

Veröffentlichungen  
der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena  
Herausgegeben vom Direktor August Sieberg

Heft 29

---

**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

Von

**A. Sieberg**

Mit 38 Abbildungen und einer farbigen Karte

---

Reichsverlagsamt  
Berlin NW 40 / Scharnhorststraße 4  
1937



**Veröffentlichungen**  
**der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena**  
Herausgegeben vom Direktor August Sieberg  
Heft 29

---

---

**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**

Von

**A. Sieberg**

Mit 38 Abbildungen und einer farbigen Karte

---

---

**R e i c h s v e r l a g s a m t**  
**B e r l i n N W 4 0 / S c h a r n h o r s t s t r a ß e 4**  
**1 9 3 7**

21930.3555 7

## **Vorwort.**

Die beiden nachstehenden Untersuchungen gehören zu den Arbeiten, die mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft) durchgeführt werden. Sie behandeln noch wenig geklärte Fragen der erdbebenkundlichen Bautechnik und Bodenmechanik unter verschiedenen Gesichtspunkten und ergänzen einander bis zu einem gewissen Grade. Zum Teil wurden neue Wege beschritten, deren Weiterverfolgung zu Hoffnungen berechtigen dürfte.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die auch zu den Druckkosten beitrug, statue ich hiermit meinen wärmsten Dank ab.

Jena, im Dezember 1936.

**A. Sieberg.**



**Qualitative Versuche  
über  
Erdbebenstöße und ihre zerstörende Wirkung  
auf Ziegelmauerwerk**

Von  
**A. Sieberg**

## Inhaltsverzeichnis.

Einleitung . . . . .	Seite 3
----------------------	------------

### Erster Abschnitt.

#### **Allgemeines über Erdbebenschwingungen in Boden und Bauwerk . 4—18**

1. Bodenerschütterungen . . . . .	4
a) Harmonische Schwingung; b) Stoß; c) Der Erdbebenstoß; d) Die Gegensätze zwischen Erdbeben und Verkehrserschütterungen.	
2. Schwingung und Verformung von Bauwerken . . . . .	9
a) Stabschwingungen überschlanker Bauwerke bei harmonischer Schwingung; b) Elastische Stabschwingungen bei Stößen; c) Schwingungen normaler Bauwerke; d) Die Bedeutung der Resonanz für Gebäudeschwingungen bei Erdbeben.	

### Zweiter Abschnitt.

#### **Experimentelle Untersuchung von Ziegelmauerwerk . 19—31**

3. Anordnung der Modellversuche . . . . .	21
a) Der Stoßtisch; b) Die Gebäudemodelle.	
4. Allgemeines über die Verformbarkeit von Ziegelmauerwerk . . . . .	21
5. Die freistehende Mauer beim ersten Anstoß . . . . .	24
a) Stoß in der Längsrichtung der Mauer; b) Stoß senkrecht auf die Mauer.	
6. Verhalten beim vollen Stoßablauf . . . . .	25
7. Das Mauerviereck beim vollen Stoßablauf . . . . .	27
a) Geschlossene Vollmauern; b) Durchbrochene Mauern; c) Stoßfesterer Ziegelverband.	

### Dritter Abschnitt.

#### **Erdbebenskala für Ziegelbauten . . . . . 31—34**

Literaturverzeichnis . . . . .	34
--------------------------------	----



## Einleitung.

Hinsichtlich der mechanischen Vorgänge bei der Zerstörung von Gebäuden durch Erdbeben herrscht noch wenig Klarheit, trotzdem der Wunsch nach Schaffung erdbebensicherer Bauwerke eine umfangreiche Literatur über erdbebenkundliche Bautechnik gezeitigt hat. Hauptgrund ist die weitverbreitete Meinung, für den vorliegenden Zweck erübrige sich die Untersuchung der Schwingungsvorgänge, vielmehr genüge die Berücksichtigung des „Erschütterungsgrades“, d. h. des Verhältnisses von Erdbebenbeschleunigung zu Erdbeschleunigung.

Im Gegensatz hierzu halte ich als ehemaliger Architekt gerade die Schwingungsvorgänge in Boden und Bauwerk für unerlässlich, um brauchbare Einblicke in die mechanische Gebäudebeanspruchung zu gewinnen. Vorbedingung zum Beschreiten dieses Weges ist eine ausreichende Annäherung der Betrachtungsweise an die Wirklichkeit. Dementsprechend geht meine Versuchsreihe von folgenden Grundsätzen aus:

1. Die Erdbebenbewegung wird als Stoß und nicht mehr als harmonische Sinusschwingung aufgefaßt.

2. Bei Beurteilung von Verformungen des beanspruchten Gebäudes hört die Anwendbarkeit der Elastizitätstheorie mit dem Überschreiten der Festigkeitsgrenze für Material und Verband auf. Damit beginnt die bleibende Verformung. Zerreißen im Verein mit Wackelschwingungen können zu Zufallsschäden [20] führen, die unter Umständen den Anschein viel stärkerer Bodenerschütterungen erwecken, als tatsächlich vorlagen.

3. Die Feststellung des Grundsätzlichen bei der Beanspruchung von Gebäuden verzichtet auf unzulässige Vereinfachung der Schwingungsform verwickelter Bauwerke. Vielmehr werden einfachste Gebäudeformen in möglichst enger Anlehnung an die Wirklichkeit untersucht.

Die Mannigfaltigkeit der gebräuchlichsten Baukonstruktionen in Holz, Stein, Beton und Fachwerk schafft durch Material, Gefüge und Verbandsfestigkeit höchst verschiedenartige Medien und damit Gesetz-

mäßigkeiten für die Wirkungen des Erdbebenstoßes. Mit der Untersuchung von Ziegelmauerwerk, einstweilen unter Beschränkung auf die qualitativen Vorgänge, wurde begonnen wegen der weiten Verbreitung dieser Bauweise. Die zusätzlichen Beanspruchungen durch Baugrundeinflüsse [3, 18, 20] bleiben hier selbstverständlich unberücksichtigt.

Die grundlegenden Erkenntnisse, soweit sie auf meinen Studien am Objekt bei Erdbeben, Bergschäden u. dgl. beruhten, waren bereits im Frühjahr 1934 schriftlich und zeichnerisch niedergelegt; auch wurden sie seitdem in den Vorlesungen an der Universität behandelt. An der nachfolgenden experimentellen Prüfung und Ergänzung ebenso wie an der Konstruktion des Stoßtisches beteiligte sich der Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Herr Dipl.-Ing. W. SPONHEUER weitgehend.

### Erster Abschnitt.

## **Allgemeines über Erdbebenschwingungen in Boden und Bauwerk.**

Die Summe aller Erfahrungen hat eindeutig und auch wohl unbestritten die Tatsache sichergestellt, daß die Erdbebenschwingungen die Wirkungen eines Stoßes sind. Da der exakten mathematischen Darstellung des Stoßes noch größere Schwierigkeiten entgegenstehen, hat sich bei Seismik und Bautechnik der Brauch eingebürgert, die Erdbebenbewegung als harmonische Sinusschwingung zu behandeln. Selbstverständlich mußte sich, wie nachstehend gezeigt werden soll, dieser als erste Annäherung gedachte Notbehelf nicht nur als unzulänglich, sondern geradezu als irreführend erweisen. Namentlich wurden altbekannte Erscheinungen der Makroseismik, weil sie durch harmonische Schwingungen keine Erklärung finden, entweder unberücksichtigt gelassen oder gar als Beobachtungsfehler hingestellt. Weitere Unzulänglichkeiten von grundlegender Bedeutung erwachsen aus der zu weit getriebenen Anwendung der Elastizitätslehre auf Gebäudeschwingungen.

### **1. Bodenerschütterungen.**

Die meisten Bauten haben, wenn vom Winddruck abgesehen wird, lediglich die Aufgabe, vertikal wirkende Kräfte aufzunehmen. Deshalb gewinnen auf die Gebäudegefährdung durch Erdbeben die zusätzlichen horizontalen Beanspruchungen den ausschlaggebenden, wenn auch nicht alleinigen [22] Einfluß. Im Charakter von den Erdbeben grund-

sätzlich verschieden sind manche anderen Bodenerschütterungen, vor allem solche künstlichen Ursprungs. Hierüber gibt Abb. 1 Auskunft.

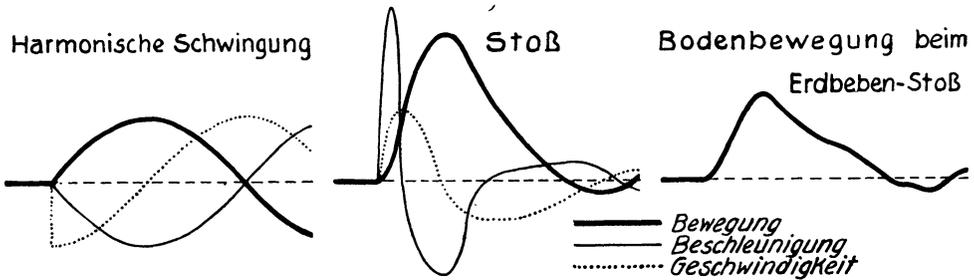


Abb. 1. Unterschied zwischen Harmonischer Schwingung und Erdbebenstoß.

a) **Harmonische Schwingung** wird charakterisiert durch allmähliche Zu- und Abnahme von Bodenbewegung und Beschleunigung, deren Maxima ebenso wie die Minima zusammenfallen. Sie bildet das bestimmende Element bei Industrie- und Verkehrserschütterungen. Denn die von laufenden Maschinen und Fahrzeugen ausgeübten Einzelstöße folgen so schnell aufeinander, daß sie die Bettung zu Sinusschwingungen anregen. Unter diesen Umständen bietet, wenn von bestimmten Sonderfragen [10] abgesehen wird, die mathematische Behandlung dieser Gruppe von Bodenerschütterungen keine besonderen Schwierigkeiten.

b) **Stoß** aber bedeutet in unserm Falle den Hin- und Hergang eines betroffenen Bodenteilchens, dem Federkraft und Dämpfung des Bodens entgegenwirken. Die nachstehende Darlegung des Stoßablaufs ergibt sich aus den Registrierungen des arbeitenden Stoßtisches, den nach meinen Angaben SPONHEUER entwickelt hat. Zweimalige graphische Differentiation der Weg—Zeit-Kurve führt über die Geschwindigkeits—Zeit-Kurve zur Beschleunigungs—Zeit-Kurve.

Im Augenblick des Stoßbeginns wächst die Beschleunigung schnell vom Nullwert auf einen Maximalwert. Der Vorgang richtet sich nach der Masse und der Federkonstante des stoßenden und des gestoßenen Teils. Der Anstoß bringt sogleich die Höchstbeanspruchung des Gebäudes. Das anschließende Vorrücken des Bodens in der Stoßrichtung ist zunächst mit einem langsameren Absinken der Beschleunigung bis zum Nullwert verbunden; die eigentliche Stoßphase, die gekoppelte Schwingung, ist damit zum Abschluß gekommen.

Die anschließende harmonische Schwingung bringt zunächst einen allmählichen Anstieg der Beschleunigung, die jetzt gegen die

Bodenbewegung gerichtet ist. Das zugehörige zweite Maximum der Beschleunigung wird im Umkehrpunkt, also bei der Maximalamplitude erreicht, wo der Boden aufs höchste gespannt ist.

Die Entspannung des Bodens führt das Bodenteilchen wieder zum Ausgangspunkt zurück. Diesem Ausklingen der Harmonischen Schwingung entsprechen schon bald nur noch ganz geringfügige Beschleunigungswerte ohne praktische Wirkungen.

Mit dem Schaubild Abb. 16 übertrage ich die Vorgänge bei einem Erdbebenstoß von der Kurve ins Gelände.

c) **Der Erdbebenstoß** setzt selbstverständlich in gleicher Weise schlagartig zu einem einzigen Hin- und Hergang ein. Da die Bauwerke mit ihren Fundamenten im Boden fest eingespannt sind, werden sie von diesem mitbewegt und im Sinne des Beschleunigungswechsels beansprucht. Das Ausschwingen des Anstoßes in Boden und Bauwerk entsprechend den Eigenfrequenzen braucht wegen seiner praktischen Bedeutungslosigkeit hier nicht berücksichtigt zu werden. Die Beschleunigung bestimmt die Fühlbarkeit, weil sie als Produkt mit der Masse den Trägheitswiderstand darstellt. Dagegen wächst der Gebäudeschaden mit der Amplitude, was auch RAMSPECK [14, 16] erkannt hat. Vermeintlich länger dauernde Erdbeben bedeuten nichts weiter als eine Reihe von Einzelstößen des genannten Charakters, die durch kurze Ruhepausen voneinander getrennt sind. Verwandten Charakter kann unter den Industrieerschütterungen der Betrieb von schweren Rammen, Fallhämmern u. dgl. annehmen, wenn bei verhältnismäßig großen Zwischenzeiten die Schlagzahl sehr gering ist.

Den Stoßcharakter der Erdbeben beweist die stets gleichbleibende makro- und mikroseismische Erfahrung bei sämtlichen Erdbeben aller Weltgegenden:

1. Gleich der erste schwere Stoß eines Erdbebens schafft schlagartig das charakteristische Zerstörungsbild<sup>1)</sup>:

Die Schäden sind am stärksten im obersten Gebäudeabschnitt und gehen von gegenüberliegenden obersten Gebäudeecken aus. Dabei können sich an der dem Stoß zuerst ausgesetzten Ecke die aufgerissenen Spalten wieder schließen.

Je stärker der Stoß ist, um so mehr nähert sich der beschädigte Hausabschnitt von oben her dem Erdboden. Außerhalb des eigentlichen Zerstörungsgebietes ergaben makroseismische Beobachtungen eine

---

1) Selbstverständlich kann nur normale Bauausführung berücksichtigt werden. Denn alle Material- und Konstruktionsfehler schaffen Schwachstellen, die vorzeitig überbeansprucht werden und dadurch das normale Schadenbild fälschen.

mittlere Zunahme der Bebenwirkungen nach oben hin im Betrage von etwa  $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  Grad der Merkkalliskala.

Spätere Stöße genügender Stärke führen zu „Zufallsschäden“ [20] in der Form von nachträglichem Umfallen gelockerter Gebäudeteile durch Wackelschwingungen.

Umgekehrt verhält es sich mit jenen Gebäudeschäden bei Erdbeben, die nicht vom Stoß, sondern von Verformungen oder Verlagerungen des Erdreichs unter den Fundamenten hervorgerufen werden. In diesem Falle rücken die Schäden vom Fundament her gegen das Dach vor [19, 20].

2. Die zugehörigen Seismogramme von Orts-, Nah- und Fernbeben liefern für den ersten Einsatz nach dessen Integration Bilder der wahren Bodenverrückung [1, 17], die den typischen Stoß wiedergeben. Dies gilt in gleicher Weise für die horizontalen wie für die vertikale Komponente der Bodenbewegung, wobei sich Unterschiede bloß in der Amplitude bemerklich machen.

3. Das gleiche Bild der Bodenbewegung wie bei Erdbeben liefern die Registrierungen von Stößen, die mittels des vorher erwähnten Stoßtisches gewonnen werden.

d) **Die Gegensätze zwischen Erdbeben und Verkehrserschütterungen** scheinen unüberbrückbar zu sein. Praktisch kommt dies zum Ausdruck im bisherigen Fehlschlag aller Bemühungen, die auf beiden Gebieten gesammelten Erfahrungen von gemeinsamer Grundlage aus zu behandeln. Vor allem wirkt es, wenn auch grundlos, auf den ersten Blick befremdend, daß die gleichen Beschleunigungen, die beim Erdbeben Gebäudeschäden verursachen, im Falle von Industrie- und Verkehrserschütterungen trotz der Dauerbeanspruchung die Gebäudefestigkeit nicht oder vergleichsweise unbedeutend beeinträchtigen.

Hierfür mitbestimmend sind schon die vorher besprochenen Gegensätze im Beschleunigungswechsel. Die Beschleunigung selbst als Ausdruck der Fühlbarkeit wird in beiden Fällen störend empfunden; bei der Verkehrserschütterung wegen der Dauerwirkung, beim Erdbeben als Schreck durch das Überraschungsmoment. Aber das Maß der Beschädigung bestimmt nicht die Beschleunigung, sondern die Amplitude der Gebäudeverformung als zusätzliche Beanspruchung von Material und Verband. Selbstverständlich sind Gebäude- und Bodenamplitude nicht gleich. Trotzdem dient Tabelle I der Klärung der Verhältnisse, obgleich sie sich bei den gleichen Beschleunigungen für Erdbeben und Verkehrserschütterungen auf die Unterschiede der Bodenamplituden beschränken muß.

Tabelle I.

Amplituden verschiedener Bodenerschütterungen.

Verkehrers- erschütterungen bei Perioden von		Wirkungen		Erdbebenstöße bei Perioden von		
		Mittlere Be- schleunigung	Mercalli- Cancani- Skala	0,5 sec	1,0 sec	1,5 sec
0,01 sec	0,1 sec					
mm	mm	cm/sec <sup>2</sup>	Grad	mm	mm	mm
0,09 · 10 <sup>-4</sup>	0,0009	0,3	2	0,02	0,1	0,2
0,2 · 10 <sup>-4</sup>	0,002	0,7	3	0,05	0,2	0,4
0,4 · 10 <sup>-4</sup>	0,004	1,6	4	0,1	0,4	0,9
0,9 · 10 <sup>-4</sup>	0,009	3,4	5	0,2	0,9	1,9
1,8 · 10 <sup>-4</sup>	0,02	7,3	6	0,5	1,8	4,2
4,0 · 10 <sup>-4</sup>	0,04	16	7	1,0	4,0	9,1
8,6 · 10 <sup>-4</sup>	0,09	34	8	2,2	8,6	19
0,002	0,19	73	9	4,8	19	43
0,004	0,40	158	10	10	40	90
0,009	0,86	340	11	21	86	194
0,02	1,85	732	12	46	185	417

Die als gefährlich bekannten Perioden des Erdbebenstoßes, etwa zwischen 0,5 (0,2?) und 1,5 Sekunden liegend, bedingen Bodenamplituden von Zehntelmillimetern bis zu mehreren Dezimetern. Daß auch die entsprechenden Gebäudeamplituden schädlich wirken können, wäre sogar dann nicht zu bezweifeln, wenn der tausendfältige Beweis durch Beobachtungen nicht vorläge.

Demgegenüber bewegen sich bei den Sinusschwingungen der Industrie- und Verkehrerserschütterungen mit Perioden von der Größenordnung etwa 0,01 bis 0,1 Sekunden die Amplituden bloß zwischen hunderttausendstel und zehntel Millimetern. Selbst wenn berücksichtigt wird, daß so schnellen Bodenschwingungen gegenüber die Gebäude sich wie eine träge Masse verhalten, also die Bodenbewegung unter entsprechender Verformung ganz aufnehmen, können derart winzige Amplituden bloß unschädliche Gebäudeverformungen und Spannungen hervorrufen. Nur mit indirekten Schadenmöglichkeiten ist zu rechnen. So können, wie später gezeigt wird, durch Resonanz erhebliche Beanspruchungen entstehen, wenn die Periode der Verkehrerserschütterung in der Nähe der Eigenschwingungszahl des Bauwerks oder einer Oberschwingung derselben liegen sollte. Ferner dürfen die noch wenig geklärten Ermüdungserscheinungen in Baustoffen als Folge der Dauerbeanspruchung in Erwägung gezogen werden. Mindestens beim Grund- und Erdbau ist gut vorstellbar, daß der kohäsionsvermindernde Einfluß in Baugruben und sonstigen Geländeanschnitten oder in aufgeschütteten Dämmen gefährliche Setzungen

und Rutschungen verursacht; zumal bei ungenügender Bettung der laufenden Maschinen oder der Fahrbahnen.

Mit prinzipieller Annäherung an Erdbebenwirkungen ist jedoch beim Betrieb von schweren Rammen, Fallhämmeru u. dgl. unter der Voraussetzung geringer Schlagzahl zu rechnen. Beim Rammen von Pfählen wird der Raum nicht nur durch Verdichtung des Bodens gewonnen, sondern auch durch Ausweichen ins Freie, vor allem schräg aufwärts.

Hinsichtlich der hier vernachlässigten Baugrundseinflüsse sei auf [20] verwiesen.

## 2. Schwingung und Verformung von Bauwerken.

Seit Jahrzehnten ist es allgemein üblich, die Schwingungen von Gebäuden während eines Erdbebens mit denjenigen eines stehenden

Pendels zu vergleichen. MILNE [12] machte diesen Vorgang bereits 1880 durch einen einfachen Versuch anschaulich. Darüber hinausgehend hat neuerdings RAMSPECK [14] die Vergrößerungsformel eines solchen Pendels auf Gebäude angewendet. Hinsichtlich der außerordentlich zahlreichen Untersuchungen vor allem japanischer und amerikanischer Forscher kann lediglich auf die zusammenfassenden Darstellungen etwa in [6] und daran anschließend in [7] verwiesen werden. Für uns ist der Nachweis wichtig, daß Gebäude elastische Schwingungen vollführen können und eine ausgeprägte Eigenschwingungszahl besitzen.

Demgegenüber muß allerdings auf die Vernichtung der Elastizität beim Überschreiten von Elastizitäts- und vor allem Festigkeitsgrenze hingewiesen werden, weil hierdurch bleibende Verformungen bedingt werden.

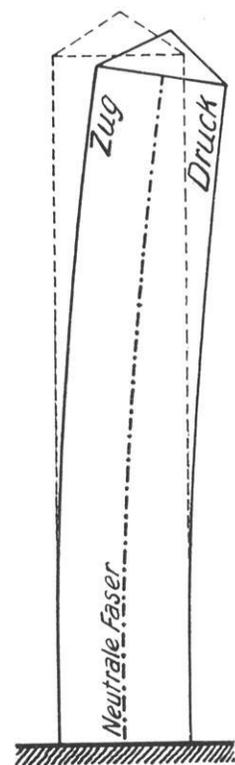


Abb. 2. Verbiegung eines überschlanken Bauwerks.

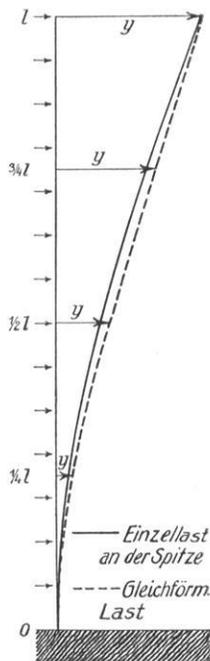


Abb. 3. Biegelinien der Stäbe.

Die nachstehenden Überlegungen gehen zwar von Bekanntem aus, führen aber zu Auffassungen, die zum Teil von früheren erheblich abweichen.

a) **Stabschwingungen überschlonker Bauwerke bei Harmonischer Schwingung.** Es ist üblich, bei der Behandlung von Schwingungen überschlonker Gebäude von der Sinusschwingung eines unten eingespannten Stabes auszugehen; vergleiche beispielsweise [2]. Gegen die Berechtigung läßt sich bei Fabrikkaminen, Leucht-, Funk- und anderen Türmen oder dgl. nichts einwenden. Nach dieser Annahme verbiegen sie sich als Ganzes (Abb. 2) in der bekannten Weise mit neutraler Faser in der Mitte und maximalen Randspannungen: Zug auf der konvexen, Druck auf der konkaven Seite.

In erster Annäherung zur ungefähren Bestimmung von Eigenperiode, Biegelinie und Maximalausschlag genügt es, den einfachsten Fall eines gewichtslosen Stabes mit punktförmiger Masse an der Stabspitze anzusetzen (Abb. 3).

- Es sei
- $l$  = Stablänge
  - $P$  = Gewicht der Last
  - $g$  = Erdbeschleunigung
  - $b$  = Beschleunigung der Bodenbewegung
  - $E$  = Elastizitätsmodul des Stabmaterials
  - $F$  = Stabquerschnitt
  - $I$  = Trägheitsmoment des Stabquerschnittes
  - $A_0$  = Amplitude der Bodenbewegung
  - $\gamma$  = Dichte des Stabmaterials
  - $y$  = Ordinate der horizontalen Stabschwingung
  - $x$  = Abszisse eines Stabpunktes
  - $\omega$  = Kreisfrequenz der Bodenschwingung
  - $\nu$  = Kreisfrequenz der Stabschwingung
  - $m$  = Masse des Stabes
  - $A_0$  = Amplitude der Bodenschwingung

Für den gewichtslosen Stab mit punktförmiger Einzellast beträgt die Eigenperiode:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \cdot l \sqrt{\frac{1 \cdot P}{g \cdot E \cdot I}} \quad (1)$$

Das Biegemoment an der Stelle  $x$  lautet für die größte Ausschwingung:

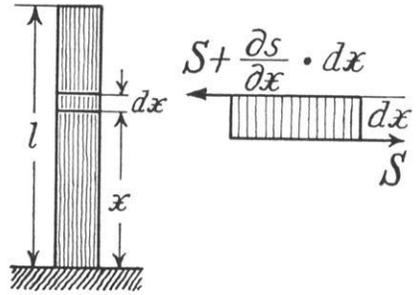
$$-M_x = \frac{P \cdot b}{g} (1-x) \quad (2)$$

und die Gleichung der elastischen Linie:

$$y = \frac{P b}{g \cdot E \cdot I} \left( \frac{1x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right). \quad (3)$$

Mehr der Wirklichkeit angenähert ist die Betrachtungsweise als Stab überall gleichbleibenden Querschnittes mit Belastung

durch das Eigengewicht. Jedoch bleibt der Unterschied für beide betrachteten Stäbe, solange keine Oberschwingung auftritt, geringfügig. Ausführliches hierüber bringt Brötz [4]. Lediglich dessen Ausführungen über Querschwingungen eines derartigen eingespannten Stabes seien kurz wiedergegeben, weil weiterhin auf sie zurückgegriffen werden muß.



Auf ein Massenelement des fest eingespannten Stabes wirken (Abb. 4) bei Querschwingungen als elastische Kraft die Scherkraft, außerdem die Trägheitskraft. Die Schwingungsgleichung lautet:

Abb. 4. Stab und die an einem Stabelement wirkenden Kräfte bei Biegeschwingungen.

$$\frac{E I g}{\gamma F} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \text{ mit der Lösung} \quad (4)$$

$$y = (a \cos \nu t + b \sin \nu t) (A_1 \mathfrak{C} \cos mx + A_2 \cos mx + A_3 \mathfrak{S} \sin mx + A_4 \sin mx) \quad (5)$$

Die Anfangs- und Randbedingungen lauten:

1.  $t = 0$       $y = 0$
2.  $x = 0$       $y = A_0 \sin \omega t$  (Stabschw. = Bodenschw.) neue Randbedingung von Brötz

3.  $x = 0$       $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$  (feste Einspannung)

4.  $x = 1$       $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$  (Moment = 0)

5.  $x = 1$       $\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = 0$  (Querkraft = 0)     Nun wird

$$y = A_0 \sin \omega t [e(\mathfrak{C} \cos mx - \cos mx) + \cos mx - e(\mathfrak{S} \sin mx - \sin mx)] \quad (6)$$

hierin ist:

$$m = \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot F \cdot \omega^2}{E \cdot I \cdot g}}; \quad c = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\mathfrak{S} \sin ml \cdot \sin ml}{1 + \mathfrak{C} \cos ml \cdot \cos ml} \right]; \quad e = \frac{1}{2} \left[ \frac{\mathfrak{C} \cos ml \cdot \sin ml + \mathfrak{S} \sin ml \cdot \cos ml}{1 + \mathfrak{C} \cos ml \cdot \cos ml} \right]$$

Das Biegemoment ist:

$$M = - \frac{E I \partial^2 y}{\partial x^2} = - A_0 \sin \omega t m^2 E I [c(\mathfrak{C} \cos mx + \cos mx) - \cos mx - e(\mathfrak{S} \sin mx + \sin mx)] \quad (7)$$

Um die dynamische Spannung zu erhalten, ist diese Gleichung durch das Widerstandsmoment  $W$  zu dividieren, da  $\sigma = \frac{M}{W}$  ist. Bekanntlich ist die Querkraft  $Q = \frac{\partial M}{\partial x}$  also

also

$$Q = A_0 \sin \omega t m^3 E I \left[ -c (\sin mx - \sin mx) - \sin mx + e (\cos mx + \cos mx) \right] \quad (8)$$

Die Eigenperiode ergibt sich zu  $T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$ ;  $\omega_n$  erhalten wir aus der Gleichung

$$m_n^4 = \frac{\gamma \cdot F \cdot \omega_n^2}{E \cdot I \cdot g}. \text{ Für die Grundschiwingung (n = 1)}$$

wird mit

$$m_1 = 0,597 \frac{\pi}{l}; T_1 = \frac{2\pi}{0,597^2 \pi^2} \cdot l^2 \sqrt{\frac{\gamma \cdot F}{E \cdot I \cdot g}} \quad (9)$$

Aus den vorstehenden Beziehungen ergeben sich folgende Schlüsse, die bei sinngemäßer Übertragung für sämtliche Bauwerke Bedeutung gewinnen:

1. Die Form der Biegelinie bestimmt die Beanspruchung des Materials, also hier des Gebäudes. Solange sich, etwa bei Erdbeben mit Perioden 0,2—1,5 sec., der Stab in seiner Grundschiwingung bewegt, bestehen keine prinzipiellen Unterschiede für die beiden getrennt betrachteten Fälle.

