

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Band:** 99/100 (1932)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Festigkeitsprüfung mit Hilfe des Kinometers  
**Autor:** Huggenberger, A.U.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-45468>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

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



Abb. 13. Warenhaus Breuninger, von der Hauptstätterstrasse aus gesehen. Photo Lazi.

sie als belebenden Faktor im Stadtbild begrüssen. Die Innerstadt, die in der amphitheatralischen Stadt eine übersehbarere Bildeinheit ist, hat in ihrer bildmässigen Erscheinung nichts verloren, im Gegenteil, sie ist um eine interessante neue Note bereichert worden. (Schluss folgt.)

**Festigkeitsprüfung mit Hilfe des Klinometers.**

Von Dr. sc. techn. A. U. HUGGENBERGER, konsult. Ing., Zürich.

Das Messverfahren mittels Libelle bietet ausgezeichnete Möglichkeiten, zahlreiche Festigkeitsfragen auf dem Gebiete des Bauingenieurwesens und des allgemeinen Maschinenbaues, soweit sie statische Erscheinungen betreffen, abzuklären. Wir weisen beispielsweise auf die Spannungsverhältnisse hin, die infolge des Zusammenfügens einzelner Konstruktionsglieder entstehen und die grundlegend die Tragfähigkeit bedingen. Die zeitlichen Änderungen in der Standfestigkeit von Bauwerken, Nebenspannungen<sup>1)</sup>, Reibung in den Gelenken von Brücken<sup>2)</sup>, Bewegung der Widerlager von Gewölben usw., sind für Messungen mittels Klinometer dankbare Aufgaben.

Die Libelle als Messorgan bedingt als Bezugsaxe die Horizontale. Wir denken uns eine durchsichtige Bildebene  $E$  mit der horizontalen Bezugsaxe  $a_0$  (Abb. 1). Hinter dieser Ebene befindet sich der Körper  $K$  mit der Umrisskurve  $u$ . Auf der Körperoberfläche wählen wir den Punkt  $S$ , von dem aus wir eine in der Bildebene  $E$  als Gerade  $b$  erscheinende Linie ziehen, die mit der nach dem Bildpunkt  $S$  parallel zur Bezugsaxe  $a_0$  gezogenen Geraden  $a$  den Winkel  $\alpha_1$  einschliesst. Nun möge der Körper eine

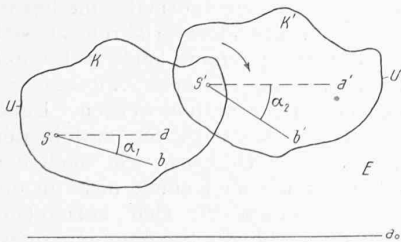


Abb. 1.

Stellungsänderung erfahren in die Lage  $K'$  mit dem Bildumriss  $u'$ . Ausser der Verschiebung  $SS'$ , die uns im vorliegenden Fall nicht interessiert, wird der Körper eine Drehung vollführen. Diese äussert sich in der Weise, dass der Winkel  $\alpha_2$ , den die nach  $S'$  parallel verlegte Bezugsaxe  $a'$  mit dem Bild der Geraden  $b'$  einschliesst, von  $\alpha_1$  verschieden ist. Die Drehung des Körpers bezüglich der Ebene  $E$  ist somit gegeben durch den *Stellungsänderungswinkel*

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \dots \dots \dots (1)$$

<sup>1)</sup> Gehler, W., Nebenspannungen in Fachwerkträgern.

<sup>2)</sup> Hübner, F., Das Versuchswesen in der Praxis des Eisen- und Eisenbetonbaues. „Schweiz. Bauzeitung“ Bd. 70, S. 163 ff. (Oktober 1917).

Die Stellung der Ebene  $E$  wird in der Regel so gewählt, dass der auf sie bezogene Stellungsdrehwinkel einen ausgezeichneten Wert, beispielsweise den Höchstwert aufweist.

