



Handbuch der Vermessungskunde

Jordan, Wilhelm

Stuttgart, 1896

§. 13. Neuere Basis-Apparate mit isolierten Mikroskopen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83087](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-83087)

mittags und Abends der Kasten und die Stangen wärmer als die Luft sind. Die Unterschiede zwischen dem Quecksilber-Thermometer und dem Metall-Thermometer, welche über 1° gehen, zeigen sich hier deutlich; dagegen über den Temperatur-Unterschied der Eisenstange und der Zinkstange giebt dieser Versuch keine Auskunft.

§ 13. Neuere Basis-Apparate mit isolierten Mikroskopen.

Zur Geschichte und zur Vorgeschichte dieser Apparate berichtet Wolf, *Histoire de l'appareil Ibanez-Brunner*, *Comptes rendus* 112, 1891, S. 370—371 und Hammer, *Zur Geschichte der Basismessung*, „*Zeitschr. f. Verm.*“ 1891, S. 446—448 (Tralles, Hassler, Porro, d'Aubuisson.)

I. Der ältere spanische Basis-Apparat.

General Ibanez liess im Jahre 1856 für seine spanische Landes-Aufnahme einen Basis-Apparat durch Mechaniker Brunner in Paris konstruieren, mit dem er mehrere Grundlinien, namentlich im Jahre 1858 die 14 663^m lange Grundlinie bei Madridejos mass.

Wir geben die Beschreibung des Basisstabes nach dem Werke: „*Expériences faites avec l'appareil à mesurer les bases appartenant à la Commission de la carte d'Espagne*, par Laussedat, Paris 1860“.

Fig. 1.
Brunner's Basis-Messstange.
Querschnitte in natürlicher Grösse.

Fig. 1a.
Feste Verbindung in der
Mitte.

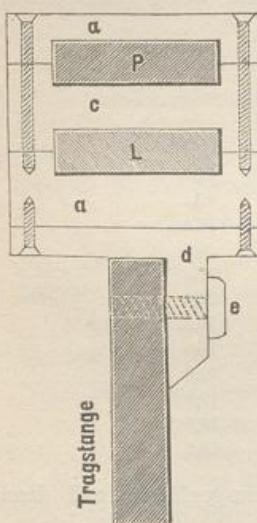


Fig. 1b.
Allgemeiner freier
Querschnitt.

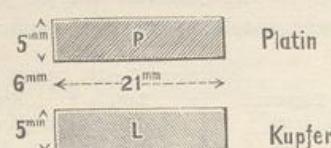
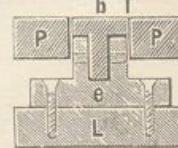


Fig. 1c.
Ausdehnungsbestim-
mung an den Enden.



Die beiden Stäbe von Platin und Kupfer haben gleiche Dimensionen, nämlich wie in Fig. 1b. angegeben ist, je 21^{mm} Breite und 5^{mm} Höhe, mit einem Zwischenraum von 6^{mm}. Fig. 1b. zeigt den normalen Querschnitt, wie er überall der Länge nach ist, wo keine Berührung der beiden Stäbe stattfindet.

In der Mitte sind beide Stäbe fest verbunden, wie in Fig. 1a. angegeben ist; zwei Rahmen *a* mit einem Mittelstück *c* sind seitlich fest zusammengeschraubt und halten damit die Platinstange *P* und die Kupferstange *L* fest zusammen. Fig. 1a. zeigt auch eine Tragstange, welche der ganzen Länge nach durchgeht, mit einem Querschnitt von umgekehrter **T**-Form, ebenso wie in der späteren Fig. 4. S. 87.

Endlich zeigt noch Fig. 1c. den Querschnitt an dem einen Ende, wo die gegenseitige Ausdehnung zwischen Platin und Kupfer gemessen wird.

Hier ist der Platinstab in seinem mittleren Drittel durchbrochen und durch ein besonderes **T**-förmiges Platinstück *b* ausgefüllt, das zwischen *P* und *P* lose gleitet, dagegen nach unten fest mit *e* und *L* verbunden ist.

An der Fuge zwischen b und P befindet sich auf der horizontalen Oberfläche von b und von P eine Teilung T , an welcher man die relative Ausdehnung der Stäbe L und P mikroskopisch ablesen kann.

II. Basis-Apparat des geodätischen Instituts.

Etwa im Jahre 1876 hat das geodätische Institut einen Basis-Apparat von Mechaniker Brunner in Paris bestellt und 1878 geliefert erhalten. Dieser Apparat hat im wesentlichen dieselbe Konstruktion, wie der soeben beschriebene spanische Apparat von General Ibanez. Der Apparat des geodätischen Instituts hat einen Stab, der aus Platin-Iridium und Messing zusammengesetzt ist. Die erste Mitteilung hierüber giebt der Generalbericht der Europ. Gradm. für 1878, S. 99, mit einem Anhange „Sur la construction de la règle géodésique internationale, par M. M. H. Sainte-Claire Deville et E. Mascart“ und Fortsetzung in dem Gen.-Ber. d. Europ. Gr. für 1879, Anhang.

