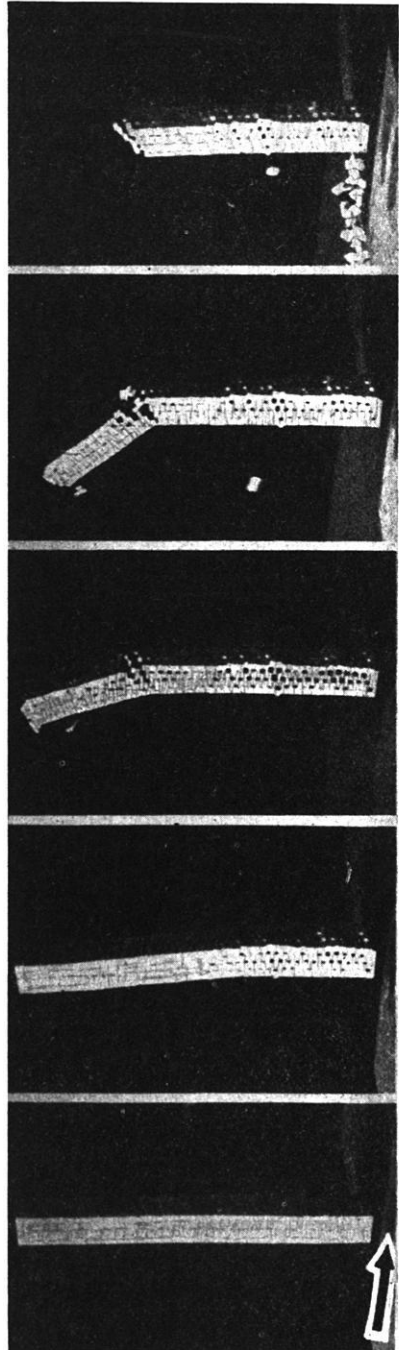


Fig. 3. Verformung und Zerstörung eines überschlanken Bauwerks (Fabrikkamin) durch Verbiegung; Zeitlupenaufnahmen

gibt für die Verformung Raum. Die Mörtelbrücken der Stoßfugen werden abgeschert und die Lagerfugen dienen als Gleitflächen für das Wandern der Ziegel entsprechend den Kraftrichtungen und Freiheitsgraden. Weiche von beiden Reaktionsrichtungen sich am schwersten auswirkt, bestimmt zum Teil die Stoß-

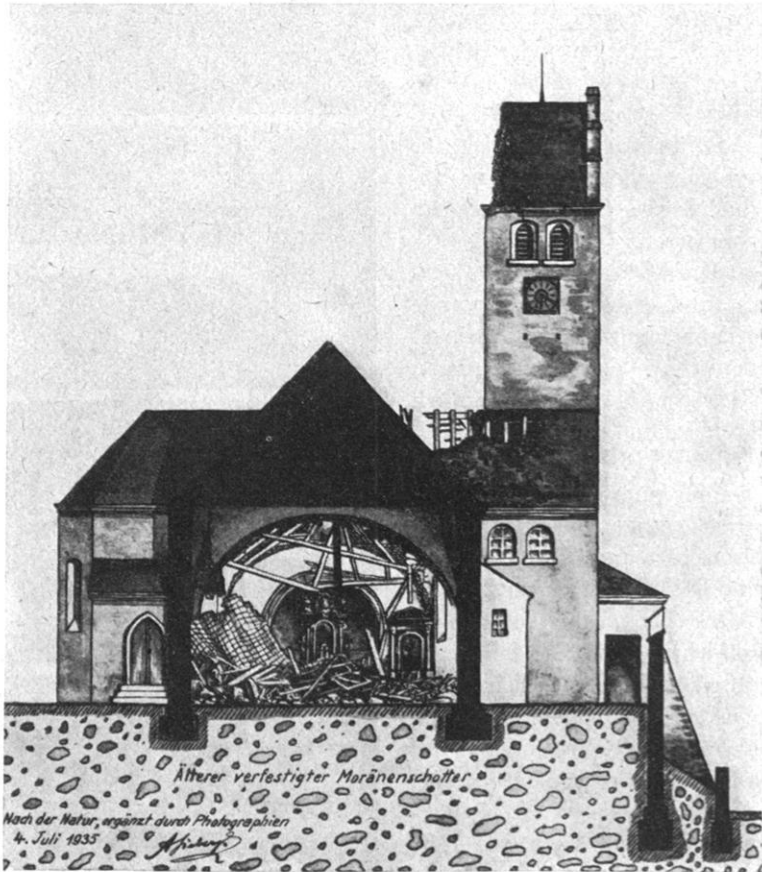


Fig. 4. Zufallsschaden

härte des Erdbebens, also der geologische Erregungsvorgang. Der Stütze beraubte Gebäudeteile stürzen zur Tiefe, besonders beim Auftreten von Wackelschwingungen.

Die Verformungen beginnen und erreichen ihren Höhepunkt im obersten Gebäudeteil; und zwar ohne Rücksicht darauf, daß die Mauerstärken in den höheren Geschossen abzunehmen pflegen. Hochragende Bauwerke sind also am meisten gefährdet; aber auch hierfür gibt es bestimmte Ausnahmen. Je stärker der Erdstoß war, desto weiter rücken die Schäden treppenförmig gegen das Fundament vor.

Im Gegensatz hierzu erleiden *überschlanke* Gebäude Verformung durch *Verbiegung* wie unten eingespannte Balken. Wegen der geringen Adhäsion des Steines an dem Mörtel platzen an den Stellen der Zugbeanspruchung die Mörtelfugen zu offenen klaffenden Spalten auf. Bei genügender Amplitude der Schwerpunktsverlagerung bricht der obere Teil ab, meistens etwa in zwei Dritteln der Gesamthöhe. Fig. 3 zeigt das Verhalten eines Fabrikamins.