Bei der Stellungsänderung kommt nur jene Drehung in Frage, die der Körper als Ganzes ausführt. Jeder Punkt des Körpers weist den gleichen Stellungsdrehwinkel auf, wenn es sich um einen starren Körper handelt. Ist der Körper elastisch und durch Kräfte und Momente belastet, so wird er sich verformen. Der Einfachheit halber sehen wir von der Stellungsänderung ab und fassen nur die Drehung der im Punkt  $S$  festgelegten Geraden  $b$  ins Auge, die auf die Gestaltsänderung allein zurückzuführen ist. Diese Drehung ist im allgemeinen in jedem Punkt des Körpers verschieden. Weist die betrachtete Gerade vor der Verformung mit der Bezugsaxe den Winkel  $\beta_1$  und nach

erfolgter Verformung den Winkel  $\beta_2$  auf, so ist der *Formänderungsdrehwinkel*

$$\beta = \beta_2 - \beta_1 \dots \dots \dots (2)$$

Im Sinne der Elastizitätstheorie wollen wir den *elastischen* und den *bleibenden* Formänderungswinkel unterscheiden. Geht die Gestaltsänderung bei der Entlastung nicht vollständig zurück, sondern verbleibt der Winkel  $\beta_1'$  so beträgt der elastische Anteil

$$\beta_e = \beta_2 - \beta_1' \dots \dots \dots (3)$$

während der bleibende Formänderungsdrehwinkel

$$(\beta - \beta_e) = -(\beta_1 + \beta_1') \dots \dots \dots (4)$$

ist. Es ist zu beachten, dass  $\beta_1, \beta_2, \beta_1'$  Werte bedeuten, die sich auf die absolute Stellung der Richtungsgeraden  $b$  bezüglich der Horizontalen beziehen. Diese Werte können etwa der Ablesungsgrösse am Klinometer gleichgesetzt werden. Der Formänderungswinkel  $\beta, \beta_e$  bedeutet die relative Stellung der Richtungsgeraden  $b$  in Vergleich zur Ausgangsstellung. Auch bei der Stellungsänderung des Körpers wird man die vorübergehende und die bleibende Stellungsänderung unterscheiden. In der Regel werden sich die Stellungsänderung und die Formänderung gleichzeitig auswirken, sodass die resultierende Drehung gleich ist

$$\varphi = \alpha + \beta \dots \dots \dots (5)$$

Die mit dem Klinometer erlangten Messwerte schliessen Auswirkungen der Stellungsänderung wie auch der Formänderungen des Bauwerkes in sich. Nur der Anteil  $\beta$  in Gl. (5) gestattet Schlüsse bezüglich der Festigkeit des Bauwerkes. Der Anteil  $\alpha$  steht im Zusammenhang mit Fragen über die Standfestigkeit, Eigenschaften des Fundamentes und dergleichen. Diese Erscheinungen wirken sich in der Regel erst innerhalb grösserer Zeitabschnitte aus. Durch zweckmässige Auswahl der Messtellen und Vornahme von Messungen in gewissen Zeitabständen bei zweckmässig gewählter Belastung wird es in vielen Fällen gelingen, die einzelnen Anteile aus den gewonnenen Messergebnissen herauszuschälen. Wir wollen an einem Beispiel diese Gedanken näher verfolgen. Abb. 2 zeigt den Querschnitt durch eine Mauer, auf die die Kraft  $Q$  wirkt, die etwa die Resultierende des auf der Mauerfläche lastenden Wasserdruckes darstellen möge. Infolge der Belastung verformt sich der Mauerquerschnitt. Die in  $S$  beim Belastungszustand  $Q$  gemessene Drehung sei  $\beta_s$ . Da im unbelasteten

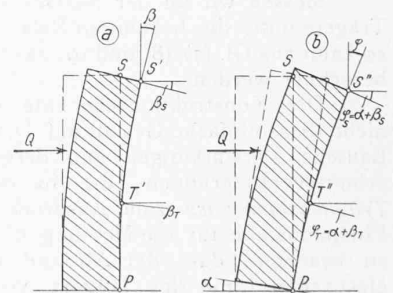


Abb. 2.

unbelasteten Zustand die Drehung sei  $\beta_s$ . Da im unbelasteten Zustand die Drehung sei  $\beta_s$ . Da im unbelasteten Zustand die Drehung sei  $\beta_s$ .

