

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 79 (1961)  
**Heft:** 21

**Artikel:** 300 Jahre Wasserwaage  
**Autor:** Bornet, Ch.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65529>

### **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:** 05.04.2026

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

spannt wird, bis eine Störwelle gerade die nach (25) vorausgerechnete Laufzeit braucht. In allen anderen Fällen, wo  $t_L$  gemessen wird und  $\bar{S}$  bzw.  $H$  aus diesem Wert berechnet werden soll, kehrt man die Reihe besser um und schreibt

$$(26) \quad \bar{S} = H \frac{c}{b} = \frac{4q c^2}{g t_L^2} \left[ 1 + \left( \frac{1}{3} - \frac{1}{2} \frac{h^2}{c^2} \right) \frac{g^2 t_L^4}{128 c^2} + \dots \right]$$

Wie rasch diese Reihenentwicklungen konvergieren, geht daraus hervor, dass sogar bei einem ganz grossen Spannungsfeld von beispielsweise  $b = c = 4$  km und  $\sigma_z = 4$  t/cm<sup>2</sup> das zweite Glied in der eckigen Klammer in (26) nur 3 % und in (25) 1,5 % beträgt. In Anbetracht der allgemeinen Messungenauigkeit kann deshalb wohl in allen praktisch vorkommenden Fällen auf ein drittes Glied der Reihenentwicklungen verzichtet werden. Im Gegenteil wird man bei Spannweiten unter 1000 m auch das zweite Glied vernachlässigen können und näherungsweise schreiben:

$$(27) \quad a_\infty \approx \sqrt{\frac{g}{q} \bar{S}} \quad t_L \approx \frac{2c}{a_\infty} \quad \bar{S} = H \frac{c}{b} \approx \frac{4q c^2}{g t_L^2}$$

Die Umrechnung des nach (26) bestimmten Wertes für  $\bar{S}$  oder  $H$  auf den Seilzug  $S_E$  am oberen oder unteren Ende des Feldes muss bei grossen Spannweiten über die Kettenlinienbeziehungen erfolgen. Es ist zunächst nach (18) für  $x = x_m \pm b/2$

$$S_E = H \cosh \frac{q}{H} \left( x_m \pm \frac{b}{2} \right)$$

und mit den dimensionslosen Grössen von (20) geschrieben

$$S_E = H \cosh(\xi_0 \pm \beta) = H (\cosh \xi_0 \cosh \beta \pm \sinh \xi_0 \sinh \beta)$$

Setzt man hier wieder  $\xi_0$  aus (23) ein und entwickelt in Reihen, so ergibt sich mit (20) und (24) für den Seilzug am Feldende

$$(28) \quad S_E = \pm \frac{q h}{2} + \bar{S} \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( 1 - \frac{1}{3} \frac{h^2}{c^2} \right) \left( \frac{q c}{\bar{S}} \right)^2 + \frac{1}{384} \left( 1 - \frac{6}{5} \frac{h^2}{c^2} - \frac{1}{3} \frac{h^4}{c^4} \right) \left( \frac{q c}{\bar{S}} \right)^4 + \dots \right]$$

In dieser Reihenentwicklung ist ein drittes Glied angegeben (trotzdem es sogar für grosse Spannweiten sehr klein bleibt), weil das zweite Glied verdächtig gross ist. Für  $h = 0$ ,  $c = 4$  km,  $\sigma_z = 4$  t/cm<sup>2</sup> beträgt dieses immerhin 9 %.

Drückt man  $S_E$  schliesslich mit (26) direkt durch die gemessene Laufzeit aus, so wird

$$(29) \quad S_E = \pm \frac{q h}{2} + \frac{4q c^2}{g t_L^2} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{5}{8} \frac{h^2}{c^2} \right) \frac{g^2 t_L^4}{96 c^2} + \dots \right]$$

Während die Grössen  $\bar{S}$  und  $H$ , wie sie mit (26) bestimmt werden, für vertikal hängende Seile unbrauchbar sind, kann Gleichung (29) auch in diesem Fall angewendet werden. Eine genaue Durchrechnung zeigt sogar, dass sie dann, also für  $c = h$ , zur exakten Gleichung wird und keine weiteren Glieder noch höherer Ordnung hinzukommen.