Zufallsschäden, hervorgerufen durch den Sturz losgerissener Gebäudeteile auf sonst unversehrte Bauteile, können unter Umständen den Anschein viel stärkerer Bodenerschütterungen erwecken, als tatsächlich vorlagen. Deshalb beanspruchen sie sorgfältige Sonderberücksichtigung, die ihnen bisher meistens fehlte. Bei Fig. 4 war der abgeworfene Turmgiebel der einzige Erdbebenschaden der gesamten Ortschaft. Bloß der unglückliche Zufall, daß der Giebel das Kirchendach durchschlug, hatte die weitgehende Verwüstung des Kircheninneren zur Folge.

4. Auslesefaktoren. Bei schweren Erdbeben pflegt innerhalb einer geschlossenen Ortschaft eine *Auslese* derart in die Erscheinung zu treten, daß sich die Schäden und Zerstörungen ungleichmäßig und sprunghaft verteilen. Größte Zerstörungen finden sich oftmals unmittelbar neben unversehrten Gebäuden. Manches verblüffende Schadensbild blieb rätselhaft. Selbstverständlich spielen hierbei die *Gebäudebeschaffenheit* nach Konstruktion, Material und Erhaltungszustand sowie die geologische bzw. strukturelle Beschaffenheit der *Baugründe* (Fig. 5) eine weitgehende und streng gesetzmäßig vorgeschriebene Rolle. Aber damit ist die Auslese der Erdbebenwirkungen bei weitem nicht erschöpft.

Jetzt endlich beginnen sich *zusätzliche Auslesefaktoren* herauszuschälen. Einzelne finden sich zwar schon vor einem halben Jahrhundert in der Literatur angedeutet; aber sie

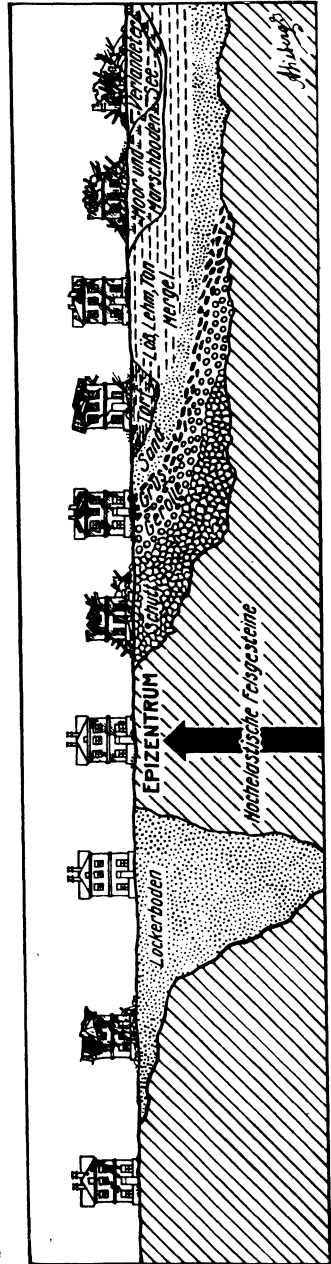


Fig. 5. Geologische Auslesefaktoren der Baugründe

waren seitdem vergessen, zum mindesten nicht mehr gewürdigt worden. Hier sei bloß auf nachstehendes hingewiesen.

Alleingelegene Gebäude verhalten sich anders als solche eines Gruppenverbandes. Auch in letzterem wechseln die Wirkungen. Beispielsweise wird ein

