Festigkeitsmechanische Prüfung des Baubodens

Autor(en): **Stern, Ottokar**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85/86 (1925)**

Heft 16

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-40107

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

INHALT: Festigkeitsmechanische Prüfung des Baubodens. — Stossvermindernde Aufhängung des nur teilweise abgefederten Bahnmotors. — Ueber Axe und Symmetrie. — † Otto Vogler, Architekt. — Zur Rekonstruktion der Furkabahn. — Miscellanea: Die Wahl des Systems für elektrischen Vollbahnbetrieb in Norwegen. Schutz von Strassenbrücken gegen Automobile. Ausfuhr elektrischer Energie. Deutsches Museum in München. Schweizer Mustermesse. Das Bayrische Verkehrsmuseum in Nürnberg. Stadtbaumeister von Biel. — Konkurrenzen: Bebauungsplan der Stadt Wetzlar. — Literatur. — Eidg. Materialprüfungsanstalt an der E. T. H. — Vereinsnachrichten: S. I. A. S. T. S.

Band 85. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 16

Festigkeitsmechanische Prüfung des Baubodens.

Von Zivilingenieur OTTOKAR STERN, Baudirektor der Allgem. Oesterreichischen Baugesellschaft in Wien.

1. *Allgemeines.*

Die praktische Aufgabe einer richtigen Bemessung der Belastung des Baubodens besteht bekanntlich darin, dass von der Baulast unter keinen Umständen eine dem Bauwerke oder seinen einzelnen Teilen und Konstruktionen schädliche Zusammendrückung der Bausohle hervorgerufen werde. Schädlich sind Zusammendrückungen der Bausohle vor allem dann, wenn sie für verschiedene Teile eines Bauwerkes sehr verschiedene Grösse erlangen. Am sichersten wird solchen Grössenverschiedenheiten dadurch vorgebeugt, dass überhaupt an keiner Stelle erhebliche Zusammendrückungen der Bausohle erfolgen.

Obwohl diese Aufgabe ebenso alt ist, wie die menschliche Kultur, ist man bei ihrer Lösung auch heute noch einzig auf Erfahrungen, und, da verhältnismässig selten völlig übereinstimmende Verhältnisse mit frühern Bauaufgaben vorliegen, oder, insofern solche vorliegen, sie leicht in Vergessenheit geraten, auf die Anwendung ausserordentlicher und kostspieliger Vorsicht angewiesen.

Seit den Zeiten des leider allzu jung verstorbenen grossen Enzyklopäden und Vorläufers Kants, Joh. Heinr. Lambert, dessen Abhandlungen „Sur la fluidité du sable, de la terre etc." und „Beiträge zum Gebrauche der Mathematik (Bd. III, S. 456) im Jahre 1772 in Berlin erschienen sind und der glaubte, das Gesetz ableiten zu können, dass bei reinem Sandboden die Belastungen sich wie die Quadrate der von ihnen erzeugten Einsenkungstiefen verhalten, haben sich viele ernst zu nehmende Forscher bemüht, sei es durch theoretische Erwägungen und Berechnungen, sei es durch Laboratoriumversuche, dem Problem der Baugrundbelastung wissenschaftlich beizukommen. Hier seien aus der langen Reihe dieser Forscher nur einige Namen genannt: G. Hagen (Berlin 1841), Rankine (1850), Pauker (1850), J. W. Schwedler (1888), Scheffler, Mohr, Winkler, der russische Professor Kurdjümoff (1889), Jankowski, Forchheimer, v. Schoen (1909), Geiss (1911), und Krey (1912).

Die vielfach sehr geistreichen Methoden, Gedanken- und Versuchsvorgänge gelangten — gleich den bezüglichen Arbeiten des Philosophen Lambert — zu Ergebnissen, die durchwegs keine praktische Bedeutung erringen konnten. Und dennoch handelt es sich hier nicht um eine geheimnisvolle Seite der Natur, die, um mit Goethe zu reden, sich ihres Schleiers nicht berauben lässt und was sie uns nicht anvertrauen mag, wir ihr auch nicht mit „Hebeln und mit Schrauben" abzwingen können. Die technische Forschung hatte, gleich der schönen Literatur, auch ihre Sturm- und Drangperiode, in der sich führende Geister an von vornherein unmögliche, phantastische Aufgaben machten. Die grossen Erfolge und Fortschritte auf dem Gebiete der Statik und der Materialprüfung feuerten den Forschungsgeist jener Zeit derart an, dass er Gesetzmässigkeiten mechanischer Natur dort suchte, wo naturgemäss nur solche tektonischer und geologischer Art bestehen können, und dass er subtile Berechnungen anstellte, wo nur nackte, ziffermässige Feststellungen möglich sind. Ebenso wurden nach Art der technischen Materialprüfungen Laboratoriums-Versuche vorgenommen, jedoch mit dem Unterschied, dass wohl die zu prüfenden technischen Materialien in unverändertem Zustande ins Laboratorium gebracht werden können, während der Bauboden daselbst „nachgebildet" werden musste, was wohl ein naives Bestreben genannt werden kann. Aber auch abgesehen von diesem Grundirrtum wurde übersehen, dass durch die Begrenzung des zu prüfenden Erdkörpers mittels einer die Beobachtung ermöglichenden Glaswand Störungserscheinungen in der Bodenverdrängung entstehen, die ein völlig falsches Bild liefern und zu schweren Fehlschlüssen führen müssen. Ferner glaubte man aus dem Einpressen eines prismatischen Stempels in einen derartigen Versuchsbodenkörper bis auf eine Eindrückungstiefe von einem Vielfachen der Querschnitts-Dimensionen des Druckstempels die Verdrängungsgesetze erkennen zu können, die auch für die Bausohle unter den Mauerwerkskörpern gelten, während doch diese nur um einen geringfügigen Bruchteil ihrer Stärkendimension in die Bausohle eingedrückt werden dürfen. Heute weiss man wohl, dass man aus solchen Versuchen ebenso wenig klug werden kann, wie beispielsweise aus einem Druckversuch mit einem Probewürfel irgend eines Baustoffes, den man bis auf Staubform zerquetschen wollte.

Künstliche Erzeugnisse, wie Eisen, Stahl, Metalle, Zement, Beton und sonstige Verbundkörper sind auf Grund der einheitlichen Bedingungen des Vorkommens und der Gewinnung ihrer Rohstoffe, sowie deren industrieller Verarbeitung technologisch definierbar. Für sie können daher innerhalb gewisser enger Grenzen einschliessbare Werte von allgemeiner Gültigkeit als „Materialkonstante" ermittelt werden, und mit ihrer Hilfe können die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Elastizitäts- und Festigkeitslehre im Wege der Rechnung, insbesonders der auf die erforderlichen Dimensionen gerichteten Berechnung, zur praktischen Anwendung gelangen. Bis zu einem gewissen Grad gilt das auch noch für ein Naturerzeugnis, das bei aller Mannigfaltigkeit doch unter bekannten, regelmässigen Vorbedingungen, insbesonders klimatischer Art, vor unsern Augen entsteht, wie das Holz.