Zustand die Mauer vertikal steht, ist der Stellwinkel  $\alpha = 0$  zu setzen. Nach einer gewissen Zeitspanne wird die Messung bei dem gleichen Belastungszustand  $Q$  wiederholt und der Winkel  $\varphi_s$  ermittelt. Die Differenz der Messwerte deutet darauf hin, dass entweder eine bleibende Verformung eingetreten ist, oder die Standfestigkeit eine Aenderung erfahren hat. Ist die gleiche Messung an einem zweiten Punkt  $T$  vorgenommen worden, so kann die Frage abgeklärt werden, da infolge der Stellungsänderung die Differenz der Messwerte des Falles  $a$  und  $b$  für alle Messpunkte gleich ausfallen muss, nämlich gleich  $\alpha$ . Dieser Wert kann auch direkt an Hand der Drehungsmessung im Basispunkt  $P$  ermittelt werden. Die gleichzeitige Vornahme von Dehnungsmessungen trägt zudem zur restlosen Abklärung bei, ob und in welchem Ausmasse bleibende Verformungen auftreten. Diese wenigen Angaben zeigen die umfassende Bedeutung dieses Messverfahrens. Während beispielsweise die Drehungsmessung nur Verschiebungen von einem Punkte gegenüber einem andern des Bauteiles ermöglicht und die Messergebnisse örtlichen Charakter haben, gestattet die Dehnungsmessung mittels Libelle auch die absolute Lagenänderung zu verfolgen. Das Klinometer eignet sich daher in hervorragender Weise für die dauernde Ueberwachung der Bauwerke. An Hand zweier Beispiele soll gezeigt werden, welche Dienste das Messverfahren zur Ermittlung der Beanspruchung leistet.

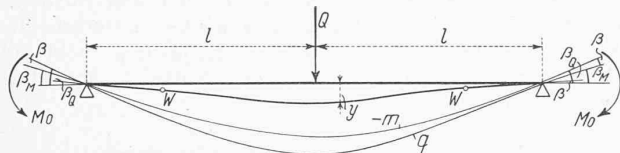


Abb. 3.

**Ermittlung des Einspannungsmomentes eines eingespannten Trägers.** Zur Vereinfachung unserer Betrachtungen nehmen wir an, dass das Prüfstück keine Stellungsänderung erleide,  $\alpha = 0$ . In Abb. 3 betrachten wir einen aus einem zusammenhängenden Bauwerk entnommenen Träger, der durch die Kraft  $Q$  belastet ist. Am Ende des Trägers wirkt das unbekannte Einspannungsmoment  $M_0$ . Die Differentialgleichung des durchgebogenen Balkens lautet

$$y'' = -M/JE \dots \dots \dots (6)$$

Aus Gl. (6) folgt die Beziehung zwischen Einspannungsmoment  $M_0$  und Verformungswinkel  $\beta_M$  im Auflagerpunkt

$$\beta_M = M_0 l/JE \dots \dots \dots (7)$$

Die Querkraft  $Q$  bedingt die zusätzliche Drehung

$$\beta_Q = Q l^2/4JE \dots \dots \dots (8)$$

Die totale Drehung am Auflagerpunkt ergibt sich aus Gl. (7) und (8) zu

$$\beta = \beta_M + \beta_Q \dots \dots \dots (9)$$

Messen wir an der Auflagerstelle des eingespannten Trägers unter der bekannten Belastung  $Q$  den Drehwinkel  $\beta$ , so kann aus Gl. (7), (8) und (9) das Einspannungsmoment  $M_0$  berechnet werden.

Die Konstruktionselemente weisen in Wirklichkeit nicht diese einfache Gestalt auf. Die Verbindungen einzelner Bauteile, Verstärkungen und dergleichen bedingen Querschnittsveränderungen, die in der Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes zum Ausdruck kommen. Oft ist die Einspannstelle für die Messung nicht zugänglich; dann ist zu beachten, dass der Abstand des Wendepunktes der elastischen Linie des Trägers vom Auflagerpunkt einen Anhaltspunkt über den Grad der Einspannung gibt. Die Ermittlung des Wendepunktes ist daher von Wert; sie kann an Hand einer Durchbiegungsmessung erfolgen. Dieses Verfahren erweist sich meistens als zu ungenau, ausserdem benötigen wir eine Unterlage für das Messgerät in unmittelbarer Nähe des Prüfstücks, sodass grössere Vorbereitungen notwendig werden. Alle diese Umstände fallen bei der Anwendung des Klinometers dahin. Diese wesentlich empfindlichere Methode besteht darin, dass man für eine Anzahl Punkte in nächster Nähe der Einspan-

stelle den Drehwinkel misst und diesen in Abhängigkeit des Abstandes von der Einspannstelle aufzeichnet.<sup>3)</sup> Die so erhaltene Kurve wird ein deutliches Maximum aufweisen; Die Differentialrechnung besagt, dass an dieser Stelle der Wendepunkt liegt.

**Ermittlung der Biegungsspannungen.** In Abb. 4 ist der Schnitt durch den Meridian einer Rotationsfläche dargestellt. Die Flächennormale  $n$  im Punkt  $P$ , der vor der Verformung im Abstand  $r$  von der Drehaxe  $x$  liegt, verdreht sich infolge der Formänderung um  $\beta$ . Der Abstand  $r$  erfährt dadurch einen Zuwachs  $r\beta$ . Um dieses Mass weitet sich der durch  $P$  gehende Parallelkreis aus. Seine spezifische Dehnung beträgt somit

$$\epsilon_t = \frac{2\pi(r + \beta h) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{h}{r} \beta \dots \dots (10)$$

wo  $h$  die halbe Dicke der Schale ist.