Mit diesem Apparate wurden vom geodätischen Institute bis jetzt 3 Grundlinien-Messungen ausgeführt, nämlich 1879 Nachmessung der 2763 Meter langen Basis von Strehlen in Schlesien, welche früher 1854 mit dem Besselschen Apparate gemessen worden war, ferner 1880 Nachmessung der 2336 Meter langen, früher 1846 für die Küstenvermessung angelegte Grundlinie bei Berlin und 1892 Nachmessung der Bonner Basis. Im Anschluss an diese letztere Messung sind auch weitergehende Untersuchungen auf der Versuchsstrecke des geodätischen Institutes auf dem Telegraphenberge bei Potsdam ausgeführt worden. (Probemessungen mit dem Repsold'schen Ablotungs-Apparat von Schumann, Mitteilung des Geodätischen Instituts, s. „Zeitschr. f. Instrumentenkunde“, 1894, S. 18—20.)

III. Der neue, vereinfachte spanische Basis-Apparat.

Während die Genauigkeit der Messungen mit dem Brunnerschen Apparat genügend war, fand man in Spanien die Geschwindigkeit, nämlich etwa 70 Meter für 1 Stunde nicht befriedigend.

Es wurde deswegen nach Angabe von General Ibanez im Jahre 1864 ein neuer einfacherer Apparat, jedoch im wesentlichen nach dem ersten Grundgedanken konstruiert, mit dem nicht nur von 1865—1879 acht weitere spanische Grundlinien, sondern dann auch von 1880—1881 drei Linien in der Schweiz gemessen wurden, 2,4^{km} bei Aarberg, 2,54^{km} bei Weinfelden und 3,2^{km} bei Bellinzona.

Wir beschreiben zuerst im Anschluss an Fig. 2. und Fig. 3. S. 86 die Anordnung des Apparates und den Gang der Messung im allgemeinen, und benützen dabei zunächst die Broschüre von Dr. Koppe: „Der Basis-Apparat des Generals Ibanez und die Aarberger Basismessung, Zürich 1881“, nebst einigen dankenswerten Privatmitteilungen von Koppe.

Es wird ein Massstab von 4^m Länge angewendet, welcher in Fig. 3. durch a b angedeutet ist und auf 2 Stativen S_1 und S_2 aufliegt.

Unabhängig von dem Massstab und seinen Stativen S_1 S_2 sind zwei Mikroskope M_1 und M_2 auf besonderen Stativen T_1 und T_2 an den Enden des Massstabes aufgestellt. Die Mikroskope M_1 und M_2 werden auf die Endstriche a und b (oder nahe den Endstrichen) eingestellt, dann wird der Massstab um seine eigene Länge von

Fig. 2.
Basismessung bei Aarberg in der Schweiz,
ausgeführt im August 1880 mit dem vereinfachten spanischen Basis-Apparat.
Darstellung des Messungs-Vorfahrens.

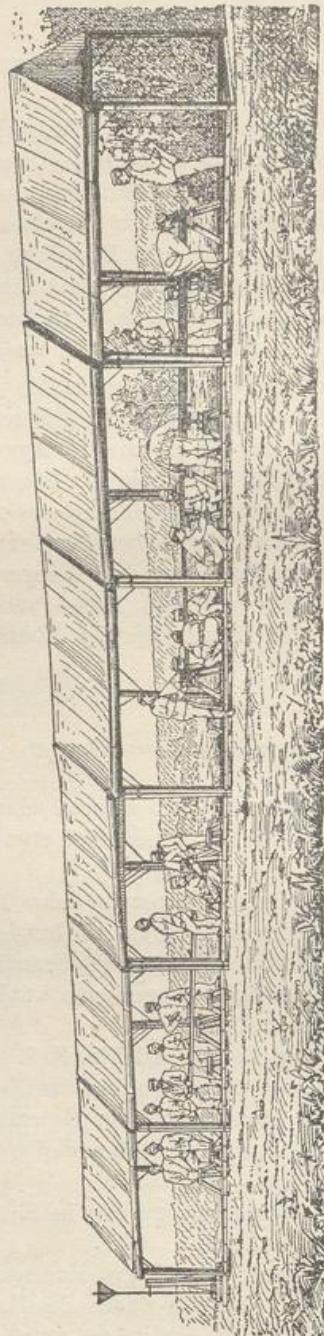
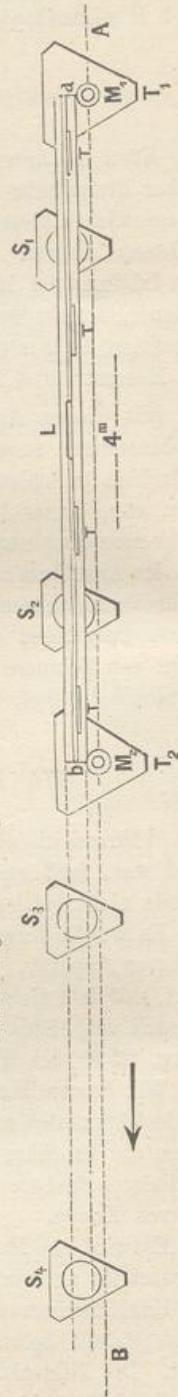


Fig. 3.
Darstellung des Grundgedankens der Messung (Massstab $a:b = 4$ Meter).



rechts nach links vorgerückt, so dass a nach b kommt und die Stativen S_3 und S_4 in Anwendung kommen; M_2 bleibt stehen, und M_1 rückt um die zweifache Massstabslänge vor, so dass es nun vorderes Mikroskop wird u. s. w.