Die den Erdboden bildenden, verschieden kohärenten Massen aber sind Naturerzeugnisse, zustande gekommen unter Vorbedingungen, deren Kenntnis uns nur durch die mittelbaren Rückschlüsse der Geologie zugänglich gemacht werden kann und bei denen auch nur in den ungeheuerlichen Masstäben dieser Wissenschaft von Regelmässigkeit und Gesetzmässigkeit gesprochen werden kann. Die Folge dieser nur in weitesten Grenzen erfassbaren Vorbedingungen ihrer Entstehung ist auch die nur in ebensolchen Grenzen mögliche technologische Definierbarkeit der bodenbildenden Massen. Unter solchen Umständen kommt uns heute die unüberbrückbare Kluft zwischen petrographischer und technologischer Definierbarkeit der Bodengattungen zum Bewusstsein und wir müssen es aufgeben, Materialkonstanten dort feststellen zu wollen, wo die Vielfältigkeit Alleinherrscherin ist. Reibungskoeffizient, Raumgewicht, Verdrängungsmass, *Festigkeitsziffern* und dergleichen, samt den mit ihrer Hilfe zu berechnen versuchten Bruchprismen, Gleitlinien und Gleitflächen, Verdichtungsgebieten u. dergl. — eine akademische Uebertragung von Begriffen, deren allgemeine Anwendung auf die bodenbildenden Massen fruchtlos ist.

Die einzige nüchterne Aufgabe der technischen Mechanik kann bezüglich der Baugrundbelastung nur in der *Feststellung der Zusammendrückbarkeit der Bausohle von Fall zu Fall* bestehen.

Die bisher vorgeschlagenen Vorrichtungen zur mechanischen Erprobung der Bausohle hatten allzuviel Fehlerquellen, um hinreichendes Vertrauen in dieser wahrhaft grundlegenden Frage einzuflössen. Sie verwendeten zur

Vermeidung sehr grosser Auflasten zumeist nur ganz kleine Druckstempel, deren Belastung gewöhnlich durch Federwagen gemessen wurde (Mayr'scher Fundamentprüfer, aber auch andere Systeme, z. B. nach Art der in der Landwirtschaft oft improvisierten Fruchtpressen.[1]). Die Ergebnisse mit kleinen Druckstempeln werden aber naturgemäss allzusehr von örtlichen Besonderheiten an oder unter der Prüfungsstelle beeinflusst, sodass nur ausnahmsweise und zufällig ein Punkt der Bausohle geprüft werden kann, an dem ein so ungemein beschränkter Raum nicht von einem oder dem andern unsichtbaren Umstande, zum Beispiel einer Steineinlagerung, einer Nestbildung oder dergleichen, wesentlich beeinflusst wird.

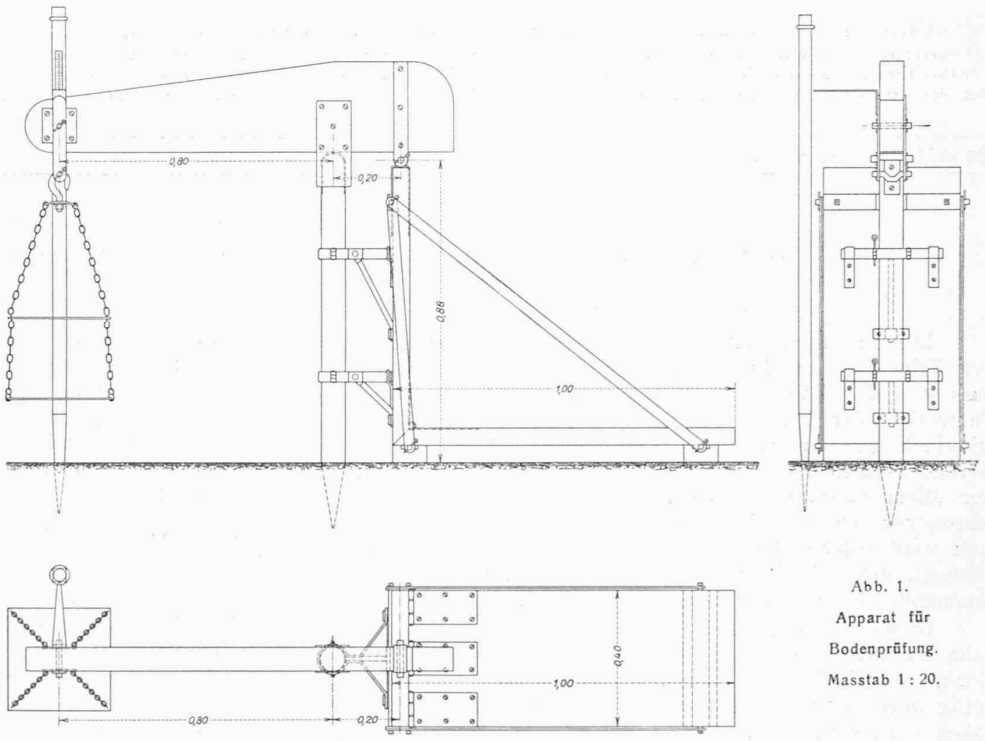

Abb. 1. Apparat für Bodenprüfung. Masstab 1 : 20.

Ein augenscheinlich massgebendes Versuchsverfahren stellen wohl Probebelastungen von gemauerten Pfeilern dar. Im allgemeinen sind sie aber praktisch so schwierig richtig durchführbar, dass man bisher meistens doch die Vergrösserung der Baukosten durch Anwendung ausserordentlicher Vorsicht in der erfahrungsmässigen Lastbemessung allen Umständlichkeiten noch immer vorgezogen hat. Die Hauptschwierigkeit der erwähnten Probebelastungen bildet eben die grosse erforderliche Auflast, selbst bei kleinen Druckplatten von etwa 900 bis 1000 cm², und ihre richtige konstruktive Anbringung, derart, dass die Auflast wirklich axial und in voller Grösse zur Wirkung gelangt. Da doch immer eine Reihe von Probebelastungen solcher Druckplatten oder Pfeiler gefordert werden muss, um den Einfluss örtlicher Unregelmässigkeiten möglichst durch eine Durchschnittsbildung auszuschalten, ist die Abneigung gegen ein so umständliches und schwieriges Verfahren begreiflich.

