

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 11^{ης} ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1929

ΠΡΟΕΔΡΙΑ Δ. ΑΙΓΙΝΗΤΟΥ

ΠΡΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ

Προκηρύσσεται ἡ πλήρωσις ἑδρας τακτικοῦ μέλους τῆς Ἱστορίας καὶ τριῶν ἑδρῶν ἀντεπιστελλόντων μελῶν τῆς Ἱστορίας καὶ τῆς Φιλολογίας.

Ὁ κ. Γ. Ἰωακείμογλου ἐκλέγεται τακτικὸν μέλος τῆς Ἀκαδημίας.

Κατὰ τὴν ψηφοφορίαν ὁ κ. Ἰωακείμογλου ἔλαβε 28 ψήφους, 3 δὲ ψῆφοι ἐδόθησαν λευκαί.

ΚΑΤΑΘΕΣΙΣ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Ὁ Γενικὸς Γραμματεὺς καταθέτει τὰ πρὸς τὴν Ἀκαδημίαν ἀποσταλέντα συγγράμματα, τὰ ὅποια ἀναγράφονται εἰς τὸ Βιβλιογραφικὸν Δελτίον.

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ

ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ : Περὶ τοῦ προϋπολογισμοῦ τοῦ Μεγάλου Ἀλεξάνδρου κατὰ τὸ ἔτος τοῦ θανάτου του, ὑπὸ κ. Ἀ. Ἀνδρεάδου.

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΜΗ ΜΕΛΩΝ

ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ. - Ein Beitrag zur Statik der Erdbeben, von H. Aug. Sieberg. Ἀνεκρινώθη ὑπὸ κ. Δ. Αἰγινήτου.

Zur Zeit des Korinther Erdbebens vom 22. April 1928 befand ich mich in der Nähe, auf der Rückkehr von einer erdbeben-geologischen Orient-

reise begriffen. Infolgedessen konnte ich schon drei Tage später das Zerstörungsgebiet besuchen, und zwar gemeinsam mit Prof. Dr. N. A. Critikos, dem Leiter der Athener Erdbebenwarte. Da die Bearbeitung des Korinther Erdbebens Aufgabe griechischer Fachleute ist, beschränkte ich mich lediglich darauf, einen allgemeinen Überblick zu gewinnen über gewisse Beziehungen der Bebenstärken zu den Untergrundverhältnissen. Meine dortigen Beobachtungen (15) bestätigten meine in anderen Gegenden gewonnenen Erfahrungen. Die Vorteile, welche die Lage Korinths unmittelbar am Strande des Korinther Golfes und unweit des Kanaleinganges bietet, lassen den Wunsch begreiflich erscheinen, die Stadt wieder an der gleichen Stelle aufzubauen. Damals hörte man die Ansicht vertreten, eine für Erdbebengebiete zweckmässigere Bauart der Häuser, als die bisherige, würde genügen, bei späteren Erdbeben die Stadt vor grösseren Schäden zu bewahren. Bei der volkswirtschaftlichen Bedeutung dieser Fragen dürfte die nachstehende Untersuchung¹ vielleicht einiges Interesse bieten.

Isoseistenkarten, denen ein dichtes Netz von Beobachtungsorten der Bebenstärke² zu Grunde liegt, die ausserdem nach der Lais-Sieberg'schen Methode (7) jenes Zahlenmaterial genau und unverändert zeichnerisch zum Ausdruck bringen, zeigen fast stets ein sehr kompliziertes Bild. Oft nächst benachbarte Ortschaften, selbst Stadtteile, unterscheiden sich hinsichtlich der Bebenstärken um Skalengrade. Am auffälligsten werden die Stärkenunterschiede dort, wo der Beobachter seine Eindrücke nicht unmittelbar vom Erdboden aus empfängt, sondern erst durch Vermittlung eines Gebäudes; namentlich gilt dies für Beschädigungen und Zerstörungen von Bauwerken. Hierfür müssen zum Vergleich allerdings Gebäude von gleichwertiger Bauweise herangezogen werden. Denn selbstverständlich haben nachlässig errichtete eine geringere Widerstandsfähigkeit gegen Erderschütterungen gleicher Stärke als Gebäude mit sorgfältiger und zweckentsprechender Ausführung.

¹ Die Untersuchung gehört zu den mit Unterstützung der *Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft* unternommenen Arbeiten des Verfassers.

² Für derartige Untersuchungen ist es ganz gleichgültig, ob die Bebenstärken instrumentell gemessen oder nach irgend einer empirischen Skala geschätzt werden. Vorausgesetzt braucht nur zu werden, dass die benutzte Skala erlaubt, genügende Unterschiede der Bebenstärken innerhalb zulässiger Fehlergrenzen festzustellen. Gegenüber diesen *Relativwerten*, die ihre Brauchbarkeit in der Praxis erwiesen haben, sind die jetzt viel umstrittenen *Absolutwerte* für unseren Fall bloss von akademischer Bedeutung.

