



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Vermessungskunde

Jordan, Wilhelm

Stuttgart, 1896

§. 6. Schraubenfehler und Teilungsfehler

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

Winkelmessungen in allen Kombinationen.

Dieses Mittel, welches schon von Gauss und Gerling als Ideal gepriesen wurde, ist von General Schreiber etwa seit 1871 angewendet worden und bildet jetzt den Grundton der Haupttriangulierungen der Landesaufnahme.

Die Theorie hiezu haben wir bereits in unserem I. Bande, „Handb. d. Verm.“ 4. Aufl. 1895, § 77 behandelt, auch alle Citate hiezu gegeben.

Hiernach sind die Vorteile der Winkelmessung in allen Kombinationen doppelt: Erstens werden die Messungen selbst so genau als möglich, durch Beschränkung auf kürzeste Dauer (nur *zwei* Zielpunkte) des einzelnen Satzes; zweitens aber werden dadurch alle Gewichts-Coëfficienten $[\alpha\alpha]$, $[\alpha\beta]$ u. s. w. gleich Null, und die Netzausgleichung, welche bei unvollständigen zerstreuten Sätzen eine unerfreuliche starre Masse bildet, wird nun, bei Wahrung aller formellen Strenge, so übersichtlich und geschmeidig, wie wenn man es mit unabhängigen Richtungs-Messungen zu thun hätte.

§ 6. Schraubenfehler und Teilungsfehler.

Das Wichtigste über das Schrauben-Mikroskop haben wir schon in unserem II. Bande, 4. Aufl. 1893, § 63. mitgeteilt, d. h. alles das, was man unbedingt wissen muss, um mit einem Mikroskop-Theodolit messen zu können. Auch ist da noch an die weiteren Ausführungen zu erinnern, welche im II. Band, 3. Aufl. 1888, S. 150—151 und S. 213—214 gegeben waren.

Nach diesem wollen wir noch die Fehleruntersuchung der Schrauben behandeln.

Man hat zu fragen, ob die Schrauben der Mikroskope durchaus gleichförmige Verschiebungen der Fäden erzeugen, oder im einzelnen:

- 1) ob die verschiedenen Schraubengänge alle gleich sind (fortschreitende Fehler),
- 2) ob in der einzelnen Umdrehung die Drehungswinkel den Fadenverschiebungen proportional sind (periodische Fehler).

Die erste Frage, fortschreitende Fehler betreffend, kann man dadurch beantworten, dass man ein und denselben Teilwert des Kreises an verschiedenen Stellen der Schraube misst. Die Untersuchung wird bei den wenigen Umdrehungen, welche bei Theodolit-Mikroskopen gewöhnlich nur gebraucht werden, selten merkliche Fehler ergeben, und ist jedenfalls nicht schwierig. (Eine sehr feine Untersuchung dieser Art findet man in „Travaux et mémoires du bureau international des poids et mesures, Tome V, Paris 1886, S. 47—60, erreurs progressives d'une vis micrométrique.“)

Dagegen sind die *periodischen Fehler*, welche von unsicherer Führung der Schrauben u. s. w. herrühren, oft bedeutend und müssen stets untersucht werden.

Man braucht dazu ein Intervall, welches *nicht* einer ganzen Umdrehung oder einem Vielfachen einer Umdrehung entspricht, sondern am besten einen runden Bruchteil, z. B. ein Viertel, ein Fünftel oder dergl. einer Umdrehung giebt.

Die Theodolitkreise haben meist keine Teilstriche für solche Zwecke, und es wäre zu wünschen, dass die Mechaniker bei Herstellung der Teilungen darauf Rücksicht nähmen, indem an irgend welcher Stelle einige Hilfsstriche in Abständen von 1', 2', 3', 4' u. s. w. angebracht würden.

Statt eines *Hilfsstriches* auf der Teilung kann man auch einen *Hilfsfaden* (bzw. Doppelfaden) im Gesichtsfelde des Mikroskopes anwenden, indem dann der Haupt-

Faden und der Hilfs-Faden (bzw. die beiden Faden-Mitten) nacheinander auf denselben Strich der Teilung eingestellt werden.