2. *Die Kegeldruckprobe für Erdreich.*

Die besprochenen Nachteile zu kleiner Druckflächen beziehungsweise zu grosser Auflasten und ihrer schwierigen Anordnung bei einigermassen vergrösserten Druckflächen können durch die *Kegeldruckprobe* nahezu beseitigt werden. Wenn man sie hierfür bisher nicht herangezogen hat, so mag dies mehrere Ursachen gehabt haben. Erst durch die auf dem Gebiete der Pfahlstatik in den letzten 20 Jahren angestellten Forschungen sind die mechanischen Vorgänge im Erdreich an kegelförmigen Druckkörpern einigermassen studiert und geklärt worden. Die ersten Versuche zur Auswertung dieser Erkenntnisse für die Bodenprüfung fanden in Wien auf sogenanntem Laaerbergschotter (durch einen Ausschuss für „Vorschriften für den allgemeinen Hochbau" des Oesterr. Ingenieur- und Architekten-Vereines) während der Kriegszeit statt, konnten aber keine praktischen Ergebnisse liefern, weil ihnen der gleiche Nachteil anhaftete, wie den gewöhnlichen Probebelastungen der Bausohle. Die verwendeten Druckkegel waren zu gross, um mit geringen, leicht zu beherrschenden und zu messenden Druckkräften das Auslangen zu finden. Dagegen haben diese Versuche die Vorteilhaftigkeit der Kegelform gegenüber ebenen Druckflächen insofern deutlich erkennen lassen, als die Formänderungen des Bodens bei der Kegelform nur vom spezifischen Druck abhingen, bei ebenen Druckflächen aber der bedeutende Einfluss von Form und Grösse der Druckflächen nicht zu übersehen war. Die Erklärung für diesen Einfluss kann man in dem Umstande suchen, dass sich unter der ebenen Druckfläche im Erdreich ein paraboloidartig begrenztes Verdichtungsgebiet bildet, dessen Grundfläche die ebene Druckfläche darstellt, während sich die Höhe (richtiger: die Tiefe) dieses Verdichtungsgebietes nach Massgabe der Eindrückungstiefe und der wachsenden Beanspruchung vergrössert. Im gewissen Sinne bildet nun aber dieses Verdichtungsgebiet an sich eine spitzenartige Ergänzung der ebenen Druckfläche und übt auf das umgebende Erdreich eine Keilwirkung aus.[1])

Es ist nun ohne weiteres einzusehen, dass diese Keilwirkung sehr verschieden ausfällt, je nach der Neigung der Keilflächen. Unter *kleinen*, ebenen Druckflächen werden sich aber viel früher steilere Keilflächen, an denen das Abgleiten leichter erfolgt, bilden können, als unter grossen ebenen Druckflächen. Auch Einzelheiten der Bodenbeschaffenheit werden hierbei starken Einfluss haben, sodass die Vergleichbarkeit von Formänderungen selbst völlig gleicher ebener Druckflächen auf verschiedenen Böden erschwert ist.

Begreiflicherweise ist vor allem die Korngrösse bei körnigen Bodengattungen auf die Bildung des Verdichtungs-Gebietes unter ebenen Druckflächen und damit auch auf die Formänderungen des Baubodens von weitergehendem Einfluss als bei Druckkegeln. Zum Beispiel wird eine ebene Quadratfläche von 150 mm Seitenlänge auf grobem Schotterboden mit 60 mm grossem Korn überhaupt eine ganz andere Art der Beanspruchung des bodenbildenden Gesteines her-

[1]) Siehe O. Rappold's« Bau der Wolkenkratzer», Verlag Oldenbourg, 1913: S. 36 u. ff. Hierher gehört auch der nach siebenjähriger Arbeit in den «Papers and Discussions of the American Society of Civil Engineers», Aug. 1920 (Nr. 6, Tafel XI, XII) und Januar 1922 (Tafel VII) veröffentlichte *Normungsentwurf* für einen leicht zusammenstellbaren Bodenprüfapparat: Auf kreisförmiger Gussplatte von 927 cm² Fläche steht ein Holzklotz, belastet mittels zweiarmigen Hebels 1 : 10, auch für Erd- und Wasserballast geeignet, mit 5-fach übersetzter, aber recht unempfindlicher Zeigerablesung; das Ganze jedoch mit zu rohen Einrichtungen für den sachgemässen Genauigkeitsgrad.

[1]) *R. v. Schoen:* „Versuche über die Verdrängung des Bodens" in der österr. Wochenschriftf. d. öff. Baudienst, Jahrgang 1909, Heft 19; ferner: *H. Krey:* „Erddruck, Erdwiderstand u. Tragfähigkeit des Baugrundes", Berlin 1912, Verlag W. Ernst & Sohn, Seite 40; *J. W. Schwedler's:* „Theorie des Eisenbahn-Oberbaues", Zentralblatt d. Bauverwaltung, Jahrgang 1891, Seite 95; endlich Prof. Dr. *Grengg's* noch unveröffentlichte Deformationsversuche in plastischen Massen (1924), Mineralogisches Institut der Technischen Hochschule in Wien.

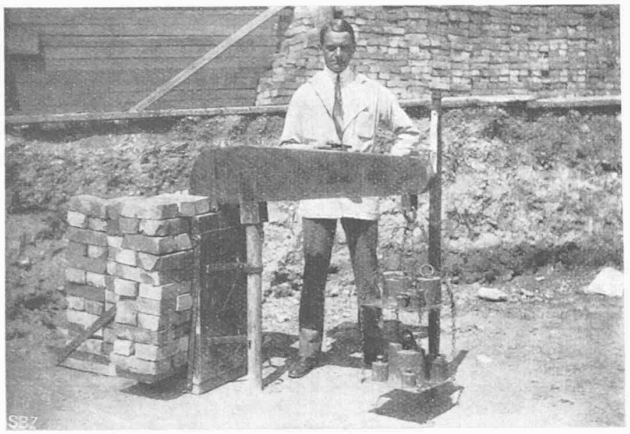

Abb. 2. Neuer Kegeldruck-Apparat für Bodenprüfung im Betrieb.