Bei näherem Zusehen ergeben sich im Isoleistenbilde für auffällige Kontraste lokaler Art zwei Ursachen. Zunächst werden bestimmte *Gesteine* stärker erschüttert als andere. Ausserdem verstärken manche *Brüche* und *Verwerfungen* in der Erdrinde die Erdbebenschwingungen. Beide Faktoren beeinflussen, nebenbei bemerkt, auch die seismometrischen Messungen sehr erheblich. Zusammenfassendes über den früheren Stand dieser Fragen findet sich in (13), (14) und (16).

A. EINFLUSS DER GESTEINSBESCHAFFENHEIT.

Dass die Gefährdung von Gebäuden durch Erdbeben von der Beschaffenheit des Untergrundes in weitgehendem Masse bestimmt wird, ist eine alte Erfahrungstatsache. Klar ausgesprochen wurde sie schon 1851 im Begleittext von Brommes (3) Atlas zu A. v. Humboldts Kosmos. Wertvolle Einzelbeobachtungen dieser Art finden sich zerstreut in der späteren Erdbebenliteratur, beispielsweise bei Julius Schmidt (10), dem damaligen Direktor der Athener Sternwarte, ganz überraschend ausführlich in einer Untersuchung des Athener Geologieprofessors Theodor G. Skuphos (17) über die beiden Lokrisbeben des Jahres 1894, bei deutschen und österreichischen Geologen, sowie in mehreren Arbeiten von M. Baratta und G. Mercalli. Das Studium des Messina-Bebens (11) (12) von 1908 an Ort und Stelle lenkte auch mich auf diese Beziehungen hin. Sie habe ich seitdem in Erdbebengebieten verschiedener Klimate mit steigendem Interesse verfolgt, so auch auf meiner letzten Orientreise während des Frühjahres 1928. Im Laufe der Zeit hat sich ein recht umfangreiches Beobachtungsmaterial angesammelt. Da meines Wissens eine zusammenfassende und theoretische Behandlung dieser Fragen noch nicht vorliegt, sei sie nachstehend versucht auf Grund des mir zugänglichen älteren Beobachtungsmaterials und vor allem meiner eigenen Erfahrungen.

1. Geologisches. Bei der Durchsicht des Beobachtungsmaterials ergibt sich ganz ungezwungen die Zusammenfassung aller Gesteine in zwei Gruppen, die als seismisch *ungefährliche* und als *gefährliche Gesteine* bezeichnet werden mögen. Die Erfahrung lehrt weiter, dass die *gewachsenen Gesteine*, d. s. die fest und unzersetzt an der Erdoberfläche zutage liegenden, ungefährlich sind, während ihre *Zerfallsprodukte*, die *lockeren Böden*, zu den gefährlichen gehören. Die häufig zu hörende Ansicht, die Gesteinsgefährlichkeit nehme mit dem geologischen Alter ab, hat bloss

insofern Berechtigung, als feste Gesteine in den älteren geologischen Formationen vorzuherrschen pflegen, lockere Böden aber in den jungen und jüngsten. Rein treten die nachstehend zu besprechenden Erscheinungen bloss in *Flachland* auf; an *Hängen* komplizieren sie sich, und zwar meistens derart, dass die Gefährlichkeit ganz erheblich zunimmt.

Es wäre in den meisten Fällen verfehlt, die seismische Gefährlichkeit einer Gegend bloss auf Grund des Studiums *geologischer Karten* erklären zu wollen. Denn diese geben nur selten einmal an, wo und in welcher Art das feste Gestein auf Erdoberfläche frei zutage tritt, wo es mit seinem eigenen oder mit anderem Schutt überdeckt ist. Beispielsweise steht der weit verbreitete Granit in gesundem Zustande hinsichtlich der Gefährlosigkeit obenan; aber er verwittert gerne tiefgründig zu Grus und rückt dann in die Gefahrenklassen. Neben der Beschaffenheit lassen sich auch Mächtigkeit, Lagerungsform und Wasserführung, die die Gefährlichkeit stark beeinflussen, nicht genügend aus der Karte ersehen, ebenso wenig wie manche kleine, aber seismisch wichtige Gesteins- oder Schutt-Vorkommen. Schon deshalb sind Untersuchungen im Gelände für den Erdbebenforscher ebenso unerlässlich wie für den Geologen.

a) Die Gefährlichkeit der Lockerböden wächst aus Gründen, die wir weiterhin näher kennenlernen werden, mit der Grösse und Eckigkeit der Gesteinstrümmen, sowie mit der Durchwässerung des Bodens; sie nimmt ab, sobald die optimale Mächtigkeit des Lockerbodens erheblich überschritten wird. Tonböden und dergl. können in der trockenen Jahreszeit recht ungefährlich sein; sie werden aber sehr gefährlich nach Regenfällen, wo sie erweichen und Gebäude einsinken oder abrutschen lassen. Unter den stets gefährlichen Böden sei der Schutt alter Siedlungen, auf dem neue errichtet worden sind, ganz besonders hervorgehoben.

