Veröffentlichungen
der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena
Herausgegeben von deren Direktor August Sieberg
Heft 39

Versuche und Erfahrungen über Entstehung, Verhütung und Beseitigung von Erdbebenschäden

Von

A. Sieberg

Mit 50 Abbildungen

1941

Reichsverlagsamt · Berlin NW 40

Veröffentlichungen
der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena
Herausgegeben von deren Direktor August Sieberg
Heft 39

Versuche und Erfahrungen über Entstehung, Verhütung und Beseitigung von Erdbebenschäden

Von
A. Sieberg

Mit 50 Abbildungen

1941

Reichsverlagsamt · Berlin NW40

NIEDERSÄCHS.
STAATS-U.UNIV:
BIBLIOTHEK
GÖTTINGEN

Vorwort.

Zerstörende Erdbeben lösen bei Regierungsstellen, Kommunalbehörden, Baufachleuten und Wissenschaftlern der betroffenen Landstriche immer wieder die Frage aus, wie zunächst die entstandenen Schäden am zweckmäßigsten zu beseitigen sind, vor allem aber wie für die Zukunft die Gefahr durch vorbeugende Maßnahmen wirtschaftlich vertretbaren Umfanges verringert werden kann.

Der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, die diesem Sondergebiet Angewandter Erdbebenforschung schon seit mehr als drei Jahrzehnten besondere Pflege angedeihen läßt, werden derartige Fragen namentlich aus dem Ausland vorgelegt. Vielfachen Wünschen Folge leistend veröffentliche ich nachstehende Zusammenfassung meiner Stellungnahme zu Problemen von *grundsätzlicher* Bedeutung. Zumal der erste, vorbereitende Forschungsabschnitt so weit gediehen ist, daß von jetzt ab die Untersuchung von Sonderfragen in Angriff genommen werden kann.

Meine Darstellung ist eine subjektive, von meiner früheren Tätigkeit als Architekt beeinflußte. Denn ihre ersten Grundlagen wurden, beginnend mit der Erdbebenkatastrophe zu Messina des Jahres 1908, auf zahlreichen Studienreisen gewonnen, die den Zerstörungsgebieten schwerer Erdbeben vom hohen Norden an bis in den vorderen Orient und Nordafrika gewidmet waren. So gewann ich auch Richtlinien für die Entwicklung von experimentellen und theoretischen Untersuchungsmethoden, die geeignet erscheinen, Zweifel zu beseitigen, Widersprüche zu lösen und vor allem noch bestehende Lücken zu füllen. Infolgedessen vermeide ich an dieser Stelle durch Literaturnachweise belegte Auseinandersetzungen mit abweichenden Ansichten anderer Forscher, und beschränke mich auf einen rein sachlichen Bericht über meine bisherigen Forschungsergebnisse. Die Verschiedenheit der Kreise, an die sich meine Darlegungen wenden, macht es mir zur Pflicht, manches zu erwähnen, was für bestimmte Fachkreise zu den Selbstverständlichkeiten gehört.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle allen denjenigen meinen wärmsten Dank abzustatten, deren Beihilfen mir die Durchführung dieser Sonderarbeiten ermöglichten. An erster Stelle sei des *Reichsministeriums für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung* sowie

der *Kulturpolitischen Abteilung des Auswärtigen Amtes* und der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* gedacht. Letztere stellte mir neben den Mitteln für mehrere Studienreisen auch solche für experimentelle Untersuchungen zur Verfügung. Dem *Bulgarischen Ministerium für Landwirtschaft und Domänen*, dem *Rumänischen Ministerium für Kultus und Nationale Erziehung*, dem *Ungarischen Kultusministerium* und der *Griechischen Universität in Athen* verdanke ich Einladungen zu erdbebenkundlichen Studien in den genannten Ländern. Überall fand ich neben *Behördenleitern* auch *Fachgenossen*, ohne deren weitestgehende Unterstützung durch Rat und Tat meine Arbeit Stückwerk geblieben wäre. Ihre Namen einzeln zu nennen würde zu weit führen. Aber der beste Ausdruck meines Dankes an sie ist die dauernde, enge Zusammenarbeit, die seitdem zwischen uns besteht und zum Teil zu freundschaftlicher Verbundenheit geführt hat.

Auf den letzten Reisen begleitete mich der Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dipl.-Ing. Dr. *W. Sponheuer*. Er ist auch mein erprobter Mitarbeiter an den experimentellen und theoretischen Untersuchungen über bautechnische Erdbebensicherung, die er, wie ich hoffe, weiter entwickeln wird. Eine wertvolle Stütze fand ich schließlich an *Elsa Leimbach*, die gleichfalls bei den experimentellen Arbeiten tätig war, vor allem die Modellhäuser konstruierte und baute.

Jena, im September 1941.

A. Sieberg.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 9

Erster Abschnitt

Die mechanischen Vorgänge bei der Zerstörung von Bauwerken durch Erdbeben 13–33

1. Vorbemerkungen zu experimentellen Untersuchungen über bautechnische Erdbebensicherung 13

a) Kritik der früheren Experimentaluntersuchungen; b) Die Versuchsanordnung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung.

2. Verformungen und Zerstörungen 17

a) Allgemein gültige Grundsätze; b) Der Beanspruchungsplan; c) Normalbauten; sämtliche Bauweisen, zwei Sonderfälle, Ziegelbauten, Nachgiebige Holzbauten; d) Überschlanke Bauten; e) Zufallsschäden.

3. Auslesefaktoren 29

a) Das freistehende Haus; b) Eine geschlossene Straßenzeile; c) Der geschlossene Häuserblock.

Zweiter Abschnitt

Einfluß der Baugrundbeschaffenheit auf die Erdbebenfestigkeit von Bauwerken 34–41

4. Vorbemerkungen 34

a) Stoßschäden; b) Setzungsschäden; c) Rutschungsschäden.

5. Die Baugründe 35

a) Baugrund und Amplitude; b) Wichtigere Baugründe; feste Felsmassen, Lockerböden, Schwemmland; c) Verwerfungen.

Dritter Abschnitt

Erdbebenkundliche Verwertung von Baugrundforschung 41–49

6. Zusätzliche Erdbeben-Beschleunigungen 42

a) Erdbebenskalen; b) Zahlenwerte für Baugrundverschiedenheiten; c) Anleitung für den Gebrauch der Tabelle.

7. Karten der Baugrundgefährlichkeit 46

8. Karten der Erdbebentätigkeit 46

9. Vereinheitlichung der Hilfsmittel 47

a) Kartographische Hilfsmittel; b) Instrumentelle Hilfsmittel.

Vierter Abschnitt

Das Bauen in Erdbebengegenden 49–59

10. Aufgabe 50

11. Grundsätzliches über erdbebenfeste Konstruktionsglieder 52

a) Das Fundament; b) Ecken- und Seitenfestigkeit; c) Die tragenden Konstruktionsglieder; d) Die Zwischenwände; e) Die Zwischendecken; f) Das Dach; g) Schornsteine und Feuerungsanlagen; h) Anbauten; i) Die Baustoffe.

12. Das Verhalten von Baustoffen im Feuer 57

a) Holz; b) Eisen; c) Steine, Beton; d) Sonstige Baustoffe.

Fünfter Abschnitt

Bewertung der üblichsten Bauweisen..... 59–79

13. Massiver Steinbau 59

a) Quadermauerwerk; b) Bruchsteinmauerwerk; c) Das übliche Ziegelmauerwerk; d) Erdbebenfestere Ziegelbauten; verzahnte Ziegelverbände, Formziegel, Ziegelmauerwerk mit waagerechten Betonkränzen.

14. Massiver Betonbau 64

15. Holzfachwerkbauten 65

a) Halbsteifer verstrebter Fachwerkbau; die übliche Bauweise, hölzerne Blockhäuser; b) Elastisch-zäher Fachwerkbau, Flechtwerkhütten, der Zatmas-Fachwerkbau.

16. Eisenbetongerippebau 68

a) Gerippebau im allgemeinen; b) Eisenbetongerippe.

17. Stahlgerippebau 70

18. Hochhäuser und andere überschlanke Bauten 72

a) Biegungsschwingungen; b) Einfluß der Baustoffe; Ziegelmauerwerk, Beton und Eisenbeton im Gerippebau, Stahl im Gerippebau; c) Schornsteine; d) Türme; e) Hochhäuser.

19. Zusammenfassendes über Erdbebenfestigkeit im Hochbau ... 77

20. Ingenieurbauten 78

a) Brücken; b) Viadukte; c) Tunnels; d) Erdbauten; e) Wasserbauanlagen.

Sechster Abschnitt

Zum Planen von Bauanlagen in Erdbebengebieten 79–84

21. Behördliches Erdbebenbauwesen 80

a) Baupolizeiliche Vorschriften; b) Baupolizei.

22. Über statische Berechnungen in Erdbebengebieten 81

23. Planung von Hochbauten und Siedlungen 82

a) Wahl des Bauplatzes; b) Allgemeine Richtlinien; c) Neubaugruppen; d) Neubauten innerhalb von geschlossenen Gebäudegruppen; e) Wiederaufbau.

Siebenter Abschnitt

Beseitigung der Erdbebenschäden 85–88

24. Erste Hilfe nach dem Erdbeben 85

a) Verpflegung und ärztliche Behandlung; b) Unterkunft.

25. Bautechnische Maßnahmen 86

a) Grundsätzliches; b) Instandsetzungsarbeiten; c) Abbruch und Neubau.

Literaturverzeichnis 88

Einleitung.

Erfolg versprechender und vom Standpunkt der Rentabilität vertretbarer Einsatz des Bauwesens für Erdbebensicherung hat die Klärung grundsätzlicher Fragen erdbebenkundlicher Art zur Voraussetzung. Im Rahmen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung gehört es seit Jahrzehnten zu meinen Aufgaben, durch Studium in Erdbebengegenden und experimentell an der Erfüllung dieser Voraussetzung mitzuarbeiten. Der von mir beschrittene Weg der Forschung führte auch zu Erkenntnissen, die von üblichen Auffassungen abweichen. Da sich wichtige Probleme schon einigermaßen übersehen lassen, erscheint eine zusammenfassende Darstellung nicht unzweckmäßig.

Zur Einführung seien die nachstehenden Gesichtspunkte vorausgeschickt:

1. Hauptschadenbringer bei schweren Erdbeben ist die Zerstörung von Bauwerken mit allen ihren Folgen. Deren Nachwirkungen vermögen die Volkswirtschaft monate- und selbst jahrelang empfindlich zu stören. Vor allem aber bedeuten die zusammenbrechenden Gebäude als Menschenfallen eine schwere Gefährdung von Gesundheit und Leben der Bevölkerung.

2. Infolgedessen müssen vorbeugende Maßnahmen zur Milderung zukünftiger Erdbebenschäden in erster Linie die Bauwerke berücksichtigen.

Sicherungsmaßnahmen dürfen den Rahmen der Wirtschaftlichkeit nicht überschreiten. Dies bedeutet die Forderung, daß sie mit landesüblichen Mitteln durchführbar sind und die normalen Baukosten nicht wesentlich überschreiten. Denn nur so besteht in vielen Fällen erst die finanzielle Möglichkeit zur Durchführung der notwendigen Arbeiten.

3. Unerläßliche Vorbedingung bleibt allerdings straffste staatliche Organisation unter vollständiger Ausschaltung jeglicher Sonderinteressen; eine zwar schwierige, aber erfahrungsgemäß nicht unlösbare Aufgabe. Eine solche Organisation hat nicht nur die Planung und Bauausführung zu erfassen und zu überwachen. Sie muß gegebenenfalles auch die Schulung der Bauhandwerker sowie die Ausbildung der Architekten und Bauingenieure auf die erforderliche Höhe fachlichen Könnens bringen, das in manchen Gegenden versagt.

4. Die Wiederherstellung von Zerstörtem, überhaupt alle Instandsetzungsarbeiten, bedürfen der gleichen behördlichen Aufsicht. Denn unsachgemäß ausgebesserte Schäden schwächen die Erdbebenfestigkeit des Gebäudes und bedrohen damit auch die Nachbarschaft.

5. Entgegen allen Behauptungen gibt es keine „erdbebensicheren" Bauweisen, die den üblichen Vorstellungen entsprechen. Abgesehen von glücklichen Zufällen vermögen sie bei vollgültiger Beanspruchung die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht zu erfüllen.

Immerhin bieten sie bei sachgemäßer Planung und Ausführung einen erhöhten Schutz. Deshalb eignen sie sich für lebenswichtige Großanlagen der Versorgung, des Verkehrs, der Industrie u. dgl. Allerdings wieder unter der Voraussetzung, daß die hohen Kosten unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit vertretbar bleiben.

6. Obgleich auf völlige Erdbebensicherheit verzichtet werden muß, liegt doch kein Grund für Beunruhigung vor. Es lassen sich nämlich „erdbebenfeste" Bauplanungen durchführen, die die Bewohner, ihr Leben und ihre Habe so weit schützen, wie es überhaupt möglich ist. Damit wird schon außerordentlich viel gewonnen.

Zunächst haben sich in manchen Gegenden, namentlich in ländlichen Siedlungen, seit altersher einfache, bodenständige Bauweisen entwickelt, die der Zerstörung durch Erdbeben erheblichen Widerstand entgegensetzen. Leider greift aber neuerdings immer mehr das Bestreben um sich, diese Bauweisen durch „modernere" zu ersetzen; ohne zu ahnen, wie sehr die letzteren die Gefährdung durch Erdbeben steigern, und unbeschadet darum, daß sich auch die alten Bauweisen höherer Wohnkultur anpassen lassen.

Ferner haben sich bereits vertrauenerweckende Lösungen für das Problem gefunden, dem an und für sich unzuverlässigen Backsteinbau mit einfachsten und wohlfeilsten Mitteln recht beachtliche Bebenfestigkeit zu verleihen.

Daneben muß in Zukunft auch billigen, elastisch-zähen Bauweisen überall dort, wo sie wegen leichter Materialbeschaffung durchführbar sind, die ihnen gebührende Stellung unter zeitgemäßeren Bedingungen weitestgehend eingeräumt werden. Denn neuere Erfahrungen ausreichenden Umfanges widerlegen die Ansicht weiter Fachkreise, bloß Steifigkeit vermöchte die Gebäude gegen Erdbeben zu schützen.

7. Die Beschaffenheit des Baugrundes beeinflußt bei Erdbeben die Widerstandsfähigkeit von Bauwerken jeglicher Art in ausschlaggebendem Maße. Während manche Baugründe den Gebäuden eine sehr hohe Bebenfestigkeit verleihen, übersteigern andere die Bebenwirkungen so

sehr, daß ihnen selbst die zuverlässigste Bautechnik nicht standzuhalten vermag.

Infolgedessen beansprucht die Baugrundbeschaffenheit die gleiche Berücksichtigung wie die Gebäudebeschaffenheit.

8. Die Entwicklung möglichst erdbebenfester Bauweisen hat selbstverständlich die genaue Kenntnis jener verwickelten mechanischen Vorgänge zur Voraussetzung, die die Zerstörung von Bauwerken herbeiführen und begleiten. Aber bis vor kurzem herrschte hierüber noch bedenkliche Unklarheit.

9. 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. Erfahrungsgemäß reichen die beiden Faktoren Gebäude- und Baugrundbeschaffenheit zur Erklärung dieser schwerwiegenden Erfahrungstatsache nicht aus.

10. In dem Maße wie die übrigen Auslesefaktoren nicht genügend bekannt sind und in Rechnung gestellt werden, bleibt die Planung erdbebenfester Bauwerke unsicher.

Ohne Berücksichtigung der Auslesefaktoren ist es also auch unmöglich, ein zuverlässiges Bild über die tatsächliche Bewährung bestimmter Baukonstruktionen zu gewinnen, die von interessierten Kreisen als besonders bebensicher ausgegeben werden.

Erster Abschnitt.

Die mechanischen Vorgänge bei der Zerstörung von Bauwerken durch Erdbeben.

Die Bemühungen, Grundlagen für die Entwicklung erdbebenfester Bauweisen zu gewinnen, beschreiten drei Wege. Nämlich Ausnützung zufälliger Wahrnehmungen im Gelände, z. B. [12, 13, 15, 18, 20II], planmäßige experimentelle Versuche, z. B. [20I, 22] und rechnerische Methoden, z. B. [1, 6–9]. Letztere gehören hauptsächlich in den Arbeitsbereich des Bauingenieurwesens.

Fast allgemein vertritt die umfangreiche Literatur über bautechnische Erdbebensicherung die Ansicht, es genüge die Berücksichtigung des „Erschütterungsgrades", d. h. des Verhältnisses von Erdbebenbeschleunigung zu Erdbeschleunigung. Im Gegensatz hierzu habe ich die Überzeugung gewonnen, die Kenntnis der mechanischen Vorgänge bei der Zerstörung von Gebäuden durch Erdbeben bilde für die Entwicklung möglichst erdbebenfester Baukonstruktionen eine unerläßliche Voraussetzung.

1. Vorbemerkungen zu experimentellen Untersuchungen über bautechnische Erdbebensicherung.

Derartige Untersuchungen können bloß dann brauchbare Ergebnisse liefern, wenn sie den tatsächlichen Verhältnissen Rechnung tragen. Dies gilt in gleicher Weise für die Natur der Erdbebenbewegung wie für die Reaktionsfähigkeit von Bauwerken, da letztere bei gleicher Bauausführung durch äußere Umstände (Auslesefaktoren) verschiedenartig beeinflußt wird.

Bevor die qualitativen Grundlagen gesichert sind, bleiben die Ergebnisse quantitativer Untersuchungen zweifelhaft.

a) Kritik der früheren Experimentaluntersuchungen. Ihre Ergebnisse pflegen den Beobachtungen am natürlichen Objekt nur ungenügend zu entsprechen, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Erdbebenbewegungen sind *Stöße*. Deshalb können sie nicht, wie der größeren Einfachheit halber üblich ist, als einfache Sinusschwingungen aufgefaßt und behandelt werden.

2. *Verformungen* von Bauwerken sind nach Überschreiten der Festigkeitsgrenze *bleibende*. Infolgedessen muß der bisherige Umfang, die Elastizitätstheorie hierbei anzuwenden, zu Trugschlüssen führen.

3. Infolge der *gekoppelten Reaktion aller Bauwerksteile* genügt nicht die Untersuchung der Widerstandsfähigkeit einzelner Konstruktionsglieder.

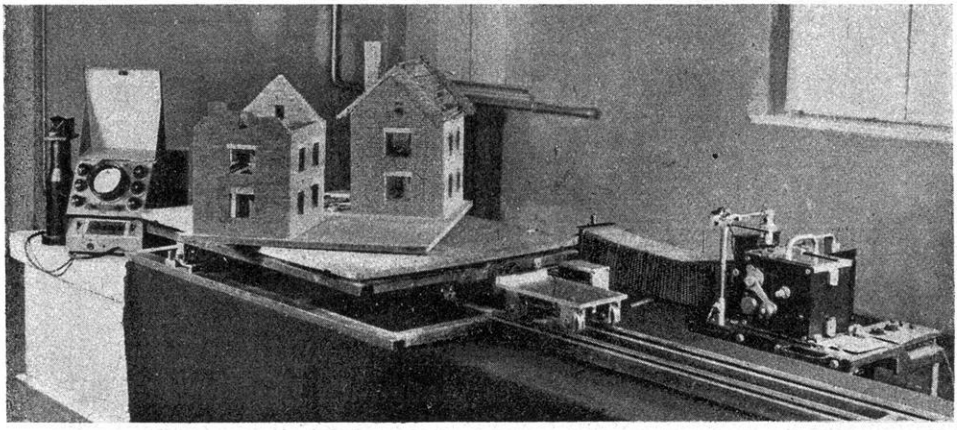

Abb. 1. Stoßtisch der Reichsanstalt für Erdbebenforschung.

Vielmehr bedarf es der Klärung jener mechanischen Vorgänge im gesamten Bauwerk, die dieses durch Auflockerung von Verbandsfestigkeit und Gefüge für den Schaden bis zum Zusammenbruch reif machen.

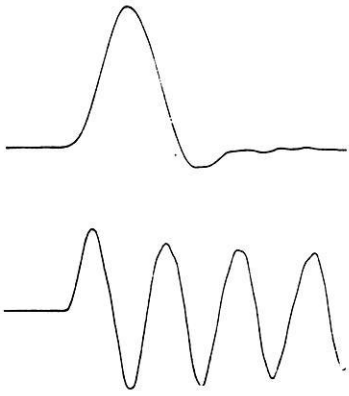

Abb. 2. Stoßtisch-Registrierungen, fast aperiodisch und schwach gedämpft.

4. Die Gebäuderuinen als Endergebnis geben keine Auskunft über die *Entwicklungsphasen* der Zerstörung; zumal deren Schnelligkeit, abgesehen von der Schrecksekunde, bei einem Zuschauer die Zergliederungsfähigkeit des Auges erheblich überschreitet. Ohne genaueste Kenntnis der Reifungsvorgänge muß aber jeder Versuch zur Ermöglichung bautechnischer Erdbebensicherung unzulänglich bleiben.

b) Die Versuchsanordnung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung beseitigt die genannten Fehlerquellen. Sie beschränkt sich aber einstweilen auf qualitative Ermittlungen. Denn es fehlt zur Zeit noch an Raum, um völlig maßstabgetreue Modellbauten zu errichten, die für quantitative Untersuchungen unerläßlich sind.

Der von der Reichsanstalt entwickelte „Stoßtisch“[1]) Abb. 1 erzeugt und registriert sowohl optisch als auch elektrisch mittels Elektronenstrahloszillograph künstliche Erdbeben*stöße*, die nach Eigenperiode, Stoß-

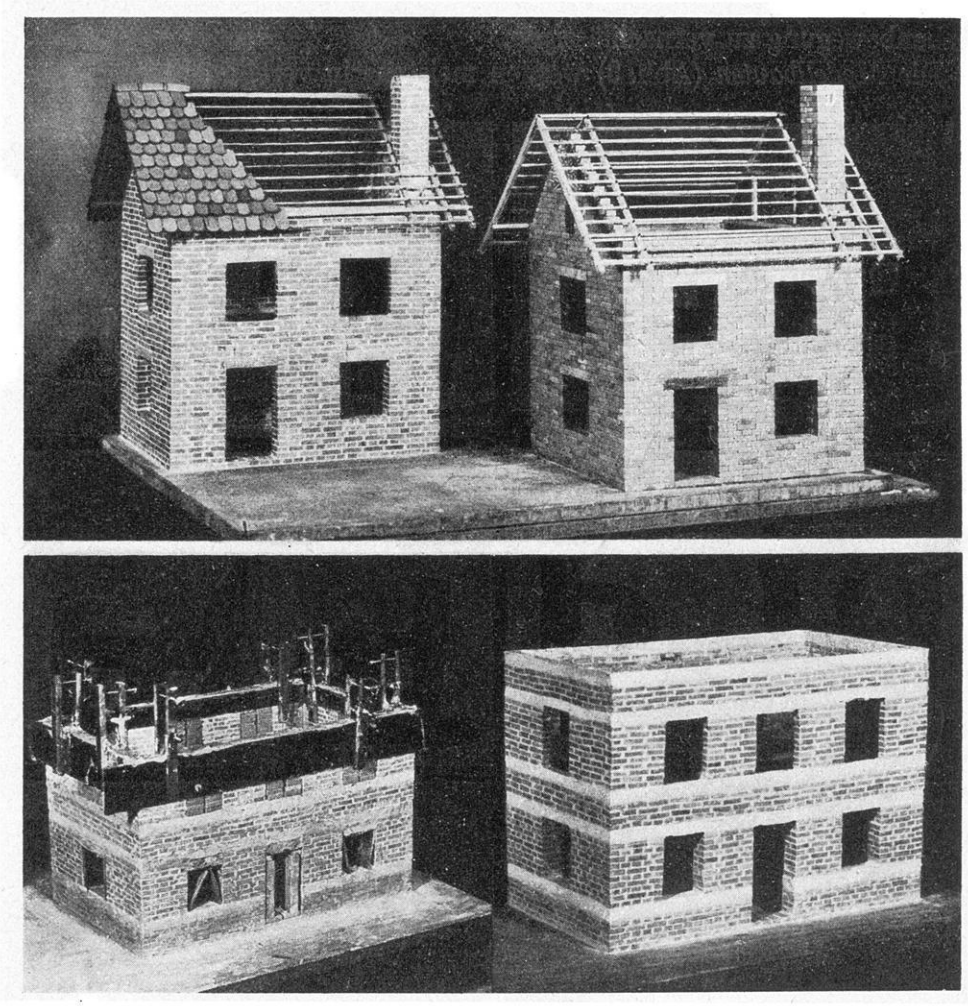

Abb. 3. Modellbauten aus Ziegelmauerwerk. Oben übliches Mauerwerk mit Mörtel, daneben Trockenmauerwerk; unten Mauerwerk mit Eisenbetonkränzen.

energie, Stoßhärte und Dämpfung den jeweiligen Erfordernissen angepaßt werden. Die aufgezeichneten Bewegungskurven (Abb. 2) entspre-

[1]) Seine Theorie entwickelte W. Sponheuer [26]. Im Prinzip besteht Verwandtschaft mit L. S. Jacobsens „Schütteltisch“ [3]. Jacobsen verzichtet aber absichtlich auf die Verwertung der Stoßphase, weil sie seiner Ansicht nach störend wirkt, und benutzt lediglich das anschließende sinusförmige Ausschwingen.

chen durchaus denjenigen, die sich aus den Seismogrammen von Ortsbeben durch Integration herleiten lassen; sind also grundverschieden von einfachen Sinusschwingungen. Bisher spricht noch keine Erfahrung gegen den allgemein üblichen Brauch, die Vertikalkomponente der Erdbebenbewegung zu vernachlässigen.

Die *Modellbauten* (Abb. 3) werden meistens in vereinfachter Anlage,

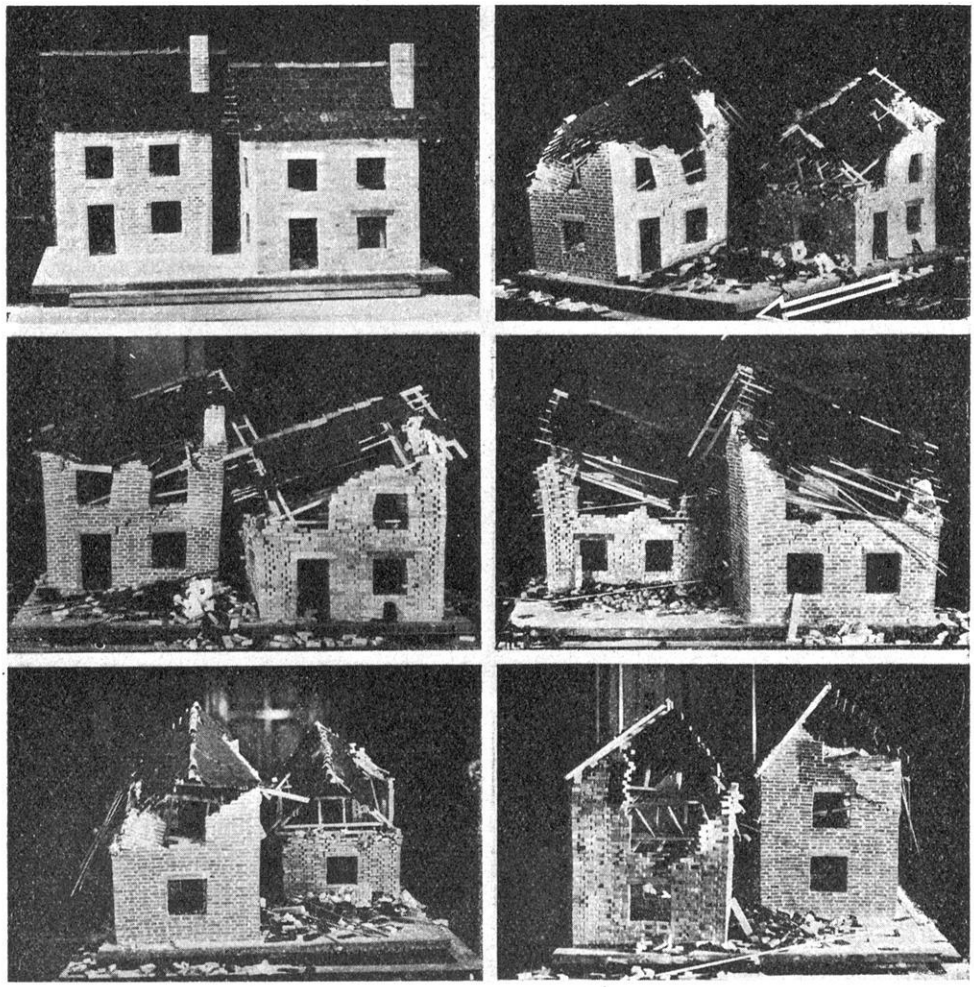

Abb. 4. Gleicher Zerstörungscharakter bei je einem Modellhaus aus Mörtel- und Trockenmauerwerk durch Stoß auf die Giebelmauern; von sämtlichen Seiten her betrachtet.

aber möglichst handwerksgerecht aufgeführt. Zur Klärung *allgemeingültiger* Fragen, die einstweilen noch im Vordergrunde stehen, eignet sich *Ziegelmauerwerk* am besten. Denn letzteres wird, parallel zur Bodenver-

rückung, durch die Lagerfugen in Scharen horizontal glatt durchlaufender Schwächezonen des Verbandes und des Materials aufgeteilt. Die Haftreibung hält Bauten aus *Trockenmauerwerk* zusammen. Modellbauten dieser Art entsprechen zwar bautechnisch einer „minderwertigen" Bauausführung. Aber sie enthüllen die Gesetze stoßbedingter Verformungen in besonderer Klarheit, allerdings in übertriebenem Maßstab. Größere Naturtreue auf Kosten der Verdeutlichung des Prinzips wird mit *Mörtelmauerwerk* erzielt, bei dem die Bindefähigkeit des Mörtels eine dem Maßstab des Modells entsprechende Herabsetzung erfährt. Die Berechtigung vorstehender Überlegungen beweist die Tatsache, daß beide Bauausführungen bis ins einzelne hinein den gleichen Zerstörungscharakter zeigen, sobald sie gleichzeitig nebeneinander dem gleichen Stoß ausgesetzt werden, vgl. etwa Abb. 4. *Pfeile* in den Abbildungen geben die Stoßrichtung an.

