Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 105/106 (1935)

Heft: 15

Artikel: Bestimmung der Grösse und Art der Erschütterungen beim Rahmen von Pfählen

Autor: Bendel, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-47420

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

3. Ersatz des Rades durch ein vierflügliges, sodass zwei Flügel noch voll fördern, auch wenn die Druckerzeugung der andern beiden beim Ueberstreichen eines Hindernisses etwas geschwächt sein sollte.

4. Zweckmässige Luftführung durch einen Blechmantel und Vermeidung der früher vorhandenen Kontraktion.

Das Rad selbst wurde mit allen Verbesserungen ausgerüstet, die sich nach neueren Erfahrungen[1]) ergeben haben. Skizze Abb. 5 zeigt die Anlage nach dem Umbau mit den ja heute jedermann geläufigen Stromlinienformen. Die Druckerzeugung ist sehr gleichmässig geworden (Abb. 3 unten) und der Lärm ist soweit vermindert, dass man jetzt nur noch das Rauschen des Wassers im Turm und ein geringes Zahnrädergeräusch vernehmen kann.

Bei der Inbetriebsetzung zeigte sich eine unerwartete Resonanz bei leerem Turm, die aber beim Einlaufen des Kühlwassers verschwand. Es scheint die starke Dämpfung von Wasserschleiern, die schon früher von Ing. *F. M. Osswald*[2]) bemerkt und sehr sinnreich verwendet wurde, auch hier wirksam gewesen zu sein. Wir glauben, dass eine nähere Untersuchung dieser Verhältnisse für die technische Akustik von bedeutendem Interesse sein dürfte.

[1]) Siehe Dr. *C. Keller* „Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie". Diss. E. T. H. 1934.

[2]) Wasserschleier im Kraftwerk Tremorgio, „Revue Technique Sulzer" 1931, Heft 1; vergl. auch Seite 180 dieser Nummer.

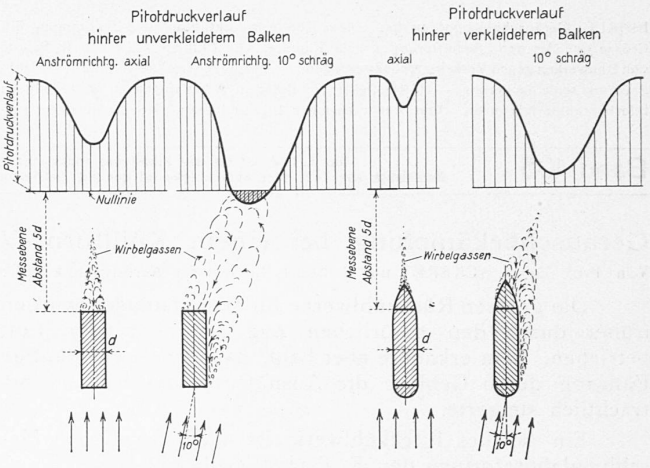

Abb. 4. Versuche über den Einfluss der Verkleidung auf die Wirbelbildung hinter dem Hindernis. Schrägströmung ist immer schädlich.

Bestimmung der Grösse und Art der Erschütterungen beim Rammen von Pfählen.

Von Dr. L. BENDEL, Ing., Luzern.

Problemstellung. Für die Bestimmung der Grösse und Art der Erschütterungsschwingungen infolge Rammen versagt meistens das subjektive Gefühl; übertriebene Einschätzung des Einflusses der Erschütterungen auf das persönliche Wohlbefinden und auf den Zustand der Gebäude tritt häufig auf. Nachfolgend ist an einem Beispiel beschrieben, wie zuverlässige Zahlenwerte für die Intensität der Erschütterungswelle erhalten werden.

