Vorschläge für die Klassifizierung des Baugrundes auf Grund von Schwingungsmessungen

Autor(en): **Müller, Paul**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-727

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

VORSCHLÄGE FÜR DIE KLASSIFIZIERUNG DES BAUGRUNDES AUF GRUND VON SCHWINGUNGSMESSUNGEN

PROPOSITIONS POUR LE CLASSEMENT DES TERRAINS AU MOYEN DE MESURES DYNAMIQUES

SUGGESTION FOR CLASSIFYING BUILDING GROUND BY THE MEASUREMENT OF VIBRATIONS

Dr. Ing. PAUL MÜLLER,
Düsseldorf.

Da der Baugrund den letzten Träger der Konstruktion bildet, dürfen dynamische Einflüsse, sobald solche auftreten, bei der Festsetzung seiner Beanspruchungen ebenso wenig, wie beim Bauwerk selbst vernachlässigt werden. Wir müssen daher fordern, die elastischen Eigenschaften des Erdbodens, die dieser in gleicher Weise, wie jeder andere Baustoff besitzt, dynamisch zu untersuchen und das Material nach bestimmten Gesichtspunkten zu klassifizieren. Die Ergebnisse der dynamischen Baugrundforschung, die in den letzten Jahren eingesetzt hat, geben bereits die Möglichkeit, eine Einteilung des Erdreichs hinsichtlich seines dynamischen Verhaltens, besonders in schwingungstechnischer Beziehung, vorzunehmen.

Diese Kennzeichnung erfolgt zweckmäßig nach folgenden Hauptgesichtspunkten:

1. Reine Federwirkung, gekennzeichnet durch die Bettungszahl und den Elastizitätsmodul [1]) des Erdbodens.
2. Dämpfung, gekennzeichnet durch den Dämpfungsfaktor und die bei einer Schwingung in Wärme umgesetzte Energie.
3. Phasenverschiebung, gekennzeichnet durch die Größe der Phase gegenüber völlig elastischem Material.

Es ergeben sich hierbei noch anderweitige Zusammenhänge, die eine weitere Beurteilung des Bodens ermöglichen.

1. Reine Federwirkung.

a) Die Federkonstante des Erdreichs ist identisch mit der Bettungszahl unter der jeweiligen Belastungsfläche. Beim einfachen schwingenden Massenpunkt auf elastischer Unterlage folgt die Bettungszahl C aus der Formel

$$C = \frac{\omega_r^2 \cdot M}{F}.$$

[1]) Anstelle des Begriffes „Elastizitätsmodul" führt man für den Erdboden besser die Bezeichnung „Formänderungswiderstand" ein, die Dr. SCHMIDT in seinen Ausführungen über dämpfende Unterlagen wählte, da der Elastizitätsmodul bekanntlich nur bei ungehinderter Querdehnung gilt. Der Formänderungswiderstand ist der Druck in kg/cm², der das Material bei Annahme der Gültigkeit einer linearen Beziehung zwischen Spannung und Formänderung auf die Dicke Null zusammenpressen würde.

Hierin bedeuten:

ω_r die Winkelgeschwindigkeit der Resonanz,
M die schwingende Masse und
F die Belastungsfläche.

Hinsichtlich der Verwendung eines mit einer trägen Masse gekoppelten Systems, um auswertbare Diagramme aufzeichnen zu können, verweise ich auf meine Ausführungen über den Schwingungserreger und -messer „Geodyn" im „Bauingenieur" 1931, Heft 3/4.