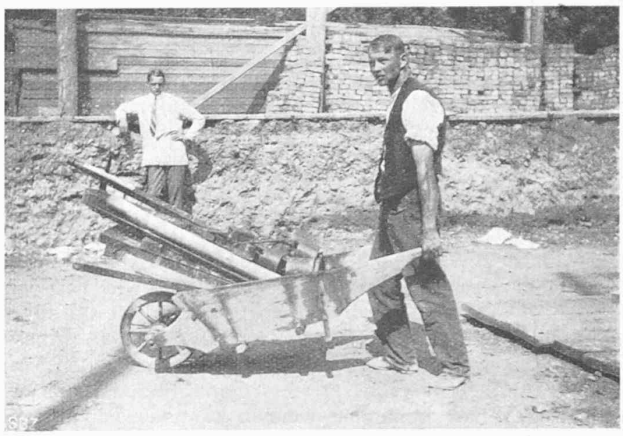

Abb. 3. Der Kegeldruck-Apparat in zerlegtem Zustande.

vorrufen, als eine den selben spezifischen Bodendruck ausübende Quadratplatte von 400 mm Seitenlänge. Im ersten Falle werden die wenigen belasteten Schotterstücke gewissermassen isoliert auf Zerdrückung beansprucht, während im zweiten Falle das ganze Druckgebiet zunächst eine Zusammendrückung durch dichtere Lagerung aller Schotterstücke erfahren und auf diese Weise zur Bildung eines Verdichtungsgebietes und zur Keilwirkung unter der Druckplatte führen wird. So kann also die umgekehrte Erscheinung auftreten wie im allgemeinen, dass nämlich bei gleicher spezifischer Beanspruchung die Formänderung des Bodens durch grössere Druckplatten nicht in kleinerm, sondern in grösserm Masse bewirkt wird als durch kleine Druckplatten. Aber auch das wird nur innerhalb gewisser Grössengrenzen für die ebenen Druckplatten gelten können, da wahrscheinlich die Eindrückung der 400 mm grossen Quadratplatte wieder grösser ausfallen dürfte als jene einer wesentlich grössern Quadratplatte bei gleichem spezifischem Bodendruck. Dies deshalb, weil auch selbst im groben Schotterboden die Keilbildung unter der ersten günstiger sein dürfte, als unter der letztgenannten.

Dagegen werden stets — bei gekörnten und amorphen Bodengattungen, ja sogar auch im groben Schotterboden — an gleichgeformten, aber verschieden grossen Druckkegeln immer nur gleichartige Erscheinungen auftreten können. Vielleicht darf man sagen, es bestehe eine Art geometrischer Aehnlichkeit zwischen dem eingedrungenen Kegelteil und den mechanischen Erscheinungen im umgebenden Boden. Die Verdichtungsgebiete bei Druckkegeln von gleicher Form und Oberflächenbeschaffenheit sind also nur von der Zusammendrückbarkeit des Bodens abhängig, was den wissenschaftlichen Voraussetzungen der Kegeldruckprobe in hohem Grade zugute kommt.

Verwendet man z. B. eine etwa 70 mm starke zylindrische Prüfnadel mit etwa 200 mm langer kegelförmiger Spitze, die noch vor dem Druckversuche nicht tiefer als auf ihre ganze Höhe an der Versuchstelle mittels Hammerschlägen vorsichtig eingetrieben wird, so kann man mit mässigen, aber genau messbaren und langsam steigerbaren Druckkräften schon Eindrückungsbeobachtungen anstellen, die Rückschlüsse auf die Zusammendrückbarkeit der Bausohle gestatten.

Der wichtigste Rückschluss besteht bei dieser Methode darin, dass überall dort, wo eine bestimmte Druckbeanspruchung die Prüfnadel um ein und dasselbe Mass in die Bausohle eindrückt, seitens der einzelnen Bauteile durch die gleich grosse Druckbeanspruchung auch immer nur eine begrenzbare Zusammendrückung der Bausohle hervorgerufen wird. Dabei werden selbstverständlich die Eindrückung der Prüfnadel und die wirkliche Zusammendrückung der Bausohle keineswegs einander gleich sein. *Wie* gross sie aber sind bezw. welcher Grössenunterschied zwischen ihnen besteht, ist für das Prüfungsverfahren selbst völlig unerheblich. Von Wichtigkeit ist nur, zu wissen, dass eine geringfügige Eindrückung der Prüfnadel, zum Beispiel von weniger als 6 mm, eine Gewähr dafür bietet, dass unter der gleichen Druckbeanspruchung die Bausohle z. B. nirgends mehr als um 30 mm zusammengedrückt werden wird. Wenn dann noch gegen das Auftreten derartiger Zusammendrückungen eine weitere Sicherheit geschaffen wird durch eine höhere Druckbeanspruchung der Prüfnadel (etwa doppelt so starke Beanspruchung als im Bauwerk), dann können wohl keine für das Bauwerk schädlichen Setzungsverschiedenheiten auftreten. Darin besteht aber sowohl die Gründungsaufgabe als auch die Vorfrage einer richtigen Bemessung der Baugrund-Belastung. Vielfach wird eine solche Bodenprüfung das Zutrauen zur Belastungsfähigkeit der Bausohle wesentlich stärken und es erleichtern, die Bauökonomie gegenüber Einwänden und Bedenken, die mehr geschäftlichen, als technischen Tendenzen entspringen können, zu wahren. Andererseits wird eine korrekte Durchführung der Bodenprüfung in manchen Fällen rechtzeitig die Aufmerksamkeit der Bauleitungen auf die Notwendigkeit von Fundamentsverstärkungen für gewisse Bauteile lenken, die sonst den so häufig zu beobachtenden Baumängeln infolge ungleicher Setzungen ausgesetzt wären.

Dass die Kegeldruckprobe die Vorteile einer Belastungsprobe grösserer Druckflächen ohne deren Nachteile aufweist, zeigt eine Betrachtung der belasteten Prüfnadel. Ihre als Druckkegel dienende Spitze ist durch leichte Hammerschläge in die Bausohle auf Spitzenlänge eingetrieben worden und hat dabei eine, wenn auch geringe Bodenverdrängung bewirkt, mit der eine gewisse Bodenverdichtung einhergeht. Aber auch die Fundamentkörper des Bauwerkes bewirken, schon ehe das Bauwerk über die umgebende Geländehöhe herausgewachsen ist, eine gewisse Zusammendrückung und damit auch Verdichtung der Bausohle. Da der Ausgangspunkt für die Beobachtung der Setzungen des Bauwerkes, die übrigens auch meistens die Fugenpressungen oder das Schwinden des Mauerwerks in sich schliessen, üblicherweise erst an den Bauteilen *über* Geländehöhe angelegt wird, so wird ähnlich der Prüfnadel auch beim Bauwerk selbst meist schon ein etwas verdichteter Boden der Beobachtung unterzogen. Insofern sind die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit bei der Prüfnadel sogar zutreffender, als bei grössern *ebenen* Platten oder Pfeilern, die mangels jener Vorverdichtung unrichtige, und zwar zu ungünstige Bodenpressungen liefern.

Trotzdem es sich aber bei der Prüfnadel nur um die Druckbeanspruchung ihres Querschnittes (der Kegelprojektion) von etwa 36 $^1/_8$ cm², also von vornherein um mässige Auflasten handelt, findet doch die Druckübertragung auf den Bauboden in einer etwa 250 cm² messenden Fläche, dem Kegelmantel der Nadelspitze, statt. Eine solche Druckfläche bietet schon hinreichende Gelegenheit, um den Einfluss örtlicher Besonderheiten abzuschwächen und einen gewissen richtigen Durchschnitt der Bodenbeschaffenheit zu erfassen. Insbesondere wird sich dieser richtige Durch-

schnitt schon bei einer wesentlich kleinern Versuchsreihe ergeben, als wie sie zur Vermeidung grosser Auflasten bei Verwendung kleinerer Druckflächen sonst ausgeführt werden müsste.