### 7. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die Zugkraftbestimmung in Drahtseilen mit Transversalwellen lässt sich in einfachster Weise vornehmen und dürfte bei korrekter Durchführung in den meisten praktischen Anwendungsfällen eine ausreichende Genauigkeit aufweisen. Am einen Ende des Seilfeldes werden Störwellen eingeleitet und ihre Laufzeit  $t_L$  durch das ganze Feld gemessen. Bei langen Spannungsfeldern verursacht man am besten einmalige Störungen oder sog. Schlagwellen, die dann längere Zeit längs des Seiles hin- und herlaufen. Können diese Wellen während mindestens 40 Sekunden gezählt werden, so genügt die Laufzeitbestimmung mit einer Stoppuhr. Klingt die Störung in kürzeren Feldern wegen der vielen Reflexionen vorzeitig ab, so erregt man besser durch rhythmische Störungen eine Eigenschwingung (stehende Wellen), wobei sich die Laufzeit  $t_L$  aus der Frequenz ergibt. Angaben über die Auswertung sind zu Anfang von Abschnitt 5 zusammengestellt. Für grosse Spannungsfelder werden dazu im Anhang

abgeleitete Beziehungen benützt, in denen die Seilzugvariation in Funktion der geodätischen Höhe und die wirkliche Form der Kettenlinie berücksichtigt sind.

Bei allen Auswertungen wird vorausgesetzt, dass die Seile als biegungsweich betrachtet werden können, d. h. dass die Theorie der Saitenschwingung zugrunde gelegt werden darf. Das ist aber nur zulässig, wenn die Wellenlänge ein Minimalmass nicht unterschreitet, das bei normal gespannten Tragseilen das 300- bis 400-fache des Seildurchmessers beträgt. Kürzere Wellen weisen infolge der Seilsteifigkeit erhöhte Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten auf und sollten vermieden werden.

Solche kurze Wellen können beispielsweise entstehen, wenn mit festen Gegenständen auf dicke Seile geschlagen wird, wie anhand von Messdiagrammen gezeigt wird. Bei dünnen Seilen ist allerdings gegen diese Art der Schlagwellenerzeugung nichts einzuwenden.

Um in jedem Fall sicher zu gehen, wird empfohlen, die Störungen ganz allgemein von Hand zu erzeugen, indem bei dicken Seilen die Armkraft mehrerer Personen zur Ausübung genügend grosser Kräfte zu Hilfe genommen werden muss. Für die Kraftübertragung auf das Drahtseil wird ein Hanfseil verwendet, an dem auch die zurückkommende Störwelle fühlbar wird. Stellt man dabei fest, dass die immer wiederkehrenden Impulse klein an Zahl sind und stets im selben Rhythmus erfolgen, so darf angenommen werden, dass die Langwelligkeit genügend gross ist. Das einfache Abfühlen von Hand erlaubt auch, allzu kurze, vibrationsartige Störwellen als solche zu erkennen.

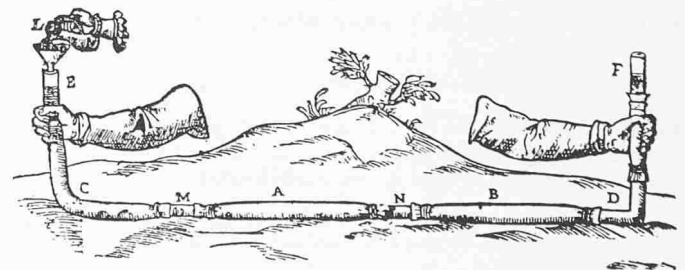
Adresse des Verfassers: Prof. Otto Zweifel, Maschinen-Laboratorium ETH, Sonneggstr. 1, Zürich 6.

## 300 Jahre Wasserwaage

DK 526.951.3

Die Wasserwaage ist im Jahre 1661 vom französischen Astronomen *Melchisedec Thevenot* erfunden worden. Er füllte ein Glasrohr beinahe ganz mit Weingeist, schmolz es dann zu und schuf so die heute noch übliche Wasserwaage. Das «instrumentum Thevenotianum», wie die Wasserwaage ursprünglich hiess, wurde im Jahre 1775 durch Felice Fontana verbessert, der an Stelle der Luftblase einen luftleeren Raum schuf. L. H. Tobiesen gab im Jahre 1798 an, die Glasröhre der Wasserwaage soll nicht gerade, sondern «etwas gebogen seyn», damit die Blase besser den höchsten Punkt in der Mitte finde.