Neuere Erfahrungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung haben gelehrt, wie sich manche der so gewonnenen Ergebnisse, allerdings innerhalb bestimmter Grenzen, für die Beurteilung auch *anderer Baukonstruktionen und Baumaterialien* sinngemäß verwerten lassen.

Der ganze Verformungs- und Zerstörungsvorgang wird kinematographisch mit *Zeitlupe* aufgenommen. Zur Auswertung gelangen die Einzelbilder des Filmstreifens.

2. Verformungen und Zerstörungen.

Zu diesem recht vernachlässigten Forschungsgebiet erdbebenkundlicher Bautechnik vermochten die vorliegenden Versuchsreihen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung schon beachtenswerte Beiträge zu liefern [20I, 22]. Auf Fragen von grundlegender Bedeutung ergaben sich zum Teil überraschende Antworten, während alte Erfahrungstatsachen erst ins rechte Licht rückten. Von diesen Erkenntnissen wird nachstehend für die Praxis Gebrauch gemacht.

a) Allgemein gültige Grundsätze. Bekanntlich kippt ein Mensch in einem Fahrzeug beim Anfahren rückwärts entgegen der Fahrtrichtung, beim Bremsen aber vorwärts. Ursache sind die dem Menschen erteilte Beschleunigung und die entgegengesetzt wirkenden Trägheitskräfte. Entsprechendes geschieht beim Erdbeben.

Die horizontale Komponente des *Stoßes* beim Erdbeben (Abb. 5) erzeugt eine gekoppelte Schwingung mit schlagartig zu- und abnehmendem Maximum der Beschleunigung, und einer anschließenden einfachen Sinusschwingung. Letztere bedingt zunächst eine erneut wachsende, dem Bremsen entsprechende Beschleunigung umgekehrter Richtung bis zum Maximum der Bodenverrückung. Dort hat die Zerstörung im allge-

meinen ihr Ende erreicht. Die Rückkehr zur Ausgangsstelle ist mit schneller und starker Beschleunigungsabnahme verbunden, also praktisch nahezu bedeutungslos.

Infolgedessen beginnt beim *Anstoß* die Verformung des vom Erdboden

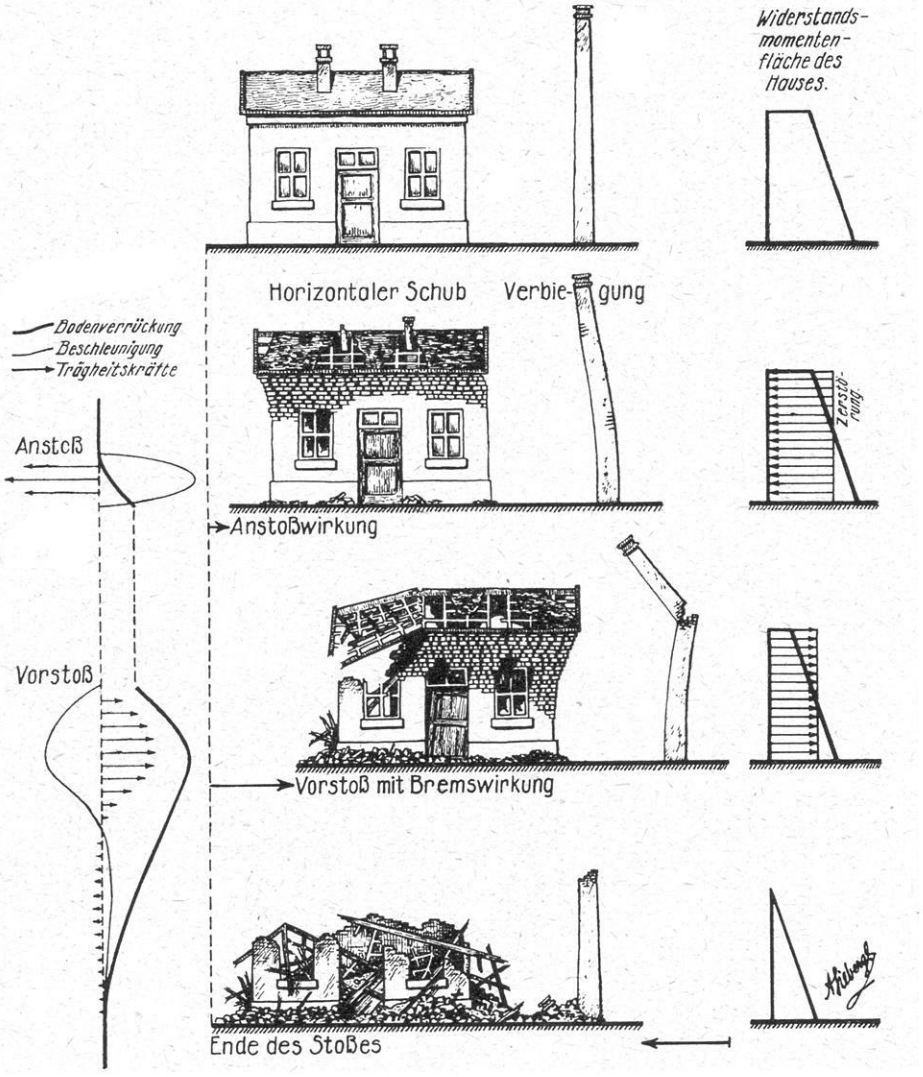

Abb. 5. Verformung und Zerstörung von Ziegelmauerwerk durch Horizontalstoß; schematisch.

mitgeschleppten Gebäudes mit einer *rückwärts* gerichteten Beanspruchung. Dabei werden die Reaktionskräfte zum Teil durch Zerrüttung des Mauerwerks aufgezehrt und die Elastizität geht verloren. Der zugehörige erste Maximalwert von Beschleunigung und Trägheitskraft wird bereits

bei sehr kleiner Amplitude der Bodenverrückung erreicht. Der weitere *Vorstoß* bis zum Umkehrpunkt der Bodenverrückung führt zum zweiten Maximum, das ein *Vorwärts*schnellen in der Stoßrichtung mit Fortschleudern loser Trümmer bedingt. Welche von beiden Reaktionsrichtungen sich am stärksten auswirkt, bestimmt neben Zufälligkeiten der Gebäudebeschaffenheit zum Teil die Stoßhärte des Erdbebens, also der geologische Erregungsvorgang.

Anstoß und Vorstoß verursachen, jeder für sich, eigene Bruchsysteme, die von gegenüberliegenden Gebäudeteilen ausgehen und in der Richtung um rund 90° verschieden sind. Unter Umständen kommt es zu kreuzförmigen Überschneidungen beider Bruchsysteme.

Das schwächste *Baumaterial*, die geringste *Verbandsfestigkeit* und der größte *Freiheitsgrad* für Bewegungen bestimmen Beginn und Umfang von Verformungen und Zerstörungen.

Mit der *Amplitude* der Gebäudeverformung wächst der Gebäudeschaden.

Beschleunigung und Amplituden sind in den obersten Bauwerksteilen größer als in den unteren. *Oben leidet also das Gebäude am stärksten*, und mit wachsender Beanspruchung rücken die Schäden von den oberen Ecken, die die größte Bewegungsfreiheit haben, schräg nach unten und gegen die Mitte vor (Abb. 6).

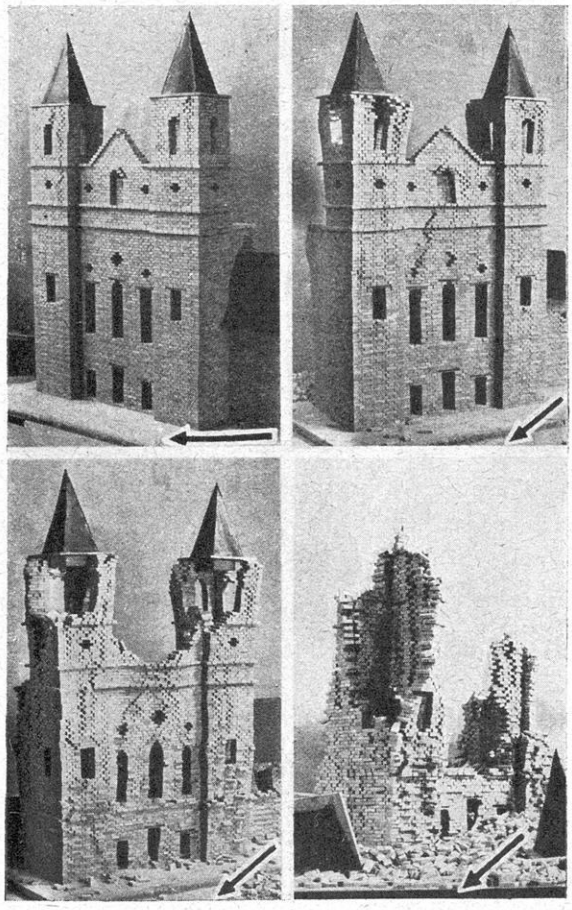

Abb. 6. Zerstörungen 7., 8., 9. und 11. Grades in Trockenmauerwerk durch Schrägstoß. Den Schaden 11. Grades bewirkte die Aufeinanderfolge von 2 Stößen 9. Grades.

Bei bleibenden Verformungen kann schon eine *Aufeinanderfolge harmloserer Erdbebenstöße* ein Bauwerk so gründlich zerstören wie ein Ein-

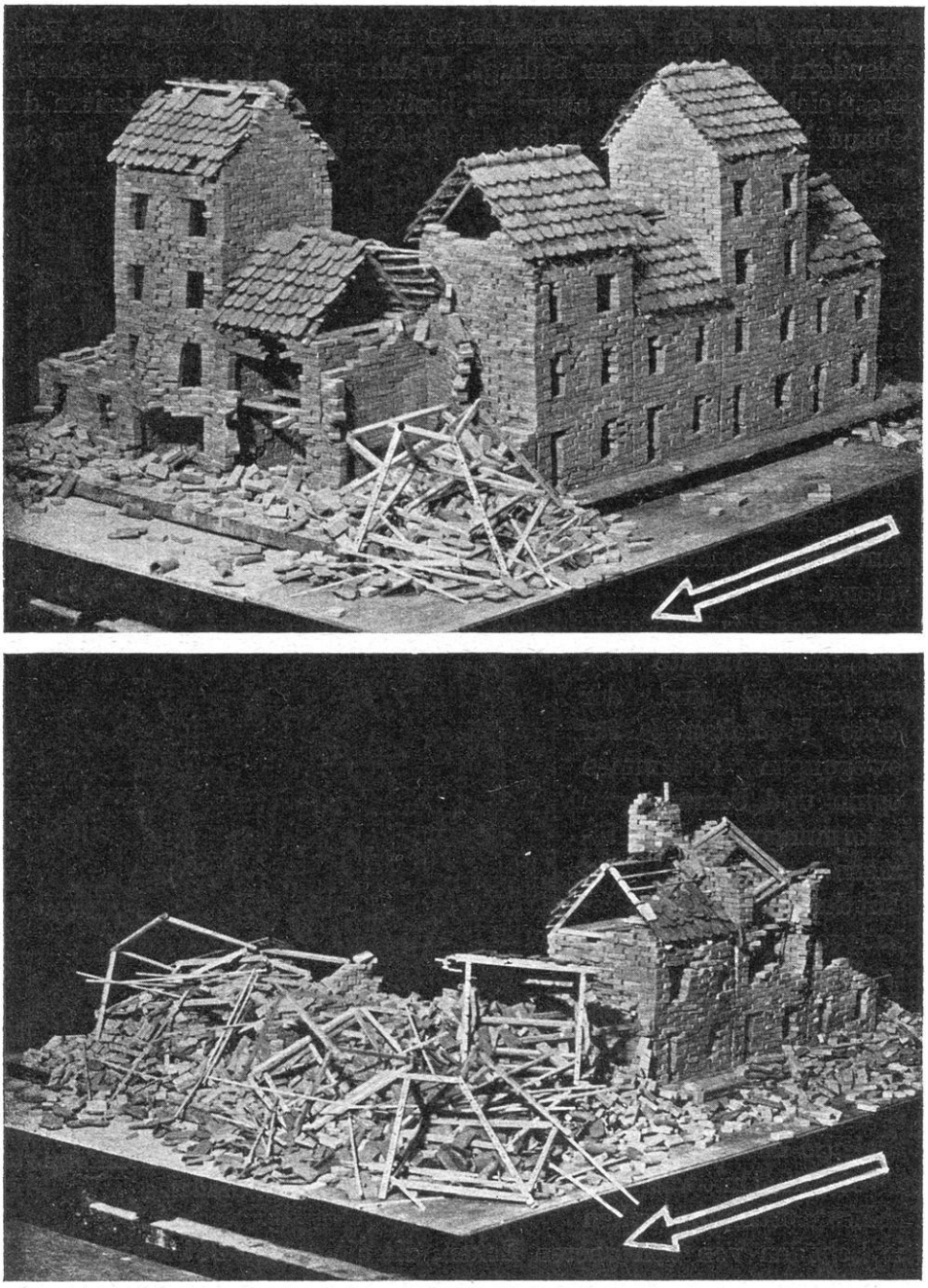

Abb. 7. Wirkung von 2 Erdbebenstößen 10. Grades auf eine Ecke; Stoßrichtung längs der einen Straßenzeile.

zelstoß großer Energie. Beispielsweise wurde die Zerstörung 11. Grades an einer Kirche in Abb. 6 durch zwei Stöße 9. Grades herbeigeführt. Abb. 7 zeigt die völlige Vernichtung der Ecke eines Häuserblocks durch zwei Erdbebenstöße 10. Grades.

Normal dimensionierte Bauwerke werden anders beansprucht als *überschlanke* (Abb. 5).

Zu *schwere Last* von Dach und Obergeschossen bedrohen das Untergeschoß und damit das ganze Haus.

Die sogenannten *Zufallsschäden* (S. 28), häufig eine Folge von Wackelschwingungen, nehmen eine Sonderstellung ein, die sehr zu beachten ist.

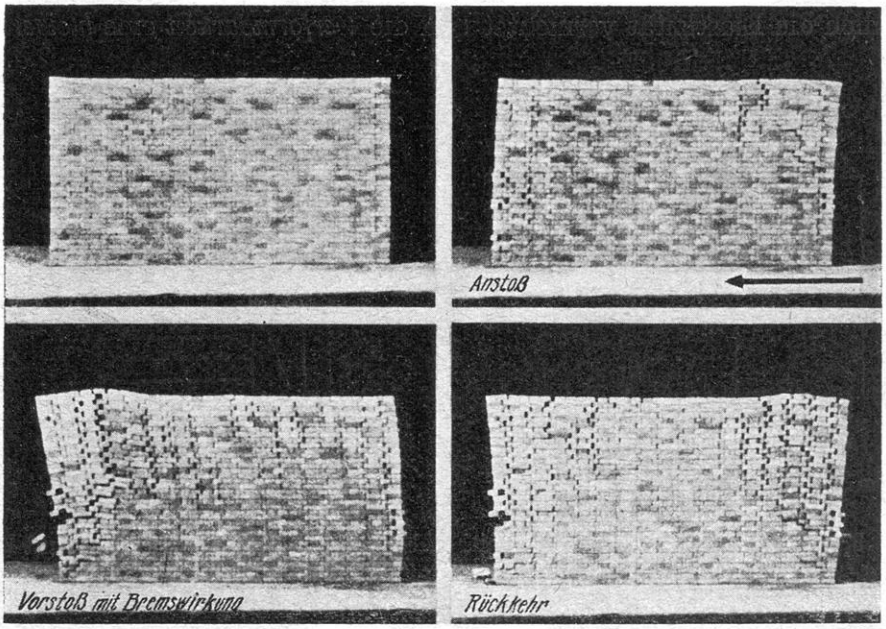

Abb. 8. Schubverformung einer Längsmauer aus Trockenmauerwerk durch Stoß. Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

b) Der Beanspruchungsplan ändert sich mit der Struktur des Mediums während des Ablaufes eines Erdbebenstoßes.

Die Anfangsphase der Verformung, der erste *Anstoß*, entwickelt sich unter folgenden Gesichtspunkten: Jedes unversehrte Bauwerk besitzt als Ganzes und in Teilabschnitten eine gewisse *Elastizität*. Deshalb gilt ganz allgemein für freistehende Mauern, wenn sie senkrecht oder schräg zur Stoßrichtung verlaufen, die Tendenz zur *Biegung* nach Art eines unten eingespannten Stabes. Dagegen verursacht in Mauern, die in der Stoßrichtung stehen, die durchziehende Druckwelle eine Verformung durch *Schub* (Abb. 8). Bei freistehenden Gebäuden verwischt sich aller-

dings dieser theoretische Unterschied bis zu einem gewissen Grad durch die Kopplung der Mauerschwingungen im steiferen Verband der Gebäudeecken (Abb. 9). Von Elastizität, Verbands- und Materialsteifigkeit hängt es ab, wie weit das natürliche Streben nach elastischer Verbiegung zur Geltung kommt. Dabei spielt neben dem Freiheitsgrad der Bewegung der von oben nach unten wachsende Verformungswiderstand Abb. 10, den die Auflast des Gebäudes bedingt, die ausschlaggebende Rolle.

Ganz anders liegen die Verhältnisse in der Hauptphase, dem anschließenden weiteren *Vorstoß* bis zum Maximum von Bodenverrückung und meistens auch Schadenwirkung. Jedoch unter der Voraussetzung, daß die Anfangsphase bereits zu Zerreißungen geführt hat. Dann ist nämlich die Elastizität vernichtet und die *Verformbarkeit* eine *bleibende*

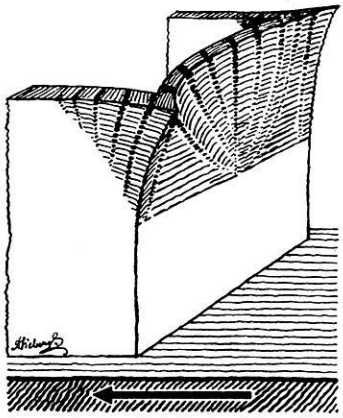

Abb. 9. Gekoppelte Verformung von Längs- und Quermauern bei Horizontalstoß; schematisch.

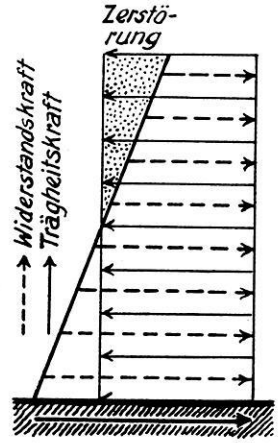

Abb. 10. Festigkeitsverteilung und Beanspruchung des Mauerwerks durch Horizontalstoß.

geworden, so daß von da ab ein grundverschiedener Beanspruchungsplan den Ablauf der Verformung bestimmt. In dem aufgelockerten Medium gewinnen, abgesehen vom Stoßimpuls, neu geschaffene Bewegungsfreiheiten und Wackelschwingungen mit ihren Folgen maßgebliche Bedeutung. Besonders wirksam werden Wackelschwingungen bei unmittelbarer Aufeinanderfolge mehrerer Erschütterungen, unter Umständen auch in schwach dämpfenden Böden.

Hieraus ergibt sich zunächst die höchst beachtenswerte Tatsache, daß beim Anstoß normalerweise *elastische* Verformung die Leitlinien des Zerstörungsbildes anlegt, während sich die Weiterentwicklung unelastisch vollzieht.

Bloß im Sonderfalle von ausgesprochener *Sprödigkeit* tragender Bau-

werksteile, hauptsächlich der Ecken, inbezug auf Material und Verband nimmt der Zerstörungsmechanismus andere Form an. Dann tritt *Bruch* an die Stelle von Verbiegung dort, wo die Festigkeitsgrenze überschritten wird, und zwar verbunden mit *Kippen* an der Bruchstelle bei entsprechendem Freiheitsgrad und ausreichender Amplitude.

Schließlich gelangen wir zur Erkenntnis, daß normal dimensionierte Gebäude einen anderen Verformungsplan haben müssen als überschlanke.

c) Normalbauten. Als solche haben diejenigen Bauwerke zu gelten, deren Höhe die größte Länge nicht wesentlich überschreitet. Ihrer Unter-

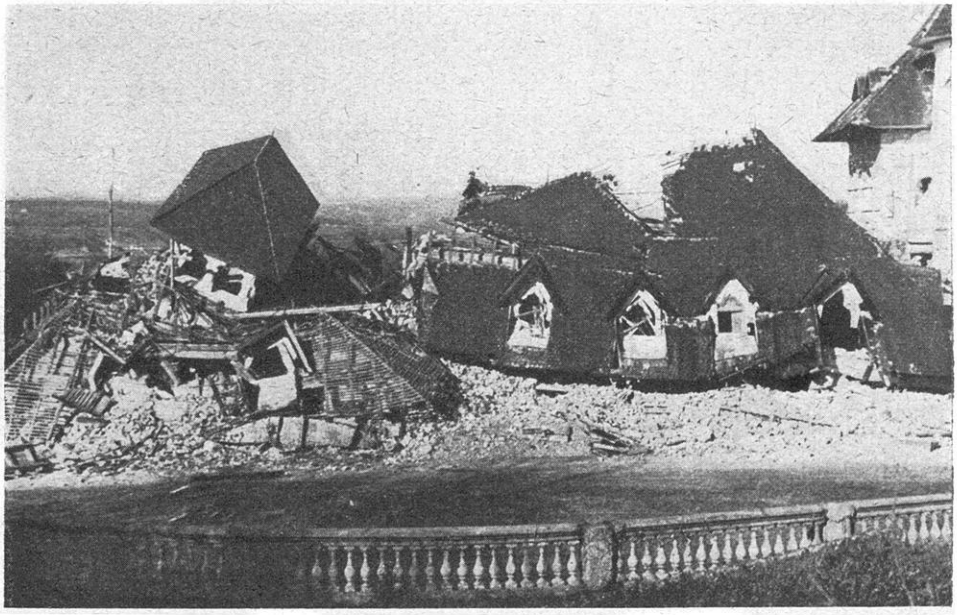

Abb. 11. Vollständiger Zusammenbruch infolge übermäßig schweren Daches. Aufnahme eines ausländischen Ministeriums.

suchung muß ein *freistehendes Haus* von normaler Bauausführung und normalem Erhaltungszustand zugrunde gelegt werden.

1. Sämtliche Bauweisen besitzen gemeinsame Eigenschaften, die zu übereinstimmendem Zerstörungsplan führen. Etwaige Abweichungen sind nur scheinbare.

Im obersten Gebäudeteil ist, wie wir sahen, der von der Auflast bedingte Verschiebungswiderstand am geringsten, der Freiheitsgrad der Bewegung am größten (Abb. 10). Infolgedessen beginnen dort die Verformungen und erreichen dort auch ihr Maximum; ohne Rücksicht darauf, daß die Mauerstärken in den oberen Geschossen auch noch abzunehmen pflegen. Der Stütze beraubte Gebäudeteile stürzen zur Tiefe, be-

sonders beim Auftreten von Wackelschwingungen. Je stärker der Erdstoß war, desto weiter rücken die Schäden gegen das Fundament vor (Abb. 6 und 7).

Die Widerstandsfähigkeit hängt von der Art des Zusammenfügens der einzelnen Bauteile und vom Baumaterial ab. Gebäudeabschnitte abweichender Konstruktion oder verschiedenen Materials reißen aus dem Verband heraus. Daraus ergibt sich die Gefährlichkeit von späteren *Um-*

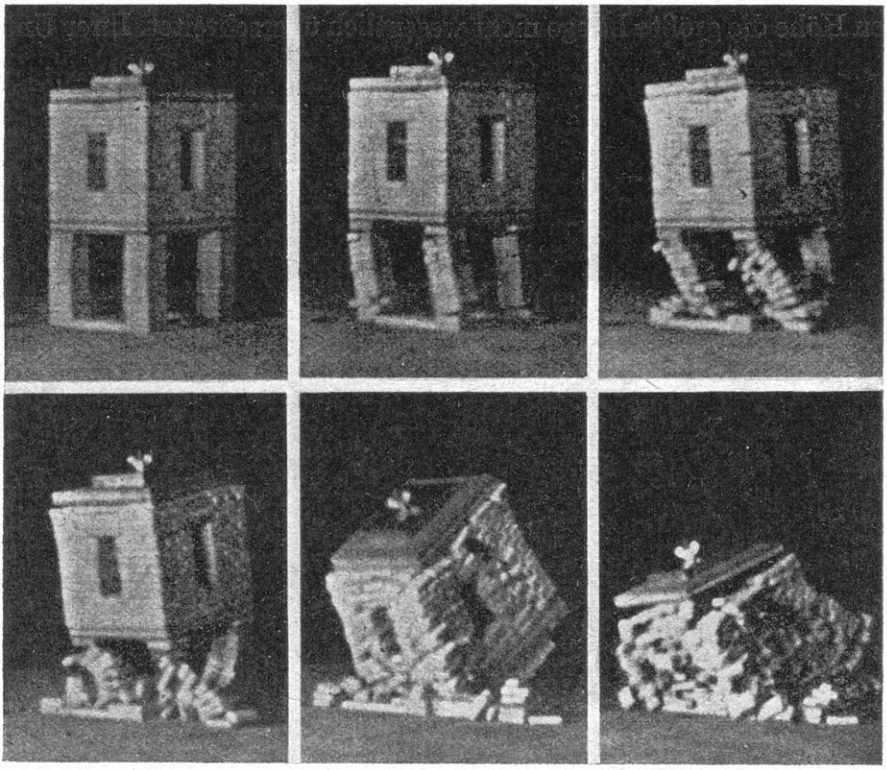

Abb. 12. Wirkung zu schweren Oberteils; Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

und *Anbauten*. Besonders schwächend wirken Fenster, Türen und sonstige *Mauerdurchbrüche*, selbst wenn sie nachträglich zugemauert worden sind; also auch unsachgemäß ausgebesserte Erdbebenschäden früherer Zeit.

2. Zwei Sonderfälle müssen besonders hervorgehoben werden.

Bei Gebäuden mit unverhältnismäßig *schwerem Dach* oder Obergeschoß wirkt der obere Abschnitt als „stationäre Masse". Das heißt, er nimmt an der Bewegung nicht teil, so daß das tragende und von der Bodenverrückung mitgeschleppte Untergeschoß abgeschert wird und zu Bruch geht. Dies bedingt allerdings restlose Zerstörung des ganzen Ge-

bäudes, in Abb. 11 eines massiven Schlosses. Die Entwicklung dieses Vorganges veranschaulicht Abb. 12 am Beispiel eines südosteuropäischen Glockentürmchens. Hier erfolgte auffälligerweise der Niederbruch nach einer Richtung, die fast um 90° von der Stoßrichtung abweicht. Ursache für die Drehung ist die zufällig größere Standfestigkeit des hinteren rechten Pfeilers. Es bedarf wohl kaum mehr eines besonderen Beweises, daß die sogenannten „rotatorischen" Bewegungen bei Erdbeben auf entsprechende Weise vorgetäuscht werden.

Der Fall von spröder Verformung tragender Bauwerksteile kann schon durch ungünstige Verteilung der Mauerdurchbrüche herbeigeführt werden. So bringt die Lage vor allem der Haustür oder gar einer Tordurchfahrt *dicht neben der Gebäudeecke* im Verein mit den darüber befindlichen Fenstern den Stabcharakter der Ecke ganz ausgesprochen zur Geltung. Denn der gefährliche Querschnitt, die Einspannstelle am Erdboden ist frei und besonders gefährdet. In diesem Falle wirkt die Ecke als Hebelarm und der Bruch beginnt am Erdboden, so daß sich das Herauskippen besonders verhängnisvoll auswirken muß (Abb. 13).

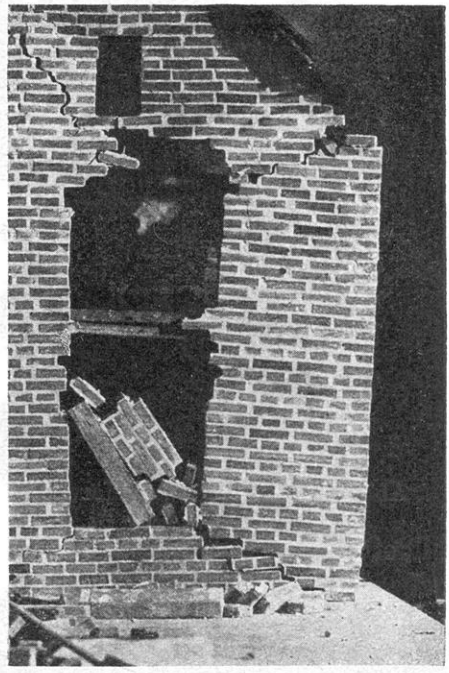

Abb. 13.
Herauskippen einer geschwächten Gebäudeecke vom Erdboden aus.

3. Ziegelbauten können als Grundtypus der *steifen Bauweisen* gelten. Denn sie gewähren, wie bereits erwähnt wurde, den aufschlußreichsten Einblick in den Verformungs- und Zerstörungsvorgang von Normalbauten, weil ihre Mauern in Scharen von Schwächezonen aufgeteilt sind, die der horizontalen Bodenverrückung parallel laufen.

Schwächstes Baumaterial ist der *Mörtel*, die wabenartige Bettung der Ziegel. Er wird zerstört und gibt dann Raum für die Verformung bei Zug- und Schubbeanspruchung. Die Mörtelbrücken der Stoßfugen werden abgeschert und die Lagerfugen dienen als Gleitflächen für das Wandern von Ziegeln (Abb. 14) entsprechend den Kraftrichtungen und Freiheitsgraden. Allerdings unter der fast stets zutreffenden Voraussetzung, daß

vor allem die Ecken der Gebäude der ausgelösten Verbiegungstendenz genügend folgen. Leisten aber die Ecken Widerstand, dann ist das Wandern von Ziegeln unterbunden. Das Gleiche gilt für Steifigkeit von Mauern.