Der Massstab ab bewegt sich hiebei nicht in der abgesteckten und festgelegten Geraden AB selbst, sondern in einer Parallelen ab zu AB , was offenbar gleichgültig ist.

Die Messstange ab besteht aus Eisen, und ist der freien Luft ausgesetzt, ohne Schutz durch einen hölzernen Kasten. Dagegen wird der Apparat im Ganzen durch Zelte geschützt, welche mit Leinwand bespannt gegen direkte Sonnenstrahlen und auch gegen leichten Regen Schutz gewähren. Die Zelte sind tragbar, und werden dem Fortschritte der Messung entsprechend stets hinten abgenommen und vorne wieder angesetzt.

Die Anordnung im Ganzen zeigt Fig. 2. S. 86.

Übergehend zu den Einzelheiten betrachten wir in Fig. 4. zuerst den Querschnitt der Stange; derselbe hat umgekehrte T-Form, so dass ein breites Auflager entsteht. Der Stab ist 4^m lang und 50^{kg} schwer.

Zur Temperatur-Bestimmung dienen gewöhnliche Quecksilber-Thermometer, welche in Fig. 4. rechts oben durch T veranschaulicht sind und auch in Fig. 3. S. 86 der Länge nach an 4 Stellen durch T, T, T, T angedeutet wurden.

Die mit Quecksilber gefüllten Glaskugeln dieser Thermometer sind mit dem Eisen der Stange in unmittelbarer inniger Berührung und sind ganz in Eisenfeilspähne eingebettet. Die Glasmäntel der Thermometer werden durch übergedeckte Glasplatten von Aussen abgelesen.

Zur Neigungs-Bestimmung der einzelnen Stangenlagen dient eine in der Mitte angebrachte Libelle L (Fig. 3. S. 86).

Die Messstange ist auf ihrer oberen schmalen Fläche mit einer *Teilung* versehen, früher der ganzen Länge nach in Centimeter, bei der neueren vereinfachten Anordnung nur noch von 0,5 zu 0,5 Meter, und zwar durch feine Striche auf eingelegten Platin-Plättchen.

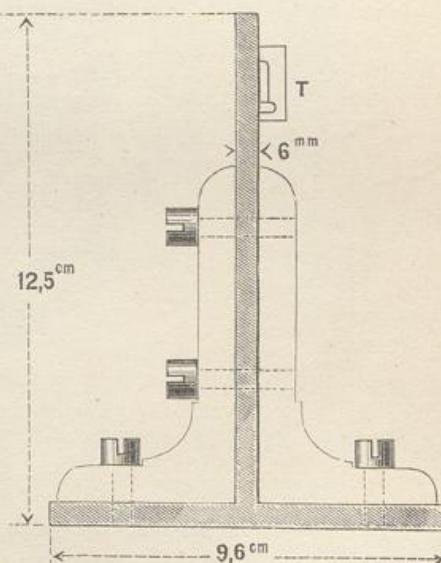
Nun haben wir das in Fig. 5. S. 88 abgebildete Instrument, „Mikroskop-Theodolit“ genannt, zu betrachten, welches drei Zwecken gemeinsam dient, nämlich:

- 1) Ablotung auf die Festlegungs-Bolzen im Erdboden,
- 2) Einrichtung in die abgesteckte Basis-Gerade,
- 3) Mikroskopische Einstellung oder Ablesung auf den Stangen-Enden.

Zu diesen drei Zwecken, denen der Mikroskop-Theodolit zu dienen hat, ist im Einzelnen zu bemerken:

- zu 1) Wenn der Mikroskop-Theodolit als Abloter dienen soll, so wird statt des horizontalen Fernrohrs F Fig. 5. ein vertikales Fernrohr eingelegt, welches