Als Mass für die Gefährlichkeit hat H. F. Reid die *Untergrundskoeffizienten* eingeführt. Diese geben an, wieviel mal kräftiger die grösste Beschleunigung von Erdbeben in dem betreffenden Gestein ist als in Gestein von normaler Ungefährlichkeit. Berechnungen von Untergrundskoeffizienten liegen vor von Reid (9), Tams (18) und Sieberg (13), (16).

Alles, was mir über die Gefährlichkeit von Lockerböden bekannt geworden ist, habe ich in Tab. I. zusammengedrängt und dabei vier Gefahrenklassen in aufsteigender Reihe unterschieden.

TABELLE I.— SEISMISCHE GEFAHRENKLASSEN DER LOCKERBÖDEN.

Klasse	BÖDEN	Untergrunds- koeffizienten	ERLÄUTERUNGEN
1	Alluvionen, Geschiebe, Sande, Grus, verlandete Seen, Torfböden	3 6	Gefährlichkeit steigend mit der Durchwässerung.
2	Tonböden, Mergel, Löss, Lehme, Geschiebelehme	2 10	In trockenem, kompakten Zustande wenig gefährlich. In trockenem, aber rissigem oder bröckeligem Zustande gefährlich. Bei durchnässung sehr gefährlich steigend mit Zunahme der Plastizität oder gar Breiigkeit. Tone und Mergel können auch als oberflächennahe Einlagerungen zwischen dünnen Gesteinsplatten gefährlich werden.
3	Schutt, natürlicher und Bauschutt	5 12	Sehr gefährlich, und zwar umso mehr, je grösser die eckigen Blöcke und damit die Zwischenräume sind, die entsprechendes Zusammensacken ermöglichen.
4	Marsch- und Moorböden	8 16	Stets äusserst gefährlich wegen der Nachgiebigkeit.

b) Die Ungefährlichkeit der gewachsenen Gesteine bleibt selbstverständlich bloss auf jene Stellen beschränkt, wo sie so gut wie nackt anstehen. Hier haben alle Gesteine praktisch als gleichwertig zu gelten, trotz ihrer recht bedeutenden Festigkeitsunterschiede, die etwa folgende Anordnung in absteigender Reihe ergäben: Eruptiva, Gneise, Kalksteine, Dolomite, Quarzite, Sandsteine, Brekzien, Konglomerate, Glimmerschiefer, Tonschiefer, Tuffe.

Sobald sich aber die Gesteine an der Oberfläche zersetzen, liefern sie Lockerböden von verschiedener Gefährlichkeit. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, verändert sich das Bild. Als ungefährlich ohne Einschränkung können bloss Quarzite, Kieselschiefer, Marmore sowie massige Kalk- und Dolomitgesteine gelten, während alle übrigen durch Zerfall in die beiden untersten Gefahrenklassen aufzurücken vermögen. Schlottenreiche, d. s. von Hohlräumen durchzogene Kalke, sowie dünne, mit Tonen oder Letten wechsellagernde Kalksteinbänkchen sind stets gefährlich. Weitere Einzelheiten ergeben sich aus Tab. II, die die Gesteine nach der Gefährlichkeit ihrer Verwitterungsböden in vier Gruppen zusammenfasst,

TABELLE II.— VERWITTERUNGSBÖDEN VON GESTEINEN.

Gruppe	GESTEINE	VERWITTERUNGSBÖDEN	Seismische Gefahrenklasse
1	Quarzite, Kieselschiefer, massige Kalksteine, Marmor, Dolomite	Äusserst wenig Verwitterungsböden. Die Kieselgesteine verwittern sehr schwer; reiner Kalk hinterlässt keinen Rückstand, unreiner bloss die Beimengungen, und Dolomit den Grus aus Bitterspatkristallen.	Ungefährlich
2	Sandsteine, Brekzien, Konglomerate	Looser Sand mit mehr oder minder zahlreichen Gesteinsbrocken.	1
3	Granite, Gneise, Quarzporphyre, Trachyte, Diabase	Grus aus Mineralkörnern, beim Quarzporphyr mehr grobsandig, beim Diabas mehr lehmig. Letzterer verwittert überaus leicht. Bei den weit verbreiteten Graniten reicht die Verwitterung oft sehr tief, von den Klüften mit Zermürbung ausgehend; wird der Grus fortgeschwemmt, dann bleibt ein Blockmeer übrig.	1
4	Basalte, Phonolithe, Grauwacken, Tonschiefer, Tuffe	Lehm- und Tonböden, bei Tonschiefern tiefgründig.	2

2. **Physikalisches.** Nicht nur die feste, felsige Gesteinsunterlage, sondern auch die Lockermassen im Hangenden sind elastische Medien, weil sie sowohl Longitudinal- als auch Transversalwellen durchlassen.

Die *wahre Erdbebenstärke*, die der geometrischen Theorie der Wellenausbreitung entsprechen würde, gelangt, streng genommen, nirgends an der Erdoberfläche zur Beobachtung wegen der Amplitudenschwächungen infolge von Brechungen oder Reflexionen an Schichtflächen, sowie wegen der Absorption. Jedoch dürfte der Fehler in erträglichen Grenzen bleiben, wenn man die in den Ausbissen nackten Felsgesteins an der Erdoberfläche beobachteten Erdbebenstärken als die wahren gelten lässt.