4. Nachgiebige Holzbauten verdienen besondere Beachtung, weil sie in ländlichen Siedlungen mancher Erdräume eine bevorzugte Rolle spielen. Sie sind Hauptvertreter der *elastisch-zähen Bauweise*. Bei ihrer Verformung überwiegt die Biegungskomponente, ohne den bestimmenden Einfluß der horizontalen Schubwirkung zu verringern. Hauptgefahr

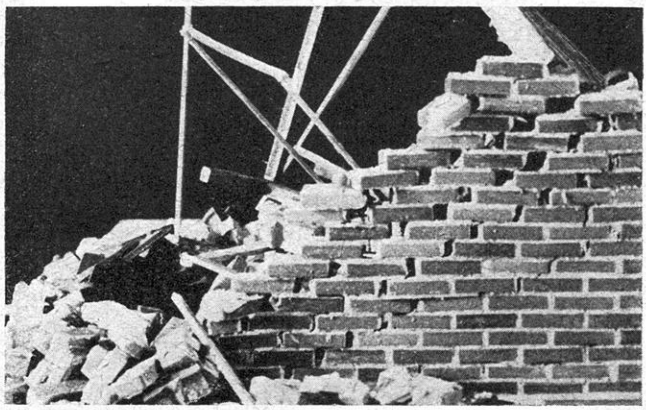

Abb. 14. Abscheren des Mörtels in den Stoßfugen durch horizontalen Stoß.

bildet das Überschreiten der Elastizitätsgrenze in den Pfählen oder Verzahnungen der Ecken, das vor allem die Einspannstelle am Erdboden bedroht.

d) Überschlanke Bauten. Je mehr die Höhe eines Bauwerks dessen größte Länge überschreitet, je schlanker es also wird, desto wesentlicher ändert sich der Verformungsplan im Vergleich zu den Normalbauten. Auch hier sei zunächst wieder ein *freistehender Bau* normaler Beschaffenheit betrachtet.

Mit wachsendem Schlankheitsgrad tritt bei horizontaler Stoßbeanspruchung die *Verbiegung* immer stärker in die Erscheinung; am reinsten bei „überschlanken" Bauwerken, vor allem an Fabrikschornsteinen, Türmen, Hochhäusern u. dgl. Solche Bauten verbiegen sich als Ganzes in der bekannten Weise, mit neutraler Faser in der Mitte und maximalen Randspannungen.

Die Zerrung auf der konvexen Seite befördert das Aufreißen von klaffenden Spalten entsprechend den Krümmungsradien, der Druck aber Zermalmung oder Knickung des Baumaterials. Bei größeren Amplituden

geht also der Charakter eines elastischen Stabes verloren. Ist die Schwingungsdauer groß in bezug auf den Gesamtstoß, dann kann der obere Bauabschnitt bereits vor Erreichen der Maximalamplitude der Boden-

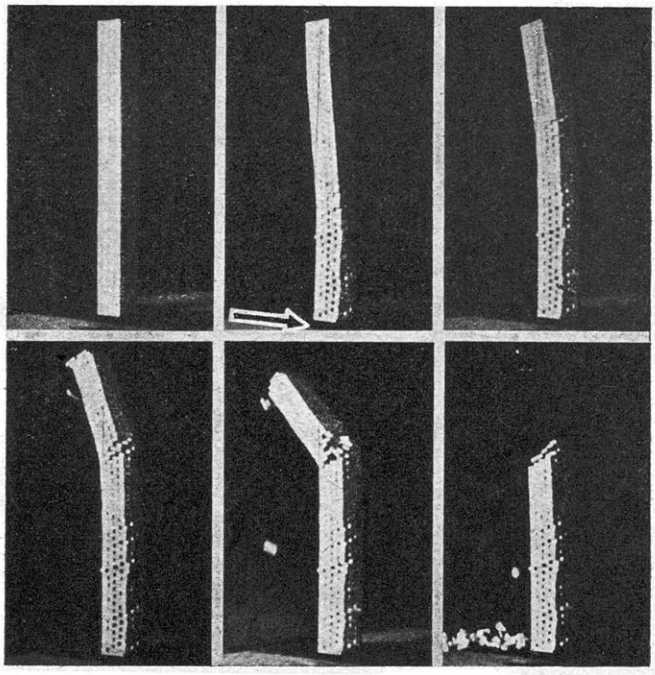

Abb. 15. Verformung und Zerstörung eines überschlanken Bauwerks (Fabrikschornstein) durch Verbiegung; Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

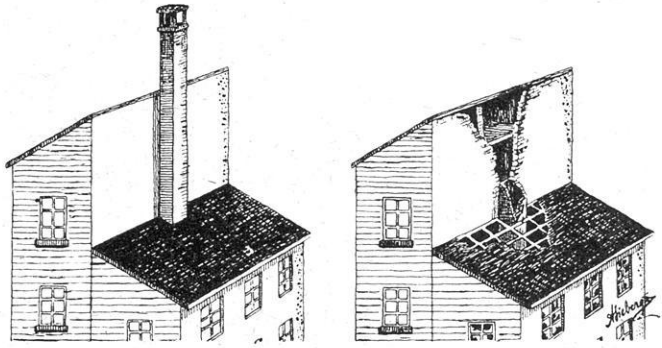

Abb. 16. Brandmauer und außen hochgeführter Schornstein vor und nach einem Erdbeben 6. Grades.

verrückung eine derartige Schwerpunktsverlagerung erfahren, daß er entgegengesetzt der Stoßrichtung abbricht; meistens in etwa zwei Drit-

teln der Gesamthöhe. Abb. 15 veranschaulicht dies am typischsten Falle, einem Fabrikschornstein.

e) Zufallsschäden werden häufig von Wackelschwingungen hervorgerufen. Durch den Sturz losgerissener Gebäudeteile auf sonst unver-

Abb. 17. Zufallsschäden durch Herausstoßen eines Kirchturmgiebels.

sehrte Bauteile können sie unter Umständen den Anschein viel stärkerer Bodenerschütterungen erwecken, als tatsächlich vorlagen. Deshalb beanspruchen sie sorgfältige Sonderberücksichtigung, die bisher meistens fehlte.

Schon niederbrechende Türmchen, Balkone, ornamentale Aufsätze und Hausschornsteine können beachtenswerte Zufallsschäden hervor-

rufen. Als besonders gefährlich erweist sich die Sitte mancher Gegenden, die Schornsteine auf der Außenseite einer „Brandmauer" anzubringen, die zwei verschieden hohen Häusern gemeinsam ist; denn der abreißende Schornstein pflegt Teile der Brandmauer mitzunehmen. Dementsprechend verursachte in Abb. 16 ein Erdstoß 6. Grades einen Schaden 8. Grades. Besonders charakteristisch ist der in Abb. 17 wiedergegebene Fall. Der abgeworfene Turmgiebel war nämlich der einzige Erdbebenschaden der gesamten Ortschaft. Bloß der unglückliche Zufall, daß der Giebel das Kirchendach durchschlug, hatte die weitgehende Verwüstung des Kircheninneren zur Folge.

3. Auslesefaktoren.

Es möge einmal angenommen werden, eine Ortschaft setze sich bloß aus Häusern gleicher Größe und Bauart, gleichen Materials und Er-

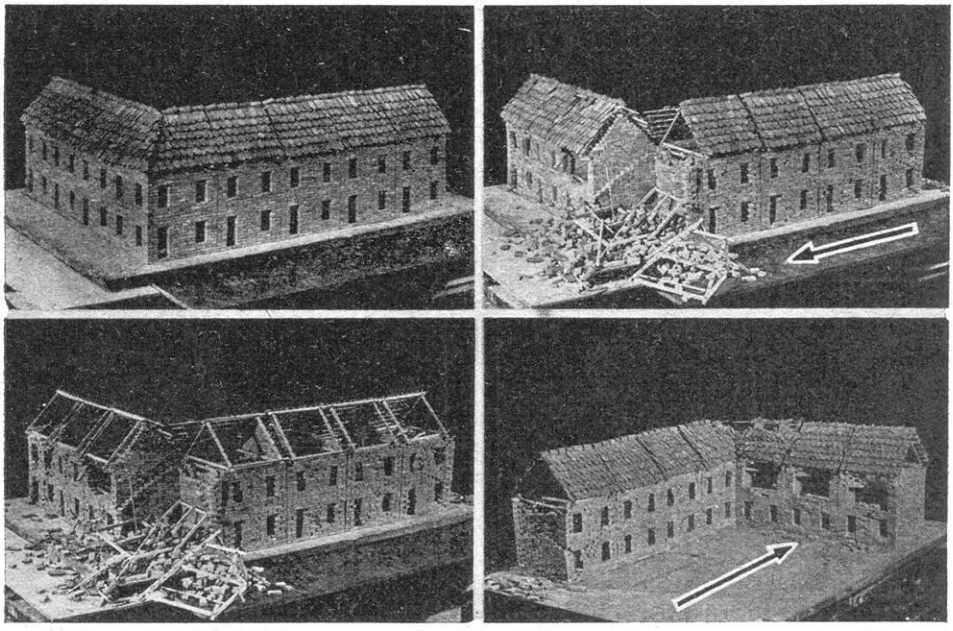

Abb. 18. Erdbebenwirkung an einer Straßenecke mit Häusern gleicher Bauweise auf gleichem Untergrund; unten links nachträglich abgedeckte Dächer, rechts Rückseite.

haltungszustandes zusammen; außerdem sei der Baugrund überall der gleiche, etwa gesunder, gewachsener Fels. Selbst unter dieser Voraussetzung würde das Schadensbild eines schweren Erdbebens, wie Abb. 18 zeigt, kein einheitliches sein, sondern auffällige Unterschiede aufweisen. Für die Berechtigung dieser Behauptung sprechen alle Erfahrungstat-

sachen. Demnach muß es neben der Gebäude- und Baugrundbeschaffenheit noch *zusätzliche* Auslesefaktoren geben. Da die letzteren in der Praxis so gut wie gar keine Beachtung gefunden haben, verlangen die bisher bekannt gewordenen eine eingehendere Würdigung ohne Rücksicht auf die Baugrundfrage, der der nächste Abschnitt vorbehalten bleibt.

Die gerade auf den Fachmann oft verblüffend wirkende Mischung vielgestaltiger Schadensbilder geht, so weit sich bis jetzt übersehen läßt, sehr oft auf Koppelung der *Bewegungsfreiheit* des Gebäudes mit der *Stoßrichtung* zurück.

a) Das freistehende Haus hat ungestörte Bewegungsfreiheit nach allen Richtungen hin. Deshalb ist bei ihm die Reaktion auf die Stoß-

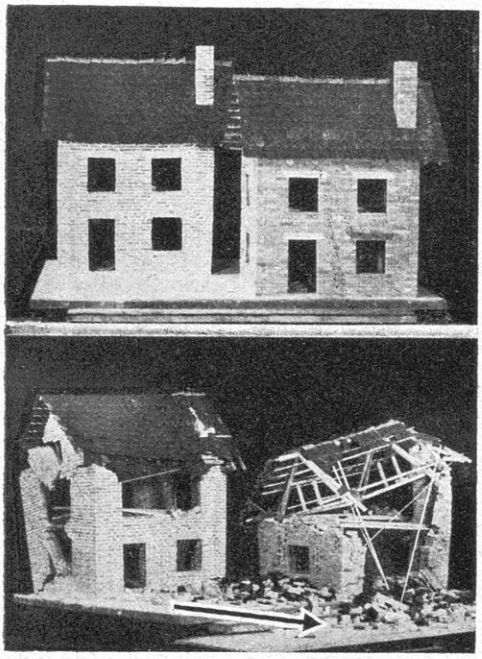

Abb. 19. Zerstörung durch Stoß auf die Frontmauern.

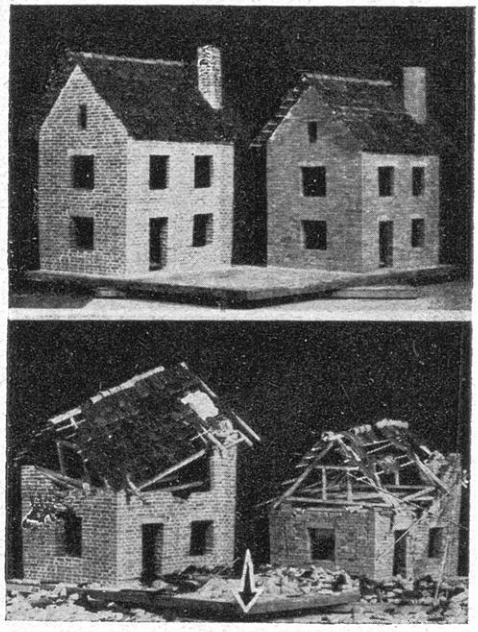

Abb. 20. Zerstörung durch Schrägstoß.

richtung am eindeutigsten, das Bild nach den bisherigen Darlegungen ohne weiteres verständlich. Betrachten wir die Hauptfälle:

1. Wie Abb. 4 und 19 für ein Normalhaus zeigen, werden jene Mauern am stärksten in Mitleidenschaft gezogen, auf die der Stoß mehr oder minder senkrecht auftrifft; je nachdem also die Giebelmauern oder die Frontmauern. Hierbei fällt der Seitensteifigkeit die bestimmende Rolle zu.

Aber beim Schrägstoß (Abb. 20) wird die Eckensteifigkeit am meisten beansprucht.

2. Die Verbiegung eines überschlanken Gebäudes, eines Hochhauses, veranschaulicht die außerordentlich aufschlußreiche Abb. 50 in allen Entwicklungsphasen; und zwar für den verwickelteren Fall eines Schrägstoßes.

b) Eine geschlossene Straßenzeile ist dadurch charakterisiert, daß sich die Häuser gegenseitig stützen und so vor allem in ihrer Bewegungsfreiheit beeinflussen. Am auffälligsten wirkt sich letzteres dann aus, wenn die *Häuserreihe in der Stoßrichtung* verläuft.

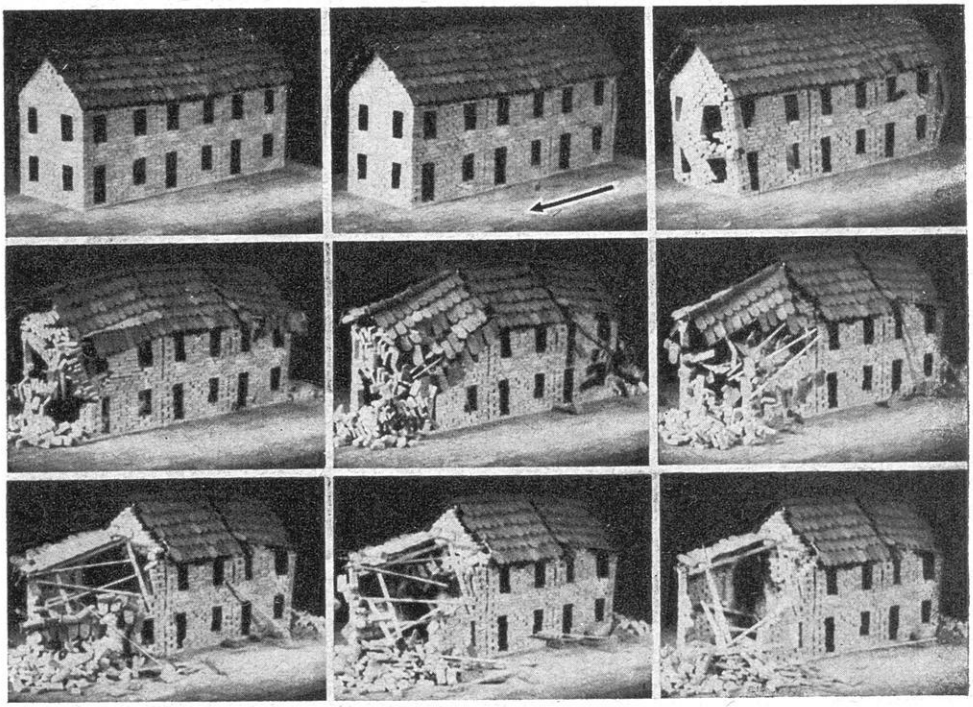

Abb. 21. Zerstörungen durch Stoß in Richtung der Straßenzeile; Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

In diesem Falle verhält sich die ganze Häuserreihe wie ein einziges Gebäude. Das *letzte*, weniger das *erste Haus*, als diejenigen mit der größten Bewegungsfreiheit, erleiden die meisten Beschädigungen (Abb. 21). Die dazwischen liegenden Häuser werden normalerweise geringfügig in Mitleidenschaft gezogen, zeigen aber das Bestreben, sich durch Vertikalrisse voneinander zu trennen. Demnach trifft die übliche Erklärungsweise, der Vergleich mit dem Stoß auf eine Reihe elastischer Kugeln, nicht den Kern der Sache. Auf zwei Sonderfälle sei noch hingewiesen:

Abb. 22.
Schief gedrücktes Ladengeschoß.

In einer ausgesprochenen Geschäftsstraße pflegen die Kaufläden mit den großen Mauerlücken der Schaufenster die Erdgeschosse zu schwächen. Dann kann an der Straßenfront ein Schiefdrücken der tragenden Zwischenpfeiler Abb. 22, entsprechend Abb. 12, die Folge sein.

Die Zwischenschaltung höherer Häuser verursacht Zufallsschäden an niedrigen Häusern nebenan. Besonders hoch ragende, schlanke Häuser üben außerdem, unterstützt durch Verbiegung, infolge des langen Hebelarmes verstärkte horizontale Schubwirkung auf Nachbarhäuser aus (Abb. 23).

c) Der geschlossene Häuserblock wird ringsum von Straßenzeilen begrenzt, die in Eckhäusern zusammenstoßen. Infolgedessen besitzt jeder Blockabschnitt andere Bewegungsfreiheiten, so daß Vielgestaltigkeit des gesamten Schadenbildes zur Selbstverständlichkeit wird; und zwar für jede Stoßrichtung in anderer Form (Abb. 24). Eine bevorzugte Rolle bei der Gefährdung spielen jetzt die Eckhäuser. Besonders dann, wenn

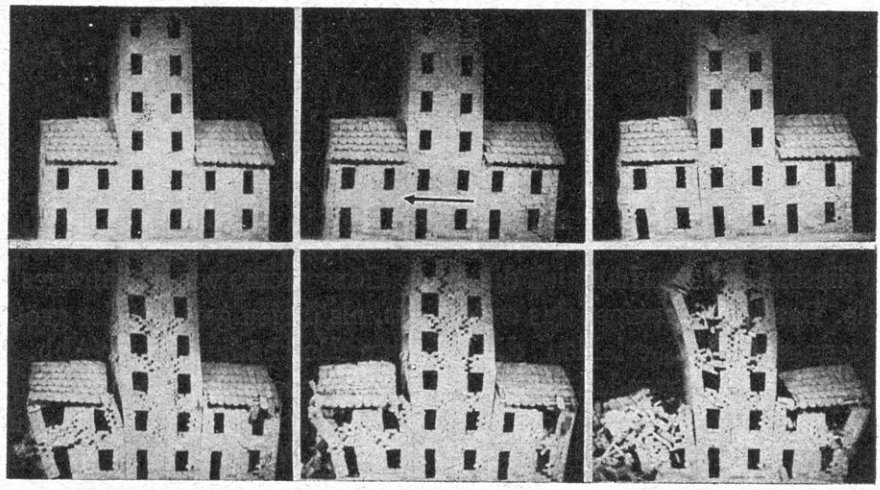

Abb. 23. Wirkung eines Hochhauses bei Stoß in der Richtung der Straßenzeile.

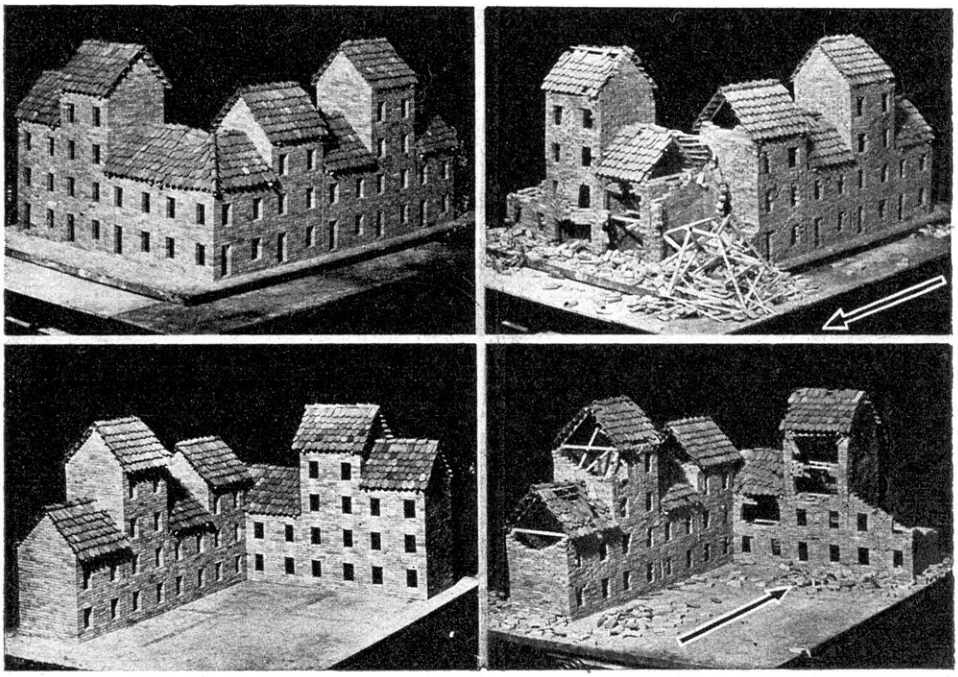

Abb. 24. Erdbebenwirkung auf eine Straßenecke; oben Vorder-, unten Rückseite.

sie überschlank dimensioniert sind, etwa als Hochhäuser die Nachbarschaft überragen wie das vielgenannte Carltongebäude in Bukarest (Abb. 25, vgl. auch Abb. 50).

Abb. 25.
Das Carlton-Hochhaus in Bukarest vor der Zerstörung.

Zweiter Abschnitt.

Einfluß der Baugrundbeschaffenheit auf die Erdbebenfestigkeit von Bauwerken.

Die jedem Architekten und Bauingenieur geläufige Rücksichtnahme auf die Beschaffenheit des Baugrundes erfordert in Gegenden mit schweren Erdbeben eine weit über den normalen Rahmen hinaus gesteigerte Aufmerksamkeit. Schon aus der unbestreitbaren Tatsache, daß bei manchen Baugründen jegliche Erdbebenbaukunst restlos versagt, während bei anderen die Wirkungen schwerster Erdbeben verhältnismäßig bescheiden bleiben, geht die Bedeutung dieses Auslesefaktors zur Genüge hervor. Die Gesetzmäßigkeit für die Abbildung der geologischen Untergrundsverhältnisse ist sehr streng. Beispielsweise konnte ich für ein Erdölgebiet, der genauen geologischen Unterlagen wegen, im Voraus die Verteilung der Bebenwirkungen angeben; der Besuch dieser Gegend hat meine Voraussagen in allen Einzelheiten bestätigt.

Von den Versuchen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, die zum Teil alten, aber kaum beachteten Erfahrungen in ein praktisch verwertbares System zu bringen [10–12, 16], soll hier in kurzer Zusammenfassung die Rede sein.

4. Vorbemerkungen.

Als *Baugrund* gilt dasjenige Gestein, auf dem die Fundamente stehen. Nicht selten ist dieses Gestein durch einen dünnen Schleier von Lockermassen oder Schwemmland dem Blick entzogen. Dies darf nicht übersehen werden, weil sonst folgenschwere Irrtümer entstehen können.

Drei nach Ursache und Wirkungen verschiedene Faktoren (Abb. 26) bedingen entweder für sich allein oder gemeinsam den Charakter der Gebäudeschäden beim Erdbeben, soweit sie vom Baugrund ausgehen:

a) Stoßschäden sind die unmittelbare Folge der auf das Gebäude übertragenen Bodenverrückung. Sie wachsen mit der Amplitude der Bodenverrückung und liefern jene Grundtypen von Schadensbildern, die wir im ersten Abschnitt kennenlernten. Ihr Kennzeichen ist der Beginn der Zerstörungen im obersten Gebäudeabschnitt, das schräge Vorrücken gegen den Boden bei stärkerer Beanspruchung.

b) Setzungsschäden entstehen und wachsen mit ungleichmäßigen Schrumpfungen des Baugrundes in der Vertikalen. Sei es, daß die Erdbebenerschütterungen entweder engere Packung oder ein seitliches Ausweichen nichtfelsigen Untergrundes herbeiführen. Dabei kann das Gebäude schief gestellt werden. In Verbindung hiermit erweist sich als be-

sonders gefährlich das etwaige Aufreißen breit klaffender Bodenspalten. Stets beginnt in solchen Fällen die Schädigung vom Fundament, also von unten her selbst dann, wenn die Bebenenergie für Stoßschäden nicht ausreicht. Die Entwicklung des Schadensbildes hinkt manchmal einige Zeit nach.

c) Rutschungsschäden setzen rollige oder plastisch-schmierende Baugründe voraus, die ein Abwärtsgleiten des Gebäudes entweder als Ganzes oder in einzelnen Abschnitten zulassen. Hiervon gefährdet sind also Gebäude an Hängen oder nahe den Kanten von Terrassen und Ge-

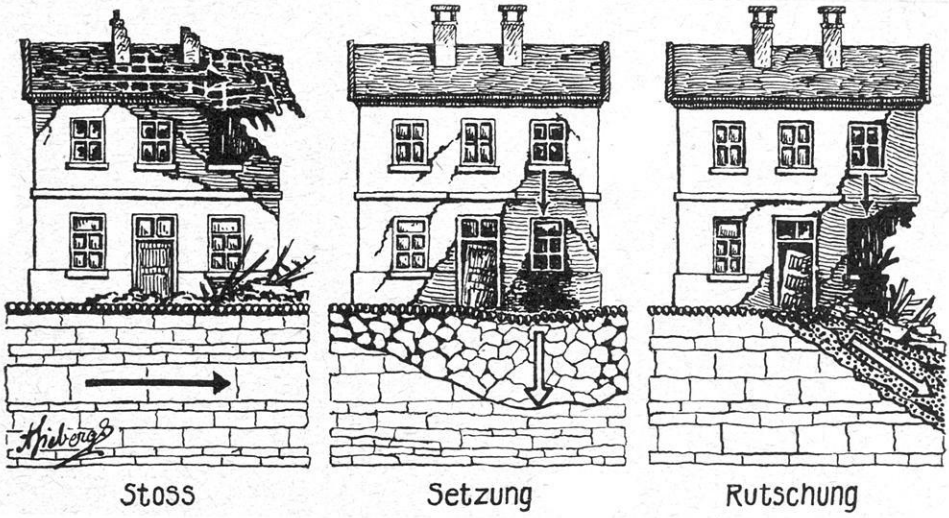

Abb. 26. Zur Entstehung der Hauptarten von Gebäudeschäden bei Erdbeben.

ländeeinschnitten. Ursache ist die schlagartige Auslösung des labilen Baugrundgleichgewichtes durch den Erdstoß. Die Rutschungsschäden nehmen wieder vom untersten Gebäudeabschnitt ihren Ausgang und zeigen ein verschärftes Bild der Setzungsschäden.

Nebenbei bemerkt kann es zu Setzungs- und Rutschungsschäden gefährlichen Ausmaßes auch ohne Erdbeben kommen. Sei es durch Überbelastung des Baugrundes oder durch unterirdische Zusammenbrüche, etwa in Bergwerksgegenden.

5. Die Baugründe.

An Zahl und Bedeutung überwiegen bei Erdbeben die *Stoßschäden* derart, daß die beiden anderen Schadensarten sekundärer Natur nur nebenbei berücksichtigt zu werden brauchen.

a) Baugrund und Amplitude der Bodenverrückung sind im Prinzip folgendermaßen miteinander verknüpft:

Mit *wachsender Elastizität* bzw. Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Gestein werden die *Amplituden kleiner,* also sinkt die Stoßgefährlichkeit des Baugrundes. Diese Feststellung der Reichsanstalt [20, Seite 59] erfährt nachstehend durch SPONHEUER eine erweiterte Betrachtung.

Bekanntlich ergibt sich die Schwingungsenergie J eines Massenpunktes von der Masse m und der Schwingungsdauer T bei einer Schwingweite A zu

$$J = \frac{m \cdot 2\pi^2 \cdot A^2}{T^2}. \tag{1}$$

Durch das Flächenstück F der Front eines Wellenzuges, der sich mit der Geschwindigkeit V fortpflanzt, wird in jeder Sekunde ein Raum $F \cdot V$ in Schwingung versetzt. Wenn ϱ die Dichte der Masse bedeutet, beträgt die Schwingungsenergie der Masse des Raumes, der pro Sekunde von der Fläche F der Wellenfront durchlaufen wird,

$$J_t = \frac{2\pi^2 \cdot A^2}{T^2} F \cdot V \cdot \varrho\,; \tag{2}$$

Nach A aufgelöst ergibt sich

$$A = \sqrt{\frac{J_t \cdot T^2}{2\pi^2 \cdot F \cdot V \cdot \varrho}}.$$

Da Energie und Schwingungsdauer gleich bleiben, ist

$$A = c \sqrt{\frac{1}{V \cdot \varrho}}. \tag{3}$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ihrerseits steht mit der Dichte und dem Elastizitätskoeffizienten E in folgender Beziehung:

$$V_L = \sqrt{\frac{6E}{5\varrho}}; \qquad V_T = \sqrt{\frac{2E}{5\varrho}}; \qquad \text{allgemein } V = C_1 \sqrt{\frac{E}{\varrho}}. \tag{4}$$

Führen wir den Ausdruck (4) in die Gleichung (3) ein, so erhält man

$$A = \frac{C}{\sqrt[4]{E \cdot \varrho}};$$

d. h. die Schwingweite ist der 4. Wurzel aus dem Produkt Elastizitätskoeffizient × Dichte des durchlaufenen Mediums umgekehrt verhältnisgleich, oder mit Bezug auf Gleichung (3): Die Schwingweite ist der Quadratwurzel aus dem Produkt Fortpflanzungsgeschwindigkeit × Dichte des Mediums umgekehrt verhältnisgleich.

In gewissem Sinne fehlt Elastizität auch den Lockermaterialien nicht. Die Setzungsgefährlichkeit nimmt gleichfalls mit der Elastizität bzw. der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ab.

Lockerböden großen Porenvolumens, also grobstückige und eckige, verursachen wegen der geringen inneren Reibung große Amplituden und steigern sowohl die Setzungs- als auch die Rutschungsgefahr.

Lockerböden in dünner Schicht auf hochelastischer Felsunterlage werden auch durch die Bewegungsfreiheit zu großen Amplituden angeregt.

In Lockerböden besonders großer Mächtigkeit verkleinern sich die Amplituden durch Umwandlung von Energie in Reibungsarbeit.