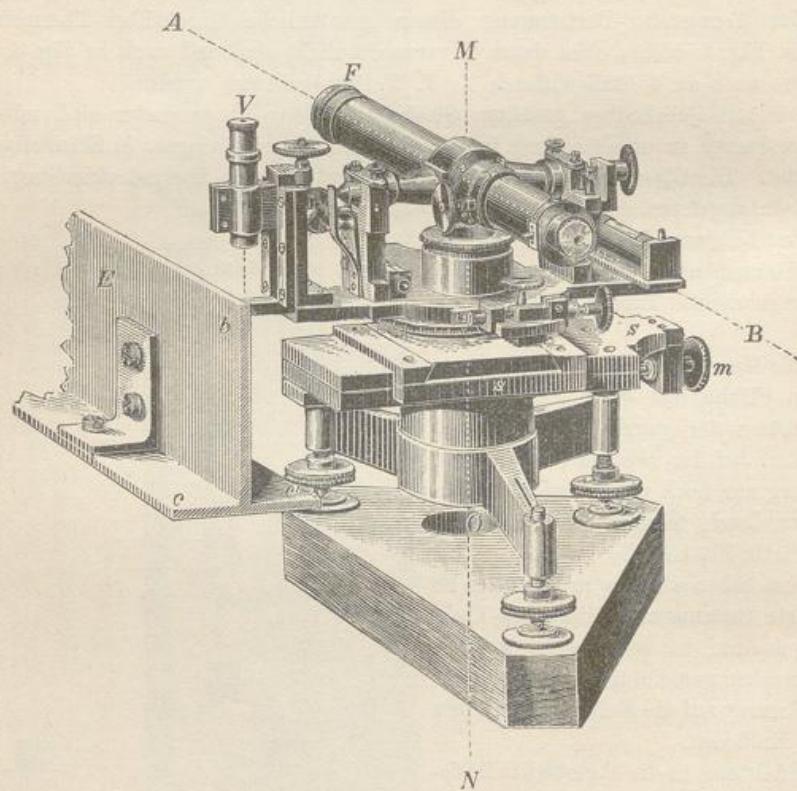
Fig. 4.
Querschnitt des Massstabes
in halber natürlicher Grösse.



durch das Loch O im Stativen nach der Vertikalen MN eingerichtet werden kann, mit Schlittenführungen s und Schraubenbewegungen m nach zwei zu einander rechtwinkligen Richtungen.

- zu 2) Wenn es sich um Einrichtung in die Gerade in horizontalem Sinne handelt, so wird das horizontale Fernrohr F Fig. 5. vor- oder rückwärts nach A oder B eingerichtet. Soll die Mitte M selbst Zielpunkt werden, so wird das Fernrohr F ausgehoben und eine Zielmarke in die Axenlager eingelegt.
- zu 3) Die mikroskopische vertikale Einstellung auf die Messstange ist in Fig. 5. bei V und b angedeutet. V ist ein vertikales Mikroskop, welches auf die schmale Oberfläche b des eisernen Massstabes E eingestellt werden kann. Den Massstab E haben wir mit seinem Querschnitt bcc' in Fig. 5. ohne Stativen angedeutet.

Fig. 5.
Mikroskop-Theodolit (Massstab etwa 1:5).



Der Gang der Messung lässt sich nun vollends leicht beschreiben:

Die Aarberger Basis von 2400^m Länge war durch drei grosse dreieckige Scheiben-Backen (s. Fig. 2. S. 86 links) über der Erde bezeichnet, und wurde durch Messingbolzen in Quadern unterhalb festgelegt. Die Linie befand sich auf gerader und ebener Landstrasse, die Stativen wurden auf den Strassenboden gestellt. Der Strassenverkehr wurde während der Dauer der Messung gesperrt.

Zu gleichzeitiger Verwendung kamen:

- 4 Mikroskop-Theodolite,
- 4 Auflagdreifüsse für die Messstange,
- 6 grosse Holzstative (T Fig. 3. S. 86) für die Mikroskop-Theodolite,
- 10 kleine Holzstative (S Fig. 3. S. 86) für die Messstange,
- 2 hölzerne je 4 Meter lange Latten zum Vor-Messen.

Das Personal war:

- 2 Beobachter mit Gehilfen zum Vorwärtsstragen und vorläufigen Stellen der Holzstative,
- 2 Beobachter mit Gehilfen zum endgültigen Stellen der Holzstative,
- 4 Beobachter an der Messstange zum Einstellen der Null- und Endstriche unter die Mikroskope, zum Ablesen der 4 Thermometer und der Libelle,
- 2 Gehilfen zum Vorwärtsstragen der Stange (die Fig. 2. S. 86 zeigt 15 Mann).

Über die Messungs-Geschwindigkeit ist folgendes mitgeteilt:

Am 22. August 1880 begann die Messung 5 Uhr 48 Minuten und wurde bis 800^m durchgeführt. Nach drei Tagen war die erste Messung der Basis beendigt; gleichzeitig wurden in Entfernung von 400^m zu 400^m feste Punkte errichtet.

Am Nachmittage des 24. August wurden die Instrumente und sämtliche Gerätschaften nach dem Basisanfang zurücktransportiert; alle Apparate einer sorgfältigen Prüfung unterworfen. Am 25., 26. und 27. August wurde, wie an den drei vorhergehenden Tagen, in der Zurückmessung um je 800^m vorgerückt, alle Fixpunkte eingesessen und so auch die zweite Messung in drei Tagen beendigt. Die Zeiten, welche auf die Messung der einzelnen Sektionen verwandt wurden, sind:

Sektion	I. Messung		II. Messung	
	1. = 400 Meter	2 Stunden 47 Min.	2. =	2 Stunden 6 Min.
2. = 400	2	" 44	1	" 59
3. = 400	1	" 27	2	" 24
4. = 400	2	" 26	2	" 8
5. = 400	2	" 21	2	" 31
6. = 400	2	" 49	2	" 49

Mittel: 400 Meter 2 Stunden 36 Min. 2 Stunden 20 Min.