Betrachtet man in Abb. 5 zwei auf der Randfaser liegende Punkte  $P$  und  $Q$ , so verdreht sich infolge Form-

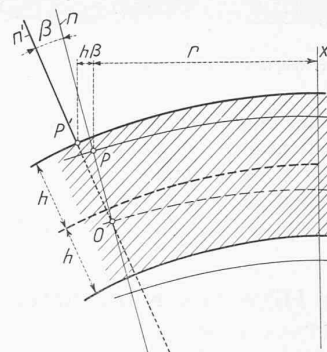


Abb. 4.

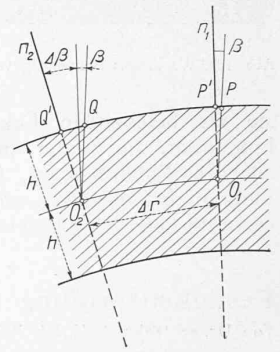


Abb. 5.

änderung die Flächennormale  $n_1$  des Punktes  $P$  um  $\beta$  und die Flächennormale  $n_2$  des Punktes  $Q$  um  $(\beta + \Delta\beta)$ . Setzen wir voraus, dass die Mittelfläche, die die Punkte  $O_1$  und  $O_2$  enthält, bei der Verbiegung keine Verzerrung erleidet, so ändert sich die ursprüngliche Länge  $\Delta r$  um  $h\Delta\beta$ . Die Dehnung in Richtung des Meridians ist

$$\epsilon_r = \frac{(\Delta r + h\Delta\beta) - \Delta r}{\Delta r} = \frac{\Delta\beta}{\Delta r} h \dots \dots (11)$$

Gl. (10), die die Dehnung in Richtung des Umfanges eines Parallelkreises gibt, und Gl. (11) ergeben mit dem Hooke'schen Elastizitätsgesetz

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_t + \nu \epsilon_r), \quad \sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_r + \nu \epsilon_t) \dots \dots (12), (13)$$

die Normalspannungen. In Gl. (12) und (13) ist  $\nu$  die Poisson'sche Konstante, die für Flusseisen und Stahl zu 0,3 angenommen werden darf. Abb. 5 kann auch als Längsschnitt eines auf Biegung beanspruchten Balkens angesehen werden, sodass aus Gl. (11) die axiale Dehnung und aus Gl. (13) die Biegungsspannung folgt.

In diesen beiden Beispielen hat die in Abb. 1 mit  $b$  bezeichnete Richtungsgerade als Flächennormale eine besondere Stellung, die jedoch für das Messverfahren an sich ohne Bedeutung ist. Die Biegungsspannung kann auch durch Messen der Längenänderung der Strecke  $\Delta r$  auf der Randfaser mit Dehnungsmessern ermittelt werden. Dabei ist aber zu beachten, dass das Messergebnis sowohl den Einfluss des reinen Zuges oder Druckes, wie auch den der Biegung in sich schliesst; wir sind somit nicht in der Lage, die einzelnen Komponenten für sich anzugeben. Unter der Voraussetzung, dass sich die Spannungen linear über den Querschnitt verteilen, kann durch das Messen der Dehnung auf beiden Randfasern die Frage gelöst werden. Häufig ist jedoch nur die eine Randfaser zugänglich (Behälter). Das Klinometer gibt die Möglichkeit, die Biegungsspannung zu bestimmen, sodass aus der an der Aussenseite gemessenen Dehnung der Spannungszustand auf der Innenseite rechnerisch ermittelt werden kann. Die

<sup>3)</sup> Hübner, F. Allgemeine Betrachtungen über Erfahrungen bei Versuchen an Bauwerken und bei der Verwertung der Messergebnisse.

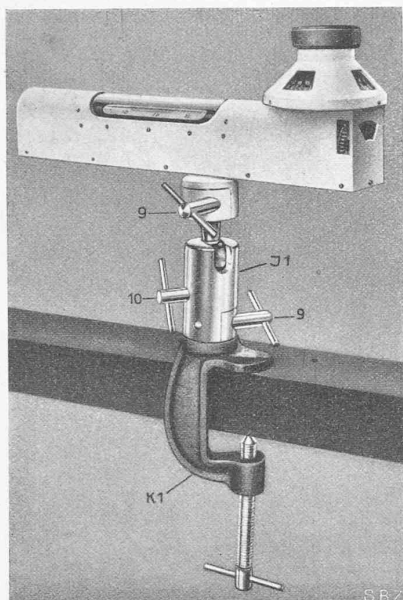


Abb. 7. Stehclinometer mit seiner Befestigungseinrichtung für Eisenträger.