2. Die größten Beanspruchungen treten an der Stelle des kleinsten Krümmungsradius auf. Die Quer- oder Schubkraft ist aber, wie sich aus der Festigkeitslehre ergibt, an den Stellen der maximalen Spannungen gleich Null.

3. Der Ort des stärksten Biegemomentes wechselt bei schwingendem Stab je nach dem Frequenzverhältnis von Stab und Unterlage.

4. Schwingt der Boden langsamer als die Eigenfrequenz des Stabes, dann liegen maximales Biegemoment und gefährlicher Querschnitt an der Einspannstelle.

5. Ist jedoch, wie etwa bei Verkehrserschütterungen, die Eigenfrequenz des Bodens größer als die Stabfrequenz, dann kann der Stab nur noch mit einem Teil seiner Länge frei schwingen, es entstehen Oberschwingungen. Die Biegelinie des Stabes bekommt Wendepunkte und entsprechend ändert sich die Spannungslinie. Große Spannungen können an Stabpunkten auftreten, die weit oberhalb der Einspannstelle liegen.

b) **Elastische Stabschwingungen bei Stößen**, wie sie unser Stoßtisch für Modellversuche erzeugt, untersuchte W. SPONHEUER [21]. Seinen Ausführungen ist folgendes entnommen:

Der Stoßtisch (Abb. 5) wird durch ein Pendel mit der Masse  $m_1$  in Bewegung gesetzt; und zwar schlägt die Pendelmasse mit der Geschwindigkeit  $v_0$  gegen den Federpuffer, dessen Federkonstante  $K_1$  ist.

Der Tisch mit der Masse  $m_2$  schwingt dann um die Ruhelage der Blattfeder mit der Konstante  $K_2$ . Die Größe der Federdeformationen sei  $x_1$  und  $x_2$ .

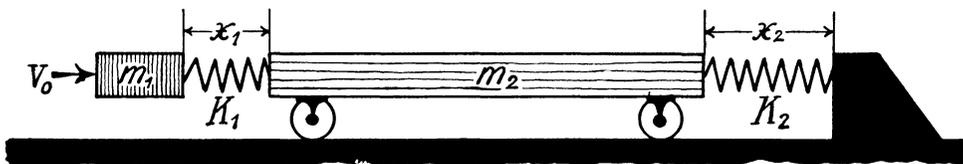


Abb. 5. Schema zu den Bewegungsgleichungen des Stoßtisches.

Ohne Berücksichtigung der Dämpfung erhält man folgende Bewegungsgleichungen [8]

$$\left. \begin{aligned} m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + K_1 x_1 &= 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 + K_2 x_2 - K_1 x_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Zusammengefaßt und nach  $x_2$  aufgelöst ergibt sich eine Differentialgleichung 4. Grades für die Bewegung des Tisches.

$$\ddot{\ddot{x}}_2 + \left( \frac{K}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right) \ddot{x}_2 + \frac{K_1 K_2}{m_1 m_2} x_2 = 0 \quad (11)$$

Die allgemeine Lösung dieser Gleichung lautet:

$$x_2 = A \cos \sqrt{\alpha + \beta} t + B \sin \sqrt{\alpha + \beta} t + C \cos \sqrt{\alpha - \beta} t + D \sin \sqrt{\alpha - \beta} t. \quad (12)$$

Hierin ist:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right); \quad \beta = \frac{1}{2} \sqrt{\left( \frac{K_1}{m_1} + \frac{K_1 + K_2}{m_2} \right)^2 - \frac{4 K_1 K_2}{m_1 m_2}}$$

Die 4 Integrationskonstanten ergeben sich aus den Anfangsbedingungen. Für  $t = 0$  ist:

$$x_1 = 0. \quad x_2 = 0; \quad \dot{x}_1 = v_0. \quad \dot{x}_2 = 0.$$

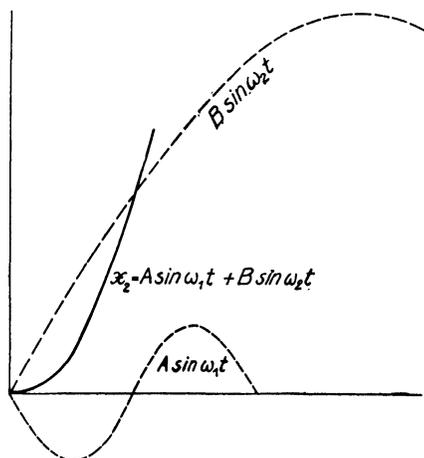


Abb. 6. Die gekoppelte Schwingung des Stoßtisches.

Somit ist die Bewegung des Systems Pendel-Stoßtisch (Abb. 6) durch folgende 2 Gleichungen für  $x_1$  und  $x_2$  gegeben:

$$x_1 = \frac{v_0}{2\beta m_2} \left[ -\frac{K_2 - m_2(\alpha + \beta)}{\sqrt{\alpha + \beta}} \sin \sqrt{\alpha + \beta} t + \frac{K_2 - m_2(\alpha - \beta)}{\sqrt{\alpha - \beta}} \sin \sqrt{\alpha - \beta} t \right] \quad (13)$$

$$x_2 = \frac{v_0}{2\beta m_2} \left[ -\frac{K_1}{\sqrt{\alpha + \beta}} \sin \sqrt{\alpha + \beta} t + \frac{K_1}{\sqrt{\alpha - \beta}} \sin \sqrt{\alpha - \beta} t \right] \quad (14)$$

Diese Lösungen haben nur so lange Geltung, als das Pendel den Federpuffer berührt. Nur so lange führt das System eine gekoppelte Schwingung aus, deren beide Frequenzen  $\omega_1 = \sqrt{\alpha + \beta}$  und  $\omega_2 = \sqrt{\alpha - \beta}$  sind.

Ist die Deformation der Feder  $x_1 = 0$  geworden, so trennt sich das Pendel vom Federpuffer, der Stoßvorgang ist zu Ende. Von nun an führt der Tisch eine einfache harmonische Schwingung aus, deren Gleichung  $m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 = 0$  lautet. (15)

Die Schwingung eines auf dem Tisch befindlichen eingespannten Stabes von überall gleichbleibendem Querschnitt, der durch sein Eigengewicht belastet ist, ergibt sich nun ähnlich, wie in a) bei der einfachen Sinusschwingung durch Brötz angegeben wurde. Wir haben wie oben die Lösung (5) der Schwingungsdifferentialgleichung (4), in der mit den Anfangs- und Randbedingungen die Integrationskonstanten bestimmt werden. Jedoch setzen wir statt der 2. Randbedingung, die bei Brötz  $y = A_0 \sin \omega t$  lautet, die Gleichung der Tischbewegung (14) ein, die sich vereinfacht schreiben läßt:  $x_2 = A \sin \omega_1 t + B \sin \omega_2 t$ , wenn

$$A = -\frac{v_0}{2\beta m_2} \frac{K_1}{\sqrt{\alpha + \beta}} \quad \text{und} \quad B = \frac{v_0}{2\beta m_2} \frac{K_1}{\sqrt{\alpha - \beta}} \text{ ist.}$$

Nun erhalten wir für die Biegelinie folgende Gleichung:

$$y = A \sin \omega_1 t [c_1 (\mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_1 x - \cos n_1 x) + \cos n_1 x - e_1 (\mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_1 x - \sin n_1 x)] + B \sin \omega_2 t [c_2 (\mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_2 x - \cos n_2 x) + \cos n_2 x - e_2 (\mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_2 x - \sin n_2 x)] \quad (16)$$

wobei

$$\begin{aligned} n_1 &= \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot F \cdot \omega_1^2}{E \cdot I \cdot g}}; \quad c_1 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_1 l \cdot \sin n_1 l}{1 + \mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_1 l \cdot \cos n_1 l} \right]; \\ e_1 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_1 l \cdot \sin n_1 l + \mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_1 l \cdot \cos n_1 l}{1 + \mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_1 l \cdot \cos n_1 l} \right]; \\ n_2 &= \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot F \cdot \omega_2^2}{E \cdot I \cdot g}}; \quad c_2 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_2 l \cdot \sin n_2 l}{1 + \mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_2 l \cdot \cos n_2 l} \right]; \\ e_2 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_2 l \cdot \sin n_2 l + \mathcal{S}\mathcal{I}\mathcal{N} n_2 l \cdot \cos n_2 l}{1 + \mathcal{C}\mathcal{O}\mathcal{f} n_2 l \cdot \cos n_2 l} \right] \text{ ist.} \end{aligned}$$

Die Gleichung für die Biegemomente ergibt sich wie oben durch zweimalige Differentiation  $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\frac{M}{EI}$  und wird:

$$M = - \left\{ A \sin \omega_1 t n_1^2 EI [c_1 (\cos n_1 x + \cos n_1 x) - \cos n_1 x - \frac{x}{l}] + e_1 (\sin n_1 x + \sin n_1 x) \right\} + B \sin \omega_2 t n_2^2 EI [c_2 (\cos n_2 x + \cos n_2 x) - \cos n_2 x - e_2 (\sin n_2 x + \sin n_2 x)] \quad (17)$$

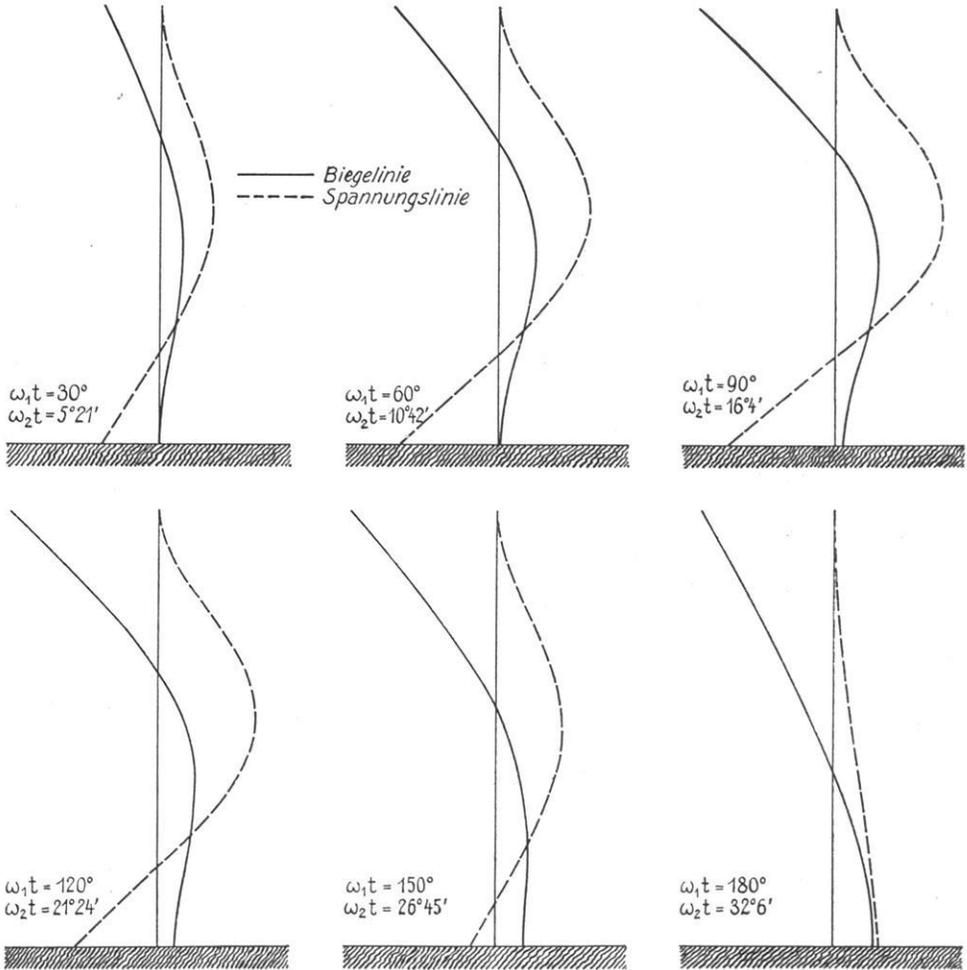


Abb. 7. Biegelinien und Biegespannungen eines fest eingespannten Stabes während des Stoßverlaufs.

Der Abb. 7 liegen folgende Werte zugrunde:  
 Stoßtisch: Gewicht der Pendelmasse:  $G_1 = 10 \text{ kg}$   
 „ „ Tischmasse:  $G_2 = 50 \text{ kg}$   
 Federkonstante des Federpuffers  $K_1 = 100 \text{ kg/cm}$   
 „ der Tischfeder  $K_2 = 23,3 \text{ kg/cm}$ . Geschwindigkeit des  
 Pendels beim Aufschlag  $v_0 = 2 \text{ m/sec}$ .

Stab: Stablänge  $l = 1$  m, Stabquerschnitt  $F = 1 \times 0,1$  cm, Elastizitätsmodul  $E = 2000000$  kg/cm<sup>2</sup>, Dichte  $\gamma = 7,8$  kg/dcm<sup>3</sup>.

Hiernach wurden die Biege- und Spannungslinien entsprechend dem Frequenzverhältnis zusammengesetzt, und zwar in Abständen von je 30° bei der schnelleren Frequenz  $\omega_1$  und 5° 21' bei  $\omega_2$ . Das Ergebnis ist folgendes:

1. Die Biege- und Spannungslinien zeigen zum Stoßbeginn den überwiegenden Einfluß der Oberschwingungen, aber gegen Stoßende den der Grundschiwingung.

2. Deshalb treten beim längerperiodischen Erdbebenstoß große Beanspruchungen nicht nur an der Einspannstelle, sondern auch an höheren Gebäudeteilen auf.

c) **Schwingungen normaler Bauwerke.** An Zahl treten die überschanken Bauwerke gegenüber den normal dimensionierten weit zurück. Um so größere prinzipielle Bedeutung gewinnt deshalb die Tatsache, daß normale Gebäude als Ganzes nicht wie ein elastischer Stab schwingen können. Dies ergibt sich schon ohne weiteres aus dem bedeutend größeren Querschnitt im Verhältnis zur Höhe. Es läßt sich aber auch ein exakter Beweis erbringen. Berechnet man nämlich nach obigen Formeln die Eigenperiode eines normalen Hauses aus Ziegelmauerwerk, dann ergeben sich Werte, die etwa eine Zehnerpotenz kleiner sind, als sie nach den Erfahrungen der Praxis und nach instrumentellen Messungen tatsächlich auftreten. Dieses ist auf das Einsetzen des Trägheitsmomentes des ganzen Hausquerschnittes in die Gleichung zurückzuführen.

Zu einer brauchbaren Vorstellung von Schwingungen normaler Gebäude (Abb. 8) gelangt man, wenn man die Wände als

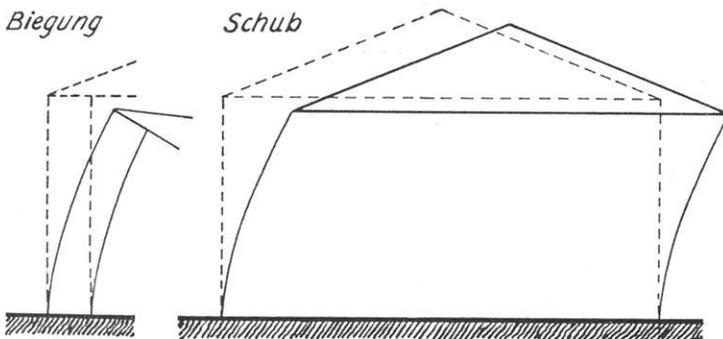


Abb. 8. Verformung eines normalen Gebäudes.

unten eingespannte Stäbe bzw. Prismen mit entsprechenden Biegelinien auffaßt. Bei Perioden, wie sie den Erdbeben eigen sind, ändert

sich die Beanspruchung und Verformung der Umfassungsmauern grundlegend mit der Stoßrichtung:

1. Senkrecht zur Stoßrichtung verlaufende Mauern führen Biegeschwingungen aus, wodurch die gefährlichen Querschnitte in die Einspannstelle oder in etwaige Knotenpunkte verlegt werden.

2. In der Schwingungsrichtung stehende Mauern werden dagegen durch Schub verformt, was Zerstörung von oben her zur Folge hat, weil die Scherungen nach oben hin immer größer werden.

Dieser theoretische Unterschied wird allerdings durch die Koppelung der Mauerschwingungen in den Gebäudedecken mit ihrem steiferen Verband praktisch bis zu einem gewissen Grade verwischt.

Die Beschleunigungen sind bei gleicher Periode den Amplituden proportional. In einem von der Bodenschwingung mitgeschleppten Bauwerk nimmt die Amplitude der horizontalen Gebäudeschwingung, bezogen auf die Ordinate eines gleichfalls vom Boden mitgenommenen Koordinatensystems, mit der Höhe zu. Der Charakter dieser Zunahme bestimmt das Grundsätzliche des Schadenbildes.

MONONOBE sowohl wie RAMSPECK, siehe namentlich Fig. 2 und 1 in [14], nehmen reine Scherschwingungen des Bauwerks an, bei denen die senkrecht zur Stoßrichtung verlaufenden Seitenwände dauernd Ebenen bleiben und nur ihre Neigung gegen die Erdoberfläche ändern. Dies bedeutet lineare Zunahme der Amplitude mit der Höhe.

In ausgesprochenem Gegensatz hierzu führen unsere Untersuchungen zu dem Ergebnis, die Amplitudenzunahme erfolge gemäß der Biegelinie (Abb. 3) der Wände senkrecht zur Schwingungsrichtung. Nur diese Feststellung trägt den allbekannten Beobachtungen der Makroseismik Rechnung, daß die Beschleunigungen und damit die für die Festigkeit gefährlichen Amplituden in den unteren Stockwerken kleiner sind als in den oberen.

Reine elastische Gebäudeschwingungen können, wie bereits mehrfach hervorgehoben wurde, nur innerhalb der Festigkeitsgrenzen auftreten. Sobald die Amplitude einen Wert erreicht, der die Festigkeit von Baumaterial und Verband überschreitet, so daß Risse entstehen, ändert sich das Verhalten des Bauwerks. Es ist nicht mehr als Ganzes, sondern nur noch in seinen neugeschaffenen Einzelabschnitten schwingungsfähig; die durch Risse losgelösten Gebäudeteile vermögen ausschließlich Wackelschwingungen auszuführen.

**d) Die Bedeutung der Resonanz für Gebäudeschwingungen bei Erdbeben** und damit namentlich für Gebäudeschäden pflegt

ganz allgemein weit überschätzt zu werden, wie hier nachgewiesen werden soll.

Wird der Erdboden in Schwingungen versetzt, so vollführen auf ihm stehende schwingungsfähige Gebilde erzwungene Schwingungen. Bekanntlich hängt die Amplitude der erzwungenen Schwingung von der sogenannten Vergrößerungszahl  $V = \frac{1}{\sqrt{(\gamma^2 - 1)^2 + 4\alpha^2\gamma^2}}$  ab, worin  $\gamma = \frac{\omega}{\omega_0}$ ,  $\alpha = \frac{b}{\omega_0}$  und  $\omega_0 =$  ungedämpfte Eigenfrequenz,  $\omega =$  Frequenz der erregenden Kraft und  $b$  die Dämpfungszahl ist.

Die Vergrößerung, also die maximale Amplitude, wird im Resonanzfall, da  $\gamma = \frac{\omega}{\omega_0} = 1$ , nur noch von der Dämpfung  $\alpha$  bestimmt.

Die Lösung der Differentialgleichung der erzwungenen Schwingung besteht aus zwei Teilen, nämlich aus der erzwungenen und der Eigenschwingung. Da die letztere mit einem Dämpfungsglied versehen ist, so hängt die Zeit, nach der die volle Amplitude erreicht wird, auch von der Dämpfung  $\alpha$  ab.

Das nachstehend durchgerechnete Beispiel vermag am besten davon zu überzeugen, daß bei einem Erdstoß eine so lange Zeitdauer der Bodenbewegung nicht angenommen werden kann, wie sie das Aufschaukeln eines Bauwerks im Resonanzfall voraussetzen muß.

Bei dem auf Resonanzwirkung zu untersuchenden Haus aus Ziegelmauerwerk betrage die Eigenperiode  $T = 0,75$  sec, entsprechend etwa einem 6—8stöckigen Gebäude. Das Dämpfungsverhältnis von Ziegelmauerwerk ist nach WEISHAUPT  $\epsilon = 1,075$  aus zwei aufeinanderfolgenden Ausschlägen mit ungleichem Vorzeichen bzw.  $\ln \epsilon = \Lambda = 0,0722$ .

Im Fall der Resonanz ist bei erzwungenen Schwingungen die Vergrößerungszahl  $V = \frac{1}{\sqrt{(\gamma^2 - 1)^2 + 4\alpha^2\gamma^2}}$  nur von der Dämpfung abhängig. Tatsächlich können bei der kleinen Dämpfung von Mauerwerk erhebliche Amplitudenüberhöhungen auf-

treten. Bei einem  $\epsilon = 1,075$  oder da  $\alpha = \frac{\frac{\ln \epsilon}{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\ln \epsilon}{\pi}\right)^2}} = \frac{0,0722}{\pi} = 0,023$ ,

beträgt die Vergrößerung  $V = 21,6$ . Aus KOCH [9] läßt sich die Zeitdauer bis zur Erreichung der Endamplitude bei einem  $\alpha = 0,023$  entnehmen. Diese wird etwa nach der 60. Amplitude, also nach 60 Halbschwingungen gleich 30 vollen Schwingungen, erreicht. Bei der oben angenommenen Eigenperiode des Gebäudes von  $T = 0,75$  sec dauert es also  $30 \times 0,75 = 22,5$  sec im Falle reiner Resonanz.



Werkstatt der Reichsanstalt für Erdbebenforschung vom Mechaniker K. NÖTHLICH.

Im wesentlichen besteht der Stoßtisch aus einer tischähnlichen Plattform aus verschweißtem U-Eisen, belegt mit einer Holzplatte. Diese Plattform ruht mittels dreier kugelgelagerter Rollen auf einem als Fundament dienenden Rahmen, der ebenfalls aus U-Eisen geschweißt ist. Die Rollen laufen auf Schienen aus Bohrstahl. Eine mit Kreuzköpfen versehene Stange S verbindet den Tisch mit einer Blattfeder B; sie kann nach Bedarf in ganzer oder mit einem Teil ihrer Länge eingespannt werden, wodurch sich die Eigenperiode der Tischschwingung beliebig einstellen läßt. Eine Dämpfungseinrichtung D auf dem Fundamentrahmen gestattet, die Dämpfung des Systems innerhalb weiter Grenzen bis zur Aperiodizität zu verändern. In Bewegung gesetzt wird der Tisch durch ein Schlagpendel P, das auf einen am Tisch angebrachten Federpuffer F trifft. Berechnet ist der Tisch für Lasten bis 200 kg.

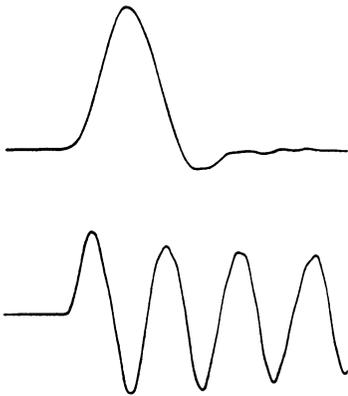


Abb. 10. Originalregistrierung von fast aperiodisch und von schwach gedämpfter Bewegung des Stoßtisches.

Der Vergleich der Registrierungen mit Abb. 1 läßt ohne weiteres erkennen, daß die Bewegungen des Stoßtisches den Bodenverrückungen bei Erdbeben durchaus entsprechen. Ferner zeigt Abb. 10, in welchem Bereich entsprechend der Dämpfung des Bodens die Stoßwirkungen verändert werden können. Jedoch hat sich herausgestellt, daß bei aperiodischer Dämpfung das Grundsätzliche von Gebäudezerstörungen ausreichend und am übersichtlichsten zum Ausdruck kommt.

Eine wertvolle Ergänzung wären kinematographische Zeitlupenaufnahmen. Die sekundliche Bilderzahl der gewöhnlichen Apparate genügt für die vorliegenden Zwecke nicht, weil die Periode des Stoßtisches bei den Modellversuchen etwa in der Größenordnung von 0,1—0,2 sec liegt.

b) Die **Gebäudemodelle** werden im Maßstab 1:10 mit Modellziegeln nach den üblichen Regeln der Baukonstruktion in den gebräuchlichsten Ziegelverbänden aufgebaut. Für die einfachsten Fälle wurde Blockverband von 1 Stein Stärke bevorzugt. Je nach den Umständen gelangte Trockenmauerwerk oder Versetzen der Ziegel in Mörtelbett zur Anwendung.

Ziegel für Modellversuche mit Trockenmauerwerk haben genaue Maße und sorgfältig gearbeitete, glatte Flächen zur Voraussetzung, was allerdings einen hohen Anschaffungspreis bedingt. Nur wenn mit Mörtel gearbeitet wird, genügen die

billigen und dementsprechend weniger genauen Modellziegel. Als unbrauchbar für unsere Zwecke haben sich Modellziegel aus Korkmasse erwiesen. Beim Mörtel muß die Bindekraft dem Modellmaßstab angepaßt werden. Die „Einspannung“ des Fundaments wird durch ausreichende Verstärkung der Haftreibung auf der Bodenfläche des Stoßtisches ersetzt.

1. Trockenmauerwerk bringt im Modellversuch die Verformungstendenzen am klarsten zum Ausdruck. Zwar bleibt die Verbandfestigkeit um ein geringes unter der normalen, weil die Haftreibung der Ziegel auf den Fugen den Mörtel ersetzt. Aber die hierdurch bedingten und ohne weiteres erkennbaren Übertreibungen machen bestimmte Verformungsvorgänge erst sichtbar, die zum Teil ausschlaggebende Bedeutung erlangen, obwohl sie in der Wirklichkeit von auffälligeren Schadenbildern überdeckt werden.

2. Mörtelmauerwerk steht unter dem Einfluß materialbedingter Unterschiede der Verbandfestigkeit. Dadurch kann sich im Modellversuch, trotz aller Vorsicht bei der Verwendung stark verdünnten Magermörtels, der Beanspruchungsplan unter Umständen so grundsätzlich ändern, daß die Mörtelbettung Verformungen vortäuscht, die der Wirklichkeit nicht entsprechen. Aber auch dieser Grenzfall führt, wenn richtig bewertet, zu brauchbaren Erkenntnissen.

#### **4. Allgemeines über die Verformbarkeit von Ziegelmauerwerk.**

Die Erdbebengefährlichkeit normalen Ziegelmauerwerks beruht auf seinen nachstehend genannten spezifischen Eigenschaften:

Schwächstes Material des Ziegelmauerwerks ist der Mörtel, die wabenartige Bettung der Ziegel. Dem entspricht die makroseismische Erfahrung, daß Zerstörung der Mörtelbettung den Schaden verursacht, während etwaige Zerreißen von Ziegeln bloß auf Zufall beruhen. Die offen klaffenden Mauerspalten verlaufen treppenartig in den Fugen meistens derart, daß die Mörtelbrücken der Stoßfugen abgeschert werden und sich vom Ziegel lösen wegen der geringen Adhäsion<sup>1)</sup> des Mörtels an dem Stein.