Manchmal kann man auch irgend ein nicht zur Teilung selbst gehöriges Zeichen auf dem Teilkreise als Hilfsstrich benützen; z. B. giebt Reinhertz in der „Zeitschr. f. Vermessungswesen“, 1887, S. 549, an, dass er den Mittelstrich der Ziffer 1 als Hilfsstrich genommen habe. Ähnlich haben wir bei dem nachfolgenden Beispiel die Ziffer 2 benützt, welche im Gesichtsfeld erschien, indem auf das rechts unten an 2 befindliche vertikale Abstossstrichchen eingestellt wurde.

Der Abstand dieses Hilfsstriches von dem nächsten Teilstriche war rund $i = 1'$, und die Mikroskop-Trommel hat 5' auf einer Umdrehung. Nun wurde das Hilfsintervall i auf der Schraube 5mal gemessen, indem nach jeder Messung die Alhidade wieder um i zurückgedreht wurde. Das Ganze wurde mehrfach hin und zurück wiederholt, doch geben wir hier nur die *Mittelzahlen* s mit ihren Differenzen i , woran sich auch die leichtverständliche Berechnung anschliesst.

Schrauben- ablesungen	Differenzen	Verbesserungen	Schrauben- ablesung rund	(1)
s	i	$i_0 - i = v$	Δs	
0' 0,00''			0,00''	0'
	1' 6,15''	— 1,06''		1'
1' 6,15''	1' 8,75''	— 3,66''	— 1,06''	2'
2' 14,90''	1' 3,95''	+ 1,14''	— 4,72''	3'
3' 18,85''	1' 3,75''	+ 1,34''	— 3,58''	4'
4' 22,60''	1' 2,85''	+ 2,24''	— 2,24''	5'
5' 25,45''			0,00''	
Mittel $i_0 = 1' 5,09''$		0,00''		

Die Trommelteilung geht von 10'' zu 10'', einzelne Sekunden werden geschätzt, (Doppelsekunden sind nicht angewendet), die Dezimalen bis auf 0,05'' bei den Ablesungen s sind nur durch Wiederholungen und Mittelbildung entstanden. Das Mittel i_0 nehmen wir nun als richtig an (obgleich $s = 5' 25''$ statt $5' 0''$ am Schlusse abgelesen ist), berechnen die Differenzen $i_0 - i = v$, deren Summe = 0 sein muss, und dann die Verbesserungen Δs als Summen der v , indem das erste $s = 0,00''$ gesetzt wird, dann $0,00 - 1,06 = 1,06$, $1,06 - 3,66 = 4,72$ u. s. w.

Nach dem Ergebnis dieser Untersuchung ist also jede Schrauben-Ablesung in der Gegend von 2' um 4,7'' zu vermindern u. s. w.

Wenn die Verbesserungen Δs so gross werden, wie in diesem Beispiel, so ist es bedenklich, sie zu vernachlässigen; eine Korrektions-Tabelle anzulegen und alle Ablesungen darnach zu verbessern, wäre sehr mühsam, vielleicht kann man den Grund der Ungleichheit in der mechanischen Lagerung der Schraube u. s. w. finden und verbessern, oder man muss schlechte Schrauben entfernen und durch bessere ersetzen lassen.

Es ist hier zu citieren:

Westphal, Übersicht über die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen von Mikrometer-Schrauben, „Zeitschr. f. Instrumentenkunde“, 1881, S. 149, 229, 250, 397.

Einige Beispiele hierfür giebt auch die erwähnte Abhandlung von Reinhertz in der „Zeitschr. f. Verm.“ 1887, S. 545–553, mit der Anordnung, die periodischen Schraubenfehler durch planmässige Anwendung *verschiedener Trommelstellungen* zu eliminieren, was gleichzeitig mit der Verteilung der Richtungen auf verschiedene Kreislagen geschehen kann.

Wir wollen beispielshalber annehmen, man wolle mit unserem Instrumente, dessen Trommel $5' = 300''$ Umdrehung hat, eine Richtungs-Messung in 8 Kreislagen machen; dann muss man nach jedem Satze die Trommelstellung um $300'' : 8 = 37,5''$ ändern, oder man bekommt für die 8 Kreislagen folgende Anfangs-Ablesungen:

$$\left. \begin{array}{ll} 1. \quad 0^\circ 0' 0'' & 5. \quad 90^\circ 2' 30'' \\ 2. \quad 22^\circ 30' 38'' & 6. \quad 112^\circ 33' 8'' \\ 3. \quad 45^\circ 1' 15'' & 7. \quad 135^\circ 3' 45'' \\ 4. \quad 67^\circ 31' 52'' & 8. \quad 157^\circ 34' 22'' \end{array} \right\} \quad (2)$$

Stellt man diese Anfangs-Ablesungen ein, so werden auch alle anderen Ablesungen je um $37,5''$ verschoben, und damit die periodischen Schraubenfehler mit derselben Wahrscheinlichkeit eliminiert, wie man das bei den Kreisteilungs-Fehlern durch die planmässigen Kreisverstellungen erwartet.