Weitere Vorteile der Prüfnadel bestehen in der grössern Schärfe beim Wägen der Auflast und beim Messen der Eindrückung. Die Prüfnadel lässt sich nämlich leicht als Stützpunkt einer Art Dezimalwage einbauen, sodass das Hebelarmverhältnis sowohl für den Bruchteil des Lastbedarfes, als auch für die Vervielfachung des Eindrückungsweges an der Wagschale massgebend ist (Abb. 1 bis 3). Z. B. beim Verhältnis der Wagbalkenteile wie 1 : 4 wird die auf die Prüfnadel wirkende Auflast schon durch ein Fünftel ihrer Grösse hervorgerufen und abgewogen, während die Abwärtsbewegung der Prüfnadel am Ende des Wagbalkens fünffach vergrössert erscheint und daher auch fünfmal so scharf gemessen werden kann. Auch gestaltet sich die Beobachtung der Bewegung leichter und bequemer in einer gewissen Entfernung von der Belastungstelle als an oder unmittelbar über ihr. Vor allem aber können schon ganz geringfügige Bewegungen der Prüfnadel bis $^1/_{10}$ mm beobachtet und gemessen werden, was zur weiteren Herabminderung des Lastbedarfes beiträgt.

3. *Der neue mechanische Bodenprüfer.*

Ein nach diesen Grundsätzen gebauter Apparat ist in Abbildung 1 durch seine Konstruktionszeichnung und in Abbildung 2 im Lichtbilde dargestellt. Die Abbildung 3 zeigt das Lichtbild der auseinandergenommenen Bestandteile zwecks leichten Transports des zerlegten Apparates. Die Einfachheit der recht robusten Vorrichtung ermöglicht es, den Apparat auf jedem gut eingerichteten Bauhof mit mit den dort vorhandenen Mitteln und Arbeitskräften zu erzeugen, sodass einerseits nur sehr geringe Kosten auflaufen, anderseits dieses Hilfsmittel bei jeder Bauführung rasch und unabhängig von fremden Werkstätten beschafft werden kann.

Im wesentlichen besteht der Apparat aus fünf Teilen: der Gegengewichtbrücke, dem Wagbalken, der Wagschale, der Prüfnadel und dem Mess-Stab. Ueberdies muss noch für gewöhnliche Fälle ein geeichter Gewichtsatz von insgesamt 50 kg, sowie irgend ein geeignetes Gegengewichtmaterial (Ziegel, Pflastersteine, kurzes Eisen, mit Zement oder Sand gefüllte Säcke oder dergleichen) von insgesamt 300 bis 400 kg zur Verfügung stehen.

Die Gegengewichtbrücke besteht aus der Bodenplatte, mit der die Stirnwand wohl gelenkig verbunden ist, jedoch durch eiserne Streben genau unter einem Winkel von 90° zur Bodenplatte eingestellt und fixiert werden kann. Die Stirnwand trägt das Scharnier mit leicht abnehmbarem Gelenkbolzen, in dem der ausserordentlich steif geformte Wagbalken eingehängt wird. Der Wagbalken ist ein einarmiger Hebel, dessen Lastpunkt genau im Fünftel der ganzen Armlänge liegt. Der Lastpunkt ist zur Vermeidung von Deformationen des Wagbalkens mit Blech beschlagen und zeigt auch noch zwei Führungsbacken, die seitliche Bewegungen des Wagbalkens während des Versuches verhindern. Am freien Ende des Wagbalkens befindet sich ein starker Haken zur Aufhängung der Wagschale. An den Backen dieses Hakens ist ein seitlich hinausreichender eiserner Zeiger befestigt, an dem die Senkungen der Wagschale beobachtet werden. Die Wagschale ist zur leichtern Unterbringung und zum Austausch der Gewichtstücke zweistöckig.

An der Stirnwand der Gegengewichtbrücke können in entsprechenden Bügeln zwei Führungsringe leicht eingeschoben werden, durch die die lotrechte Stellung der Prüfnadel im Fünftelpunkt des Wagbalkens festgelegt erscheint. Die Führungsringe bieten der Prüfnadel nur etwa 2 mm Spielraum und können beim Belasten der Nadel zur Vermeidung jeder Reibung geöffnet werden.

Die Prüfnadel ist genau so lang, dass bei schwach ansteigender Lage des auf sie aufgelegten Wagbalkens das obere Ende der Nadelspitze (die „Nadelkante") gerade in Höhe der Bausohle zu liegen kommt. Die Prüfnadel ist ein zylindrischer, 70 mm starker Holzpflock mit vierkantigem, oben abgerundetem und mit Blech beschlagenem Auflagerkopf und mit 200 mm langer, kegelförmiger, blechbeschla-

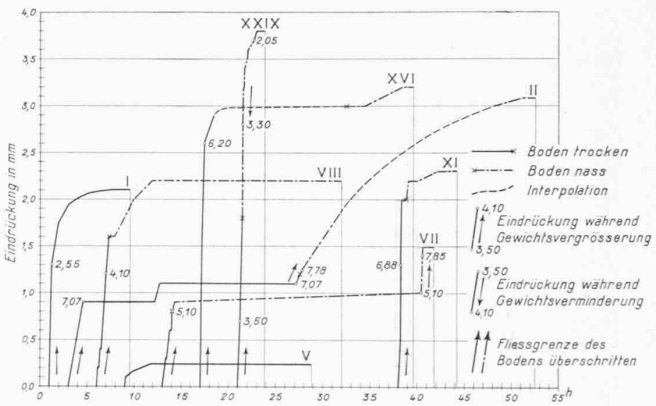

Abbildung 4.

Verzeichnis der Bodenprüfungen nach Abb. 4 bis 6.