Verbandfestigkeit durch Verzahnung des Steinverbandes mit gegeneinander abgesetzten Stoßfugen besteht bloß innerhalb der horizontalen Einzelschicht, während die Lagerfugen glatt durchlaufen.

---

1) Beispielsweise wird bei der Standfestigkeitsberechnung hoher Schornsteine aus Ziegelmauerwerk vorausgesetzt, daß sich die Fugen auf der Windseite wegen des Fehlens von Adhäsion ungehindert öffnen können.

Die Gefährdung durch Erdbebenstöße wird also grundsätzlich bedingt und charakterisiert durch die Aufteilung der Mauerfläche in zahlreiche Scharen horizontal durchlaufender Schwächezonen des Materials und Verbandes, die außerdem noch Gleitbahnen für das Wandern von Ziegeln abzugeben vermögen. Unter diesen Umständen erzwingt der Steinverband, in Längsmauern das natürliche Streben nach elastischer Verbiegung von Mauerwerk in parallel gerichtete Scherbewegungen der einzelnen Lagerschichten gegeneinander überzuführen.

Von nicht minder ausschlaggebender Bedeutung für die Verformung ist der von oben nach unten wachsende Verschiebungswiderstand (Abb. 11). Sein einer Faktor, die Schubfestigkeit des Mörtels, spielt hierbei keine Rolle, weil sie oben und unten einen konstanten Wert hat; der Größenordnung nach mag letzterer vorwiegend bei etwa  $3 \text{ kg/cm}^2$  liegen. Jedoch der andere Faktor, der Reibungswiderstand, nimmt als Produkt von Ruhereibungskoeffizient und Normaldruck von oben nach unten mit der Auflast des Gebäudes zu.

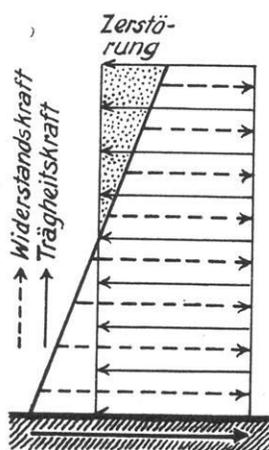


Abb. 11. Festigkeitsverteilung und Beanspruchung des Mauerwerks.

In Quermauern, die der Erdbebenstoß senkrecht trifft, beruht die Verformung hauptsächlich auf Biegung. Aber in Längsmauern läßt das hohe Widerstandsmoment keine große Biegungsbeanspruchung zu.

In Längsmauern pflanzt sich der Stoß des Erdbebens als Druckwelle fort. Entsprechend der bekannten Erscheinung des elastischen Stoßes erzeugt der Stoßimpuls in den Mauerwerksschichten das Bestreben, die letzten Steine fortzuschleudern. Hauptverantwortlich für Verformungen sind jedoch im allgemeinen die Trägheitskräfte, die in den einzelnen Schichten entsprechend deren Gewicht von der der Mauer erteilten Beschleunigung hervorgerufen werden und in der Richtung gegen den Stoß verlaufen. Jedoch hat sich herausgestellt, daß die verformende Wirkung des Stoßimpulses bei gleichbleibender Trägheitswirkung in Mörtelmauerwerk größer ist als in Trockenmauerwerk. Denn die unvermeidlichen Lücken in den Fugen von Trockenmauern verursachen Schwächungen der fortschreitenden Druckwelle, die im Mörtelmauerwerk fortfallen.

Die Verformungen des Mauerwerks durch den Anstoß zeigt Abb. 12; sie können nur Dehnungen durch Schub längs der Fugen sein. In bester

Übereinstimmung mit den typischen Schadenbildern sowohl bei Erdbeben als auch bei unseren Modellversuchen folgt hieraus:

1. Selbstverständlich müssen sich dort, wo der Verschiebungswiderstand (Abb. 11) am geringsten, der Freiheitsgrad der Bewegung

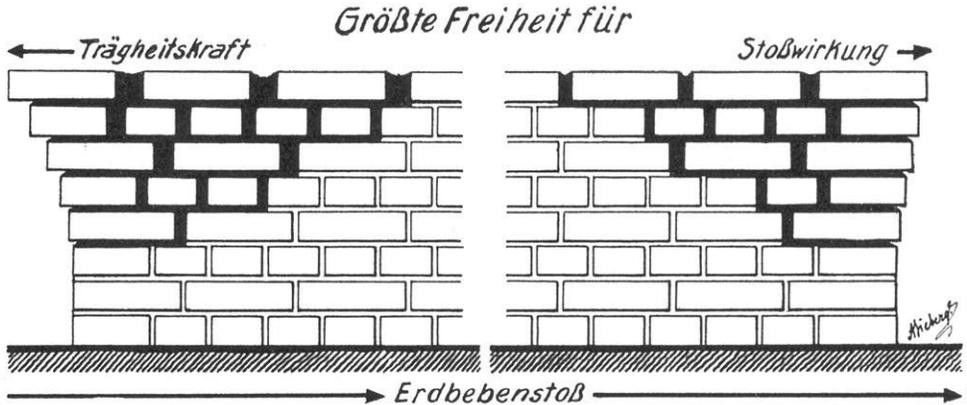


Abb. 12. Verformung von entgegengesetzten Mauerecken durch Trägheitskraft und Stoßimpuls.

am größten ist, also an den obersten Mauerwerksecken, die Scherkräfte am stärksten auswirken, die Verformungen beginnen und den Höhepunkt erreichen.

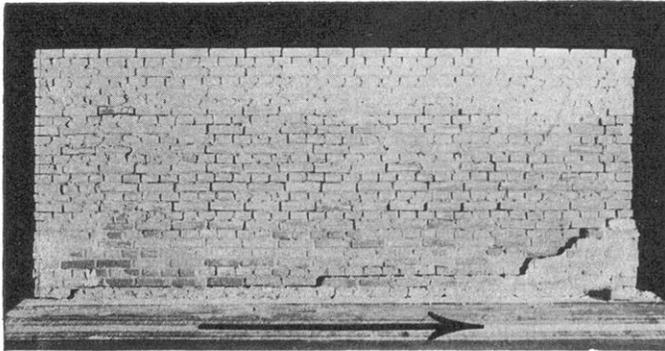


Abb. 13. Als hochelastische Platte wirkende Mörtelmauer nach dem Anstoß.

2. Je stärker der Erdstoß war, desto weiter rücken von den obersten Ecken her die Schäden gegen die Achse und die Fußpunkte des Mauerwerks vor.

3. In dem zerrissenen Abschnitt hat sich der ganze Beanspruchungsplan geändert. Die Elastizität ist vernichtet und Steine wandern auf Gleitflächen. Dieses Bild der bleibenden Verformung kann bloß durch die Folgen von Wackelschwingungen geändert werden.

In einem Sonderfalle, dessen Eintreten in der Wirklichkeit kaum zu erwarten ist, wird sich jedoch die Verformung grundsätzlich anders gestalten. Bei einem Modellversuch (Abb. 13) gelangte Mörtel von solcher Bindekraft zur Verwendung, daß die Mauer zu einer hochelastischen Platte geworden war. Dementsprechend erfolgte in vollem Einklang mit der Theorie das Abscheren an der Einspannstelle, also dicht am Boden, die Verschiebung längs der Lagerfuge in der Stoßrichtung. Bloß das zufällige Stehenbleiben einer Ecke bewirkt elastisches Zurückprallen.

### 5. Die freistehende Mauer beim ersten Anstoß.

Der Zusammensetzung des Erdbebenstoßes aus mehreren Schwingungen (S. 5) entspricht die Zerlegung der Verformung in Einzelabschnitte. Aber bestimmend für das gesamte Schadenbild wirkt sich der Beginn der Bodenverrückung, also der schlagartig mit dem Beschleunigungsmaximum einsetzende Anstoß aus.

Den klarsten Einblick in die Gesetzmäßigkeiten für die Verformung von Ziegelmauerwerk durch horizontalen Erdbebenstoß gewährt das einfachste Bauwerk, die freistehende Mauer. Die Versuchsergebnisse bestätigen die theoretischen Überlegungen.

a) **Stoß in der Längsrichtung der Mauer** (Abb. 14). Die Bodenverrückung schleppt die am Fundament eingespannte Mauer

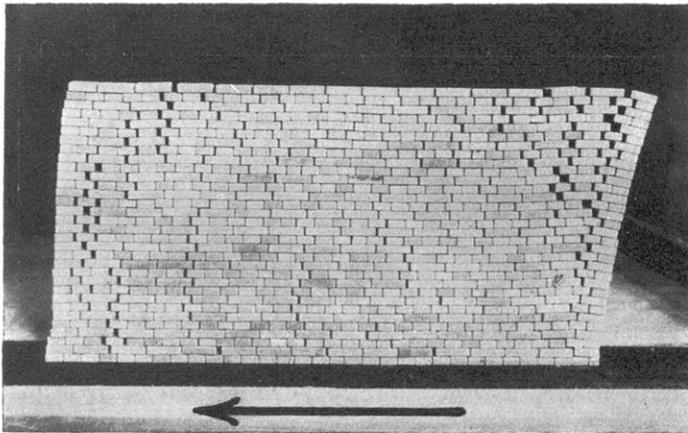


Abb. 14. Verformung einer Längsmauer durch den Anstoß.

mit sich, wobei sich die Längsmauer in der vorbesprochenen Weise unter Schubbeanspruchung zu verformen trachtet. Besonders eindrucksvoll wird das zerrüttende Wirken der Trägheitskräfte an der dem Erdstoß zugekehrten Mauerseite sichtbar. Selbst an der abgekehrten Mauerseite kommt, trotz des stark verminderten Freiheitsgrades, die Trägheitswirkung noch unverkennbar in der Kantenkrümmung zum

Ausdruck. Nicht minder auffällig wird in diesem Mauerabschnitt die Zerrüttung durch den Stoßimpuls. Hierbei zeigt sich allerdings, daß letzterer unter den vorliegenden äußeren Bedingungen nicht imstande gewesen ist, die Trägheitswirkung aufzuheben.

Soweit von der Kante her völlige Zermalmung des Mörtelbettes in Stoß- und Lagerfugen den einzelnen Ziegeln ausreichenden Spielraum schafft, macht sich beim Auseinanderweichen der Mauerecken mit der Schichtneigung mehr und mehr der Einfluß der Schwerkraft geltend.

b) **Stoß senkrecht auf die Mauer** (Abb. 15). In diesem Falle wirkt, wie zu erwarten war, die für Quermauern wegen des geringen



Abb. 15. Verformung einer Quermauer durch den Anstoß.

Widerstandsmoments charakteristische Biegebeanspruchung. Der gefährliche Querschnitt liegt an der Einspannstelle, also nahe dem Boden. Die Trägheitskraft schleudert die oberen Schichten herunter, und zwar in der dem Erdstoß entgegengesetzten Richtung.

## 6. Verhalten beim vollen Stoßablauf.

Mit dem vorstehend untersuchten ersten Anstoß ist, wie früher gezeigt wurde, die Bodenverrückung bei einem Erdbebenstoß nicht abgeschlossen, selbst wenn aperiodische Dämpfung vorliegt. Vielmehr geht im allgemeinen der Anstoß nach Überschreiten des Kräftegleichgewichts in harmonische Schwingung über.

Alle Einzelheiten der Bodenverrückung und der zugehörigen Beanspruchungsänderungen einer Längsmauer habe ich im Schaubild Abb. 16 übersichtlich zur Darstellung gebracht durch Übertragung der Stoßregistrierung ins Gelände. Hieraus ergeben sich folgende Einzelabschnitte von grundsätzlicher Bedeutung:

1. Gleich der Stoßbeginn mit dem schlagartig erreichten Maximum der Beschleunigung verursacht schon das erste Maximum der Be-

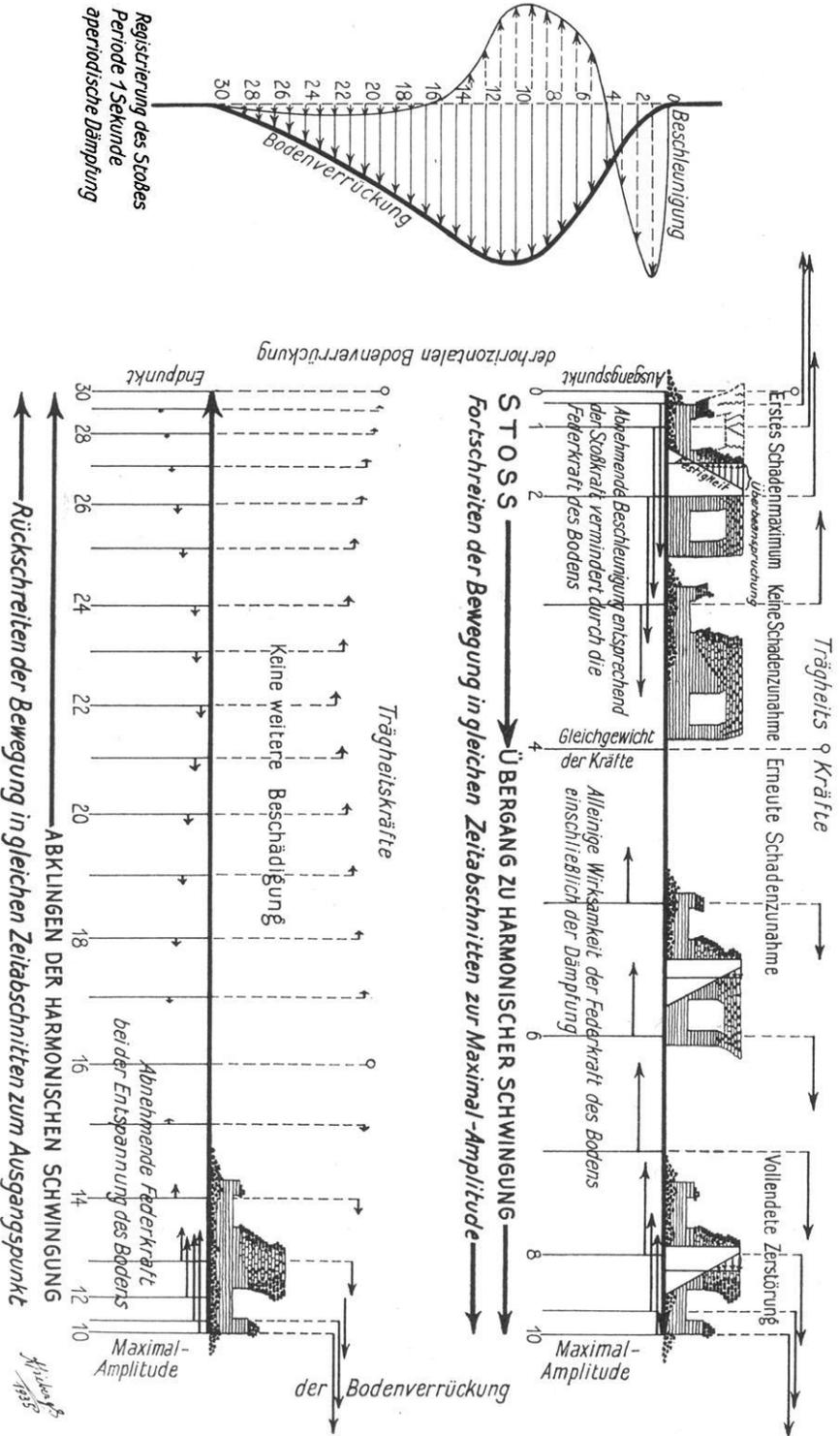


Abb. 16. Bodenverrückung und Beanspruchung eines mitgeschleppten Gebäudes beim Erdbebenstoß.

schädigung in der Art, wie vorstehend gezeigt wurde. Wandern und Abwerfen der losgerissenen Ziegel erfolgt unter dem bestimmenden Einfluß der Trägheitskräfte entgegen der Stoßrichtung.

2. Das Vorrücken des Bodens in der Stoßrichtung ist zunächst durch schnelles Absinken der Beschleunigung gekennzeichnet; ihrem Nullpunkt entspricht momentanes Kräftegleichgewicht. Weitere Schäden können während dieses Bewegungsabschnittes selbstverständlich nicht auftreten, weil die vorausgegangene Überbeanspruchung bereits alle Schadenmöglichkeiten erschöpft hatte.

3. Beim jetzt beginnenden Übergang der fortschreitenden Bodenverrückung in harmonische Schwingung bedeutet die Richtungs-umkehr von wieder wachsender Beschleunigung und Trägheitskraft eine Quelle für neue Schadenmöglichkeiten. Gefährdete Ausgangsstelle ist jetzt die entgegengesetzte Gebäudeecke. Gelockertes Material kann hüben und drüben zu Boden gelegt werden. Häufig ist auch zu beobachten, daß sich offen klaffende Spalten des ersten Schadenabschnittes 1. wieder schließen; entsprechende makroseismische Beobachtungen pflegten bis jetzt wenig Glauben zu finden.

4. Vollendet wird die Zerstörung im Umkehrpunkt der Bewegung, also in der Maximalamplitude der Bodenverrückung, die gleichzeitig das sekundäre Maximum der Beschleunigung bedeutet.

5. Das Rückschreiten der Bodenverrückung zu ihrem Ausgangspunkt kann wegen der schnellen und starken Beschleunigungsabnahme weder Schäden hervorrufen noch vergrößern, so daß sich eingehendere Besprechung erübrigt.

## 7. Das Mauerviereck beim vollen Stoßablauf.

Grundform des Hauses ist das Mauerviereck, also gewissermaßen ein Einzimmerhaus. Nur sinngemäß lassen sich die an freistehenden Einzelmauern gewonnenen Erfahrungen auf das Mauerviereck übertragen. Denn in den Ecken werden Längs- und Quermauern durch die Verzahnung des Steinverbandes fest miteinander vereinigt derart, daß Schicht um Schicht der Verband erst der einen, dann der anderen Mauer durchgeht. Die Folge ist Koppelung von Schwingung und Verformung sämtlicher Mauern. Über Einzelheiten geben die Versuche Aufschluß.

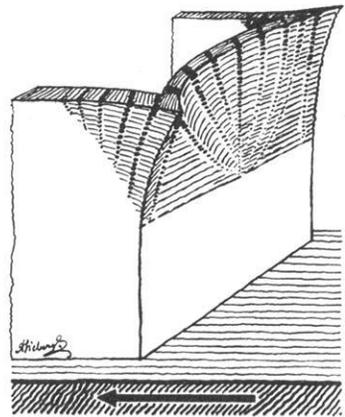
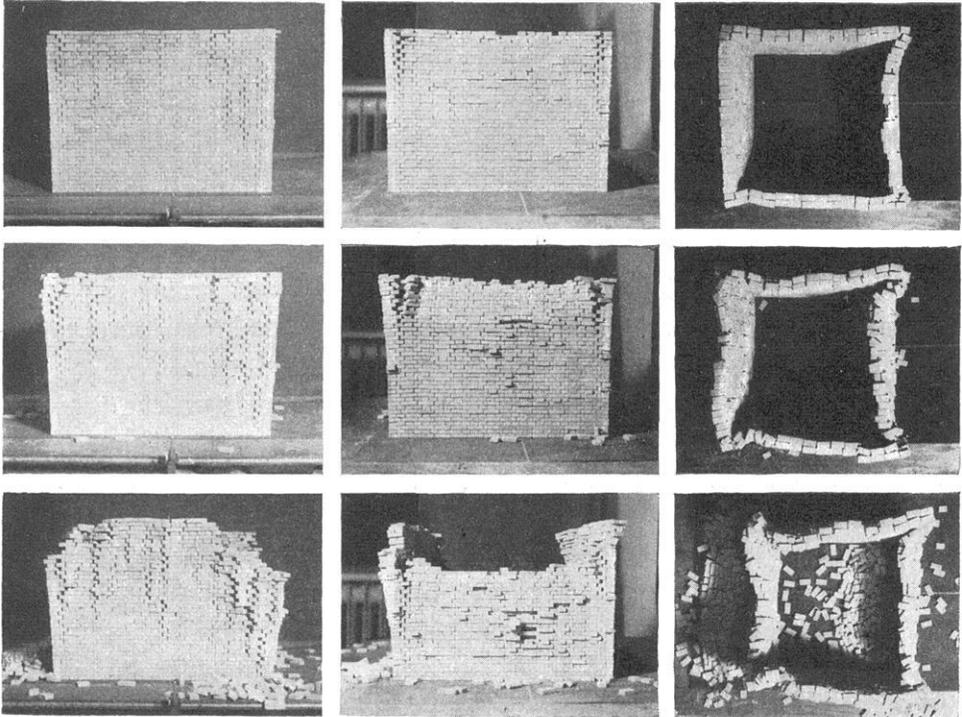


Abb. 17. Gekoppelte Verformung von Längs- und Quermauern, schematisch.

a) **Geschlossene Vollmauern** (Abb. 17) lassen den Beanspruchungs- und Verformungsplan des Mauervierecks besonders rein erkennen. Am widerstandsfähigsten sind selbstverständlich die auf Schub beanspruchten Längsmauern. Ihre Ecken zerren beim Auseinanderweichen die anschließenden Teile der Quermauern unter diagonaler Verschiebung mit. Gleichzeitig schwingen die auf Biegung in der Richtung geringsten Widerstandes beanspruchten Quermauern zwischen den



→  
Längsmauer

von hinten nach vorn  
Quermauer

→  
von oben gesehen

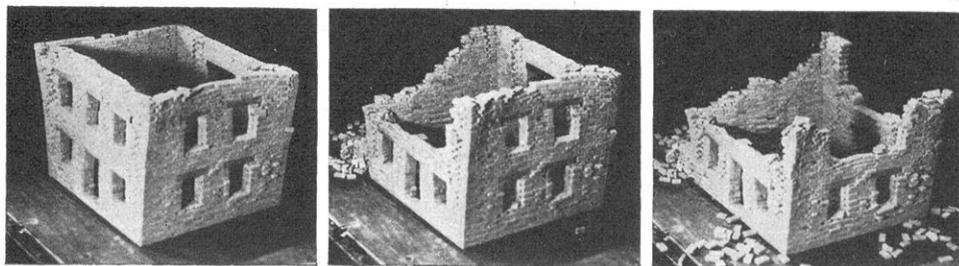
Abb. 18. Verformungen eines Vollmauervierecks durch Stoß.

stützenden Längsmauern. Dies bedeutet für Quermauern praktisch eine Verlegung des Biegungsbeginns von der Einspannstelle am Fundament in eine der Stützung entsprechenden Höhe oberhalb. Durch die Koppelung wird vor allem der Steinverband der oberen Mauerecken verdrückt und auseinandergerissen, so daß Ziegel und Ziegelgruppen hier ganz besonders große Bewegungsfreiheit erlangen (Abb. 18). Überkippen und Zusammenbruch der aus dem Lot gewichenen Mauerwerksteile vergrößern die Zerstörung.

Deckenkonstruktion oder flaches Dach als hausmäßige Vervollständigung des Mauervierecks kann trotz der Wirkung als ein-

gespannte, starre Scheibe auf die Stoßfestigkeit des Bauwerks schon aus dem Grunde keinen besonderen Einfluß gewinnen, weil die Mauern hauptsächlich nach außen ausweichen. Wohl aber begünstigt das Auseinanderweichen den Einsturz von Decken und Dächern. Diese Überlegung wird bestätigt sowohl von den Modellversuchen als auch von den Erdbebenbeobachtungen. Ganz anders liegen selbstverständlich die Verhältnisse bei hochragenden, schweren Dächern, weil deren Schwingungen sowohl tragendes Frontmauerwerk als auch Giebel gerne in Mitleidenschaft ziehen [20]. Jedoch soll hierauf nicht näher eingegangen werden.

b) **Durchbrochene Mauern.** Tür- und Fensteröffnungen schwächen zwar die gesamte Widerstandsfähigkeit des Mauerwerks recht erheblich. Aber der vorbesprochene Grundplan der Verformung bleibt im wesentlichen erhalten. Nur bevorzugten Zerreißen und



Längs-                      Quer-  
Mauer

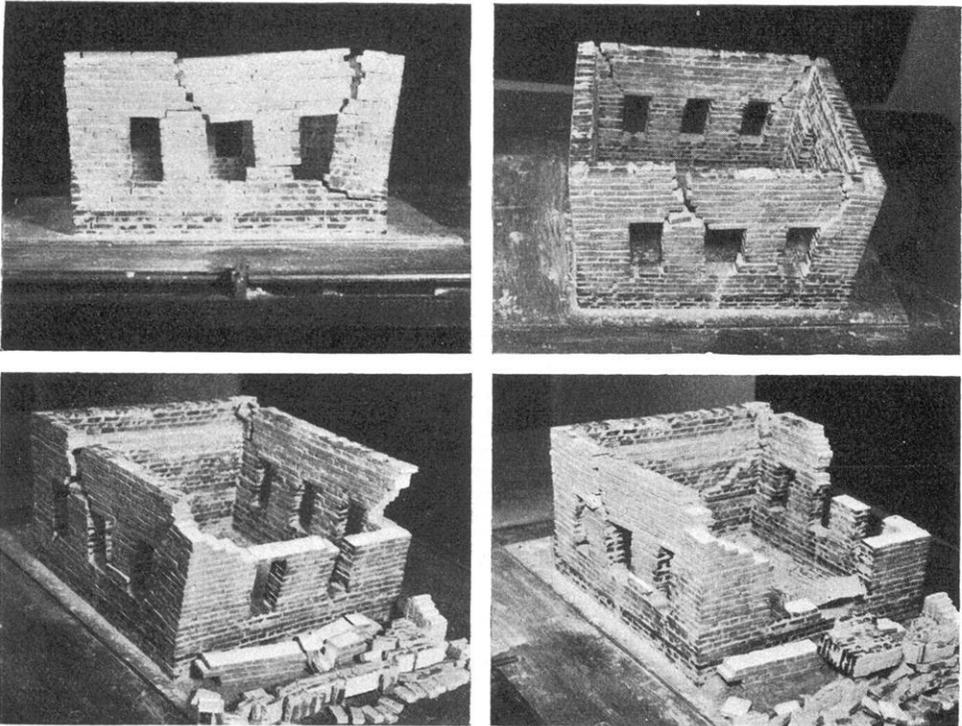
Abb. 19. Verformungen eines dachlosen Einzimmerhauses aus Trockenmauerwerk.

Verschiebungen in ganz auffälliger, aber ohne weiteres verständlicher Weise die von den Mauerdurchbrüchen besonders geschwächten Abschnitte (Abb. 19). Einzelheiten werden zum Teil durch die Beschaffenheit von Sohlbänken sowie Fenster- und Türstürzen beeinflusst. Nahe dem Dachrand sind U-förmig in die oberen Fensterecken mündende Spalten nichts Seltenes. In übertriebener Weise verdeutlichen Modellbauten in Mörtelmauerwerk (Abb. 20) den Einfluß von Mauerdurchbrüchen auf die Verformung durch Erdbebenstoß.