Die auf Grund derartiger Messungen gewonnene Bettungszahl C ist für eine bestimmte Bodenart keine Konstante, sondern eine Funktion der

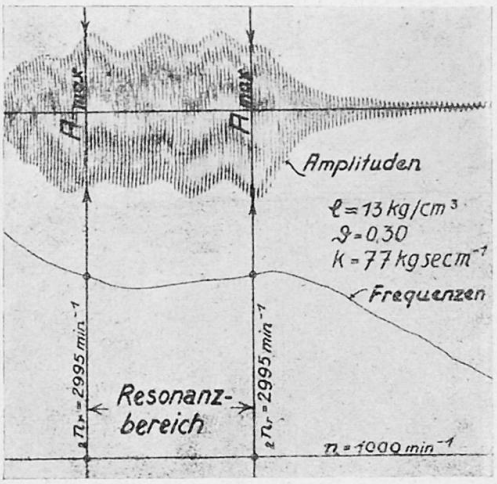

Fig. 1.

Fréquences — Frequencies.

Amplitudes — Amplitudes.

Zone de résonance — Resonance zone.

Belastungsfläche (vergl. meine diesbezügliche Arbeit in der „Bautechnik" 1932, Heft 8).

Zwischen Bettungszahl und Elastizitätsmodul E besteht die Beziehung:

$$E = \frac{m^2 - 1}{m^2} \frac{1}{1{,}13} \sqrt{F} \cdot C,$$

worin m die Poisson'sche Konstante und 1,13 einen Beiwert nach Boussinesq für starren kreisförmigen Belastungsstempel bedeuten. Der Wert m ist für die obersten Schichten der Erdrinde zu 3,7 gefunden.

b) Unabhängig vom Resonanzkriterium folgt die Größe des Elastizitätsmoduls und damit auch der Bettungszahl aus der weiteren Beziehung

$$E = \lambda^2 \cdot n^2 \cdot \mu.$$

Hierin bedeuten:

λ die Länge der stehenden Welle, die bei der Frequenz n (in Hertz) im Erdreich beim Schwingungsvorgang erzeugt wird, und
μ die spezifische Masse oder Dichte des Bodens.

Die zugehörige Schallgeschwindigkeit ist

$$v = \sqrt{\frac{E}{\mu}}.$$

In der Abb. 1 ist ein Geodyndiagramm wiedergegeben; Amplituden und zugehörige Frequenzen werden von dem Apparat gleichzeitig aufgezeichnet.

2. Die Dämpfung im Erdboden.

In der Abb. 2 ist das Verhältnis der gesamten Schwingungsintensität zur Dämpfungsintensität des einfachen Systems in Abhängigkeit vom Schwingungsausschlag und der Frequenz im teilweise logarithmischen Koordinaten-

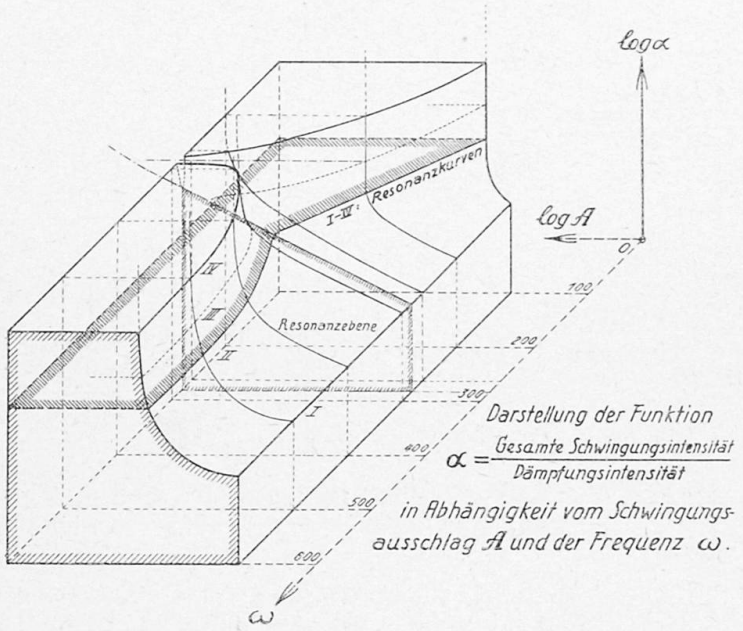

Fig. 2.

$$\alpha = \frac{\text{Intensité de l'oscillation}}{\text{Insensité de l'amortissement}}$$

représenté comme fonction de l'amplitude A et de la fréquence ω.

$$\alpha = \frac{\text{Intensity of vibration}}{\text{Intensity of damping}}$$

represented as a function of amplitude A and frequency ω.