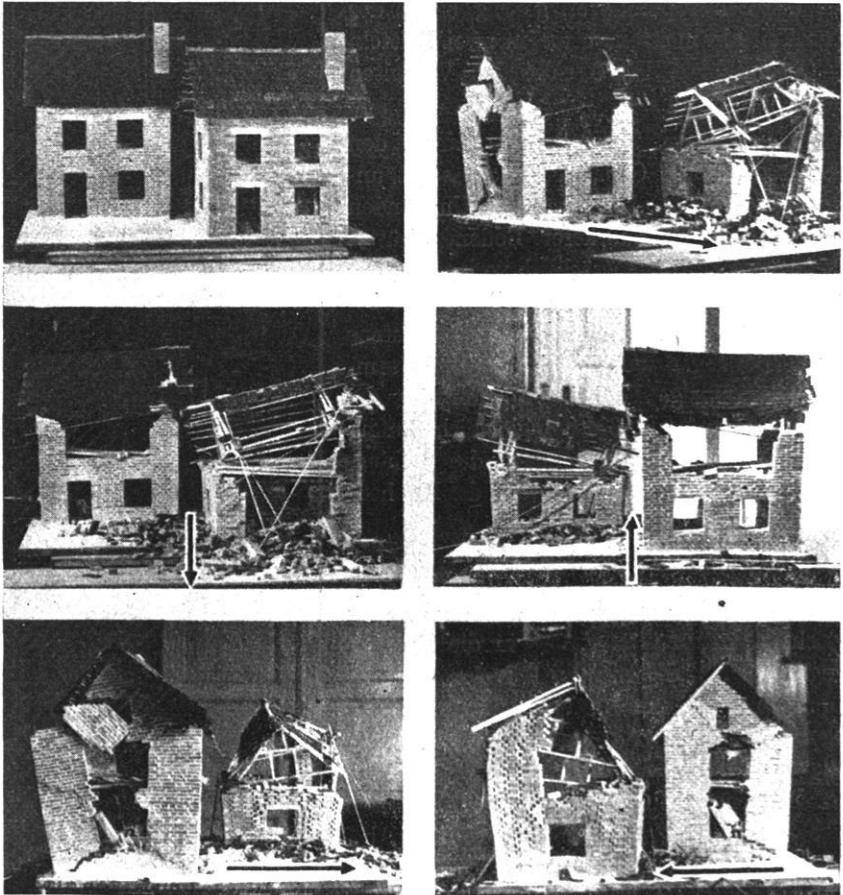


Fig. 6. Zerstörung durch Stoß auf die Frontmauern

geschlossener Gebäudeblock anders beeinflusst als eine einzelne Straßenzeile. Vor allem trifft die *Stoßrichtung* eine weitere Auslese, indem sie einmal die Ecken-, ein anderes Mal die Seitensteifigkeit stärker beansprucht. Denn jedes Gebäude besitzt als Ganzes und in Teilabschnitten verschiedenartige Reaktionsfähigkeit gegen gerichtete Stoßbeanspruchung. Ein Stoß gegen Frontmauern (Fig. 1) pflügt anders zu wirken als ein solcher gegen Frontmauern (Fig. 6) oder in diagonalen Richtung (Fig. 7). Außerdem spielen hierbei neben baulichen Zufälligkeiten, etwa

der Richtungen der Balkenlagen in sämtlichen Stockwerken, auch die Stellung innerhalb einer geschlossenen Häusergruppe eine bemerkenswerte Rolle. Das letzte, weniger das erste Haus einer Straßenzeile, die in der Stoßrichtung verläuft, erleidet die meisten Beschädigungen, während die dazwischenliegenden Häuser weniger in Mitleidenschaft gezogen werden (Fig. 8), es sei denn, daß die höheren



Fig. 7. Zerstörung durch diagonalen Stoß

Stockwerke in der Mitte gelegener Häuser bei ihrem Herunterfallen die benachbarten kleineren Häuser zerschmettern (Zufallsschäden). Besonders hohe Häuser üben, unterstützt durch Verbiegung, infolge des langen Hebelarmes auch verstärkte horizontale Schubwirkung auf niedrige Nachbarhäuser aus (Fig. 9). In dem Maße, wie die Höhe des Hauses die Länge der Grundfläche überschreitet, geht die Beanspruchung des Gesamtgebäudes in Verbiegung über. Sie kommt bei überschlanken Gebäuden am besten zum Ausdruck (Fig. 10). Hochhäuser

sind also nach den Gesetzen der Verbiegung zu beurteilen; wenigstens soweit sie die angrenzenden Häuser des zugehörigen Häuserblocks überragen. Dagegen

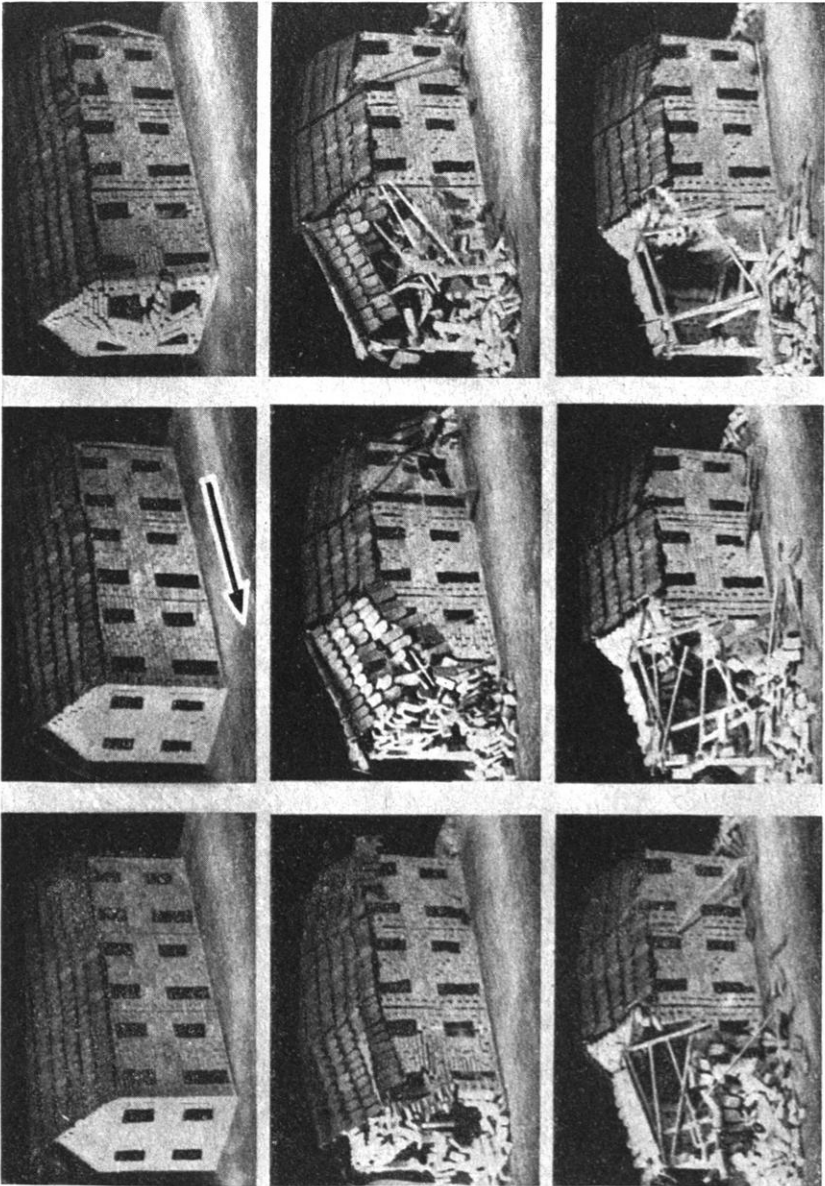


Fig. 8. Zerstörung durch Stoß in der Richtung der Straßenseite; Zeitlupenaufnahmen

bleiben die normalen, gedungenen Nachbarhäuser der Schubwirkung unterworfen. Einer besonderen Gefährdung ausgesetzt ist ein Hochhaus als letztes Haus einer