Wie S. 22 gezeigt wurde, ist die Zunahme der Festigkeit von oben nach unten eine typische Eigenschaft des Ziegelmauerwerks. Diese Festigkeitsverteilung wird in gleichem Sinne noch gesteigert durch die übliche Technik der Bauausführung. Denn es gilt die Regel, daß die Mauerdicken nach oben je Stockwerk um  $\frac{1}{2}$  Stein abnehmen.

c) **Stoßfesterer Ziegelverband.** Mit Recht betont die Erdbebenkunde, daß sich für Erdbebengegenden nur dann Ziegelbauten

eignen, wenn durch besonders dicke Mauern und anderen unwirtschaftlichen Materialmehraufwand [19] die Stoßfestigkeit ausreichend er-



Längs-  
Mauer  
Quer-

Abb. 20. Verformungen eines dachlosen Einzimmerhauses aus Mörtelmauerwerk.

höht wird. Als Hauptschwäche des Ziegelmauerwerks haben wir die Aufteilung in gleichlaufende, auf den Lagerfugen unabhängig voneinander

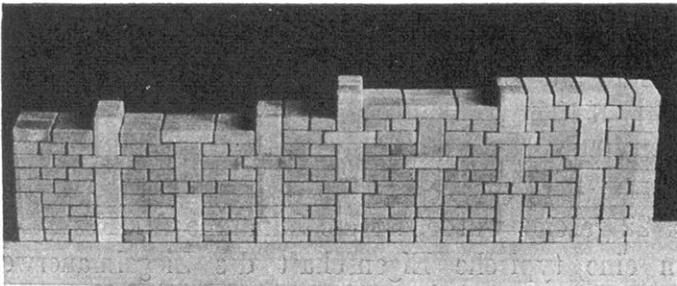


Abb. 21. Stoßfesterer Ziegelverband mit verzahnten Lagerschichten.

verschiebbare Schichten kennen gelernt. Damit ist aber auch der Weg gewiesen, um mit den gebräuchlichsten Mauerstärken ohne Vermehrung

des Materialaufwandes größere Stoßfestigkeit zu erzielen. Es bedarf lediglich eines Ziegelverbandes, der solide Verzahnung auch durch die horizontalen Schichtflächen hindurch schafft. Denn ein Abscheren der Ziegel mit einer Schubfestigkeit von beiläufig  $12 \text{ kg/cm}^2$  setzt schon recht erhebliche Stoßenergien voraus. Einen Versuch unter mehreren zur Entwicklung derartiger Verbände mit Benutzung von Ziegeln der üblichen Maße zeige ich in Abb. 21; besonders steife Verzahnungen an Ecken und Kanten sowie starkbindender Mörtel sind unerlässlich. Abgesehen von Stoßtischversuchen liegen praktische Erprobungen noch nicht vor.

### Dritter Abschnitt.

## **Erdbebenskala für Ziegelbauten.**

Die Beurteilung von Erdbebenskalen, des wichtigsten Hilfsmittels der Makroseismik, hat Kenntnis der wahren Aufgaben und Leistungsfähigkeit zur Voraussetzung. Unter Hinweis auf [19] sei bloß betont, daß die Erdbebenskalen irgendwelche Schlüsse auf die Bebenstärke im Herd weder ermöglichen können noch wollen. Vielmehr beschränkt sich ihre Aufgabe auf vergleichende Charakterisierung der jeweiligen örtlichen Wirkungen mit dem Endziel, theoretisch und praktisch verwertbare Aufschlüsse über standort- oder technikbedingte Umwandlungen [20] der Erdbebenenergie in Boden und Bauwerk zu gewinnen. Dementsprechend bemißt sich die Leistungsfähigkeit jeder Erdbebenskala nach der Fähigkeit, ausreichende Wirkungsunterschiede innerhalb zulässiger Fehlergrenzen zu liefern. In dieser Hinsicht bleibt gegenüber den Relativwerten einstweilen noch das Bestreben von untergeordneter Bedeutung, absolute Zahlenwerte zu gewinnen.

Die Aufstellung einer neuen, eigens dieser Aufgabe angepaßten Wirkungsskala hätte selbstverständlich mancherlei für sich. Aber bei der weitgehenden Verwendung, die die Mercalliskala [11, 18] gefunden hat, ist engste Anlehnung an deren Gradeinteilung vorzuziehen, um die Vergleichbarkeit mit der bisherigen Literatur nicht zu stören.

Dementsprechend sind in Tabelle II meine neueren Erfahrungen über die Wirkungen von Erdbebenstößen auf normale Ziegelwohnhäuser niedergelegt unter Beschränkung auf jene typischen Erscheinungsformen, die alle zufälligen Nebenwirkungen ohne weiteres einzureihen gestatten. Zur Verdeutlichung der charakteristischen Unterschiede mögen die beigegebenen schematischen Darstellungen dienen, denen meine experimentellen Versuche und Geländebeobachtungen zugrunde liegen.

Tabelle II.

## **Wirkungsgrade von Erdbebenstößen auf normale Ziegelhäuser.**

Leitsätze: Die Wirkungen des Erdbebenstoßes sind am stärksten im obersten Gebäudeabschnitt und gehen von obersten Ecken aus. Mit wachsender Stoßstärke rücken die Wirkungen gegen das Erdgeschoß vor.

Jeder Grad bringt außer den für ihn charakteristischen Normalschäden eine Erhöhung des Prozentsatzes von Häusern mit Schäden niedereren Grades. Vereinzelt treten aber infolge von Zufälligkeiten der Bauweise oder des Baugrundes auch schon Schäden auf, die für den nächsthöheren Grad typisch sind.

**1. Grad: Unmerkliche Erschütterung. (Beschleunigung  $b < 0,25$  cm/sec<sup>2</sup>, Amplitude  $A < 0,06$  mm bei Periode von 1 sec.)**

Für den Menschen nicht fühlbar, bloß durch Erdbebeninstrumente nachweisbar.

**2. Grad: Sehr leichte Erschütterung. ( $b = 0,25$  bis  $0,5$  cm/sec<sup>2</sup>,  $A = 0,06$  bis  $0,13$  mm.)**

Hebt sich eben über den Störspiegel der allgemeinen Bodenunruhe heraus. Beginn der Fühlbarkeit in den oberen Stockwerken der Häuser für vereinzelt, aufmerksame Menschen.

**3. Grad: Schwache Erschütterung. ( $b = 0,5$  bis  $1$  cm/sec<sup>2</sup>,  $A = 0,13$  bis  $0,25$  mm.)**

Auch in Erdgeschoss der Häuser, aber nicht im Freien gefühlt.

**4. Grad: Mäßige Erschütterung. ( $b = 1$  bis  $2,5$  cm/sec<sup>2</sup>,  $A = 0,3$  bis  $0,6$  mm.)**

Wackelschwingungen wenig standfester Geräte, elastisches Nachgeben von Baukonstruktionen an den schwächsten Stellen: Geschirre und Fenster klirren, Türen und Gebälk krachen, vereinzelt erwachen Schlafende. Auch im Freien gefühlt.

**5. Grad: Kräftige Erschütterung. ( $b = 2,5$  bis  $5$  cm/sec<sup>2</sup>,  $A = 0,6$  bis  $1,3$  mm.)**

Größere Schwerpunktsverlagerungen verursachen das Pendeln freihängender Gegenstände, Umfallen von Geschirren, Überschwappen von Flüssigkeiten u. dgl. Vereinzelt Zerspringen von Fensterscheiben und Flucht ins Freie.

**6. Grad: Sehr kräftige Erschütterung. ( $b = 5$  bis  $10$  cm/sec<sup>2</sup>,  $A = 1,3$  bis  $2,5$  mm.)**

Kräftige Schwerpunktsverlagerungen ausreichend für das Herunterfallen von Büchern, Bildern u. dgl. sowie Verrücken oder Umstoßen von Kleinföbeln. Bisweilen verursacht das Fallen locker sitzender Dachpfannen oder loser Ziegel schadhafter Schornsteine schon leichte Dachschäden. Die Spannungen sind noch ungefährlich für das Mauerwerk, werden aber an vereinzelt Häusern bereits sichtbar durch Springen und Abblättern von Wand- und Deckenverputz, bisweilen auch des äußeren Mauerbewurfs; besonders dort, wo durch Material- oder Konstruktionsunterschiede Spannungscharakter und Haftfähigkeit stark wechseln.

### 7. Grad: Leichter Gebäudeschaden.

( $b = 10$  bis  $25 \text{ cm/sec}^2$ ,  $A = 2,5$  bis  $6,3 \text{ mm.}$ )

Hoher Prozentsatz der Häuser mit Verdrehen von Kaminansätzen, Abfallen von Kaminziegeln, Dachpfannen und Stuckverzierungen sowie Verputzschäden im Inneren. An mehr als einem Viertel der Häuser beginnende Lockerung des Mauergefüges durch Risse im Mörtel von Stoß- und Lagerfugen; ausgehend von oberen Ecken und übergreifend auf dachnahe Kanten. Weiter unten pflegen selbst auffällige Sprünge und Abblättern von Mauerbewurf bloß unschädliche Spannungen, aber nicht Mauerrisse zur Ursache zu haben.



### 8. Grad: Kräftiger Gebäudeschaden.

( $b = 25$  bis  $50 \text{ cm/sec}^2$ ,  $A = 6$  bis  $13 \text{ mm.}$ )

Bei fast einem Viertel aller Gebäude im Obergeschoß Erweiterung der Mörtelrisse zu treppenartig in den Fugen verlaufenden, offen klaffenden Mauer-spalten. Letztere weiter nach unten reichend, wenn Gebäudeteile verschiedener Eigenschwingungsperiode sowie nachträglich oder mit anderem Material oder in abweichender Konstruktion errichtete Mauerwerksteile losreißen. Durch stoßende und scherende Eigenschwingungen des Dachstuhls Herausbrechen von Giebelteilen, weitgehende Zerstörung von Schornsteinen mit entsprechenden Dachschäden sowie Losreißen von Dachpfannen.



### 9. Grad: Zerstörung. ( $b = 50$ bis $100 \text{ cm/sec}^2$ , $A = 13$ bis $25 \text{ mm.}$ )

Weitgehende Zerspaltung des Mauerwerks mit Zerstörung namentlich von Ecken des Obergeschosses und Dachstuhl bei fast der Hälfte aller Gebäude.



### 10. Grad: Einsturz. ( $b = 100$ bis $250 \text{ cm/sec}^2$ , $b = 25$ bis $63 \text{ mm.}$ )

In oberen Stockwerken Zusammenbruch von Außen- und Innenmauern, Zerspaltungen auch im Erdgeschoß bei mindestens der Hälfte, schwere Mauer- und Dachschäden bei mindestens drei Vierteln aller Gebäude.



### 11. Grad: Verwüstung. ( $b = 250$ bis $500 \text{ cm/sec}^2$ , $A = 63$ bis $125 \text{ mm.}$ )

Weitgehende Zusammenbrüche der Obergeschosse samt Dach, mit Einstürzen auch im Erdgeschoß bei fast sämtlichen Gebäuden.



### 12. Grad: Vernichtung. ( $b > 500 \text{ cm/sec}^2$ , $A > 125 \text{ mm.}$ )

Vollständiger Zusammenbruch bis herunter zu den Fundamenten sehr zahlreich. Bei fast allen übrigen Gebäuden schwerste Zusammenbrüche.



Ausschlaggebend für die Bestimmung des Wirkungsgrades sind die Normalschäden [20] an gewöhnlichen Wohnhäusern. Zufallsschäden [20] müssen für die Bewertung ausscheiden; ihr Nichterkennen kann schwerwiegende Irrtümer bedingen. Mit Vorsicht zu beurteilen sind

auch die Wirkungen auf große öffentliche Gebäude, namentlich auf solche mit hohen schweren Dächern, wegen der Annäherung an den Charakter von Zufallsschäden. Somit wird es ohne weiteres verständlich, daß für die Bearbeitung zerstörender Erdbeben auf sorgfältige Geländeuntersuchungen nicht verzichtet werden kann, zumal sich auch die Untergrundsverhältnisse [20] folgenschwer auswirken.

Daß die gerne verwendeten Cancanizahlen [5, 18] nur als Notbehelf bewertet werden dürfen, ist bekannt. Da Zuverlässigeres fehlt, behalte ich sie einstweilen noch bei unter Hinzufügung der Amplituden, die einer Periode von 1 Sekunde entsprechen.

Jena, im Frühjahr 1936.

#### Literatur.

1. ARNOLD, H., Die Erdbewegung während des ersten Vorläufers eines Erdbebens. Beiträge zur Geophysik, X, Leipzig 1910.
2. BRISKE, R., Die Erdbebensicherheit von Bauwerken. Dissertation Berlin, 1927.
3. — Der Einfluß des Baugrundes auf die Erderschütterungen. Beton und Eisen, XXXII, Berlin 1933.
4. BRÖTZ, O., Erschütterungen in Gebäudeteilen mit Backsteinmauerwerk (Mauerwerks Pfeiler). Dissertation Hannover, 1933.
5. CANGANI, A., Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue. Verhandl. d. II. Internat. Seismolog. Konferenz 1903 zu Straßburg. Leipzig 1904.
6. FREEMAN, J. R., Earthquake damage and earthquake insurance. New York und London 1932.
7. HECK, N. H., Earthquake investigations in California 1934—1935. U. S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Spec. Publ. Nr. 201, Washington 1936.
8. JAKOBSEN, L. S., Vibration research at Stanford University. Bulletin of the Seismological Society of America, 19, 1929.
9. KOCH, H. W., Das Aufschaukeln im Resonanzfalle infolge des Einschwingvorganges. Ingenieur-Archiv, VI, 1935.
10. MARTIN, H., Einschwingvorgänge und ihre Bedeutung bei der Aufzeichnung von stoßähnlichen Erschütterungen. Diese Veröffentlichungen, Heft 26, Leipzig 1935.
11. MERCALLI, G., Sulle modificazioni proposte alla scala sismica da Rossi-Forel. Bollettino della Società sismologica italiana, VIII, 1902/03.
12. MILNE, J., The earthquake in Japan of february 22nd. 1880. Transact. of Seismological Society of Japan, I, 1880.
13. — Construction in earthquake countries. Ebenda, XIV, 1890.
14. RAMSPECK, A., Versuche über Boden- und Gebäudeschwingungen. Zeitschr. f. Geophysik, IX, 1933.
15. — Boden- und Gebäudeschwingungen in Rastatt nach dem Erdbeben vom 8. Februar 1933. Ebenda, IX, 1933.
16. — Gebäudeschwingungen durch Erdbeben und Verkehr. Aus der Ingenieur-forschung, 78, Berlin 1934.

17. SHARPE, J. A., Motion of the surface of the earth in the compressional phase of a deep-focus earthquake, and the effects of a layered crust. Bulletin of the Seismological Society of America, 25, 1935.
  18. SIEBERG, A., Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke. Ein Beitrag zur seismologischen Praxis. Gerlands Beiträge zur Geophysik, XI, 1912.
  19. — Erdbebenforschung und ihre Verwertung für Technik, Bergbau und Geologie. Jena 1933.
  20. — Gebäudeschäden und ihre geologische Bedingtheit beim Oberschwäbischen Erdbeben vom 27. Juni 1935. Diese Veröffentlichungen, Heft 29, Berlin 1936.
  21. SPONHEUER, W., Gebäudeschwingungen beim Erdbebenstoß. Vortrag gehalten auf der 12. Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft zu Berlin 1936.
  22. WANNER, E., Über die Vertikalbeanspruchung von Bauwerken bei Erdbeben. Schweizerische Bauzeitung, 98, 1931.
-



**Gebäudeschäden  
und ihre geologische Bedingtheit  
beim Oberschwäbischen Erdbeben  
vom 27. Juni 1935**

Von

**A. Sieberg**

Hierzu die farbige Karte

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung . . . . .	39
Erster Abschnitt.	
<b>Arten der beobachteten Gebäudeschäden . . . . .</b>	
1. Normalschäden . . . . .	41
a) Dachaufsätze; b) Schornsteine; c) Dachpfannen; d) Risse im Verputz; e) Offen klaffende Mauerspaltcn; f) Herausstoßen von Giebeln.	
2. Zufallsschäden . . . . .	47
a) Die Zerstörung der Kirche von Kappel; b) Die schweren Zerreißen an Schloß und Kirche zu Scheer a. d. Donau; c) Die auffallende Häufung von Schäden in der Wuhrstraße von Buchau am Federsee.	
Zweiter Abschnitt.	
<b>Untergrundsabhängigkeit der Gebäudeschäden . . . . .</b>	
3. Arbeitsmethode . . . . .	56
a) Isoblancn; b) Karten der spezifischen Schadenverteilung.	
4. Grundsätzliches über die Verschiedenheit baugrundbedingter Erdbcncschäden . . . . .	58
a) Schwingungsschäden; b) Setzungsschäden; c) Rutschungsschäden.	
5. Allgemeiner Überblick über das Schadengebiet . . . . .	60
6. Schädlicher Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit . . . . .	64
a) Feste Felsmassen; b) Moränen; c) Schotter; d) Molasse; e) Flußaufschüttungen; f) Torf- und Moorböden; g) Zusammenfassendes und Theoretisches.	
7. Schädlicher Einfluß von Verwerfungen . . . . .	73
Dritter Abschnitt.	
<b>Zur Entstehung des Erdbcncs . . . . .</b>	
Literaturverzeichnis . . . . .	77

## Einleitung.

Die vorliegende Untersuchung ist das Ergebnis engster Zusammenarbeit der Reichsanstalt für Erdbebenforschung mit dem Württembergischen Erdbebendienst in Stuttgart und dient einem zweifachen Zweck.

Zunächst soll sie jene Untersuchungen über Gebäudeschäden durch Erdbeben ergänzen, die sich allein auf die Berücksichtigung von Material- und Verbandsfestigkeit der Bauwerke beschränken; vgl. u. a. [22]. Vor allem wendet sie sich mit überzeugenden Beispielen gegen die bisher übliche, für Theorie und Praxis durchaus unzulängliche Berücksichtigung der Baugrundseinflüsse auf Erdbebenschäden und damit nebenbei auch auf Bergschäden und auf die nicht weniger bedeutungsvolle Weiterleitung von Verkehrs- und Industrieerschütterungen. Manche Einzelheiten dieser bodenmechanischen Einwirkungen auf Gebäude sind dem Makroseismiker schon seit einem Jahrhundert vertraut, vgl. etwa [2, 14, 18], weil der natürliche Großversuch der Erdbeben ebenso auffälliges wie überzeugendes Tatsachenmaterial in Fülle lieferte. Einzelne Erkenntnisse decken sich mit solchen der statischen Baugrundlehre. Trotzdem scheint die erst seit wenigen Jahren begonnene experimentelle Nachprüfung mit künstlich erregten Bodenerschütterungen für die Anerkennung des alterprobten Wissensgutes als unerläßliche Vorbedingung betrachtet zu werden.

Außerdem soll hier mit einer objektiven Klärung der in Deutschland auftretenden Erdbebenschäden endlich Anfang gemacht werden. Denn diese Frage hat bis jetzt noch keine sachgemäße Bearbeitung erfahren, obwohl auch in Deutschland nicht wenige Erdbeben das Wirtschaftsleben merklich beeinflußten [17]. Zweifellos würden sich manche der früheren Schadenbeben Deutschlands sogar wirtschaftlich erheblich folgenschwerer ausgewirkt haben, wenn ihr Schadengebiet im heutigen Umfange mit Industrieanlagen besetzt gewesen wäre. Deshalb darf wenigstens von jetzt ab keine Gelegenheit mehr versäumt werden, um durch Studien an Ort und Stelle im Verein mit zweckdienlichen statistischen Erhebungen einen brauchbaren Einblick in diese Verhältnisse zu gewinnen. Im Hinblick auf theoretische

Erkenntnisse und deren etwaige Nutzbarmachung für das Gemeinwohl erscheint dies besonders deshalb notwendig, weil der deutsche Lebensraum in seinen wechsellvollen Landschaften weitgehende natürliche und kulturelle Verschiedenheiten aufweist, die die örtliche Erdbeben-tätigkeit und deren Wirkungen maßgeblich beeinflussen müssen.

Die allgemeine Bearbeitung [4] des Oberschwäbischen Erdbebens vom 27. Juni 1935 durch den Leiter des Württembergischen Erdbeben-dienstes, Herrn Regierungsrat Dr. HILLER, liegt bereits vor, so daß sie hier als bekannt vorausgesetzt wird. Die Ortsbesichtigungen führten die Leiter des Württembergischen Erdbebedienstes und der Reichs-anstalt für Erdbebenforschung zum Teil gemeinsam durch. Verglichen mit anderen deutschen Schadenbeben war, wie HILLER nachweist, das hier behandelte zwar nicht besonders kräftig. Trotzdem ergaben sich mancherlei Gesichtspunkte [21], die noch nicht genügende Würdigung erfahren hatten, weil sie bisher nicht so scharf hervorgetreten waren. Denn gerade die mäßigen Gebäudeschäden gewähren besonders lehr-reiche Einblicke in die Anfangsstadien des Zerstörungsvorganges, deren wissenschaftlichen Einzelheiten sich im Trümmerfeld schwerer Erdbeben der Beobachtung entziehen. Leider waren schon am 4. Juli bei Beginn der Ortsbesichtigungen die Aufräumungs- und Wiederherstellungs-arbeiten zum Teil weiter gediehen, als es vom erdbebenkundlichen Stand-punkt aus als wünschenswert erschien.

Die eigenen photographischen Aufnahmen aus dem Schadengebiet decken sich meistens mit den von HILLER gemachten und veröffent-lichten. Deshalb beschränke ich mich in der Hauptsache auf die Wieder-gabe von einigen Skizzen, die zum Teil an Ort und Stelle entstanden und manche Einzelheiten festhalten, die in Photographien nicht genügend zum Ausdruck kommen.

### Erster Abschnitt.

#### **Arten der beobachteten Gebäudeschäden.**

Mit Reichweiten von reichlich 500 km makroseismisch und minde-stens 3000 km mikroseismisch besaß das Oberschwäbische Erdbeben vom 27. Juni 1935 Mittelbebencharakter. Den Gesamtschaden an Gebäuden berechnet HILLER nach den amtlichen Unterlagen auf etwa 700000 bis 800000 RM.

Für das von mir untersuchte Hauptschadengebiet in Ober-schwaben mit rund 23000 Häusern in 130 Gemeinden sind mir Schäden im Gesamtbetrag von 628525 RM. bekannt geworden. Hiervon ent-fallen 523395 RM. auf Normalschäden an rund 6600, d. i. 29 % der

Wohnhäuser und ihrer Nebengebäude, weitere 105130 RM. auf darüber hinausgehende Sonderschäden, vor allem an öffentlichen Gebäuden unter Einschluß der Zufallsschäden. Den weitaus größten Anteil daran haben die Oberämter Saulgau und Riedlingen. Ueber Einzelheiten geben Tabelle I und II Auskunft.

Tabelle I.

Gesamtübersicht über die Gebäudeschäden in Oberschwaben.

Abgleiten von Dachpfannen, ohne Kaminschäden	an 1920 Häusern
Kaminschäden . . . . .	„ 4285 „
Rauchkammerschäden . . . . .	„ 466 „
Verputzschäden innen und außen sowie an Zimmerdecken . . . . .	„ 6567 „
Klaffende Spalten an Außenmauern . . . . .	„ 604 „
Giebelschäden . . . . .	„ 221 „
mäßig beschädigte Kirchen . . . . .	mindestens 8
schwer beschädigte Kirchen . . . . .	6
schwer beschädigte Schlösser . . . . .	3

Verletzt durch herabfallende Dachplatten, Kaminsteine, Deckenbewurf u. dgl. wurden 11 Personen, zum Teil schwer mit Schädelbrüchen, und zwar in Blochingen 1, Braunenweiler 1, Herbertigen 2, Ölkofen 3, Saulgau 2, Kanzach 1 und Oggelshausen 1 Person. Nicht mitgezählt wurden insgesamt 3 Personen in Buchau, Binzwangen und Saulgau, die bei der Flucht durchs Fenster oder beim Herabspringen von Wagen zu Schaden kamen.

Die nachstehende Untersuchung beschränkt sich, wie gesagt, auf die von mir bereiste engere Umgebung des Epizentrums etwa zwischen Biberach und Sigmaringen, also auf das geschlossene Hauptschadengebiet in der Oberschwäbischen Niederung bis zum Südrand der Albtafel. Im allgemeinen wurde auch hier  $7\frac{1}{2}$  Grad der Wirkungsskala MERCALLI-SIEBERG kaum überschritten. Trotzdem ergaben sich vereinzelt Schadenbilder, die über diesen Rahmen wesentlich hinausgingen. Ohne ihre Untersuchung an Ort und Stelle hätten sie eine übertriebene Vorstellung von der Wirksamkeit des Erdbebens hervorrufen müssen. So aber boten sie einen bedeutungsvollen Einblick in das Wirken von Zufällen und zwingen mich, auch im Hinblick auf frühere Vorkommnisse, von jetzt ab streng zwischen Normalschäden und Zufallsschäden zu unterscheiden.

### 1. Normalschäden.

Als Normalschäden haben diejenigen zu gelten, die die Wirkungen der Erdbebenschwingungen unter normalen Verhältnissen von Baugrund und Gebäuden unverfälscht zum Ausdruck bringen. Sie allein

dürfen die Unterlagen für Isoseistenkarten bilden, wenn diese ihre Aufgabe erfüllen sollen, einen verlässlichen Einblick in die natürlichen, gesetzmäßigen Zusammenhänge zu ermöglichen.

Im vorliegenden Falle läßt sich zusammenfassend über die beobachteten Normalschäden sagen:

Hinsichtlich der unter a) bis d) genannten Gebäudeschäden unterscheiden sich die einzelnen Ortschaften lediglich durch den Prozentsatz der so betroffenen Gebäude. Wo der Prozentsatz hoch ist, pflegen sich auch Schäden nach e) in zunehmendem Maße einzustellen, während solche nach f) nur vereinzelt bleiben.

a) **Dachaufsätze**, vor allem metallene, wie Windfahnen, Blitzableiter, Turmkreuze u. dgl. wurden an vielen Orten entgegen der Stoßrichtung abgelenkt (Abb. 1). Derartige Verbiegung auf Türmen zeigte sich auch noch außerhalb des Schadengebietes, wohingegen sie auf Hausdächern anscheinend bloß innerhalb des Schadengebietes erfolgte. Ich habe den Eindruck gewonnen, das Zustandekommen von Abbiegungen habe sehr steife Dachstühle zur Voraussetzung.

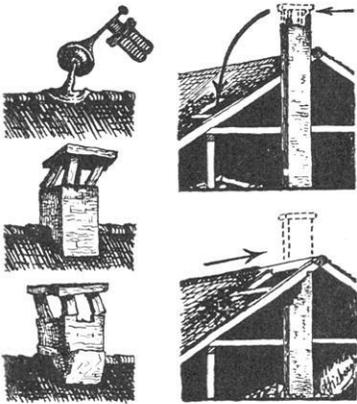


Abb. 1.

Dach- und Schornsteinschäden.

In Bischmannshausen hatte sich der sehr schlanke Dachreiter auf dem Eingangsgiebel der Kapelle deutlich nach hinten geneigt; aber die Kapelle selbst war außen und innen unversehrt geblieben. Ähnliches wird auch aus Moosheim berichtet.

b) **Schornsteine** der Häuser wurden in weitestem Umfange in Mitleidenschaft gezogen. Charakteristisch für die dortige Gegend sind Deckplatten, die auf vier Steinfüßen ruhen (Abb. 1). Die Wackelschwingungen der in den Mörtelfugen gelockerten Fußprismen im Verein mit ungleichmäßigen Reibungswiderständen erteilen oftmals den Deckplatten ein Drehmoment, wenn es nicht zum Herunterfallen kommt. Die Erklärung durch vermeintliche rotatorische Erdbebenbewegung ist überflüssig. Mitunter wurde auch die Deckplatte durch den Horizontalstoß in verhältnismäßig weitem Bogen herabgeschleudert, so daß sie das Dach erst in einigem Abstand vom Schornstein durchschlug. Entgegen weitverbreiteter Annahme bedarf es hierfür keiner Vertikalstöße. Zerstörung des eigentlichen Schornsteinmauerwerks beruhte, wenn nicht schon vorher größere Schäden oder gar Baufälligkeit bestanden

hatten, meistens deutlich sichtbar auf Abscherung durch die Sparren von Dächern mit ungenügend versteiftem Gerüst. Hierdurch wurden auch Rauchkammern zum Einsturz gebracht.

Sichtbare Beweise für das Arbeiten von Dachgerüsten beim Erdbeben waren Abscheren von Dübeln und Herausreißen von Verzahnungen sowie dadurch bedingtes Herabfallen und sogar das Spleißen von Gebälk.