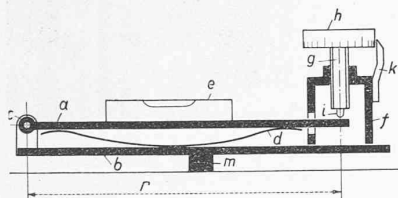


Abb. 6. Schematischer Aufbau des Klinometers.

und das Lineal  $a$  gegen die Messspindel  $g$  dauernd anzudrücken. Zur Bestimmung des Winkels zwischen  $a$  und  $b$  misst man senkrecht zu  $b$  im Abstand  $r$  die Höhe der Kathete. Nachdem der Apparat am Körper befestigt ist, dreht man die Mikrometertrommel, bis die Blase der Libelle  $e$  einspielt. Aus der Anzahl Teilstriche, die über der Zunge  $k$  auf der Trommel  $h$  abgelesen wird, ist bei bekannter Steigung der Mikrometerspindel  $g$  die Grösse der Kathete (Ablesung  $\alpha_1$  bzw.  $\varphi_1$ ) und damit der Winkel bestimmt. Verdreht sich der Versuchskörper, so wandert die Blase aus dem Gesichtsfeld. Es erfolgt das zweite Einspielen der Blase (Ablesung  $\alpha_2$  bzw.  $\varphi_2$ ). Die Differenz der beiden Messungen ergibt den Drehwinkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  oder  $\varphi$ . Praktisch fällt die Berechnung des Winkels dahin, da der Messapparat auf der Libellenprüfbank geeicht wird, sodass direkt Winkelsekunden abgelesen werden. Man hat demzufolge nur die Differenz der beiden Ablesungen zu bilden, um den Drehwinkel zu erhalten. Die in Abb. 6 schematisch dargestellte Bauweise ist die Grundform des Klinometers von Mantel<sup>3)</sup>, während das nachfolgend näher beschriebene verbesserte Klinometer einen anders gearteten Mikrometerkopf aufweist und sich u. a. durch eine Verschalung unterscheidet.<sup>4)</sup>

Die Messgenauigkeit hängt von der Empfindlichkeit der Libelle und von der Genauigkeit der Mikrometerspindel ab. Der Abstand zweier Teilstriche des Libellenrohres (Pars) beträgt bei dem nachstehend beschriebenen Klinometer 2 mm. Die Empfindlichkeit ist dem Charakter, Ziel und Zweck der zu lösenden Aufgabe anzupassen. Für Messungen an eisernen Bauwerken hat sich eine solche von rd. 2'' als zweckmässig erwiesen; bei Bauwerken aus

Lösung dieser Aufgabe ist deshalb von grösster Wichtigkeit, weil auf der Innenseite die grössten Beanspruchungen auftreten, von denen die Beurteilung der Sicherheit abhängt.

#### Bauart des Messapparates.

Die Grundzüge der Bauweise des Klinometers sind bereits in Abb. 1 enthalten. Der Messapparat wird somit zwei verdrehbare Schenkel  $a$  und  $b$  aufweisen, von denen der eine  $a$  die Libelle trägt, der andere  $b$  mit dem zu prüfenden Gegenstand in Verbindung gebracht wird (Abb. 6). Der Drehpunkt  $c$  von  $a$  wird aus baulichen Gründen gegenüber  $b$  versetzt angeordnet. Zwischen  $a$  und  $b$  ist eine Blattfeder  $d$  eingelegt mit dem Zweck, das Spiel im Lager  $c$  auszumergen

Stein, Beton und Eisenbeton ist rd. 4'' zu empfehlen. Die Libellen, wie sie hier in Frage kommen, sind besonders empfindlich gegen Wärmeleitung und Wärmestrahlen, z. B. durch Berühren mit der Hand. Es ist daher sehr zweckmässig, wenn solche störende Einflüsse durch eine allseitig geschlossene Verschalung, wie sie aus Abb. 7 und 8 ersichtlich ist, ferngehalten werden. Die Anwendung von Kammerlibellen ist in der Regel nicht nötig.