Straßenzeile oder als Eckhaus eines Straßenblocks. Bei Gebäuden mit zu schwerem Dach oder Obergeschoß wirkt der obere Abschnitt als „stationäre Masse“. D. h. er

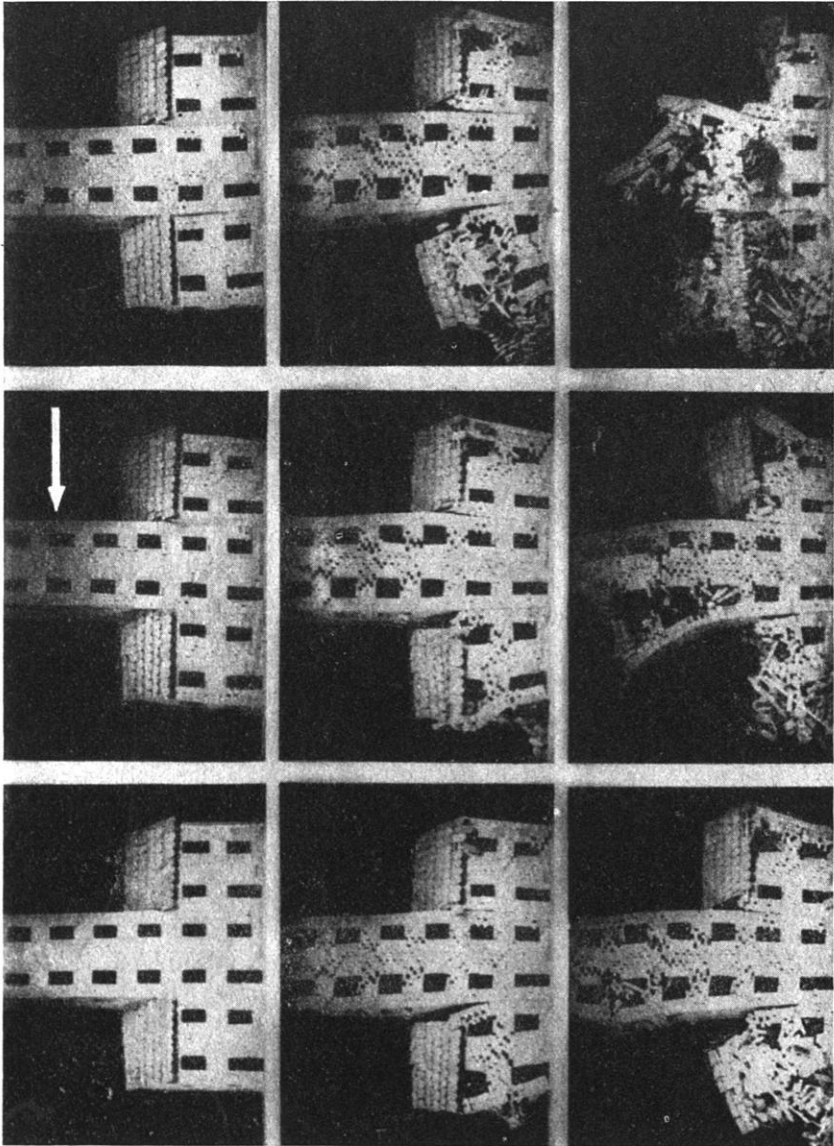


Fig. 9. Zerstörung durch Stoß in der Richtung der Straßenzeile mit hohem Haus; Zeitlupenaufnahmen

nimmt an der Bewegung nicht teil, so daß bloß das tragende und von der Bodenverrückung mitgeschleppte Untergeschoß abgeschert wird und zu Bruch geht. Dies bedingt allerdings restlose Zerstörung des ganzen Gebäudes, in Fig. 11 eines

massiven Schlosses. Die Entwicklung dieses Vorganges veranschaulicht Fig. 12 am Beispiel eines südosteuropäischen Glockentürmchens. Hier erfolgte der Nieder-

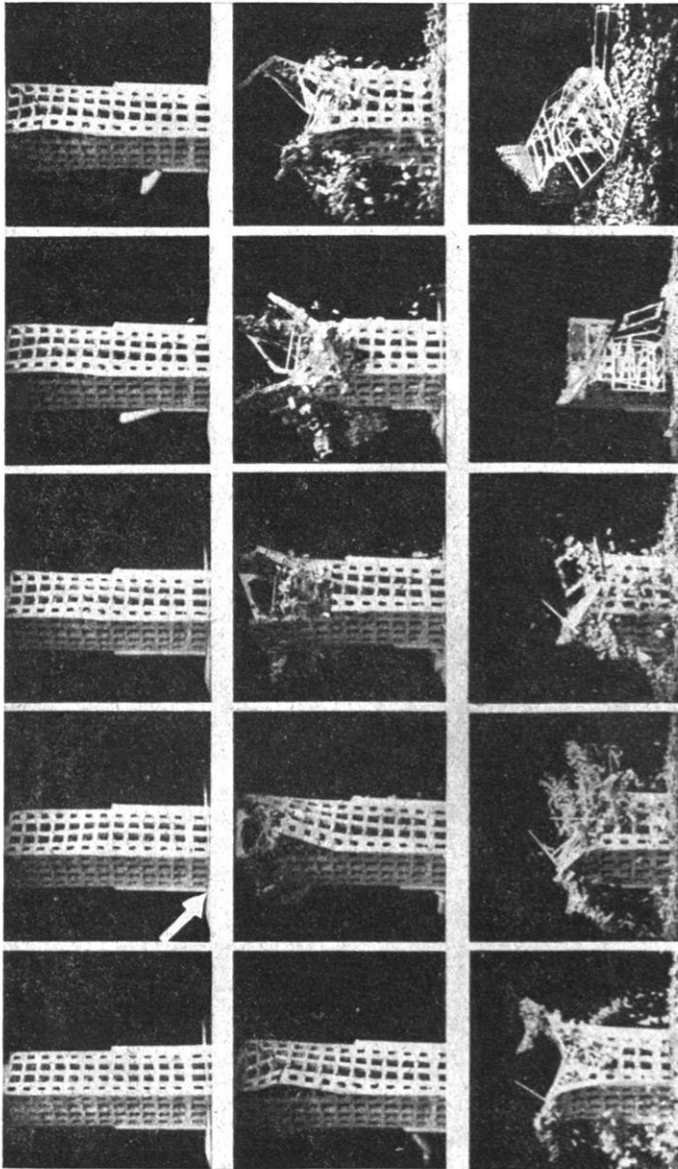


Fig. 10. Zerstörung eines Hochhauses, in Zeitlupenaufnahmen

bruch nach einer Richtung, die fast um 90° von der Stoßrichtung abweicht. Ursache für die Drehung ist die zufällig größere Standfestigkeit des hinteren rechten Pfeilers.

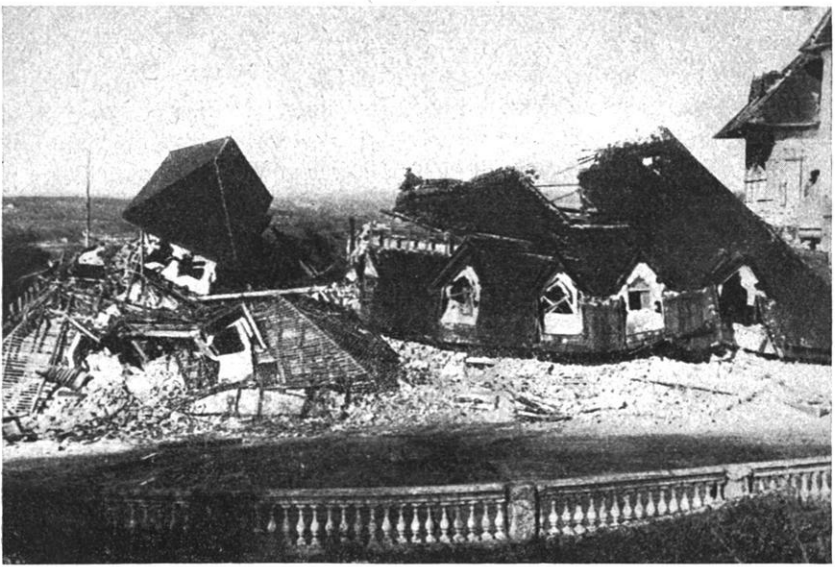


Fig. 11. Völliger Zusammenbruch infolge übermäßig schweren Daches.
 Aufnahme eines ausländischen Ministeriums

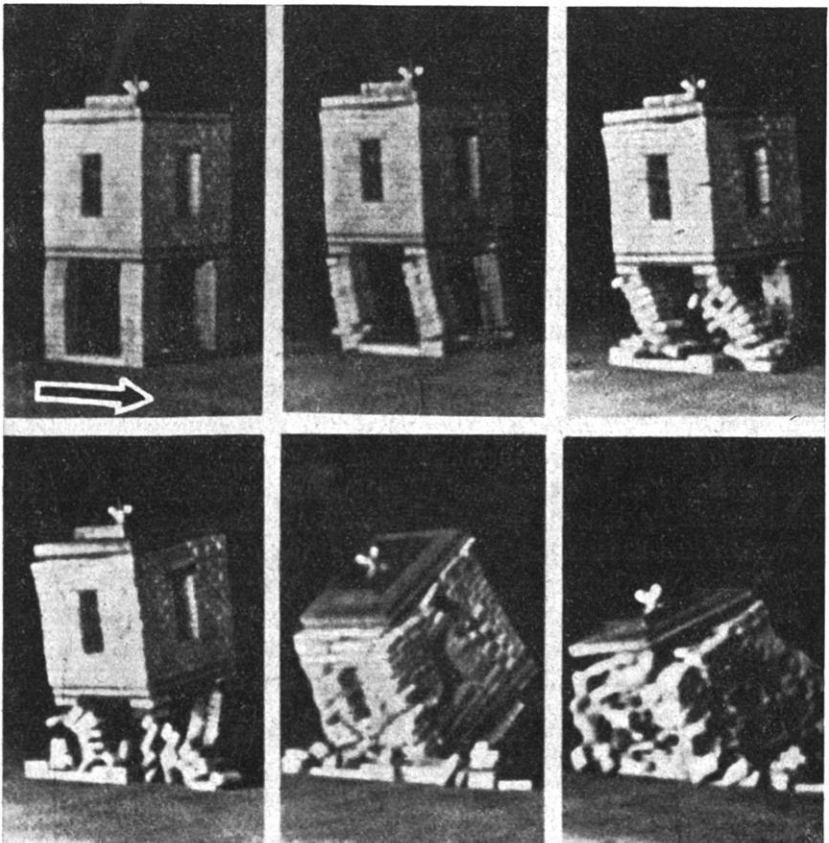


Fig. 12. Wirkung eines zu schweren Oberteiles, in Zeitlupenaufnahmen

Selbstverständlich haben unter diesen Umständen die üblichen vergleichenden Statistiken, die über die Bebenfestigkeit von Sonderbaukonstruktionen in einer Ortschaft Auskunft geben sollen, keinen praktischen Wert, wenn nicht die Auslesefaktoren genügende Berücksichtigung finden.

5. Einflüsse der Baugrundbeschaffenheit sind, wie bereits kurz angedeutet wurde, von ganz besonderer Bedeutung für die Widerstandsfähigkeit von Bauwerken gegen die Beanspruchung durch Erdbebenstöße. Die Erfahrung lehrt sogar unwiderleglich, daß bei manchen Baugründen schweren Erdbeben gegenüber jegliche Bautechnik vollständig versagt.

Im Prinzip liegen die Verhältnisse so, daß auf dem Umweg über die Elastizität, die ja in gewissem Sinne auch den Lockermaterialien nicht fehlt, die Bebenfestigkeit mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Gestein zunimmt.

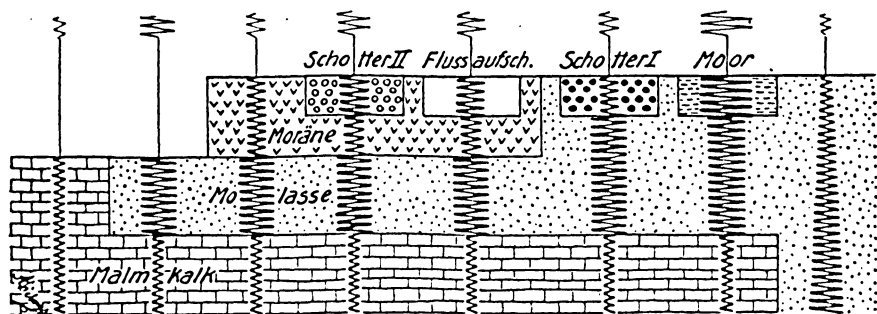


Fig. 13. Wechsel der Bodenamplituden in geologischem Mehrschichtensystem; schematisch

Nach praktischer Erfahrung und Theorie sind fest und unzersetzt an der Erdoberfläche zutage liegende, „gewachsene“ *Felsmassen* die *erdbebensichersten* Baugründe. Manche von diesen Gesteinen neigen aber zur *Verwitterung*, wodurch ein zusätzliches Gefährnoment bis zu drei Mercalli-Graden geschaffen werden kann.

Beim Übertritt der Erdbebenwellen von *Felsgestein* in *lockere Sedimente*, *Verwitterungsschutt* und *Schwemmland* (Fig. 13), also an und nahe der Erdoberfläche in den „Baugründen“, vergrößern sich die Amplituden der Schwingungen. Die Gründe dafür können hier unberücksichtigt bleiben. Gleichzeitig entsteht die Möglichkeit von Setzungen und von Rutschungen an Hängen. Daraus ergibt sich ohne weiteres die steigende *Gefährlichkeit* solcher Baugründe, die ihr Maximum bei *Durchtränkung mit Wasser* erreicht. Infolgedessen können manche Baugründe in der trockenen *Jahreszeit* recht standsicher, in der nassen aber höchst gefährlich werden. Am *höchsten gefährdet* sind also Gebäude in Niederungen und auf schuttbedeckten Hochflächen, in Talauen sowie auf Schuttkegeln und Gehängeschutt.

Als nicht minder gefährlich erweist sich die Nachbarschaft mancher *Verwerfungen*. Irgendeine Gesetzmäßigkeit hat sich hierfür noch nicht erkennen lassen. Mitunter wirken unbedeutende Verwerfungen bedrohlicher als gewaltige Bruchstörungen gleichen Alters in nächster Nähe. Über die Ursachen dieser Abhängigkeit der Bebenwirkungen von Verwerfungen fehlt bis jetzt noch jegliche Vermutung, die einige Wahrscheinlichkeit beanspruchen könnte.

Die Gesetzmäßigkeit für die Abbildung der geologischen Untergrundsverhältnisse in den Gebäudeschäden ist sehr streng. Beispielsweise konnte ich für ein Erdölgebiet, der genauen geologischen Unterlagen wegen, im Voraus die Verteilung der Bebenwirkungen angeben. Unser Besuch dieser Gegend hat meine Voraussagen in allen Einzelheiten bestätigt.

Schon bei der *Planung* neuer Bauwerke, auch von Verkehrswegen, fällt es oft schwer, gefährliche Baugründe einschließlich von Verwerfungen so zu meiden, wie es wünschenswert und wirtschaftlich tragbar wäre.

Verlegung von ganzen Ortschaften oder gar Städten dürfte nur ganz vereinzelt beim Wiederaufbau nach völliger Zerstörung durch ein Erdbeben in Frage kommen. Auch dann nur unter der Voraussetzung, daß sich in der Nachbarschaft ein genügend standsicherer Baugrund vorfindet, um die Übernahme eines solchen Risikos zu rechtfertigen. Denn die Erhaltung bestimmter wirtschaftlicher, hygienischer oder anderer Vorzüge der Standortlage muß auf jeden Fall gesichert bleiben. Unter Umständen ist es eine Frage ausschließlich der Wirtschaftlichkeit, ob die Verlegung beispielsweise einer Industrie-, Versorgungs- oder Verkehrsanlage dem Risiko vorzuziehen ist, daß vielleicht nach einem Menschenalter oder noch später ein neues Großbeben wiederum Schaden anrichtet. So habe ich nach Prüfung an Ort und Stelle den Wunsch befürwortet, einen zerstörten Ortsteil in einem bestimmten Nachbargelände wieder aufzubauen. In einem andern Falle aber mußte ich anraten, auf die Verlegung eines zerstörten Industrierwerkes zu verzichten.

Die üblichen *geologischen Karten* pflegen die erforderlichen Angaben bloß für das Kristallin und Eruptiva sowie für lockere Aufschüttungen und Schwemmland, also für die beiden Extreme zu liefern. Bei den festen Sedimentgesteinen versagen sie, weil sie nach stratigraphischen Gesichtspunkten bearbeitet sind. Diese Geländeabschnitte bedürfen deshalb einer entsprechenden Neubearbeitung, wie ich sie, so gut es ging, summarisch beispielsweise für Rumänien nach der Internationalen Geologischen Karte von Europa versucht habe. Bezeichnenderweise entspricht diesem neuen Kartenbilde nicht nur die Gesamterdbebenbetätigkeit Rumäniens, sondern auch die Isoleistenkarte der Rumänischen Geologischen Landesanstalt für die Erdbebenkatastrophe vom 10. November 1940. Allerdings bleiben solche geologisch-kartographischen Neubearbeitungen stets unzureichend, solange sie sich auf Karten- und Literaturstudien stützen. Für die Praxis ist die *Feststellung des Baugrundes im Gelände für jedes Gebäude unerläßlich*.

6. Erdbebenfeste Bauweisen nach Konstruktionsart, Baumaterial und baulichem Erhaltungszustand bleiben selbstverständlich in allen Fällen die unerläßliche

Vorbedingung, um ein schweres Erdbeben mit tragbaren Verlusten an Leib und Habe zu überstehen.

Unter diesem Gesichtspunkt muß allerdings einer allgemein verbreiteten Meinung entgegengetreten werden, die sich sowohl in wirtschaftlicher als auch in humanitärer Hinsicht oft sehr verderblich auswirkte. Es ist nämlich ein großer Irrtum zu glauben, es gebe absolut „erdbebensichere“ Bauweisen entsprechend den üblichen Vorstellungen. Abgesehen von Zufällen vermochten die sogenannten erdbebensicheren Baukonstruktionen die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht zu erfüllen, sobald sie einer vollgültigen Belastungsprobe ausgesetzt waren. Die mangelnde Beweiskraft jener vergleichenden Statistiken, die das Gegenteil beweisen sollen, beleuchten die Darlegungen über Auslesefaktoren. Nehmen wir selbst den extremen Fall, daß beispielsweise selbst einmal ein solcher Bau infolge ausreichender Verbandsfestigkeit keine gefährliche Schwächung erfahren sollte; verloren ist er doch, sobald er sich schief stellt, was häufig vorkommt. Denn in schiefer Lage ist er nicht mehr benutzbar. Auch bleiben nicht einmal Gesundheit und Leben der Bewohner gewährleistet, weil die Einrichtungsgegenstände umfallen. Schon geringfügige Verlagerungen und Verkantungen von Maschinenfundamenten verklemmen die Achsen und Lager, was zu Betriebsstörungen und zu ebenso langwierigen wie kostspieligen Reparaturarbeiten führen kann; besonders dann, wenn Ersatzteile und Arbeitskräfte von weither hergebracht werden müssen.

Deshalb wäre es wirtschaftlich verfehlt, für Unternehmungen der genannten Art hohe zusätzliche Kosten aufzuwenden; wenigstens soweit es sich nicht um *lebenswichtige* Zweckbauten, vor allem um Versorgungsanlagen handelt. Diese übernormalen Mehraufwendungen werden größtenteils bedingt durch die übertriebene Bevorzugung *starrer* Konstruktionsweisen mit ihrem hohen Materialaufwand, sowie durch die ungerechtfertigte Vernachlässigung des Backsteinbaus.

Die hierdurch geschaffene Lage, so hoffnungslos sie auch im ersten Augenblick aussieht, gibt glücklicherweise keinen Anlaß zur Beunruhigung; zumal uns die Untersuchungen des Versagens derartiger Bauwerke bedeutungsvolle Erkenntnisse für die Praxis vermittelt haben. Darüber berichtete ich mehrfach.

Zwar müssen wir auf völlige Erdbebensicherheit verzichten. Aber wir vermögen, vor allem für *Wohngebäude* und bescheidenere *Industrieanlagen*, Bauplanungen durchzuführen, die die Bewohner, ihr Leben und ihre Habe soweit schützen, wie es überhaupt möglich ist. Damit ist schon außerordentlich viel gewonnen. Außerdem fällt schwer ins Gewicht, daß die notwendigen vorbeugenden Maßnahmen mit landesüblichen Mitteln durchführbar sind und die normalen Baukosten nicht wesentlich überschreiten. Denn unter diesen Umständen besteht vielleicht die finanzielle Möglichkeit zur Durchführung aller wünschenswerten Schutzmaßnahmen für die Zukunft, während die vermeintlich „erdbebensicheren“ Bauausführungen wegen ihrer Kostspieligkeit die finanzielle Leistungsfähigkeit überschreiten würden.

Bereits ist, wie mich der Erfolg beispielsweise in Griechenland lehrte, eine sehr vertrauenerweckende Lösung für das Problem gefunden, dem an sich unzuver-

lässigen *Backsteinbau* mit einfachsten und wohlfeilsten Mitteln Bebenfestigkeit zu verleihen. Allerdings bildet kunstgerechte und sauberste Bauausführung mit erstklassigem Material die unerläßliche Vorbedingung, um die erforderliche Seiten- und Eckensteifigkeit zu gewährleisten. Erfahrungsgemäß ist dies aber bei Privatunternehmungen kaum zu erzielen. Infolgedessen muß der Staat die gesamte Bauleitung und strengste Aufsicht übernehmen, um nicht den Erfolg zu vereiteln. Ursprünglich ist diese Bauweise für Kleinbauten gedacht. Es dürften aber für erfahrene Architekten und Ingenieure kaum Schwierigkeiten bestehen, eine Weiterentwicklung für größere Bauwerke auch anderer Zweckbestimmung erfolgreich durchzuführen.

Grundaufgabe bleibt, die Zerstörung der wabenartigen Mörtelbettung in den Lager- und Stoßfugen unter der Einwirkung der Stoß- und Trägheitskräfte, sowie damit auch das Wandern der Ziegel zu verhindern. Dies wird erreicht durch genügende Seiten- und Eckensteifigkeit, die eine besondere Bauausführung gewährleistet.

Daneben muß in Zukunft auch den *elastisch-zähen* Bauweisen überall dort, wo sie wegen Holzreichtums anwendbar sind, die ihnen gebührende Stellung unter zeitgemäßen Bedingungen weitestgehend eingeräumt werden. In zahlreichen Erdbebenländern bewährten sich, wovon ich mich durch Augenschein überzeugen konnte, selbst ihre primitiven Formen für ländliche Siedlungen, Einfamilienhäuser und dgl. durchaus. Um nur ein Beispiel anzuführen, sei auf meine letzten Erfahrungen in Rumänien und Ungarn hingewiesen. Dort blieben innerhalb der schwer beschädigten Ortschaften die eigentlichen Zerstörungen fast ausschließlich auf Steinhäuser beschränkt. Bloß in vereinzelten, besonders ungünstigen Ausnahmefällen wurden die aus Knüppelrahmen und Flechtwerk mit Lehmverputz errichteten Bauernhütten ernsthafter in Mitleidenschaft gezogen. Entsprechendes gilt für die Blockhäuser, sofern sie nicht schon vorher morsch oder sonst baufällig waren. Diese besonders wohlfeilen Bauweisen sichern den Menschen fast vollständig, weniger die Inneneinrichtung. Denn das Erdbeben vermag das Gerüst nicht zu zerstören, sondern bloß den Verputz und Füllmassen zwischen dem Rahmenwerk zu zerbröckeln oder herauszupressen. Hauptgefahrenquelle bleiben das Dach und die Schornsteine. Es bedarf keiner Frage, daß sich entsprechende Bautypen ohne besondere Schwierigkeiten weitgehend verbessern, vor allem auch gesteigerten Ansprüchen heutiger Wohnkultur weitgehend anpassen lassen.

Für sämtliche Bauweisen bedeuten spätere Umbauten und auch Anbauten eine ganz besondere Gefahrenquelle. Wie verderblich sich selbst unverdächtige, kleinere Eingriffe auswirken können, trat mir eindringlichst an einem neuzeitlichen Krankenhaus vor Augen. Während die Außenmauern bloß verhältnismäßig harmlose Schäden zeigten, war das Innere fast reif für den Abbruch. Entlüftungsschächte, die nachträglich in den Innenwänden angelegt worden waren, bildeten die Ursache.

In einem Aufsehen erregenden Falle der letzten Zeit bemühen sich die Behörden, entweder den Architekten oder den Bauunternehmer oder aber beide für

einen schweren Erdbebenschaden zur Verantwortung zu ziehen. Da ein solches Vorgehen Schule machen kann, möchte ich die prinzipielle Seite kurz beleuchten. Ein Einschreiten ist berechtigt, sobald kunst- oder handwerksmäßige Fehler von ausschlaggebender Bedeutung bei Entwurf und Ausführung des Bauens oder die Verwendung minderwertiger Baumaterialien nachgewiesen sind. Darüber hinaus besteht kein Grund zur Haftbarmachung, falls Erdbebensicherheit nicht ausdrücklich gefordert und garantiert wurde. Falls überhaupt ein Verschulden vorliegt, trifft ein Teil davon die Baupolizei. Denn ihre Aufgabe blieb es, Entwurf, Ausführung und Material laufend zu prüfen und namentlich bei Großbauten auf etwaige Erdbebengefährdung aufmerksam zu machen. Vor allem ist sie für die Genehmigung von Umbauten verantwortlich.

Die vorstehenden Andeutungen einiger weniger Teilergebnisse dürften schon ahnen lassen, daß zweckdienliche Experimentaluntersuchungen für die Lösung von Fragen erdbebenkundlicher Bautechnik grundlegende Bedeutung haben. Neue, aussichtsreiche Wege sind beschritten. Strenge Prüfung der bisherigen Erkenntnisse in den Zerstörungsgebieten des Rumänischen Erdbebens vom 10. November 1940 erbrachte völlige Bestätigung und neue Gesichtspunkte für die praktische Verwertung. Dementsprechend zeigen sich schon weitere Probleme und Möglichkeiten zu deren Lösung. Die Weiterentwicklung dieses Forschungszweiges mit verbesserten Mitteln ist seitens der Reichsanstalt für Erdbebenforschung bereits in Angriff genommen und W. Sponheuer übertragen worden, der auf diesem Gebiet von Anfang an mein Mitarbeiter war.

Literatur

A. Sieberg: „Beiträge zur erdbebenkundlichen Bautechnik und Bodenmechanik.“ I. Qualitative Versuche über Erdbebenstöße und ihre zerstörende Wirkung auf Ziegelmauerwerk. II. Gebäudeschäden und ihre geologische Bedingtheit beim Oberschwäbischen Erdbeben vom 27. Juni 1935. 78 S., 38 Abb., 1 farbige Karte. Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Heft 29, Berlin 1937.

W. Sponheuer: „Untersuchung über die Beanspruchung elastischer prismatischer Stäbe bei erdbebenartigen Stoßwirkungen.“ 36 S., 8 Abb. Ebenda, Heft 37, Berlin 1941.

A. Sieberg: „Vorschläge für die Beseitigung der vorhandenen und die Verhütung zukünftiger Erdbebenschäden in Rumänien.“ Denkschrift für die Königlich Rumänische Regierung, 34 S., 17 Abb., 2 Anlagen. Als Manuskript gedruckt 1940.

J. Atanasiu-Th. Krätner: „Das Erdbeben vom 10. November 1940 in Rumänien.“ Mit Isoleistenkarte und zahlreichen Abbildungen. Rumänische Geologische Landesanstalt in Bukarest 1941. Auszug, bearbeitet für die Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, im Druck.

Jena, Reichsanstalt für Erdbebenforschung, im März 1941.
