

Der freirollende Koordinatograph

von

Katastergeometer **Spaeth, München.**

Sonderdruck

aus der Zeitschrift des Vereins der Höheren Bayerischen
Vermessungsbeamten, Bd. XVIII, Nr. 4.

Überreicht von

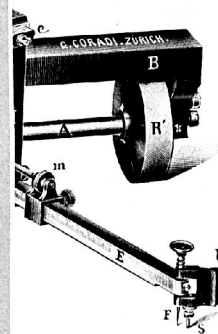
G. Coradi, Zürich 6.

MÜNCHEN 1914

Kgl. Hofbuchdruckerei. Kastner & Callway.

planimeter

2 a



h das ganze Instrument

i beliebiger Stelle ausser-
t, dass die Spitze *E* das

f diesen Punkt, lese den
man die Figur mit dem
angekommen, so mache
esung ab. Die Differenz
lt der Figur, ausgedrückt
eingerichtet ist, ist jener

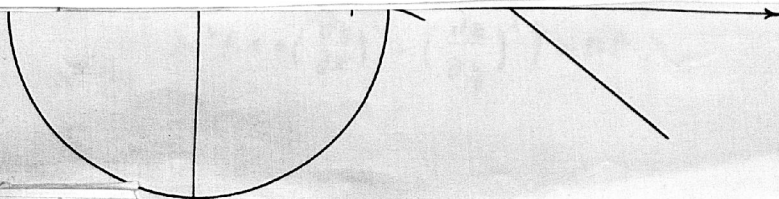
i dem Umfahren erhalte

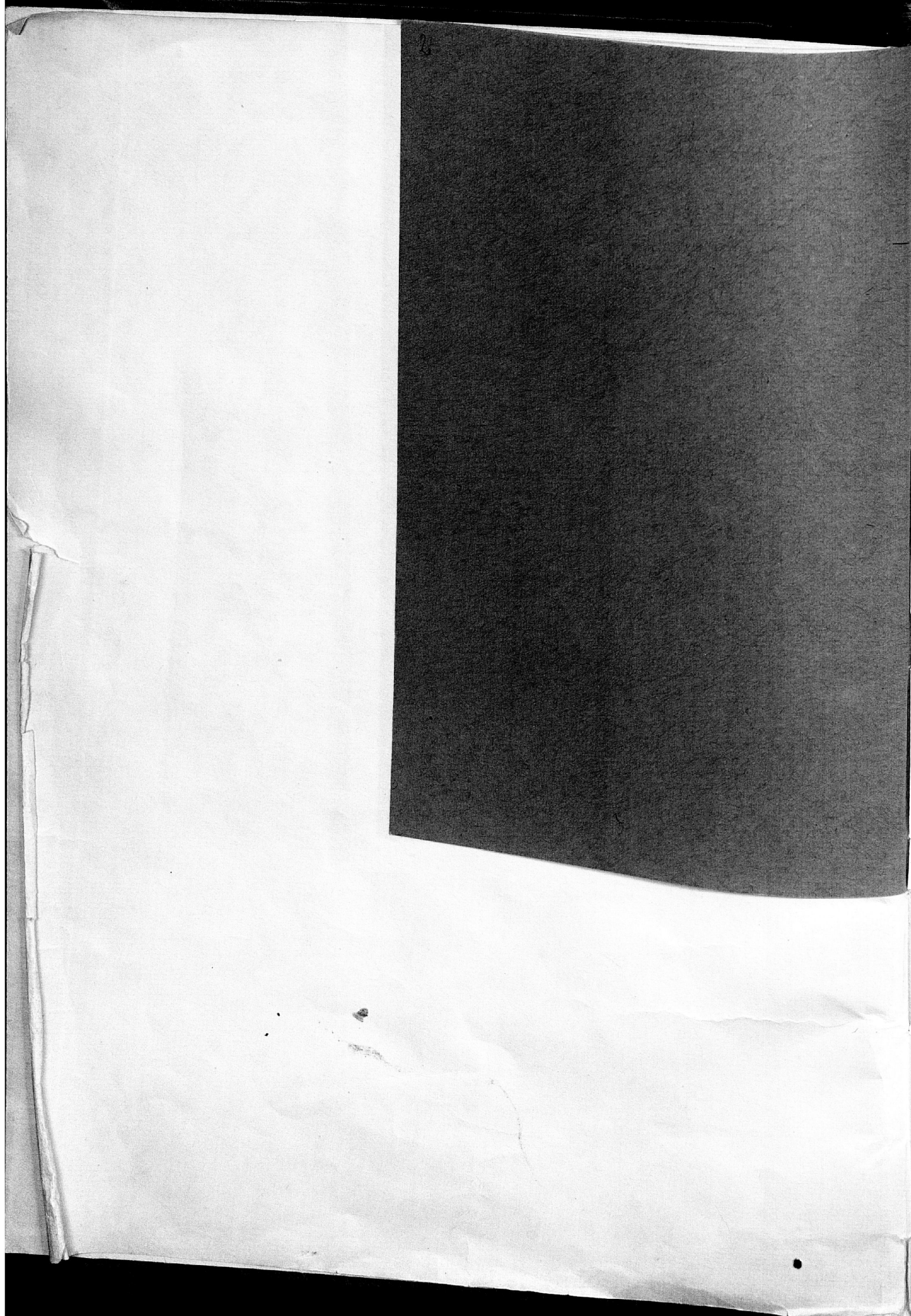
fahren der Figur als die
ie wegen ihrer Grösse nicht