Die zweite Messung ging etwas rascher vor sich als die erste, weil das Setzen der Fixpunkte bei der ersten Messung einige Zeit in Anspruch nimmt.

Die grösste Neigung der Messstange während dieser Messungen betrug 1,5°, die Korrektion für die Neigung im Mittel nahe 1^m für 1 Sektion. Ausgesprochen ungünstig für die Messung war der erste Beobachtungstag, namentlich während der Messung der zweiten Sektion, indem der Regen die Zelte durchweichte. Die Differenz ist bei dieser Sektion die grösste.

General Ibanez selbst hat über seine Basis-Apparate folgendes als Gesamturteil ausgesprochen:

„Die einfache Einrichtung meines Apparates und die Art seiner Anwendung ist das Ergebnis der Erfahrungen, welche ich bei *neun* in Spanien ausgeführten Basis-Messungen zu machen Gelegenheit hatte. Bei meinem ersten Apparate waren alle denkbaren Korrektions-Vorrichtungen angebracht. Die Messstange bestand aus zwei Metallen, deren Längen-Unterschied infolge verschiedener Ausdehnung durch die Wärme mit einer Mikrometer-Schraube gemessen wurde. In gleichen Intervallen eingelassene Quecksilber-Thermometer liefern eine zweite, von der ersten unabhängige Bestimmung

der Temperatur. *Es zeigte sich schliesslich, dass die Quecksilber-Thermometer die Temperatur der Messstange leichter und besser bestimmen lassen, als das Metall-Thermometer und deshalb habe ich erstere allein beibehalten.* Die Sucht, jedes Mass und jede Korrektion gesondert mit der Mikrometer-Schraube messen zu wollen, wie wir es erstmals thaten, führt zu grossem Zeit- und Arbeits-Aufwande ohne reellen Gewinn an Genauigkeit; und grössere erreichbare Vorteile gehen durch die komplizierte Art und längere Dauer der Messung verloren. Das beste Mittel, dem Anhäufen der Beobachtungs-Fehler in ausgedehnten Dreiecksnetzen entgegen zu arbeiten, ist die Messung einer ausreichenden Zahl von Grundlinien. Dieses Mittel kann aber um so eher in Anwendung gebracht werden, je mehr der Messapparat mit einfacher Einrichtung und Handhabung ausreichende Genauigkeit der Resultate verbindet.“

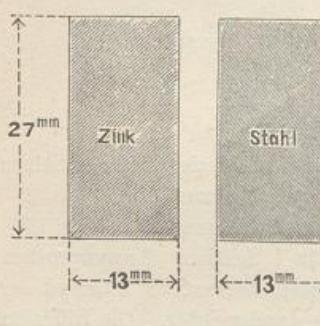
IV. Der amerikanische Basis-Apparat von Repsold.

Die nord-amerikanischen Vermessungen im neueren Sinne begannen etwa 1841; von da bis 1874 wurden 9 Grundlinien gemessen und im Jahre 1876 wurde ein neuer Basis-Apparat von Repsold in Hamburg angeschafft, mit welchem unter Leitung von *Comstock* dann drei Grundlinien, bei Chicago 1877, Sandusky 1878, und Onley 1879 gemessen wurden.

Nachricht hierüber giebt das grosse amtliche Werk: „Professional papers of the corps of engineers, U. S. Army, Nr. 24. Report upon the primary triangulation of the United States Lake Survey, by Lieut. Col. C. B. Comstock, Corps of Engineers,

Fig. 6.
Repsold-Comstocks Messstange,
Querschnitt in natürlicher
Grösse.

Brevet Brigadier-General, U. S. A., aided by the Assistants on the survey. Washington: Governement printing office. 1882.“ (vgl. auch „Zeitschr. f. Verm. 1884“, S. 533—547 und 1888, S. 385—395.)



Der Grundgedanke des Repsold-Comstock schen Apparates ist derselbe wie beim Brunner schen (S. 84), nämlich *eine* Messstange, deren Enden zwischen festen Mikroskopen abgelesen werden.