Wasserdurchtränkung bedingt größere Amplituden infolge der Verringerung der inneren Reibung.

b) Wichtigere Baugründe. Am weitesten verbreitet sind die nichtfelsigen, also die gefährlichen Baugründe. Überdies pflegen gerade sie für

Abb. 27. Dorf auf Schuttkegel in einem Flußtal.

die Anlage von Bauwerken besonders bevorzugt (Abb. 27) zu werden, weil sie im gewöhnlichen Leben Vorteile mancherlei Art bieten. Beim Übertritt der Erdbebenwellen von Felsgestein in lockere Sedimente, Verwitterungsschutt und Schwemmland (Abb. 28) vergrößern sich die Amplituden der Bodenverrückungen. Der Grad der Gefährlichkeit ergibt sich aus nachstehender Charakterisierung.

1. Feste Felsmassen, die als gewachsenes Gestein unzersetzt an der Erdoberfläche zutage liegen, bilden wegen ihrer hohen Elastizität auch bei Erdbeben den *sichersten* Baugrund; zumal auch Setzungs- und Rutschungsschäden hier nicht möglich sind. Für ernsthaftere Gebäudeschäden reichen Amplituden und Beschleunigungen unter normalen Verhältnissen nicht aus. Ein besonders eindrucksvolles Beispiel hierfür

lieferten die fast restlosen Zerstörungen 1908 am Strand von Messina, während auf benachbarten Felshöhen selbst schwach gebaute Landhäuser nahezu unversehrt blieben. [14]

Vorstehendes gilt in vollem Umfang für solche Felsmassen, denen der Bauingenieur statisch eine „zulässige Bodenpressung" von etwa 20–200 kg/cm² beizumessen pflegt. Als Hauptvertreter seien genannt Eruptivgesteine, Kristalline Schiefer, Quarzite, dicht gepreßte Massengesteine des Paläozoikums, manche Brekzien und Konglomerate mit kieseligem oder kalkigem Bindemittel, harte Sand- und Kalksteine sowie harte Dolomite.

Selbstverständlich fehlt auch ihnen die große Bebensicherheit überall dort, wo Verwitterung den Fels zermürbt, zerbröckelt oder gar in Schutt

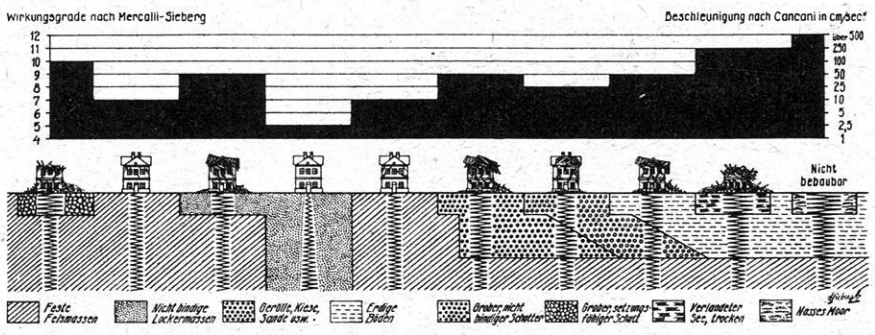

Abb. 28. Erdbebenschäden und Bodenamplituden in ihrer Abhängigkeit vom Untergrund; schematisch.

aufgelöst hat. Solche Verwitterungsböden können ein zusätzliches Gefahrmoment bis zu 3 Wirkungsgraden der Mercalli-Sieberg-Skala schaffen. Praktisch belanglos pflegen im allgemeinen bloß die geringen Mengen von Verwitterungsprodukten zu sein, die bei Quarziten, Kieselschiefern, Marmoren, Kalksteinen und Dolomiten anfallen.

In diesem Zusammenhang seien die Verwitterungsprodukte sonstiger Felsgesteine kurz genannt:

Basalte, Phonolithe, Grauwacken, Tonschiefer und Tuffe liefern Lehm- und Tonböden, die bei den beiden zuletzt genannten Gesteinen besonders tiefgründig sind.

Granite, Quarzporphyre, Trachyte, Diabase und Gneise verwittern zu sandigen und lehmigen Böden. Besonders tiefgründig kann die Auflösung von Granit zu Grus werden.

Bei Sandsteinen, Brekzien und Konglomeraten entspricht die Gefährlichkeit der entstandenen Verwitterungsprodukte der Mächtigkeit der entstandenen Sandmassen und der Beimengung eckiger Gesteinsbrocken.

Einen Übergang zur nächsten Gruppe bilden jene Felsgesteine, deren zulässige statische Pressung bei etwa 7–20 kg/cm² liegt. Hierzu gehören

weiche Sandsteine, mürbe Kalksteine, verfestigte Tuffe u. dgl. Bei ihnen beträgt die zusätzliche Wirkung etwa 1 Grad.

2. Lockerböden sind die eigentlich gefährlichen Baugründe mit zulässiger statischer Pressung von mindestens 1½ bis höchstens 7 kg/cm². Da die dynamische Beanspruchung um ein Vielfaches stärker wirken kann als die statische, werden bis zu 4 zusätzlichen Wirkungsgraden erreicht. Selten treten die Lockerböden in den nachstehend genannten reinen Formen auf; vielmehr meistens in verschiedenartigen Mischungen, wobei neben erdigen und sonstigen Einbettungen vor allem die Wasserdurchtränkung und die hierdurch beförderte Ausbildung von Gleitflächen eine höchst beachtliche Rolle spielen. Für die erdbebenkundliche Baupraxis ergibt sich deshalb die Notwendigkeit einer örtlichen Einschätzung, die der jeweiligen Höchstgefahr Rechnung tragen muß. Ferner ist sehr zu beachten, ob es sich um Ablagerungen großer Mächtigkeit oder bloß um dünne Schleier handelt.

Kleinstückige Böden mit zusätzlich 1–2 Wirkungsgraden erweisen sich am wenigsten gefährlich, und zwar in der Reihenfolge: dichtgepackte Geschiebe, Gerölle und Kiese (bei zulässiger statischer Pressung 7–5 kg/cm²), Sande, Grus und lockere Tuffe bei dichter Packung und mehreren Metern Mächtigkeit (5–4 kg/cm²).

Erdige Böden, also Mergel, Ton, Lehm und Löß (7–1 kg/cm²) bedeuten ein Gefahrmoment von 1–3 zusätzlichen Wirkungsgraden. Flach gelagert und in kompaktem Zustand sind sie nahezu ungefährlich, aber unzuverlässig schon in trocken-bröckeligem Zustand, am meisten beim Aufweichen. Letzteres gilt vornehmlich vom Lehm, dessen Sandgehalt außer dem Aufweichen die Ausbildung von Gleitflächen, also auch die Setzungs- und Rutschungsgefahr besonders begünstigt. Hierher gehören bei genügender Mächtigkeit auch Moränenreste der Eiszeit, Block- und Geschiebelehme.

Zur nächsten Gruppe leitet die Molasse über mit ihrem häufigen Wechsel von sandigen, kiesigen und tonig-mergeligen Schichten sowie örtlich beschränkten Kalk- und Sandsteinbänkchen.

Grobstückige Schuttböden ohne nennenswerte erdige Zwischenlagerungen besitzen eine erheblich gesteigerte Gefährlichkeit. Diese wächst mit der Größe und Eckigkeit der Brocken, also mit dem Porenvolumen und der Verminderung der Reibung, so daß sich die dynamische Beanspruchung ganz besonders auswirkt.

Bei flacher Lagerung bewegen sich für Stoß und Setzung die zusätzlichen Wirkungsgrade normalerweise etwa zwischen 2 und 3. Gefährlicher als Schotter ist Bauschutt, zumal er schon durch statisches Setzen den Gebäuden schädliche Vorspannungen zu geben pflegt. Für die Praxis

sei auf die Gepflogenheit mancher geologischer Karten hingewiesen, stratigraphisch wichtige Schotterhorizonte ohne erklärenden Hinweis darauf darzustellen, daß es sich bloß um wenige Lesesteine handelt.

Die Gefährlichkeit steigert sich unter normalen Verhältnissen um 3–4 Wirkungsgrade für Gehängeschutt (Abb. 29) und Schuttkegel. Geraten diese Baugründe aber ins Rutschen, dann werden die Wirkungen unabsehbar.

Abb. 29. Zerstörung einer Kirche auf Gehängeschutt.

3. Schwemmlandböden sind durchweg feucht und deshalb von sehr geringer Tragfähigkeit. Schon bei statischer Beanspruchung erweisen sie sich als so gefährlich, daß sie als Baugründe entweder gemieden werden oder vollständig ausscheiden.

Schwemmland der Talböden und Flußauen mit 2–4 zusätzlichen Wirkungsgraden wird häufig von den Fundamenten bis in die anders geartete Unterlage hinein durchstoßen. Diese Möglichkeit einer Täuschung muß beachtet werden.

Verlandete Seen weisen ein Gefahrmoment von etwa 3–4 zusätzlichen Wirkungsgraden selbst bei großer Trockenheit auf, die allein eine Bebauung überhaupt ermöglicht.

Schwingböden wie Riede, Moore, Sümpfe und manche verlandete Seen scheiden als Baugründe aus.

c) Verwerfungen (Abb. 30). Schon seit langem habe ich immer wieder den Nachweis erbracht, daß die Nachbarschaft mancher Verwerfungen die Erdbebenwirkung ungünstig zu steigern vermag; daß sogar manche Isoseistenbilder zum erfolgreichen Aufsuchen von unbekannten Verwerfungen durch geologische Kartierungen Anlaß gegeben haben [11, 12]. Beides fand seine Bestätigung auch in anderen Weltgegenden. Aber irgendeine Gesetzmäßigkeit [16] hat sich hierfür noch nicht er-

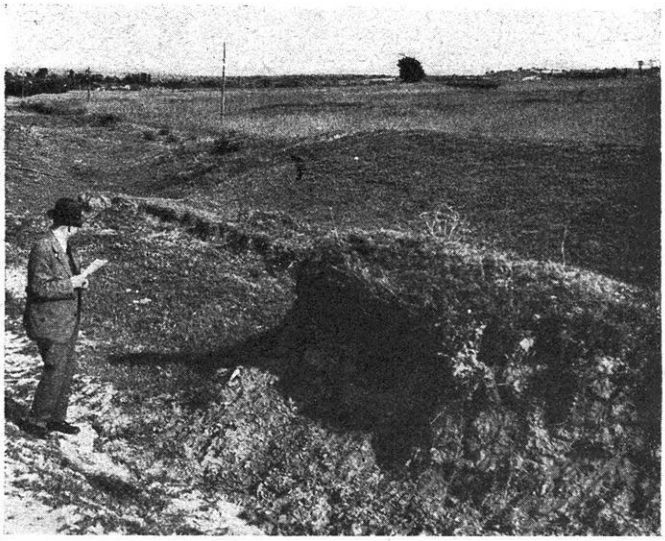

Abb. 30. Lebendige Erdbebenverwerfung, zehn Jahre nach ihrem Sichtbarwerden.

kennen lassen. Mitunter wirken unbedeutende Verwerfungen bedrohlicher als gewaltige Bruchstörungen gleichen Alters in nächster Nähe. Über die Ursachen dieser Abhängigkeit der Erdbebenwirkungen von Verwerfungen fehlt bis jetzt noch jegliche Vermutung, die einige Wahrscheinlichkeit beanspruchen könnte.

Dritter Abschnitt.

Erdbebenkundliche Verwertung von Baugrundforschung.

Die Lösung der Aufgabe, möglichste Erdbebenfestigkeit mit sparsamsten Mitteln zu erzielen, hat die richtige Beurteilung des jeweiligen Baugrundeinflusses zur Voraussetzung. Als *Hilfsmittel* hierfür müssen zur Verfügung stehen: Kenntnis der zusätzlichen Beschleunigungen, her-

vorgerufen durch die Verschiedenheit von Baugründen; ferner Karten der Erdbebentätigkeit, erläutert durch die Angaben von Erdbebenkatalogen, und Karten der Baugrundgefährlichkeit.

Diese Hilfsmittel vermag bloß ein Erdbebenforscher in praktisch verwertbarer Form zur Verfügung zu stellen, der auch mit den einschlägigen Verhältnissen der gerade in Frage kommenden Gegend vertraut ist.

Aber es ist unmöglich, ein allgemein gültiges Tabellenschema aufzustellen, mittels dessen eine Lösung der Probleme vom Grünen Tisch aus herbeigeführt werden könnte. Ein auf den ersten Blick bestechend erscheinender Versuch zu schematischer Behandlung der erdbebenkundlichen Baugrundfrage, der mir bekannt ist, hält der Kritik leider nicht stand und bleibt ein Notbehelf.

Infolgedessen müssen wir uns damit bescheiden, gewisse Richtlinien zu geben unter Hervorhebung jener Sonderforderungen, die bestimmte Einzelfälle etwa stellen können.

6. Zusätzliche Erdbebenbeschleunigungen.

Unter normalen Verhältnissen sind die Aufgaben der Baukonstruktion statische. Es handelt sich lediglich darum, die senkrechten Kräfte der Eigenlast von Gebäude samt Inhalt, also Masse mal Erdbeschleunigung, schadlos vom Boden aufnehmen zu lassen. Selbstverständlich unter Berücksichtigung der „zulässigen" Bodenpressung, die einen Bruchteil der Tragfähigkeit des Baugrundes bildet. Eine Ausnahme bilden allerdings schlanke, hochragende Bauten, bei denen die vom Winddruck verursachten Horizontalkräfte mit in Rechnung gestellt werden müssen.

Dagegen beansprucht das Erdbeben sämtliche Bauwerke *dynamisch*. Zur Erdbeschleunigung g tritt eine veränderliche, horizontale Erdbebenbeschleunigung hinzu, die mit der Masse des Gebäudes die an ihm wirksame Horizontalkraft ergibt. In der Praxis wird, wie bereits gesagt wurde, anscheinend mit Recht die Vertikalkomponente vernachlässigt. Sie verringert oder vergrößert je nach dem Vorzeichen die vertikal wirksame Erdbeschleunigung.

a) Erdbebenskalen. Bloß die zwölfgradige Cancani-Skala Tabelle I versucht die Erdbebenbeschleunigung zu berücksichtigen. Allerdings ist sie, wie jeder Fachmann weiß, bloß ein Notbehelf, der bis jetzt noch nicht durch Besseres ersetzt werden konnte. Trotzdem genügt sie unseren Bedürfnissen wegen des weiten Spielraumes, den sie den einzelnen Graden läßt. Selbstverständlich muß man sich beim Gebrauch stets der Unsicherheit bewußt bleiben und entsprechend Kritik walten lassen.

Tabelle I. Cancani-Skala der Erdbebenbeschleunigungen in cm/sec².

Wirkungsgrade nach Mercalli-Sieberg	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Minimum	1	2,5	5	10	25	50	100	250	500
Mittlerer Wert nach Gassmann	1,6	3,4	7,3	16	34	73	160	340	?
Maximum	2,5	5	10	25	50	100	250	500	?

Der Cancani-Skala ist die zwölfteilige Mercalli-Sieberg-Skala angepaßt. Sie gelangt deshalb hier ausschließlich zur Anwendung, obwohl es auch Tabellen gibt, die eine Umrechnung anderer Skalen auf Cancani- oder Mercalliwerte ermöglichen. In diesem Zusammenhang muß beachtet werden, daß sämtliche Erdbebenskalen, entgegen weitverbreiteter Meinung, bloß die *Wirkungen, niemals die Stärke der Erdbeben* zum Ausdruck bringen können. Denn im sichtbaren Schadensbild sind die Einflüsse von Gebäude- und Baugrundbeschaffenheit ebenso verborgen wie diejenigen sonstiger Zufälligkeiten.

b) Zahlenwerte für Baugrundverschiedenheiten. Auf dem Umwege über Isoseistenkarten und Untergrundskoeffizienten läßt sich der bedeutsame Schadensfaktor der Baugründe nicht nur aus dem Gesamtbild herausschälen, sondern auch, wie bereits angedeutet wurde, in zusätzlichen horizontalen Erdbebenbeschleunigungen ausdrücken. Es bedarf wohl keiner Begründung, weshalb bei der Festlegung der maximalen Beschleunigung von den gefährlichsten Baugründen ausgegangen werden muß; der umgekehrte Weg würde nicht nur zu falschen, sondern auch zu unverantwortlich hohen Beschleunigungswerten führen.

Tabelle II stellt, ausgehend von den Mercalli-Sieberg-Graden der Wirkungen, für die wichtigsten Gruppen von Baugründen die zusätzlichen Erdbebenbeschleunigungen in einer Form zusammen, die den praktischen Gebrauch erleichtert. Den fettgedruckten Gradzahlen entsprechen die Höchstwerte nach Cancani; die beiden senkrecht darüber stehenden Beschleunigungswerte bedeuten den zugehörigen Mittel- bzw. Niedrigstwert.

Gehen wir von dem auf einem bestimmten Baugrund beobachteten Wirkungsgrad aus, dann finden sich für die übrigen Baugründe der gleichen isoseisten Fläche die Beschleunigungswerte in der Horizontalreihe. Selbstverständlich müssen die Seite 37 bis 41 gegebenen Charakteristiken in Rechnung gestellt werden.

Tabelle II

Zusätzliche Mercalli-Sieberg-Grade und Erdbebenbeschleunigungen für Hauptgruppen von Baugründen.

Zu beachten sind die Erläuterungen Seite 37 bis 41.

Feste Felsmassen		Mürbe Felsgesteine		Kleinstückige Böden		Erdige Böden		Flach gelagerte grobstückige Schuttböden		Schwemmlandböden		Gehängeschutt und Schuttkegel, verlandete Seen bei Trockenheit	
Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²	Grad	cm/sec²
3	1	4	2,5	4	2,5 bis 5 5	4	2,5 bis 6 10	5	5 bis 6 10	5	5 bis 7 25	6	10 bis 7 25
	1,6		3,4		3,4 „ 7,3		3,4 „ 16		7,3 „ 16		7,3 „ 34		16 „ 34
4	2,5	5	5	5	5 „ 6 10	5	5 „ 7 25	6	10 „ 7 25	5	10 „ 8 50	7	25 „ 8 50
	3,4		7,3		7,3 „ 16		7,3 „ 34		16 „ 34		16 „ 73		34 „ 73
5	5,0	6	10	6	10 „ 7 25	6	10 „ 8 50	7	25 „ 8 50	7	25 „ 9 100	8	50 „ 9 100
	7,3		16		16 „ 34		16 „ 73		34 „ 73		34 „ 160		73 „ 160
6	10	7	25	7	25 „ 8 50	7	25 „ 9 100	8	50 „ 9 100	8	50 „ 10 250	9	100 „ 10 250
	16		34		34 „ 73		34 „ 160		73 „ 160		73 „ 340		160 „ 340
7	25	8	50	8	50 „ 9 100	8	50 „ 10 250	9	100 „ 10 250	9	100 „ 11 500	10	250 „ 11 500
	34		73		73 „ 160		73 „ 340		160 „ 340		160		340
8	50	9	100	9	100 „ 10 250	9	100 „ 11 500	10	250 „ 11 500	10	250	11	500
	73		160		160 „ 340		160		340		340		
9	100	10	250	10	250 „ 11 500	10	250	11	500	11	500		
	160		340		340		340						
10	250	11	500	11	500	11	500						
	340												
11	500												

c) Anleitung für den Gebrauch der Tabelle. Als Ausgangspunkte müssen bekannt sein sowohl der höchste Wirkungsgrad, mit dem für die betreffende Ortschaft oder Gegend in Zukunft zu rechnen ist, als auch die zugehörige Baugrundbeschaffenheit. Diese Forderung stützt sich auf zwei Erfahrungen:

Was in einer Gegend bei einem Erdbeben schon einmal nachweislich beobachtet worden ist, wird sich dort voraussichtlich irgendwann mit mindestens gleicher, vielleicht sogar mit größerer Stärke wiederholen.

Ferner hat die Abhängigkeit der Erdbebenwirkungen von den geologischen Untergrundsverhältnissen zur Folge, daß der gleiche Landstrich auch bei Erdbeben verschiedener Herdlagen eine sich stets ähnlich bleibende geographische Verteilung der Erdbebenwirkungen zeigt. Bloß hebt sich die Nachbarschaft des jeweiligen Herdes durch höhere Wirkungsgrade heraus (Ähnlichkeitssatz der Erdbebenwirkungen).

Unter den gegenwärtigen Verhältnissen stößt die einwandfreie Erfüllung der eingangs erwähnten Forderungen nicht selten auf Schwierigkeiten; unabhängig davon, ob der recht umständliche Weg unmittelbar über die Erdbebenkataloge oder der bequemere über bereits bearbeitete Karten von Erdbebentätigkeit und Baugrundgefährlichkeit eingeschlagen werden muß. Denn fast jede isoseiste Zone pflegt bekanntlich wegen der Dürftigkeit des Beobachtungsmaterials recht summarisch umgrenzt zu sein, also ein Mosaik von Baugründen zu umfassen, so daß sich die Frage erhebt, welcher von diesen Böden zur Charakteristik der maximalen Bebenwirkung Veranlassung gegeben haben mag.

Im allgemeinen ist für die Praxis mit folgenden drei Möglichkeiten absteigender Zuverlässigkeit zu rechnen:

1. Bekannt ist, daß das eben vorliegende Erdbeben seinen Wirkungen nach das stärkste unter den beobachteten ist. Dann kann durch Geländebesichtigung jeder Zweifel über die Abhängigkeit bestimmter Bebenwirkungen vom Baugrund behoben werden.

2. Bekannt ist zunächst die höchste Wirkungsstärke, die der Ortschaft als Ganzes für den Beobachtungszeitraum zugewiesen werden muß; ferner die Verteilung der Schäden eines schwächeren Erdbebens der Gegenwart in der gleichen Ortschaft. Dann lassen sich die maximalen Baugrundgefährlichkeiten durch Extrapolation ableiten.

3. Bekannt ist bloß in groben Umrissen die Zugehörigkeit der gesamten Siedlung zu einer isoseisten Fläche bekannter Höchstwirkung. Dann muß an Ort und Stelle entschieden werden, ob man sich auf den dort vorhandenen gefährlichsten oder auf den vorherrschenden Baugrund beziehen will.

Beispielsweise sei für eine bestimmte Ortschaft festgestellt, die Höchstwirkung habe 7½ Mercalli-Sieberg-Grade, und zwar auf Kies, also auf einem kleinstückigen Boden nach Tabelle II mit rund 34 cm/sec² Erdbebenbeschleunigung betragen. Dem entsprechen für benachbarte Baugründe die Wirkungsgrade bzw. Beschleunigungen der gleichen Horizontalreihe; etwa 5½ Grad bzw. 7,3 cm/sec² für feste Felsmassen, 9½ Grad bzw. 160 cm/sec² für einen verlandeten See usw.

7. Karten der Baugrundgefährlichkeit.

Den Bedürfnissen der Erdbebensicherung entsprechen die üblichen geologischen Karten nur in sehr beschränktem Umfange, weil sie nach stratigraphischen Gesichtspunkten bearbeitet sind. Höchstens die Angaben über Kristallin samt Eruptivgesteinen und über Alluvionen, also über die beiden Extreme, können bei bescheidenen Ansprüchen dem Erdbebenkundler genügen. Darüber hinaus ist er stets gezwungen, Geologen zu Rat zu ziehen, die den Anforderungen dieser Art oft zurückhaltend und skeptisch gegenüberstehen.

Für Einzelprojekte bedeutungsvoller Bauwerke, ferner für Planungen von Stadterweiterungen und dergleichen besteht die Notwendigkeit und Möglichkeit, sich durch Bohrungen und Schürfgräben, vielleicht auch durch instrumentelle Methoden ein zuverlässiges Bild der Baugrundverhältnisse zu verschaffen.

Dagegen sind für Vorarbeiten großräumiger Bauplanungen, genau so wie für mancherlei theoretische Untersuchungen, Karten der Baugrundgefährlichkeit unentbehrlich. Zur Frage ihrer Beschaffung wird weiter auf Seite 47 Stellung genommen.

8. Karten der Erdbebentätigkeit.

Meine Länderkarten der Erdbebentätigkeit [17, 18, 23–25] beruhen auf meiner Betrachtungsweise, wonach jedes Erdbeben ein einpoliges Kraftfeld von momentaner Dauer ist. Ihre Aufgabe für theoretische Forschung und praktische Verwertung besteht darin, zu zeigen, welche Höchstwirkungen allerorts beobachtet wurden und deshalb in Zukunft wieder zu erwarten sind, sowie die Rolle, die hierbei die einzelnen Herde spielen.

Die Bearbeitung einer solchen Karte geht aus von der zeitlichen und räumlichen Summe aller Erdbebenkraftfelder. Es werden also für jedes einzelne Beben nach den Erdbebenkatalogen normale Isoseistenkarten gezeichnet, die allerdings den heutigen Anforderungen entsprechen müssen, und aufeinander gelegt. So erhält man für jede Ortschaft den Wert für die stärkste Bebenwirkung, soweit sie für den gesamten Beob-

achtungszeitraum festgestellt werden konnte. Dann werden diese Maximalwerte in der üblichen Weise zum Zeichnen einer neuen Isoseistenkarte verwertet. Darüber hinaus muß die so entstandene *Maximalisoseistenkarte* sämtliche Erdbebenherde zur Darstellung bringen; zweckmäßig mit den Signaturen meiner Charakterklassen, weil sie Anhaltspunkte über die Energieentfaltung der Herde gewähren.

Selbstverständlich hängt die Zuverlässigkeit der Karte von der Länge des Beobachtungszeitraumes, der Dichte des Beobachtungsnetzes und der Güte des Beobachtungsmaterials ab. Letzteres sollte stets für jede Ortschaft eine eingehende Schilderung der festgestellten Schäden, namentlich an hervorstechenden Einzelbauten, enthalten. Unter diesen Umständen bedarf es wohl kaum des Hinweises, daß die Karten kleinen Maßstabes meiner „Erdbebengeographie" bloß die großen Züge der Erdbebengefährdung einigermaßen den wirklichen Verhältnissen entsprechend darstellen können und wollen. Sie haben aber trotzdem um so mehr Berechtigung, weil für weite Erdräume überhaupt noch jeglicher Versuch ähnlicher Art fehlt.

Zur richtigen Deutung des Kartenbildes darf die Verbindung mit der Baugrundkarte einschließlich der Verwerfungen nicht fehlen.

9. Vereinheitlichung der Hilfsmittel.

Die von der Erdbebenforschung für Erdbebensicherung zu lösenden Aufgaben würden erheblich erleichtert und gefördert, wenn die hierfür erforderlichen Hilfsmittel einheitlich gestaltet und angewendet werden könnten. In dieser Hinsicht würde es, wie auch von interessierten Stellen des Auslandes betont wird, schon einen beachtlichen Fortschritt bedeuten, wenn zunächst einmal einige wenige Erdbebenländer zu *gemeinsamer Beratung* zusammenträten. Allerdings solche, die von Natur aus deshalb aufeinander angewiesen sind, weil sie in die Schadengebiete der gleichen schweren Erdbeben benachbarter Herde mit einbezogen werden. Zwar besteht bereits eine Internationale Seismologische Association, die, nebenbei bemerkt, im Jahre 1903 zu Straßburg i. Els. von der Reichsanstalt für Erdbebenforschung ins Leben gerufen worden war. Aber auch sie macht den vorstehend empfohlenen Zusammenschluß nicht überflüssig. Denn sie ist so weit gespannt, daß sie anerkanntermaßen die Sonderinteressen kleinerer Ländergruppen nicht genügend zu berücksichtigen vermag.

Im einzelnen sei hierzu folgendes bemerkt:

a) Kartographische Hilfsmittel. Die vereinzelten Versuche in Erdbebenländern, Karten ihrer Baugrundgefährlichkeit und Erdbeben-

tätigkeit nach eigenem Gutdünken zu bearbeiten, sind zum Teil wenig befriedigend ausgefallen. Sie müssen auch unzulänglich bleiben, solange die Bedürfnisse nicht klar genug erkannt sind und der Zwang besteht, sich bloß auf geologische Karten, Erdbebenkataloge und sonstige Literatur zu stützen. Denn für den Erdbebenforscher besteht nicht weniger als für den Geologen die unbedingte Notwendigkeit, sich im Gelände angesichts der Objekte den wichtigsten Teil der Unterlagen für seine Untersuchungen zu erarbeiten.

Deshalb hat die Fachwelt die Pflicht nicht nur zum gegenseitigen Austausch ihrer Sondererfahrungen, sondern auch zur *Vereinheitlichung* der *Arbeitsmethoden* und der zu verwendenden *Hilfsmittel.* Denn allein hierdurch wird Vergleichbarkeit mit andernorts gewonnenen Untersuchungsergebnissen ermöglicht. Nur so läßt sich auch das vorliegende Grundproblem, die Frage nach Inhalt und Ausführung der hier genannten Karten, lösen.

b) Instrumentelle Hilfsmittel. Interessentenkreise, die der instrumentellen Erdbebenforschung ferner stehen, neigen zu unzutreffender Einschätzung der Leistungsfähigkeit von Seismometern. Deshalb sei zunächst darauf hingewiesen, daß es kein Universalseismometer gibt, das gleichzeitig den Anforderungen der Orts-, Nah- und Fernbebenuntersuchungen gerecht werden könnte. Die Verschiedenheit dieser Aufgaben erfordert vielmehr eine entsprechende Vielzahl von Seismometern, wobei die Fernbebenseismometer den *Hauptstationen* vorbehalten bleiben. Denn im allgemeinen vermögen die in den Erdbebenländern aufgestellten Seismometer bloß der Fernbebenuntersuchung und höchstens durch vereinzelten glücklichen Zufall den Anforderungen der Erdbebensicherung zu dienen.

Unter diesen Umständen muß in Ländern mit schweren Erdbeben auf die zusätzliche Errichtung von *Nebenstationen* gedrungen werden, deren instrumentelle Ausrüstung die Lokalisierung der *örtlichen Erdbebenherde* und die *Charakterisierung von deren Tätigkeit* in ausreichendem Maße ermöglicht. Hierfür geeignete Orts- und Nahbebenseismometer gibt es bereits. Nur ist zu prüfen, welche Typen sich für die einzelnen Landstriche am besten eignen und wo sie am zweckmäßigsten aufgestellt werden. Als wenig zweckmäßig erscheint es, die Lage und Ausrüstung dieser Orts- und Nahbebenstationen unabhängig von den Nachbarländern zu treffen. Vielmehr ist darauf Bedacht zu nehmen, daß sich das Netz solcher Nebenstationen über die Ländergrenzen hinausgreifend den gestellten Aufgaben möglichst weitgehend anpaßt. Wenn dies gelingt, dürfte mancher Leerlauf vermieden werden, der sich erfahrungsgemäß heute noch recht störend für die betroffenen Landesteile auszuwirken

pflegt. Deshalb wäre in dieser Hinsicht gleichfalls eine gemeinsame Planung von beachtlicher Bedeutung.