Courbes de résonance.
Resonance curves.

Plan de résonance.
Resonance plane.

system aufgetragen, um einen anschaulichen Überblick über diese verwickelte Funktion zu ermöglichen. Für die „unter jeweils gleichen Versuchsverhältnissen" auftretende Dämpfung lassen sich folgende Kennzahlen gewinnen:

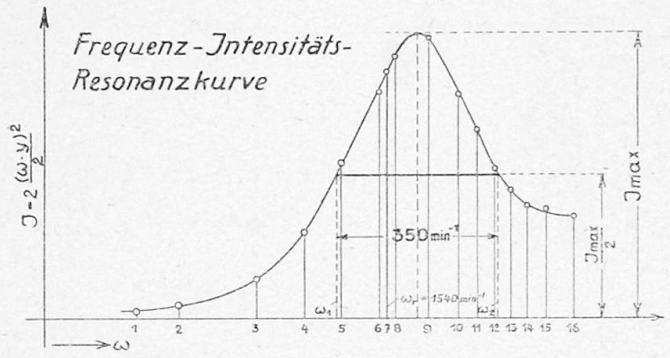

Fig. 3.

Relation entre la fréquence, l'intensité et la résonance.

Relation between frequency, intensity and resonance.

a) Aus dem Frequenz-Intensitäts-Resonanzdiagramm (vergl. hierüber meine Ausführungen in „Die Schalltechnik" 1931, Heft 5). In der Abb. 3 ist eine solche Resonanzkurve dargestellt. Man erhält auf diesem Wege den Dämpfungsfaktor k und das logarithmische Dekrement ϑ.

b) Aus der Dämpfungsschleife. Diese läßt sich, sobald die Phasenverschiebung φ bekannt ist, mit Hilfe des Amplitudendiagramms aufzeichnen. Die Phase wird, wie unter 3. gezeigt, vorher ermittelt. Der Inhalt der Dämpfungsschleife ist gleich der infolge der Dämpfung während einer Schwingung in Wärme übergeführten Arbeit. Diese Wärme gibt folglich neben dem Dämpfungsfaktor k eine weitere Kennzahl für das dämpfende Verhalten des Bodens.

3. Die Phasenverschiebung.

Für den im schwingenden Erdreich gegenüber völlig elastischem Material auftretenden Phasenverschiebungswinkel φ gilt die Beziehung

$$\sin \varphi = \frac{J_D}{\frac{1}{2} s_{max} \cdot K \cdot \pi}.$$

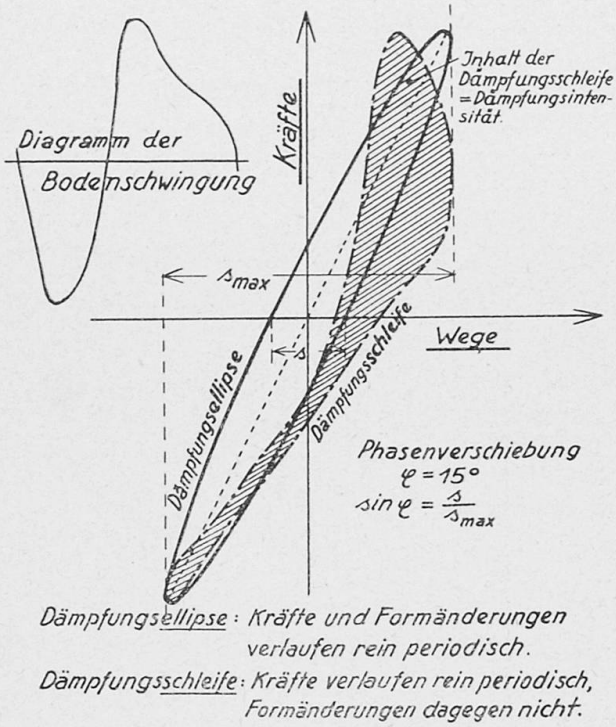

Fig. 4.