Ganz anders liegen die Verhältnisse an der Oberfläche der mit Lockermassen erfüllten Wannen im festen Felsgerüst der Erdrinde. Die hier beobachteten Erdbebenstärken sind zu den *scheinbaren* geworden, die sich von den wahren oft um ein Vielfaches unterscheiden. Meistens sind die scheinbaren grösser, mitunter auch kleiner als die wahren. Zwei verschiedene Gruppen von Vorgängen bilden hierfür die Ursache, elastische und gravitationale.

So sehen wir denn beim einpoligen, seismischen Kraftfeld, dass dem *Normalfelde* der Tiefe ein *Störungsfeld* nahe der Erdoberfläche überlagert ist. In letzterem erleiden die Erdbebenstärken weitgehende und zum Teil folgenschwere Umwandlungen, meistens durch Zusatzenergien.

a) Die elastischen Amplitudenänderungen. Entgegen der weit verbreiteten Ansicht sind es nicht die Oberflächenwellen, sondern die *Raumwellen*, die die *makrossismischen Erscheinungen hervorgerufen*. Denn die Beschleunigungen der langperiodischen Oberflächenwellen stehen sehr erheblich hinter denjenigen der kurzperiodischen Raumwellen zurück. Durch die Longitudinalwellen werden elastische Stösse von unten ausgeübt, wodurch sich für lose mit dem Boden verbundene Gegenstände die auf Reibung beruhenden Verbindungen lösen können; z. B. stürzen Möbel um, oder Dachziegel fallen herunter. Aber für eigentliche Beschädigung von Gebäuden kommen hauptsächlich die Transversalwellen in Frage; denn sie verursachen das horizontale Rütteln, das Konstruktionsteile lockert oder auseinander reisst.

Beim Übertritt von Erdbebenwellen aus dem festen Felsgestein in Lockermassen geraten die letzteren in Eigenschwingungen, wobei Resonanzen die Amplituden und somit auch die Beschleunigungen vergrößern. Da oft schon in kurzen Abständen das Gesteinsmaterial grosse Unterschiede in der Elastizität aufweist, sind dann die Schwingungen benachbarter Punkte verschieden stark. Solche Ungleichheiten der Schwingungen im Untergrund von *Bauwerken* wirken sich an letzteren erheblich kräftiger aus als die Vergrößerung der Bebenstärke für sich.

Die Mächtigkeit der Lockermassen keilt gegen den Wannenrand aus. Da die Amplitude der Schwingungen näherungsweise umgekehrt proportional der schwingenden Masse sein dürfte, wachsen mit der Annäherung an den Rand die Bebenstärken. Dem entspricht die Erfahrung, dass die Bebenstärken dort besonders gross sind, wo Lockermassen in *dünnere Schicht* dem Felsgestein auflagern. Das Vorkommen von Schwingungsknoten und -Bäuchen, wie sie der zwar gerne gebrauchte, aber recht anfechtbare Vergleich mit *Chladnischen* Klangfiguren voraussetzen würde, ist in Isoseistenkarten noch nicht nachgewiesen worden.

Bei *grosser Mächtigkeit* der Lockermassen im Beckeninnern wird das Sinken der Amplitude noch verstärkt durch die Zunahme der inneren Reibung infolge des Belastungsdruckes.

Während *Durchwässerung* bei festem Gestein die Leitfähigkeit herabsetzt, vergrössert sie die Leitfähigkeit bei Lockermassen. In stark wasserführenden, also jetzt dichter gewordenen Lockermassen nehmen zwar die Amplituden ab, aber nach Erfahrungen der Seismik anscheinend auch die Perioden, so dass die Beschleunigungen wachsen könnten. Hierdurch würde die bekannte Tatsache, dass sich die Erdbebenstärken in Lockermassen mit der Durchwässerung erhöhen, ihre Erklärung finden.

b) Die gravitationalen Massenverlagerungen. In *körnigen Lockermassen* befinden sich zwischen den einzelnen Gesteinstrümmern Hohlräume. Die Reibungen an den Berührungspunkten übersteigen die Schwerkraft, aber das Gleichgewicht ist bloss ein labiles.

Werden in diesem System durch Erschütterungen, also auch durch Erdbebenwellen, Reibungen so weit vermindert, dass die Schwerkraft überwiegt, dann sackt ein entsprechender Teil der Lockermasse zusammen, die Gesteinsbrocken rücken enger aneinander, die Oberfläche senkt sich. Die überhaupt mögliche engste Packung der ganzen Lockermasse würde das Erreichen des stabilen Gleichgewichtes bedeuten.

Das Sacken der Lockermassen bedingt die Umwandlung von potentiellen Energien der Lage in kinetische, also eine Vergrösserung der Bebenstärke. Je grösser und eckiger die Gesteinstrümmen und je lockerer die Packungen sind, desto höhere kinetische Energien können erzielt werden, desto erheblicher werden aber auch Schwund und Oberflächensenkung. Den örtlichen Verschiedenheiten im Sacken entsprechen Unterschiede der Bebenstärken.