Ausgleichung der periodischen Schraubenfehler.

Bei unserem vorstehenden Beispiele ist die ganze Berechnung in der kleinen Tabelle (1) enthalten, und man kann nötigenfalls die erhaltenen Δs auch noch graphisch ausgleichen.

Jedenfalls bietet aber auch die rechnerische Ausgleichung (welche in dieser Form von *Bessel* eingeführt wurde) viele Vorteile; wir wollen eine solche als Beispiel hier vornehmen. Dieses Beispiel bezieht sich nicht auf einen Theodolit, sondern auf den Repsoldschen Komparator der K. Normal-Aichungs-Kommission, und wurde von uns im April 1881 erhalten.

Dieses Beispiel kann indessen auch die Schraubenfehler-Ausgleichung für Theodolit-Messungen veranschaulichen.

In Fig. 1. soll t das Intervall einer Teilung bedeuten, welche durch ein Schrauben-Mikroskop gemessen wird. K sei der optische Mittelpunkt des Mikroskop-Objektives, und s sei der Schraubenwert, den man durch Einstellen auf den linken und rechten Strich des Intervalls t findet.

Hat die Schraube keine Fehler, so wird man immer *denselben* Wert s erhalten, welche Teile der Schraube auch benützt werden (abgesehen von den unregelmässigen Einstellfehlern), wenn dagegen die Schraube selbst Fehler enthält, so werden die Werte s verschieden ausfallen.

Wir bezeichnen allgemein eine Schrauben-Ablesung mit S und wir nehmen an, die zu S gehörige Schrauben-Verbesserung lasse sich durch folgende Gleichung darstellen:

$$\Delta S = \varphi(S) = r \sin(A + S) = r \sin A \cos S + r \cos A \sin S \quad (3)$$

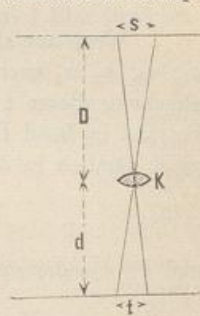
Setzt man hier $r \sin A = \alpha$ und $r \cos A = \beta$

$$\text{oder } \tan A = \frac{\alpha}{\beta}, \quad r = \frac{\alpha}{\sin A} = \frac{\beta}{\cos A} \quad (4)$$

so kann man (3) auch in diese Form schreiben:

$$\Delta S = \varphi(S) = \alpha \cos S + \beta \sin S \quad (5)$$

Fig. 1.
Schrauben-Mikroskop.



Zur Bestimmung der Konstanten α und β wird nun die Messung von t , entsprechend Fig. 1., an verschiedenen Stellen der Schraube vorgenommen, so dass verschiedene Werte s entstehen.

Wenn S die Anfangsstellung einer solchen Messung, folglich $S + s$ die Endstellung ist, so hat man für die Anfangsstellung die Gleichung (5) und für die Endstellung die zugehörige Gleichung:

$$\varphi(S + s) = \alpha \cos(S + s) + \beta \sin(S + s) \quad (6)$$

Wenn man aus (5) und (6) die Differenz bildet, so erhält man:

$$\varphi(S + s) - \varphi(S) = -2\alpha \sin\left(S + \frac{s}{2}\right) \sin \frac{s}{2} + 2\beta \cos\left(S + \frac{s}{2}\right) \sin \frac{s}{2}$$

$$\text{Wir setzen:} \quad -2\alpha \sin \frac{s}{2} = x, \quad +2\beta \sin \frac{s}{2} = y \quad (7)$$

$$\text{und } S + \frac{s}{2} = \sigma \quad (8)$$

folglich ist die Verbesserung für den Schraubenwert s :

$$\varphi(S + s) - \varphi(S) = x \sin \sigma + y \cos \sigma \quad (9)$$

Es sollen 4 symmetrisch gelegene Beobachtungen von s gemacht werden mit den Ergebnissen s_1, s_2, s_3, s_4 und wir setzen:

$$\frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4}{4} = s_0 \quad (10)$$