Schaulinie	Datum 1924	Bodenbeschaffenheit	Zulässige Bodenspannung in kg/cm²	Abbildung	Abszisse (h)
I.	19. V.	Fest gelagerter Lehm	1,3	4	1
II.	21./23. V.	Lehmiger, festgelagerter Schotter [1]	3,9	4	3
III.	22./26. V.	Mergelhaltiger Lehm	2,5	6	3
IV.	26. V.	Lehmiger Füllboden	3,6	5	13
V.	27./28. V.	Lehmiger Füllboden [2]	—	4	9
VI.	2./3. VI.	Trockener, festgelagerter, feiner Sand mit Lehmbeimengung	3,9	5	1
VII.	16./17. VI.	Stark sandiger Lehm, erdfeucht, fest gelagert	3,9	4	13
VIII.	18./20. VI.	Leicht sandiger Lehm, feucht, dicht	2,1	4	6
IX.	20./21. VI.	Rundschotter mit Sand, festgelagert	3,9	5	7
X.	21./23. VI.	Stark sandiger Lehm, erdfeucht, festgelagert	3,8	5	4
XI.	26. VI.	Sandiger Lehm mit eingesprengtem Rundschotter, erdfeucht, dicht gelagert	3,5	4	38
XII.	26. VI.	Sandiger und blauer Tegel gemischt [3]	—	6	24
XIII.	25. VI.	Leicht sandiger Tegel, blau und gelb, erdfeucht [3]	—	6	42
XIV.	30. VI./1. VII.	Feuchter, lehmiger Boden, wenig Sand	—	6	11
XV.	4./5. VII.	Feuchter, sandiger Lehm	3,5	5	21
XVI.	8./9. VII.	Sandiger, erdfeuchter Lehm	3,1	4	17
XVII.	15. VII.	Reiner Sand, fein, trocken	3,8	5	40
XVIII.	15. VII.	Lehmiger, sandiger Rundschotter, erdfeucht, locker	—	6	52
XIX.	16. VII.	Lehmiger, feiner Sand, erdfeucht [4]	1,4	6	38
XX.	16. VII.	Reiner, feiner Sand, trocken [5]	3,8	5	49
XXI.	16. VII.	Rescher Sand und Schotter, erdfeucht [6]	5,2	5	45
XXII.	17. VII.	Lehmiger, feiner Sand, trocken [7]	1,8	6	7
XXIII.	17. VII.	Feiner, leicht lehmiger Sand, erdfeucht, dicht gelagert	3,1	6	33
XXIV.	18. VII.	Feiner, leicht lehmiger Sand, erdfeucht, dicht gelagert	2,4	5	10
XXV.	18./19. VII.	Feiner, dichtgelagerter Sand [8]	2,1	6	15
XXVI.	19. VII.	Feiner, dichtgelagerter Sand [9]	2,0	5	58
XXVII.	22./24. VII.	Aufgefüllter Tegel, fest gelagert, trocken [10]	0,7	6	1
XXVIII.	24. VII.	Aufgefüllter Rundschotter, locker gelagert, wenig Sand, durchfeuchtet [11]	—	6	57
XXIX.	24. VII.	Feuchter, leicht lehmiger Sand [12]	1,0	4	21
XXX.	23./24. VII.	Lehmiger, sehr feuchter Schotter [13]	1,3	5	29

[1]) Regen zwischen Abszissen 12 h und 13 h. [2]) Versuchszweck: Ermittlung des Verhaltens bei 1 kg/cm² Bodendruck. [3]) Tegel bleibt lange wasserabweisend, wird aber schliesslich völlig plastisch. [4]) Fundamentsohle in höherer Bodenschicht. [5]) Nadelquerschnitt = 50 cm². [6]) Fundamentsohle in tieferer Bodenschicht. [7]) Fundamentsohle in höherer Bodenschicht; Nadelquerschnitt 50 cm². [8]) Naturboden. [9]) Naturboden; Nadelquerschnitt = 50 cm². [10]) u. [11]) Füllboden; Nadelquerschnitt = 50 cm². [12]) u. [13]) Naturboden; Nadelquerschnitt = 50 cm².

DIE FESTIGKEITSMECHANISCHE PRÜFUNG DES BAUBODENS MITTELS DER KEGELDRUCKPROBE.

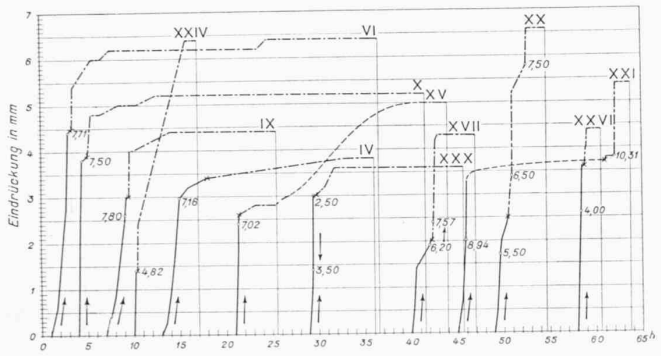

Abbildung 5.

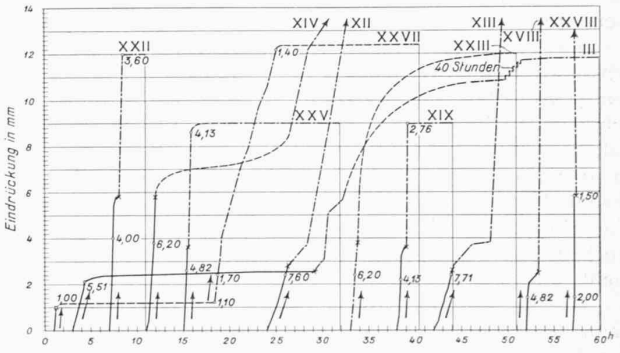

Abbildung 6.

gener Spitze. Um durch die Hammerschläge beim Aufstellen der Prüfnadel keine Deformationen des Auflagerkopfes zu bewirken, wird eine passende Schlaghaube aufgesetzt und nach dem Eintreiben der Nadel bis zur Nadelkante wieder abgenommen.

4. *Der Belastungsversuch.*

Schon vor der Aufstellung der Prüfnadel soll die Bodenplatte der Gegengewichtbrücke mit entsprechendem Ballast, jedoch mit mindestens 300 kg belegt werden. Wegen der von der Stirnwand ausgeübten steigenden Zugentlastung muss der Ballast auf der Bodenplatte ungleichmässig verteilt werden, derart, dass womöglich zwei Drittel vorn an die Stirnwand zu liegen kommen. Je grösser diese Belastung des Vorderteiles der Bodenplatte wird, desto sicherer werden die Ergebnisse des Belastungsversuches sein. Auch muss die Bodenplatte mittels Wasserwage möglichst genau horizontal gestellt werden.

Nun wird der Wagbalken ins Scharnier der Stirnwand eingehängt und auf den Nadelkopf frei aufgelegt. Dann wird der Messtab, ein vierkantiger, mit eiserner Fussspitze versehener Holzstab, an dem an jeweils passender Stelle eine auf Papier oder Zelluloid aufgetragene bezifferte Millimeterskala einfach mit Reissnägeln befestigt wird, derart knapp neben dem Zeiger des Wagbalkens in den Boden gesteckt, dass vom Standpunkte des Beobachters aus bequem über das Zeigerende auf die Skala abvisiert werden kann. Zur Erleichterung dieser Visur empfiehlt es sich, z. B. ein Rasierblatt aufs Zeigerende so aufzulegen, dass es bis an die Skala heranreicht. Am besten ist es, diese Rasierklinge mit dem Zeiger des Wagbalkens durch eine kleine Klemme zu verbinden. Nun wird der anfängliche Zeigerstand an der Skala abgelesen und sodann die Wagschale als erster Teil der Gewichtauflage in den Haken des Wagbalkens eingehängt. Das Eigengewicht der Wagschale soll deshalb auf ihr deutlich angeschrieben sein und muss den aufgebrachten Gewichtstücken stets zugerechnet werden.