Für *Gebäude* folgenschwerer als die Bebenstärken sind die ungleichen Beanspruchungen verschiedener Gebäudeteile durch unregelmässiges Sacken, wodurch die Zerstörung gefördert wird.

Nasse Schlammböden weichen gegebenenfalls aus, vor allem dann, wenn etwa durch die Geländeform seitliche Ausweichmöglichkeit gegeben ist. Die Folge ist Schiefstellung von *Gebäuden* mit nach Grösse und Richtung veränderten Spannungen, die von den Konstruktionsteilen nicht mehr schadlos aufgenommen werden können.

Ganz besonders gefährlich sind *Hanglagen*, weil hier leicht Rutschungen eintreten und Bodenspalten aufreissen, was ausserdem recht ungleichmässig vor sich geht.

Alle Entwürfe für erdbebensichere Gebäude können bloss den Wirkungen

der elastischen Wellen Rechnung tragen, nicht aber den meistens viel folgenschwereeren gravitationalen Umlagerungen im Untergrund.

B. EINFLUSS VON BRÜCHEN UND VERWERFUNGEN.

Gegen 1896 wollte G. Gerland (5) den Seismischen Schatten erklären durch die ältesten, tiefgehenden Brüche der Erdrinde, an denen die Bewegungen aufhören sollten. Im Ausbau dieses Gedankens versuchte W. Deecke (4), aus Seismischen Schatten Schlüsse auf die Tiefenunterschiede von Einzelbrüchen in einem Sprungsystem zu ziehen. Soweit sich bis jetzt beurteilen lässt, dürfte diese Erklärungsweise nicht zutreffen. Vor allem in den recht häufigen Fällen, dass die Grenzisoseiste eines Schüttergebietes stellenweise mit Verwerfungen zusammenfällt, handelt es sich um Erhöhung der Bebenstärke auf den Randbrüchen, die genügt, noch einmal für den Menschen fühlbare Wirkungen hervorzurufen.

Schon alt ist die Erfahrung, dass auf Brüchen und Verwerfungen namentlich auf den Kreuzungspunkten von solchen, höhere Bebenstärken zu beobachten sind als in der Nachbarschaft. W. H. Hobbs (6) hat diesen Gedanken in ein neues Gewand gekleidet und dabei überspannt; seine Theorie der Seismotektonischen Linien vermochte nicht, sich durchzusetzen, zumal die tatsächlichen Beobachtungen gegen ihn sprechen. Jedenfalls aber lassen neuere, unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten Grundsätze ins Einzelne gehende Isoleistenkarten, enge Beziehungen der Bebenstärken zur Bruchtektonik mit grosser Schärfe hervortreten; denn manche Verwerfungen zeigen teils in ihrer ganzen Länge, teils auch bloss streckenweise höhere Bebenstärken. Auf Grund ihrer Erfahrungen konnten sowohl Lais als auch Sieberg aus Isoleistenkarten manche noch unbekannt Verwerfungen herauslesen, die später durch geologische Kartierungen nachgewiesen worden sind.

Die bisherige Erklärung für das Ansprechen von Brüchen, die Lais und Sieberg gegeben hatten, war eine dynamische. Jedoch liessen mit der Zeit verschärfte Beobachtungen erkennen, dass diese Erklärungsweise nicht auf alle Fälle anwendbar ist, sondern dass auch statische Ursachen für Intensitätssteigerungen auf Verwerfungen vorkommen müssen. Diese glaube ich ebenfalls gefunden zu haben.

1. Dynamische Ursache.— In besonders labilen Verwerfungen können auftreffende Erdbebenwellen unter Umständen Spannungen vorzeitig

zur Reife und Auslösung bringen. Die so gewonnene kinetische Zusatzenergie erhöht vor allem die örtliche, daneben aber auch die regionale Bebenstärke. Denn jetzt ist die Verwerfung gewissermassen zu einem sekundären Erdbebenherd geworden, der bei Randlage im normalen Schüttergebiet dessen Grenziseiste entsprechend weit nach aussen vorschiebt. Überzeugende Beispiele hierfür lassen sich zur Genüge nachweisen. Jedoch dürfen in solchen Fällen die auf der Verwerfung ausgelösten Erschütterungen nicht etwa als Relaisbeben aufgefasst werden, weil der sekundäre Herd innerhalb des vom Hauptherd bedingten, ursprünglichen Schüttergebietes liegt.

Selbstverständlich hätte es keinen Sinn, bei dynamisch beanspruchten Verwerfungen nach Untergrundkoeffizienten zu suchen. Denn die Verwerfung kann und wird sich bei jedem Erdbeben anders verhalten, häufig sogar stabil bleiben.