Beschädigung von Fabrikkaminen und der ihnen form- und beanspruchungsgemäß verwandten Leitungsmaste scheint in nennenswertem Maße nicht vorgekommen zu sein. Dem Erdbebenstoß gaben sie durch elastische Verbiegung nach, und für ein Aufschaukeln zu gefährlichen Amplituden im Resonanzfall reichte die Stoßzeit auch nicht im entferntesten aus. Das gleiche gilt für den Funkturm in Mühlacker, eine 190 m hohe Holzkonstruktion.

c) **Dachfannen** bedeckten manchenorts weithin die Straßen. Für Riedlingen gab dies zu sehr übertriebenen Zeitungsberichten über die Erdbebenwirkung Anlaß, obwohl bloß die in der Donauniederung gelegene Bahnhofsstraße vereinzelt von harmlosen Dach- und Kamin-schäden betroffen worden war. Abgesehen von der Zertrümmerung durch niederbrechende Schornsteine beruht die das Abgleiten ermöglichende Loslösung in der Hauptsache auf Scherbewegungen bei der rhombischen Verformung ungenügend versteifter Dachstühle. Dies gilt vor allem von Häusern, deren Dachfirst mit der Stoßrichtung nahe genug zusammenfällt. Dann wirkt die Firstpfette als schwingende Pendelmasse, die von den Sparren mit Drehpunkt in der Fußpfette getragen wird. Ein anschauliches Beispiel hierfür bietet das besonders hohe Dach des Kirchturms in Marbach (Abb. 4). Treffen jedoch genügend starke Horizontalstöße quer aufs Dach, dann werden auf der abgekehrten Seite die Dachziegel in der Stoßrichtung fortgeschleudert. Es hat sich aber keine Beobachtung ergeben zur Stützung der oft zu hörenden Behauptung, Dachziegel müßten durch Vertikalstöße von ihrer Unterlage abgehoben werden.

d) **Risse im Verputz** von Außen- und Innenwänden sowie von Zimmerdecken, ferner Abbröckeln von gelockertem Verputz gehören mit zu den verbreitetsten Bebenwirkungen. An sich bieten die Verputzrisse wenig Grund zu Beunruhigung. Denn sie entstehen schon bei elastischer Verformung unter Spannungsänderungen, die also die Festigkeit weder der Wände noch der Decke-Fußbodenkonstruktion, sondern lediglich diejenige des spröden Verputzüberzuges überschreitet. Infolgedessen bedeuten sie bleibende Abbildungen von schnell vorübergegangenen Spannungen, entsprechend den heutigen Spannungsprüfungs-

verfahren beanspruchter Werkstücke mittels spröder Lacküberzüge. Bei Erdbeben stellen sich derartige Verputzsprünge vor allem überall dort ein, wo durch Material- oder Konstruktionsunterschiede, z. B. in Fachmauerwerk oder Decken, Spannungscharakter und Haftfähigkeit auf engem Raume ausreichende Änderungen erleiden.

Gefährlich ist bloß das Herunterfallen größerer Platten des Decken- oder seltener Wandverputzes. Beim vorliegenden Beben sind verschiedentlich mehrere Quadratmeter große Deckenstücke auf Betten gefallen, die glücklicherweise leer waren.

e) **Offen klaffende Mauerspalt**en (Abb. 2) bilden als bleibende Verformungen das Anfangsstadium der eigentlichen Zerstörung; denn sie lockern den Zusammenhalt des Mauerwerks und bieten damit die Möglichkeit zu Wackelschwingungen, die zu Zusammenbrüchen und ähnlichen zusätzlichen Schäden führen können. Durchgehende Spalten

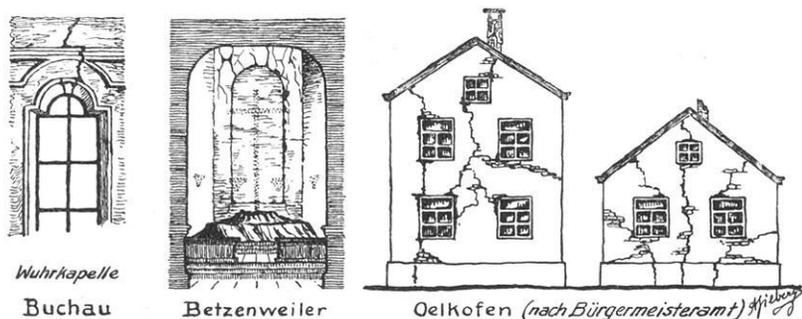


Abb. 2. Offen klaffende Mauerspalt

als Schwingungsschäden zeigten sich erwartungsgemäß zuerst hoch oben an Kirchtürmen (Abb. 3, 4), in den Obergeschossen hoher Gebäude sowie besonders zahlreich im Wölbscheitel überschlanker Kirchenfenster. Am Rande der Schadenzone zu Bittelschies bestanden überhaupt die einzigen Gebäudeschäden in der Ortschaft aus Zerspaltungen sämtlicher Wölbscheitel der Kirchenfenster. An der Kapelle von Völlkofen (Abb. 4) bildet die breite Spalte von der Eingangstür bis zur Fensterrose die kürzeste Verbindung zwischen zwei Wölbscheiteln. Spaltensysteme der Art, wie sie aus Ölkofen (Abb. 2) abgebildet sind, geben das Zusammenwirken von Schwingungs- und Setzungsschäden deutlich zu erkennen. Klaffende Spalten trennten auch Gebäudeteile verschiedener Eigenschwingungsperiode sowie nachträglich oder mit anderem Material oder in abweichender Konstruktion durchgeführte Mauerwerksarbeiten voneinander. Auf verschiedenen Schwingungsperioden und den entsprechend verformenden Schüben abweichender Größe

und Phase beruhte beispielsweise ganz augenscheinlich das Abreißen des Turmes und der Anbauten vom Schiff der Kirche in Herbertingen (Abb. 3), die noch eingehender behandelt wird. Der schädliche Einfluß fehlenden Verbandes zwischen altem und neuem Mauerwerk trat sehr auffällig an manchen Kirchen, z. B. von Betzenweiler (Abb. 2) und von Herbertingen in die Erscheinung, wo im Chor hinter dem Hochaltar ein Fenster zugemauert worden war; die Erdbebenstöße rüttelten das Füllmauerwerk los, so daß die alte Umrahmung des Fensters durch offene Spalten wieder klar zum Vorschein kam. Für die Theorie der Mauerwerkszerstörung sei auf meine experimentellen Untersuchungen [22] verwiesen.

Der Höhepunkt der Normalschäden dürfte wohl in Herbertingen erreicht worden sein. Fast kein Haus ist von kräftigen Schäden verschont geblieben. Die Kirche hat, abgesehen von zahlreichen, aber harmlosen Verputzschäden, durch Zerspaltung des Mauerwerks und Losreißen von Anbauten so stark gelitten (Abb. 3), daß sie im Herbst 1935 bis auf den Turm niedergelegt

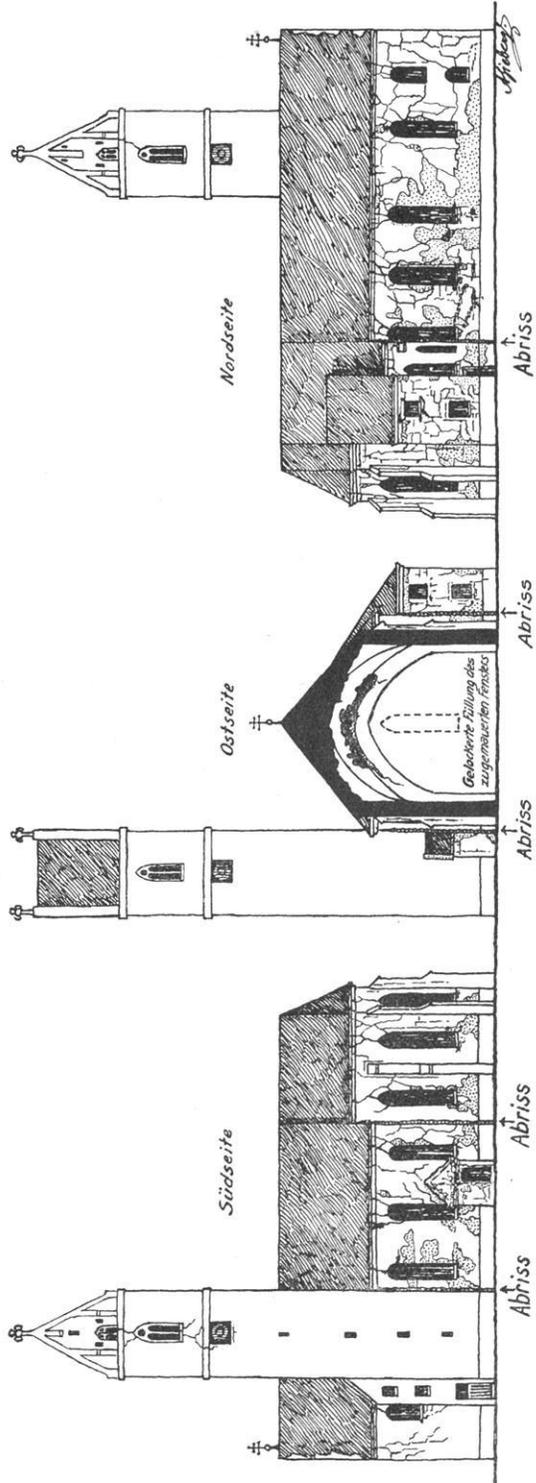


Abb. 3. Beschädigungen der Kirche von Herbertingen.

wurde, um einem größeren Neubau Platz zu machen. Der Turm warf Dachziegel ab und klappte durch die Glockenstube hindurch in kräftigen Rissen auf. Er sowohl wie der Nebeneingang an der Südwand, der schwer zerrissen wurde, lösten sich durch klaffende Spalten von der Kirchenmauer. Auf der gleichfalls stark zerspaltenen Nordseite kam es zur Losreißung der Sakristei. Eine der hierfür verantwortlichen Mauerspalten schnitt auch den Chor quer ab, dessen Eingangsbogen sich von der Decke losriß und um einige Zentimeter senkte, wodurch mehrere Quadratmeter der Decke zu Boden fielen. Die Rippen der Tonnengewölbe im Chor wurden durch Herausbrechen von Steinen beschädigt. Von einzelnen auf Mauerkonsolen stehenden Heiligenfiguren brachen Hände, Embleme und andere Teile ab; der Hl. Rochus an der Südseite soll sich mit dem Gesicht der Wand zugedreht und gegen diese gelehnt haben. Höchst auffällig war das Verhalten der Stationsbilder. An der Nordwand haben sie sich gegen Westen gehoben, an der Südwand aber im entgegengesetzten Sinne gedreht, also gegen Westen gesenkt. Bloß die drei westlichsten Bilder an der Südwand, die am Turm selbst jenseits des Abrisses hingen, behielten die senkrechte Lage bei. Somit müssen aus einem noch ungeklärten Grunde, der allerdings zweifellos in irgendwelchen Beziehungen zum Turm steht, die beiden Langseiten des Schiffes in entgegengesetzter Richtung den Stoßimpuls empfangen haben. Hinter dem Hochaltar wurde, wie bereits erwähnt, die Füllung eines vermauerten Chorfensters vom Rahmen losgelöst, verblieb aber an ihrer Stelle. Zusammenfassend ergab sich das Bild, daß sich das weitgehend gespaltete Kirchenschiff mit seinen Anbauten vom Turm gelöst hat, der im unteren Teil so gut wie unversehrt geblieben ist.

f) **Herausstoßen von Giebeln** (Abb. 4) an Häusern und Kirchtürmen durch Schwingungen der Dachstühle scheint zwar der Zahl nach keinen größeren Umfang angenommen zu haben, lieferte aber eine Reihe von Beispielen, die wegen ihrer praktischen Bedeutung zu denken geben.

An einer Scheune in Herbertingen beispielsweise hatte das horizontale Stoßen des schweren Daches zur Folge, daß der mittlere Abschnitt der Giebelmauer eine ins Freie gerichtete Ausbauchung erlitt. Zu einem Zusammenbruch des Mauerwerks in dieser Beule reichte die Beanspruchung nicht aus. Nur auf der linken Seite, wo Toreinfahrt und Tür eine besonders schwache Stelle bilden, kam es zu Zerrüttungen und einer Schar von Rissen, die fast bis zum Erdboden und längs des Dachrandes bis zum First reicht. Entsprechendes beobachtete ich auch an einigen freistehenden Häusern der Wuhrrstraße in Buchau.

An der Kapelle in Völlkofen brach der bereits schadhafte, von einem Dachreiter mit Glocke gekrönte Vorgiebel in der Höhe der Dachbalkenlage vollständig ab, ohne herunterzufallen. Der Giebel mußte durch Pfeiler verstärkt und am Dachgebälk verankert werden.

Als besonders gefährdet erwiesen sich die in Oberschwaben häufig anzutreffenden Satteldächer der Kirchtürme dann, wenn der Erdstoß in der Richtung des Firstes verläuft. Denn in diesem Falle kommt es leicht dazu, daß die breiten Bohlen sparren der Dachstuhlenden wie Rammböcke eine oder beide Giebelmauern herausstoßen; zumal wenn die Giebel nicht verankert sind. In dieser Hinsicht am stärksten ge-

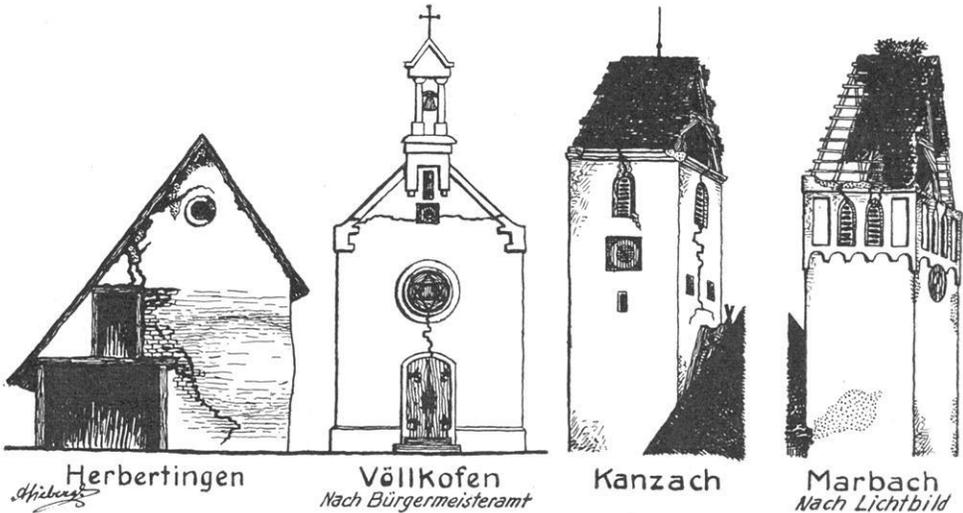


Abb. 4. Herausstoßen von Giebeln.

litten hat der Kirchturm in Marbach, woran die Höhe des Turmdaches sicherlich maßgeblich mitbeteiligt war. Glücklicherweise stürzten die Trümmer ins Freie, so daß die beträchtlichen Beschädigungen der Kirche selbst hiermit nichts zu tun haben. Am Schiff ist der Westgiebel um einige Zentimeter aus dem Lot gewichen; auch wurden Decke und Gebälk erheblich in Mitleidenschaft gezogen. Weitere bezeichnende Beispiele lernte ich in Kanzach und in Kappel (Abb. 5) kennen. Bei der erstgenannten Kirche fielen beide Dachgiebel heraus, und Stücke des einen zertrümmerten Teile des Dachstuhls; aber das Kircheninnere blieb verschont bis auf einige Deckenrisse und den Abfall kleinerer Teile des Deckenverputzes. Die Vorgänge in Kappel werden weiterhin eingehend behandelt.

## 2. Zufallsschäden.

Sowohl das unglückliche Zusammentreffen mehrerer normaler Vorgänge als auch anormale äußere Bedingungen auf eng begrenztem

Raume, oft schwer erkennbar und häufig von Menschenhand geschaffen, können zu Erdbebenwirkungen führen, die das Erdbebenbild fälschen, wenn der Charakter als Zufallsschaden nicht erkannt wird.

Bis jetzt scheint den Zufallsschäden nicht die ihnen gebührende Beachtung geschenkt worden zu sein. Beim Oberschwäbischen Erdbeben richteten sie aber, bis auf einen mir schon längst bekannten Fall, so große Verwirrung an, daß ich mich entschloß, durch Untersuchungen an Ort und Stelle Klarheit zu gewinnen.

a) **Die Zerstörung der Kirche von Kappel**, namentlich die veröffentlichten Bilder des trostlos verwüsteten Kircheninneren mußten beim Fachmann berechtigtes Erstaunen auslösen. Zumal die Kirche,

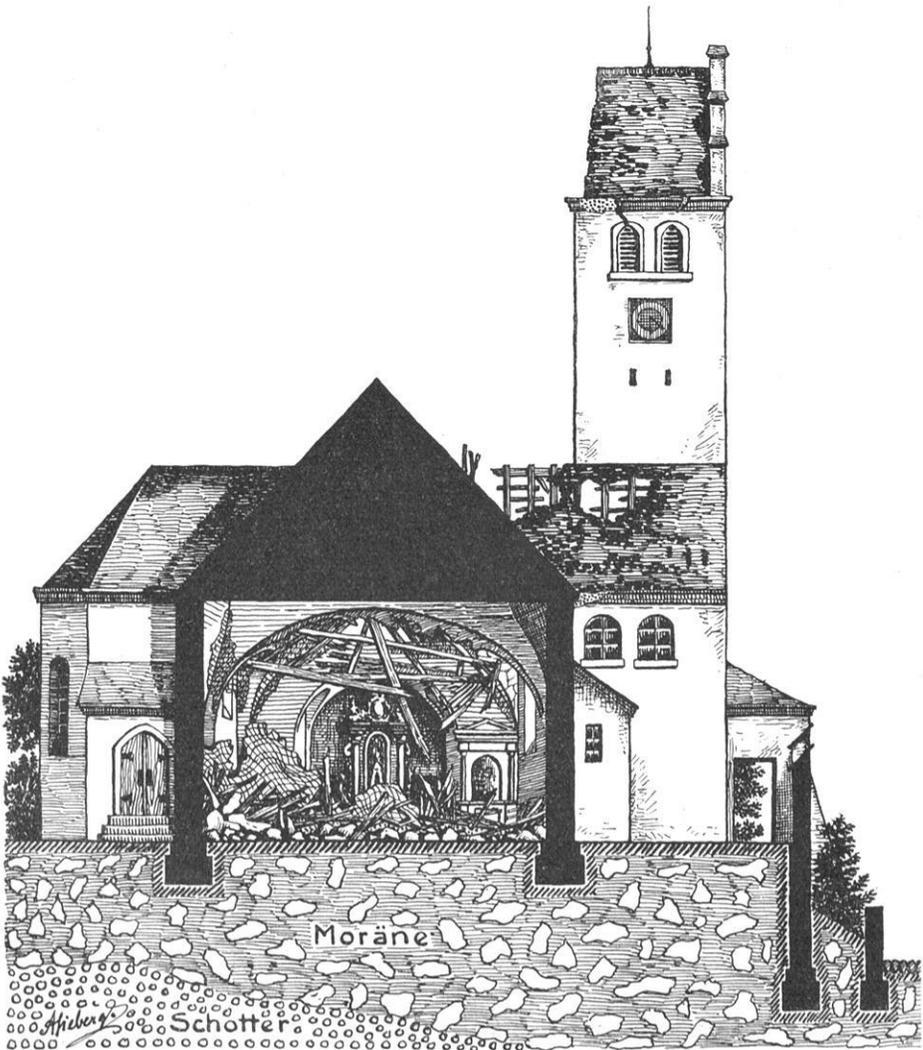


Abb. 5. Zerstörungen an der Kirche von Kappel.

in ihrem ältesten Teil über 800 Jahre alt, solide erbaut ist, sogar für die zwei Tage später geplante Neuweihe in allen Teilen gründlich überholt worden war und der Baugrund nach andernorts gemachten Erfahrungen kräftigen Beanspruchungen gewachsen sein mußte. Die Ortsbesichtigung brachte die überraschend einfache Lösung (Abb. 5) und zeigte, wie verhängnisvoll sich ein bloßer Zufall ausgewirkt hatte. Denn der nicht verankerte, vom arbeitenden Dachstuhl des Kirchturms herausgestoßene Giebel stürzte auf das Kirchendach, durchschlug und zertrümmerte letzteres samt der Kirchendecke weitgehend, riß viel Gebälk heraus, zerschlug einen großen Teil der Einrichtung und verwandelte das ganze Kircheninnere in einen wüsten Trümmerhaufen. So entstand ein Zerstörungsbild, wie wir es sonst bloß aus Haupterbebeengenden des Auslandes kennen. Hätte jedoch statt des rückwärtigen den vorderen Giebel das Geschick ereilt, dann wären die Trümmer auf die Straße gefallen und der Kirche hätte nichts geschehen können.

Ohne diese Feststellung hätte dem Dorf Kappel der Wirkungsgrad 8—9 zugeschrieben werden müssen, zumal in den Berichten nicht zum Ausdruck kam, daß die Häuser Kappels so gut wie vollständig von Schäden verschont geblieben waren (Abb. 9). Außerdem wären unberechtigte Zweifel an der allgemein angenommenen Zuverlässigkeit der älteren, verfestigten Moränen und mächtigen Schotter als recht bebensicherer Baugrund entstanden.

**b) Die schweren Zerreißen an Schloß und Kirche zu Scheer a. d. Donau** paßten gleichfalls in keiner Weise zum sonstigen Bild des Erdbebens. Daß die Zeitungsschilderungen, entgegen der Erwartung, nicht im geringsten übertrieben waren, lehrte der Augenschein.

Allerdings hielten sich im eigentlichen, der Donauniederung angehörenden Stadtgebiet von Scheer die Normalschäden in erträglichen Grenzen. Kamin- und Verputzschäden beherrschten das Bild, und bloß aus 3 Häusern wurden klaffende Mauerspalten gemeldet. Im Rathaus, das auf einem zugeschütteten Graben steht, waren die Bewurfsschäden in fast sämtlichen Räumen besonders eindrucksvoll; außerdem hatte das bei den Erdbebenschwankungen arbeitende Dachgerüst, das allerdings durch die Hitze scharf ausgetrocknet war, an einzelnen Stellen sichtbar gelitten.

Demgegenüber blieb die Zone außergewöhnlicher Erdbebenwirkung auf einen die Stadt überragenden, spornartigen Höhenrücken (Abb. 6) beschränkt. Ihn umzieht die Donau als enge, gegen Süden offene Schlinge. Der aus festem Kalkfels des Malm bestehende Kern ist durch Auffüllung von Schutt, der durch hohe Stützmauern gehalten wird, zu einer ebenen

Fläche verbreitert worden. Letztere trägt neben dem Schloß und den Gebäuden des Pfarramts die Pfarrkirche so, daß ihr mittlerer Abschnitt auf dem Kalkfels fundiert ist. Allein diese eigenartige Baugrundbeschaffenheit bot den äußeren Anlaß für die so verderbliche Wirkungssteigerung des Erdbebens. Denn sie beruht auf dynamisch ausgelöster Hangrutschung des Schuttbaugrundes am Felskern mit Nachsacken von Gebäudeteilen. Dies gab mir die Ortsbesichtigung einwandfrei zu erkennen.

Vor allem das Schloß der Fürsten von Thurn und Taxis, im Jahre 1486 vom Erbtruchsess Graf Andreas von Sonnenberg auf den Fundamenten der Burg der alten Gaugrafen von der Scheer erbaut,



Abb. 6. Lage von Schloß und Pfarrkirche in Scheer a. d. Donau.

hatte in einer für deutsche Verhältnisse ganz ungewöhnlichen Weise gelitten (Abb. 7). Die den einen Ostgiebel krönende Bärenfigur ist herabgestürzt und in Trümmer zerborsten. Klaffende Risse durchsetzten die Mauern von oben nach unten und beschädigten das im Süden als Zugang zur Brücke vorgebaute Rondell erheblich. Dabei haben auffallenderweise gerade die dicksten Mauern von fast 2 m Stärke am meisten gelitten. Weitgehend war die Zerrüttung und Zerspaltung der Zwischenwände und Decken in den Innenräumen, vor allem der oberen Geschosse; durch die zum Teil mehr als 10 cm offen klaffenden Spalten konnte man in Nachbarzimmer oder ins Freie blicken. In manchen Räumen waren quadratmetergroße Teile des Deckenverputzes herabgefallen, in der Schloßkapelle auch Figuren des Altars. Wäre das Beben zur Nachtzeit erfolgt, dann wären in diesen Räumen sicherlich Be-

wohner von den Trümmern erschlagen worden, zumal sich einige Türen so verklemmten, daß Flucht unmöglich war. Allein die Beseitigung der vordringlichsten Schäden, nämlich die Wiederherstellung der Kamine und Feuersicherheit, hat nach Angabe der Fürstl. Thurn und Taxischen Rentkammer Obermarchtal rund 5000 RM. gekostet.

In einen noch bedrohlicheren Zustand war die katholische Pfarrkirche St. Nicolaus geraten. Ursprünglich eine flachgedeckte gotische Basilika aus dem Beginn des 15.

Jahrhunderts, war sie 1747 barock umgebaut und gegen Westen verlängert worden. Die reiche Bemalung des Innern aus der Zeit um 1760 herum wird dem Kurfürstlich Bayerischen Hofmaler FRANZ IGNAZ OEFELE zugeschrieben.

Schon beim Aufstieg zur Kirche zeigten (Abb. 8) von Rissen durchsetzte, also durch Schub geplatze Ausbauchungen

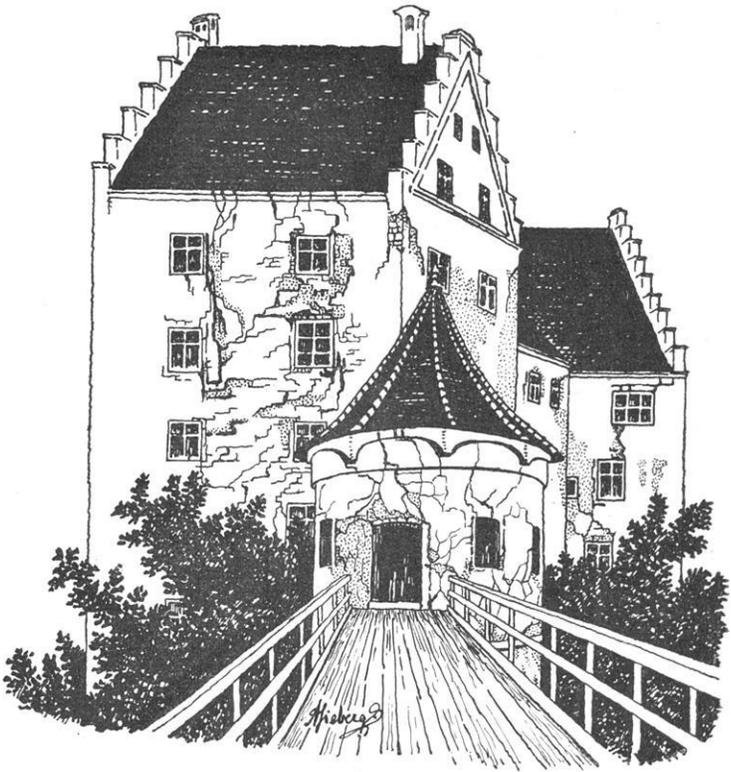


Abb. 7. Beschädigungen des Schlosses Scheer, von Süden gesehen.

der Stützmauer, daß die Schutthinterfüllung am Hang des Felskerns ins Gleiten gekommen war. Dementsprechend öffneten sich auf dem Plateau Spalten, die im Boden handbreit klafften und die Brüstung der Stützmauer auf meterlange Strecken hin in Schutthaufen verwandelten. Dieses Abgleiten des aufgeschütteten Baugrundes zog die beiden Enden des Fundaments, namentlich den Westgiebel der Kirche mit, während der auf Kalkfels gegründete Mittelabschnitt in seiner Lage verharrte. Den so erzeugten, großen Spannungen entsprechend trennte sich die Giebelmauer in breiten Rißscharen vom Gebäude. Das Nachgeben dieses Widerlagers hatte wiederum Lockerung und

Senkung der Schlußsteine in den benachbarten Gewölben der Schiffe und einzelner Fenster zur Folge, vor allem in dem gegen 1747 angebauten Westabschnitt. Wie überall bei Erdbeben, hat auch hier der später angefügte Bauteil am stärksten gelitten. Da den genannten Gewölben die Tragkraft genommen wurde, schoben sie nach Westen und lösten, wie am besten vom Orgelchor aus zu sehen war, die reich bemalten Wände, besonders des Mittelschiffes, in zahlreiche Scharen nahezu gleichlaufender Zerrungsrisse auf.