Wahl der Apparate. Verwendet wurden zwei Apparate: ein Vertikal-Seismometer, System Geiger, und ein Dreikomponenten-Seismometer, System Piccard-de Quervain (Erstellerin Trüb, Täuber & Cie., Zürich). Der Geigerapparat diente für Messungen in der nächsten Nähe der Pfahlrammung, der Piccard'sche für grössere Distanzen. Für die vorliegenden Messungen wurde der Piccard'sche Apparat mit folgenden Konstanten verwendet:

Komponente	Eigenperiode sec	Vergrösserung für rasche Schwingungen
Horizontal längs	0,90	109
„ quer	1,05	98
Vertikal	0,64	60

Wenn $\alpha(t)$ den Ausschlag des Registrierzeigers, $\sigma(t)$ die Komponente der Bodenbewegung in der betreffenden Richtung als Funktion der Zeit, V die Vergrösserung für rasche Schwingungen bedeutet, so gilt, bei anfänglicher Ruhe von Apparat und Boden[1]):

$$V\sigma(t) = \alpha(t) + D\int_0^t \alpha(\vartheta)\,d\vartheta + E\int_0^t d\tau \int_0^\tau \alpha(\vartheta)\,d\vartheta,$$

$$D = \frac{2}{v' T_0}, \quad v' = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{\ln v}\right)^2 + \frac{1}{\pi^2}}, \quad E = \frac{4\pi^2}{T_0^2},$$

v Dämpfungsverhältnis, T_0 Eigenperiode des Seismometers.

Im vorliegenden Fall hatten die registrierten Schwingungen Frequenzen, die gross waren im Vergleich zu den Eigenfrequenzen des Apparates; infolgedessen ist bei der gewählten Apparatur das letzte Glied mit dem Doppelintegral im Verhältnis zum ersten Glied $\alpha(t)$ verschwindend klein. Ferner kann $v \cong 1$, $v' \cong \infty$, $D \cong 0$ gesetzt werden, da keine künstliche Dämpfung der Pendelschwingung vorgenommen wurde. Damit wird $V\sigma(t) = \alpha(t)$, d. h. die Bodenbewegungen werden vom Seismographen formgetreu mit der Vergrösserung V aufgezeichnet.

Durchführung der Messungen. Während der Herstellung von Express-Ortpfählen von 9,5 m Länge wurden Messungen im freien Feld und in einem Reihenhaus im Parterre, im ersten und im sechsten Stock vorgenommen. Vergleichsweise wurden die Erschütterungen registriert, die ein 10,5 t-Lastauto, mit Vollgummibereifung und hinten mit Schneeketten, beim Ueberfahren mit 25 km/h eines 50 mm hohen Bretts und Schlaglochs hervorrief. Im freien Feld wurde in Abständen von 4 bis 24 m zwischen Pfahl und Apparat gemessen, im Haus in 40 m Abstand vom Pfahl. An den selben Messtellen im Haus wurden auch die Erschütterungen des in 5 m Abstand vorbeifahrenden Autos registriert, ferner im freien Feld 19 m vom Auto-Hindernis entfernt (Abb. 1).

Auswertung der Messergebnisse. Aus den Messungen wurden die vier heute üblichen Erschütterungskenngrössen berechnet:

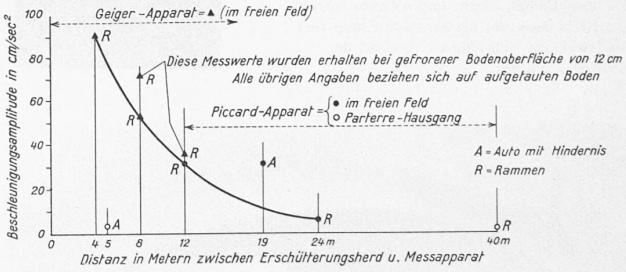

Abb. 1. Beschleunigungswerte in cm · sec−2 für die Vertikalkomponente der Erschütterung in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Erschütterungsherd und Messapparat.

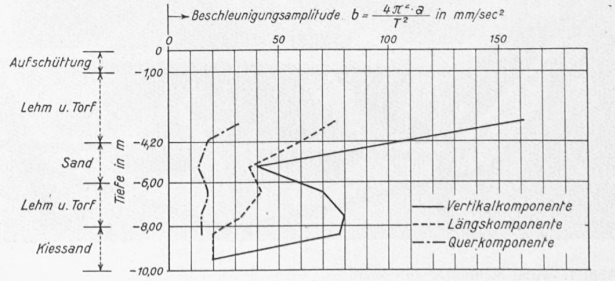

Abb. 2. Einfluss der geologischen Schichten auf die Mittelwerte der Beschleunigungsamplituden.