Dieses ist auch, wie wir nachher sehen werden, der wahrscheinlichste Wert von s überhaupt, indessen wollen wir vorläufig (um die Zahl der Unbekannten sicher zu stellen) den wahrscheinlichsten Wert $= s_0 + \xi$ setzen, und haben daher durch Vergleichung mit (9), nun die Fehlergleichung:

$$v = (s + x \sin \sigma + y \cos \sigma) - (s_0 + \xi)$$

Wir setzen wie gewöhnlich $s_0 - s = l$ und haben dann in 4facher Anwendung:

$$\left. \begin{aligned} -v_1 &= \xi - x \sin \sigma_1 - y \cos \sigma_1 + l_1 \\ -v_2 &= \xi - x \sin \sigma_2 - y \cos \sigma_2 + l_2 \\ -v_3 &= \xi - x \sin \sigma_3 - y \cos \sigma_3 + l_3 \\ -v_4 &= \xi - x \sin \sigma_4 - y \cos \sigma_4 + l_4 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Wenn nun aber die 4 Beobachtungen symmetrisch liegen, d. h. wenn die 4 Werte $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ nach (8) je um 90° gegen einander verschoben sind, so wird die Ausgleichung dieser 4 Fehlergleichungen sehr einfach, wie wir schon an einem ähnlichen Beispiel in Band II. 4. Aufl. § 70. gesehen haben, die Ausgleichung des Systems (11) giebt nämlich in diesem Falle:

$$\xi = 0 \quad x = \frac{[l \sin \sigma]}{2} \quad y = \frac{[l \cos \sigma]}{2} \quad (12)$$

und die Quadratsumme der übrig bleibenden Fehler wird:

$$[v v] = [l l] - \frac{[l \sin \sigma]^2}{2} - \frac{[l \cos \sigma]^2}{2} \quad (13)$$

Rechnet man ausserdem die einzelnen v und v^2 aus, so erhält man in ihrer Summe eine Rechenprobe.

Der mittlere Fehler einer Bestimmung von s wird, weil 3 Unbekannte ξ, x, y vorhanden sind:

$$m = \sqrt{\frac{[v v]}{4 - 3}} = \sqrt{[v v]} \quad (14)$$

Aus x und y kann man nach (12) und (7) auch α und β herstellen, nämlich:

$$\alpha = -\frac{[l \sin \sigma]}{4 \sin \frac{s}{2}} \quad \beta = +\frac{[l \cos \sigma]}{4 \sin \frac{s}{2}} \quad (15)$$

und nach (4) kann man auch die ursprünglichen Unbekannten A und r wieder herstellen:

$$\tan A = \frac{-[l \sin \sigma]}{+[l \cos \sigma]}, \quad r = \frac{-[l \sin \sigma]}{4 \sin \frac{s}{2} \sin A} = \frac{+[l \cos \sigma]}{4 \sin \frac{s}{2} \cos A} \quad (16)$$

Bei unseren Messungen am Repsold'schen Komparator (Mikroskop I. rechts, mit 25facher Vergrößerung) war ungefähr $s = 4,6239$ Umdrehungen, (und zwar herrührend von der Beobachtung eines Intervalls $= 0,2$ Pariser Linien $= 0,4511658 \text{ mm}$, also 1 Umdrehung $= 97,57 \mu$ oder rund 1 Umdrehung $= 0,1 \text{ mm} = 100 \mu$).

Da jedoch hier die ganzen Umdrehungen nicht in Betracht kommen, rechnen wir mit dem Wert $s = 0,6239$ Umdrehungen oder:

$$s = 0,6239 \text{ Umdrehungen} = 0,6239 \times 360^\circ = 224^\circ 36' \quad (17)$$

Es wurde immer mit $0,00$ angefangen, folglich sind nun die Werte σ :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{s}{2} = 112^\circ 18' & \sigma_2 &= \frac{s}{2} + 90^\circ = 202^\circ 18' \\ \sigma_3 &= \frac{s}{2} + 180^\circ = 292^\circ 18' & \sigma_4 &= \frac{s}{2} + 270^\circ = 22^\circ 18' \end{aligned}$$

Ein Messungsversuch am Mikroskop I. (rechts) gab folgendes:

1)	$s_1 = 0,6254$	$l_1 = -15$	$l_1^2 = 225$
	$s_2 = 0,6311$	$l_2 = -72$	$l_2^2 = 5184$
	$s_3 = 0,6232$	$l_3 = +7$	$l_3^2 = 49$
	$s_4 = 0,6158$	$l_4 = +81$	$l_4^2 = 6561$
Mittel	$s_0 = 0,6239$	$[l] = +1$ soll = 0	$[l^2] = 12019$

(18)

Da $s = 1$ rund $= 100 \mu$, also s_1 nahezu $= 62,54 \mu$ ist, sind die l hier rund in Einheiten von 100μ oder $0,1 \text{ mm}$ gezählt, oder rund $l_1 = 0,15 \mu$.