Das messen geschieht in genau gleicher Weise, wie wenn die Nadelspitze *E* ausserhalb der Figur läge, dagegen ist die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.





Der freirollende Koordinatograph

von

Katastergeometer **Spaeth**, München.

Sonderdruck

aus der Zeitschrift des Vereins der Höheren Bayerischen
Vermessungsbeamten, Bd. XVIII, Nr. 4.

Überreicht von

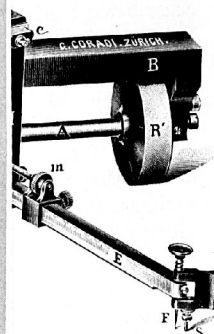
G. Coradi, Zürich 6.

MÜNCHEN 1914

Kgl. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey.

planimeter

2 a



h das ganze Instrument

1 beliebiger Stelle ausser-
a, dass die Spitze E das

f diesen Punkt, lese den
man die Figur mit dem
angekommen, so mache
esung ab. Die Differenz
alt der Figur, ausgedrückt
eingerichtet ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

mfahren der Figur als die
die wegen ihrer Grösse nicht
mehrere Umdrehungen eingeteilt und einzeln gemessen).
weise, wie wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist
die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ —
ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem
Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält
man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die
Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

Der freirollende Koordinatograph

Kunstwissenschaftliche Zeitschrift, München

Bearbeitet von
Prof. Dr. Heinrich Heine, der Höheren Mathematik
Veröffentlichungen, Bd. XVII, Nr. 4

Verlag von
G. Coradi, Zürich & Co.

München 1911
Verlag von G. Coradi, Zürich & Co.

Der freirollende Koordinatograph.

Von Katastergeometer Spaeth, München.

Im vergangenen Jahre wurde im K. Katasterbureau in München ein freirollender Koordinatograph der Firma Coradi in Zürich in Verwendung genommen. Die Erfolge, die damit erzielt werden, bestätigen vollkommen die Erwartungen, die man bezüglich der Leistungsfähigkeit und Genauigkeit dieses Apparates hegte. Wo bisher mühsam unter Aufbietung größter Aufmerksamkeit und erheblicher Anspannung der Sehnerven mit Zirkel und Maßstab das grundlegende Gefüge eines neuen Planes geschaffen wurde, vollbringt jetzt die Präzisionsmaschine die Arbeit der Quadratnetzkonstruktion und des Punktauftrags im zehnten Teile der Zeit und mit bisher unerreichbarer Genauigkeit.

Das Bestreben, Zirkel und Maßstab durch bequemere und genauere Instrumente zu ersetzen, geht bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück, und es ist nicht uninteressant, einzelne Konstruktionen kennen zu lernen.