[1]) *G. Angenheister* „Angewandte Geophysik", S. 252. *F. Gassmann* „Verhandlungen der Schweiz. Naturforsch. Ges." 1933, S. 342. *Geiger-Scheel* „Handbuch der Physik", Bd. XVI, S. 203. *Wiechert* „Theorie des automatischen Seismographen".

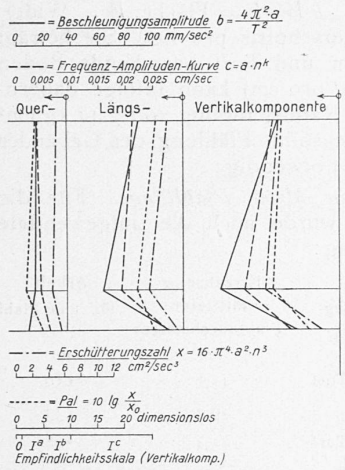

Abb. 3a. Vergleich der Auswertungsmethoden.

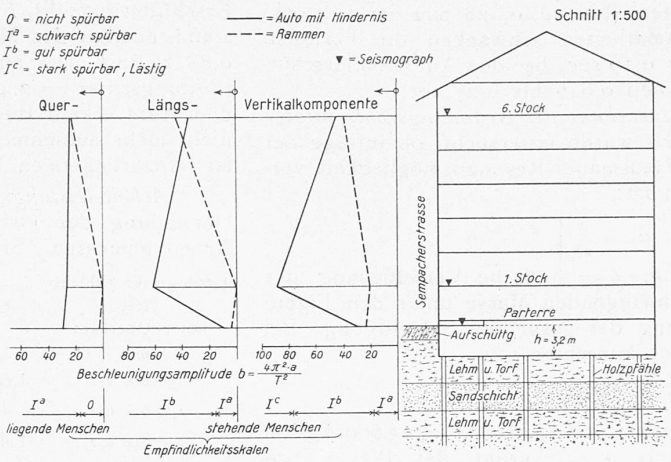

Abb. 3b. Vergleich von Auto- und Rammwirkung.

a) Die Erfahrung lehrt, dass die Erschütterungen für den Menschen umso schädlicher, je grösser Schwingungsamplitude und Frequenz sind. Amplitude a und Frequenz $n = \frac{1}{T}$ einer harmonischen Schwingung bestimmen die Beschleunigungsamplitude $b = \frac{4\pi^2 a}{T^2}$. Die vertikale Beschleunigungsamplitude ist in Abb. 1 über der Entfernung vom Erschütterungsherd aufgetragen. Aus Abb. 2 ist der Einfluss der geologischen Schichten auf die Grösse der Beschleunigungsamplitude ersichtlich. Sie wurde mittels des in rd. 20 m Entfernung vom Pfahlrohr aufgestellten Apparates während des Betonstampfens gemessen und hatte, in Uebereinstimmung mit der subjektiven Wahrnehmung, mit dem Vordringen des Betons in die verschiedenen Schichten den in Abb. 2 dargestellten Verlauf.

b) Eine zweite Kenngrösse ist das Produkt aus der Schwingungsamplitude und einer Potenz der Frequenz n: $c = a\,n^k$ ($k = 1$ für Gebäude-Erschütterungen infolge Rammarbeiten und Lastwagenverkehr).

c) Als Erschütterungszahl bezeichnet man die Grösse $x = 16\,\pi^4\,a^2\,n^3$. Sie hat die Dimension einer Leistung pro Masseneinheit.

d) Aus der Erschütterungszahl und der Grenz-Erschütterungszahl x_0 kann schliesslich die sog. Palzahl $= 10 \log \frac{x}{x_0}$ gebildet werden; sie verschwindet, wenn x dem Empfindungs-Schwellwert x_0 gleichkommt. Für Vertikal-Erschütterungen beträgt $x_0 = 0{,}5$ cm² sec⁻³ bei einem Menschen in Rückenlage.

In Abb. 3a sind die Erschütterungsmessungen im Haus infolge Autoverkehr auf die vier genannten Arten ausgewertet, in Abb. 3b die Beschleunigungsamplituden im Haus infolge Rammen und Autoverkehr miteinander verglichen.