Die Mikrometerspindel muss durchgehend gleiche Gewindesteigung aufweisen. Nach eingehenden Untersuchungen hat sich die Steigung von 0,25 mm und die Einteilung der Trommel in 250 Teilstriche als besonders vorteilhaft erwiesen. Es entspricht somit der Drehung um ein Teilstrichintervall die axiale Verschiebung der Mikrometerspindel von  $l = 0,001$  mm. Beträgt der Abstand  $r = 195$  mm zwischen Drehpunkt  $c$  des Lineals  $a$ , auf dem die Libelle lagert und dem Berührungspunkt  $i$  der Mikrometerspindel (Abb. 6), so ist ein Teilstrich-Intervall der Trommel gleichbedeutend mit<sup>5)</sup>

$$\varphi = \frac{l}{4,85 \cdot 10^{-6} \cdot r} = \frac{0,001}{4,85 \cdot 10^{-6} \cdot 195} = 1,055''$$

Dabei setzen wir an Stelle der Kathete den Bogen, den das Ende des Lineals  $a$  beschreibt, was bei der geringen Messgrösse erlaubt ist. Um diese an sich belanglose Fehlerquelle weiter zu verringern, empfiehlt es sich, zu Beginn einer Messung das Lineal  $a$  so einzustellen, dass es bei halbem Messweg senkrecht zur Axe der Mikrometerspindel steht. Diese Stellung, die wir als Nullage bezeichnen, ist durch den Zählradstand 20 gekennzeichnet. Die Anordnung der Ablesevorrichtung ist aus Abb. 8 ersichtlich. Um dem Ermüden des Auges vorzubeugen, ist es ratsam, das Ablesen mittels Lupe 12 vorzunehmen.

Um nicht bei jeder Messung auf die genaue horizontale Lage des Apparates als Ausgangspunkt achten zu müssen, ist ein erheblich grösserer Verschiebungsweg der Mikrometerspindel vorgesehen, als zur Vornahme der Verdrehungsmessung an sich notwendig ist. Dies erweist sich besonders beim Setzclinometer als unerlässlich, da dort jede weitere Berichtigungsmöglichkeit grundsätzlich wegleiben muss. Ein Verschiebungsweg von 10 mm scheint zweckmässig und ausreichend. Die 40 Umdrehungen der Mikrometertrommel, die den vollen Messbereich von 10 mm oder 3° ergeben, werden einzeln der Uebersicht wegen vermittelt einer Zähltrommel mit 40 Teilstrichen vermerkt. Einem Teilstrichintervall der Zähltrommel entspricht die Drehung von 4 1/6'. Es ist zu beachten, dass sich infolge der Drehung des Libellenlineals  $a$  um den Drehpunkt  $c$  und die vertikale Verschiebung der Mikrometerspindel  $g$  der Abstand  $c-i$  (Abb. 6) ändert, wodurch ein Messfehler entsteht, der aber ohne praktische Bedeutung ist.

**Das Stehclinometer.** Die einfache und bequeme Befestigung des Klinometers an dem zu prüfende Bauteil zeigt Abb. 7. Da in der Regel diese Bauteile keine horizontale Lage aufweisen, müssen Vorrichtungen vorgesehen werden, die getatten, das Klinometer annähernd horizontal zu befestigen. Diesen Zweck erfüllt das Kugelgelenk  $J_1$ . Der Gelenkzapfen wird vom Hals des Rundkopfes umfasst. Die Klemmschraube 10 dient zu dessen Feststellen. Der untere Teil des Kugelgelenkes ist wieder als federnder, klemmender Hals ausgebildet. Zur Befestigung des Klinometers an Profileisen eignen sich Schraubzwingen ( $K_1$  in Abb. 7). Soll es auf flache, leicht gewölbte oder ebene Unterlagen gestellt werden, so verwendet man einen Teller. Um den Apparat dem festen Standort vorlagern zu können, benützt man Vorlegestangen in Längen bis 1000 mm.

**Das Setzclinometer.** Das erwähnte Stehclinometer wird insbesondere dann verwendet, wenn es sich um die Ermittlung von Verdrehungen handelt, die sich innerhalb

<sup>3)</sup> Mantel, G. Zwei Instrumente für Messungen von Formänderungen und Spannungen an Brücken, „Schweiz. Bauzeitung“ Bd. 35, 1900, S. 48 u. ff.

<sup>4)</sup> Für verschiedene Anregungen beim Bau dieses Klinometers bin ich Prof. Dr. Roß, Direktor der E. M. P. A., Zürich, wie seinem Mitarbeiter Ing. Paul Haller, zu Dank verpflichtet. Die verschiedenen Neuerungen, wie auch die besondere Lagerung des Stehclinometers sind gesetzlich geschützt.