Viel älter als die hier beschriebene Form der Wasserwaage ist die Schlauchwaage, denn früh schon scheint man das Gesetz erkannt zu haben, dass in einer zusammenhängenden, freien Wassermenge alle Teile der Oberfläche eine Horizontalebene bilden. Heron der Aeltere aus Alexandrien beschreibt ums Jahr 110 nach Christus das Prinzip kommunizierender Röhren, nach welchem in einer u-förmig oder irgendwie anders gebogenen Röhre das Wasser beider Schenkel gleich hoch stehen muss. Eine der frühesten Abbildungen einer solchen Schlauchwaage findet sich im Jahre 1629 bei Giovanni Branca. Nach Einführung des vulkanisierten Kautschuks verwendete man diesen zu Schläuchen. Diese Art der Ermittlung der Höhenlage zweier Punkte, z. B. eines Hauses, wurde erst auf der Pariser Weltausstellung von 1849 einer breiten Öffentlichkeit bekannt.



Schlauchwaage, bestehend aus Lederschläuchen, die durch kurze Metallrohre verbunden sind. Nach Giovanni Branca, *Macchine*, Rom 1629

Um mit Hilfe einer Wasserwaage aber eine Fläche in die Horizontale einzustellen, muss man die Waage nach zwei aufeinander rechtwinkligen Richtungen auflegen. Ein besseres Instrument hierfür wurde im Jahre 1777 durch Tobias Mayer erfunden und von ihm im Buche «Unterricht zur praktischen Geometrie» beschrieben. Er konstruierte ein dosenförmiges Instrument, bei dem sich die Luftblase unter einer Glasdecke nach allen Richtungen bewegen kann, also die Dosenlibelle.

Der Wasserspiegel hat wahrscheinlich schon den Aegyptern als Richtmass gedient, die wohl zum Nivellieren eine offene Wasserschale benutzt haben. Vitruv beschreibt ums Jahr 14 unserer Zeitrechnung eine lange offene Wasserrinne, damit man einen Stein, einen Balken oder ähnliches waagrecht ausrichten könne.

Ch. Bornet

Hallwylstrasse 45, Zürich 4

Wie würde die lange Ahnenreihe von den Aegyptern über Vitruv, Thevenot, Mayer und andere staunen über ihren jüngsten Sprössling, das

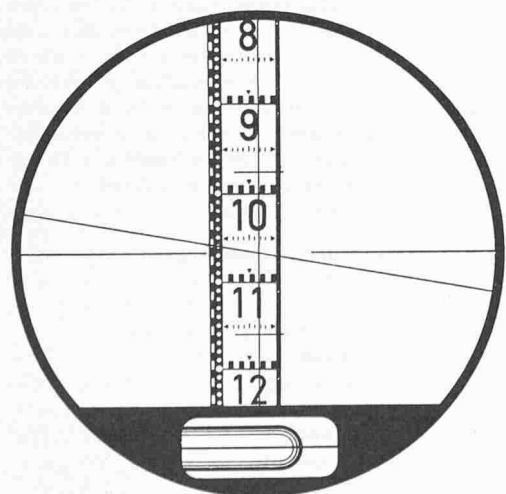
## Kern-Mehrzweck-Nivellierinstrument

DK 526.951.4

Kern Aarau hat die Reihe der neuen GK-Nivelliere mit dem Ingenieur-Nivellier GK 23 ergänzt, ein Mehrzweck-Instrument, das je nach Ausrüstung und verwendeter Messlatte drei Genauigkeitsstufen aufweist und daher ein ideales Ingenieur-Nivellier ist, das, wenn nötig, eine hohe Präzision liefert und weniger genaue Arbeiten sehr rationell durchzuführen gestattet. Die folgende Tabelle zeigt die drei Genauigkeitsstufen (wobei sich der mittlere Fehler auf 1 km Doppelnivellement bezieht) und die entsprechenden Ausrüstungen:

| Mittlerer Fehler | Latte             | Ausrüstung                                |
|------------------|-------------------|---|
| ± 2 mm           | normale cm-Latte  | normale Strichplatte                      |
| ± 1,2 mm         | Kreismarken-Latte | Transversalstrichplatte                   |
| ± 0,5 mm         | ½ cm-Invarmire    | Keilstrichplatte und optisches Mikrometer |