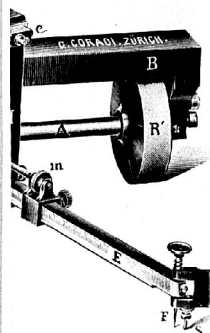
Als eines der ersten Auftragsinstrumente ist wohl der Orthograph von Kammerkommissär Peltz in Schwerin aus dem Jahre 1859 anzusehen. Er bestand aus zwei Teilen: einem geteilten Abszissenlineal und einem Ordinatenschieber in Form einer über das Papier gleitenden quadratischen Metallplatte. Die Einstellung der Abszissen erfolgte mittels Nonius am Lineal. Mit einem in der Mitte der Platte in der Ordinatenrichtung beweglichen Schlitten konnten wieder mit Nonius die Ordinaten eingestellt werden. (Zeitschrift f. Vermessungswesen 1874, S. 45.)

Das Auftragsinstrument von de l'homme de Courbière war im Wesen von dem eben beschriebenen nicht abweichend. Nur befanden sich in den vier Ecken der Platte vier Kreisausschnitte, in die Glastafeln mit eingetätzten Kreuzen eingelassen waren. So wurde die Einstellung auf vier Eckpunkte eines Quadratnetzes mit Berücksichtigung des Papiereinganges möglich. (Näheres siehe Zeitschrift f. Vermessungswesen 1884, S. 122.)

1*

planimeter

2 a



ch das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausser-
n, dass die Spitze E das

if diesen Punkt, lese den
man die Figur mit dem
angekommen, so mache
esung ab. Die Differenz
alt der Figur, ausgedrückt
ingerichtet ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

mfahren der Figur als die
die wegen ihrer Grösse nicht
Berechnung eingeteilt und einzeln gemessen).

wie, wie wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

Größer im Umfang und Arbeitsbereich waren die Auftragsinstrumente, die bei den Katastermessungen im Kanton Bern in Verwendung waren. Mit einem solchen Instrument konnte eine Fläche von 70/100 cm bearbeitet werden. Es bestand aus einem rechteckigen Rahmen, an dessen einer Längsseite eine feine Teilung angebracht war zur Einstellung der Abszissenwerte mittels Nonius und Mikrometerwerk. In senkrechter Richtung hiezu konnten auf dieselbe Art mit einem Schlitten die Ordinaten eingestellt und die Punkte durch einen senkrechten Stift auf die Zeichenfläche übertragen werden. (Bühlmann, Zeitschrift der schweizerischen Konkordatsgeometer 1907.)

Das erste rollende Auftragsinstrument wurde von G. Coradi nach Angaben des Utrechter Katasterlandmessers J. Boer im Jahre 1887 hergestellt. Bei dieser Konstruktion bewegte sich ein rechteckiger Abszissenwagen mit zwei Führungs- und zwei Laufrädern längs eines Lineals auf Schienen, und ein rechteckiger Ordinatenwagen mit vier Abstechstiften je an den Ecken in derselben Weise auf ersterem. Die Bewegung wurde hierbei nicht mehr mit Nonius gemessen, sondern durch die Umdrehungen fein geriffelter Meßrädchen längs ebenso bearbeiteter Maßstäbe. Durch mancherlei Verbesserungen ging daraus der jetzige Koordinatograph hervor. (Vergl. Stucki, Zeitschrift für Vermessungswesen 187, S. 538.)

Ein gleichfalls von G. Coradi im Jahre 1893 konstruierter Koordinatograph verdient noch Erwähnung, weil er nach Art der Rollplanimeter nicht an eigens gebaute Unterlagen gebunden war, sondern sich frei über jeder ebenen Zeichenfläche bewegen konnte. Hierbei war die Bahn des Ordinatenwagens, der einen Abstechstift trug, ein gerades Lineal mit Rillenführung, mit Zahnstange und Meßrädchen zur Einstellung der Ordinaten ausgestattet. Das Ganze ruhte, ähnlich einer breitgezogenen Straßenwalze auf drei Rädern, den durch eine lange, durchgehende Achse verbundenen zwei Führungsrädern, die die geradlinige Bewegung verbürgten, und einem vorderen dritten Laufrad, durch dessen Umdrehungen an einem feinen Zahnradwerk die Abszissen gemessen wurden. (Zeitschrift f. Vermessungswesen 1893, S. 369.)