Diagramme des oscillations du sol — Diagram of vibrations of the ground.

Kräfte — Efforts — Stresses.

Wege — Déformations — Strains.

Intérieur de la boucle d'amortissement = Intensité d'amortissement — Area of damping loop = Intensity of damping.

Décalage de phase — Phase lay.

Ellipse d'amortissement: les efforts et les déformations sont périodiques — Damping ellipse: stresses and strains are periodical.

Boucle d'amortissement: les efforts seuls sont périodiques, les déformations ne le sont pas — Damping loop: stresses only are periodical, but deformations are not.

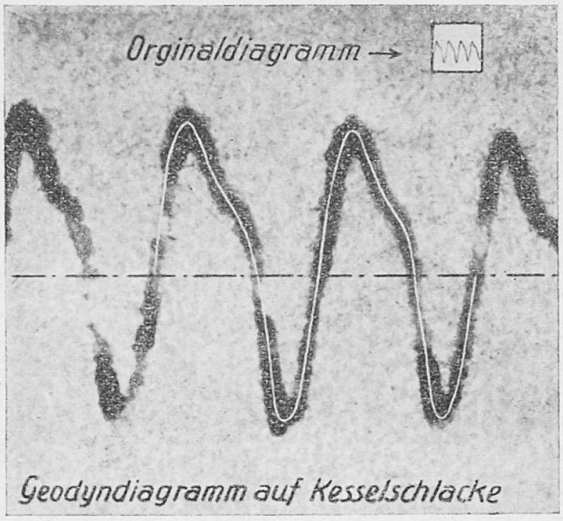

Fig. 5.

Diagramme original.

Original diagram.

Diagramme géodynamique sur de la scorie de chaudière.

Geodynamical diagram with boiler slag.

Hierin bedeuten:

J_D die Dämpfungsarbeit während einer Schwingung.

Diese folgt aus der Formel

$$J_D = \frac{m_0^2 \cdot r^2 \cdot \omega^6 \cdot \frac{k}{2M}}{M\left[\left(\frac{C \cdot r}{M} - \omega^2\right)^2 + \frac{k^2 \omega^2}{M^2}\right]} \cdot \frac{2\pi}{\omega},$$

worin, außer den bereits genannten Größen, m_0 die erregende Masse, die mit der Exzentrizität r rotiert, ist. Diese Dämpfungsleistung kann somit aus obiger Funktion berechnet, oder beim Versuch am Wattmeter, sobald stationäre Verhältnisse eingetreten sind, direkt abgelesen werden.

$\frac{1}{2} s_{max}$ den aus dem Schwingungsdiagramm zu entnehmenden Weg und K den zugehörigen Impuls $= m_0 r \omega^2$.

Der Wert von $\sin \varphi$ kann als Maß für das Verhältnis der im Erdreich in Wärme umgesetzten Energie zur gesamten zugeführten Formänderungsarbeit angesehen werden.

In der Abb. 4 ist die Dämpfungsschleife gezeichnet, welche zu dem in der Abb. 5 dargestellten Geodyndiagramm, aufgenommen auf Kesselschlacke, gehört.

Zusammenfassung.

Zu 1.: Aus der Größe der Federkraft des Erdreichs, die als elastische Zusammendrückbarkeit dem gewohnten Begriff der Bettungszahl entspricht, lassen sich bestimmte Schlüsse auf die statische Tragfähigkeit des Baugrundes, d. h. die zulässige Baugrundpressung ziehen, da diese unter dem Gesichtspunkt rein elastischer Formänderung betrachtet, lediglich eine Funktion letzterer ist.