Nun rechnet man:

nach (12):	$x = +18,85$	$y = +74,955$	(12*)
nach (13):	$[v v] = 12019 - 710,6 - 11236,5 = 71,9$		(13*)
nach (15):	$\alpha = -10,187$	$\beta = +40,507$	(14*)
nach (16):	$A = 345^\circ 53'$	$r = 41,768$	(16*)

Man hat also nun nach (3) die Korrekursionsformel:

$$\Delta S = 41,768 \sin(345^\circ 53' + S) \quad (19)$$

Wenn man hier für S die 4 Anfangswerte $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ und dann die 4 Endwerte $s = 224^\circ 36', 90^\circ + s, 180^\circ + s, 270^\circ + s$ einsetzt, so bekommt man:

für die Anfangswerte	$-10,2$	$+40,5$	$+10,2$	$-40,5$	(20)
„ „ Endwerte	$-21,2$	$-36,0$	$+21,2$	$+36,0$	
Differenzen ΔS :	$-11,0$	$-76,5$	$+11,0$	$+76,5$	
Beobachtungen (18), l :	-15	-72	$+7$	$+81$	
übrig bleibende Fehler v :	$+4,0$	$-4,5$	$+4,0$	$-4,5$	

Die Quadratsumme dieser 4 Werte ist $[vv] = 72,5$, was mit (13*) hinreichend stimmt. Nach dieser Bestätigung rechnen wir den mittleren Fehler einer Messung nach (14):

$$m = \sqrt{72,5} = \pm 8,5 \text{ (nahezu } = 0,085\mu) \quad (21)$$

Nach der Formel (19) kann man nun eine Korrektions tafel für das betreffende Mikroskop berechnen, deren 4 Hauptwerte schon in (20) enthalten sind. Indessen reduziert man nun alles auf den Anfang, da es sich doch immer nur um Schrauben-Differenzen handelt. So bekommt man (Mikroskop I, rechts):

Schrauben- Ablesungen	Verbesserung	
	nach (20)	reduziert
0,0000·0	— 10·2	0·0
0,2500·0	+ 40·5	+ 50·7
0,5000·0	+ 10·2	+ 20·4
0,7500·0	— 40·5	— 30·3
1,0000·0	— 19·2	0·0

(22)

In gleicher Weise wurde auch das andere Mikroskop behandelt und dann für beide Mikroskope ausführliche Korrektions tafeln berechnet. Die später in § 9. mitzuteilenden Mikroskop-Ablesungen sind nach diesen Reduktions-Tabellen reduziert.

Ein sehr feines Beispiel solcher Bestimmung und Ausgleichung periodischer Schraubenfehler ist mitgeteilt in dem Werke: „travaux et mémoires du bureau international des poids et mesures, tome II, Paris 1883, Seite C 104—C 118“. Es wurden drei Hilfsstriche I, II, III in Abständen von 20μ und zwei Fäden 1 und 2 im Abstände von 30μ angewendet. Damit wurde gemessen:

- 1) Faden-Abstand 1—2 = 30μ an einem beliebigen Strich,
- 2) Strich-Abstand 1—II = 20μ mit demselben Faden,
- 3) „ „ II—III = 20μ „ „ „
- 4) „ „ I—III = 40μ „ „ „

Alles dieses wurde in den verschiedensten Trommelstellungen sehr oft wiederholt.

Ein weiteres Citat hiezu ist:

Müller. Untersuchungen über Mikrometerschrauben mit besonderer Anwendung auf das Fadenmikrometer des neunzölligen Äquatorms der Berliner Sternwarte. Berlin, Dümmler.

Kreisteilungsfehler.