Allen diesen Instrumenten hafteten Mängel an. War bei den ersteren der Wirkungskreis zu klein, so besaßen die letzteren Instrumente in der Durchbiegung der Maßstäbe und in der Veränderlichkeit des schwer zu konstruierenden rechten Winkels unangenehme Fehlerquellen. Bei dem neuen Koordinatographen sind durch zweckmäßige Konstruktion auch diese Fehler beseitigt. In kurzen Umrissen sei unter Hinweis auf die beigegebenen Abbildungen der Apparat und seine Wirkungsweise erläutert.

An einem äußerst kräftigen Reißbrette, das aus Eichen- und Pappelholz in schmalen Streifen zusammengeleimt ist, sind an den Längsseiten zwei

Schienen A und B angeschraubt. Auf ihnen ruht der schwere, gegen Verbiegung als Gitterträger konstruierte V-Wagen (Fig. 1) auf drei Punkten:

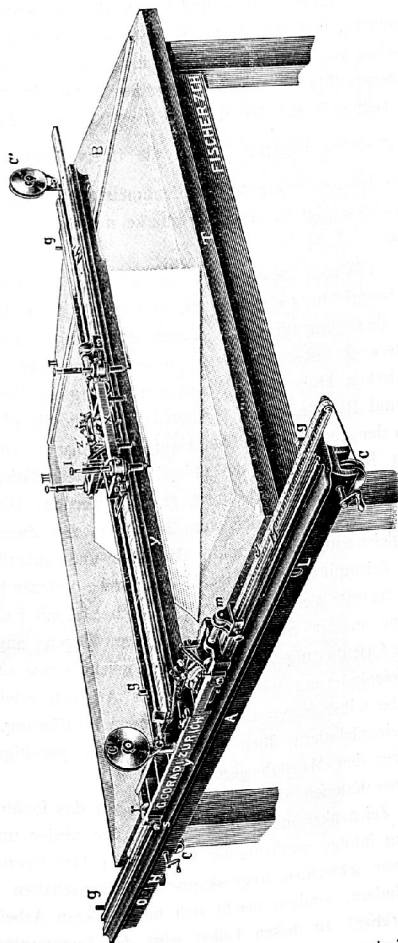


Fig. 1.

auf zwei konischen Stahlrollen r in einer scharf geschnittenen Rille des Lineals A, und auf einer Laufrolle auf der Schiene B. Die Bewegung folgt

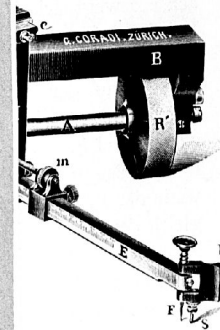
Das Messen geschieht in genau gleicher Weise, wie wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

Planimeter

2 a



h das ganze Instrument

i beliebiger Stelle ausserhalb, dass die Spitze E das

f diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz lt der Figur, ausgedrückt ingerichtet ist, ist jener

i dem Umfahen erhalte

fahren der Figur als die ie wegen ihrer Grösse nicht

in kleinere Sektionen eingeteilt und einzeln gemessen).

dem leisesten Antrieb, kann durch ein Mikrometerwerk bei m zur scharfen Einstellung reguliert werden und ist in allen Punkten des Wagens gleichförmig. Neben der Führungsrille befindet sich der Maßstab, der an der einen Seite abgeschrägt und mit einer mikrometrisch genau eingeschnittenen Verzahnung versehen ist. Auf dieser Zahnstange rollt sich ein ebenso gezahntes Melrädchen o (Fig. 3) ab, das auf seiner Achse ein größeres Zelluloidrad mit den Teilungen für die Maßstäbe 1:1000 und 1:2500 trägt. Bei einem $7\frac{1}{2}$ mal größeren Umfang beträgt die Intervallbreite für $\frac{1 \text{ dm}}{1:1000}$ noch 0,75 mm, so daß die Schätzung von Zentimetern noch ganz gut möglich ist. Die Einstellung erfolgt an der Strichmarke n ohne Zuhilfenahme von Lupe und Nonius.