Der durch dynamische Messungen gefundene Elastizitätsmodul ermöglicht auch die Vorausbestimmung der in der nächsten Umgebung des Bauwerkes zu erwartenden elastischen Formänderungen des Bodens.

Die etwa außerdem aus geologischen und geophysikalischen Ursachen entstehenden Bodensenkungen werden durch vorstehende Überlegungen nicht oder nur teilweise erfaßt.

Zu 2.: Das Maß der im Erdboden bei periodischen Formänderungen entstehenden Dämpfung läßt im Zusammenhang mit den Kennzahlen unter 1. eine zuverlässige Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich seines Verhaltens bei dynamischen Beanspruchungen zu, und zwar sowohl, was die Rückwirkungen des Bodens, z. B. auf das schwingende Bauwerk selbst, als auch die Ausbreitung der Wellen in der Umgebung anbelangt.

Zu 3.: Je größer die Phasenverschiebung im Erdreich gegenüber völlig elastischem Material, um so größer ist auch die in Wärme umgesetzte Schwingungsleistung, d. h. um so größer ist der innere Formänderungswiderstand des Bodens beim Schwingen. Diese Phase läßt daher Rückschlüsse in gleicher Richtung wie unter 2. zu.

Résumé.

1. En partant de la grandeur de l'élasticité de la terre, dont la compressibilité élastique correspond aux coefficient d'élasticité des radiers, on peut tirer des conclusions déterminées sur la capacité portante du sol au point de vue statique, c'est-à-dire déterminer les compressions admissibles, car ces dernières peuvent être exprimées comme une fonction des déformations purement élastiques.

Le module d'élasticité déterminé au moyen de mesures dynamique permet également la détermination préalable des déformations élastiques du sol que l'on peut s'attendre à rencontrer dans le voisinage des fondations.

Les tassements du sol qui résultent de causes géologiques ou géophysiques n'ont été éventuellement envisagées qu'accessoirement dans les considérations qui précèdent.

2. L'importance de l'amortissement qui se manifeste au cours des déformations périodiques permet, en tenant compte des caractéristiques faisant l'objet de la première partie, d'apprécier la valeur du sol sous le rapport des efforts dynamiques, ainsi que de déterminer ses réactions devant les oscillations qui lui sont transmises par les ouvrages et d'étudier la propagation des oscillations dans leur voisinage.

3. Plus le décalage de phase est important, pour une terre, par rapport au comportement entièrement élastique, plus importante sera la déperdition d'énergie sous forme de chaleur et plus importante est la résistance interne aux déformations sous l'influence des oscillations. On peut en tirer des conclusions dans le même sens que celles de la deuxième partie.

Summary.

1. From the magnitude of the resiliency of the soil, which as elastic compressibility corresponds to the usual conception of the coefficient of elasticity of the ground, certain conclusion can be drawn concerning the s t a t i c carrying capacity of the building ground, i. e. the permissible pressure on the ground, since this, considered from the point of view of pure elastic deformation, is solely a function of the latter.

The modulus of elasticity found by dynamic measurements enables also the predetermination of the elastic deformations of the ground to be expected in the immediate neighbourhood of the structure.

Sinking of the ground, occurring besides that from geological or geophysical causes, are not included or only partly included in the above considerations.

2. The amount of the damping arising in the ground with periodic deformations allows, in conjunction with the indices in 1., a reliable judgment to be formed of the building ground with regard to its behaviour under d y n a m i c stressing, and that both with regard to the reaction effect of the soil, for example on the vibrating building itself, as well as with regard to the extent of the influence of the wave in the surrounding neighbourhood.

3. The greater the phase lay in the soil as compared with absolutely elastic material, the greater is also the vibrating energy converted into heat, i. e. the greater is the inner resistance of the ground to deformation when vibrating. This phase consequently allows of conclusions being drawn in the same direction as in 2.