Darüber hinaus ist zu empfehlen, an der jeweiligen Seismologischen Landesanstalt einzelne leicht transportierbare Sonderkonstruktionen bereit zu halten, die erforderlichen Falles vorübergehend an beliebigem Ort eingesetzt werden können und gleichzeitig dazu dienen, vor allem den Einfluß der Baugrundgefährlichkeit auf experimentellem Wege messend zu erfassen. Dieser Vorschlag läßt sich nach den Erfahrungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung mit verhältnismäßig geringen finanziellen Mitteln zur Durchführung bringen, die die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen sicherstellen. Eine Verbilligung wäre zu erzielen, wenn für eine bestimmte Staatengruppe die transportablen Sonderseismometer an einer Stelle bereitgehalten und im gegebenen Falle an die Bedarfsstelle ausgeliehen würden.

Vierter Abschnitt.

Das Bauen in Erdbebengegenden.

Nirgends dürfte Zweifel darüber bestehen, daß die Schauplätze zerstörender Erdbeben aus humanitären und volkswirtschaftlichen Gründen besondere Baumaßnahmen verlangen, die geeignet erscheinen, Schutz bis zur Grenze des Möglichen zu gewähren. Aber nur zögernd beginnt sich die Erkenntnis durchzuringen, daß alle dahin gehenden Versuche so lange Stückwerk bleiben, bis die verantwortlichen *Landesbehörden* sich zu zielbewußter und verständnisvoller, aber rücksichtsloser Lenkung sämtlicher Bauvorhaben in bedrohten Gegenden entschließen.

Über die bautechnischen Mittel ausreichender Erdbebensicherung gehen die Ansichten je nach der persönlichen Einstellung zum Teil noch recht weit auseinander. Zwar vertritt, wie bereits eingangs gesagt wurde, die Reichsanstalt für Erdbebenforschung den Standpunkt, die Bautechnik vermöge keine unbedingte Erdbebensicherheit zu gewährleisten. Die mangelnde Beweiskraft jener Statistiken, die das Gegenteil beweisen sollen, wird durch meine Darlegungen über Auslesefaktoren einschließlich der Baugründe zur Genüge beleuchtet. Deshalb dürfte es aus Gründen der Wirtschaftlichkeit zweckmäßig sein, kostspielige Konstruktionen dieser Art bestenfalls auf *lebenswichtige Zweckbauten* zu beschränken.

Aber erfahrungsgemäß lassen sich häufig schon mit verhältnismäßig recht *bescheidenen und einfachen Mitteln Baumaßnahmen durchführen, die vernünftigen Anforderungen an Erdbebenfestigkeit Genüge leisten.* Ganz

abgesehen von den nicht seltenen Fällen, wo altüberlieferte, bodenständige Bauweisen dieser Aufgabe ohne weiteres gewachsen sind. In solchen Gegenden wird es sich meistens darum handeln, Verständnis für das bewährte Alte wach zu halten und Weiterentwicklung im Sinne der heutigen Wohnkultur zu fördern. Jedoch muß stets Bedacht darauf genommen werden, minderwertige Bauten fernzuhalten; denn letztere würden bei ihrem Niederbruch die einwandfreien der Nachbarschaft in Mitleidenschaft ziehen.

Fragen der vorgenannten Art werden nachstehend auf Grund eigener, am Objekt erworbener Erfahrungen mit der Absicht erörtert, interessierten Behörden, Baufachleuten und sonstigen Stellen vom erdbebenkundlichen Standpunkt aus Richtlinien für eigenes Schaffen zugänglich zu machen. Darüber hinaus ist jedoch zu bedenken, daß die meisten Einzelobjekte besondere Probleme stellen, deren Erkennen und Beurteilung bloß an Ort und Stelle möglich wird. Daß ferner den natürlichen, wirtschaftlichen und kulturellen Sonderverhältnissen jeder betroffenen Landschaft weitestgehend Rechnung getragen werden muß. Schon aus diesen Gründen bleibt die Beschränkung auf Fragen von *grundsätzlicher* Bedeutung unerläßlich.

10. Aufgaben.

Bauten in Erdbebengegenden müssen den nachstehenden Anforderungen Genüge leisten. Für jedes einzelne Bauvorhaben die zweckmäßigste Lösung zu finden und die handwerksgerechte Bauausführung zu sichern ist gemeinsame Aufgabe von *Architekt* bzw. *Bauingenieur* und *Bauunternehmer*. Die erforderlichen Unterlagen über die zusätzlichen Erdbebenbeschleunigungen und sonstigen Fragen der örtlichen Erdbebentätigkeit sind vorher bei der zuständigen *Erdbebendienststelle* einzuholen. Für die Beachtung aller notwendigen Maßnahmen sorgt die *Baupolizei*.

1. Die *Bauplanung* soll berechtigten und landesüblichen Bedürfnissen des Bauherrn so weit Rechnung tragen, wie es sich mit Rücksicht auf das Gemeinwohl verantworten läßt.

2. Sie muß möglichst große *Widerstandsfähigkeit* gegen sämtliche Beanspruchungen durch Erdbebenstöße ortsüblicher Stärke erzielen. Dies gilt nicht allein für die Außenmauern, sondern auch für die Innenwände, deren Zusammenbruch oft schlimmer wirkt, als die äußeren Beschädigungen des Gebäudes vermuten lassen.

3. Diese Selbstverständlichkeit darf aber nicht dazu führen, das Bauprojekt über das notwendige Maß hinaus *überflüssig zu verteuern*. Denn dies wäre ebenso unwirtschaftlich wie falsche Sparsamkeit gefährlich.

Der Erreichung dieses Zieles dienen:

4. Zweckentsprechende, aber einfache *Baukonstruktionen.*

5. Einwandfreie und verständnisvolle *Handwerksarbeit.* Aber gerade hieran fehlt es beim Baugewerbe mancher Gegenden oftmals in höchst bedenklichem Maße; besonders dort, wo alte, bodenständige Bauweisen durch andere ersetzt werden sollen. Weit verbreitet ist beispielsweise die gefährliche Gewohnheit der Maurer, auf regelrechten Steinverband nicht genügend Wert zu legen. Infolgedessen sind dann die meisten Außenmauern und Innenwände gewissermaßen bloß aneinander geklebt, es fehlt (Abb. 31) die Eckenfestigkeit, so daß die Gebäude schon geringer zusätzlicher Beanspruchung nicht gewachsen sind und sein können.

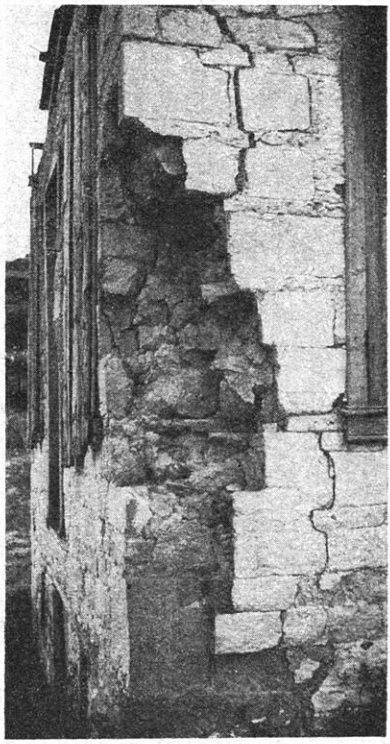

Abb. 31. Ungenügender Verband in einer Gebäudeecke.

Derartiger Unzuverlässigkeit von Handwerkern pflegt der einzelne Bauunternehmer, selbst wenn er sich ihrer Folgen bewußt ist, hilflos gegenüberzustehen. Abhilfe kann nur der Staat schaffen. Dafür, daß dies trotz aller Widerstände möglich ist, lassen sich gleichfalls Beispiele anführen.

6. Verwendung einwandfreien *Baumaterials,* dessen Erwerb und Heranführung nach Möglichkeit außergewöhnliche Kosten vermeidet. In manchen Fällen wird der häufigste Baustoff der Gegend bestimmenden Einfluß auf die ortsübliche Bauweise erlangen.

7. Ferner muß beachtet werden, daß nachträgliche *Um-* und *Anbauten* das organische Gefüge jeden Bauwerkes mehr oder minder zerreißen und damit oft recht wirksame Gefahrenquellen schaffen. Derartige Eingriffe bedürfen ganz besonderer Vorsicht.

8. Ausreichender Schutz gegen *Feuersgefahr* ist unerläßlich. Denn die leicht in den Ruinen ausbrechenden Schadenfeuer übertreffen häufig genug die Erdbebenwirkungen.

9. Bei *Wiederherstellungsarbeiten* genügt es nicht, die Schäden durch oberflächliche Maßnahmen unsichtbar zu machen, ohne der Schadenstelle mindestens die ursprüngliche Widerstandsfähigkeit wieder voll zu ver-

leihen. Sonst vermag, wie wir sahen, später ein an sich harmloser Stoß schweres Unheil anzurichten.

11. Grundsätzliches über erdbebenfeste Konstruktionsglieder.

Hier sei kurz auf einige Gesichtspunkte hingewiesen, deren sinngemäße Beachtung für ungefähr sämtliche Bauweisen gefordert werden muß.

a) Das Fundament. bedingt die Standfestigkeit. Als Überträger der Bodenstöße auf das Gebäude und durch Aufnahme der Gebäudeschwingungen wird es besonders stark beansprucht. Trotzdem muß dieser Tragkörper unverändert und starr bleiben, um seiner Aufgabe auch weiterhin gerecht zu werden. Das Fundament darf also nicht zerreißen oder zerbrechen, nicht verspannt oder verkantet werden, nicht einsinken oder abrutschen.

Maßgebend für die Ausführung des Fundamentes bleibt die dynamische, nicht die statische Widerstandsfähigkeit des Baugrundes unter Berücksichtigung der Verteilung der Gebäudelast. Durchgehende Rahmen aus Stampf- oder Eisenbeton pflegen sich unter einigermaßen normalen Verhältnissen zu bewähren, während sie bei kräftigeren Bodensetzungen oder gar Rutschungen keine Sicherheit verbürgen können. Selbst Pfahlroste bleiben in solchen Fällen ebenso unzuverlässig wie in weichen Böden.

Selbstverständlich verliert das Fundament bei Erdbeben seine Bedeutung, wenn nicht abscherfeste Verbindung zwischen ihm und dem Gebäude besteht.

b) Ecken- und Seitenfestigkeit bestimmen das Maß des Widerstandes gegen Erdbebenstöße. Von diesen beiden Grundelementen nimmt die Eckenfestigkeit die erste Stelle ein, weil sie unter normalen Bedingungen die stärkste Beanspruchung erleidet und ihre Überwindung erforderlich wird, um den mechanischen Verformungsvorgängen Raum zu geben. Demnach spielt die Seitenfestigkeit, trotz ihrer maßgeblichen Bedeutung, eine sekundäre Rolle. Dieses gilt in gleicher Weise für elastisch zähe wie für steife Bauweisen. Das Herausbrechen von Frontmauern wird durch horizontale Versteifungen an und unterhalb der Dachfüße erschwert.

Dem Baufachmann dürften diese Richtlinien genügen, um über seine grundlegenden Aufgaben Klarheit zu gewinnen.

c) Die tragenden Konstruktionsglieder verlangen selbstverständlich nach Form, Verband und Material besonders widerstandsfähige Ausbildung, sowohl gegen bleibende Verformung als auch gegen Abscherung. Große elastische Verformbarkeit bei Wechselbeanspruchungen schützt vor sprödem Bruch und sichert gegen Einsturz. Hingegen be-

deuten Durchbrüche jeglicher Art in den Außenmauern, namentlich deren Auflösung in schlanke Stützen, höchst beachtenswerte Schwächungen.

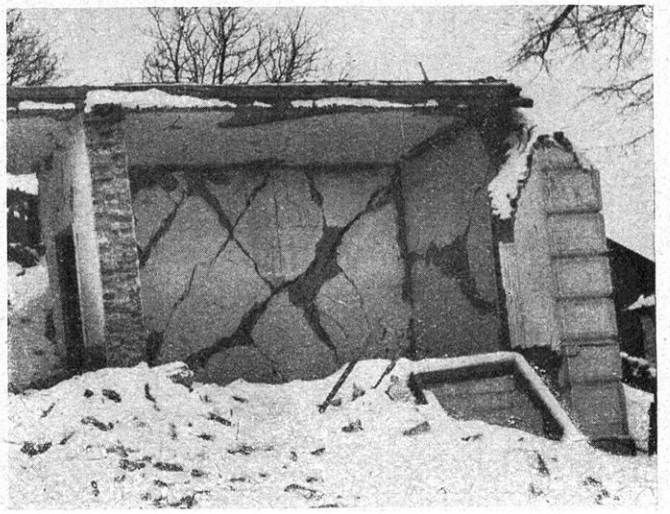

Abb. 32. Gekreuzte Diagonalspalten.

Pfeiler, Säulen und andere ähnliche Stützen sind besonders hoher Gefährdung durch Knickung und Zermalmung sowie Abscherung ihrer Füße und Köpfe ausgesetzt. Vor allem in den unteren Geschossen, wo sie die gesamte Gebäudelast zu tragen haben. Ein Versagen solcher Konstruktionsteile kann zu völliger Vernichtung des Gebäudes führen.

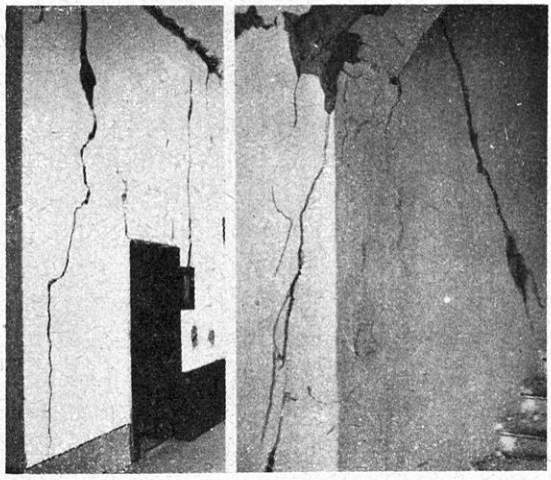

Abb. 33. Schäden an Zwischenwänden.

Fenster, Türen u. dgl. begünstigen Bildung und Verlauf von Mauerrissen. Letztere pflegen in den Ecken oder in Wölbscheiteln der Öffnungen einzumünden. Dem läßt sich durch geeignete Konstruktion von Tür- und Fensterstürzen sowie durch deren Verankerung mit den Mauern begegnen.

d) Die Zwischenwände im Innern der Gebäude leiden hauptsächlich unter Verspannungen und Verdrückungen. Sie lösen sich rings herum mit Rissen ab, besonders dann, wenn sie mit den Deckenbalken parallel verlaufen. In den Wandflächen selbst öffnen sich gekreuzte Diagonalspalten (Abb. 32). Häufig werden die Innenwände auch von weichenden Außenmauern oder sinkenden Treppen (Abb. 33) mitgeschleppt, wobei schräg nach oben verlaufende Risse entstehen. Vor allem wirken sich nachträgliche Eingriffe in die Verbandsfestigkeit von Zwischenwänden gefährlich aus; selbst dann, wenn sie ursprünglich für ungefährlich gehalten wurden, wie etwa (Abb. 34) der spätere Einbau von Entlüftungsschächten in einem solide gebauten Krankenhaus neuerer Zeit.

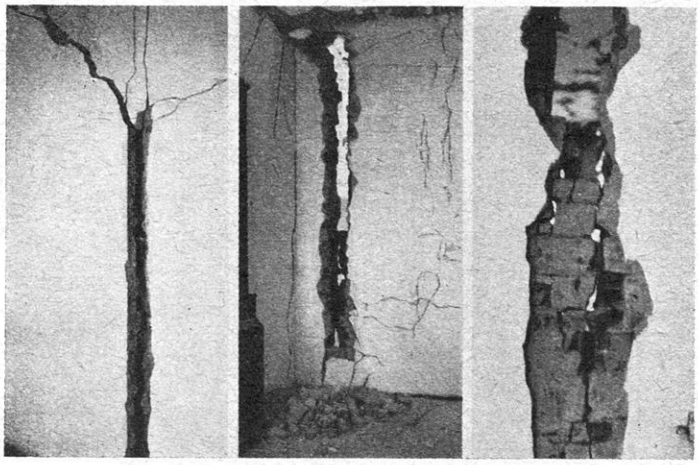

Abb. 34. Wirkungen nachträglich eingebauter Entlüftungsschächte.

Manche Gebäude mit harmlosen Schäden der Außenmauern lassen nicht ahnen, daß der Umfang der Zerstörungen im Innern bis zur Abbruchreife geht. Ursache hierfür ist meistens die Zugehörigkeit der Zwischenwände zur Tragkonstruktion.

Deshalb sollen die Zwischenwände nicht tragen und möglichst leicht sein. Letzterer Bedingung tragen Hohlziegel und andere Leichtbausteine sowie Leichtbauplatten, am sichersten aber Drahtnetze mit Betonausguß oder verputzte Rohrgeflechte Rechnung. Auch solche Wände werden selbstverständlich in Mitleidenschaft gezogen. Aber ihre Zerstörung vermindert nicht die Tragfähigkeit des Gebäudes und bedroht auch nur in geringem Maße die Bewohner und ihre Habe. Zudem beansprucht die Wiederherstellung wenig Zeit bei bescheidenen Kosten.

e) Die Zwischendecken müssen als starre Scheiben wirken, trotzdem leicht, mit dem Auflager der Außenwände haltbar verankert und

vor allem durchschlagsicher sein, um nicht durch Einsturz das Unheil noch zu vermehren. Herabfallender Deckenputz ist gleichfalls gefährlich.

Genügende Steifigkeit der Deckenplatte wird durch steife Verbindung der Balken oder Träger sowohl am Auflager als auch im Deckenfeld erreicht. Sonderkonstruktionen für Durchschlagsicherheit sind von einzelnen Baufirmen entwickelt worden.

Die Richtung der Balkenlage ist so zu regeln, daß sie nicht parallel zu erkannten oder unvermeidbaren Schwächestellen verläuft. Denn horizontaler Schub der Balken drückt sogar Außenmauern hinaus, wodurch im Verein mit den schwächenden Fensteröffnungen das hierfür charak-

Abb. 35. Typisches Herausbrechen einer parallel der Balkenlage verlaufenden Außenmauer.

teristische Schadenbild (Abb. 35) zustande kommt, das vom Normalbild abweicht.

f) Das Dach. Aus Gründen, die bereits Seite 24 dargelegt wurden, ist von ihm möglichst geringes Gewicht, darüber hinaus auch Feuersicherheit und festes Haften des Eindeckungsmaterials zu fordern.

Am gefährlichsten sind Stroh- und Holzschindeldächer. Eine mittlere Stellung nehmen neben Metalleindeckung die Ziegel- und Schieferdächer ein, bei denen selbst schwächere Schadenbeben das Leben der flüchtenden Bewohner durch herabstürzende Dachplatten gefährden. Als zweckmäßigste Dacheindeckung würden sich, wenigstens für kleine und mittelgroße Gebäude, Platten aus Asbestzement erweisen, nicht nur wegen

ihrer Feuersicherheit, sondern auch wegen der guten Befestigungsmöglichkeit.

Kuppeln neigen dazu, in sich zusammenzubrechen, während die tragenden Mauern allseitig auseinanderbrechen.

Auf Türmchen, Brustwehren sowie auf sonstige leicht herabfallende Schmuckaufsätze und Verzierungen sollte verzichtet werden. Jedenfalls verlangen sie sichere Verankerung.

g) Schornsteine und Feuerungsanlagen erfordern nach Anordnung und Konstruktion erhöhte Aufmerksamkeit schon im Hinblick auf Zufallsschäden. Als besonders schädlich hat sich der manchenorts übliche Brauch erwiesen, die Schornsteine außen am Hause hochzuführen.

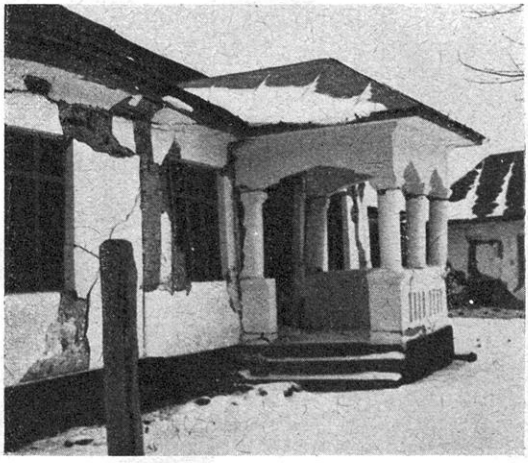

Abb. 36. Schäden an einem Vorbau.

Ferner muß erdbebensichere Konstruktion der Öfen und Küchenfeuerungen, sowie Fernhalten der Rauchröhren von hölzernen und anderen feuergefährlichen Konstruktionsteilen verlangt werden.

h) Anbauten sind der Zerstörungsgefahr besonders ausgesetzt. Dies gilt schon für Erker und Balkone selbst dann, wenn die vorkragenden Träger unter normalen Bedingungen genügend Halt bieten. Schwerer leiden ebenerdige Vorhallen und Veranden; nicht nur weil sie gewissermaßen angeklebt zu sein pflegen, sondern auch wegen der geringen Widerstandsfähigkeit der pfeilerartigen Konstruktionsglieder gegen Knickungs- und Abscherungsbeanspruchung. Das in Abb. 36 gezeigte Beispiel bedarf keiner Erläuterungen.

Nachträgliche Verlängerung der Gebäudefront oder das Anfügen von Seitenflügeln begünstigt erfahrungsgemäß selbst bei sorgfältigem Anschlußverband und Verankerung eine Loslösung der Fremdkörper längs der senkrechten Naht, weil sich der Beanspruchungsplan des Gebäudes geändert hat. Aus dem letztgenannten Grunde bestehen in Erdbebengegenden auch Bedenken gegen Aufstockungen.

i) Die Baustoffe machen selbstverständlich alle Kunst des Konstrukteurs zuschanden, wenn sie nicht vollwertige Beschaffenheit besitzen sowie vorschriftsmäßig zubereitet und verwertet worden sind.

Ich habe zahlreiche Prunkgebäude gesehen, deren Fassaden bei Erdbeben wenig gelitten hatten, während alles Dahinterliegende wegen Verwendung minderwertigen Baumaterials weitgehend zerstört war.

Zu beachten ist noch die besondere Gefährdung aller derjenigen Stellen, wo im Rohbau verschiedenartige Baustoffe aneinanderstoßen. Denn der Unterschied ihrer elastischen Verformbarkeit fördert verschiedenartige Bewegungen mit Ablösungen und Zerrüttungen.

Ganz allgemein betrachtet wirkt sich die Beschaffenheit von Baustoffen hinsichtlich der *Bauweisen* folgendermaßen aus;

Trockenmauerwerk besitzt infolge seiner Gelenkigkeit sehr große Biegsamkeit, aber bloß geringe Widerstandsfähigkeit gegen Zerrüttung.

Mauerwerk mit Bindemittel schwächt die vorstehend genannten Eigenschaften je nach der Beschaffenheit des Bindemittels ab.

Sprödes Baumaterial bricht bei genügend starker Beanspruchung an der schwächsten Stelle des Verbandes. Diese Trennung ermöglicht Umwerfen durch den Stoß, wenn es die äußeren Umstände erlauben.

13. Das Verhalten von Baustoffen im Feuer.

Die nachstehenden Ausführungen sind für jene Kreise bestimmt, die dem Bauwesen ferner stehen.

Bei Bränden treten Temperaturen bis zu 1200° C auf. Wärmeübertragung erfolgt durch Strahlung und Kontakt. Von der Oberfläche und der Wärmeleitfähigkeit hängt es ab, in welchem Maße die Baustoffe erhitzt werden. Metalle werden wegen ihrer guten Leitfähigkeit schnell und vollständig erhitzt. Stets ruft die Wärme eine Ausdehnung hervor. Hierdurch können Spannungen, Abspaltungen und Risse entstehen, oder andere Bauteile können durch ungleichmäßige Dehnung beschädigt werden. Ferner entstehen Gefügeänderungen und damit Änderung der Zug-Druckfestigkeit und Elastizität. Es ist schon viel erreicht, wenn das Gebäude im Brandfalle seinen Zusammenhalt behält.

a) Holz zersetzt sich unter Bildung brennbarer Gase bereits bei 260° C und entzündet sich etwa bei 300° C. Bei Harthölzern liegen die Werte höher. Besondere Anstriche oder Putz verleihen beachtlichen Schutz. Stärkere Bauteile, Balken, Säulen verbrennen, außer bei starkem Zug, fast nie vollständig, weil sich um den Kern eine Schicht Kohle bildet, die nur schwer weiterglimmt. Nachteilige Ausdehnungserscheinungen treten nicht auf.

b) Eisen erhitzt sich als guter Wärmeleiter sehr schnell und kann das Feuer auf leicht brennbare Stoffe übertragen. Infolge der raschen, vollständigen Erhitzung dehnt es sich erheblich aus, obwohl die Ausdehnungsziffer nicht wesentlich größer ist als die anderer Baustoffe.

Ferner ändert sich das Gefüge des Eisens unter Verlust der Tragfähigkeit. Bei 500° C besitzt Stahl noch die Hälfte, bei 600° C noch ein Drittel der ursprünglichen Tragfähigkeit. Die zusammengesunkenen eisernen Bauwerksteile bilden ein schwer zu beseitigendes Gewirr. Gußeisenteile sind etwas widerstandsfähiger gegen Feuer, aber empfindlich gegen Abkühlung durch Wasserstrahlen. Tragende Eisenteile sollten möglichst eine schützende Betonumhüllung erhalten.

c) Steine, Beton. Granite und seine Verwandten zeigen starke Neigung zum Zerspringen und sind daher wenig vorteilhaft. Auch bei Granitbeton wurde Springen beobachtet. Natürliche Kalksteine halten sich trotz oberflächlicher Zermürbung ziemlich gut, ebenso Tonschiefer und natürliche Sandsteine mit kieseligem Bindemittel.

Von den Kunststeinen sind gut gebrannte Backsteine die besten; sie zeigen selbst nach stärksten Bränden nur oberflächliche Zermürbungen. Auch poröse Backsteine halten sich gut. Hohlsteine aus gebranntem Ton und Terrakotten haben ziemliche Neigung zum Zerspringen. Schwemm- und Kunstsandsteine bewährten sich gut. Dies gilt besonders für die aus vulkanischen Tuffen hergestellten Bimsbausteine. Diese haben leichtes Gewicht, erhärten sehr an der Luft und sind außerordentlich feuerbeständig, weil der Erweichungspunkt dieses schwer schmelzenden Gesteinsglases bei 1300° C liegt. Auch richtet der Einfluß kalten Löschwassers keine verderblichen Wirkungen an, während diese bei erhitztem Mauerwerk oft bedeutend sind.

Beton hat gute Widerstandskraft. Von den Zuschlagstoffen haben sich die mit hohem Quarzgehalt am wenigsten bewährt wegen der Volumvergrößerung bei 575° C.

d) Sonstige Baustoffe. Von ihnen seien bloß die gebräuchlichsten erwähnt:

Mörtel ist nicht besonders widerstandsfähig gegen Feuer. Durch Zementzusatz wird die Haltbarkeit erhöht.

Putz zeigt starke Neigung zum Abspringen, besonders auf unelastischer Unterlage. Trotzdem ist er ein wertvolles Schutzmittel, weil er einfach und billig anzubringen ist, und weil bis zu seiner Zerstörung immerhin eine gewisse Zeit vergeht.

Glas springt bei plötzlicher Erhitzung. Schutz gegen Springen läßt sich durch Drahteinlage erreichen. Zwar verursacht der Brand auch Risse in Drahtglas, aber dieses behält seinen Zusammenhalt. Bei sehr starker Hitze sinken die Scheiben zusammen.

Glasbausteine sind nur dann widerstandsfähig, wenn sie eine Drahteinlage erhalten. Strahlende Wärme wird von Glas durchgelassen, so daß es Feuerübertragung zuläßt.

Dachpappe, wenn sie gut gesandet ist, läßt sich nicht ganz leicht entzünden. Aber einmal entzündet, brennt sie mit ziemlicher Heftigkeit und trägt das Feuer weiter. Teerfreie Dachpappen sind besser.

Fünfter Abschnitt.

Bewertung der üblichsten Bauweisen.

Meine früheren Erfahrungen über Erdbebenbauweisen vertieften sich auf meinen letzten Auslandsreisen und am Stoßtisch weitgehend mit dem Erfolg, daß sich meine heutigen Auffassungen von den üblichen, widerspruchsvollen Auffassungen zum Teil nicht unwesentlich unterscheiden. Darüber hinaus lernte ich Bauweisen kennen, die, an bestimmte Landstriche gebunden, Eigenarten aufweisen, deren fachgemäße Weiterentwicklung in unserem Sinne erstrebenswert erscheint. In erster Linie gilt letzteres für die dortigen Baufachleute, womit nicht gesagt sein soll, hieraus ergäben sich keine brauchbaren Anregungen von allgemeiner Bedeutung.

Die Verhältnisse brachten es mit sich, daß sich meine Untersuchungen fast ausschließlich auf Gebäude beschränken mußten. Dennoch erschien es mir zweckmäßig, in diesem Rahmen auch die Ingenieurbauten wenigstens referierend zu erwähnen.

14. Massiver Steinbau.

Den Hauptvertreter der starren Bauweise, den massiven Steinbau, bevorzugen städtische Siedlungen zahlreicher Weltgegenden heute noch; sowohl für Wohnhäuser als auch für öffentliche Gebäude. Dagegen behelfen sich ländliche Siedlungen in der Hauptsache mit wohlfeileren Bauweisen und pflegen den Steinbau auf Schulen, Kirchen, Amtsgebäude und ähnliches zu beschränken.