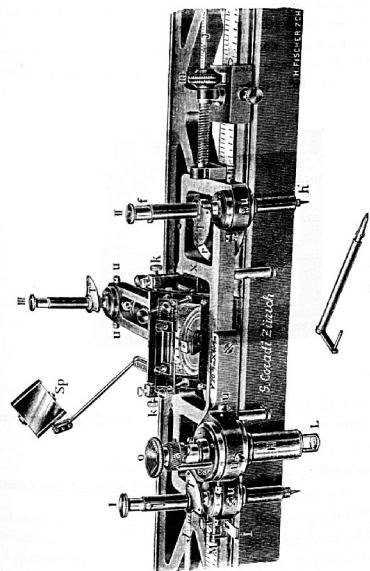
Auf diesem y -Wagen bewegt sich in scharfer Rillenführung rechtwinklig zur Abszissenrichtung ebenfalls auf drei Rollen der kleinere x -Wagen (Fig. 2), dessen Bewegung gleichfalls durch Zahnstange und Melrädchen mittels Mikrometerwerk festgelegt wird. Dieser Wagen trägt in genau abgepaßten zylindrischen Hülssen die Abstechvorrichtung in Form federnder Stahlstifte I, II und III, die, einem leichten Druck gehorchend, durch einen feinen Nadelstich den koordinierten Punkt auf das Papier übertragen. Durch Einführung einer Reißfeder t in die Hülse können Netzlinien und Blatt-ränder nach beiden Bewegungsrichtungen gezogen werden. Die Anordnung dreier Stifte in genauen Abständen von 2 dm hat den Zweck, bei Netzkonstruktionen gleichzeitig drei Punkte abstechen und außerdem, um bei schrägliegendem Zeichnungsblatte (Fig. 1) die Fläche vollständig bearbeiten zu können. Als neueste Verbesserung wurde auch eine mit Fadenkreuz versehene Einstellupe an der Stirnseite des kleinen Wagens angebracht und damit die genaue Orientierung von Blättern ermöglicht, sowie auch die Beobachtung der Papieränderung während größerer Arbeiten erleichtert.

Die Maßstäbe selbst tragen zur Teilung keine Bezifferung. Diese wird vielmehr auf Leinenbändern über Spulen C , dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend, über den Maßstab gezogen.

Ein stählerner Rahmen, der mit Schrauben auf das Reißbrett gespannt wird, preßt den Zeichenkarton an den Rändern fest nieder und verhindert eine Verschiebung infolge mechanischer Ursachen.*) Das Verziehen des Papiers wegen seiner schlechten hygroskopischen Eigenschaften läßt sich jedoch nicht verhindern, sondern macht sich bei größeren Arbeiten stets unangenehm bemerkbar. In diesen Fällen wird der Punktauftrag nach Ein-

*) Wurde in München angefertigt auf Veranlassung des K. Katasterbureaus.

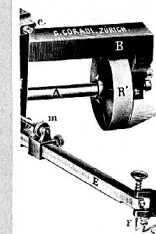
zeichnung des Netzes quadrateise vorgenommen und jeweils vor Inangriffnahme eines neuen Quadrates die Spitzen der Stifte mit den Netzlinien in Einklang gebracht. Durch die Korrekturschrauben k kann nämlich die



Lage und Einstellung der Melrädchen gegen die Stifte um kleine Beträge geändert werden. Die Größe und Vorzeichen dieser Verbesserungen werden durch Beobachtung der Lage eines mit den Koordinaten der Netzlinien

planimeter

2a



ch das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausser-

if diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die re wegen ihrer Größe nicht ankommen eingeteilt und einzeln gemessen.

die Berechnung des Flächenninhalts aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Größe der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so addiert man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so subtrahiert man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

gestochenen Probepunktes mit Hilfe der Lupe und der Meßrädchen bestimmt. Von der Sorgfalt in der Beobachtung und Ausführung dieser Verbesserungen hängt die zu erwartende Genauigkeit eines Planes ab; denn die Fehler, die durch die Wirkungsweise des Apparates selbst entstehen, verschwinden gegen diese unregelmäßigen Fehler durch die Veränderung des Papiers, wie nachstehend gezeigt werden soll.

Daß natürlich der Koordinatograph bei der Feinheit seiner einzelnen Konstruktionsteile eine zarte und sachgemäße Behandlung erfordert, braucht nicht eigens betont und erläutert zu werden.

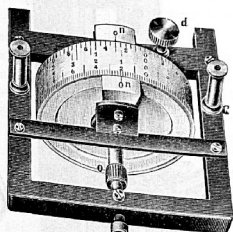


Fig. 3.