Zu den kurzen Angaben über Teilungsfehler diametraler Striche und Bestimmung von Teilungsfehlern durch Repetition, die schon in unserem II. Bande 4. Aufl. 1893, S. 217—218 enthalten sind, können wir hier noch einiges weiteres, was hierüber veröffentlicht worden ist, berichten:

General Schreiber hat in der Abhandlung „Richtungs-Beobachtungen und Winkelbeobachtungen“ („Zeitschr. f. Verm.“ 1879, S. 118 u. ff.) Teilungs-Untersuchungen mitgeteilt. Er sagt:

Nach den Erfahrungen, die sich auf die Untersuchung verschiedener aus unseren ersten Werkstätten hervorgegangener Teilungen stützen, ist der unregelmässige Teilungsfehler ein sehr bedeutender Teil des Gesamtfehlers einer unter günstigen Beobachtungen gemachten Beobachtung. Es fand sich im Mittel aus 16 Instrumenten der Firmen Pistor und Martins, Repsold u. Söhne, J. Wanschaff, C. Bamberg folgendes:

Mittlerer Gesamtfehler einer beobachteten Richtung $\tau = \pm 0,78''$
 Mittlerer unregelmässiger Teilungsfehler einer beobachteten Richtung $\tau' = \pm 0,50''$

Diese Werte sind aus wirklichen trigonometrischen Gebrauchsmessungen berechnet, und der regelmässige Teil des Teilungsfehlers ist durch einen 8gliedrigen periodischen Ausdruck von τ' abgesondert worden („Zeitschr. f. Verm.“ 1879, S. 120).

Ferner ist von General Schreiber hier zu citieren: „Untersuchung von Kreisteilungen mit zwei und vier Mikroskopen“ („Zeitschrift für Instrumentenkunde“, 1886, S. 1–5, S. 46–55, S. 93–104.)

Die Untersuchungen sind angestellt mit einem Instrument, welches 1879 besonders zu diesem Zwecke von J. Wanschaff konstruiert wurde, dasselbe ist beschrieben und abgebildet in dem „Berichte über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1879“, herausgegeben von Löwenherz, 1880, S. 74 bis 76, und in der „Zeitschr. f. Instrumentenkunde“ 1881, S. 67, wornach unsere Fig. 2. als Kopie gemacht wurde.

Fig. 2.

Kreisteilungs-Untersucher

nach Angabe von General Schreiber konstruiert von Mechaniker Wanschaff.
(Massstab etwa 1:7,5, Kreisdurchmesser = 42 cm)

$F_1 F_2 F_3 F_4$ Lampenbeleuchtungen für die Mikroskope.

$S S$ fester Rahmen mit den Mikroskopen M_1 und M_2 .

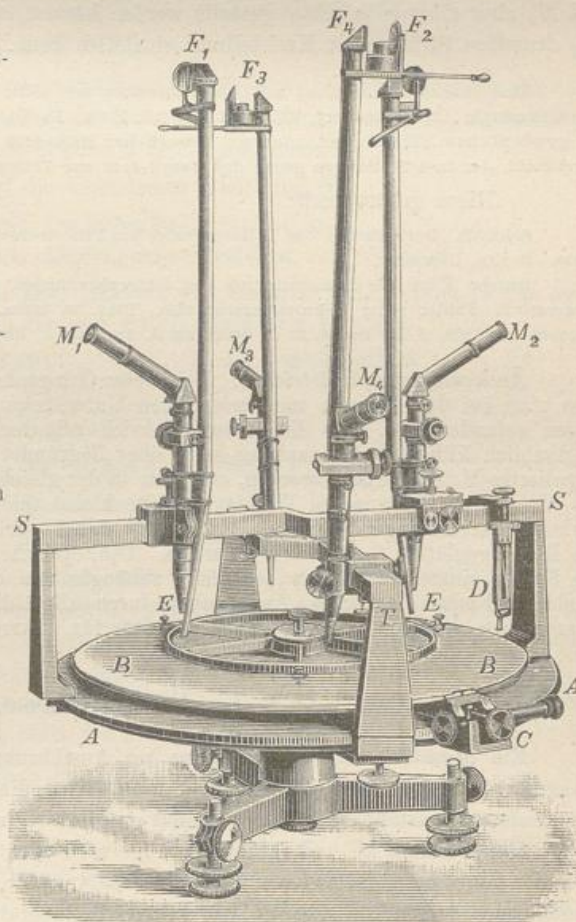
$T T$ drehbarer Rahmen mit den Mikroskopen M_3 und M_4 .