Gerade der Steinbau üblicher Ausführung versagt in Gegenden mit schweren Erdbeben nahezu vollständig. Er leidet schon sehr erheblich, wenn andere Bauweisen kaum in Mitleidenschaft gezogen werden. Weitere Steigerung der Schäden bedeuten selbstverständlich der Ersatz des Mörtels durch erdig-tonartigen Brei, entsprechend dem Trockenmauerwerk meiner Stoßtischversuche, oder gar die Verwendung luftgetrockneter Lehmziegel mit Hackstroheinlage (Abb. 37), in den ibero-amerikanischen Ländern als *Adobe* bezeichnet. Noch über das normale Maß hinaus gefährdet sind Gebäude mit weitgespannten Holzbalkendecken, also viele öffentliche Gebäude. Was dies beispielsweise für Kirchen,

Schulen und Lichtspielhäuser zu bedeuten hat, bedarf keiner näheren Erläuterung.

Ursache dieser Unzuverlässigkeit ist die mangelhafte Ecken- und Seitensteifigkeit sogar bei guter Bauarbeit unter Verwendung einwandfreier Baustoffe.

Abhilfe läßt sich jedoch für Ziegelmauerwerk innerhalb tragbarer Grenzen, auch hinsichtlich der Kostenfrage, schaffen. Bei der verständlichen Beliebtheit dieser Bauweise bedeutet ausreichende Steigerung der Erdbebenfestigkeit einen volkswirtschaftlichen Erfolg.

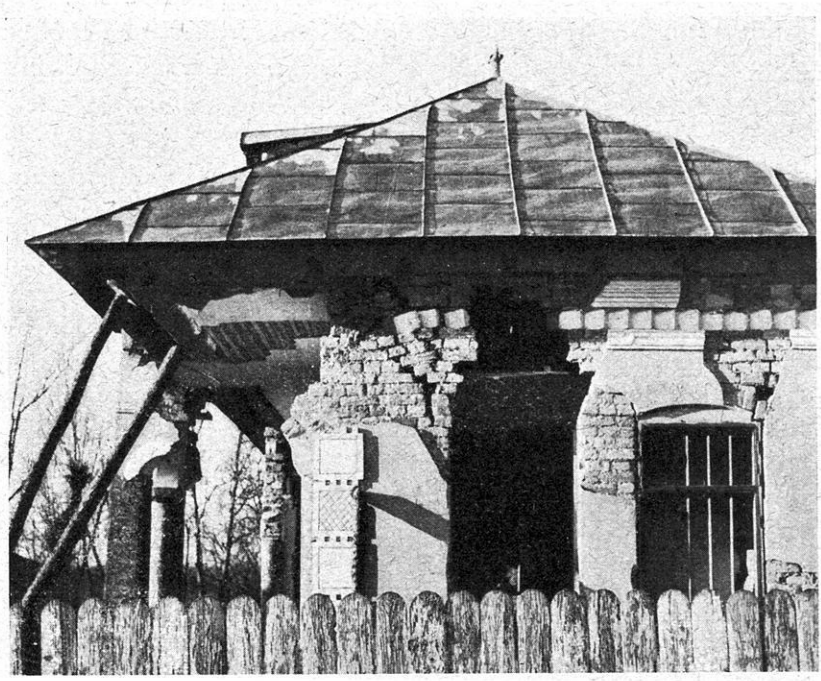

Abb. 37. Schäden an Mauerwerk aus luftgetrockneten Ziegeln.

a) Quadermauerwerk mit vollen Mauern aus formgerechten sowie gut verklammerten und verdübelten Hausteinen dürften zwar recht kräftiger Beanspruchung durch Erdbebenstöße gewachsen sein. Aber diese Bauweise kommt der außerordentlich hohen Kosten wegen kaum noch zur Anwendung. Selbst repräsentative Gebäude pflegen sich heutzutage mit Verblendung anderen Mauerwerks durch dünne Quaderplatten zu begnügen. In solchen Fällen kommt der Verwendung von Quadern bloß sekundäre Bedeutung zu, die sich nicht in allgemein gültiger Form beurteilen läßt. Womit aber bei schlechter Ausführung gerechnet werden darf, veranschaulicht Abb. 38, die sich auf ein Erdbeben 9. Grades bezieht.

b) Bruchsteinmauerwerk wird leider auch in manchen Erdbebengegenden bevorzugt, obwohl es für sie die ungeeignetste Bauweise ist. Die unregelmäßige Form der Bausteine ergibt keinen Verband im eigentlichen Sinne. Infolgedessen genügt bei sonst guter Bauausführung schon geringe Stoßbeanspruchung, um ausgiebige Zerstörungen bis zum Auseinanderfallen (Abb. 39) von Aussenmauern herbeizuführen. Selbst verstärkte Eckensteifigkeit durch behauene Quadern genügt meistens nicht.

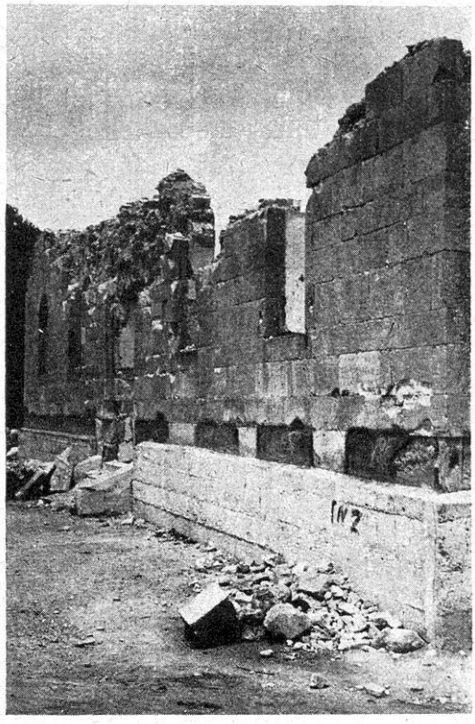

Abb. 38. Zerstörungen an einer Kirche mit Quaderverblendung.

c) Das übliche Ziegelmauerwerk ist, wie im ersten Abschnitt ausführlich dargelegt wurde, durch die Gefahr der Mörtelzerstörung bedroht, die das Wandern der Ziegel ermöglicht. Wenn auch einwandfreie und kräftige Bindemittel, wie etwa Zementmörtel, vollständige Ausfüllung der Lager- und vor allem der Stoßfugen sowie sorgfältiger Steinverband die Gefahr vermindern, dann bleibt die Erdbebenfestigkeit noch immer sehr unbefriedigend. Auch weitgehende Verwendung

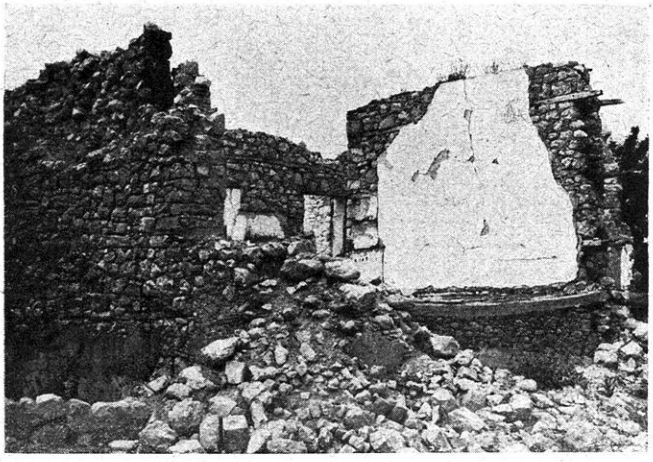

Abb. 39. Zerstörungen von Bruchsteinmauerwerk.

von Gewölbekonstruktionen, die so oft empfohlen wird, bietet bei höheren Erdbebenstärken nicht genügend Sicherheit, weil erfahrungsgemäß die Widerlager dem Druck gerne nachgeben. Bei der üblichen Art der Bauausführung würde die Erzielung befriedigender Bebenfestigkeit eine derartige Materialverschwendung für die Mauerstärken notwendig machen, daß die Herstellungskosten gegenüber anderen bebenfesten Bauweisen wirtschaftlich nicht zu verantworten wären.

d) Erdbebenfestere Ziegelbauten. Gesteigerte und für viele Fälle ausreichende Erdbebensicherheit läßt sich erzielen, wenn die Grundaufgabe gelingt, die Zerstörung der wabenartigen Mörtelbettung in den Lager- und Stoßfugen, sowie damit auch das Wandern der Ziegel auf den Lagerfugen zu verhindern. Selbstverständliche Voraussetzungen sind weiterhin: Feste Ziegel unter Ausschluß von beschädigten oder gar zerbrochenen; guter Kalkzementmörtel mit etwa 1 Teil Zement, 1½ Teil Kalk und 4½ Teilen sauberer, scharfer Sand; in Fällen besonderer Beanspruchung, auch bei Schornsteinen, Zementmörtel 1:3; sorgfältigste Maurerarbeit mit einwandfreiem, vollfugigem Steinverband an Ecken und Mauern; erforderlichenfalles wirksame Verankerungen der ersteren, an den Dachfüßen waagerechte Aussteifung der letzteren.

Zur Lösung der Grundaufgabe stehen mehrere Wege offen, von denen die nachstehenden genannt seien:

1. Verzahnte Ziegelverbände, die die horizontalen Lagerschichten durchstoßen. Sie stellen sowohl an die Scherfestigkeit der Ziegel als auch

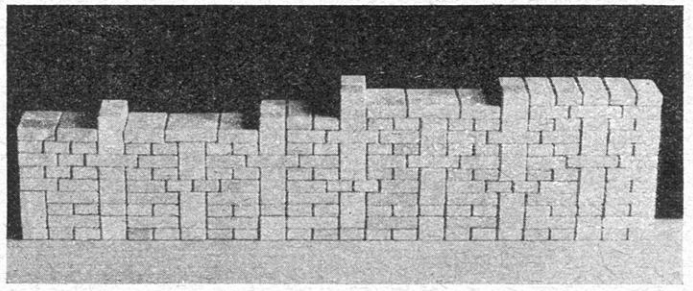

Abb. 40. Stoßfesterer Ziegelverband mit unterbrochenen Lagerschichten.

an die Geschicklichkeit der Maurer besondere Ansprüche. Derartige Ziegelverbände scheinen noch nicht entwickelt zu sein bis auf meinen eigenen Versuch (Abb. 40). Für ihn liegen aber, abgesehen von der Prüfung auf dem Stoßtisch, praktische Erprobungen noch nicht vor. Trotzdem dürfte es sich empfehlen, diesen Weg nicht aus dem Auge zu verlieren.

2. Formziegel geeigneter Art und hoher Festigkeit dürften das Problem der Verzahnung weitgehend vereinfachen. Vielversprechend, auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, ist ein Formziegel, der in Deutschland nach vielen Vorversuchen für andere Zwecke neu entwickelt, aber dem Handel noch nicht übergeben wurde.

3. Ziegelmauerwerk mit waagerechten Betonkränzen verspricht mindestens für zweigeschossige Normalbauten eine vertrauenerweckende Lösung. Zudem sind die Mehrkosten gegenüber massivem Ziegelbau unbedeutend.

Vorläufer dieser Bauweise fielen mir schon vor drei Jahrzehnten im Ätnagebiet Siziliens [13] auf, wo solche Betonkränze den Mauern aus Vulkanschlacken Halt geben sollen. Diesem Gedanken entspricht die hier zu erläuternde Ziegelbauweise, die unter A. RUSSOPULOS von der Technischen Abteilung für Erdbebenbauwesen des Griechischen Ministeriums für Soziale Fürsorge entwickelt, in Bauvorschriften festgelegt und beim Wiederaufbau in Zerstörungsgebieten praktisch angewandt wurde. Besuche von Baustellen überzeugten mich von der grundsätzlichen Zweckmäßigkeit, für die auch die Prüfung (Abb. 41) auf dem Stoßtisch spricht. Wir sehen vor allem, wie gleich der erste Stoß an einem Haus normaler Bauweise und normaler Mörtelbeschaffenheit einen Schaden 9. Grades verursacht, während das Haus mit Eisenbetonkränzen unversehrt bleibt. Auch weiteren Stößen, die das Normalhaus völlig

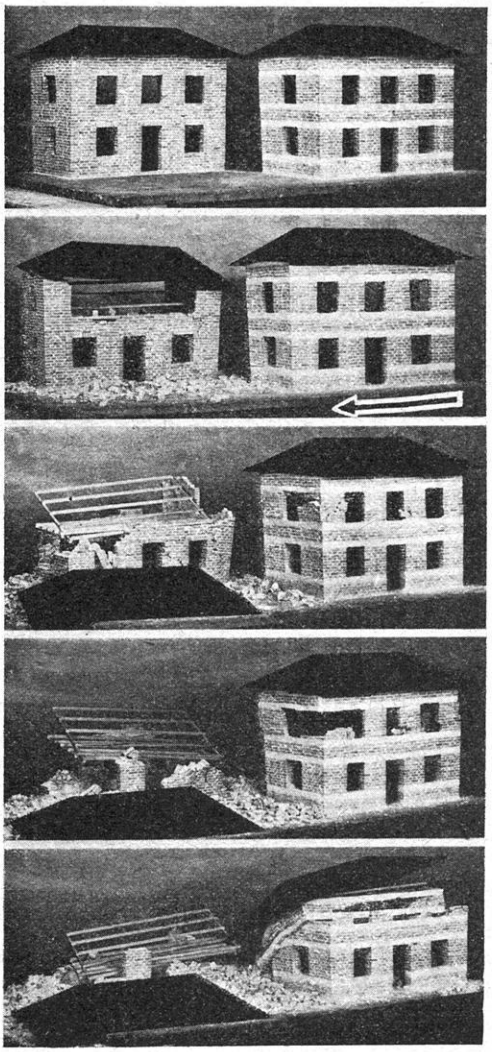

Abb. 41. Gleichzeitige Zerstörung von Ziegelbauten mit und ohne Betonkränze durch 5 aufeinanderfolgende Stöße, zwei 9. Grades und drei 10. Grades; von letzteren fehlt das Bild des mittleren.

vernichten, hält das Haus mit Eisenbetonkränzen noch recht lange Stand, wie man es nur wünschen kann. Jedoch fehlen noch die Bewährungsproben bei natürlichen Erdbeben.

Bei dieser Bauweise unterstützt die hohe Seitensteifigkeit gleichzeitig auch die Eckensteifigkeit, die an sich schon durch erstklassige Maurerarbeit in Verbindung mit Kalkzementmörtel zum erreichbaren Höchstmaß gesteigert wird. Bereits das Fundament ist als stabiler Betonrahmen ausgebildet. Weitere Betonkränze mit Eiseneinlagen bilden durchlaufende Querriegel unterhalb und oberhalb der Tür- und Fensteröffnungen in den Umfassungsmauern; ferner steifen sie die Dachfüße aus. Die statische Berechnung von Mauerstärken und Dicke der Betonrahmen berücksichtigt selbstverständlich neben den zu erwartenden Erdbebenbeschleunigungen auch die Baugrundgefährlichkeit.

Es dürften kaum Schwierigkeiten bestehen, diese für kleinere Wohngebäude gedachte Bauweise für mittelgroße Bauwerke auch anderer Zweckbestimmung erfolgreich weiter zu entwickeln. Dann wird sich allerdings eine Eckenversteifung aus Eisenbeton empfehlen, die in den Ziegelverband eingreift, also vereinfachter Gerippebau.

14. Massiver Betonbau.

Bloß für Kleinbauten liegen verhältnismäßig günstige Erfahrungen bei Erdbeben vor.

Abb. 42.
Schiefstellung eines Betonmassivbaus.
Nach J. R. Freeman.

Aber größere Betonmassivbauten haben die hohen Erwartungen, die selbst heute noch weite Kreise an die Bebenfestigkeit knüpfen, durch den hohen Prozentsatz schwerer Schäden bis zu umfangreichen Zerstörungen enttäuscht. Ursache für die schlechte Bewährung ist vor allen Dingen die verhältnismäßig geringe Festigkeit und Verformbarkeit von Beton, die große Neigung zu sprödem Bruch. Verschärfend wirken etwaige Fehler bei der Betonmischung sowie Zerfrieren. Gießfugen springen leicht auf, ein Zeichen für das Gegeneinanderarbeiten ver-

schiedener Gußabschnitte. Infolgedessen bedeutet im Betonbau jede nachträgliche Änderung eine viel gefährlichere Schwächung als bei anderen Bauweisen.

Es sind allerdings Fälle bekannt, wo Betonmassivbauten nicht nur dem Erdbeben, sondern auch ungleichmäßiger Setzung nachgiebigen Baugrundes standgehalten haben, ohne gefährliche Schäden zu erleiden. Aber auch dieses bedeutet Verlust des Gebäudes, weil es in schiefer Lage (Abb. 42) unbewohnbar ist. Nicht einmal Gesundheit und Leben der Bewohner bleiben beim Kippen wegen des Umfallens von Einrichtungsgegenständen gesichert.

15. Holzfachwerkbauten.

Diese Gruppe umfaßt Bauausführungen, die bei Erdbeben dem normalen Ziegelbau auffallend überlegen sind. Denn ein starkes Fachwerk kann Kräfte mancherlei Art aufnehmen, während Risse und etwaiges Herausplatzen von Wandausfachungen leicht zu behebende Schäden darstellen, obwohl dadurch manchmal stärkere Zerstörungen vorgetäuscht werden.

Teils handelt es sich um halbstarre, teils um die sehr verkannten elastisch-zähen Bauweisen. Hauptsicherung bedeutet die Eckensteifigkeit. Sie wird durch die Haltbarkeit der Eckpfosten, durch deren abscherungsfeste Verankerung im Erdboden oder mit dem Fundament bzw. der Grundschwelle sowie mit der Fußpfette des Daches bestimmt. Entweder biegungs-, bruch- und abscherungsfestes Rahmenwerk mit Diagonalverstrebungen der Fachwerksvierecke, oder biegsame Stiele und abscherungsfrei dem Horizontalschub nachgebende Querriegel gewährleisten die Seitenfestigkeit. Die Wandausfachungen sind so leicht zu wählen, wie es der Schutz vor den klimatischen Verhältnissen erlaubt.

a) Halbsteifer, verstrebter Fachwerkbau. Die Erhaltung eines Fachwerkgebäudes bleibt gesichert, solange es bei der Verformung nicht zum Abscheren wichtiger Teile der hölzernen Tragkonstruktion kommt. Dieses zu verhindern ist in der Hauptsache Aufgabe der Verstrebungen. Dementsprechend versagen bei höherer Schubbeanspruchung erfahrungsgemäß die nicht oder ungenügend verstrebten Fachwerkbauten; vor allem die für Japan typischen Wohnhäuser mit Fachwerkvierecken, die außerdem sehr feuergefährlich sind.

1. Die übliche Bauweise, mehrgeschossig mit Steinausfachungen des verstrebten Gerippes, ist weitverbreitet und meistens gemeint, wenn Fachwerkhäuser in Erdbebenberichten erwähnt werden. Wandausfachung mit lehmverschmiertem Rutenflechtwerk bleibt heutzutage vor-

nehmlich Scheunen, Ställen und anderen landwirtschaftlichen Nebengebäuden vorbehalten.

Fachwerkgebäude in gutem Zustand pflegen um etwa 1 Mercalli-Sieberg-Grad widerstandsfähiger zu sein als massive Ziegelbauten entsprechender Art. Beschädigungen der Wandausfachung lassen sich schnell und mit geringen Kosten ausbessern. Aber Verdrückungen des ganzen Gerippes bedeuten fast stets Abbruchreife.

2. Hölzerne Blockhäuser (Abb. 43) sind verstrebte Fachwerkbauten mit dicker Holzverkleidung, oftmals auch außen verputzt und meistens eingeschossig. Abgesehen von der Brandgefahr, die durch Stroh- oder Holzschindeldächer noch vermehrt wird, bewähren sie sich, ebenso wie Holzkirchen, bei Erdbeben um mindestens 1 Wirkungsgrad besser als die vorgenannten Fachwerkhäuser; selbstverständlich solange sie nicht verwahrlost und morsch sind oder zu schwere und zu hohe Dächer tragen.

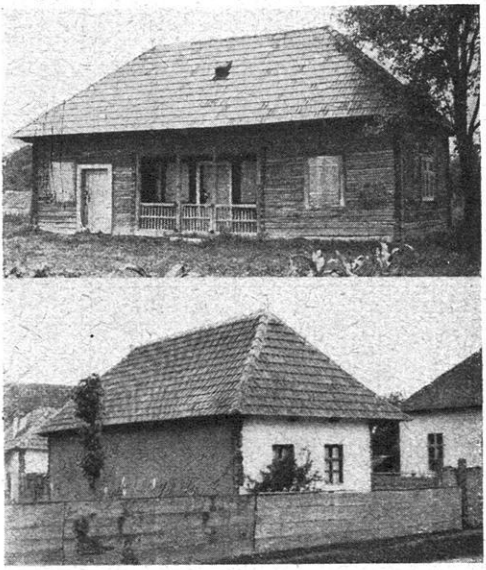

Abb. 43. Hölzerne Blockhäuser im ursprünglichen Zustand und verputzt.

In den Dörfern mancher Erdbebengegenden bilden sie die Hauptmasse aller Wohn- und Wirtschaftsgebäude. Es läßt sich nicht leugnen, daß sie in der jetzigen Ausführung manchen Anforderungen heutiger Wohnkultur nicht entsprechen. Dem ließe sich aber bei Neubauten der gleichen Art ohne weiteres abhelfen. Um so bedenklicher ist deshalb der mißverstandene Ehrgeiz, diese altbewährte, bodenständige Bauweise durch Ziegelbauten meistens unzweckmäßiger Ausführung zu ersetzen und damit die Gefährdung durch Erdbeben erheblich zu steigern.

Die Bauweise der modernen mehrgeschossigen Blockhäuser, die vereinzelt auch in Deutschland gerade von anspruchsvollen Bevölkerungskreisen zu Wohnzwecken benutzt werden, ist mir unbekannt. Deshalb entzieht es sich meiner Beurteilung, wie weit sich solche Blockhäuser bebenfester gestalten lassen.

b) Elastisch-zäher Fachwerkbau bildet in verschiedenen Weltgegenden seit den ältesten Zeiten die bewährte Urform bewußt ange-

strebter, erdbebensicherer Bauweise. Allerdings pflegen sich fast sämtliche Lösungen des Problems bloß für bescheidene, ländliche Wohnstätten zu eignen. Deshalb kann ich mich auf die Besprechung von zwei Arten beschränken, die ich im Gebrauch kennenlernte.

1. Flechtwerkhütten, als Einzelhöfe oder zu Dörfern zusammengefaßt, finden sich auch in holzreichen Erdbebengebieten Europas besonders dort, wo Mangel an Bausteinen herrscht. Oftmals fehlen Fundamente. Als Pfosten und Stiele sind Knüppel einfach in den Boden gerammt. Als Wandausfachung dient mit Stroh vermengter Lehm auf Rutenflechtwerk. Verputz schützt vor Nässe und sorgt für gefälliges Aussehen.

Bei gutem Erhaltungszustand ist die Standfestigkeit dieser primitiven Bauweise erfahrungsgemäß recht schweren Beanspruchungen gewachsen. Leben und Habe der Bewohner bleiben selbst dann wenig gefährdet, wenn der abdichtende Lehmbewurf großenteils abfällt oder das Tragwerk verdrückt wird. Hauptgefahr sind das Faulen des Holzes in der Erde und das Dach; beides kann zu vollständigem Zusammenbruch führen.

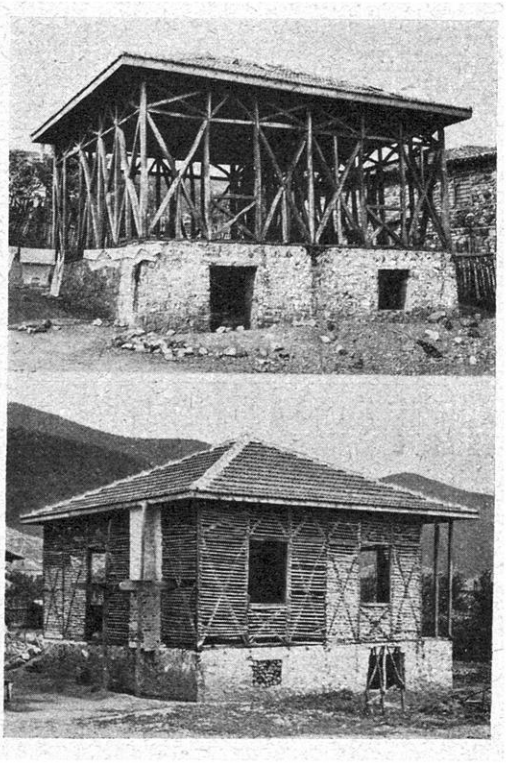

Abb. 44. Zatmas-Fachwerkbauten, im Aufbau begriffen.

2. Der Zatmas-Fachwerkbau (alttürkisch Zatmas = Verputz) (Abb. 44) wurde aus Kleinasien nach Griechenland verpflanzt. Er verbindet mit gesteigerter Bebenfestigkeit verhältnismäßig billiges Bauen und leichte Beseitigung etwaiger Schäden. Bautechnisch bedeutet er gegenüber den Flechtwerkhütten einen wesentlichen Fortschritt. Auch ist er über den Rahmen von ländlichen Wohnhäusern hinaus entwicklungsfähig; das Gleiche gilt für Klimaschutz und Wohnkultur. Gegen mehrgeschossige Ausführung hege ich bei Erdbeben vom 9. Grad ab aus Mangel an eigenen Erfahrungen einstweilen noch Bedenken. Hauptgefahrenquelle bleiben das Dach und die Kamine, zumal wenn letztere außen neben dem Haus hochgeführt werden.

Das Fundament erfordert besonders sorgfältige Ausführung, am besten in Beton. Zulässig ist sein Ausbau zu niedrigem Kellergeschoß, aber kaum zum Erdgeschoß. Nicht weniger Sorgfalt ist auf die abscherungsfeste Verankerung von Grundschwelle, Eckpfosten und Stielen mit dem Fundament zu verwenden; auch auf Fernhalten von Nässe, die das Holz vor allem an der Grundschwelle zum Faulen bringt.

Das tragende und durch Diagonalverbände gut verstrebte Holzfachwerk hat die Aufgabe, dem Horizontalschub des Erdstoßes elastisch nachzugeben. Deshalb werden die üblichen, schwächenden Holzverbände (Verzapfungen, Verblattungen, Verkämmungen u. dgl.) durch geraden Stoß mit Eisenwinkeln, Klammern, Schrauben und Nägeln ersetzt.

Die Last des aufgelegten Daches erzeugt im offenen Tragwerk schwach verformende Spannungen. Leichtes Dach ist eine Selbstverständlichkeit, ein flaches Dach zu bevorzugen, sofern es die Schneeverhältnisse erlauben.

Die Art der Wandausfachung gewinnt neben der Tragwerksausführung besondere Bedeutung. Ein Lattenrost außen und innen, dessen aufgenagelte Stäbe horizontal in der Schubrichtung verlaufen, sichert durch seine Nachgiebigkeit die bruchlose Verformung des Gerippes. Die Zwischenräume werden mit Lehm ausgefüllt, der mit Steinchen, Stroh, Schilf u. dgl. untermischt ist. Zur Verkleidung dient normaler Putz.

16. Eisenbetongerippebau.

Baufachleute beurteilen die Erdbebenfestigkeit von Gerippebauten mit Eisenbetontragwerken zum Teil recht widerspruchsvoll. Ursache scheinen nicht erkannte Zufälligkeiten bei untersuchten Einzelobjekten zu sein. Deshalb verlohnt es sich, zunächst einmal das Wesentliche des Gerippebaus kurz zusammenzufassen.

a) Gerippebau im allgemeinen bedeutet ebenes und räumliches Fachwerk (Abb. 45 und 47) aus anderem Material als Holz. Bloß das steife oder biegsame Tragwerk aus Stützen und Balken überträgt die Gebäudelasten samt zusätzlichen waagerechten Beanspruchungen auf die Fundamente. Dagegen sind die Abschluß- und Trennwände nachträglich eingebaute Ausfachungen, also füllende, nicht tragende Teile.

Horizontalkräfte können bei *unversteiften* Fachwerksvierecken allerdings bis zu einem gewissen Grad auf die Wände abgeführt werden, wenn die Zwischendecken als monolithisch wirkende Versteifungsscheiben ausgebildet sind. Aber bei höherer Beanspruchung wird die Ausbildung der Stockwerke als freigespannte *Rahmen* mit gewölbeartiger Wirkungsform notwendig. Vouten bzw. Knotenbleche nehmen die Schub-

spannungen und Biegungsmomente an den Einspannstellen auf und verstärken die Verbindungen von Stützen und Balken nach Art von Dreiecksverstrebungen.

Unter den tragenden Stützen oder Säulen pflegen diejenigen der Fassadenwände früher und stärker gefährdet zu sein als die Innensäulen. Besondere Schwächung des Gesamtgebäudes bedeuten freistehende Eckstützen, hinter denen die Fassade diagonal abgeschrägt ist, um einen breiteren Eingang etwa für ein Geschäfts- oder Gasthaus zu gewinnen. Ausknicken von Säulen erfolgt selten. Vielmehr werden hauptsächlich deren Köpfe und auch Füße am wirksamsten beansprucht, selbst bis zur Zermalmung, wenn nicht entsprechende Ausbildung Schutz gewährt.