In den Abbildungen 4, 5 und 6 sind die ersten 30 mit dem beschriebenen Apparat ausgeführten Bodenprüfungen durch Schaulinien wiedergegeben. Die Belastungsdauer wurde als Abszisse, die beobachteten *Eindrückungen* wurden als Ordinaten und die Nadelspannungen (pro cm² der Horizontalprojektion des Druckkegels) durch Ziffernbezeichnung der zugehörigen Kurvenpunkte dargestellt. Bei entsprechender Beachtung der in Abbildung 4 beigegebenen Zeichenerklärung wird die eingehende Betrachtung dieser „Eindrückungs-Zeit-Linien" mehr sagen können als umfängliche Erzählungen. Die Auffindung und das Verständnis der einzelnen Schaulinien dürfte durch die nebenstehende Tabelle erleichtert werden.

Wenn es sich darum handelt, den die Bausohle bildenden Boden überhaupt einem festigkeitsmechanischen Studium zu unterziehen und nicht nur die Frage zu beantworten, ob eine bestimmte beantragte spezifische Pressung der Bausohle zulässig ist oder nicht, dann wäre der weitere Vorgang ähnlich den durch die Eindrückungszeitlinien der in den Abbildungen 4 bis 6 dargestellten Versuchen einzuhalten.

Dabei ist insbesonders die richtige Rücksichtnahme auf die Belastungsdauer zu beachten. Es ist nämlich für die Zusammendrückung ganz und gar nicht gleichgültig, wie lange ein Eindringungskörper im Erdreich belastet ist. Sehr häufig ergeben sich erst nach geraumer Zeit messbare Zusammendrückungen (siehe die Lastaufbringungskurven der Schaulinien VII, VIII und IX), oder aber eine erzielte Zusammendrückung des Bodens, die scheinbar beendigt ist, erfährt doch bei länger dauernder Lasteinwirkung noch eine messbare Vergrösserung (siehe Schaulinien III, VI, IX, X und XI). Dieser Einfluss der Belastungsdauer lässt keine Regel erkennen und hängt jedenfalls am stärksten von der Bodenbeschaffenheit ab.

Will man daher keine wesentlichen Fehlergebnisse erhalten, so muss man trachten, den Einfluss der Belastungsdauer von vornherein möglichst auszuschalten, indem man in möglichst gleichen Zeitabständen gleichgrosse Gewichtsvermehrungen auf die Wagschale bringt. Unmittelbar vor jeder derartigen Gewichtsvermehrung hat die Ablesung am Zeiger zu erfolgen. Da in diesem Falle die Lasten den Zeiten direkt proportional sind, so liefert ein Schaubild mit den Zeiten als Abszissen und den Eindrückungen als Ordinaten sowohl die jeweilige Eindrückungsgeschwindigkeit, als auch das *Proportionalitätsgesetz zwischen Spannungen und Formänderungen* des Baubodens. Diese „Lastaufbringungskurven" reichen in den oben genannten Abbildungen von der Abszissenaxe bis zum bezifferten, den Beginn der Dauerbeobachtung bezeichnenden Punkt. Sie weisen für die meisten Bodengattungen eine fast konstante Richtungstangente auf und ergeben daher im grossen und ganzen das Bild einer geraden Linie.

Der Apparat gestattet ferner die Untersuchung der Bausohle auf ihre elastischen Eigenschaften. Zu diesem Zwecke wäre bloss die Lastaufbringung durch Vornahme von Entlastungen um eine oder mehrere Laststufen zu unterbrechen und die Wirkung solcher Entlastungen am Zeiger abzulesen.

Auch kann der Einfluss verschieden starker Durchfeuchtungen des Baubodens auf seine Zusammendrückbarkeit mit Leichtigkeit während oder nach der Lastaufbringung festgestellt werden. Von den mit Kreuzen bezeichneten Schaulinienpunkten an war die Prüfungsstelle unter Wasser gesetzt. Dies wird sich in allen Fällen empfehlen, insbesonders aber *geboten* sein in Stadtgebieten, wo die Möglichkeit von Rohrmängeln der Druckwasserleitung und einer Ausbreitung der dadurch verursachten Durchtränkung des Bodens bis in die Fundamente ebensowenig ausgeschlossen werden kann, als etwa Wassereinbrüche infolge von Regengüssen, die das Fassungsvermögen der Kanalisation überschreiten.

Schliesslich ist in gewissen Fällen auch die Beantwortung der Frage wichtig, wie sich die Zusammendrück-

barkeit der Bausohle unter dem Einfluss von Bodenerschütterungen in ihrer Umgebung verhält. Auch dieses Problem kann mit Hilfe des vorliegenden Apparates im Versuchswege gelöst werden, indem durch stärkere oder schwächere, raschere oder langsamere Aufschläge eines entsprechend schweren Rammbären auf die Bausohle in einiger Entfernung von der Prüfungsstelle Bodenerschütterungen verschiedenen Grades erzeugt werden und das sehr empfindliche Verhalten des Zeigers an der Skala abgelesen wird. In der Nähe von schnellfahrendem Schwerfuhrwerk, von Eisenbahnen, insbesonders über Einschnitten oder Tunneln, aber auch in der Umgebung von Dampfhämmern oder Pochwerken und dergleichen, sollten derartige Untersuchungen nicht unterlassen werden.

Wesentlich vereinfacht kann der Belastungsversuch dann werden, wenn nichts anderes als die Zulässigkeit der beantragten Bausohlenbelastung festzustellen ist. In diesem Falle empfiehlt sich die Belastung der Prüfnadel mit dem Doppelten der beantragten spezifischen Bodenpressungen, berechnet auf den Nadelquerschnitt, d. h. die Projektion des Druckkegels (siehe Schaulinie V). Dadurch wird der Belastungsversuch von vornherein auf die zweifache Sicherheit gegenüber der Wirklichkeit abgestellt. Bleibt dann trotz einer möglichst auf die Prüfungsstelle zu beschränkenden, aber reichlichen und andauernden Durchfeuchtung des Bodens die Eindrückung der Prüfnadel noch nach 24 Stunden unter 4 mm, daher der Zeigerausschlag an der Skala kleiner als 20 mm (siehe die Schaulinien der Abbildung 4), so kann als sicher angenommen werden, dass die Bausohle nirgends und unter keinen Umständen um mehr als 20 mm zusammengedrückt werden wird. Das bedeutet aber wohl in allen Fällen eine völlig befriedigende Sicherheit der Fundierung. Das Grenz-Mass von 4 mm erscheint dabei insofern willkürlich gewählt, als es in den meisten Wiener Versuchsergebnissen gut übereinstimmt mit den bisher jeweils „amtlich zugelassenen" Bodenpressungen. Es kamen aber auch Fälle vor, wo ihnen eine Eindrückung der Prüfnadel von etwa 6 mm noch entsprochen hätte (siehe die Schaulinien der Abbildung 5). In Anbetracht der doppelten Nadelbelastung und der starken Bodendurchfeuchtung liegt aber auch bei Festsetzung der Eindrückungsgrenze von 6 mm für die Prüfnadel (Zeigerausschlag = 30 mm) noch immer eine reichliche — ungefähr zweifache — Sicherheit gegen die Erreichung der unschädlichen Setzungsgrenze des Bauwerkes von etwa 30 mm vor.