Besonders erwähnt sei die Kreismarkenlatte, die, in Verbindung mit der Transversalstrichplatte (Bild 2), bei bescheidenem Aufwand eine sehr hohe Genauigkeit ergibt. Die hohe innere Präzision des Instrumentes und seine hervorragende optische Leistung erlauben eine weitere Steigerung der Genauigkeit durch Verwendung eines optischen Mikrometers und zweier Invarmiren. Wie bei allen GK-Nivellieren sind auch beim GK 23 die Fusschrauben verschwunden. An ihre Stelle ist der Kugelgelenkkopf (vgl. SBZ 1960, S. 279) getreten, der es auch ungeübten Beobachtern ermöglicht, das



Ablesung an der Kreismarkenteilung 106 cm  
 Ablesung am horizontalen Raster 0,68 cm  
 Höhe 106,68 cm

Bild 1 (rechts). Kern-Ingenieur-Nivellier GK 23 auf Gelenkkopfstativ

Bild 2 (links). Fernrohrbild mit Kreismarken-Nivellierlatte und eingespielter Fernrohrlibelle. Mit der Seitenfeinstellschraube wird der schiefe Strich auf die nächste Kreismarke gestellt. An der Kreismarke werden die ganzen Zentimeter und am senkrechten Strich im horizontalen Raster die Millimeter direkt abgelesen und die Zehntel-Millimeter geschätzt

Instrument in jedem Gelände ausserordentlich rasch und bequem grob zu horizontalieren.

Die Fernrohrlibelle (Koinzidenzeinstellung) erscheint vergrössert im Fernrohrgesichtsfeld (Bild 2), was zum schnellen und angenehmen Arbeiten beiträgt. Zur Fokussierung dient ein Grob-Feintrieb. Er ermöglicht das rasche Ueberbrücken des ganzen Fokussierbereiches und zugleich das exakte Scharfeinstellen des Lattenbildes. Dank der hohen Vergrösserung und dem hellen, kontrastreichen Bild lassen sich Zielweiten von 100 m und mehr ohne weiteres erreichen. Auf Wunsch ist das Instrument mit einem Horizontalkreis aus Glas erhältlich. Die Ablesung erfolgt mit einem Skalenmikroskop auf ± 1° genau.

Das GK 23 eignet sich für alle Ingenieurarbeiten, die erhöhte Genauigkeit erfordern, wie z. B.: Fixpunktnivellements, Höhenbestimmungen und -angaben für die Projektierung und beim Bau, Industrievermessung, Bauwerküberwachungen.

Die wichtigsten technischen Daten:

|   |        |
|---|--------|
| Fernrohrvergrösserung                   | 30 ×   |
| Objektivöffnung                         | 45 mm  |
| Kürzeste Zielweite                      | 1,8 m  |
| Grösste Zielweite für cm-Ablesung       | 400 m  |
| Grösste Zielweite für mm-Schätzung      | 210 m  |
| Einspielgenauigkeit der Fernrohrlibelle | ± 0,4" |
| Gewicht des Instrumentes                | 1,5 kg |

## Buchbesprechungen

**Spannbeton.** Theorie und Bemessung. Von J. Hahn. 168 S. mit 135 Abb. und 28 Tafeln. Düsseldorf 1960, Werner-Verlag GmbH. Preis 36 DM.

Das handliche und übersichtlich abgefasste Werk möchte vor allem die Theorie des Spannbetons so darstellen, dass sie dem Statiker bei seiner Arbeit im Ingenieurbureau dienen kann. Es gliedert sich in 8 Kapitel, deren Inhalt kurz der folgende ist: Das erste Kapitel erläutert die Wirkungsweise der Vorspannung im allgemeinen, weist auf die verschiedenen Vorspannarten hin und behandelt die Umlenkräfte, die Abnahme der Vorspannung durch Schwinden und Kriechen, die beim Spannen auftretenden Verformungen, die Parasitär momente bei Durchlaufträgern sowie die Einflusslinien und das Knicken. Das zweite Kapitel enthält die Spannungsgleichungen und Bemessungsformeln sowie Tafeln für die  $n$ -Werte und die zulässigen Spannungen. Im dritten, vierten und fünften Kapitel werden die bisher abgeleiteten Formeln auf Rechteckquerschnitte, einfach- und doppelt-symmetrische T-Balken sowie Hohlquerschnitte angewandt und durch entsprechende Bemessungstafeln ergänzt. Das