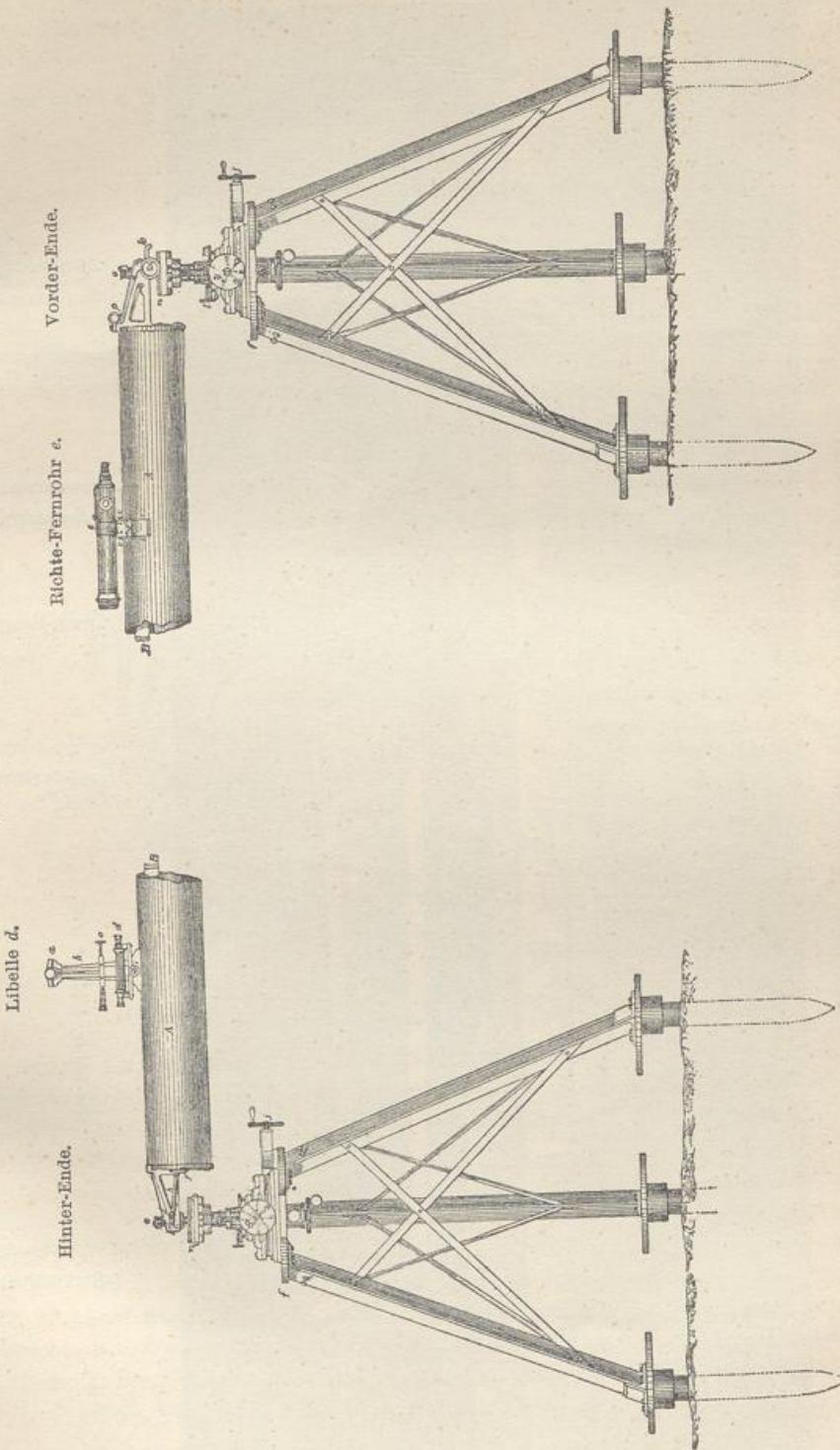
Die Messstange besteht aus der Verbindung von Zink und Stahl, wie in Fig. 6. angegeben ist. Die aus Zink und Stahl zusammengesetzte Messstange ist in eine Röhre von 12,5^{cm} Durchmesser eingeschlossen und ragt an den Enden derselben hervor, wie durch die nachfolgenden Fig. 7. bis 12. S. 91—93 dargestellt ist.

Die zwei Platinplättchen *ee* in Fig. 9. S. 93 sind mit feinen Teilungen versehen, welche durch die isoliert aufgestellten Mikroskope abgelesen werden.

Fig. 12. (S. 93) zeigt den Röhren-Querschnitt und zugleich die Queransicht eines mit der Röhre parallelen Richte-Fernrohrs *b*, welches in der grossen Fig. 7. (S. 91) rechts oben in Seiten-Ansicht dargestellt ist. Dieses Richte-Fernrohr lässt sich durchschlagen, also auf eine vordere oder eine hintere Richte-Bake der Geraden einstellen.

Im übrigen ist durch die zahlreichen Figuren alles wesentliche erklärt. Die photographische Aufnahme des Gesamt-Apparates mit den Schutz-Zelten, welche wir

Fig. 7.
Repsold-Comstock's Basismess-Apparat.
angewendet bei den Grundlinien von Chicago 1877, Sandusky 1878, Olney 1879.
(Massstab 1:16.)



Länge der Röhre = 4 m, Durchmesser der Röhre = 0,125 m.
Im Innern der Röhre befindet sich der aus Zink und Stahl bestehende Massstab, welcher an den Enden hervorragt, und durch isoliert aufgestellte Mikroskope abgelesen wird.