Um nun ein Urteil über die Genauigkeit des Koordinatographen zu erhalten, wurde untersucht:

1. die gerade Linienführung durch die zwei Wägen;
2. die Genauigkeit in der Abrollung des Meßrädchens auf der Zahnstange und die Länge der Maßstäbe;
3. die Einstellungsgenauigkeit auf der Zelluloidrolle;
4. der Abstechfehler der Stifte, und
5. die Rechtwinkligkeit der zwei Bewegungsrichtungen.

1. Zu den Untersuchungen wurde vom Verfasser an der vorderen Seite des kleinen Wagens ein Schraubenmikroskop eines Triangulierungstheodoliten befestigt, mit dessen Hilfe Punkte der Zeichenebene durch ein Fadenkreuz eingestellt und kleine Entfernungen durch einen Doppel-

faden und der Trommel an der Schraube bei direkter Angabe von 0,002 mm gemessen werden konnten.

Zur Untersuchung der geradlinigen Bewegung wurde mit der Reißfeder eine Linie parallel zur x-Richtung und eine Linie parallel zur y-Richtung gezogen, sodann das Fadenkreuz auf die Mitte einer Linie eingestellt und nun das Entlanggleiten während der Bewegung selbst beobachtet. Auch wurde die zur x-Richtung parallele Linie durch Drehen des Kartons um 90° in der Richtung des y-Wagens untersucht und umgekehrt. In sämtlichen Fällen konnte eine Abweichung des Fadenkreuzes von der Linie nicht

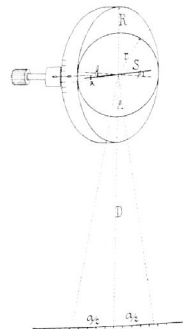


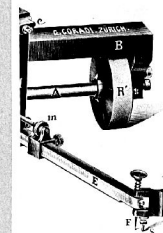
Fig. 4.

wahrgenommen werden, so daß praktisch von absoluter Geradlinigkeit gesprochen werden kann. Die Untersuchung einer mit größter Sorgfalt von der Hand gezogenen Linie längs eines Lineals zeigte dagegen Schwankungen von 0,02—0,03 mm.

2. Um über die Wirkungsweise des auf der Zahnstange rollenden Meßrädchens genauen Aufschluß zu erhalten, wurde vom Verfasser, unterstützt durch sachkundige Ratschläge des K. Obergemeisters Herrn Bamberger, ein Hilfsapparat entworfen und konstruiert. Er besteht aus einem horizontalen konischen Friktionsrad, dessen vertikale Achse einen Spiegel S (Fig. 4)

planimeter

2a



ch das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausserhalb

if diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

h dem Umlaufen erhalte

fahren der Figur als die

die wegen ihrer Größe nicht

genommen eingeteilt und einzeln gemessen.

wie wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist

die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Größe der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

trägt. An der oberen Ablesemarke n (Fig. 3) wird das Friktionsrad mit dem Zelluloidrad in Berührung gebracht. Der Spiegel überträgt jede Drehbewegung des Meßrädchens auf einen in der Entfernung D aufgestellten Maßstab. Das Fadenkreuz eines dahinter aufgestellten Theodolitenrohrs diente bei den Beobachtungen als Ablesemarke.

Ein toter oder schleppender Gang infolge unregelmäßiger Reibung an der Berührungsstelle der zwei Räder wurde nicht beobachtet; auch waren Ungenauigkeiten, hervorgerufen durch Fehler in der Abdringung des Zelluloidrades, bei dem geringen Betrag der Abwicklung aneinander nicht zu erwarten. Nachdem kleinere Versuche befriedigende Resultate zeigten, wurden die Intervalle des Zelluloidrades am y -Wagen für das Maßstabverhältnis 1:1000 einzeln gemessen.