D Fühlhebel.

$E E$ Unterlagsschrauben.

B beweglicher Kreis.

A fester Kreis.



Das Instrument hat unten einen unbeweglichen Kreis A und damit fest verbunden eine Schiene SS mit zwei Mikroskopen M_1 und M_2 .

Eine zweite Schiene TT mit zwei Mikroskopen M_3 und M_4 ist drehbar gegen den Unterlagskreis A , so dass die Schienen SS und TT unter jedem Winkel gegen einander gestellt werden können.

Auf den beweglichen Kreis B kann ein zu untersuchender Teilkreis mit den Unterlagsschrauben FF aufgeschraubt werden, und ob der Kreis sich dann beim Umdrehen von B richtig in einer Ebene dreht, kann mit dem Fühlhebel D untersucht werden.

Die 4 Mikroskope $M_1 M_2 M_3 M_4$ werden nicht mit Tageslicht, sondern mit künstlicher Lampenbeleuchtung $F_1 F_2 F_3 F_4$ abgelesen.

Noch eine Eigentümlichkeit ist zu erwähnen: Man kann zwar die zwei Schienen SS und TT , und damit auch die Mikroskop-Ebenen $M_1 M_2$ und $M_3 M_4$ beliebig gegen einander drehen, doch wäre es nicht möglich, den Winkel zwischen $M_1 M_2$ und $M_3 M_4$ auch = Null zu machen, wegen der Dicke der Mikroskope, wenn nicht besondere Vorsorge getroffen wäre, darin bestehend, dass zwar die Mikroskope M_1 und M_2 rechtwinklig zur Kreisebene B gerichtet sind, die beiden anderen Mikroskope M_3 und M_4 aber ein wenig *schief* gestellt werden können, so dass man z. B. mit M_1 und M_3 denselben Strich einer Kreisteilung einstellen kann.

Eine ähnliche Anordnung mit Messungsreihen seit 1872, hat Nagel in Dresden mitgeteilt in der Zeitschrift „Civilingenieur“, 33. Band, 1887, 8. Heft. Es ist an einem Repsold'schen Theodolit mit gewöhnlichen Mikroskopen, noch ein beweglicher *Hilfs-Arm* mit zwei diametralen Mikroskopen angebracht, der in 4 Stellungen gegen den Haupt-Arm zur Teilungs-Untersuchung benützt wurde.

Hiezu gehört auch:

Schmidt. Bestimmung der Teilungsfehler am Pistorschen Meridiankreise der Berliner Sternwarte. Berlin, Dümmler.

Broch. Über die Etalonnierung der Unterabteilungen eines Stabes, die Bestimmung der progressiven Fehler einer Mikrometerschraube. Trav. et mém. du bureau intern. des poids et mesures. 5, 1886, S. 1. Bespr. in d. Beibl. zu d. Annalen d. Physik u. Chemie 1887, S. 487.

Änderung von Teilstrichen. Bei dieser Gelegenheit mag auch erwähnt werden, dass man bei den feinsten metronomischen Untersuchungen an Strichmassen Andeutungen gefunden hat, dass die Teilstriche sich mit der Zeit *ändern*. Diese zunächst unglaublich klingende Behauptung kann aber begründet sein, denn die Striche, welche in poliertes Metall gerissen werden, erzeugen in der gleichförmigen molekularen Struktur des Metalls gewissermassen Wunden, welche kleine molekulare Änderungen als Nachwirkung hervorbringen können. Es kommt dabei auch darauf an, ob und wie weit die Risse geglättet („ebarbiert“) werden. Die optische Strichmitte, auf welche man die Fäden einstellt, ist nun jedenfalls abhängig von der Beschaffenheit der Strichränder, und wenn hier kleine Änderungen durch allmähliche Ausgleichung molekularer Spannungen eintreten, so kann die Strichmitte für mikroskopisches Ablesen sich ändern.

§ 7. Normal-Masse.

Ein *Masstab* ist ein Werkzeug zur Ausführung von Längenmessungen. Ein Masstab, welcher diesem Zwecke nicht unmittelbar dient, sondern mittelbar dadurch, dass andere Massstäbe nach ihm reguliert werden, heisst ein *Normal-Masstab*.

Ein Masstab an und für sich genügt noch nicht zur Festsetzung eines Masses, weil der Stab bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Länge hat, es muss deswegen noch angegeben werden, bei welcher Temperatur der Masstab die normale