Handelt es sich aber nicht um die blosse Ueberprüfung einer beantragten spezifischen Bodenspannung, sondern um die Beantwortung der Frage, welche grösste spezifische Bodenspannung zugelassen werden darf, dann kann die entsprechende Belastung der Prüfnadel nicht anders als durch vorsichtige näherungsweise Wahl und durch Beobachtung der bewirkten Dauereindrückung, wie in den oben besprochenen Fällen, ermittelt werden. Erweist sich die gewählte Nadelbelastung als zu klein, indem die Dauereindrückung bei festerm Boden und empfindlichem Bauwerk erheblich unter 4 mm (siehe Schaulinien II, VII, XVII) oder bei weicherm Boden und gewöhnlichem Bauwerk erheblich unter 6 mm zurückbleibt (siehe Schaulinie XX), dann muss die Nadelbelastung entsprechend vergrössert und die Dauerbeobachtung anschliessend fortgesetzt werden. Durch ein bis zwei solcher Fortsetzungen dürfte es wohl in den meisten Fällen gelingen, die zulässige grösste Belastung der Bausohle als Hälfte der Nadelspannung zu ermitteln.

Es unterliegt aber keinem Anstand, auch Lastverminderungen in jenen nicht seltenen Fällen vorzunehmen, wo schon vor der Eindrückungsgrenze von 6 mm die „Fliessgrenze" des Baubodens, d. h. jene Belastung erreicht wird, unter der die Nadeleindrückung mehr oder weniger schnell, aber unaufhörlich fortschreitet. (Siehe Schaulinien XXIX und XXX.) In solchen Fällen wird die Hälfte jener verringerten Nadelspannung, bei der wieder dauernder Gleichgewichtszustand eintritt, als grösstzulässige Bausohlen-Belastung anzusehen sein. Bei welchem Punkte des Masstabes dieser Zeigerstillstand dann eintritt, ist gleichgültig (siehe Schaulinien XIX, XXII, XXV, XXVII und XXVIII).

Hofrat Koch schlägt zur leichteren Uebersicht bei den Belastungsversuchen vor, die Prüfnadel an der Nadelkante statt 70 mm knapp 80 mm stark zu machen, wodurch die Projektion des Druckkegels rund 50 cm² Inhalt bekommt, sodass pro 1 cm² Nadelquerschnitt die Auflast, d. i. das auf die Prüfnadel jeweils entfallende fünffache Wagschalengewicht, sich einfach als $^1/_{10}$ des jeweiligen Wagschalengewichtes ergibt. Hierdurch wird ein gewisser Mehrbedarf an Wagschalen- wie an Gegengewicht zwecks gleicher Druckbeanspruchung des Nadelquerschnittes hervorgerufen. Dann wird man aber wieder aus den Eindrückungen der stärkern Prüfnadel die gleichen Rückschlüsse auf die Zusammendrückbarkeit der Bausohle ziehen können (siehe Schaulinien XX, XXII, ferner XXVI bis XXX).

Ich fühle mich verpflichtet, meinen eifrigen Mitarbeitern an den Versuchen gebührend zu danken, und zwar dem verständnisvollen Konstrukteur des Bodenprüfers, Herrn Johann Bartl, sowie den mit der Versuchs-Durchführung und -Bearbeitung befassten Herren Hofrat Ing. Hanns Koch, Ing. Bielz und Reigel. Zu besonderm Dank bin ich der städtischen Bauverwaltung von Wien dafür verpflichtet, dass sie mir durch den amtsführenden Stadtrat Siegel und den Obersenatsrat Ing. Hafner Gelegenheit geboten hat, meine Bodenprüfungen anlässlich ihrer derzeit lebhaften Bautätigkeit in fast allen Wiener Bodengattungen vorzunehmen, wobei sie mir jede nur wünschenswerte Förderung zuteil werden liess. Wien, im Juli 1924.

Stossvermindernde Aufhängung des nur teilweise abgefederten Bahnmotors.

Von Ing. JAN BAŠTA, Prag.

Anknüpfend an den gleichnamigen Artikel des Herrn Ing. A. Laternser in der „Schweizerischen Bauzeitung", Band 83, Seite 125, soll im nachstehenden eine neue physikalische Betrachtung und die daraus folgende Ermittlung des günstigsten Aufhängepunktes für einen Bahnmotor mit gefedertem Zahngetriebe dargelegt werden. Es handelt sich um die Entfernung x der Aufhängung B von der Motor-Axe C (vergl. Abbildung 1).

Kommen die Räder der Triebachse A auf Unebenheiten von der Höhe h, so dreht sich die Triebachse um den Aufhängepunkt B in aufsteigendem Sinn. Die Bewegung kann — abgesehen von der Schiebung des Punktes B — als erste Schwingung eines physischen Pendels angesehen werden, dessen Schwerpunkt im Motorzentrum C angenommen sei (Abbildung 2).

Die Frage lautet: Wo soll der Motor aufgehängt werden, damit die in A wirkende Stosskraft am kleinsten ausfällt? Für diesen Fall muss die Länge $BA = l =$ der reduzierten Länge des physischen Pendels sein (Abb. 3).

$$l = \frac{J_B}{M \cdot x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

worin J_B das Trägheitsmoment des Motorsystems bezogen auf den Aufhängepunkt B, M die Masse des Systems ist.

Weil wir direkt die Entfernung x berechnen wollen, substituieren wir l durch $x + c$ und benützen die bekannte Beziehung $J_B = J_C + M x^2$ . . . . . (2)

wo J_C das Trägheitsmoment des Systems bezogen auf die Schwerpunktsaxe bedeutet. Wir bekommen dann

$$x = \frac{J_C}{M \cdot c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Der praktische Wert dieser Formel erhellt aus folgender Berechnung, die sich auf einen Bahnmotor bezieht, der den elektrischen Bahnen der Stadt Prag geliefert wurde. Das Motorgewicht ist $G = 1466$ kg, das Trägheits-