Den Grad der Mauerzerklüftung im angebauten Westabschnitt bezeichnete ich schon bei der Ortsbesichtigung als recht besorgniserregend;



Abb. 8. Zur Entstehung der Kirchenschäden in Scheer.

zumal die vom Erdbeben eingeleiteten Bodenrutschungen schwerlich zur endgültigen Ruhe gekommen sein, sondern mit der Zeit auch ohne Erdbeben, rein statisch weiter wirken dürften. Gegenüber diesen den Erhaltungszustand des Kirchengebäudes beeinflussenden Mauerrissen schienen mir die übrigen Schäden, vor allem an den Fresken, so bedauerlich sie in künstlerischer Hinsicht auch sind, bloß die Rolle von Schönheitsfehlern zu spielen. Leider haben sich meine Befürchtungen bestätigt. Nach neuerer Mitteilung stellte der mit der Schadensuntersuchung betraute Sachverständigenausschuß fest, daß für den gegenwärtigen Zustand des Kirchengewölbes keine Sicherheitsgarantie übernommen werden könne und der Abbruch des Gewölbes mit seinen schönen Fresken eingeleitet werden müsse. Die Instandsetzungskosten werden auf mindestens 30000 RM. veranschlagt.

Ergänzend muß ich jedoch ausdrücklich darauf hinweisen, daß mit der alleinigen Beseitigung der Symptome wenig erreicht wird. Vielmehr kann an eine dauerhafte Erhaltung der Kirche nur dann gedacht werden, wenn es gelingt, die Ursache der Schäden bzw. der Rutschungen und überstarken Setzungen zu bannen. Ob Verstärkung der Stützmauern hierfür ausreicht, erscheint mir fraglich. Vielleicht wäre die Anwendung des sogenannten Versteinerungs- oder Zementierverfahrens in Erwägung zu ziehen, das den Schutt durch Einpressen von Zementmilch festlegt.

Indirekt gestützt wird meine vorstehend entwickelte Ansicht durch das Verhalten von Schloß Bartenstein auf dem gegenüberliegenden Donauufer. Denn dort ist es bloß zu harmlosen Rissen im Verputz gekommen, weil die Fundamente vollständig im festen Kalkfels stehen.

c) **Die auffallende Häufung von Schäden in der Wuhrstraße von Buchau am Federsee** überraschte mich nicht mehr, weil sie bereits beim Albbeben vom 16. November 1911 durch R. LAIS und mich [7] erkannt und erklärt worden war. Trotzdem verlohnt sich eine genauere Darstellung an der Hand des jetzt vorliegenden umfangreichen Beobachtungsmaterials.

Wie der Stadtplan (Abb. 9) von Buchau nach den auf meinen Wunsch vorgenommenen Eintragungen der stärker beschädigten Gebäude durch das Stadtbauamt erkennen läßt, traten gelegentlich des Oberschwäbischen Erdbebens Normalschäden an manchen Stellen der eigentlichen, auf einer früheren Insel gelegenen Stadt recht zahlreich auf. Sie beschränken sich aber im Inselteil der Stadt hauptsächlich auf verhältnismäßig harmlose Schornstein- und Dachschäden sowie auf mehr oder minder umfangreiche Rißbildungen im Verputz. Auch das Rathaus weist zahlreiche lange und kräftige Decken- wie Wandrisse, vor allem im Obergeschoß und dem Sitzungssaal auf. Am Turm der ehemaligen Stifts-, jetzt Pfarrkirche, deren romanische Krypta vor 1100 entstand, drohte eine losgelöste Ecke abzustürzen. Leider wurden die umfangreichen Schäden im Schloß, dem ehemaligen adeligen Damenstift, bei meiner Ortsbesichtigung nicht erwähnt, so daß ihre Untersuchung unterblieb; nach Angabe der Fürstl. Thurn und Taxischen Rentkammer erfordert die Instandsetzung mehr als 5000 RM.

Aus diesem Bild hob sich die Wuhrstraße als Hauptschaden- gebiet mit hundertprozentigen Normalschäden oft schärfster Ausbildung, kräftigen Mauerrissen, verklemmten Türen, Giebelschäden u. dgl. auffällig heraus. An einem Haus hat sich sogar die freie Giebelwand gelöst und unten ausgebaucht, so daß das Kellergewölbe einstürzte. Mehrere Häuser mußten geräumt werden. Dagegen blieb ein schon vorher bau-

fälliges Haus von weiteren Schäden verschont, weil die alten Risse gelenkiges Nachgeben ermöglichten, und deshalb etwaige Wackelschwingungen keinen gefährlichen Grad erreichen konnten. Mit der Wuhrkapelle, an deren Fenster die Scheitel sämtlicher Bögen rissen (Abb. 2), hörten die Schäden auf.

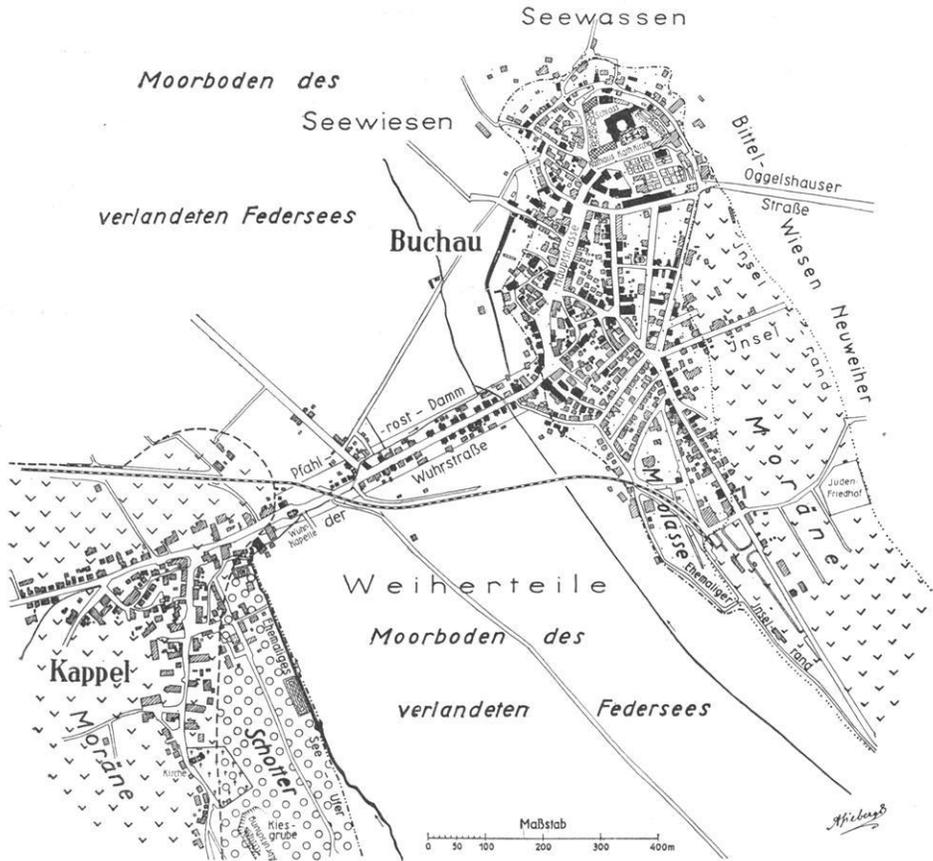


Abb. 9. Verteilung der Erdbebenschäden in Buchau und Kappel und ihre Bodenabhängigkeit. Die schwarz bezeichneten Häuser weisen erheblichere Schäden, vor allem auch an Schornsteinen auf. Unter Benutzung von Einzeichnungen des Stadtbauamtes entworfen.

Diese schädliche Bevorzugung der Wuhrstraße hat ihre Ursache in der baugeschichtlichen Entwicklung der Stadt. Früher lag Buchau im erheblich größeren Federsee; ein aus mancherlei Schutt künstlich aufgeschütteter Knüppeldamm auf Pfahlrost verband die Stadtinsel mit dem Ufer. Als zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch abermalige, künstliche Tieferlegung des Seespiegels Buchau endlich landfest gemacht wurde, entwickelte sich der Knüppeldamm zur Wuhrstraße.

In ihr sind sämtliche Häuser, im Alter von 100—150 Jahren, auf Pfählen<sup>1)</sup> gegründet (Abb. 10); im Laufe der Zeit neigten sie sich bereits mehr oder minder schief von der Straße weg nach rückwärts. So treffen gerade in der Wuhrstraße alle Bedingungen des Baugrundes zusammen, um die auf Schwingung und Bodenverformung beruhenden Wirkungen von Erdbebenstößen zu vergrößern. Die schon früher als notwendig erkannte Erhöhung der Standfestigkeit durch Pfahlgründung hat sich sogar im normalen Verkehr als unzulänglich erwiesen; erwähnt seien nur die ständigen Klagen aus der Zeit vor dem Kraftwagenverkehr, daß schwere Pferdefuhrwerke die Häuser der Wuhrstraße in unliebsamer Weise erschütterten. Unmittelbar hinter der Wuhrkapelle ersteigt im Dorf Kappel die heutige Landstraße das alte Seeufer aus verfestigten Schottern und älterer Moräne der Riß-Eiszeit. Dieser Boden ist standfest, wenn er nicht ausweichen kann, woraus sich der schroffe und für den Nichtfachmann unbegreifliche Übergang zur bereits besprochenen Unversehrtheit der Wohnhäuser Kappels folgerichtig erklärt.

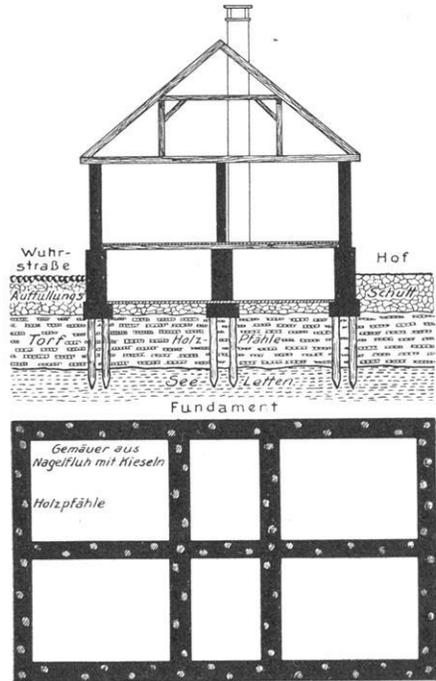


Abb. 10. Pfahlgründung der Häuser in der Wuhrstraße Buchaus. Nach Stadtbauamt.

## Zweiter Abschnitt.

### Untergrundsabhängigkeit der Gebäudeschäden.

Zur genaueren statistischen Erfassung der beim Oberschwäbischen Erdbeben beobachteten Gebäudeschäden entwarf ich einen Fragebogen, den der Württembergische Erdbebendienst in dankenswerter Weise an alle Gemeinden versandte, die Schäden gemeldet hatten. Sämtliche Fragebogen sind sorgfältig ausgefüllt worden. Bloß die geschätzte

1) Nach einer Deckeninschrift am Eingang der Wuhrkapelle, die 1727 an der Stelle einer alten Kapelle neu errichtet wurde, sind „das Fundament neunschuig gegraben, 79 Wägen erlen Pfahl hineingeschlagen und zu dem Rost 78 Buchen gebraucht worden“.

Schadensumme gab in vereinzelt Fällen zu Bedenken Anlaß. Letztere ließen sich aber mittels eines einfachen Prüfungsverfahrens innerhalb der für uns erforderlichen Grenzen in durchaus zufriedenstellender Weise klären. Auf diesem wertvollen und mindestens für Deutschland neuartigen Beobachtungsmaterial fußt die nachstehende Untersuchung.

### 3. Arbeitsmethode.

Aufgabe der kartographischen Darstellung ist, die Abhängigkeit der Gebäudeschäden von den Untergrundverhältnissen, vor allem von den Baugründen, möglichst ins Einzelne gehend und überzeugend zum Ausdruck zu bringen. Dem stehen bis zu einem gewissen Grade nicht nur der Wechsel des Baugrundes innerhalb des bebauten Geländes, sondern auch die Unzulänglichkeit der geologischen Lokalkenntnisse hinsichtlich der von der Erdbebenforschung zu stellenden Ansprüche erschwerend im Wege; auf Einzelheiten soll an gegebener Stelle aufmerksam gemacht werden.

Die den besonderen erdbebenkundlichen Bedürfnissen angepaßte Geologie der Kartenunterlage wurde von Kennern der Gegend, dem Vorstand der Geologischen Universitätsanstalt in Jena Herrn Prof. Dr. L. RÜGER, und seinem Assistenten Dr. K. KÖRNER in dankenswerter Weise bearbeitet.

Schon die Hundertsätze der beschädigten Gebäude gewähren beim Vergleich der Gemeinden untereinander recht lehrreiche Einblicke.

Vertieft werden die letzteren aber erst durch Mitberücksichtigung der zugehörigen Schadensumme unter Beschränkung auf die Normal-schäden an Wohnhäusern und deren Nebengebäuden. Denn die Beschädigungen größerer Bauten, namentlich öffentlicher, pflegen mehr oder minder zu den reinen Zufallsschäden überzuleiten.

So bedeutungsvoll für die Wirtschaft die absoluten Schadensummen auch sein mögen, so wenig besagen sie für unsere Zwecke. Ferner zeigt eine einfache Überlegung, daß

vor der mittleren Schadensumme, bezogen auf die Zahl der beschädigten Gebäude,

die spezifische Schadensumme, errechnet aus der Gesamtzahl der in der Gemeinde überhaupt vorhandenen Wohnhäuser und Nebengebäude, den Vorzug verdient.

Auf dieser Grundlage lassen sich zwei neuartige kartographische Darstellungsweisen durchführen. Beide bedeuten für das Schaden-gebiet eine weitgehende und aufschlußreiche Verfeinerung der Iso-seistenmethode, also des anerkannten Hauptrüstzeugs für makro-

seismische Forschung. Es erscheint allerdings nicht überflüssig, immer wieder darauf hinzuweisen, daß die Isoseisten nicht die Intensitäten zum Ausdruck bringen, sondern bloß die lokalen Wirkungen der Erdbebenenergie vergleichbar machen, die von der Reaktionsfähigkeit der Medien, also des Untergrundes und der Gebäude, vorgeschrieben werden. Auf die Herdenergie selbst und auf die Gesetze ihrer Ausbreitung Rückschlüsse zu ermöglichen sind die Isoseisten selbstverständlich nicht imstande. Die beiden neuen Darstellungsmöglichkeiten unterscheiden sich voneinander folgendermaßen:

a) **Isoblaben** ( $\beta\lambda\alpha\beta\eta$  = Schaden) grenzen die Gebiete gleicher Schadenssummen gegeneinander ab. Am engsten müssen sich ihrer Natur nach die spezifischen Isoblaben dem Isoseistenverlauf annähern. Abb. 11 zeigt die Überlegenheit gegenüber den Isoseistenkarten:

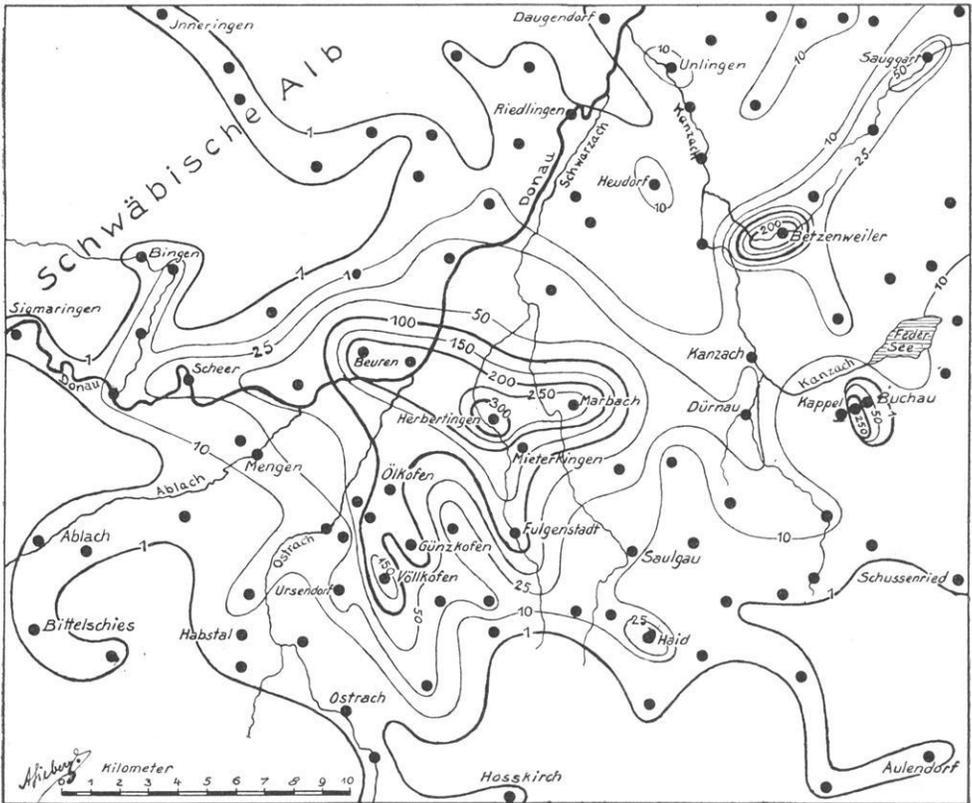


Abb. 11. Spezifische Isoblabenkarte des oberschwäbischen Hauptschadengebietes.

Für den vorliegenden Fall der Gliederung gewissermaßen in Formlinien stehen den 4 Halbgradisoseisten 6. bis  $7\frac{1}{2}$ . Grades nicht weniger als 9 Isoblaben gegenüber, wodurch die Beziehungen zwischen Baugrund und Gebäudeschäden mit größerer Schärfe als bisher sichtbar werden.

b) **Karten der spezifischen Schadenverteilung** (farbige Beilage) beschränken die Fläche gleicher spezifischer Schadensumme auf den Beobachtungsort und dessen Nachbarschaft innerhalb des Gesteins, das für die Gemeinde als Baugrund typisch ist. Infolgedessen bedeutet diese Darstellungsweise die am weitesten getriebene Annäherung an die natürlichen Verhältnisse durch Befreiung vom konstruktiven Schematismus, der den Isoleisten- und den Isoblabenkarten immerhin noch anhaften muß. In der Natur gibt es ja wegen des häufigen, unvermittelten Wechsels der Reaktionsfähigkeit von Baugründen und anderen Böden selbstverständlich keine allmählichen Übergänge für die Schadensgröße, die von Isoleisten- und Isoblabenkarten vorausgesetzt werden. Vielmehr pflegen schroffe Gegensätze entsprechend nebeneinander zu stehen. Um so klarer heben sich die Schwingungs- und Standfestigkeitsunterschiede der einzelnen Böden gegeneinander ab, solange nicht anormale Schichtungen das Bild stören.

#### 4. Grundsätzliches über die Verschiedenheit baugrundbedingter Erdbebenschäden.

Es ist kaum erkannt und beachtet worden, daß beim Erdbeben die Gebäude schädigende Wirkung des Baugrundes auf drei nach Ursache und Wirkungen grundverschiedenen Faktoren beruht. Diese

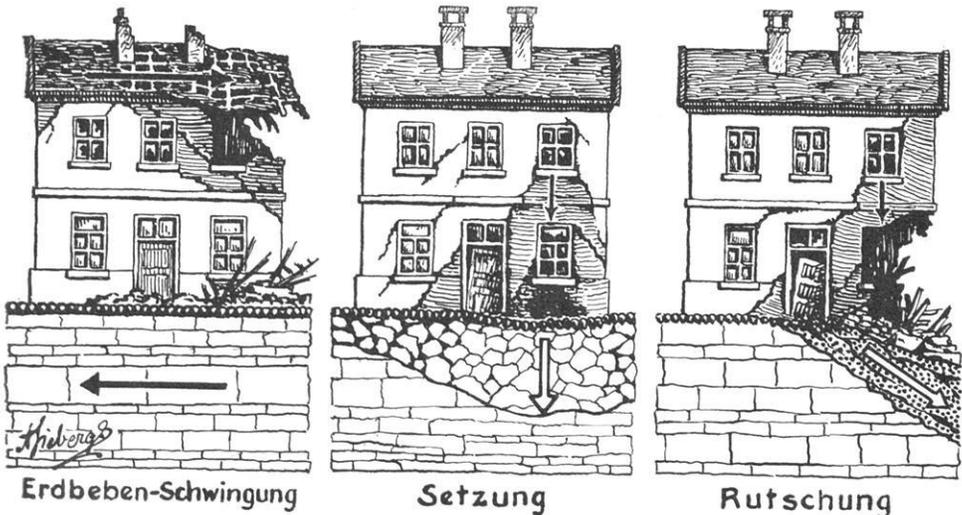


Abb. 12. Zur Entstehung der Hauptarten von Gebäudeschäden bei Erdbeben.

Faktoren wirken allerdings in derselben Richtung, nämlich dahin, daß Lockerböden gefährlicher als feste Felsmassen sind.

In Zukunft müssen die vom Baugrund bedingten Erdbebenschäden unter nachstehenden Gesichtspunkten (Abb. 12), die sich aus meinen

zahlreichen Geländeuntersuchungen und anschließenden experimentellen Arbeiten ergaben, kritisch beurteilt werden. Vor allem dann, wenn vorbeugende Maßnahmen gegen Wirkungen von Erdbeben sowie von Verkehrs- und Industrieerschütterungen oder die Frage nach Bergschäden zur Erörterung stehen.

a) **Schwingungsschäden** an Gebäuden sind die unmittelbare Folge der auf das Gebäude übertragenen elastischen Baugrundschrägungen und wachsen mit der Amplitude [22]. Meines Erachtens bedingt, im Einklang mit der praktischen Erfahrung, hohe Elastizität des Gesteins kleine Amplituden, weil bei dem kleinen Extinktionskoeffizienten bzw. der großen Leitfähigkeit bloß geringe Energieumwandlung erfolgt. Bei Schwingungsschäden muß jedoch in Rechnung gestellt werden, daß die Energieleitung im Boden bloß für Verkehrs- und Industrieerschütterungen hauptsächlich ein Einschichtproblem darstellt; für Erdbeben- und Bergschäden kommen ausschließlich Mehrschichtenprobleme in Frage. Als typisches Kennzeichen für Schwingungsschäden, wenigstens bei Backsteinmauerwerk, stellte ich fest: Beginn der Zerstörung an einer Ecke oder Kante im obersten Gebäudeabschnitt und Vorrücken gegen den Boden mit wachsender Bebenstärke.

b) **Setzungsschäden** an Gebäuden entstehen und wachsen mit bleibender Verformung seitlich eingespannten Baugrundes, die entweder in engerer Packung der Bodenteilchen auf Kosten der Zwischenräume (vom Porenvolumen an bis zu Klüften und Hohlräumen) oder in Ausweichen des Baugrundes schräg nach außen und oben besteht. Hierdurch werden in das meistens ungleichmäßig nachsinkende Gebäude vom Fundament her bedrohliche oder zerstörende Zusatzspannungen hineingebracht. Die Erdbebengefährlichkeit von Schutt- und Schwemmlandböden wächst sowohl mit der Grobstückigkeit als auch mit der Durchwässerung [18]; hierher ist auch WIECHERTS treffender Vergleich mit einem angestoßenen Breitopf zu rechnen. Grobstückigkeit führt zu besonders großem Volumenschwund bei engerer Packung, Durchnässung aber verringert innere Reibung und Standfestigkeit.

Nach grundlegender Erfahrung der Bautechnik genügt bei wenig standfesten Baugründen schon die allmählich fortschreitende statische Setzung zu Ribildung in Gebäuden, unter Umständen gefährlichen Charakters. Diese allbekannte Tatsache wird beispielsweise bei der Beurteilung von Bergschäden, die ohne fühlbare Bodenerschütterungen verlaufen, vielfach übersehen [20].

Um so schwerere Gebäudeschäden sind im gleichen Baugrund durch dynamische, von Bodenschwingungen erregte Setzungen zu erwarten.

Denn in der Praxis haben sich die dynamisch bedingten Verformungen stets als erheblich, bis zu 50 % und selbst 100 % größer erwiesen als die statisch bedingten. Infolgedessen besteht die Möglichkeit, daß ein Erdbebenstoß die bis dahin harmlosen Wirkungen statischer Setzungen schlagartig in gefährlicher Weise übersteigert.

c) **Rutschungsschäden** an Gebäuden haben Baugründe zur Voraussetzung, die wegen mangelnder seitlicher Einspannung zur Tiefe abgleiten können. Diese besonders große Bewegungsfreiheit für Baugrundverlagerungen zieht entsprechende Verschärfung von Gebäudeschäden nach sich, die sonst für Setzungsschäden typisch sind. Selbstverständlich wirkt sich schlagartig einsetzende dynamische Beanspruchung durch den Erdbebenstoß viel gefährlicher aus als langsames Hangkriechen, wenn auch der sichtbare Endeffekt der gleiche sein kann. Denn die potentielle Energie der Lagerung und Spannung wird durch den Erdstoß in höherwertige, lawinenartig wachsende kinetische Energie der Bewegung umgewandelt.

### 5. Allgemeiner Überblick über das Schadengebiet.

Das geschlossene Hauptschadengebiet (vgl. Kartenbeilage und Profil Abb. 13) von etwa 25 km Radius umfaßt die Oberschwäbische Niederung vom Südostrand der Schwäbischen Alb zwischen Engelswies-Sigmaringen und Marchtal bis zur Riß im Osten, sowie der Wagenhard und Atzdorfer Höhe im Süden. Schon diese allgemein gehaltene Umgrenzung läßt zwei großräumige Untergrundfaktoren deutlich in die Erscheinung treten, nämlich die Standsicherheit sowohl der festen Kalkfelsen der Schwäbischen Alb, als auch der besonders mächtigen Endmoränen, die in diesem Fall der jüngeren Würm-Eiszeit angehören. Die dazwischenliegende Schadenzone gehört zum älteren Moränengebiet der Riß-Eiszeit samt dessen oligozänen bis miozänen Molasseuntergrund. Darin heben sich als Hauptbrennpunkte der Normalschäden an Gebäuden drei Gebiete in rund 11 km Abstand ganz auffällig heraus. An erster Stelle steht HILLERS Epizentralgebiet, die Gegend von Herbertingen-Marbach samt den Unterläufen von Krähebach, Schwarzach, Mühlbach und Färbebach. Nur wenig dahinter zurück stehen Buchau am Federsee sowie Betzenweiler im Tälchen der Miesach. Eine Rolle für sich spielen die bereits behandelten schweren Zufallsschäden in Kappel und Scheer a. d. Donau. Einen Überblick über die wichtigsten Schäden in der vorgenannten Zone gibt Tabelle II.

Bedeutsame Einzelheiten dieses Schadenbildes gaben sich schon in der Isoseistenkarte des großen Albbebens vom 16. November 1911

durch verstärkte Bebenwirkungen so deutlich zu erkennen, daß sie zur Klärung durch geologische Sonderheiten des Untergrundes Veranlassung gaben. Das damals Geschriebene [7] behält auch jetzt bis ins einzelne seine Gültigkeit. Die Ähnlichkeit der Isoseistenbilder von 1911 und 1935 würde noch erheblich größer sein, wenn das frühere Beobachtungsnetz ebenso dicht gewesen wäre wie das jetzige. Aber auch so genügen die Isoseistenbilder als erneuter Beweis für meinen Ähnlichkeits-satz der Bebenwirkungen [20], der besagt: Die Abhängigkeit der Bebenwirkungen von den geologischen Untergrundverhältnissen geht so weit, daß der gleiche Landstrich bei Beben verschiedener Herdlagen ein ähnliches Isoseistenbild zeigt. Bloß hebt sich die Nachbarschaft des jeweiligen Herdes durch höhere Wirkungsgrade heraus.