<sup>5)</sup> Die Länge  $l$  des Kreisbogens vom Halbmesser  $r$  über dem Zentriwinkel  $\varphi$  (in Winkelgrad) ist  $l = \pi r \varphi / 180$ . Ist der Zentriwinkel in Winkelsekunden angegeben, so lautet diese Beziehung

$$l = \frac{\pi r \varphi''}{180 \cdot 3600} = 0,00000485 r \varphi'' = 4,85 \cdot 10^{-6} r \varphi''$$

Ist beispielsweise  $r = 1$  km =  $1 \cdot 10^6$  mm, so entspricht einer Sekunde die Bogenlänge  $l = 4,85$  mm.

verhältnismässig kurzer Zeit, beispielsweise während einer Belastungsprobe auswirken. Ist hingegen die Drehung zu ermitteln, die sich im Laufe eines längeren Zeitabschnittes einstellt, so können zwei Wege beschritten werden. Entweder wird das Stehclinometer dauernd an der Messstelle eingebaut, oder es wird das Setzclinometer verwendet, das nur im Zeitpunkt der Ablesung aufgesetzt wird. Dieses Setzclinometer (Abb. 9) trägt eine mit dem Lineal  $b$  festverschraubte Setzplatte 4 mit drei kegelförmig zulaufenden, gehärteten und geschliffenen Stahlzapfen, die im Dreieck angeordnet sind. Die zugehörigen, gehärteten und geschliffenen Stahlbüchsen sind derart gestaltet, dass die eindeutige Lagerung in jeder Richtung gesichert ist. Die hintere Stahlbüchse 3 (Abb. 8), die in der Axe des Klinometers liegt, ist mit einer Bohrung versehen, sodass der kegelige Zapfen längs eines Kreises berührt. Von den quer zur Libellenaxe angeordneten zwei vordern Büchsen weist die eine (2) eine eben geschliffene Fläche auf, auf die sich der kegelförmige abgerundete Kegelzapfen stützt. Die andere (1) hat einen in der Axe der Libelle verlaufenden prismatischen Schlitz, sodass der Kegelmantel an zwei gegenüberliegenden Punkten zum Aufliegen kommt. Diese Büchse sichert dem Klinometer die stets gleichbleibende axiale Richtung, während die glatte Büchse die eindeutige Lagerung vervollständigt.

Die Abb. 8 und 9 zeigen die Anordnung der Setzstelle auf einer ebenen Betonfläche. Um die Büchsen vor Staub, Feuchtigkeit und Nässe zu schützen, wird über den Setzteller ein Deckel 6 mit Gummiabdichtung 14 gelegt. Ein gewölbter Deckel 7 schützt die Messstelle gegen Schlag und sonstige gewaltsame Einwirkungen. Zur Befestigung dieses Deckels dienen zwei Steinschrauben mit Rundmuttern, die nur mittels eines Spezialschlüssels gelöst werden können.

Zur Auflagerung des Setzclinometers an vertikalen Wänden wird normal zur Wandfläche ein Setzträger befestigt, Rund- oder T-Eisen, der den Setzteller trägt. Die Vorrichtung ist durch eine zylindrische, rohrförmige Kappe zu verschliessen. Um die Messstelle vor gewaltsamen Einwirkungen noch besser zu schützen, ist es ratsam, den Einbau in die Wand vorzunehmen. Zu diesem Zweck eignet sich das Setzrohr Abb. 10. Im Innern des Rohres befindet sich die auswechselbare Setzplatte 16. Zur Beobachtung der Libelle dient hier der verstellbare Spiegel 13. Infolge der Konizität der Mutter 18 ist die Platte im Rohr eindeutig gelagert. Das Setzrohr eignet sich insbesondere auch für Messstellen, die zeitweise unter Wasser liegen, wie dies bei der Prüfung von Stauwänden auf der Wasserseite zutrifft. Abb. 11 zeigt das verschlossene Setzrohr auf der Wasserseite der Stauwand des Kraftwerkes Sernft-Niedererbach, an der 42 Setzrohre und Setzteller für Setzclinometer-Messungen eingebaut sind.<sup>6)</sup> Das Setzen von Teller, Träger und Rohr ist so vorzunehmen, dass das in der Nullage befindliche Klinometer einspielt. Um das Richten beim Setzen zu erleichtern, verwendet man eine Richtlibelle, die mit der nämlichen Setzplatte versehen ist, wie das Setzclinometer.