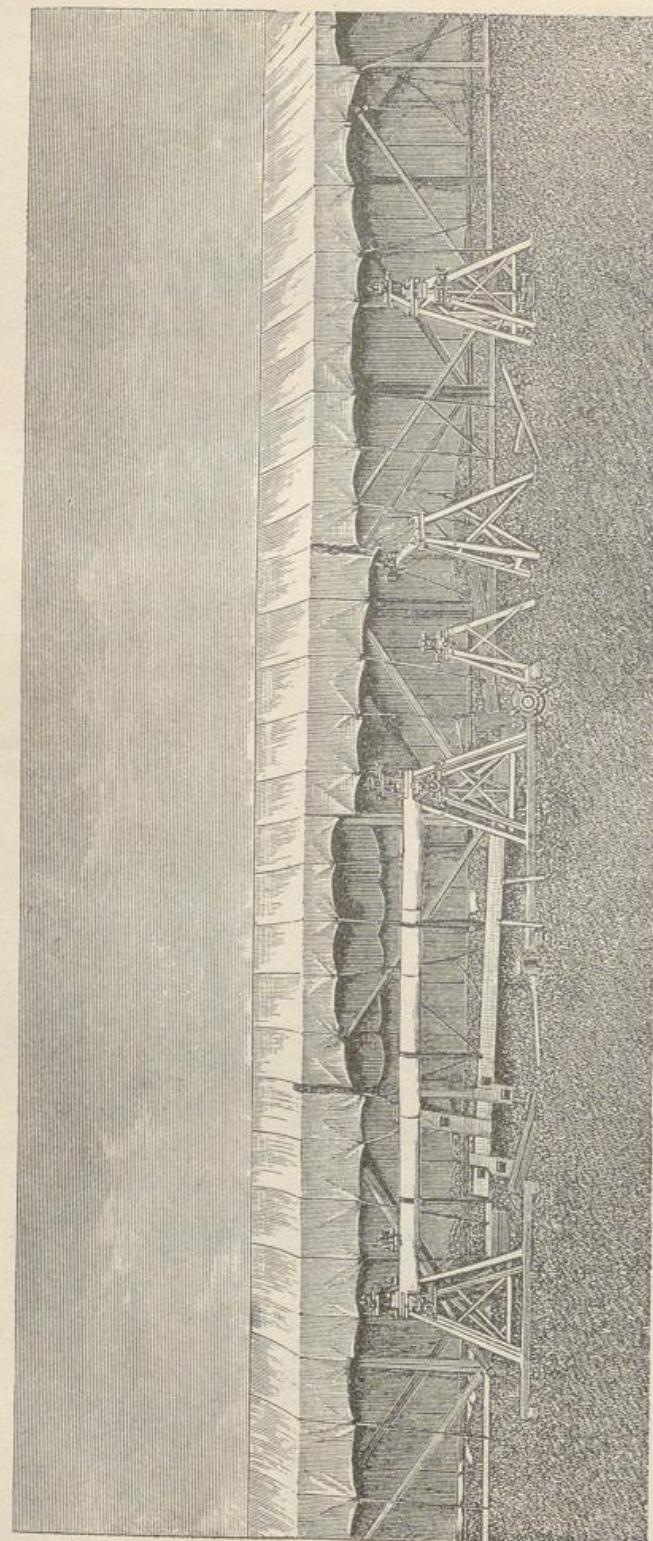


Fig. 8.
Repsold-Comstock's Basismeß-Apparat, photographische Ansicht.

auf S. 92 nachgebildet haben, zeigt auch rechts die Mikroskope, welche von ihren Stativen übergeneigt, einem etwas unstabilen Eindruck machen.

Fig. 9.

Hinteres Ende der Messstange aus der Röhre hervorragend.
e c Platinplättchen.

(Massstab 1:4.) Fig. 10

Querschnitt der Böhre mit dem

Stäben Z und S .

Röhren-Durchmesser = 12.5 cm.

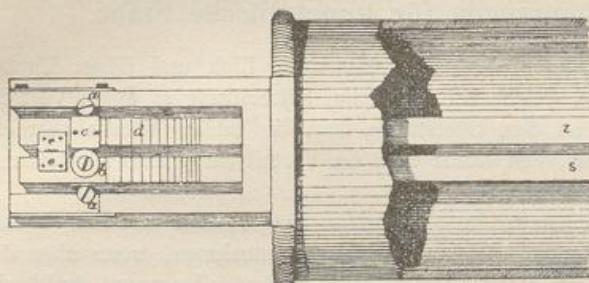


Fig. 11.

Stativ für die Röhre mit der
Messstange.
(Massstab 1:8)

Assstab 1:4.) Fig. 10.

Querschnitt der Böhre mit dem

Stäben Z und S .

Röhren-Durchmesser = 12.5 cm.

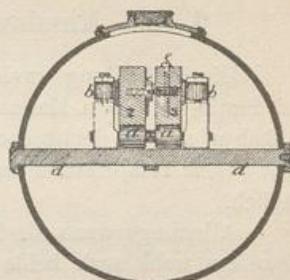
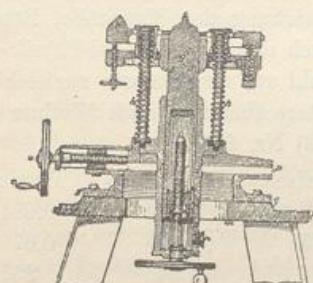


Fig. 11.

