

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
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 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: 14.01.2026

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 übersehbare 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 Einspannungsverhältnisse hin, die infolge des Zusammenfügens einzelner Konstruktionsglieder entstehen und die grundlegend die Tragfähigkeit bedingen. Die zeitlichen Änderungen in der Standfestigkeit von Bauwerken, Nebenspannungen¹⁾, Reibung in den Gelenken von Brücken²⁾, 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 α_1 einschliesst. Nun möge der Körper eine

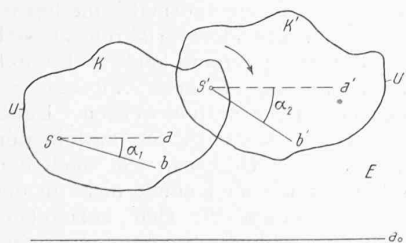


Abb. 1.

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 α_2 , den die nach S' parallel verlegte Bezugsaxe a' mit dem Bild der Geraden b' einschliesst, von α_1 verschieden ist. Die Drehung des Körpers bezüglich der Ebene E ist somit gegeben durch den *Stellungsänderungswinkel*

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

¹⁾ Gehler, W., Nebenspannungen in Fachwerkträgern.

²⁾ 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 Stellungsänderungswinkel 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 Stellungsänderungswinkel 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 β_1 und nach

erfolgter Verformung den Winkel β_2 auf, so ist der *Formänderungswinkel*

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

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 β_1' so beträgt der elastische Anteil

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

während der bleibende Formänderungswinkel

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

ist. Es ist zu beachten, dass β_1 , β_2 , β_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 β , β_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

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

Die mit dem Klinometer erlangten Messwerte schliessen Auswirkungen der Stellungsänderung wie auch der Formänderungen des Bauwerkes in sich. Nur der Anteil β in Gl. (5) gestattet Schlüsse bezüglich der Festigkeit des Bauwerkes. Der Anteil α 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 β_s . Da im unbelasteten

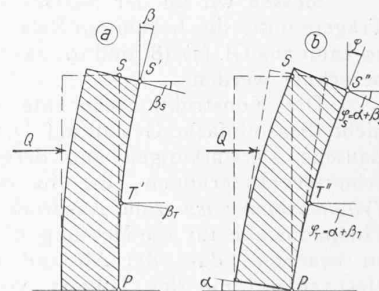


Abb. 2.

Die mit dem Klinometer erlangten Messwerte schliessen Auswirkungen der Stellungsänderung wie auch der Formänderungen des Bauwerkes in sich. Nur der Anteil β in Gl. (5) gestattet Schlüsse bezüglich der Festigkeit des Bauwerkes. Der Anteil α 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 β_s . Da im unbelasteten

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 φ_s ermittelt. Die Differenz der Messwerte deutet darauf hin, dass entweder eine bleibende Verformung eingetreten ist, oder die Standfestigkeit eine Änderung 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 a . 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 Überwachung der Bauwerke. An Hand zweier Beispiele soll gezeigt werden, welche Dienste das Messverfahren zur Ermittlung der Beanspruchung leistet.

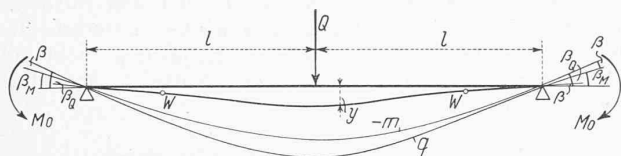


Abb. 3.

Ermittlung des Einspannungsmomentes eines eingespannten Trägers. Zur Vereinfachung unserer Betrachtungen nehmen wir an, dass das Prüfstück keine Stellungenänderung 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

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

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

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

Die Querkraft Q bedingt die zusätzliche Drehung

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

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

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

Messen wir an der Auflagerstelle des eingespannten Trägers unter der bekannten Belastung Q den Drehwinkel β , 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.³⁾ 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 β . 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

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

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-

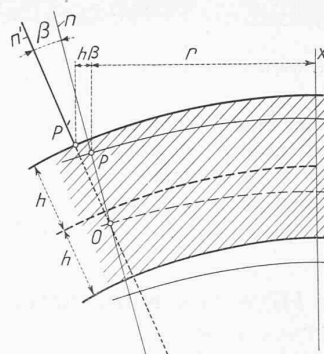


Abb. 4.

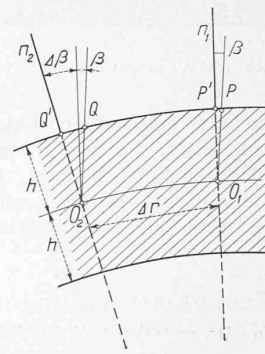


Abb. 5.

änderung die Flächennormale n_1 des Punktes P um β 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 Δr um $h\Delta\beta$. Die Dehnung in Richtung des Meridians ist

$$\varepsilon_r = \frac{(\Delta r + h\Delta\beta) - \Delta r}{\Delta r} = \frac{\Delta\beta}{\Delta r} h \quad (11)$$

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

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

die Normalspannungen. In Gl. (12) und (13) ist ν 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 Δr 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

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

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 kegelförmige 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 Staumauern auf der Wasserseite zutrifft. Abb. 11 zeigt das verschlossene Setzrohr auf der Wasserseite der Staumauer des Kraftwerkes Sernft-Niederbach, an der 42 Setzrohre und Setzteller für Setzclinometer-Messungen eingebaut sind.⁹⁾ 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.

⁹⁾ *Haller, P.* Die Einrichtung für die Messung der Verformungen und Spannungen an der Staumauer Garichte des Sernft-Niederbach-Werkes. E. M. P. A.

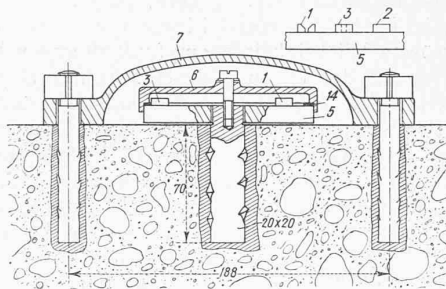


Abb. 8 und 9. Messstelle für Setzclinometer. Querschnitt. — Masstab 1 : 4.

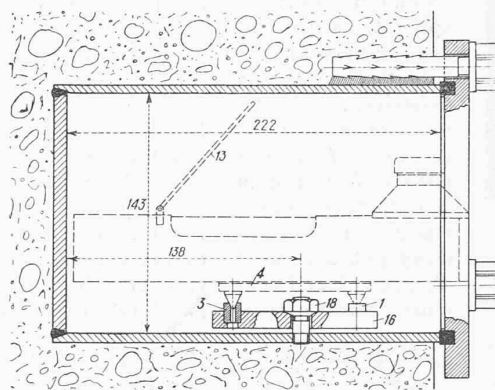


Abb. 10. Eingemauertes Rohr mit Messstelle für Setzclinometer an vertikalen Wänden. — Masstab 1 : 4.

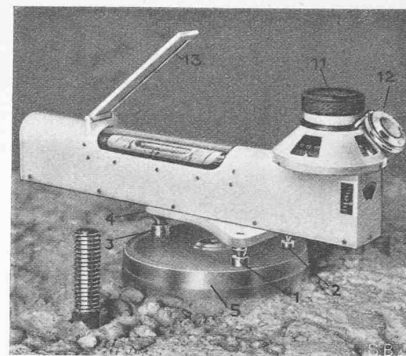


Abb. 11. Messstelle auf der Wasserseite der Staumauer Garichte.

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.