In Abb. 3b ist unter dem Beschleunigungsmasstab die Empfindlichkeitskala für die betreffende Komponente aufgetragen. Sie bezieht sich bei der Längs- und Vertikalkomponente auf einen stehenden, bei der Querkomponente auf einen quer zur Erschütterungswelle liegenden Menschen. In Abb. 3a ist unter dem Masstab für die Palzahl die Empfindlichkeitskala für die Vertikalkomponente eingezeichnet. Die folgende Tabelle 1 zeigt, dass die in Verbindung mit den genannten Kenngrössen eingeführten Skalen miteinander keineswegs übereinstimmen. Die gebräuchlichen Skalen für die Palzahlen gestatten eine weit grössere Differenzierung der vom selben Herd verursachten Erschütterungen als etwa die übliche Einteilung der Beschleunigungsamplituden (vergl. die letzte mit der ersten Kolonne).

Allgemeines zur Auswertung. Die Maxima der Erschütterungen treten bei den drei Komponenten infolge der stossartigen Erregung der Rammarbeit nicht gleichzeitig auf. Die Ursache liegt im Vorhandensein verschiedenartiger Wellenzüge, die sich vom Herd der Störung mit verschiedenen Geschwindigkeiten ausbreiten.

Beim Auto mit Hindernis waren die Horizontalkomponenten der Amplituden am grössten, bei den Rammarbeiten

TABELLE 1. Beurteilung der Erschütterungen im Haus infolge Rammarbeiten in 40 m und Autoverkehr in 5 m Distanz nach Beschleunigungsamplitude, Amplitude-Frequenzwert, Erschütterungs- und Palzahl.

Erschütterungskala	Nach Beschleunigungsamplitude $b = 4\pi^2 a/T^2$	Nach Amplitude-Frequenzwert $c = a\,n^k$		Nach Erschütterungszahl $x = 16\,\pi^4\,a^2\,n^3$		Nach Palzahl $10 \log x/x_0$	
	Auto und Rammen	Auto	Rammen	Auto	Rammen	Auto	Rammen
0 nicht spürbar	—	—	—	Horizontalerschütterung Parterre, 6. Stock	Horizontalerschütterung Parterre, 1. Stock, 6. Stock	—	Horizontalerschütterung Parterre, 1. Stock
Ia schwach spürbar	Alle Erschütterungen	Alle Erschütterungen Parterre, 6. Stock	Alle Erschütterungen Parterre, 1. Stock	Horizontalerschütterung 1. Stock Vertikalerschütterung Parterre, 1. und 6. Stock	Vertikalerschütterung Parterre, 1. Stock, 6. Stock	Horizontalerschütterung Parterre	Vertikalerschütterung 1. Stock, Parterre
Ib gut spürbar	—	Alle Erschütterungen 1. Stock	Alle Erschütterungen 6. Stock	—	—	Horizontalerschütterung 1. und 6. Stock Vertikalerschütterung Parterre	Horizontalerschütterung 6. Stock Vertikalerschütterung 6. Stock
Ic stark spürbar, Beginn des Lästigen	—	—	—	—	—	Vertikalerschütterung 1. Stock, 6. Stock	—

die Vertikalkomponenten (bis zu 0,028 mm im 1. Stockwerk). Bei den Rammarbeiten schwanken die Perioden nur zwischen 0,14 bis 0,19 sec, bei den Automobilerschütterungen jedoch zwischen 0,046 bis 0,27 sec.

Zusätzliche Beanspruchung der Gründungssohle infolge der Erschütterungen. Es wurde untersucht, ob infolge der Eigenfrequenz n_e der Hausmauer Resonanzmöglichkeit vorhanden ist. Allgemein ist:

$$n_e = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{f}}$$

g = Erdbeschleunigung, f = statische Verschiebung des Schwerpunktes der schwingenden Masse unter dem Eigengewicht in der Richtung der gesuchten Schwingung. Bei Pfahlgründungen ist für lotrechtes f_l [2])