Stativ für die Röhre mit der
Messstange.
(Massstab 1:8)

Fig. 12.

chnitt der Röhre und des
Richte-Fernrohrs *b*.
(Maßstab 1:4.)

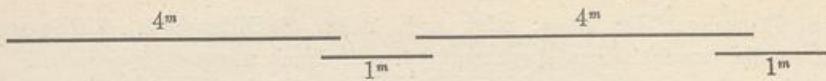


V. Der niederländisch-ostindische Basis-Apparat von Repsold.

Schon vor dem soeben beschriebenen amerikanischen Apparat (welcher 1876 hergestellt wurde), haben Repsold und Söhne einen auf ähnlichen Prinzipien beruhenden Apparat konstruiert, welcher teilweise nach Angaben von Oudemanns schon von 1865, zur Triangulierung von Java, 1873, gedient hat.

Eine erste Beschreibung wurde im September 1876 von Repsold selbst gegeben in Nr. 1661 der „astr. Nachr.“ 70. Band, S. 65—80, die Hauptbeschreibung mit Zeichnungen ist enthalten in dem Werke: „Die Triangulation von Java, erste Abteilung, von Oudemans, Batavia 1875.“

Das Prinzip ist das bimetallische, ein Zinkstab und ein Stahlstab, 11,5^{mm} und 13,5^{mm} breit und beide 22^{mm} hoch, liegen neben einander und sind in eine Röhre eingeschlossen, aus welcher nur die Stab-Enden hervorragen, wie bei Repsold-Comstock Fig. 10. s. o. Im übrigen aber ist die Anordnung eine andere; es sind 4 Stäbe von 4^m und 1^m Länge vorhanden nach Andeutung folgenden Schemas:



Die kurzen 1^m langen Stäbe tragen an ihren Enden Mikroskope, welche auf die 4^m langen Stäbe hinüberreichen und so die Messung ermöglichen.

§ 14. Massbestimmungen für bimetallische Stäbe.

Die Verbindung zweier verschiedener Metalle, z. B. Zink und Eisen, Kupfer und Platin, zu einem Massstäbe, welche bei der ersten Betrachtung so grosse Vorteile zu haben scheint, leidet doch an dem Übelstande, dass die beiden Metalle sehr oft *nicht gleiche* Temperaturen haben, und damit wird der Vorteil der ganzen Einrichtung fraglich.

Allerdings wenn die Temperatur im allgemeinen längere Zeit *konstant* bleibt, so werden wohl auch beide Metalle gleiche Temperatur annehmen, wenn aber die Temperatur der umgebenden Luft sich ziemlich rasch *ändert*, oder wenn strahlende Wärme einwirkt, so werden zwei verschiedene Metallstangen, je nach ihrer Masse, ihrer spezifischen Wärme u. s. w., den äusseren Wärme-Einflüssen mehr oder weniger rasch folgen, und deswegen zu gleichen Zeiten verschiedene Temperaturen haben.

Eine hierauf bezügliche Rechnung hat Oudemans angestellt in dem Werke: „Die Triangulation von Java“, erste Abteilung Vergleichung der Massstäbe, Batavia 1875, S. 7—8. Oudemans nimmt nach dem „Lehrbuch der Experimental-Physik von Wüllner“ die nachfolgenden Zahlen für Zink und Stahl an, welchen wir zugleich die Zahlenwerte für Platin und Messing beifügen (letztere ebenfalls nach Wüllner angenommen von Fischer, astr. Nachr., 103. Band (1882) Nr. 2451):

		Zink	Stahl, Eisen	Platin	Messing
Spezifische Wärme	w	0,089	0,109	0,034	0,094
Absorptions-Vermögen	α	0,19	0,175	0,17	0,07
Wärmeleitungs-Fähigkeit	λ	363	374	84	231
Dichte	\varDelta	6,86	7,82	21,51	8,00

Ferner sei die freie der Luft ausgesetzte Oberfläche eines Stabes = F

Das Volumen eines Stabes = V

Damit ist die Wärmemenge, welche einem Stab von seiner freien Oberfläche ins Innere zugeführt wird, proportional dem Produkt:

$$F \alpha \lambda$$

Andererseits ist die Temperatur-Zunahme des Stabes umgekehrt proportional dem Produkt:

$$V \varDelta w$$

Im Ganzen ist also die Temperatur-Zunahme eines Stabes proportional zu setzen der Grösse:

$$(\varDelta t) = \frac{F}{V} \frac{\alpha \lambda}{\varDelta w} \quad (1)$$

Der erste Quotient $F : V$ ist rein geometrischer Natur; jedenfalls wird die Länge beider in Frage kommender Stangen gleich sein, etwa = l ; dann seien ferner die Breiten und Höhen beider Stangen = b und h , bzw. = b' und h' . Wenn die Stangen von allen Seiten der Luft (bzw. der Wärme-Einwirkung) ausgesetzt sind, so ist: