

Sitzungsberichte

der

königl. bayer. Akademie der Wissenschaften
zu München.

Jahrgang 1870. Band I.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1870.

In Commission bei G. Franz.

Sitzungsberichte
der
königl. bayer. Akademie der Wissenschaften.

Mathematisch-physikalische Classe.

Sitzung vom 8. Januar 1870.

Herr v. Steinheil legt vor eine Abhandlung:

„v. Steinheil's vollständiger Comparator zur Vergleichung der Toise mit dem Meter und zur Bestimmung der absoluten Längenausdehnung der Stäbe.“

(Mit einer Tafel.)

General v. *Baeyer* hat die sehr folgereiche Thatsache festgestellt, dass sich der Ausdehnungs-Coeffizient für Zink in längern Zeitperioden ändert. Es ist kaum zu bezweifeln, dass auch andere Metalle, namentlich solche, deren absolute Elastizität enge Grenzen hat, ähnliche, wenn auch kleinere Veränderlichkeit bei genauer Prüfung zeigen werden. Dadurch tritt aber für alle genauen Massbestimmungen eine neue noch nicht gekannte und gar nicht unerhebliche Unsicherheit ein und es wird die nächste Aufgabe bilden diesem Uebelstande zu begegnen.

[1870. I. 1.]

Während man bisher den Stoff zu Längenmassen fast willkürlich wählte, nur etwa geleitet durch chemische oder physikalische Eigenschaften, welche eine längere Invariabilität erwarten liessen (Platina, — Silber, — Eisen, — Messing etc.) wird man jetzt erst den Stoff zu finden haben, der keine oder die kleinste Aenderung in der Ausdehnung nachweist.

Es steht zu erwarten, dass nur vollständig elastische Körper Masse liefern werden deren Ausdehnungs-Coeffizient invariabel ist. Denn werden Stäbe durch angehängte Gewichte über ihre Elastizität ausgedehnt, so kehren sie, nach Entfernung der Last nicht nur nicht zur ursprünglichen Länge zurück, sondern sie fordern nun auch eine kleine Belastung, um abermals über ihre Elastizitätsgrenze ausgedehnt zu werden, d. h. ihre Elastizitäts-Grenze hat geändert. Ist es nun gleichgiltig ob die Verlängerung des Stabes durch angehängte Gewichte oder aber durch höhere Temperatur bewirkt wurde, was anzunehmen ist, da ein durch Wärme ausgedehnter Stab zwischen Widerlagen von constantem Abstände dieselbe Kraft übt, welche nöthig gewesen wäre als Last ihn eben so viel zu verlängern, als er ohne Widerlagen länger geworden wäre, so erklärt sich die Veränderlichkeit der weichen Metalle und folglich ihre Unbrauchbarkeit zu genaueren Massstäben. Es wird durch diese Betrachtungen in hohem Grade wahrscheinlich, dass alle Stoffe, welche sehr enge Grenzen der absoluten Elastizität besitzen als Blei, Gold, Platin, Zink, Zinn etc. mit der Zeit bloss durch den jährlichen Gang der Temperatur dem sie ausgesetzt sind, veränderliche Ausdehnung bekommen, dagegen sehr vollkommen elastische Körper d. h. solche deren Elastizitätsgrenzen sehr weit sind, als Glas und Glasflüsse, Porzellan, federharter Stahl, gehämmertes Kupfer, Krystalle etc. bei den vorkommenden Temperaturdifferenzen ihre Grenze nicht überschreiten und folglich constant bleiben. Doch ist die Frage von viel zu grossem Belang, um auf diese Betrachtungen hin

den Stoff für Normalmassstäbe jetzt schon festzustellen. Vielmehr ist es unerlässlich diesem Gegenstande eine eigene gründliche Untersuchung zuzuwenden. Dass man aber zu dieser Untersuchung vor Allem ein Mittel haben muss die Ausdehnung für kleine Temperaturunterschiede scharf und sicher zu bestimmen, ist klar. Es wird daher auch gerechtfertigt erscheinen darauf hinzuwirken, dass die Anwendung des Fühlspiegels, der bei meinem Meter-Comparator so merkwürdig grosse Genauigkeit ergeben hat, auch hiezu eingeführt werde. Es ist diess um so mehr indiziert, als sich dieser Zweck mit kleinen Aenderungen in der Construction des Meter-Comparators erreichen lässt.

Mündlich aufgefordert von General *von Baeyer* einen solchen Comparator für ihn zu construiren, der für absolute Längenausdehnungen und zugleich zur Bestimmung des Verhältnisses von Meter und Toise anwendbar wäre und endlich auch die Vergleichung der Masse *a trait* mit denen *a bout* erlaubte, habe ich im Zusammenwirken mit dem Herrn General im verflossenen Herbste ein solches Instrument construirt und für Herrn *von Baeyer* in Arbeit gegeben. Auch für die math.-phys. Sammlung des Staates war schon früher ein ähnlicher Comparator in Ausführung begriffen. Es dürfte daher zeitgemäss sein dessen Beschreibung zu veröffentlichen, damit die Aufgabe von verschiedenen Beobachtern mit gleich empfindlichen Hilfsmitteln verfolgt werden kann.

Ehe wir zur Beschreibung übergehen, erlauben wir uns noch einige einleitende Betrachtungen.

Die sicherste Masseinheit wäre wohl diejenige, welche allen Temperaturänderungen entzogen wäre. Das kann man bewirken, wenn man die Benutzung der genauen Masseinheit auf eine bestimmte Localität beschränken will, nämlich dadurch, dass man sie in einem hinreichend tiefen und trockenen Keller, der stets dieselbe Temperatur behält, aufbewahrt. Da diess jedoch mit grossen Unbequemlichkeiten verknüpft ist,

kann man auch bloss die Fundamentpunkte der Masseinheit — also ihre beiden Endpunkte — in einem Raume fixiren, der zu allen Jahreszeiten gleiche Temperatur behält. Dann bleibt auch der Abstand dieser Punkte immer gleich. Man muss also die Punkte nur hinreichend tief legen. Wenn die senkrechten Axen in diesen Punkten bis über die Oberfläche der Erde verlängert wären, würde man durch sie einen bei allen Temperaturen constanten Abstand gewinnen und das ist die Bedingung, um die absolute Längenausdehnungen überhaupt zu bestimmen, indem man den Masstab bei verschiedenen Temperaturen vergleicht mit dem constanten Axen-Abstande. Die 2 fundamentirten Punkte müssen also getrennt von dem umgebenden Erdreich ganz symmetrisch gegen die Verticalaxe und beide genau gleich heraufgeführt werden aus der constanten Temperatur bis über die Oberfläche des Erdbodens wo die Vergleichen vorgenommen werden sollen. Es ist nöthig diese beiden Pfeiler möglichst stark im Verhältniss zu ihrer Höhe zu bauen um Durchbiegungen zu vermindern. Da man um so unabhängiger wird von kleinen Aenderungen, die sie denn doch noch zeigen können, wird man ihren Abstand möglichst gross machen. Gesetzt man wählte einen Abstand von 10 Toisen zwischen den Axen der Pfeiler; so wäre man bei der Bestimmung der Ausdehnung des Masstabes, mit welchem der Abstand bei verschiedenen Temperaturen gemessen würde, 10 mal sicherer bei gleicher Aenderung in den Endpunkten als wenn man sich auf eine Toise beschränkte. Bei so grossem Abstände könnte auch die Entfernung der Endpunkte sehr leicht und sicher gemessen werden, wenn man sich meines cylinderschen Messrades bediente. Ein Schienenweg von 10 Toisen könnte bei geringen Kosten mit aller Genauigkeit hergestellt werden. Die Vergleichung zwischen dem Rade und der benannten Masseinheit (etwa Toise oder Meter) würde sich sehr leicht ergeben, wenn der Abstand (10 Toisen) auch nach der bisherigen Methode wie eine kleine Basis

gemessen würde. Ein solcher constanter Abstand von 2 sorgfältig fundamentirten Punkten bildet offenbar eine sicherere Masseinheit als jeder Massstab. Er könnte überhaupt nur alterirt werden durch Erdbeben. Man hätte also in der Wahl des Ortes darauf Rücksicht zu nehmen und in verschiedenen von Erdbeben freien Gegenden solche Masseinheiten zu fundamentiren. Alle zu jeder Zeit leicht mit dem Messrad nachmessbar, liessen jede Veränderlichkeit in einzelnen Basen und jede Aenderung im Messrade erkennen und gäben somit für alle Zeiten der Masseinheit grössere Sicherheit, als wir jetzt zu erlangen vermögen.

Dieser Gedankengang liegt dem neuen Comparator zu Grunde nur mit dem Unterschiede, dass der Abstand der 2 fundamentirten Punkte nur ca. 2 Meter beträgt, also eine direkte Vergleichung des Messrades oder Cylindermassstabes mit Toise und Meter ausgeschlossen ist.

Beschreibung des Comparators.

Die heraufgebauten fundamentirten Punkte gehen nach oben in eingekittete Glasylinder über, welche in das für Masse bestimmte Gefäss von Spiegelgläsern durch die weiter ausgeschnittene Bodenplatte eingeführt sind. Damit die Masse unter Flüssigkeit verglichen werden können, ist eine Liederung von Kautschuck um die Cylinder gesteckt und auf dem vorspringenden Kranze derselben steht das Gefäss auf und bewirkt durch seine Schwere den Abschluss der Flüssigkeit, ohne dass die Ausdehnung des Glasgefässes einen Zwang auf die Glasylinder der Pfeiler ausübt.¹⁾

1) Es ist klar, dass man einen noch sicherern wasserdichten Schluss zwischen Pfeilerzapfen und Bodenplatte erzielen würde, wenn 2 Parallelgläser auf den Pfeilerzapfen conisch aufgeschliffen würden. Diese Parallelgläser lägen auf der Tischplatte von Gusseisen und es wäre eine Schichte von Oel zwischen der Eisenplatte und den Parallelgläsern. Es könnte daher die Tischplatte verschoben werden, ohne einen namentlichen Druck auf die Cylinder zu üben. Auf die 2

Noch sind die Glascylinder senkrecht herab und von derselben Seite her zur Hälfte abgeschnitten und diese senkrechten parallelen Flächen an den Glas-Cylindern bilden den constanten Abstand mit dem die Masse verglichen werden, deren Ausdehnung bestimmt werden soll. Die Berührungsflächen sind nach derselben Seite gerichtet damit der Druck des angefederten Spiegels beide Pfeiler nahe um gleichviel biege.²⁾ Ueberhaupt werden sich die Pfeiler durch diesen Druck nur sehr wenig biegen und darum wird die Durchbiegung auch so hinreichend eliminirt.

Da nun Masstäbe zu vergleichen sind, deren Endflächen sphärisch sind, die Spiegel des Comparators aber nur an sphärischen Flächen richtig tangiren und den Tangirungspunkt durch die Newtonschen Farbenringe zeigen, so sind kleine Abschiebe-Cylinder mit je 2 sphärischen Endflächen aus Glas angefertigt die an beiden Endflächen in der Axe des Masstabes liegen und also mit in die Vergleichung gezogen werden. Es sind 6 solcher sehr nahe gleicher Abschiebe-Cylinder erforderlich. Ihre Länge beträgt je
22.735 Pariser Linien

so dass 38 solcher Cylinderlängen gleich einer Toise und 39 gleich 2 Meter sind. Das was noch fehlt, soll ohne An-

Parallelgläser kömmt dann ebenso mit Oelschichte der Glastrog zu stehen, der ebenfalls ohne Zwang auf die Cylinder kleine Verschiebungen erleiden könnte. Dass das Oel stets flüssig erhalten werde oder erneuert werden müsste, versteht sich von selbst.

2) Der Druck ist für beide Pfeiler wohl ganz gleich, allein die vorspringende Widerlage des Cylinders ist niedriger auf der Seite des beweglichen Spiegels als auf der des feststehenden. Der Druck wirkt folglich für den feststehenden Spiegel an längerem Hebel und es wird dieser Pfeiler mehr gebogen als der andere. Wollte man die Durchbiegung der Pfeiler ganz aufheben, so wären Gegengewichte erforderlich, welche auf der entgegengesetzten Seite des Pfeiler wirkten und die Kraft aufheben mit der die Masse angedrückt werden.

wendung des *Repsold'schen* Schraubenmikrometers bloß aus der Neigung der tangirenden Parallelgläser gefunden werden.

Brächte man die Parallelgläser in Verbindung mit einem Schraubenschuber der den Spiegel bis zur Tangirung an den übereinander stehenden Massenden führt, so würde man den Vortheil, welcher in dem Prinzip liegt aufgeben und eine grosse Unsicherheit in die Messungen bringen, weil die Drehungspunkte der Spiegel dann genau genommen (in Spitzen gehend) variabel sind und auch die Kraft unbekannt bliebe mit der die Schraube den Spiegel andrückt. Man ist also genöthigt, aus der Neigung der Spiegel und dem Abstände der Berührungspunkte die Längendifferenz abzuleiten. Da nun aber grössere Längendifferenzen vorkommen als der Apparat zu messen gestattet, wenn die Massstäbe direkt aufeinander liegen, so sind Rollcylinder von verschiedenen Durchmessern angefertigt, die zwischen die Masse zu liegen kommen und also den Abstand der Berührungspunkte je nach Bedarf grösser oder kleiner machen. Man hat zwar bei grösserem Abstände eine kleinere Empfindlichkeit des Okularmikrometers; allein der aliquote Theil des Mikrometerganges, der als Fehler der Einstellung bleibt, ist so klein, dass die Empfindlichkeit oder die Genauigkeit der Messung in allen Fällen genügt.³⁾

Die Abschiebecylinder dienen zugleich um eine Toise mit 2 Metern vergleichen zu können. Bei solchen Vergleichen von Massen untereinander ist der variable Abstand der Pfeiler-Glascylinder unnöthig. Man hat also in solchen Fällen nur die Cylinder der Fixpunkte herauszunehmen.

Je 2 Abschiebe-Cylinder sind senkrecht übereinander getragen von einem horizontal ausgebohrten Ständer. Ihre Höhe kann verstellt werden, so dass sie genau in die Verlängerung der Axen der Masse zu stehen kommen.

3) Man wird übrigens selten gezwungen sein von diesem Prinzip Gebrauch zu machen, da der Apparat ohne dickere Rollcylinder doch Längendifferenzen von $\frac{1}{2}$ Linie und selbst mehr zu messen gestattet.

Im Uebrigen ist der Comparator gleich mit dem in den Wiener Denkschriften Bd. XXVII „Ueber genaue und invariable Copien etc.“ beschriebenen nur mit dem Unterschiede, dass das Glasgefäss wegen Messens der ganzen Toise mehr als doppelt so lang ist und weit grössere Tiefe hat, weil für beträchtlichere Längendifferenzen dickere Rollcylinder in Anwendung kommen und doch die Massstäbe ganz unter Flüssigkeit bleiben müssen. Aus diesem Grunde sind auch die Parallelgläser weit höher und dicker als bei dem Meter-Comparator, wie aus der Zeichnung zu sehen. Endlich ist noch eine Aenderung an dem Mikrometer-Fernrohr zu berühren. Zur Vermeidung aller falschen Reflexbilder von welchen der erste Comparator nicht frei ist, wurde das Beleuchtungsglas hier vor die Fäden des Okularmikrometers gestellt und dann erst das Okular angebracht, während beim ersten Apparat das Beleuchtungsglas vor dem Okular sitzt. Man erhält jetzt das ganze Gesichtsfeld gleichmässig erleuchtet und kann verschiedene Vergrösserungen in Anwendung bringen, ohne an der Berichtigung des Apparates zu ändern.

Um den Werth der Abschiebe-Cylinder mit dem Comparator ermitteln zu können ist ein Doppel-Meter von Glas beigegeben, welcher seiner Länge nach auf der Mitte der breiten Seite eine Rinne oder Leitbahn eingeschliffen hat. Der Cylinder liegt wie bei dem *Bessel'schen* Comparator durch Friktion in den Kanten der Rinne. Die Rinne geht natürlich nicht bis zur Mitte der Stabesdicke, sondern es sind die Endflächen aus dem Centrum des Stabes mit 1 Meter Radius sphärisch bearbeitet. Man beginnt die Abschiebung an dem feststehenden senkrechten Parallelglase. Nach 39 Cylinderlängen wird der bewegliche Spiegel zum Anliegen an Stab und Cylinder gebracht. Es ist ein Gewicht vorhanden, welches auf den Cylinder in der letzten Lage aufgelegt wird, damit er beim Anlegen des Spiegels nicht zurückgleitet. Die Abschiebung erfolgt unter Flüssigkeit und es ist der in

Abschiebung begriffene Cylinder mit einer angekitteten leicht ablösbaren Handhabe versehen, um nicht durch die Berührung erwärmt zu werden.

Die Vergleichung eines *Masses a bout* mit demselben *Masse a trait* fordert nur ein möglichst gutes Mikroskop mit Okularfilarmikrometer, der *Massstab a trait* und das Mikroskop sind durch die Längenwand des Troges der aus Spiegelplatten zusammengesetzt ist, orientirt. Die Methode der Vergleichung ist übrigens zu bekannt um hier wiederholt zu werden.

Zum Schluss wollen wir jetzt noch den ganzen Apparat mit Zuziehung der Zeichnung zusammenstellen um die Uebersicht zu erleichtern.

Aus den fundamentirten Pfeilern ragen die facetirten Tragsäulen *A, A'* etwa 3 Fuss über den Fussboden hervor. In den Axen der Säulen sind die Glascylinder *B, B'* eingekittet. Die Tragsäulen müssen eine symmetrische Gestalt gegen ihre Längsaxe haben, damit eine Temperatur-Aenderung des obern Theiles der Säule keine Verstellung ihrer Axe bewirkt. Der Abstand der Längsaxen beträgt 2 Meter + 1 Abschiebecylinder oder 909,335 Pariser Linien. Da dieses Mass bei der Ausführung nicht genau getroffen werden kann und doch nur wenig fehlen darf um mit der Neigung des Spiegels noch messbar zu sein, so ist die Einrichtung getroffen, dass der Abstand der Berührungsplatten der Glascylinder an dem einen Cylinder mit Schrauben verstellbar ist.

Ueber die beiden Pfeiler kömmt ein aus 4 Holzwänden gebildeter Rahmen *a, b, c, d.* der durch eine aufgelegte Platte von Gusseisen *e, e, e, e* zum Tisch umgestaltet wird. Natürlich sind in der Platte 2 Löcher für die Glascylinder etwas weiter als die Cylinder ausgearbeitet, so dass letztere frei durchgehn. Der innere Raum dieses Tisches oder Kastens ist mit schlechten Wärmeleitern (Sägespähne oder Baumwolle etc.) ausgefüllt.

Auf die gusseisene nivellirte Platte kommt, nachdem die Kautschukplatten über die Glascylinder gesteckt und ihre Scheiben $g g'$ auf dem Tische ausgebreitet sind, der Glaskasten f, f, f, f , zu stehen. Auch dessen Boden hat 2 Löcher, durch welche die Glascylinder frei hindurch gehn. Der Glaskasten sitzt also nur auf den 2 Kautschuk-Scheiben $g g'$ auf und bewirkt so den wasserdichten Schluss durch seine Schwere.

An dem einen Ende des Tisches vor dem Glaskasten steht der Fernrohrträger g , der so hoch ist, dass das Objektiv über den Glastrog hinwegsehen kann. In den Glastrog kommt am Ende des Troges das feststehende Parallelglas h festgekittet⁴⁾ auf den Glascylinder B' . Gegenüber am Fernrohr-Ende des Troges steht der Schuberschlitten i , welcher den verstellbaren Spiegel k trägt. Endlich ist auf den Boden des Glasgefäßes eine ebenfalls aus Glasplatten gebildete Brücke oder ein Schemel l gesetzt, der den Massstäben als Unterlage dient. Damit der Massstab sich frei und unabhängig vom Schemel ausdehnen kann, sind 4 Rollcylinder von Glas quer über die Brücke gelegt. Die Cylinder m, m, m, m , liegen also senkrecht zur Längsaxe des Massstabes. Es sei der Massstab eine Toise n . Nun kommen die Träger oder Ständer mit den Abschiebecylindern zwischen die Spiegel und die Enden der Toise. Sie sind durch ihren Fuss am Glaskasten orientirt und werden nur in der Höhe so gestellt, dass sie auf die Mitte der Stabdicke treffen. Die Toise wird dann seitlich nach den Cylindern gerichtet so, dass dieselbe Vertikalebene durch die Axe der Toise führt.

4) Wenn die Planfläche am Glascylinder B' nicht ganz genau und im hohen Grade plan geschliffen ist, so sitzt der nur am Rande umgekittete Spiegel nicht fest. In diesem Falle, der wohl immer eintreten wird, ist es nöthig das Planglas erwärmt auf Pechtropfen aufzusetzen, so wie *Fraunhofer* seine Objektivlinsen zum Poliren aufsetzte. Das Glas ist dann in so vielen Punkten unterstützt, dass keine Durchbiegung stattfindet und die Pechtropfen gleichen die Gestaltfehler der Unterlage aus.

Wie wir den Apparat bis jetzt zusammengestellt haben, dient er, nachdem der Stab unter Flüssigkeit gesetzt ist etc., um die absolute Ausdehnung der aufgelegten Toise zu bestimmen. Soll aber die Toise mit 2 Metern verglichen werden, so kommen auf die Toise wieder Rollcylinder o, o, o, o , und auf diese die 2 Meter p und p' . Man hat jetzt nur den untersten Abschiebecylinder, der bei B gegen den Berührungspunkt des Pfeilers drückt herauszunehmen und den Spiegel k in der Höhe so zu verstellen, dass seine Drehungsaxe in der Mitte zwischen der Axe der Toise und der Meter liegt.

Es ist von selbst einleuchtend wie Toisen unter einander verglichen werden. Sollen einzelne Meter verglichen werden, so ist eine kürzere Brücke erforderlich und es wird der Spiegelschuber um 1 Meter näher gegen den feststehenden Spiegel gerückt und in dieser Lage festgekittet, wenn man nicht vorzieht bloß die 2 zu vergleichenden Meter zu wechseln, die andern 2 Meter aber im Apparate zu belassen.

Wir wollen noch darauf aufmerksam machen, dass es nöthig ist den beweglichen Spiegel dem Objectiv des Fernrohrs möglichst nahe zu bringen, weil bei grossem Abstände zwischen Spiegel und Objectiv die Neigung des Spiegels nur klein sein darf, wenn das gespiegelte Licht in das Objectiv treffen soll. Nimmt man an, der bewegliche Spiegel sei am untern Ende des Apparates aufgestellt, so ist sein Abstand vom Objectiv nahe 1043 Linien. Der Durchmesser des Objectives beträgt $12''$. Es erscheint daher das Objectiv, vom Spiegel aus betrachtet, unter einem Winkel von $34' 26''$. Dreht nun der Spiegel um $\frac{1}{4}$ dieses Winkels d. i. um $8' 36''$ so erhält das Objectiv nur noch die Hälfte des reflectirten Lichtes. Noch lichtschwächer darf das reflectirte Bild nicht werden, wenn die Schärfe der Einstellung nicht darunter leiden soll. Man könnte also keine grössern Längendifferenzen bestimmen, als die einem Neigungswinkel von $8\frac{1}{2}$

Minuten entsprechende. Nimmt man jetzt an, der Abstand der Längensaxen der zu vergleichenden Masse wäre möglichst gross also etwa 24 Linien, so betrüge die grösste messbare Längendifferenz nur

$$0'''.06$$

also viel zu wenig um die Längenausdehnungen von 6 Fuss langen Stäben messen zu können. Es wird hiedurch klar, dass der bewegliche Spiegel dem Objectiv nahe stehen muss. Bei seiner jetzigen Stellung können Längendifferenzen bis zu

$$0'''.7$$

ohne Lichtverlust gemessen werden, was bei allen Vergleichen ausreicht.

Obschon demnach der hier beschriebene Apparat in praxi für alle Fälle genügen wird, habe ich doch nachgedacht ob sich nicht andere Constructionen finden lassen, welche nach demselben Prinzip viel grössere Längendifferenzen messbar machten und will dieselben, da ich sie bis zu allen Detailzeichnungen ausgearbeitet habe, hier kurz andeuten um Anderen, die neue Apparate wollen, eine Wahl zu lassen.

Es wird dem aufmerksamen Leser dieser Blätter nicht entgehn, dass die Längenausdehnungsmessungen gegen die Massvergleichen in einem Punkte zurückstehn nämlich darin, dass die Ausdehnungsmessungen nicht auch auf beiden Seiten des Nullpunktes angestellt werden können. Diess kömmt daher, dass die Massstäbe nicht auch unter den Fixpunkten der Pfeiler aufgelegt werden können. Man kann jedoch den Ausdehnungsmessungen die Vergleichung auf beiden Seiten des Nullpunktes verschaffen, wenn man die Ebene, in welcher gemessen wird um 90° verlegt und also in der Horizontalebene statt in einer Vertikalebene misst. Diess setzt voraus, dass der bewegliche Spiegel statt um eine Horizontalaxe zu drehen, um seine Vertikalaxe dreht. Die mit den Pfeilerlagern zu vergleichenden Massstäbe können nun auf ihren Höhenkanten aufgestellt, auf beiden Seiten der

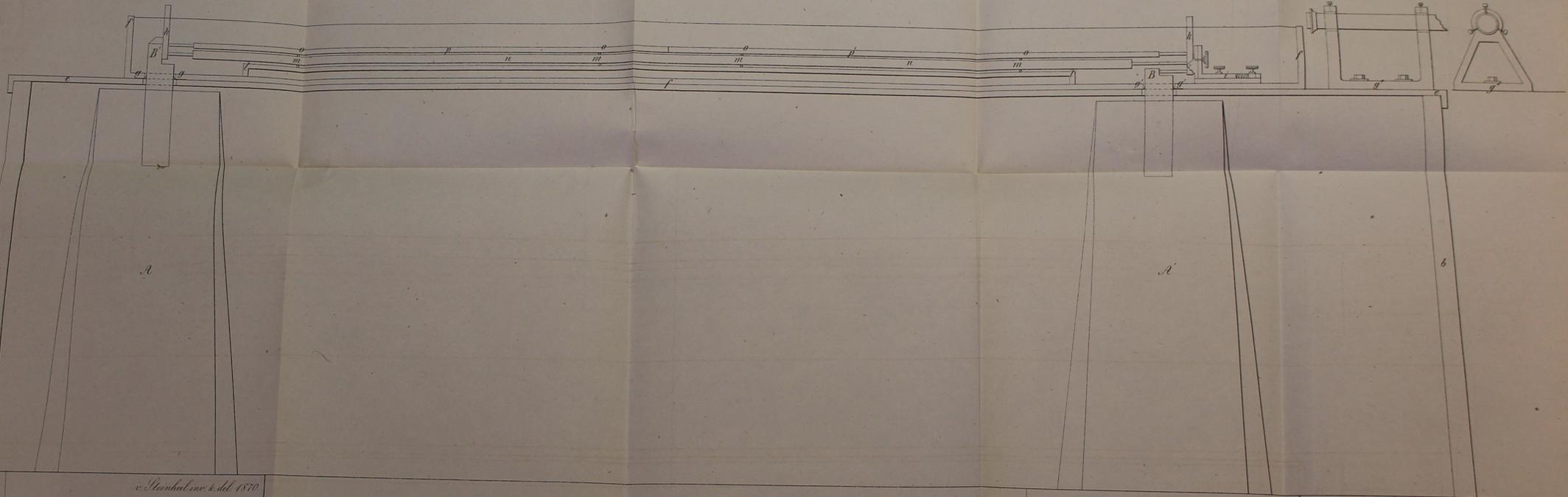
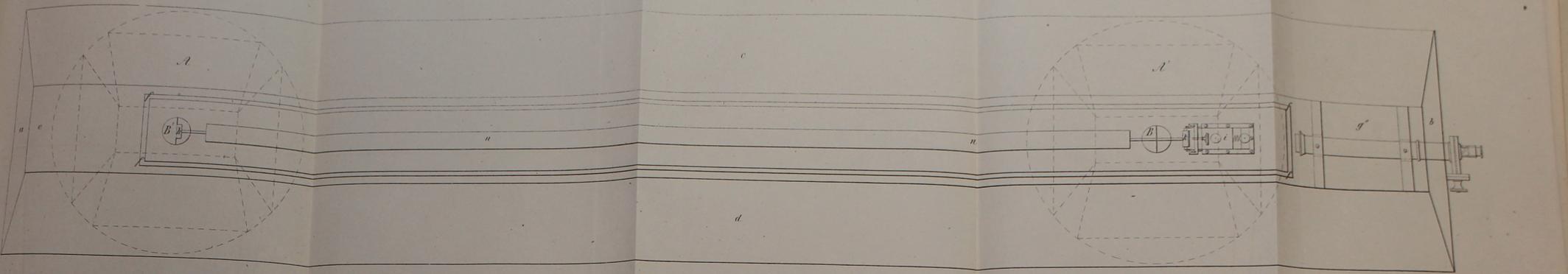
Lagerpfeiler verglichen, somit der Nullpunkt eliminirt und und der doppelte Werth in der Bestimmung erhalten werden.