$$f_l = \frac{\Sigma P}{r}\,\frac{t}{EF}\left(1 - \frac{\mu}{3}\right)$$

ΣP = Gesamtlast (Mauer- und Nutzlast) = 25600 kg/lfm im Berechnungsbeispiel, r = Anzahl der Pfähle pro m² Gründungsfläche = 7, t = Länge der Pfähle = 8 m, E = Elastizitätsmodul = 100000 kg/cm², F = Pfahlquerschnittsfläche = 4900 cm², $0 < \mu < 1$. Es ergibt sich: $f_l = 0{,}275$ cm; $n_e = 9{,}6$ Hz. Die gemessenen Erschütterungsfrequenzen betrugen 9 bis 12,5 Hz. Es besteht demnach Resonanzgefahr. Die grössten gemessenen Beschleunigungsamplituden betrugen in lotrechter Richtung $b_l = 88$ mm/sec², in waagrechter Richtung $b_w = 6{,}2$ mm/sec². Mit 1305 kg m⁻² sec² Masse pro lfm Fassadenmauer ergaben sich hieraus die maximalen Stosskräfte in lotrechter und waagrechter Richtung: $St_l = 1280$ kg/m, $St_w = 88$ kg/m.

Bei Angriff der Kraft St_w in $h = 3{,}2$ m über Gründungssohle (Abb. 3) kommt demnach zu der statischen Belastung von 2,56 kg/cm² folgende dynamische Randspannung infolge Erschütterung: $St_e/F + St_w \cdot h/W$ (F = Fläche, W = Widerstandsmoment des Mauerquerschnitts pro lfm). Sie beträgt 0,88 kg/cm². Der aus Lehm und Torf bestehende Boden (Bettungsziffer = 2,4 kg/cm² pro cm) kann infolge dauerndem Autoverkehr die totale Randspannung von 3,44 kg/cm² nicht mehr aufnehmen; eine solide Pfählung des Gebäudes ist im vorliegenden Boden notwendig.

[2]) Vergl. *E. Rausch* „Der Bauingenieur" 1926, Seite 854. *E. Rausch* „Z. V D I" 1927, Seite 992.

Arbeitsleistung für ein Meter Pfahllänge. Für die Herstellung der Ortpfähle wurde auch die aufgewendete Arbeit gemessen. Sie betrug:

Geologische Schicht Tiefe unter Oberkant	Schichtbezeichnung	Errechneter mittlerer Pfahldurchmesser	Arbeit für 1 m Pfahl
m		cm	mt
3 bis 4,2	Lehm mit Torf	45,8	159
4,2 bis 6,2	Sand	49,2	133
6,2 bis 8,2	Lehm mit Torf	45,4	208
8,2 bis 9,5	Kiessand	49,6	244

Zusammenfassung. Die Beschleunigungsamplitude der Erschütterungswelle, namentlich die Vertikalkomponente, ist stark abhängig von der geologischen und physikalischen Beschaffenheit der Untergrundschichten. Die Auswertung der gemessenen Frequenzen und Amplituden nach der Palmethode liefert differenziertere Werte als jene nach Beschleunigungsamplituden. Im vorliegenden Fall sind nach allen Auswertungsmethoden die Erschütterungen infolge Autoverkehr in 5 m Abstand stärker spürbar als jene infolge Rammarbeit in 40 m Entfernung. Während die Erschütterung durch Rammen nach keiner Bewertungsmethode den Grad „gut spürbar" überschritt, erreichte die Erschütterung durch Autoverkehr einmal im ersten und sechsten Stockwerk des Gebäudes eine in die Klasse „stark spürbar, Beginn des Lästigen" fallende Palzahl.

Gräben als Schutz von Bauwerken gegen Verkehrserschütterungen.

Von Dipl. Ing. F. I. MEISTER, Düsseldorf.

Vergleicht man die vielen Untersuchungen[1]) in neuerer Zeit über dieses Problem, so erhält man zumeist keine eindeutige Antwort. Die Schwierigkeiten liegen sowohl bei der theoretisch schwer erfassbaren Verteilung der Schwingungsenergie einer Verkehrserschütterung im Erdreich und Hausfundament, besonders bei einem vor dem Haus befindlichen Graben, wie auch in der häufig schlechten Uebereinstimmung der Messungen mit den Forderungen der Theorie.