Im Hinblick auf die Untergrundsabhängigkeit der Erdbebenwirkungen seien die geologischen Bauelemente (Abb. 17) des Schaden-gebiets kurz hervorgehoben. Unter der Oberschwäbischen Niederung verbirgt sich, zwischen den Massen der Ostalpen und des Schwäbischen Jura 2—4 km eingesenkt, eine Erdrindenmulde, die für den Abtragungsschutt der beiden Randgebirge als Sammeltrug dient. Hauptmasse der Schuttfüllung bildet die oligozäne bis miozäne Meeres- und Süßwassermolasse von feinstückiger, vor allem aber stark wechselnder Zusammensetzung. An der Oberfläche wird die Molasse weithin verdeckt durch die bezeichnenden Geländeformen ehemaliger Vergletscherung, nämlich durch mächtige Moränen und interglaziale Schotter mit größtenteils verlandeten Seen. Die einstige Ausdehnung der letzteren bezeichnen heute Torf- und Moorböden oder nasse Riedwiesen. Ähnlich liegen die Verhältnisse in manchen Abschnitten der Donauniederung und der kleineren Wasserläufe.

Demnach bildet die Molasse das eigentliche Leitgestein, das die großräumige Ausbreitung der Erdbebenenergie bis dicht an die Erdoberfläche heran bestimmt; allerdings nach Maßgabe seiner uneinheitlichen Beschaffenheit. Mit dem Hangendgestein beginnt die für Theorie und Praxis so außerordentlich bedeutungsvolle Störungszone. An der Erdoberfläche dürfte in der Molasse die vom Herdabstand bestimmte regionale Bebenwirkung innerhalb des Möglichkeitsbereiches charakteristisch zum Ausdruck kommen. Alle örtlichen Abweichungen hiervon, die oft auf engstem Raume überraschend hohe Beträge erreichen, nehmen ihren Ursprung in den wenig mächtigen Auflagerungen von diluvialen und alluvialen Böden verschiedenartigster Entstehung, Zusammensetzung und Reaktionsfähigkeit. Vor allem bilden alluviale Flußaufschüttungen an zahlreichen Stellen die oft weit vorgeschobene Grenze

Tabelle II. Übersicht über

Gemeinde	Epizentral- entfernung  km	Bestimmender Baugrund	Be- schädigte Gebäude		Häuser mit Abwurf von Dachfannen <sup>2)</sup>	Schornsteine			Rauch- kammern	
			Zahl <sup>1)</sup>	Anteil an Gesamtzahl  %		Deck- platten		eingestürzt	losgelassen	eingestürzt
						verdreht	abgeworfen			
Beizkofen . . . . .	7	Molasse, Schotter, Ried	80	73	80	21	33	22	—	3
Betzenweiler . . . . .	11½	Flußaufschüttungen	140	100	5	15	50	30	—	8
Beuren . . . . .	8	Molasse	84	100	—	20	25	1	—	3
Buchau, Wuhstraße	11	Aufgeschütteter Damm auf Moor	50	100	?	50			50	
„ übrige Stadt		Molasseinsel im Moor	370	64	?		70		45	
Dürnau . . . . .	7	Ried auf Moräne	53	74	10	4	2	4	14	—
Ennetach . . . . .	11	Schotter über Moräne	80	41	4	17	12	39	—	—
Friedberg . . . . .	6	Flußaufschüttungen	25	30	—	20	5	—	—	—
Fulgenstadt . . . . .	3	Ried	80	64	3	1	23	24	—	4
Göfingen . . . . .	13½	Flußaufschüttungen	110	89	10	4	8	4	—	—
Günzkofen . . . . .	5½	Flußaufschüttungen	70	86	2	4	47	2	—	2
Herbertingen . . . . .	2½	Molasse	340	97	220	72	35	220	—	65
Heudorf . . . . .	10½	Schotter auf Moräne	60	66	15	10	8	20	die meist.	—
Hohentengen . . . . .	6½	Schotter über Molasse	80	67	70	15	45	25	—	5
Hundersingen . . . . .	6	Molasse	176	100	—	23	47	22	—	42
Kanzach . . . . .	8	Ried auf Moräne und Molasse	55	60	1	6	5	15	4	—
Kappel . . . . .	10	Moräne über Schotter	3	1	2	2	—	—	—	—
Marbach . . . . .	2½	Molasse	100	77	20	10	70	10	—	—
Mengen . . . . .	10	Schotter über Moräne	300	40	200	100	50	300	20	—
Mieterkingen . . . . .	1¼	Moräne auf Molasse	40	66	40	40	40	2	—	4
Moosburg . . . . .	11	Molasse	20	55	—	1	9	2	—	4
Moosheim . . . . .	2	Moor	40	50	—	5	20	2	—	—
Ölkofen . . . . .	5½	Flußaufschüttungen	106	100	16	28	62	—	—	1
Sauggart . . . . .	19½	Flußaufschüttungen	56	100	56	40	25	—	—	—
Saulgau . . . . .	4	Moor	800	50	190	15	190	155	—	—
Scheer . . . . .	13	Flußaufschüttungen	60	24	10	80		10	—	1
Seekirch . . . . .	15	Moräne	33	50	—	—	2	—	—	—
Tafertweiler . . . . .	8½	Schotter auf Moräne	53	63	12	11	—	23	—	—
Unlingen . . . . .	14½	Flußaufschüttungen	46	12	5	8	25	1	—	—
Uttenweiler . . . . .	16	Ried auf Molasse	220	85	50	100	70	10	—	4
Völkofen . . . . .	7	Flußaufschüttungen	50	63	30	3	12	—	—	—

1) Diese Zahl deckt sich im allgemeinen mit derjenigen der Häuser, die mindestens Schäden des Bewurfs erlitten.

2) Soweit nicht verursacht durch Schornsteinschäden.

Hauptschadenorte.

Klauffende Spalten in Außenmauern	Vor- stoßen oder Herab- fallen von		Schadensumme <sup>3)</sup>			Besonderes
	Giebelsteine	Giebel	absolute	mittlere	spezifische	
			RM	RM	RM	
—	—	—	6000	75	55	
10	—	2	30000	215	215	An Kirche Abfallen beider Turmspitzen, Spalten in Turm, Mauern, Fensterwölbungen. Quadern an Futtermauer des erhöhten Friedhofs herausgedrückt, Grabsteine verschoben.
80	—	1	18000	210	210	
40	—	3	14500	290	290	Außerdem Schaden an Wuhrkapelle 2150 RM.
30	30	—	50000	135	89	Außerdem Schaden am Schloß rd. 5000 RM.
—	—	—	2000	38	28	
5	3	—	3000	38	15	An Kirche Fensterwölbungen gerissen, leichte Mauerrisse im Chor.
1	—	—	2000	80	25	Am Kirchturm klauffende Spalten im Glockengeschoß, waagrecht im oberen Drittel des Westgiebels; ohne Absturz.
3	—	4	12000	150	100	Schmale Mauerspalten an Kapelle.
3	—	—	800	7	6	Einige Grabsteine schiefgestellt.
2	—	2	10000	143	123	Mauerspalten in Kirchturm, Kirche und Kapelle.
sehr viele	—	5	120000	350	340	Die abgetragene Kirche blieb unberücksichtigt; ihre Instandsetzung war auf 20800 RM. veranschlagt.
7	—	—	1500	25	16	Risse in Wölbung der Kirchenfenster. Stärkster Schaden am Schloß, rd. 5000 RM.
55	30	—	12000	150	100	Klauffende Mauerspalten in Kirchturm, Kirche, Kapelle und Rathaus.
72	—	5	36000	205	205	Schmale Mauerspalten an Kirchturm, Kirche, Rathaus, Schule.
—	—	1	2000	36	21	Beide Kirchturmgiebel herausgestoßen, nur geringer Dachschaden; Schadenssumme 4650 RM.
—	—	—	100	33	1	Außerdem zertrümmerte abgefallener Turmgiebel Dach und Inneres der Kirche, Schaden 10830 RM.
10	—	2	35000	350	270	Außerdem Herausfallen der Kirchturmgiebel, unabhängig davon Schäden an Gebälk und Decke des Kirchenschiffes, Schadenhöhe 21700 RM.
—	—	—	15000	50	20	Türmchen der Friedhofskapelle um 8 cm verdreht.
25	—	—	10000	250	165	Schmale Mauerspalten an Kirche.
2	3	—	1000	50	27	Bloß schmale Mauerspalten.
2	—	—	3000	75	37	Auf Kirche leichte Verschiebung des Dachreiters.
10	—	5	12000	113	113	Starke Beschädigung der alten Kapelle durch Mauerspalten.
20	—	—	3000	54	54	Schmale Mauerspalten an Kirchturm und Kirche.
5	—	2	19000	24	12	Unbedeutende Mauerspalten an Kirche und Kapelle; die Neumühle mußte abgesprießt werden.
3	—	—	9000	150	36	Außerdem Schäden am Schloß weit über 5000 RM., an Kirche mindestens 30000 RM.
—	2	—	1000	30	17	
32	—	1	2000	38	24	
3	—	—	4250	93	11	
—	30	—	6200	28	25	
10	—	1	5000	100	63	Lösung des schadhafte Kapellengiebels an Horizontalspalte.

3) Geprüft und zum Teil nach neuesten Angaben berichtigt. Nicht mitgezählt sind die nebenstehend aufgeführten ungewöhnlichen Sonderschäden an einzelnen öffentlichen Gebäuden.

der Schadenzone. Leider fehlen jegliche Angaben über Erdbebenwirkungen auf natürlichem Gehängeschutt.

Trotz der Selbstverständlichkeit erscheint der Hinweis nicht überflüssig, daß die an der Erdoberfläche sichtbaren Bodenarten bloß dann für die örtlichen Erdbebenwirkungen verantwortlich sind, wenn von ihnen die Fundamente der Gebäude getragen werden. Aber selbst dann ist zu untersuchen, wie weit Kopplung mit der Unterlage Einfluß gewinnt. Alles dieses gilt in gleicher Weise für Gebäudeschäden, die sowohl unmittelbar auf den Schwingungen, als auch mittelbar auf Verformungen im Baugrund durch das Erdbeben beruhen.

## 6. Schädlicher Einfluß der Gesteinsbeschaffenheit.

Sachlich bieten die beigelegte Karte und das danach entworfene Profil (Abb. 13) nichts, was im Prinzip nicht schon längst zum Gemeingut [7, 15] der Makroseismik gehört. Da aber die praktische Verwertung derartiger Erkenntnisse für die Volkswirtschaft noch kaum oder höchstens mit unzulänglichen Mitteln versucht worden ist, entspricht eingehendere Behandlung einem unabweisbaren Bedürfnis. Um so mehr als schroffe Gegensätze hier so unmittelbar nebeneinander liegen wie selten, und auch sonst folgenschwere Beziehungen der Gebäudeschäden zu den Untergrundsverhältnissen für den, der geologische Karten richtig zu lesen vermag, in ganz besonders beweiskräftiger Klarheit erfaßt werden. Man darf aber billigerweise nicht erwarten, daß sämtliche Einzelheiten des Kartenbildes bereits ihre einwandfreie Erklärung finden. Dem steht die Notwendigkeit der Geologen entgegen, bei der kartmäßigen Ausscheidung bestimmter Schichten andere Gesichtspunkte zu verfolgen, als sie

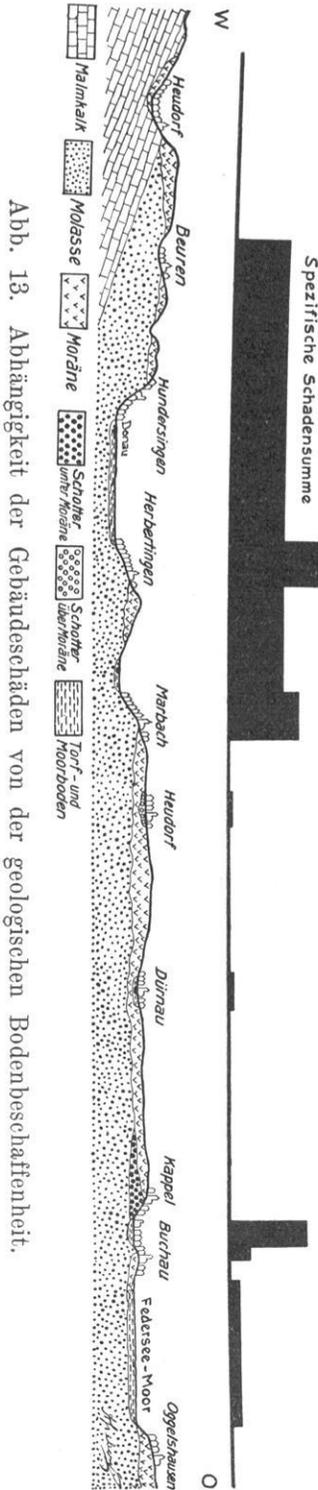


Abb. 13. Abhängigkeit der Gebäudeschäden von der geologischen Bodenbeschaffenheit.

für erdbebenkundliche Zwecke ausschlaggebend sind. Entsprechend werden die nachstehenden Ausführungen überzeugende Beispiele für die Unmöglichkeit bringen, die vorhandenen geologischen Kartenwerke schematisch und kritiklos makroseismischen Überlegungen zugrunde-zulegen.

a) **Feste Felsmassen**, die als gewachsenes Gestein unzersetzt an der Erdoberfläche zutage liegen, bilden auch bei Erdbeben den ungefährlichsten Baugrund. Als Ursache hierfür betrachte ich, wie bereits gesagt wurde, die hohe Elastizität der Felsgesteine, der kleine Amplituden der Bodenschwingungen entsprechen. Andere Erdbeben-schadenquellen sind in kompaktem Felsgestein überhaupt nicht möglich.

Im Einklang hiermit bleiben in unserem Kartengebiet die Gegenden der Schwäbischen Alb, wo Malmkalke anstehen, von Schäden verschont; gleichgültig, ob es sich um den grobbankigen Weißjura  $\epsilon$  oder um  $\xi$  handelt, der sich aus dünnen Bänken mit Tonzwischenlagen aufbaut.

Aus diesem Rahmen fallen allerdings einige Ortschaften nicht allein in Flußtälern, sondern auch auf der Albhochfläche mit immerhin beachtlichen Steigerungen von Gebäudeschäden heraus. In diesen Fällen, beispielsweise zu Upflamör, handelt es sich um Lockermaterialien, die in verhältnismäßig dünner Schicht auf dem festen Gestein lagern und wegen des großen Freiheitsgrades von diesem zu Schwingungen größerer Amplitude angeregt werden; vergleichbar etwa dem Hüpfen von Sandkörnern auf einem geschlagenen Trommelfell.

Entsprechend liegen die Verhältnisse dort, wo die äußersten Schutt-massen der Trogfüllung auf dem Hang der Jurakalke auskeilen. Beispielsweise werden auf der Linie Inzigkofen—Vilsingen—Engels-wies selbst die sonst so sicheren Endmoränen zu schadenbringenden Schwingungen, vielleicht auch zu Setzungen oder Rutschungen an-geregt.

b) **Moränen** der Eiszeit überlagern den ausgeprägt welligen Untergrund in stark wechselnder Mächtigkeit, die gegen 20 m erreichen kann. Leider ermöglichen die geologischen Karten nur selten die Feststellung, ob es sich am gegebenen Ort um mächtige Decken oder um dünne, erdbebenkundlich bedeutungslose Moränenschleier handelt.

Die Moränen setzen sich aus kantigem, zum Teil sehr grobstückigem Felsschutt zusammen, dessen Brocken in tonigem oder lehmigem Binde-mittel eingebettet und festgelegt sind. Diese Ausfüllung aller Hohl-räume zwischen den Brocken verfestigt die an sich sehr gefährlichen Schuttmassen derart, daß sich die eiszeitlichen Moränengebiete bisher überall als ausgeprägt schadenmildernd bewährt haben; allerdings unter

der Voraussetzung ausreichender Mächtigkeit. Dies gilt in gleicher Weise für Schwingungs- wie für Setzungsschäden, zumal tiefergreifende Durchnässung bei Niederschlägen kaum zustande kommen dürfte.

Unser Kartenbild bestätigt diese Regel in vollem Umfange und so augenfällig, daß sich jede weitere Erläuterung erübrigt. Nur auf einen durch schroffsten Gegensatz besonders eindringlich wirkenden Fall (Abb. 9) sei kurz hingewiesen. Im mittleren Westabschnitt des ehemaligen Federsees bis zum Uferrand erreichen, wie wir sahen, die Gebäudeschäden ganz außerordentlich hohe Beträge, vor allem in der Wuhrstraße Buchaus. Die Schäden hören aber vollständig auf mit dem Übergang auf das Moränenufer bei Kappel. In diesem Dorf trat der einzige Gebäudeschaden, an sich harmlosester Art und bloß durch unzureichende Bauart begünstigt, am Dachgiebel des Kirchturms auf. Daß sich dieser Schaden so unheilvoll auswirkte, beruht, wie S. 49 ausführlich begründet wurde, lediglich auf einem unglücklichen Zufall.

Eine Verminderung der Standfestigkeit gegenüber Erdbeben beim Aufweichen des Bindemittels durch Niederschläge dürfte bloß dort in Frage kommen, wo ein dünner Moränenschleier die Unterlage verdeckt. Dieser Fall könnte vielleicht bei Dietershausen vorliegen.

Wo es aber zur Auswaschung des Bindemittels kommt, hat der übrigbleibende Schutt den Moränencharakter verloren und rückt damit in die seiner Beschaffenheit entsprechende hohe Gefahrenklasse auf.

c) **Schotter** spielen in erdbebenkundlicher Hinsicht gleichfalls eine recht verschiedenartige Rolle entsprechend ihrer Mächtigkeit und Verfestigung. Wie ein Vergleich der geologischen Übersichtskarte 1:200000 von 1933 [1] mit der REGELMANNschen Übersichtskarte 1:600000 von 1911 [11] beweist, können die Auffassungen der Geologen über das, was auf den Karten darzustellen ist, weit auseinandergehen. Manchmal werden stratigraphisch wichtige Schotterhorizonte auch dann eingezeichnet, wenn sie bloß auf wenigen Lesesteinen beruhen; jegliche Angabe hierüber fehlt aber im Kartenbild. Dementsprechend unterscheiden sich Profile, die nach beiden Karten entworfen werden, mitunter grundsätzlich voneinander, und es besteht ohne umfangreiche Feldarbeit keine Berechtigung, die eine oder andere Auffassung zu bevorzugen. Glücklicherweise haben im vorliegenden Schadengebiet die Schotter bloß wenig Einfluß, so daß die gewählte Darstellungsweise kaum zu Trugschlüssen führen kann.

Schotter I unter Moräne, in diesem Falle Niederterrassenschotter, gewinnen bloß bei Kappel erdbebenkundliche Bedeutung. Hier treten sie als außerordentlich mächtige und, wie sich in der Kiesgrube (Abb. 14) rund 150 m südlich der Kirche zeigte, als besonders stark verfestigte

Massen auf. Für ihre Standfestigkeit gegenüber Schwingung und Verformung sprechen überzeugend die senkrechten und selbst überhängenden Wände. Dem widerspricht durchaus nicht die kleine Abrutschung während des Erdbebens; denn bei ihr handelte es sich lediglich um eine geringe Materialmenge, die an steiler Wand durch den Abbaubetrieb bereits in labiles Gleichgewicht gekommen war. Unter diesen Umständen wäre die Unversehrtheit Kappels genau so gesichert gewesen, wenn die Moränendecke gefehlt hätte.

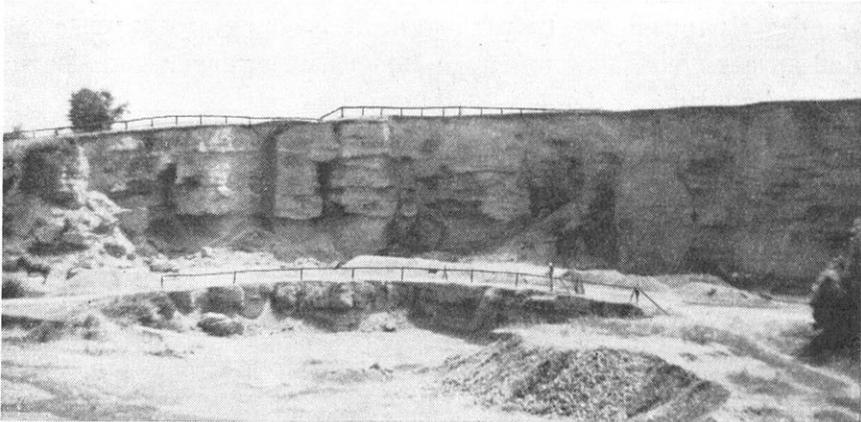


Abb. 14. Aufschluß des tieferen Schotters I in der Kiesgrube hinter der Kirche von Kappel. Aufnahme von W. HILLER.

Schotter II über Moräne bilden bei sehr wechselnder Mächtigkeit zum Teil ausgedehnte Schotterfelder meist recht lockerer Beschaffenheit. Sie pflegen ausgesprochen gefährliche Baugründe abzugeben, besonders bei geringer, aber für die Gebäudefundamente ausreichender Mächtigkeit. In unserem Kartengebiet spielen sie im allgemeinen keine nennenswerte Rolle; abgesehen von den Ortschaften Tafertsweiler und Heudorf, die ohne ihre Schotterunterlage ganz aus dem Rahmen fallen würden. In Heudorf belaufen sich die Schäden allein am Schloß, das 1536 von Wilh. von Stotzing erbaut und vorübergehend als Kloster benutzt war, nach Angabe der Schloßverwaltung auf mindestens 5000 RM.; nähere Besichtigung bei meiner Anwesenheit kam nicht zustande.

d) **Molasse** ist der stratigraphische Sammelbegriff für feinkörnigen, also gefährlichen, oligozänen bis miozänen, teils im Meer, teils im Süßwasser abgelagerten Gesteinsschutt; bestehend aus häufigem Wechsel von sandigen, kiesigen und tonig-mergeligen Schichten mit örtlich beschränkten Kalkzwischenlagen. Regional betrachtet wird sich die Molasse

bei der Fortpflanzung der Energie wie ein ziemlich einheitliches Medium verhalten, weil die petrographischen Unterschiede schon auf engem Raum stark wechseln, unregelmäßig verteilt sind und sich deshalb aufheben. Aber als Baugründe einzelner Häuser können sich die Bodenunterschiede schon merkbar auswirken.

Wie früher gezeigt wurde, stellt die Molasse die eigentliche Füllmasse der Oberschwäbischen Tertiärmulde dar mit maximalen Mächtigkeiten von 2—4 km. Theoretisch läßt sich kaum etwas gegen die Annahme einwenden, bei so großer Mächtigkeit des lockeren Mediums werde der Hauptteil der Bebenenergie in Reibungsarbeit umgewandelt, so daß an der Oberfläche nur noch Bodenschwingungen verhältnismäßig geringer Amplitude auftreten könnten.

Unser Kartenbild zeigt aber das Gegenteil, ein Zeichen dafür, daß hier die Mächtigkeit der Molasse nur gering sein kann. Überall müssen wir feststellen, daß jene Ortschaften, die ganz oder größtenteils auf ausstreichender Molasse stehen, durch verstärkte Bebenwirkungen in Gestalt von Gebäudeschäden ganz auffällig gegen Nachbarschaft mit anderem Baugrund abstechen. Dies entspricht durchaus der Rolle, die die Makroseismik nach mehr als hundert Jahre langen Erfahrungen den lockeren Schuttböden geringer Mächtigkeit schlechthin zuschreiben muß. Zur Erklärung möchte ich die geringe Elastizität der Lockerböden heranziehen, die nach meiner Ansicht große Amplituden bedingt. Letztere sowie die Verformbarkeit wachsen mit der Abnahme der inneren Reibung. Verständlich wird das gefährliche Verhalten der Molasse, wie gesagt, ohne weiteres durch die geringe Entfernung des Hauptschadengebietes vom Albrand, dessen untertauchenden Jurakalke auch aus tektonischen Gründen hier noch recht nahe der Erdoberfläche liegen.

Besonders charakteristisch wirkt sich das Ausstreichen von Molasse in nächster Nachbarschaft, bis zu etwa 3—4 km, des von HILLER berechneten Epizentrums aus. Diesen Molasseböden gehören die am stärksten in Mitleidenschaft gezogenen Ortschaften Herberdingen, Marbach und Mieterkingen, sowie in etwa 6—8 km Entfernung, jenseits der Donau, Hunderingen und Beuren an. Den Untergrund der so schwer beschädigten Kirche von Herberdingen lernte HILLER bei einem erneuten Besuche während der Fundamentausschachtung für den größeren Neubau als typische Molasse kennen in der Form von weichen, sandigen, feuchten Letten, die sich ohne weiteres mit der Schaufel herausstechen ließen; die alten Fundamente gingen in diesem Boden etwa 2—3 m tief hinab.

e) **Flußaufschüttungen**, wie Schutt, Gerölle, Sand, Lehm, Letten u. dgl. bilden eine Gefahrenquelle nur dort, wo sie eine solche

Mächtigkeit haben, daß sie die Gebäudefundamente ausreichend unterlagern. Durch diese zwar selbstverständliche, aber nicht immer bedachte Bedingung findet die mitunter als auffällig bezeichnete Erscheinung ihre naturbedingte Erklärung, daß Gebäude in Talgründen und Flußbauen verhältnismäßig wenig zu leiden hatten.

Die Größen der Bodenamplituden und der Verformbarkeit des Baugrundes wachsen mit dem Grad der Durchnässung, weil letztere die innere Reibung und gleichzeitig die Standfestigkeit vermindert. Sprechende Beispiele finden sich in den verschiedensten Gegenden des Schadengebietes, so vor allem zu Betzenweiler, Völlkofen, Günzkofen, Scheer, Friedberg und Unlingen.

Die Wirkung von Schuttkegeln und Gehängeschutt ließ sich wegen Fehlens von entsprechenden geologischen Angaben und Erdbeschadenmeldungen nicht durch Beispiele belegen.

f) **Torf- und Moorböden** genügender Mächtigkeit in bezug auf die Gebäudefundamente pflegen für Schwingung und Verformung den Höchstgrad der Gefährlichkeit darzustellen; allerdings unter Berücksichtigung der Epizentralentfernung und der Beschaffenheit der schwingungsanregenden Unterlage. Gerade im Oberschwäbischen Schadengebiet spielen unter den Spuren eiszeitlicher Vergletscherung die Reste zahlreicher Seen eine beachtliche Rolle. Von den Diluvialseen verfielen die meisten dem Schicksal, ganz oder teilweise zu verlanden teils auf natürlichem Wege, teils durch künstliche Nachhilfe. Die einstige Ausdehnung und Lage dieser Seen werden durch Torf- und Moorböden oder nasse Riedwiesen bezeichnet. Die festen Bestandteile der alten Seeböden, mögen es nun Sand und Schlick oder Pflanzenreste sein, sind in diesen Niederungen von Wasser durchzogen und besitzen deshalb eine Beweglichkeit, wie sie dem trockenen Material niemals zukommt. Dazu gesellt sich oftmals noch, daß das neue Land nur auf einem sogenannten Wasserkissen schwimmt und deshalb alle von Erdbebenstößen verursachten Schwankungen ganz besonders kräftig mitmachen muß.

Leider bietet sich zum Nachweis dieser außerordentlich großen Erdbebengefährlichkeit bloß selten Gelegenheit. Denn schon die alten Bauleute mieden derartige Baugründe in der klaren Erkenntnis ihrer großen statischen Unzuverlässigkeit, so daß nur in Notfällen kleine Siedlungsteile vom festen Ufer auf den alten Seeboden vorgeschoben wurden.