<sup>6)</sup> *Haller, P.* Die Einrichtung für die Messung der Verformungen und Spannungen an der Stauwand Garichte des Sernft-Niedererbach-Werkes. E. M. P. A.

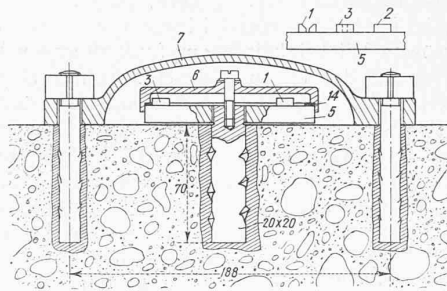


Abb. 8 und 9. Messstelle für Setzclinometer. Querschnitt. — Masstab 1 : 4.

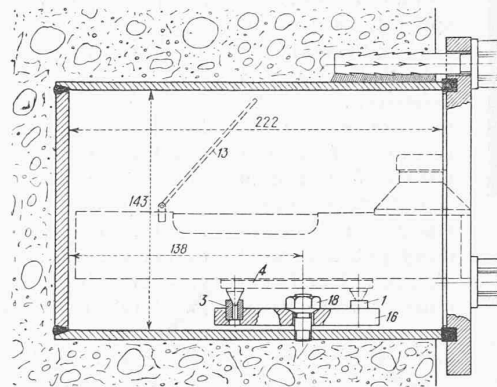


Abb. 10. Eingemauertes Rohr mit Messstelle für Setzclinometer an vertikalen Wänden. — Masstab 1 : 4.

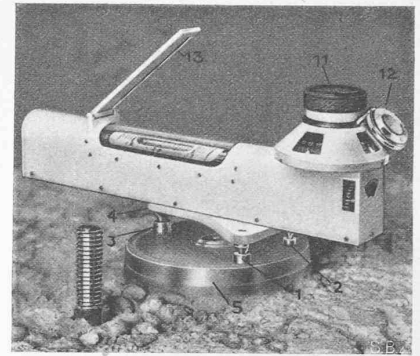


Abb. 11. Messstelle auf der Wasserseite der Stauwand Garichte.

Das Setzclinometer eignet sich in ausgesprochener Weise für die dauernde Ueberwachung der Bauwerke. Fragen, die mit Alterungserscheinungen, bleibender Formänderung und der Standfestigkeit zusammenhängen, sind ein besonders fruchtbares Gebiet für derartige Messungen. Um die Lebensäusserungen eines Bauwerkes richtig beurteilen zu können, ist es notwendig, die Messungen schon beim Bau zu beginnen. Wer mit der Baupraxis vertraut ist, weiss, dass die Durchführung derartiger Versuche die grössten Anforderungen an die Messgeräte stellt und dass oft unter den ungünstigsten Bedingungen bei Staub, Schmutz und Nässe die Messungen vorzunehmen sind. Unter solch schwierigen Voraussetzungen ist die Verschaltung des Klinometers ein erstes und unerlässliches Erfordernis für das gute Gelingen der Messung. Das Messverfahren mit Hilfe des Klinometers eignet sich besonders in den Fällen, wo veränderliche Querschnitte und inhomogene Baustoffe, wie beispielsweise Beton vorliegen, und wo es sich vor allen Dingen darum handelt, einen Mittelwert zu erhalten, der über die mittlere Güte zuverlässigen Aufschluss gibt. In diesem Sinn ist die Messmethode gleich zu stellen mit der Durchbiegungsmessung, während die Dehnungsmessung sich zur Abklärung örtlicher Zustände eignet.

*Prüfung des Klinometers.* Schon vor dem Einbau der Libelle ins Klinometergehäuse wird ihre Genauigkeit auf einer Libellenprüfbank ermittelt. Nach erfolgtem Zusammenbau ist das Klinometer zu eichen, d. h. man bestimmt die Anzahl Winkelsekunden, die einem Teilstrichintervall an der Mikrometertrommel entsprechen. Es ist sehr zu empfehlen, das Klinometer von Zeit zu Zeit nachzuprüfen, um sicher zu sein, dass es durch den Gebrauch keinen Schaden genommen hat. Zu diesen Prüfungen tritt beim Setzclinometer noch die in gewissen Zeitabschnitten vorzunehmende Kontrolle der Lagerung hinzu. Für diese Zwecke errichtet man sich einen sog. Klinometerfixpunkt; er besteht aus einem Betonklotz, auf dem ein Klinometer fest eingebaut ist und an dem allfällige Aenderungen des Fixpunktes festgestellt werden.