Verlangt man zugleich auch noch viel grössere Längendifferenzen zu messen als der Okularmikrometer gestattet, so kann eine genau getheilte Scala vor dem Objectiv in horizontaler Lage angebracht werden, wie bei dem *Gauss'schen* Magnetometer. Das Okularmikrometer dient dann die Abstände der nächsten Scalastriche vom Mittelfaden genau zu messen und so der Scala-Ablesung die Mikrometergenauigkeit zu geben.

Hierdurch wäre jedoch das Prinzip aufgegeben auf das Spiegelbild des Mittelfadens einzustellen und mit unendlich entfernten Objecten ohne Okularverstellung zu messen. Man gewänne dagegen ein sehr helles Scalabild und sehr grosse Neigungswinkel. Indessen lässt sich auch das Princip der Einstellung auf das Spiegelbild des Mittelfadens für beliebig grosse Neigungswinkel des Planspiegels erhalten.

Dazu müsste die Vertikalaxe des Tangirungs-Spiegels zur Axe eines getheilten Horizontalkreises gemacht werden. Auf die Alhidade dieses Kreises käme ein dritter belegter Parallelspiegel, welcher das vom Tangirungsspiegel erhaltene Licht diesem wieder zurückspiegelt. Man hätte also nur die Alhidade mit dem festsitzenden Spiegel zu drehen, bis das Spiegelbild des Mittelfadens mit diesem im Gesichtsfelde coïncidirte. Hiebei entfiere der Okularmikrometer und man würde direkt den doppelten Drehungswinkel des Tangirungsspiegels ablesen, unabhängig vom Nullpunkte, wenn zwischen 2 Einstellungen die Massstäbe umgelegt würden.

Man wird vielleicht finden, diese Vorschläge complizirten den Apparat. Das gebe ich zu; allein es ist hier, wie bei allen numerischen Bestimmungen, je grösser die Anzahl der Anforderungen an das Instrument ist, desto complizirter wird sein Bau. Der Umstand ist folglich in der Natur der Anforderung begründet.



Steinheil's Comp. 1870.

$\frac{1}{6}$ der wirklichen Grösse