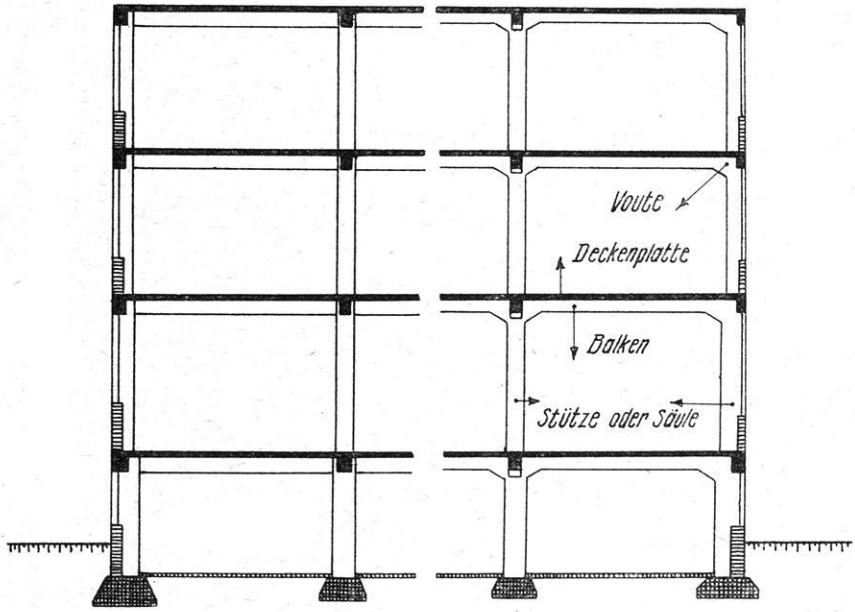

Abb. 45. Eisenbetongerippebau, links unversteift, rechts Stockwerksrahmen.

b) Eisenbetongerippe (Abb. 45) sollen den Gebäuden durch biegungsfeste Verbindungen von Stützen, Balken, Decken und Fundamenten ausreichende Steifigkeit gegen Horizontalkräfte verleihen. Dies beeinträchtigt aber die geringe Zug- und Biegungsfestigkeit des Betons mit der Neigung zu sprödem Bruch, trotzdem die Eiseneinlagen die Zugfestigkeit erhöhen. Überdies wirken nicht nur schlechte Beschaffenheit des Betons, sondern auch Gießfugen sowie nachträgliche Eingriffe in das Tragwerk gelegentlich von Um- und Anbauten erheblich schwächend. Für Stiele und Säulen scheinen sich kreuzförmige Verstärkungen des Querschnitts besonders bewährt zu haben. Die Gefahr des Heraus-

platzens von Wandausfachungen läßt sich durch dübelartige Verbindungen von Eisenbetonwänden mit den tragenden Teilen verringern.

Unter diesen Umständen ist verständlich, daß schon mittelhohe Normalgebäude mit Eisenbetongerippen die auf sie gesetzten Hoffnungen enttäuschen; zumal sie gegen Änderungen der Stützbedingungen infolge von Senkungen und Rutschungen empfindlich sind. Die Hauptgefahr liegt in den Stützen und Säulen, so daß mit der Gefahr vollständigen Zusammenbruches von Gebäuden schon bei geringen Erdbebenstärken gerechnet werden muß.

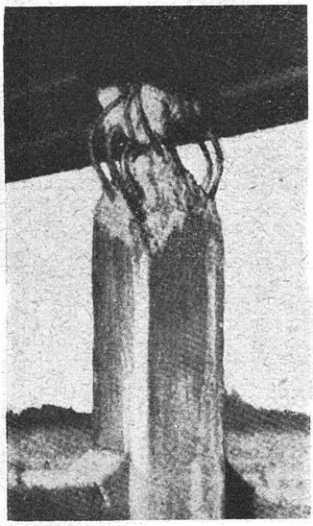

Abb. 46.
Zermalmter Stützenkopf aus Eisenbeton.

Unversteifte Eisenbetongerippebauten, also ohne zusätzliche Eckversteifungen durch Vouten, sind guten Ziegelbauten nicht wesentlich überlegen. Sie erleiden schon kräftige Schäden, verglichen mit dem 8. Grad der Backsteinhäuser; vor allem stürzen Füllmassen zu Boden. Der 9. Grad pflegt bereits Köpfe und Füße von Stützen zu brechen und samt den Armierungseisen loszureißen (Abb. 46). Dies kann für die Tragfähigkeit des Gerippes eine solche Schwächung bedeuten, daß Reparatur kaum mehr lohnt, wenn sie überhaupt noch möglich ist. Auch muß mit der Möglichkeit vollständigen Einsturzes gerechnet werden. Überschlank dimensionierte Stützen und überschlanke Hochhäuser bilden sogar schon beim 8. Grad eine große Gefahr selbst bei sorgfältiger Bauausführung. Ein Schulbeispiel hierfür ist der Zusammenbruch des Carlton-Hochhauses in Bukarest beim Erdbeben vom 10. November 1940.

Etwa um 1–2 Grad erdbebenfester sind die durch Vouten versteiften Eisenbetongerippebauten mit *Stockwerksrahmen*.

17. Stahlgerippebau.

Viel günstiger liegen im Prinzip die Verhältnisse beim Aufbau des Gerippes aus Baustahl in der Form von Profileisen und Blechen (Abb. 47). Das gleichmäßige Gefüge und die große Verformbarkeit dieses Baustoffs schützen vor plötzlichem sprödem Bruch der Traglieder bei Beanspruchungen jeder Art und Richtung, sogar bei schnell aufeinanderfolgenden Wechselbeanspruchungen. Daran hindern auch nicht die unentbehrlichen feuerfesten Ummantelungen. Ausschwingungen des Tragwerkes neigen zur Erzeugung schräger Kreuzrisse in den Ausfachungen.

Nebenbei bemerkt muß der Versuch, die Entstehung solcher Kreuzrisse als Zeichen für Vertikalstöße anzusehen, zurückgewiesen werden. Das Herausfallen von Füllwerk bietet bei großen Biegungsmomenten die Möglichkeit zu bleibenden Verformungen von Stützen, die schließlich zu Zerstörungen führen. Geringes Gesamtgewicht und geringe Empfindlichkeit gegen Änderungen der Stützbedingungen, die sogar den Ausgleich von Fundamentsetzungen durch Anheben von Stützen zuläßt, sind weitere beachtliche Vorteile dieser Bauweise. Jedoch vermag die Instandsetzung beschädigter Ausfachungen recht kostspielig zu werden.

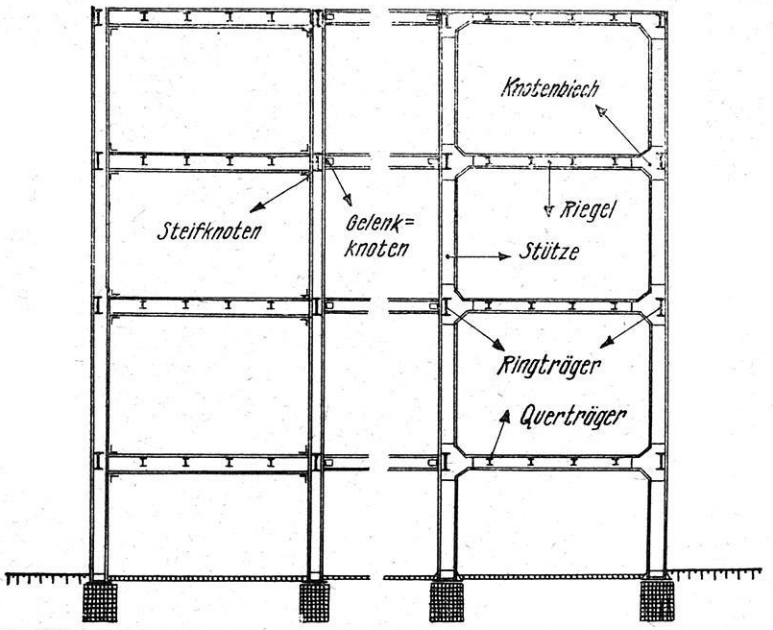

Abb. 47. Stahlgerippebau, links unversteift, rechts Stockwerksrahmen.

Auch bei Stahlgerippebau[1]) gibt es, trotz dieser günstigen Vorbedingungen, je nach der Bauweise beträchtliche Unterschiede in der Erdbebenfestigkeit. Das gefährdetste Bauglied ist die Wandausfachung, während Zusammenbrüche des Tragwerks zu den Seltenheiten gehören dürften.

Den Erwartungen haben nicht entsprochen die Stahlgerippebauten mit *unversteiften* Fachwerksvierecken, die von amerikanischen Baufirmen bevorzugt werden. Denn das elastische Nachgeben der schlanken Tragsäulen wirkt verheerend auf steifes Füllwerk, vor allem auf Ziegel-

[1]) Besonders strenges Photographierverbot verhinderte mich an der Aufnahme sehr lehrreicher Objekte.

mauerwerk. Die Folgen haben wir vorstehend kennengelernt. Die Erdbebenfestigkeit dürfte kaum mehr als 1 Grad höher liegen als beim Eisenbetongerippebau ohne zusätzliche Rahmenwirkung; aber Einsturzgefahr besteht kaum.

Beim *Stockwerksrahmenbau* ersetzen die Knotenbleche die Dreiecksverstrebungen. Dieses bedeutet eine weitere zusätzliche Erdbebensicherung um mindestens 2, vielleicht auch 3 Grad.

18. Hochhäuser und andere überschlanke Bauten.

Praktisch beginnt der Einfluß der Schlankheit eines Bauwerks dort, wo es sich frei über stützende Nachbargebäude erhebt. Überschlanke Bauten werden, wie wir Seite 26 sahen, beim Erdbeben auf Biegung beansprucht, mithin grundsätzlich anders als Normalbauten.

a) Biegungsschwingungen. Die Natur des Erdbebenstoßes zeigt ein Gemisch von mehreren Schwingungen verschiedener Frequenz. Entsprechend setzt sich die Schwingungsform eines mitgeschleppten Bauwerks überschlanker Bauart zusammen. Hieraus folgt zunächst, daß Knoten der Schwingungen auch oberhalb der Einspannstelle auftreten können. Weiterhin, daß die größte Abweichung der Widerstandsmomentenfläche des Gebäudes von der Biegemomentenfläche, die der Erdstoß bedingt, also die schwächste Stelle, sich gleichfalls oberhalb der Einspannstelle zeigt (Abb. 48). Erfahrungsgemäß pflegt sich die Bruchstelle überschlanker Bauten in etwa ein bis zwei Dritteln der gesamten Bauwerkshöhe bevorzugt zu entwickeln.

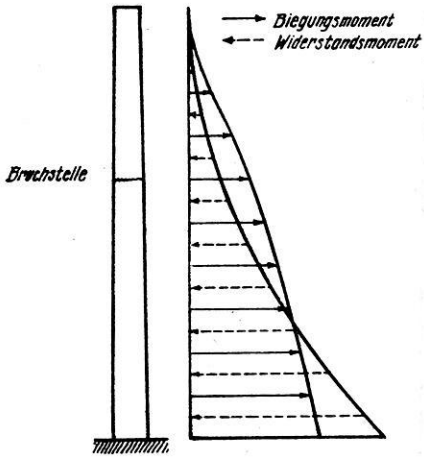

Abb. 48. Festigkeitsverteilung eines überschlanken Bauwerks und Beanspruchung durch Verbiegung.

In der Literatur spielt Resonanz, die anfänglich kleine Ausschläge der Gebäude zu immer größeren Amplituden bis zu Zerstörungen aufschaukeln kann, eine vielumstrittene Rolle. Die Möglichkeit des Aufschaukelns setzt einen gleichmäßigen, länger andauernden Wellenzug sinusförmiger Bodenbewegungen voraus. Bei dieser Annahme wäre zwar ein Aufschaukeln theoretisch möglich. Denn überschlanke Bauten schwingen mit verhältnismäßig großen Eigenperioden, nämlich von einer Sekunde und mehr. Perioden ähnlicher Größenordnung haben bekanntlich gefährliche Erdbeben, so daß der Resonanzfall gegeben wäre. Aber der

Dämpfungsgrad überschlanker Bauten ist verhältnismäßig klein. Daraus ergibt sich eine so lange Aufschaukelzeit, wie sie in der Praxis kaum vorkommen dürfte. Ich habe den Eindruck, daß angebliche Zerstörungen durch Aufschaukeln auf Verwechslung beruhen. Denn das gleiche Schadensbild kann, wie wir sahen, ohne Aufschaukeln entstehen, wenn mehrere aufeinanderfolgende Stöße die anfänglich geringen Zerstörungen immer mehr steigern. Eigenperioden, die 1 Sekunde wesentlich überschreiten, schützen überschlanke Bauten bei hohen Bebenstärken nicht vor dem Zusammenbruch auf den ersten Ruck, den wir für Normalbauten als typisch kennenlernten. Elastische Gründungen, die die Eigenperiode des Bauwerks verlängern, sind deshalb zwecklos. Am sichersten bleiben steife Gründungen, weil sie die Bedingungen vollständiger Einspannung erfüllen.

Selbst unter dem vorstehend entwickelten Gesichtspunkt erscheint mir eine Anregung Briskes [1] beachtenswert, obwohl ihre rechnerische Ableitung auf dem Resonanzfall beruht. Briske kommt zum Schluß, reichliche Verjüngung nach oben, wie wir sie in übertriebenem Maße vom Eiffelturm in Paris her kennen, biete größere Erdbebenfestigkeit, während Ausführungen nach Art der amerikanischen Wolkenkratzer oder der Kölner Domtürme in Erdbebengebieten höchst gefährlich bleiben.

b) Einfluß der Baustoffe. Biegungsverformung und Zerstörung schlanker und überschlanker Gebäude werden letzten Endes von der Elastizität einschließlich der Verbandsmöglichkeiten der Baustoffe bestimmt. Je größer die Spanne zwischen Elastizitäts- und Bruchgrenze in den höchstbeanspruchten Gebäudeabschnitten ist, desto mehr verringert sich die Gefahr, daß Schwerpunktsverlagerungen zu bleibenden Verformungen oder zu sofortigem Einsturz führen. Einige charakteristische Unterschiede dieser Art seien nachstehend für wichtige Baustoffe kurz beleuchtet, weil sich hierdurch die erdbebenkundliche Bewertung der Bauwerkstypen wesentlich vereinfacht.

1. Ziegelmauerwerk, vor allem Mörtel, hat unter den normalen Baustoffen die geringste Elastizität und Festigkeit. Auf der jeweiligen Seite der Biegungsbeanspruchung platzen an den Schwächestellen treppenförmige Risse der Fugen auf. Da Horizontalverschiebung der Ziegel nicht zu folgen pflegt, bleibt der losgelöste obere Abschnitt unverrückt auf den Lagerfugen stehen, die äußere Form bleibt erhalten. Die Verformbarkeit ist eine gelenkig-biegsame geworden und läßt bei kleinen Amplituden verhältnismäßig unschädliche Wackelschwingungen zu. Größere Schwerpunktsverlagerungen aber kippen den gelösten Bauwerksteil aus dem Gelenk heraus in die Tiefe.

Bei günstigem Verlauf kann der untere Abschnitt des überschlanken Gebäudes erhalten bleiben, während der obere Abschnitt mindestens

abbruchreif wird, selbst wenn ihn geeignete Verankerungen vor dem Herunterfallen bewahrt haben sollten.

2. Beton und Eisenbeton im Gerippebau. Obwohl Beton durchschnittlich viermal größere Elastizität als Ziegelmauerwerk besitzt, neigt er sehr zu sprödem Bruch. Deshalb reagiert er auf Zug- und Biegebeanspruchung nicht in dem Maße günstiger, wie man erwarten möchte. Bewehrung mit Eiseneinlagen erhöht zwar die Zugfestigkeit des Konstruktionsgliedes, aber in der Hauptsache erschwert sie das Auseinanderfallen der Betonbruchstücke. Für schlanke und überschlanke Bauten dürfte unbewehrter Beton weder bei monolithisch wirkendem Massivbau noch als Tragwerk bei Gerippebau in Frage kommen.

An der Stelle, wo die Biegungszugbeanspruchung die Festigkeit des Betons überschreitet, erfolgt spröder Bruch an schräg von unten nach oben verlaufenden Rissen, die trotz der Eiseneinlagen ein Herabgleiten der Last ermöglichen. Etwaige Wackelschwingungen zermalmen, ebenso wie übergroßer Druck, an den Rißrändern den Beton.

Den einzigen Schutz vermag Rahmenbau zu gewähren, soweit er Biegungsbeanspruchung schadlos aufnimmt.

3. Stahl im Gerippebau. Über die hervorragende Erdbebenfestigkeit des Baustahls bei dieser Bauart wurde bereits das Erforderliche gesagt. Die Biegungszugfestigkeit beträgt etwa das 40fache von derjenigen von Ziegelmauerwerk. Beim Baustahl liegen die Elastizitäts- und die Bruchgrenze recht weit auseinander. Selbst hohe überschlanke Stützen können durch Erdbebenstöße so beansprucht werden, daß zwar die Elastizitätsgrenze überschritten, aber die Bruchgrenze nicht erreicht wird. In diesem Falle kommt es allerdings zu bleibenden Verformungen, die infolge der Schwerewirkung allmählich zunehmen und schließlich doch zu sehr störenden Schäden oder gar zu Zerstörungen führen.

Hiergegen kann wiederum nur Rahmenbau helfen, weil er gefährliche Verbiegung der stählernen Tragwerksteile verhindert.

c) Schornsteine, die etwa im Gelände industrieller Anlagen freistehend zu beträchtlichen Höhen emporstreben, bilden den Idealfall des überschlanken Bauwerks. Der Stoßtischversuch Abb. 15 auf Seite 27 zeigt, wie der oberste Abschnitt des Kamins als träge Masse wirkt und abbricht, sobald der Fußpunkt unter dem Schwerpunkt durchgewandert ist.

Schon leichte Schadenbeben vermögen in ziegelgemauerten Schornsteinen Risse zu erzeugen, meistens in Verbindung mit Abbrechen von Randsteinen des Kopfes. Wegen der gelenkigen Biegsamkeit pflegen auch stärkere Beanspruchungen verhältnismäßig gut überstanden zu werden, so daß deren Schäden leicht zu beseitigen sind. Die steiferen Schorn-

steine aus Eisenbeton leiden zwar erst bei erheblich höheren Beanspruchungen, dann aber auch gleich schwer, meistens bis zur vollständigen Abbruchreife.

Bei Leitungsmasten aus Beton erreicht die Steifigkeit einen besonders hohen Grad unter Abnahme von Eigenperiode und Möglichkeit, in Ober-

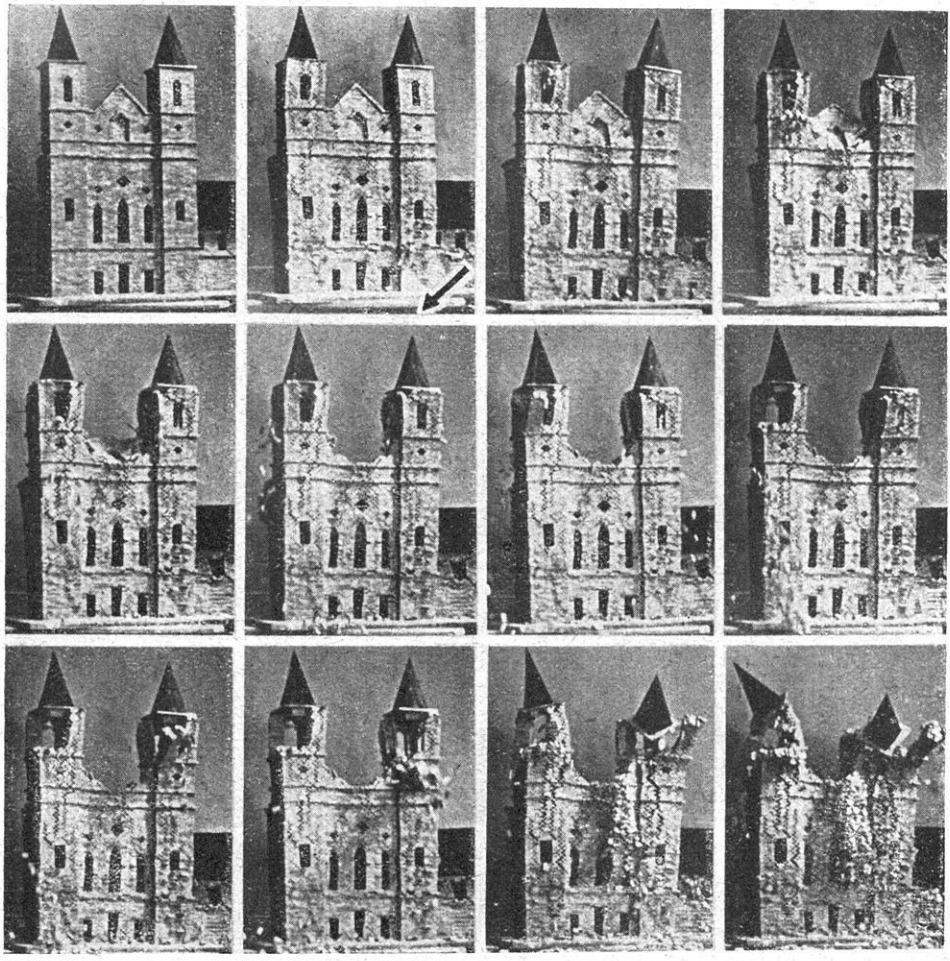

Abb. 49. Einfluß gekoppelter Schwingungen auf die Zerstörung einer Kirche aus Trockenmauerwerk. Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

schwingungen zu geraten. Infolgedessen erfolgt das Abknicken vorzugsweise nahe der Einspannstelle am Boden.

d) Türme. Ganz oder nahezu frei stehende Aussichts-, Leucht- und Wassertürme, Silos u. dgl. weisen gegenüber Schornsteinen in ihrem Verhalten nur solche Unterschiede auf, die durch den geringeren Schlank-

heitsgrad, durch Art, Verband und Dimensionierung des Baumaterials sowie durch die architektonische Formgebung bedingt werden. Über Einzelfälle Klarheit zu gewinnen dürfte nach den bisherigen Darlegungen nicht schwer fallen.

Dagegen können die Reaktionen von *Kirchtürmen* und ähnlichen Bau-

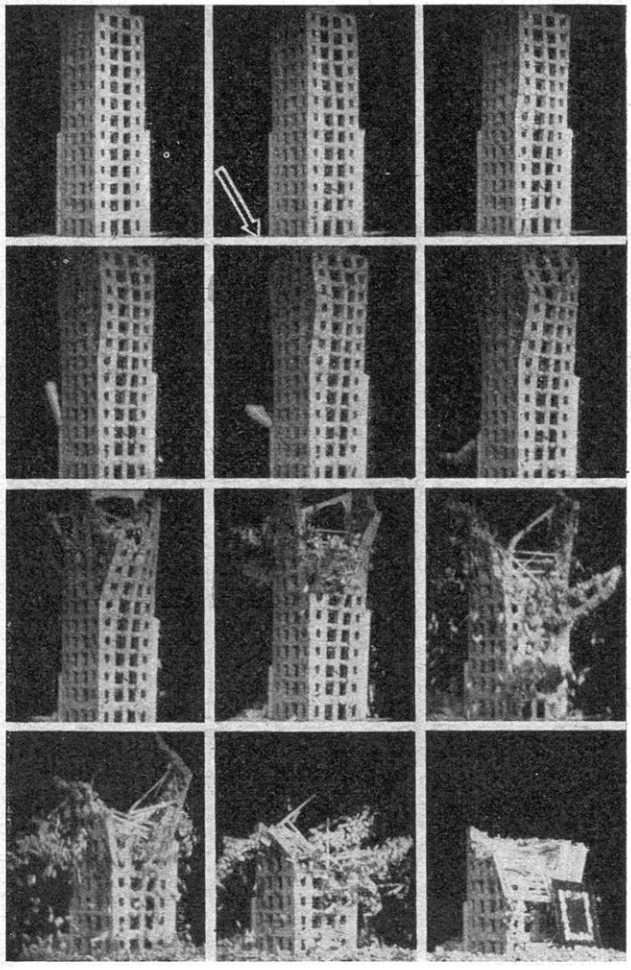

Abb. 50. Zerstörung eines Hochhauses aus Trockenmauerwerk. Auswahl aus Zeitlupenaufnahmen.

formen durch ihre Kopplung mit den übrigen Gebäudegliedern stark beeinflußt werden. Ein sprechendes Beispiel hierfür bietet die Auswahl Abb. 49 aus Zeitlupenaufnahmen.

e) Hochhäuser. sind in Erdbebengegenden eine so gefährliche Gebäudeform, daß sie dort eigentlich keine Daseinsberechtigung haben. Sie

gewähren auf engster Grundfläche besonders dicht gedrängten Menschenmassen teils vorübergehenden Aufenthalt, teils dauernde Wohnung. Einsturz bedeutet, abgesehen von den Menschenopfern, für den Besitzer einen sehr schweren Verlust. Dazu kommt die drohende Vernichtung von Nachbargebäuden durch Zufallsschäden.

Den Vorgang von Verformung und Zusammenbruch durch Schrägstoß läßt Abb. 50 in den Hauptphasen verfolgen. Wir erkennen oberhalb der stützenden Nachbarmauern die wechselnden Verbiegungen durch den Anstoß und durch die Bremswirkung des weiteren Vorstoßes. Charakteristisch ist der ins Gebäudeinnere hinein gerichtete Zusammenbruch der obersten Stockwerke; ihre Trümmermassen drängen die tiefer gelegenen Reste der Umfassungsmauer auseinander und gleiten dann in der Stoßrichtung nach unten ab, so daß die Zwischendecken der Stockwerke wie Fischschuppen übereinandergreifend am Boden liegen. Ein Rest von wenigen Stockwerken blieb stehen. Das Trümmerfeld gleicht weitgehend demjenigen des Carlton-Hochhauses in Bukarest 1940, eines Eckhauses, dessen Einsturz der Modellversuch nachahmt.

Für Hochhäuser in Gegenden mit schweren Erdbeben kommen nur Gerippebauten mit Stockwerkrahmen in Frage. Zweifellos ist Stahlgerippebau dem Eisenbetongerippebau überlegen. Aber es steht noch nicht fest, wie er sich bei vollgültiger Beanspruchung verhält. Denn die mir bekanntgewordenen Beurteilungen berücksichtigen bloß Erdbeben höchstens 9. Grades, bezogen auf normalen Ziegelbau.

Neben der Bauweise spielen die Auslesefaktoren eine gewichtige Rolle sowohl hinsichtlich der Setzungsmöglichkeiten als auch der Stoßrichtung. Letztere wirkt sich entsprechend den Freiheitsgraden der Bewegung aus, die die Nachbargebäude für das Hochhaus zulassen. Hochhäuser an Straßenecken sind besonders stark gefährdet, inmitten einer Straßenzeile bilden sie eine schwere Bedrohung für die Nachbarschaft.

19. Zusammenfassendes über Erdbebenfestigkeit im Hochbau.

Schon die Verschiedenheit örtlicher Gewohnheiten, des Verständnisses, Könnens und der Gewissenhaftigkeit von Bauunternehmern und Bauhandwerkern, ganz abgesehen von dem Erhaltungszustand der Bauten, lassen jeden Versuch, die Erdbebenfestigkeit üblicher Bauweisen miteinander zu vergleichen, als höchst gewagt erscheinen. Unter diesem Gesichtspunkt ist Tabelle III zu bewerten. Sie will nichts weiter als eine ganz grobe Vorstellung von der ungefähren Größenordnung vermitteln, wie Bauweise und Baustoff die Wirkung eines Erdstoßes unter normalen Bedingungen beeinflussen können. Als Vergleichsobjekt dient Ziegelbau, der ja auch den Erdbebenskalen zugrunde liegt. Trotz des problema-

Tabelle III. Einfluß von Bauweisen auf die Erdbebenwirkungen.

	Mercalli-Sieberg-Grade				
Normaler Ziegelbau	7	8	9	10	11
Quadermauerwerk, schlecht	8	9	10	11	12
Bruchsteinmauerwerk	9	10	11	12	12
Luftgetrocknete Lehmziegel (Adobe)	8–9	9–10	10–11	12	12
Ziegelmauerwerk mit Betonkränzen			7	8–9	9–11
Massiver Betonbau			7	8	9	10
Holzfachwerk dreieckig verstrebt			7	8	9	10–11
Holzfachwerk mit Fachwerkviereck	7	8–9	10–11	12	12
Hölzernes Blockhaus			7	8–9	10–11
Flechtwerkhütte			7	8–9	10–11
Zatmas			7	8–9	10–11
Unversteiftes Eisenbetongerippe		8	9–10	10–12	12
Eisenbetongerippe mit Rahmenwirkung		7	7–8	8–9	9–11
Unversteiftes Stahlgerippe		7	8	9–10	10–11
Stahlgerippe mit Rahmenwirkung			6–7	7–8	8–10

tischen Charakters scheint mir diese Darstellungsweise anschaulicher zu sein als lange Worte.

20. Ingenieurbauten.

In Ermangelung ausreichender eigener Erfahrungen auf diesem Gebiet beschränke ich mich auf einige wenige referierende Angaben.

a) Brücken. Von ihnen haben sich die gewölbten bei Erdbeben besonders gut bewährt. Im Falle hoher Bebenstärken vermag die Ziegelbauweise wegen der erforderlichen starken Abmessung den Wettbewerb mit den Eisenbetonbauweisen wirtschaftlich nicht mehr aufzunehmen. Bei Balkenbrücken aller Art bleiben im allgemeinen die Träger selbst unbeschädigt; die Zerstörungen sind fast ausnahmslos auf Rutschen oder Kanten von Widerlagern, auf Abscheren oder ganz häufig auf Umkippen allzu schlanker Pfeiler zurückzuführen. Auch die Resonanzgefahr ist bei sehr schlanken Pfeilern zu beachten. Die zweckmäßigste Ausführungsform von Brücken mit nur einer Öffnung sind Balkenbrücken. Bogenbrücken sind wegen der Gefahr, die selbst eine kleine Bewegung der Widerlager auf das Tragwerk mit sich bringt, stets gefährdet.

b) Viadukte. Es empfiehlt sich neben der Gewölbekonstruktion die Übertragung der durch Erdbeben hervorgerufenen Endkräfte auf die Endwiderlager, bei längeren Viadukten auf Gruppenpfeiler.

c) Tunnels sind, wie die Erfahrung lehrt, sehr sicher. Denn die an sich gegen den Gebirgsdruck notwendige Gewölbekonstruktion schützt auch gegen die Zerstörung durch Erdbeben, die sich praktisch bloß in einer Änderung der Druckrichtung äußern können. Es kommt noch hinzu, daß die Amplituden der Wellen mit der Tiefe abnehmen. Infolge-

dessen gehören Zerstörungen zu den größten Seltenheiten. Die Schäden beschränken sich auf ungefährliche Querrisse nahe den Portalen oder Beschädigung der Portale selbst; gelegentlich stürzen auch Portale ein. Diese Schäden lassen sich durch Verwendung von Eisenbeton für die Portale und die ihnen zunächst liegenden Tunnelstrecken vermeiden.

d) Erdbauten aller Art sind besonders gefährdet durch Zusammensturz der Böschungen; denn die rüttelnde Bewegung lockeren Erdbodens flacht den Böschungswinkel ab. Lockerung von Eisenbahndämmen und Entgleisung von Zügen, Verschüttung von Bahneinschnitten und Bahnabschnitten an steilen Berghängen sind die Folge. Infolgedessen müssen in Erdbebenländern die Böschungen sehr flach, die Stütz- und Futtermauern erhöhtem Erddruck entsprechend viel kräftiger gehalten werden als in Gegenden schwacher Erdbebentätigkeit.

e) Wasserbauanlagen erfordern ganz besondere Vorsicht und großes Einfühlungsvermögen. Bei den *Deichen* wird die Gefahr der Lockerung durch Erdbeben vermehrt und damit auch die Möglichkeit der Zerstörung durch nachfolgendes Hochwasser. *Talsperren* für Wasserkraftanlagen und Wasserversorgung erfordern ganz besonders widerstandsfähige Staumauern und sollen überhaupt nicht in bekannten Zerstörungsgebieten von Erdbeben angelegt werden. *Kanäle* und *Niederdruck-Wasserkraftanlagen* können schon durch verhältnismäßig kleine Höhenänderungen des Geländes wesentlich gestört werden. Eine wichtige Frage, besonders für die Wasserversorgung, ist die Gefahr der Verstopfung und Neubildung von Quellenadern. Verwerfungsspalten bilden eine große Gefahr für Röhren aller Art; der Bruch von Gasröhren erleichtert die Entstehung von Feuersbrünsten, derjenige von Wasserleitungsröhren erschwert das Löschen.

Sechster Abschnitt.

Zum Planen von Bauanlagen in Erdbebengebieten.

Bei bautechnischer Erdbebensicherung kommt der flächenhaften Planung von Gebäudeansammlungen noch größere Bedeutung zu als derjenigen von Einzelobjekten, deren Schicksal die Allgemeinheit der Bevölkerung nur wenig zu berühren pflegt.

Immer noch gibt es Erdbebenländer, die Zerstörungen fatalistisch hinnehmen, ohne sich zu vorbeugenden Maßnahmen aufzuraffen. Dieses ist wegen des leichten Vergessens in jenen Fällen einigermaßen entschuldbar, wenn Erdbeben schwerer Art mit langen Zeitspannen der Ruhe abwechseln. Einzelinitiative, so sehr sie auch zu begrüßen ist, vermag der

gefährdeten Bevölkerung wenig zu helfen und erweist sich als unwirtschaftlich. Nur staatliches Eingreifen vermag eine Wandlung zu Besserem herbeizuführen.

Erste Aufgabe bautechnischer Erdbebensicherung ist der *Schutz von Leben und Gesundheit.* Beide werden nicht bloß von den Menschenfallen der zusammenbrechenden Gebäude bedroht. Vielmehr können auch Gebäude, die bewohnbar bleiben, zu empfindlichen Menschenverlusten führen, wenn Schornsteine, Dachziegel, schlecht verankerte Schmuckaufsätze, Balkone u. dgl. sowie namentlich das Füllwerk von Gerippebauten auf die Fliehenden niederprasseln.

An zweiter Stelle steht der Schutz von *Vermögenswerten.* Oberster Grundsatz sind Erhaltung des gesamten Bauwerks oder mindestens seines Tragwerks, sowie billige und schnelle Ausbesserung von Schäden. Ein zerstörtes Einzelobjekt mag wenig Bedeutung haben. Aber die Summierung vieler kann zu beachtlichen Rückwirkungen sogar auf nichtbetroffene Gebiete durch Erzeugungs-, Versorgungs- und Verkehrsstörungen führen [19]. Letzten Endes hat der Staat doch den Schaden durch Verringerung des Steueraufkommens sowie durch andere wirtschaftliche Ausfälle und Belastungen zu tragen.

21. Behördliches Erdbebenbauwesen.

Grundbedingung für bautechnische Erdbebensicherung ist eine ebenso verständnisvolle wie bei der Durchführung straffe staatliche Organisation, die alle störenden Sonderinteressen ausschaltet.

a) Baupolizeiliche Vorschriften allgemeiner Art erläßt der Staat in Zusammenarbeit mit Vertretern der Erdbebenkunde und des Bauingenieurwesens. Ohne Erdbebenkunde bliebe Wirtschaftlichkeit eine reine Zufallsangelegenheit; denn Unterdimensionierung der Baukonstruktionen bedeutet genau so gut Verschwendung wie Überdimensionierung. Kritiklose Übernahme von bereits vorhandenen Bauvorschriften bekannter Erdbebenländer, über die beispielsweise Freeman [2] und Briske [1] berichten, schadet mehr als sie nutzt. Denn diese Vorschriften gehen von Anschauungen aus, die zum Teil veraltet sind. Meistens kamen sie ohne Mitwirkung von Erdbebenfachleuten, vereinzelt sogar gegen deren ausdrückliche Warnung zustande, was sich bei vollgültiger Belastungsprobe in den Folgen auswirkte.

b) Baupolizei. Ihre Aufgabe besteht darin, den allgemeinen Bauvorschriften Geltung zu verschaffen unter Angleichung an die örtlichen Sonderbedingungen. Zur Prüfung und Genehmigung der örtlichen Bauvorhaben tritt noch die ständige Überwachung der Bauausführung. Hier-

zu seien in bezug auf bestimmte Vorkommnisse der letzten Zeit einige Hinweise gegeben.

1. Zunächst muß die Baupolizei den Bauherrn auf die *Gefährdung durch Erdbeben* und Baugrund in ihrem Wirkungsbereich *aufmerksam machen*.

Unter dem Gesichtspunkt, daß erhöhte Erdbebensicherheit auch erhöhte Baukosten bedingt, sind zwei Fragen aufgetaucht, über deren Wirtschaftlichkeit nur genaueste Kenntnis der jeweiligen örtlichen Verhältnisse ein Urteil zuläßt. Die eine betrifft den Vorschlag, den Sicherheitsgrad der Bauvorschriften nach der Lebenswichtigkeit des Bauvorhabens abzustufen. Die andere beschäftigt sich mit Einsparungsmöglichkeiten für den Sonderfall, daß nach den vorliegenden Erfahrungen vielleicht erst nach einem Menschenalter oder gar noch später mit einem zerstörenden Erdbeben zu rechnen ist. Gegen beides hege ich Bedenken.

Eine Erfahrungstatsache fordert besondere Beachtung. Erdbebenschäden an industriellen und sonstigen technischen Anlagen pflegen sich folgenschwerer auszuwirken als gleichwertige in Wohnsiedlungen. Schon geringfügige Verlagerungen, Setzungen und Verkantungen von Maschinenfundamenten verklemmen Achsen und Lager umlaufender Maschinenteile. Dieses führt zu Betriebsstörungen und oft ebenso langwierigen wie kostspieligen Instandsetzungsarbeiten besonders dann, wenn Ersatzteile und Arbeitskräfte erst von weither herangebracht werden müssen.

2. Bei der Vergebung von Bauaufträgen treibt der *Wettbewerbskampf* oft sonderbare Blüten. Hierdurch zu befürchtende Nachteile für die Erdbebensicherung hat die Baupolizei vorbeugend zu verhindern.

3. Über die Wichtigkeit ständiger *Überwachung* der Bauausführung nach Konstruktion und Materialbeschaffenheit durch die Baupolizei, namentlich bei Großbauten, brauchen hier keine Worte verloren zu werden.

4. *Haftpflicht* seitens des Bauunternehmers kann nur aus sträflichen Verstößen gegen die baupolizeilichen Vorschriften hergeleitet werden. Sie kommt wegen höherer Gewalt nicht in Frage, wenn das Erdbeben wesentlich stärker war als der in der Baupolizeivorschrift berücksichtigte Höchstgrad.

22. Über statische Berechnungen in Erdbebengebieten.

Die üblichen statischen Berechnungen beziehen sich auf unbewegte Gebäude. Streng erfassen sie die Gebäudelast und die horizontale Höchstbeanspruchung durch Winddruck senkrecht zu den Mauerflächen.

Darüber hinausgehende Ansprüche stellt das Erdbebenbauwesen. Die allgemeine Sicherheitsreserve genügt nicht, um die seitlichen Zusatz-

kräfte wechselnder Richtung beim Anstoß und beim Bremsen unschädlich aufzunehmen. Vielmehr bedarf es zusätzlicher Berücksichtigung der *zu erwartenden Erdbebenbeschleunigung* und der dynamischen *Baugrundgefährlichkeit*. Hierfür gibt ausführliche Anweisungen vor allem Russopulos in griechischer Sprache; auch untersucht er die Wirkungen horizontaler Schrägstöße [6–9].

Erdbebenbauwesen kennt nur *Näherungsberechnungen*, weil weder über den Charakter der Bodenbewegung noch der hiervon bedingten Reaktion der Gebäude mit Interferenzen, Oberschwingungen u. dgl. genügende Klarheit herrscht. Anhaltspunkte für die zu erwartenden Maximalbeschleunigungen geben, wie im dritten Abschnitt ausführlich dargelegt wurde, Karten der Erdbebentätigkeit und der Baugrundgefährlichkeit nach den Graden der Cancani- bzw. der Mercalli-Sieberg-Skala.

Mitunter besteht bei soeben aufgetretenen Erdbeben der Wunsch, für einen bestimmten Ort die Beschleunigung zuverlässiger zu bestimmen. *Makroseismisch* ist dies möglich durch Rückwärtsberechnung aus Zerstörungserscheinungen an statisch einfachen Gebilden, wie Wänden, Pfeilern, Masten u. dgl. [4, 5]. Die *mikroseismische* Bestimmung, die das Vorhandensein eines Seismometers am Schadensort zur Voraussetzung hat, bleibt bedenklich. Abgesehen von der unzuverlässigen Annahme von Sinusschwingungen genügt schon eine unauffällige Überlagerung des Seismogramms durch eine Schwingung höherer Frequenz, um den aus der Hauptschwingung ermittelten Beschleunigungswert erheblich zu fälschen.

23. Planung von Hochbauten und Siedlungen.

Erfolgversprechendes Bauen in Gegenden mit zerstörenden Erdbeben hat, wie gesagt, Planungen zur Voraussetzung, die sich von den sonst üblichen sehr unterscheiden. Dies gilt in gleicher Weise für einzelne Großbauten, wie auch für neue Siedlungen, für die Erweiterung bereits bestehender oder für den Wiederaufbau von Zerstörtem.

Verlegung ganzer Ortschaften oder Städte nach deren Vernichtung erscheint bisweilen als das einzige Hilfsmittel; jedoch nur dann, wenn sie wirtschaftlich tragbar ist. So habe ich nach Prüfung an Ort und Stelle in einem Falle den bestehenden Wunsch befürwortet, einen zerstörten Ortsteil in einem bestimmten Nachbargelände neu zu errichten. Aber in einem anderen Falle mußte ich von der Verlegung eines Industriewerkes dringend abraten. Durch eine Umsiedlung die Erdbebengefährdung noch zu vergrößern, wofür sich Beispiele aufführen lassen, wäre nach den heutigen Kenntnissen unverantwortlich. Fast noch weniger verständlich ist eine neuere Verlegung aus gesunder Lage in eine durch Malaria verseuchte Gegend.

a) Die Wahl des Bauplatzes unterliegt in vielen Fällen starker Beschränkung; denn die Erhaltung bestimmter wirtschaftlicher, landschaftsbedingter oder anderer *Vorzüge der Standortlage* muß unter allen Umständen gesichert bleiben.

Im Bereich des Möglichen sind nach den bekanntgegebenen Grundsätzen die ungefährlichsten Baugründe zu ermitteln und deren zusätzliche Beschleunigungen bei den statischen Berechnungen zu verwerten. Etwaige Bedenken, die sich gegen weiteres Abrücken von der ursprünglich vorgesehenen Baustelle erheben, kommen zum Schweigen, wenn entsprechend größere Erdbebensicherung erzielt wird. Grundsätzlich sollten Hanglagen und namentlich Schuttkegel stets gemieden werden. Die meisten Schwemmlandböden kommen überhaupt nicht in Betracht.

b) Allgemeine Richtlinien. Die Lösung der für bautechnische Erdbebensicherung auftretenden Probleme ist *theoretisch* sehr einfach, weil bloß die nachstehenden Grundsätze beachtet zu werden brauchen:

1. Vermeidung besonders gefährlicher *Baugründe.*

2. Möglichst widerstandsfähige *Bauweise* unter ausreichender Berücksichtigung der zu erwartenden Erdbebenbeschleunigungen und der gegebenen Baugrundgefährdung. Dazu gehört auch der baupolizeiliche Einspruch gegen solche nachträglichen Um- und Anbauten, die zu einer Verminderung der berechneten Widerstandsfähigkeit führen. Dieses gilt in besonderem Maße nicht nur für überschlanke Gebäude, sondern auch für vielgeschossige Normalbauten. Denn das Verhalten beider muß wenigstens heute noch stets als Unsicherheitsfaktor gewertet werden.

3. Im Grunde genommen müßten *sämtliche* Gebäude nach den ihrer Art und Verwendung entsprechenden bebenfesteren Baukonstruktionen erstellt werden. Denn der Zusammenbruch von Häusern unzulänglicher Bauausführung kann in der Nachbarschaft alle Sonderaufwendungen für größere Bebenfestigkeit zuschanden machen.

4. Die *Höhe* der Bauwerke sollte 2 Geschosse nicht überschreiten. Vor allem nicht bei Wohn- und Krankenhäusern, Hotels, Schulen, Büro- und großen Geschäftshäusern. Mietskasernen sind unzulässig.

Repräsentative Gebäude, die dieses Maß überschreiten müssen, und Kirchen mit ihren Türmen bedürfen Sicherungsmaßnahmen, die über den allgemeinen Rahmen hinausgehen.

5. Lockerer *Bebauungsplan* mit breiten Straßen und großen Plätzen dient als Schutz vor einstürzenden Gebäuden und der Weiterverbreitung lokaler Brände.

6. Falls die bevorzugte *Stoßrichtung* zerstörender Erdbeben bekannt ist, kann deren Berücksichtigung manchen Schaden verhindern.

7. Die *Wirtschaftlichkeit* muß gewahrt bleiben.

Selbstverständlich stößt die restlose Verwirklichung dieser Grundsätze in der *Praxis* fast stets auf sehr erhebliche Schwierigkeiten. Es werden also Kompromisse notwendig, bei denen die Entscheidung letzten Endes bei der Wirtschaftlichkeit liegt. Unter diesem Gesichtspunkt seien einige Sonderfälle betrachtet.

c) Neubaugruppen, wie industrielle Großanlagen, Siedlungen, Stadterweiterungen u. dgl. bieten der bautechnischen Erdbebensicherung das dankbarste Betätigungsfeld. Denn hier besteht die Möglichkeit, innerhalb des gegebenen Rahmens den vorstehenden Grundsätzen Rechnung zu tragen. Voraussetzung ist allerdings die Ausschaltung von Sonderinteressen jeglicher Art. Guter Wille, Verständnis für die Bedeutung der Aufgabe und ausreichende Fachkenntnis werden unter behördlicher Aufsicht dafür sorgen, daß nicht nur Großbauten besonderer Zweckbestimmung, sondern auch bescheidenste Wohnstätten genügend geschützt werden. Die Durchführbarkeit dieser Aufgabe auch in wirtschaftlich schwachen Ländern ist nicht etwa eine Utopie. Das beweisen praktische Erfolge, auf denen manche Hinweise der vorliegenden Schrift beruhen.

In gleicher Weise gilt das Gesagte für den Fall der *Verlegung einer zerstörten Siedlung* in ein anderes Gelände.

d) Neubauten innerhalb von geschlossenen Gebäudegruppen. Wenn in erdbebengefährdeten Städten Neubauten errichtet werden sollen, dann ist deren Erdbebensicherung ohne Rücksicht auf die Gefährdung durch ungesicherte Nachbarbauten ein naheliegender Gedanke. Seine Verwirklichung bleibt Aufgabe der Baupolizei. Vor allem die Baugrundfrage und die Gewinnung des zu umbauenden Raumes in der Waagerechten statt in der Senkrechten können hier allerdings besonders großen Schwierigkeiten begegnen. Auf dem Gelände von Großindustrien u. dgl. dürfte die Raumfrage weniger ins Gewicht fallen.

e) Wiederaufbau von zerstörten Einzelbauten innerhalb eines sonst erhalten gebliebenen Gebäudeblocks vermag die Erdbebensicherung noch mehr zu erschweren.

Günstiger gestaltet sich wenigstens die Zukunft für die Gesamtbevölkerung dann, wenn der Abbruch ganzer Gebäudeblocks notwendig wird und anschließend eine Auflockerung des Bebauungsplanes wirtschaftlich tragbar ist.

Siebenter Abschnitt.

Beseitigung von Erdbebenschäden.

Plötzlich hereinbrechende Katastrophen pflegen in den meisten Ländern improvisierte Hilfsmaßnahmen auszulösen, deren mitunter folgenschwere Unzulänglichkeit nicht zu bestreiten ist. Zu den mustergültigen Ausnahmen gehört das nationalsozialistische Deutschland. Hier haben Staat und Partei eine Reihe von Organisationen verschiedener Zielsetzung ins Leben gerufen, die einzeln oder in ergänzender Zusammenarbeit schlagartig mit allen erdenklichen Hilfsmitteln einsatzbereit sind.

Im Sonderfalle zerstörender Erdbeben habe ich in Griechenland den damals Russopulos unterstellten Hilfsdienst des Ministeriums für Soziale Fürsorge kennen und schätzen gelernt. Hier zeigte sich, wie bis ins kleinste durchdachte Vorsorge auch mit bescheidenen Mitteln segensreich zu wirken vermag. Zumal sich die Hilfeleistung nicht bloß auf die erste Versorgung der betroffenen Bevölkerung, sondern auch auf sachgemäße Beseitigung der Gebäudeschäden bezieht.

24. Erste Hilfe nach dem Erdbeben.

Vom sofortigen Einsatz des Hilfsdienstes hängt bei schweren Erdbeben mit zahlreichen Menschenopfern sozusagen alles ab. Eingeschlossene und Verletzte müssen, oft unter großen Schwierigkeiten und Gefahren, aus den Trümmern befreit und der ärztlichen Behandlung zugeführt werden. Schnelle Bergung der Toten wirkt dem Ausbruch von Seuchen entgegen. Die Überlebenden fordern Versorgung mit Lebensmitteln, Kleidung und Unterkunftsmöglichkeiten. Hand in Hand mit dem Löschen von Bränden gehen das Niederlegen von Gebäuderesten, deren Umsturz droht, und die Aufräumungsarbeiten. Erst späterer Zeit bleiben die Instandsetzungsarbeiten vorbehalten.

a) Verpflegung und ärztliche Behandlung. Als vorbildlich seien hier bloß der Motorisierte Hilfszug Bayern der Nationalsozialistischen Deutschen Arbeiterpartei und das Motorisierte Bereitschaftslazarett des Deutschen Roten Kreuzes genannt. Es dürfte nicht schwer fallen, vereinfachte Einrichtungen ähnlicher Art zu Preisen zu entwickeln, die auch für wirtschaftlich schwächere Organisationen tragbar sind. Nicht zu unterschätzende Hilfe vermag die Wehrmacht mit ihren Beständen zu leisten.

b) Unterkunft bleibt selbst bei gutem Wetter eine brennende Frage. Schon Zelte, falls sie überhaupt zur Verfügung stehen, ganz besonders aber kümmerlich hergestellte Unterschlupfe stellen einen Notbehelf dar,

der nicht befriedigen kann und darf und mancherlei Gefahren in sich birgt. Diesem Übel läßt sich folgendermaßen abhelfen:

Einheitsbaracken aus Holz, jede für eine Familie berechnet, bewahrt ein Sammellager in zerlegtem Zustand auf. Im Bedarfsfalle werden sie mit Lastwagenkolonnen den Bedarfsplätzen schnellstens zugeführt, so daß sie schon nach wenigen Stunden in Gebrauch genommen werden können.

Für die Konstruktion von Einheitsbaracken gibt es zahlreiche Lösungen, die vor allem den herrschenden klimatischen Bedingungen angepaßt werden müssen. In Griechenland beispielsweise bedeckt jede Baracke eine Grundfläche von 3 × 4 m; die minimale Höhe unter dem schiefen Dach beträgt 2,10 m. Sie besteht aus folgenden 8 tafelförmigen Einzelstücken mit dünnem Ölanstrich: 2 Seitenwänden, 2 Längswänden zu je 2 Tafeln und 2 Dachtafeln. Diese Stücke werden am Ort der Verwendung mit Bolzen zusammengesetzt. Die Aufstellung und Befestigung am Boden erfolgt auf kurzen Holzblöcken. Der Fuß wird ringsherum mit Trockenmauerwerk abgedichtet, das Dach am Ort der Verwendung mit Dachpappe überzogen. Aus den Einzelstücken lassen sich größere Baracken für Kranken-, Verwaltungs- und Küchenzwecke zusammenbauen. Von der Zweckmäßigkeit und Wetterfestigkeit dieser Baracken im Gebrauch konnte ich mich selbst überzeugen.

25. Bautechnische Maßnahmen.

Vom bautechnischen Standpunkt aus betrachtet haben wir die nachstehenden *Schadenstufen* von Erdbebenwirkungen zu unterscheiden, die das Gefüge der Gebäude stören:

1. Klaffende Risse zerspalten die ganze Dicke auch der Umfassungswände.

2. Teile der Umfassungswände brechen heraus, aber die Erhaltung und Bewohnbarkeit des Gebäuderestes bleiben gesichert.

3. Das Gebäude ist abbruchreif, weil nur unter Lebensgefahr bewohnbar.

4. Das Gebäude ist vernichtet.

a) Grundsätzliches. Die Ausbesserung von Beschädigtem und der Ersatz von Zerstörtem muß einerseits allen billigen Anforderungen der Erdbebensicherung entsprechen, andererseits dieses Ziel mit möglichst geringem Aufwand an Geldmitteln und Baumaterial zu erreichen suchen. Für beides bleibt die Zweckbestimmung des Gebäudes richtungweisend.

In den meisten Fällen, nicht nur bei repräsentativen Bauten, sondern auch bei bescheidensten Wohnstätten lohnt es sich, das aus den Trümmern anfallende *Altmaterial* mit Sorgfalt zu bergen und bei den Instand-

setzungsarbeiten wieder zu verwerten; also Bausteine, eiserne Bauteile, Balken, Verkleidungen, Bretter, Türen, Fensterrahmen u. dgl. Andererseits bedarf es keiner Frage, daß beim Baumaterial alles auszuscheiden ist, was den Forderungen der Erdbebensicherung nicht entspricht. Beispielsweise dürfen vor allem keine zerbrochenen Bausteine benutzt werden, weil sie die Verbandsfestigkeit schwächen.

b) Instandsetzungsarbeiten beziehen sich auf die Beseitigung der beiden ersten Schadenstufen. Sie erfordern, was meistens nicht genügend berücksichtigt wird, die gleiche fachmännische, sorgsam durchdachte Ausführung wie die Erdbebensicherung von Neubauten. Denn die Erfahrung beweist immer wieder aufs neue, wie sehr die Widerstandsfähigkeit von Gebäuden durch frühere Erdbebenschäden herabgesetzt wird. *Hauptaufgabe* ist die Wiederherstellung und Sicherung der gestörten *Verbandsfestigkeit.*

1. Eine große Gefahr für die Zukunft pflegen *klaffende Mauerspalten* deshalb darzustellen, weil man glaubt, ihre Ausbesserung leicht nehmen zu dürfen. Meistens werden sie dem Blick einfach durch Überkleistern mit Mörtel und Putz entzogen. Da die Risse und Spalten aber Schwächestellen im Beanspruchungsplan des Gesamtgebäudes kenntlich gemacht haben, verlangt ihre Ausbesserung über das ursprüngliche Maß hinausgehende Sicherung. Überbrückung der Spalten durch verstärkte Wiederherstellung des Steinverbandes, Torkretieren u. dgl., erforderlichenfalles unter Benutzung von Klammern und Verankerungen bieten mancherlei Möglichkeiten für angemessene, fachlich vertretbare Ausführung.

Die Erhaltung wertvoller Baudenkmäler mit weitgespannten Decken und Gewölben macht oftmals den Einbau umfangreicher und kostspieliger Spannwerke erforderlich, um allmähliches oder plötzliches Auseinanderweichen von Umfassungsmauern zu verhindern. Bei Kirchtürmen kommt noch die Berücksichtigung der vom Glockenläuten erzeugten Erschütterungen hinzu.

2. Die gleichen bautechnischen Überlegungen bestimmen sinngemäß den Ersatz von herausgebrochenen Teilen der Außenmauern und Innenwände.

Bei bescheidenen Wohnstätten und Zweckbauten erweist sich nicht selten *Abbruch und Wiederaufbau* des gesamten Gebäudes als die wirtschaftlichste Lösung. Zumal der Anfall wieder verwertbaren Altmaterials in solchen Fällen nahezu den Gesamtbedarf zu decken vermag; vorausgesetzt, daß der ursprüngliche Bauplan bis auf die Sonderausführungen für Erdbebensicherung beibehalten wird. Von der Zweckmäßigkeit derartiger Maßnahmen seitens der Baupolizei habe ich mich in der Praxis überzeugen können, obwohl sie nicht immer den Beifall der Hausbesitzer fanden.

c) Abbruch und Neubau sind die notwendigen Folgen der beiden höchsten Schadensstufen. Hierzu bedarf es keiner weiteren Ausführungen mehr.

Literatur.

1. Briske, R., „Erdbebensicherheit von Bauwerken." Erweiterter Sonderdruck, 31 S., 80 Abb., aus der Zeitschrift „Bautechnik" 1927.
2. Freeman, J. R., „Earthquake Damage and Earthquake Insurance." 904 S. New York-London 1932.
3. Jacobsen, L. S., Vibration Research at Stanford University. Bulletin of the Seismological Society of America, XIX. Bd., 1929.
4. Russopulos, A., (in griechischer Sprache) „Beobachtungen über das Erdbeben von Korinth (1928)." Technische Zeitschrift Erga. Athen 1928.
5. — „Das Erdbeben von Chalkidiki 1932." Annales Techniques, Athen 1932.
6. — „Näherungsberechnungen von Rahmentragwerken und Stockwerkrahmen in erdbebensicheren Bauwerken." Athen 1929.
7. — „Die systematische Auflösung von mehrstieligen und mehrstöckigen Rahmentragwerken." Athen 1930.
8. — „Die Verteilung horizontaler Kräfte durch eine steife Platte bei räumlichen Tragwerken." Annales Techniques, Athen 1932.
9. — „Systematische Auflösung zusammengesetzter rechtwinkliger Rahmen." 235 S., 134 Abb. Athen 1940.
10. Sieberg, A., „Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke. Ein Beitrag zur seismologischen Praxis." G. Gerlands Beiträge zur Geophysik, XI. Bd., S. 227–239. Leipzig 1912.
11. — (und Lais), „Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911 und seine Beziehungen zum geologischen Aufbau Süddeutschlands." Ebenda, XII. Bd., S. 186–206, 1 Karte, 2 Abb. 1913.
12. — (und Lais), „Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911." 102 S., 8 Abb. und 2 farbige Isoseistenkarten. Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Heft 4. Jena 1925.
13. — „Einführung in die Erdbeben- und Vulkankunde Süditaliens." 226 S., 2 farbige Ansichten, 67 Abb. und Karten. Jena 1914.
14. — „Catastrophe sismique de Calabre et de Sicile, 28 décembre 1908." Monographie S. 172–195, 1 Karte, im Catalogue régional des tremblements de terre ressentis pendant l'année 1908. Publications du Bureau Central de l'Association Internationale de Sismologie, Série B. Catalogues. Strasbourg 1917.
15. — „Das Korinther Erdbeben vom 22. April 1928 in seinen Beziehungen zu den Erdbeben und dem geologischen Aufbau des östlichen Mittelmeergebietes." 20 S., 9 Abb., 3 Karten. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften. N. F. Bd. 57. Jena 1928.
16. — „Ein Beitrag zur Statik der Erdbeben." 15 S., Practica der Academie in Athen, Bd. 4. 1929.
17. — „Erdbebengeographie." 319 S., 178 Erdbebenkarten und Profile, 89 regionale Erdbebenkataloge. Handbuch der Geophysik. Berlin 1932.

18. Sieberg, A., „Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeergebiet. Ergebnisse einer erdbebenkundlichen Orientreise unternommen im Frühjahr 1928 mit Mitteln der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft." Denkschrift der Medizinisch-Naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena. Großquart, 113 S., 65 Abb., 6 farbige Erdbebenkarten auf 2 Tafeln, Anhang von Erdbebenkatalogen. Jena 1932.

19. — „Ein Beitrag zur Frage der Wirtschaftsgefährdung durch Erdbeben in Deutschland." 10 S., 1 Abb., Heft 3. Bd. 4 der Beiträge zur Angewandten Geophysik. 1934.

20. — „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.

21. — „Vorschläge zur Beseitigung der vorhandenen und zur Verhütung zukünftiger Erdbebenschäden in Rumänien." Denkschrift für die Königlich Rumänische Regierung; 34 S., 17 Abb., 2 Anlagen. Als Manuskript gedruckt 1940.

22. — „Neuere Untersuchungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung über bautechnische Erdbebensicherung." S. 84–102, 13 Abb., Zeitschrift für Geophysik, 12. Bd. 1941. – „Processi meccanici nella distruzione degli edifici per azioni sismiche. Recenti ricerche della Deutsche Reichsanstalt für Erdbebenforschung." S. 125–141, 13 Abb., Geofisica pura e applicata. Bd. 3. Milano 1941. – „A Német Birodalmi Földrengéskutató Intézet által a földrengéskárok ellen való épitésmüszaki védekezés érdekében végzett ujabb kutatások." Földtani Közlöni (Geologische Mitteilungen). Im Druck Budapest 1942.

23. — „Manuskriptkarte 1:2000000 rezenter Bodenbewegung in Deutschland" auf geologisch-tektonischer Grundlage. Jena 1936.

24. — „Manuskriptkarte 1:750000 der Erdbebentätigkeit Deutschlands" auf geologisch-tektonischer Grundlage. Jena 1938.

25. — „Manuskript-Planiglobenkarten 1:15000000 der Erdbebentätigkeit der Welt" auf geologisch-tektonischer Grundlage. Jena 1939.

26. Sponheuer, W., „Untersuchung über die Beanspruchung elastisch-prismatischer Stäbe bei erdbebenartigen Stoßwirkungen." Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Heft 37, 36 S., 8 Abb. Jena 1941.

DRUCK DER OFFIZIN
POESCHEL & TREPTE
IN LEIPZIG