2. Statische Ursache.— Mit ihr hat man meistens dort zu rechnen, wo die Steigerung der Bebenstärke auf die engste Umgebung der Verwerfung beschränkt bleibt. In solchen Fällen wird man die beiden Spaltenwände als freie Flächen auffassen dürfen, die infolge des fehlenden Widerstandes gegen die Kluft mit grösseren Amplituden schwingen als die kompakte Gesteinsmasse. Die Ausbisse der Spalte an oder nahe der Erdoberfläche werden aus dem gleichen Grunde ebenfalls höhere Bebenstärken aufweisen als die Nachbargebiete.

Ausfüllung der Spalte wirkt verschieden. Loser Schutt kann nach dem früher Gesagten die Amplituden sowohl vergrössern als auch herabsetzen, wobei die häufig anzutreffende reichliche Wasserführung die Beschleunigungen wachsen lässt. Je mehr die Verwerfung durch Reibungsbreuzien oder erstarrte Euruptiva verheilt, desto geringer, bis zum Nullwert, werden die Zusatzbeschleunigungen.

Für statisch beeinflusste Verwerfungen lokale Untergrundkoeffizienten ermitteln zu wollen, wäre vielleicht nicht ganz aussichtslos, ist aber bis jetzt noch nicht versucht worden.

C. ZUR FRAGE DER ERDBEBENSICHERHEIT VON BAUWERKEN.

Nachlässig errichtete Gebäude, aus schlechtem und ungenügend verbundenem Material, fallen selbstverständlich schon geringeren Erdbebenstärken zum Opfer als solide Gebäude normaler Bauweise. Die Wider-

standsfähigkeit von Bauwerken gegen die *Erdbebenschwingungen* an sich lässt sich erhöhen durch Konstruktionen, welche die auftretenden Zusatzkräfte nach Grösse und Richtung schadlos aufzunehmen vermögen; besonders übersichtlich ist die Darstellung dieser Probleme durch R. Briske (1), (2). Sämtliche als erdbebensicher bezeichneten Bauweisen wollen die mutmasslich grössten Erdbebenbeschleunigungen in waagrechter Richtung durch die Seitensteifigkeit der Bauwerke unschädlich machen. Es werden also lediglich die *elastischen Erdbebenschwingungen* berücksichtigt und in Rechnung gestellt. Die Erdbebensicherheit derartiger Bauwerke kann unter der Voraussetzung, dass gewachsenes und gesundes Felsgestein das Fundament aufnimmt, sogar den allerschwersten Erdbeben gegenüber eine vollkommene sein.

Ganz anders aber liegen die Verhältnisse in den gefährlichen *Lockerböden*, wenn man von dem seltenen Sonderfall absieht, dass ein klotziges Betonfundament auf Pfahlrost hohe Standfestigkeit gewährleistet. Schon unter der günstigsten Annahme ebenen Geländes können erfahrungsgemäss die *gravitationalen Massenverlagerungen* der Gesteinstrümmen, also Sackungen und Senkungen, deren Beträge den Erdbebenstärken keineswegs parallel gehen, höchst zerstörend wirken. Zumal wird das der Fall sein bei ungleichmässiger Beanspruchung einzelner Gebäudeteile. Hierauf nehmen die erdbebensicheren Bauweisen keine Rücksicht. Sie können es auch nicht, weil sich eben Art und Betrag der zu erwartenden Massenverlagerung kaum beurteilen, ganz bestimmt aber nicht zahlenmässig in Rechnung stellen lassen. Beim Schiefstellen von Gebäuden, etwa in nachgiebigen Ton- und Moorböden, erleiden ausserdem die Krafrichtungen Änderungen, so dass die Zusatzkräfte von den Konstruktionsteilen nicht mehr unschädlich aufgenommen werden können. Hanglagen mit ihren unberechenbaren Folgeerscheinungen, gegen die auch nach Briske jedes menschliche Können machtlos ist, sollen unberücksichtigt bleiben.

Unter diesen Umständen *kann es gerade für die nach Beschaffenheit und äusseren Umständen gefährlichsten unter den Lockerböden keine erdbebensicheren Bauweisen geben*. Zwar ist ohne weiteres zu erwarten, dass erdbebensicher konstruierte Bauwerke auch in Lockerböden manches Erdbeben besser überstehen als normale Gebäude. Aber ob sich vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus die sicherlich nicht unbeträchtlichen Mehrausgaben für eine allgemeine Durchführung von erdbebensicherer

Bauausführung lohnen, die im Grunde genommen keine Sicherheit gewährleistet, bleibt eine andere Frage.

D. ÜBER DIE MÖGLICHKEIT DER VERRINGERUNG VON ERDBEBENSCHÄDEN.

Ohne Zweifel lassen sich durch geeignete vorbeugende Massnahmen die von schweren Erdbeben hervorgerufenen wirtschaftlichen Schäden sehr häufig auf ein erträgliches Mindestmass beschränken, und zwar ohne Aufwendung von aussergewöhnlichen Mitteln. Dazu ist in erster Linie erforderlich, bei der Aufstellung von städtischen Bebauungsplänen oder bei der Planung von Ingenieurbauten in Erdbebengebieten neben den Herdlagen¹ die Untergrundsverhältnisse, einerseits Gesteinsbeschaffenheit und Tektonik, andererseits die Geländegestaltung sachgemäss zu berücksichtigen. Dann wird sich schon die Möglichkeit finden, die gefährlichsten Baugründe zu meiden, minder gefährlichen den Vorzug zu geben und Brüchen wie Verwerfungen fern zu bleiben; zumal dann, wenn letztere sich schon in Isoleistenkarten früherer Erdbeben herausgehoben haben.

Durch sinngemässe Anwendung der im ersten und zweiten Abschnitt besprochenen Erfahrungstatsachen auf örtliche Bodenuntersuchungen lassen sich Karten der Erdbebengefährlichkeit entwerfen, die für die Erschliessung namentlich wirtschaftlich wichtiger Gebiete von grosser Bedeutung zu werden versprechen. Erhöht wird Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit derartiger Karten, wenn für dass Untersuchungsgebiet hinlänglich genaue Isoleistenkarten von früheren Erdbeben mit verwertet werden können. Für die hierbei anzuwendenden Arbeitsmethoden hat mein Schüler F. Nennstiel (8) einen beachtenswerten Beitrag geliefert.

Selbstverständlich muss ebenso dringend eine zweckmässige Bauweise gefordert werden. Glücklicherweise genügen erfahrungsgemäss manchmal schon verhältnismässig einfache Mittel, um bei konsequenter Anwendung recht widerstandsfähige Gebäude zu erzielen. Infolgedessen wird man wohl in den meisten Fällen kostspielige erdbebensichere Bauweisen bloss lebenswichtigen Zweckbauten vorbehalten dürfen. Auch für diese Fragen sind die örtlichen und regionalen Besonderheiten ausschlaggebend.

(Abgeschlossen Ende Januar 1929).

¹ Um die Tätigkeit der einzelnen Erdbebenherde zu kennzeichnen und leicht zu überblickende Vergleiche zu ermöglichen, habe ich *Charakterklassen der Erdbebenherde* aufgestellt (13) (14). Diese haben sich in der Praxis bewährt.

L I T E R A T U R

1. R. BRISKE, Die Erdbebensicherheit von Bauwerken. *Die Bautechnik*, 1927.
2. — — Gemeinschaftliche Arbeit zwischen Seismologen und Baufachmann zur Verringerung von Erdbebenschäden., *Zeitschr. f. Geophysik*, 4, 1928.
3. TRAUGOTT BROMME, Atlas zu Alex. v. Humboldts Kosmos, Stuttgart, 1851.
4. W. DEBECKE, Einige Bemerkungen zu den Beben im badischen Oberlande. *Mitt. d. Bad. Landesver. f. Naturkunde*, 1909.
5. G. GERLAND, Das südwestdeutsche Erdbeben vom 22. Januar 1896. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde in Berlin*, 31, 1896.
6. W. H. HOBBS, On some principles of seismic geology. *Gerlands Beitr. zur Geophysik*, 8, 1907.
7. R. LAIS U. A. SIEBERG, Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911 und seine Beziehungen zum geologischen Aufbau Süddeutschlands. *Ebenda*, 12, 1912.
8. F. NENNSTIEL, Entstehung und Ausbreitung deutscher Erdbeben in ihrer Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen. Inaugural-Dissertation, Jena, 1928, im Druck.
9. H. F. REID, The foundation coefficient., *Rep. of the State Earthquake Inv. Comm.*, 2, Washington D. C., 1912.
10. J. F. JULIUS SCHMIDT, Studien über Vulkane und Erdbeben, Leipzig, 1881.
11. A. SIEBERG, Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke. *Gerlands Beitr. z. Geophysik*, 11, 1912.
12. — — Catastrophe sismique de Calabre et de Sicile, 28 décembre 1908. Monographie in des Verfassers Catalogue régional des tremblements de terre récents pendant l'année 1908. *Publ. d. Bureau Central de l'Association Internationale de Sismologie*, Série B. Catalogues, Strassburg i. Els, 1917.
13. — — Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde, Jena, 1923.
14. — — Geologische Einführung in die Geophysik, Jena, 1927.
15. — — Das Korinther Erdbeben vom 22. April 1928 in seinen Beziehungen zu den Erdbeben und dem geologischen Aufbau des östlichen Mittelmeergebietes. *Jenaische Zeitschr. f. Naturwissenschaft, N. F.*, 57, 1928.
16. A. SIEBERG U. R. LAIS, Das mitteleuropäische Erdbeben vom 16. November 1911, Bearbeitung, der makroseismischen Beobachtungen, *Veröffentlichung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena*, herausgegeben von O. Hecker, Heft 4, 1925.
17. THEODOR G. SKUPHOS, Die zwei grossen Erdbeben in Lokris am 8./20. und 15./27. April 1894, *Zeitschr. f. Ges. f. Erdkunde*, Berlin, 30, 1895.
18. E. TAMS, Über die Intensitätsverhältnisse in den Schüttergebieten starker Erdbeben. *Geographische Zeitschr.* 22, 1916.