Dementsprechend fehlen auch dem eigentlichen Federseeried Ansiedlungen, bis auf die Wuhrstraße. Denn die eigentliche Stadt Buchau, ehemals freie Reichsstadt, lag seit jeher auf einer gewachsenen Insel

des großen Federsees, der durch Verschlammung, Verriedung und die menschlichen Eingriffe der sogenannten Seefällungen einem unaufhalt-samen Verlandungsprozeß preisgegeben war. Der künstlich aufgeschüttete Damm der heutigen Wuhrstraße, nach einem Stich von MERIAN 1643 noch unbebaut bis auf den Vorläufer der heutigen Wuhrkapelle, verband, wie wir bereits sahen, die Stadtinsel mit dem Seeufer. 1787 bedeckte der Federsee noch eine Fläche von 1100 Hektar. Erst die erneute künstliche Tieferlegung des Seespiegels zu Beginn des 19. Jahrhunderts machte die Stadt landfest, so daß der heutige Seerest von 152 Hektar und etwa 2½ m größter Tiefe etwa 1½ km nördlich von Buchau entfernt liegt. Der aus dem Federseeried auftauchende Stadtuntergrund besteht im Nordwesten aus Sand und Kies sowie einem Streifen gelben und blauen Lehms, der in 2—5 m Tiefe von sogenanntem Schwemmsand unterlagert ist. Vieles für sich hat meines Erachtens die Annahme, hier tauche die Molasse wieder auf, die auf dem Nordufer zwischen Moosburg und Alleshausen unter der Moräne ansteht. Entsprechend der Gefährlichkeit der Molasse hat der Nordwestabschnitt Buchaus recht kräftig gelitten. Der Rest der Inselstadt liegt aber auf Moräne und blieb deshalb von Gebäudeschäden nahezu frei.

Als einzige Ansiedlung des Federseerieds darf die Wuhrstraße Buchaus betrachtet werden. Aber selbst hier tritt die Erdbebengefährlichkeit des alten Seebodens nicht unverfälscht in die Erscheinung. Denn in der Wuhrstraße haben sich mit der Ungunst der Natur gutgemeinte, jedoch unzweckmäßige Baumaßnahmen dazu vereinigt, um einen Baugrund von allerhöchster Erdbebengefährlichkeit zu schaffen; letztere vermag auch die Pfahlrostfundierung der Häuser nur wenig zu verringern. Auf dem Seeletten ruhen 2—4 m Sumpf, Moor und Torf, und diesem schwankenden Grund wurde noch ein Damm aus mannigfaltigem Schutt aufgepackt, der bekanntlich ganz besonders unsicher ist. Unter diesen Umständen bedeutet es eine Selbstverständlichkeit, daß sich die Wuhrstraße bei sämtlichen Erdbeben durch stärkere Wirkungen aus der Nachbarschaft auffällig heraushebt und im vorliegenden Falle zum zweiten Brennpunkt wurde.

Als Gegenstück wäre beispielsweise Dürnau zu erwähnen, weil es trotz anmoorigen Untergrundes am Zusammenfluß zweier Bäche verhältnismäßig wenig Schäden erlitt. Hier dürften die Verhältnisse so liegen, daß ein dünner Moorschleier Moräne als Träger der Gebäudefundamente überdeckt.

g) **Zusammenfassendes und Theoretisches.** Bestimmendes Element für die statische Erdbebenkunde ist in erster Linie die Geologie der nichtfelsigen Bodenarten. Im Boden Oberschwabens ermöglichen

es die recht einfachen Lagerungsverhältnisse, die Erdbebengefährlichkeit der wichtigsten Baugründe innerhalb annehmbarer Fehlergrenzen zahlenmäßig zu vergleichen. Gemessen am typischsten Schadenbild, dem Hundertsatz der Häuser mit Kaminschäden in jeder Gemeinde, ergibt sich nach Abb. 15 das Verhältnis der Erdbebengefährlichkeiten etwa wie folgt:

Malmkalk 1, Moräne  $2\frac{1}{4}$ , Flußaufschüttungen  $2\frac{3}{4}$ , aufgelagerte Schotterfleier (II)  $3\frac{1}{4}$ , Molasse  $3\frac{3}{4}$ , Moor 5; die Moor- und Torfböden ließen sich zwar aus den vorgenannten Gründen nicht zahlenmäßig erfassen, konnten aber aus anderen

Gründen zu etwa 5 bewertet werden. Die recht niedrigen Werte für Flußaufschüttungen dürften darauf beruhen, daß infolge zu geringer Schichtmächtigkeit die Unterlage mit zur Geltung kommt. Anhaltspunkte für die Beschleunigungen bzw. Bodenamplituden (bei  $T = 1$  sec) ergaben sich aus HILLERS Isoseistenkarte, für die dynamisch ermittelten Elastizitäten<sup>1)</sup> aus Arbeiten von KÖHLER [6] und RAMSPECK [8].

Die in Tabelle III vereinigten Zahlenwerte genügen für einen allgemeinen Überblick billigen Ansprüchen, zumal experimentelle Messungen bloß ganz lokale Einzelheiten zu erfassen vermögen. Vor allem werden unsere Annahmen bestätigt:

1) Daß mit wachsender Elastizität der Gesteine die Bodenamplituden kleiner werden, also die Schwingungsgefährlichkeit sinkt. Diese Feststellung von ausgesprochen praktischer Bedeutung läßt sich übrigens auch aus den Abbildungen 25 und 26 zu RAMSPECKS experimentellen Untersuchungen [8] einwandfrei herauslesen.

2) Daß aber andererseits in besonders mächtigen Lockermassen die Bodenamplituden wieder kleiner werden durch Umwandlung von Energie in Reibungsarbeit.

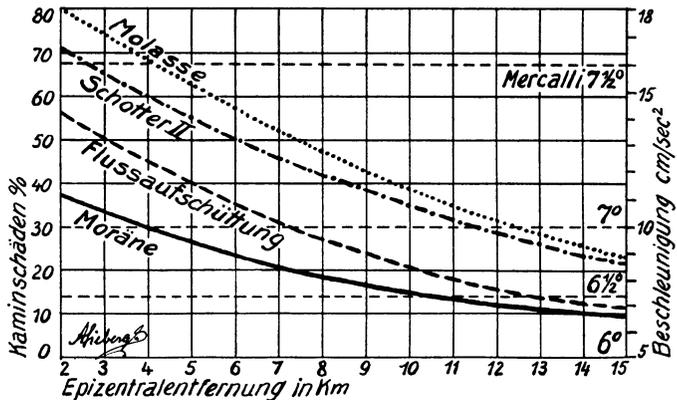


Abb. 15. Die Erdbebengefährlichkeit der Baugründe Oberschwabens, gemessen an den Kaminschäden.

1) Auch für nichtfelsige Bodenarten lassen sich Elastizitätsmoduln aus Versuchen formal berechnen [8].

Tabelle III.  
Baugrundsverhältnisse in Oberschwaben.

Baugrund	Schwingungsgefährlichkeit			Setzungs- gefähr- lichkeit	Rut- schungs- gefähr- lichkeit
	Elasti- zitäts- modul E kg/cm <sup>2</sup>	In 2 km Epizentralentfernung			
		Beschleu- nigung cm/sec <sup>2</sup>	Ampli- tude (bei T = 1 sec) mm	Zulässige Baulast kg/cm <sup>2</sup>	Natür- licher Bö- schungs- winkel °
Malmkalk . . . . .	>100000	5	1,3	10—20	bis 90
Moräne . . . . .	3200	11	2,8	5—9	35—50
Flußaufschüttungen . . . . .	2700	14	3,5	2—5	10—35
Schotter II, dünn gelagert. . . . .	1700	16½	4,1	3—4	30—40
Molasse . . . . .	1200	18	4,6	1—4	30—35
Verlandete Seen, Moor, Torf	—	25	6,3	0	2—5

3) Daß auch die Setzungsgefährlichkeit mit der Elastizität bzw. Fortpflanzungsgeschwindigkeit fällt.

Von den verwickelten Amplitudenverhältnissen bei Erdbeben schon in einem einfach gebauten Mehrschichtensystem versucht auf Grund obiger Zahlen und rein schematisch Abb. 16 eine ungefähre Vorstellung

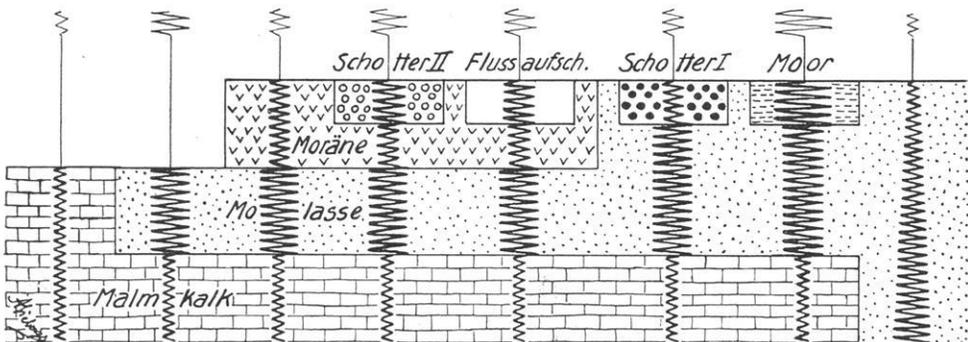


Abb. 16. Schematische Darstellung der Bodenamplituden bei einem Erdbeben im Mehrschichtensystem Oberschwabens.

zu vermitteln; selbstverständlich ohne Rücksicht auf Brechungen und Reflexionen. Hiernach dürften wohl die letzten Zweifel an der Aussichtslosigkeit aller Bemühungen schwinden, aus den an der Erdoberfläche nachweisbaren Erdbebenwirkungen, gleichgültig ob sie makro- oder mikroseismisch gewonnen sind, Schlüsse auf die Herdstärke zu ziehen. Dementsprechend scheiterten auch meine sämtlichen Versuche, das vorliegende Beobachtungsmaterial zu einer Herdtiefenbestimmung nach dem GASSMANNschen Verfahren [3] zu verwerten.

## 7. Schädlicher Einfluß von Verwerfungen.

Von Erdbeben anderer Gegenden in aller Welt ist seit der gemeinsamen Untersuchung von LAIS und mir (1911) zur Genüge bekannt, wie sehr auch manche Verwerfungen im Untergrund dazu beitragen, die Erdbebenwirkungen ungünstig zu steigern. Jedoch besteht im vorliegenden Falle keine Möglichkeit, überzeugende Beiträge zu dieser Frage zu liefern. Denn für unser Schadengebiet konnten die geologischen Kartierungen noch keine Verwerfungen nachweisen, obgleich deren Vorhandensein, verborgen unter dem lockeren Deckgebirge, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist.

Bloß eine Beobachtung, die sich auf Scheer a. d. Donau bezieht, wäre möglicherweise hierher zu rechnen. Dazu schrieb Herr Fabrikant S. SCHAAL folgendes: Vom Erdbeben wurde „ein schmaler Streifen, der sich etwa von West nach Ost schräg durch Scheer zieht, besonders stark betroffen, während im übrigen die Beschädigungen nicht so stark sind. In diesem Streifen liegen die Kirche und das Schloß, die alte Fabrik mit einigen Nachbarhäusern (Weckerle, Villa Schaal), sodann die Fabrik und auf der andern Seite der Donau einige Häuser in der Adolf-Hitlerstraße, wo auch einige Kamine abgeworfen waren, während die Kamine zu beiden Seiten davon anscheinend nicht beschädigt waren. Ich vermute, daß dieser Streifen mit der Donauverwerfungslinie zusammenhängt.“

### Dritter Abschnitt.

## Zur Entstehungsursache des Erdbebens.

In guter Übereinstimmung mit den makroseismischen Befunden ist nach HILLERS [4] mikroseismischer Berechnung das Epizentrum in der Gegend  $\varphi = 48^{\circ} 02,5' N$  und  $\lambda = 9^{\circ} 28,0' E$  Gr. anzunehmen. Diese Stelle gehört zum Bereich der Schwarzach, etwa auf der Kreuzung der beiden Linien Herbertingen—Mieterkingen—Saulgau und Marbach—Fulgenstadt. Dem gleichen Herde dürfte wohl auch das mäßige Erdbeben vom 6. Oktober 1898 [10] nebst seinen schwächeren Nachstößen vom 30. November 1898 und 9. Januar 1899 entstammen. Weitere Beben dieses Herdbezirkes scheinen nicht bekannt zu sein.

Der Charakter des Oberschwäbischen Erdbebens als Mittelbeben mit makroseismischer Reichweite von 500 km und mindestens 3000 km mikroseismischer Reichweite spricht zwar recht eindeutig für ein tektonisches Verwerfungsbeben. Aber die mächtigen Schuttablagerungen im weiteren Herdgebiet machen es einstweilen noch unmöglich, auf zuverlässigerer geologischer Grundlage als bisher einen tieferen Ein-

blick in Einzelheiten der Bebenentstehung, namentlich über Art und Dynamik der tektonischen Störungsstelle zu gewinnen. Jedoch hoffe ich, dieser Frage in absehbarer Zeit auf instrumentellem Wege näherzukommen. Bis dahin müssen wir uns mit der nachstehenden, ganz allgemein gehaltenen geologischen Vorstellung begnügen, die, wie HILLERS seismometrische Untersuchungen zeigen, bei aller gebotenen Vorsicht den tatsächlichen Verhältnissen wohl recht nahekommen dürfte.

Im Nordwesten brandete das jungtertiäre Meer an der vom Südrand der Schwäbischen Alb gebildeten Küste. Die heutige Grenze des Malms gegen das Tertiär ist teils altes Kliff, teils jungerosiv. Schon dicht vor der ehemaligen Küste erreichen die oligozänen bis miozänen Molasseablagerungen Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern. Es ist daher anzunehmen, daß in voroligozäner Zeit der Südrand der Alb die äußerste Verbiegungszone des den Alpen vorgelagerten Sammeltroges darstellte.

An tektonischem Ursprung und gegenwärtiger Fortdauer der Albabsenkung ist nicht zu zweifeln. Aber über die Störungsart gehen die Ansichten auseinander, weil bis jetzt Verwerfungen am Albsüdrand nicht gefunden werden konnten. So glaubte C. REGELMANN, mit bruchloser Abbiegung des Albrandes, höchstens bei Flexur, auskommen zu können; daß er auf dieser Strecke trotzdem einige Verwerfungen in seine Karte einzeichnete, geschah aus besonderen Gründen. Die Mehrzahl aller Anschauungen, beispielsweise von BRANCA, ENGEL, MOSS, ROLL (1935) und HILDEBRAND (1935), vertritt dagegen in irgendeiner Form den von W. GÜMBEL 1865 in die Literatur eingeführten Donauabbruch.

Dementsprechend nehme ich, vermutlich widerspruchslos, an (Abb. 17), im Schadengebiet des Oberschwäbischen Erdbebens seien die Malmkalke des Albrandes stellenweise an SW—NO-Brüchen staffelförmig abgesunken und von der Molasse begraben worden. Darüber hinaus ist mit der noch bedeutungsvolleren Wahrscheinlichkeit zu rechnen, am Rande des Molassebeckens gesellten sich zu diesen Längsbrüchen verborgene, NW—SO streichende Querbrüche. Letztere würden dem offen am Tage liegenden Bruchfeld des Bodensees entsprechen, das bekanntlich mit recht regsamen Erdbebenherden besetzt ist.

Da im Herdgebiet unseres Erdbebens die Baugrundabhängigkeit der Gebäudeschäden das Bild restlos beherrscht, bietet sich keine Möglichkeit, auch noch glaubhafte erdbebenkundliche Schlüsse auf verborgene Untergrundtektonik, auf Lage und Verlauf vom Schutt begrabener Verwerfungen zu ziehen. Nur so viel steht fest, daß unter dem



lockeren Deckgebirge von HILLERS Epizentralgebiet elastische Erd-rindenschollen gegeneinander bewegt wurden, so daß die gleitende Reibung der rauhen Spaltenwände die Erdbebenwellen erzeugte. Gefühlsmäßig liegt der Gedanke nahe, ein bei Marbach—Fulgenstadt SW—NO streichendes Längsbruchsystem des Albrandes für das Erdbeben verantwortlich zu machen. Im Gegensatz hierzu ist HILLER auf seismometrischem Wege zur Überzeugung gekommen, es handele sich um Blattverschiebung auf einer Querverwerfung, die SO—NW, also parallel den seismisch so regsamen Bodenseebrüchen, etwa von Saulgau über Mieterkingen bis Herbertingen verläuft; eine Verlängerung über Hunderingen bis Beuren liegt meines Erachtens im Bereich der Möglichkeit. Diese Feststellung HILLERS entspricht meiner alten Auffassung [15] von der gegenwärtigen bruchtektonischen Bodenverformung Süd- und Mitteleuropas, derzufolge auch die jüngeren Querbrüche beweglicher und regsamer sein müssen als die älteren Längsbrüche.

Als Beweis für die unbestreitbare Tatsache, daß die tektonischen Bodenverschiebungen im Molassebecken und seinem Untergrund auch jetzt noch fort dauern, pflegen von geologischer Seite bestimmte instrumentelle Messungsergebnisse noch vor dem Erdbeben bevorzugt zu werden. Verwiesen sei auf die Pegelmessungen am Bodensee, aus denen auf unregelmäßige Senkungen des Seebodens bis zum Höchstbetrage von vielleicht 6 mm jährlich geschlossen wird [9]. Darüber hinaus werden Aufnahmen der Bayerischen Landesvermessung [12] dahin gedeutet [5, 13], daß die Ostalpen in verwickelter Weise jährlich um rund 2 cm gegen München vorrücken, wobei sich die Einmuldung des Vorgeländes entsprechend vertiefte. Diese Größenordnung der Bewegungen entspricht zwar durchaus unseren Vorstellungen. Aber gegen diese Auswertung erheben einzelne Geodäten beachtliche Einwände, ohne damit die Fragen endgültig geklärt zu haben.

Als Kraftquelle für den nach Nordwesten gerichteten tektonischen Schub und für das von Erdbeben begleitete Aufreißen gleichsinnig verlaufender Verwerfungen galt seit C. REGELMANN das Vorrücken der auch heute noch emporwachsenden Alpenkette. Demgegenüber gelangte ich schon seit langem zur Überzeugung [15, 19], daß die junge Bruchzerstückelung Süd- und Mitteleuropas, ebenso wie die Fortdauer der tertiären Alpenfaltung, auf der Keilwirkung gewaltiger Schollen der im Niederbruch begriffenen Ostmittelmeerbecken beruht.

Jena, im Herbst 1936.

---

### Literatur.

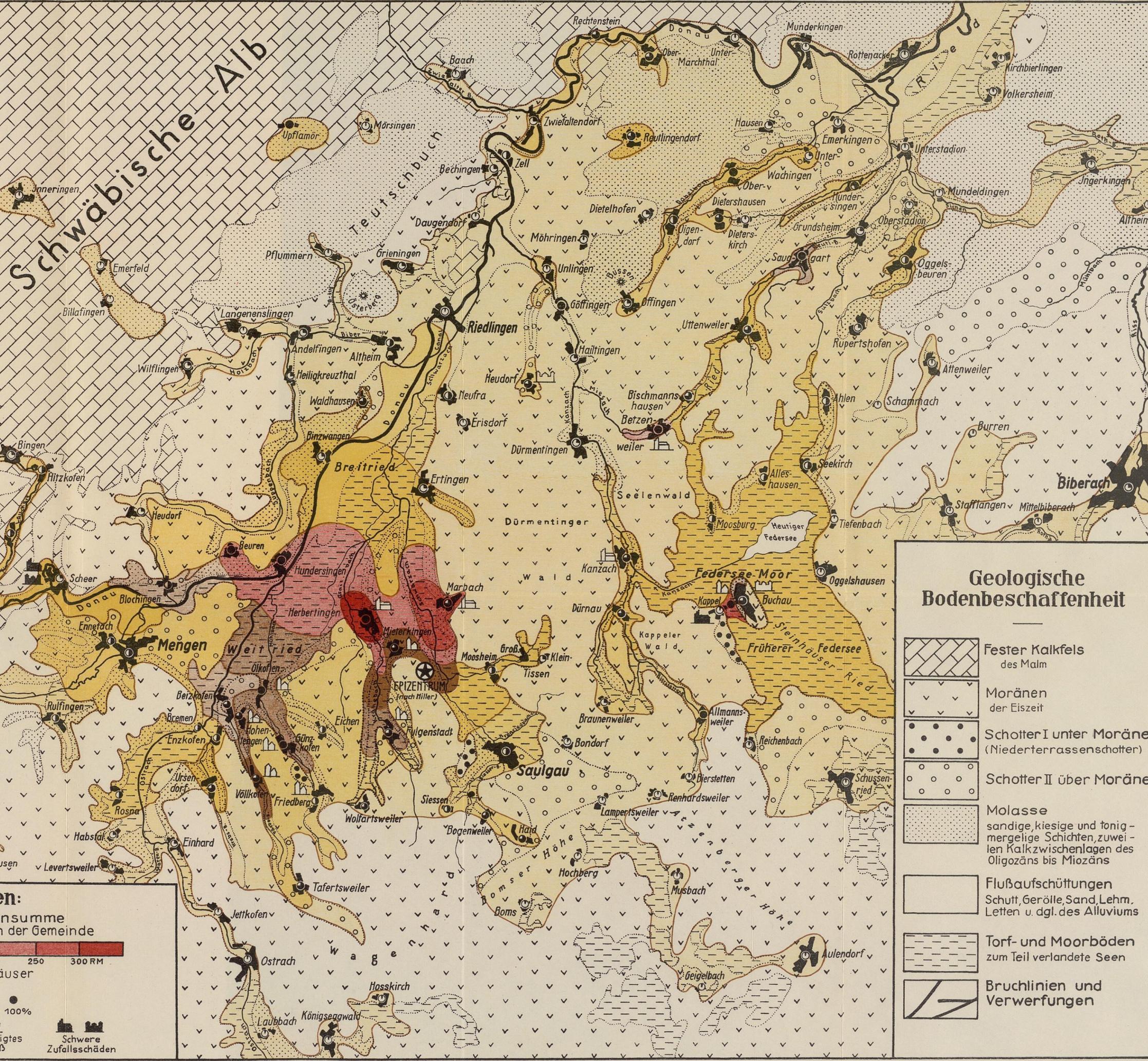
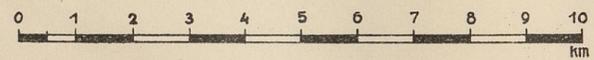
1. BRÄUHÄUSER, M., Geologische Übersichtskarte 1 : 200000 in 4 Blättern. Herausgegeben vom Württ. Statistischen Landesamt, Stuttgart 1931/33.
2. BROMME, T., Atlas zu Alex. v. Humboldts Kosmos. Stuttgart 1851. S. 65 in den Erläuterungen zu Karte 12: Die vulkanischen Erscheinungen der Erdoberfläche, Erdbeben usw.
3. GASSMANN, F., Die makroseismischen Intensitäten der schweizerischen Nahbeben im Zusammenhang mit den Registrierungen in Zürich. Jahresbericht 1925 des Schweizerischen Erdbebendienstes.
4. HILLER, W., Das Oberschwäbische Erdbeben am 27. Juni 1935. Württ. Jahrbücher für Statistik und Landeskunde, Jahrg. 1934/35, Stuttgart 1936.
5. KAISER, E., Über die geologische Bedeutung der neueren Feinmessungen (Präzisions-Nivellements) im Oberbayerischen Alpenvorlande. Sitz.-Ber. Bayer. Akademie d. Wissenschaften, math.-phys. Kl., 1919.
6. KÖHLER, R., und RAMSPECK, A., Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen im Boden. Veröffentlichungen des Instituts der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik a. d. Techn. Hochschule Berlin, Heft 4, 1936.
7. LAIS, R., und SIEBERG, A., Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911 und seine Beziehungen zum geologischen Aufbau Süddeutschlands. Gerlands Beiträge zur Geophysik, XII. Bd., Leipzig 1913.
8. RAMSPECK, A., Praktische Anwendungen (dynamischer Baugrunduntersuchungen). Veröffentlichungen d. Deutsch. Forschungsges. f. Bodenmechanik, Techn. Hochschule Berlin, Heft 4, 1936.
9. REGELMANN, C., Neuzeitliche Schollenverschiebungen der Erdkruste im Bodenseegebiet. Bericht über die 40. Versamml. d. Oberrhein. Geologischen Vereins zu Lindau 1907.
10. — Erdbeben und Herdlinien in Südwestdeutschland. Jahreshefte d. Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, Jahrg. 1907, Stuttgart 1907.
11. — Geologische Übersichtskarte 1 : 600000 von Württemberg und Baden, dem Elsaß, der Pfalz und den weiterhin angrenzenden Gebieten. 8. Auflage, mit Erläuterungen. Stuttgart 1911.
12. SCHMIDT, M., Untersuchung regionaler und lokaler Bodensenkungen im Oberbayerischen Alpenvorland durch Feinnivellement. Sitz.-Ber. Bayer. Akad. d. Wissenschaften, phys.-math. Kl., 1914.
13. — Westwanderung von Hauptdreieckspunkten infolge neuzeitlicher tektonischer Bewegungen im oberbayerischen Alpenvorland. Ebenda, 1920.
14. SIEBERG, A., Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke. Ein Beitrag zur seismologischen Praxis. Gerlands Beiträge zur Geophysik, XI. Bd., Leipzig 1912.
15. — Die Verbreitung der Erdbeben auf Grund neuerer makro- und mikroseismischer Beobachtungen und ihre Bedeutung für Fragen der Tektonik. Veröffentlichungen der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Heft 1, Jena 1922.
16. — und LAIS, R., Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911. Bearbeitung der makroseismischen Beobachtungen. Ebenda, Heft 4, Jena 1925.

17. SIEBERG, A., Ein Beitrag zur Frage der Wirtschaftsgefährdung durch Erdbeben in Deutschland. Ebenda, Heft 23, Leipzig 1934.
18. — Ein Beitrag zur Statik der Erdbeben. Praktika der Akademie Athen, 4. Bd., Athen 1929.
19. — Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeeregebiet. Ergebnisse einer erdbebenkundlichen Orientreise, unternommen im Frühjahr 1928 mit Mitteln der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft. Denkschriften der Medizin.-Naturw. Gesellschaft zu Jena, 18. Bd., Jena 1932.
20. — Erdbebenforschung und ihre Verwertung für Technik, Bergbau und Geologie. Jena 1933.
21. — Über Gebäudeschäden des Oberschwäbischen Erdbebens vom 27. Juni 1935. Dazu Materialsammlung. Bericht vom 12. Juli 1935, auf Grund eigener Untersuchungen im Schadengebiet an Reichswissenschaftsministerium und Deutsche Forschungsgemeinschaft. Als Manuskript gedruckt.
22. — Qualitative Versuche über Erdbebenstöße und ihre zerstörende Wirkung auf Ziegelmauerwerk. Diese Veröffentlichungen, Heft 29, Berlin 1936.

# Das Schadengebiet des Oberschwäbischen Erdbebens vom 27. Juni 1935

Bearbeitet von der Reichsanstalt für Erdbebenforschung  
A. SIEBERG

Maßstab 1:100 000



### Geologische Bodenbeschaffenheit

- Fester Kalkfels des Malm
- Moränen der Eiszeit
- Schotter I unter Moräne (Niederterrassenschotter)
- Schotter II über Moräne
- Molasse sandige, kiesige und tonig-mergelige Schichten, zuweilen Kalkzwischenlagen des Oligozäns bis Miozäns
- Flußaufschüttungen Schutt, Gerölle, Sand, Lehm, Letten u. dgl. des Alluviums
- Torf- und Moorböden zum Teil verlandete Seen
- Bruchlinien und Verwerfungen

### Erdbebenwirkungen:

Spezifische Normalschadensumme Mittel für die Gesamtzahl der Häuser in der Gemeinde

Hundertatz der beschädigten Häuser in der Gemeinde

bis 10 25 50 75 100%

Sonderschäden: schwer beschädigte Kirche, mäßig beschädigtes Schloß, Schwere Zufallsschäden