Bei der für Architekten wie Bauämter wichtigen Frage sollte eine prinzipielle Klärung durch ausgibige Versuche erstrebt werden. Leider besteht für die Wissenschaft immer nur vereinzelt die Möglichkeit, solche Versuche durchzuführen; und zwar meist dann, wenn ein Grabenschutz infolge besonders starker Erschütterungen von den Anliegern einer Strasse in Erwägung gezogen wird.

So wurde im Jahre 1933 von der Stadtbauinspektion Stuttgart infolge der dauernden Klagen der Bewohner eines Hauses an der Neckarstrasse vorgeschlagen, vor dem Hause einen tiefen Graben auszuheben und diesen mit Betonschotter zu füllen. Die Isolierwirkung des bis auf die Hausfundamente geführten, rd. 1 m breiten Grabens sollte festgestellt werden.[2]) Als Erschütterungserzeuger stand ein vollgummibereifter Teerwagen zur Verfügung. Um einen möglichst gleichbleibenden Erschütterungsstoss in genügender Stärke auszuüben, liess man den Wagen über ein 2 cm starkes, auf der Strasse befestigtes Hartholzbrett mit abgerundeten Ecken fahren. Der Wagen fuhr immer mit gleicher Belastung und Geschwindigkeit über das Hindernis. Belastung und Geschwindigkeit wurden so gross gewählt, dass auch im obersten Stockwerk der Stoss gut spürbar war und sich aus den übrigen Strassenbahn- und Lastwagenerschütterungen heraushob.

Die Erschütterungen wurden mit einen Askania-Dreikomponenten-Seismographen gemessen und zwar zunächst vor dem Ausheben des Grabens an folgenden sieben Stellen: Am Rinnstein auf dem Gehweg in 1 m Entfernung vom Hindernis; vor der Hausfront auf dem Gehweg; im Keller, Erdgeschoss, ersten, zweiten und dritten Stock unmittelbar hinter der Hausfront. Alle Messpunkte lagen mit dem Ursprung der Erschütterung in einer Ebene senkrecht zur Strassenrichtung. An jedem Messpunkt fanden mehrere Stossmessungen statt, um für jede Messtelle einen sicheren Mittelwert der dort auftretenden Erschütterung zu erhalten.

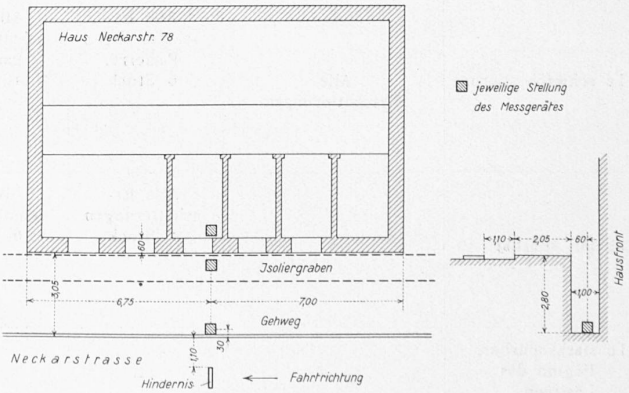

Abb. 1. Grundriss und Schnitt von Haus und Isoliergraben, 1 : 250.

[1]) *Hort:* Schwingungsschutz bei Hochbauten. „Z. d. VDI" 1931, Bd. 75, S. 567. — *K. Schwien:* Die Ausbreitung von Erschütterungen, Dissertation Hannover. — *Martin:* Schutzwirkung eines Grabens „Schalltechnik" 1932, Nr. 1, wie auch: Diskussion Martin, Hort, Geiger über dies Problem in „Schalltechnik" 1932, Nr. 2. — *Hort:* Abschirmung von Verkehrserschütterungen durch Gräben und Schutzspalte, „Verkehrstechnik" 1934, Heft 4, S. 37. — *Schröter:* Schutz der Gebäude gegen Verkehrserschütterungen, „Verkehrstechnik" 1934, Heft 11, S. 298.

[2]) Die hier angeführten Messungen wurden durch das Institut für Schall- und Wärmeforschung der T. H. Stuttgart durchgeführt.