Ὁ κ. Κτενᾶς παρατηρεῖ τὰ ἑξῆς: Ἡ μελέτη τοῦ κ. Sieberg, ἐνδιαφέρουσα ὡς πρὸς τὴν θεωρητικὴν κατάταξιν τῶν ἐδαφῶν ἀπὸ ἀπόψεως σεισμικῆς, δὲν δύναται νὰ ἔχη πάντοτε πρακτικὴν ἐφαρμογὴν. Ὁ συντελεστῆς, τὸν ὁποῖον εἰσήγαγεν ὁ κ. Reid, δύναται βεβαίως νὰ ληφθῆ ὑπ' ὄψιν διὰ τὴν ἀντιπαραβολὴν πετρωμάτων, τὰ ὁποῖα εὐρίσκονται ἄλλως ὑπὸ τὰς ἰδίας τεκτονικὰς συνθήκας. Εἰς περιοχὰς ὅμως ὅπου, ὡς π. χ. εἰς τὴν Κόρινθον, ὠρισμένοι ζῶναι διαυλακοῦνται εἰς ἕκαστον σχεδὸν βῆμα ὑπὸ ρηγμάτων καὶ μεταπτώσεων, αἱ συνθήκαι ὡς πρὸς τὴν στερεότητα τοῦ ἐδάφους εἶναι ἐντελῶς διαφορετικαί. Συμφωνῶ ὡς ἐκ τούτου μὲ τὰς παρατηρήσεις, τὰς ὁποίας ἐπέφερον ὁ ἀξιότιμος πρόεδρος κ. Αἰγινήτης παρουσιάζων τὴν ἀνακοίνωσιν τοῦ κ. Sieberg. Ἐνεκα τῶν ἐιδικῶν αὐτῶν λόγων ἢ ἐπιτροπὴ ἢ ὀρισθεῖσα ὑπὸ τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν (ἴδε σχετικῶς καὶ τὰς παρατηρήσεις μου τὰς γενομένας κατὰ τὴν συνεδρίαν τῆς 3ης Μαΐου 1928 τῆς Ἀκαδημίας), ὅσον καὶ ἢ ἐπιτροπὴ εἰς τὴν ὁποίαν ἀνετέθη ὑπὸ τῆς Κυβερνήσεως νὰ μελετήσῃ τὸ ἴδιον ζήτημα, ἀπεφάνθησαν ὁμοφώνως, ὅπως ἢ πόλις τῆς Κορίνθου ἀνοικοδομηθῆ εἰς τὴν ἰδίαν περιοχὴν, ἀρκεῖ νὰ ληφθοῦν κατὰ τὴν ἀνοικοδόμησιν τῆς πόλεως ὅλα τὰ ἐνδεικνύμενα ἀντισεισμικὰ μέτρα.

ΦΥΣΙΚΗ. — Προσδιορισμὸς τοῦ συντελεστοῦ μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος παραμαγνητικῶν τινῶν ἀλάτων ἐκ τῶν ἐν ἀπολύτῳ ἀλκοόλῃ διαλυμάτων αὐτῶν*, ὑπὸ κ. Μιχαὴλ Α. Ἀναστασιάδου. Ἀνεκοινώθη ὑπὸ κ. Κ. Μαλτέζου.

Εἰς προηγουμένην ἐργασίαν¹ προσδιωρίσθησαν αἱ συντελεσταὶ μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος σειρᾶς ὅλης παραμαγνητικῶν ἀλάτων ἐκ τῶν ἐν ὕδατι διαλυμάτων αὐτῶν. Ἦδη ἐπεχειρήθη ὁ προσδιορισμὸς τῶν συντελεστῶν μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος τῶν ἀλάτων CoCl_2 , NiCl_2 , CuCl_2 ἐκ τῶν ἐν ἀπολύτῳ ἀλκοόλῃ διαλυμάτων αὐτῶν.

Μέθοδος. — Ἡ χρησιμοποιηθεῖσα μέθοδος εἶναι ἢ ὑπὸ τοῦ κ. Ἀθανασιάδου ὑποδειχθεῖσα μέθοδος τοῦ σταγονομέτρου². Τὴν μέθοδον ταύτην προετιμήσαμεν τῶν ἄλλων διότι, ὡς ἐπανειλημμένως κατεδείχθη, δὲν ὕστερεῖ τῶν λοιπῶν ἐν χρήσει μεθόδων ὡς πρὸς τὴν ἀκρίβειαν, πλεονεκτεῖ δὲ ὡς πρὸς τὴν εὐχέρειαν καὶ ἀπλότητα τῶν διατάξεων. Λόγῳ τῆς χρησιμοποιήσεως ὡς διαλυτικοῦ μέσου τῆς

* M. ANASTASSIADIS. — Détermination du coefficient de susceptibilité magnétique des quelques sels paramagnétiques en solutions alcooliques.

Ἐκ τοῦ Ἐργαστηρίου Φυσικῆς τοῦ Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν.

¹ G. ATHANASSIADIS et M. ANASTASSIADIS. *Bulletin International de l'Académie des Sciences de Bohême*, 1927.

² *Ann. d. Physik*, 66, 5, 1921, σ. 415.