Da das Rad in ganzer Umdrehung 20 m anzeigt und in 200 Teile geteilt ist, entspricht einer Intervallbreite eine Bewegung des Wagens von 0,10 m, oder einer Drehung des Meßrädchens und der Zelluloidrolle um $\alpha = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ$. Ist R der Radius der letzteren und r der der Friktionscheibe im Berührungspunkte, so ist die Drehung β des Spiegels aus $\alpha \cdot R = \beta \cdot r$:

$$\beta = \frac{R}{r} \cdot \alpha$$

und dementsprechend die Ablesung a am Maßstab in der Entfernung D :

$$a = 2D \tan \beta = 2D \tan \frac{R}{r} \cdot \alpha \quad 1$$

Bewegt sich nun der Wagen aus der Anfangsstellung 0,00 zu den Intervallen 0,10, 0,20 . . . 10,00 . . . 20,00, so vergrößert sich die Ablesung a , der Aenderung der Entfernung D entsprechend, um:

$$da = 2 \cdot dD \cdot \tan \frac{R}{r} \cdot \alpha \quad 2$$

Eine Vergleichung der gemessenen Intervallbreiten kann also nur erfolgen, wenn sie durch Subtraktion dieser Veränderlichen da auf die Anfangslage reduziert werden.

Die Beobachtungen wurden nun derart ausgeführt, daß Anfangs- und Endstrich eines Intervalls abwechselnd von rechts und von links je 5 mal eingestellt und die zugehörigen Ablesungen im Fernrohr von einem zweiten Beobachter gemacht wurden. Die Ziellinie des Fernrohrs lag dabei gewöhnlich in der Mitte der Ablesung. Dementsprechend mußten Friktionsrad und

Spiegel nach jeder Intervallbeobachtung in eine derartige Anfangslage zurückgebracht werden. Unter Beihilfe des Herrn Dipl.-Ing. Zwick wurden die für die 200 Teile notwendigen 2000 Beobachtungen, die nicht unerhebliche Ansprüche an Geduld und Sehnerven stellten, in zwei Abteilungen, größtenteils auch bei künstlicher Beleuchtung des Maßstabes durchgeführt.

Das Ergebnis der sehr gut übereinstimmenden Beobachtungen, die des Umfanges halber hier nicht mitgeteilt werden können, war, daß die Einstellung eines Teilstreiches des Zelluloidrades an der Strichmarke mit einem mittleren Fehler von $\pm 2,2$ mm der Teilung am Maßstabe, und das arithmetische Mittel der reduzierten Intervallbreiten (250,7 mm) mit einem mittleren Fehler von $\pm 2,3$ mm behaftet ist. Diesem Fehler da an der Maßstabteilung entspricht ein Winkelfehler $d\alpha$ des Meßrädchens, den man durch Differenzieren der Gleichung (1) erhält:

$$da = 2D \cdot \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{\cos^2 \frac{R}{r} \cdot \alpha} \cdot d\alpha$$

oder:

$$d\alpha = \frac{da}{2D} \cdot \frac{r}{R} \cdot \cos^2 \frac{R}{r} \cdot \alpha \cdot \rho'' \quad 3$$

Daraus ergibt sich für den Einstellfehler an den Strichmarken auf dem Zelluloidrad ein Fehler:

$$M_0 = \frac{dx}{\rho''} \cdot R = \frac{da}{2D} \cdot r \cdot \cos^2 \frac{R}{r} \cdot \alpha \quad 4$$

Der daraus entspringende wirkliche Fehler m_0 der Wagenbewegung wird, wenn r_0 den Radius des gezahnten Meßrädchens bezeichnet:

$$m_0 = \frac{dx}{\rho} \cdot r_0 = \frac{da \cdot r \cdot r_0}{2D \cdot R} \cdot \cos^2 \frac{R}{r} \cdot \alpha \quad 5$$

Der Fehler μ , aus dem mittleren Fehler der Intervallbreiten nach der gleichen Formel berechnet, stellt den Grad der Genauigkeit dar, der durch das Zusammenwirken der Teilung auf dem Zelluloidrad mit dem Abrollen des Meßrädchens auf der Zahnstange entsteht.

Aus den gemessenen Maßen $D = 2051$ mm, $r_0 = 3,2$ mm, $R = 25$ mm, $\frac{R}{r} = 2,221$ berechnet sich für $da = \pm 2,3$ mm:

$$\mu = \pm 0,0008 \text{ mm} = \pm 0,8 \text{ Mikron}$$

und für $da = \pm 2,2$:

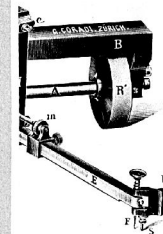
$$M_0 = \pm 0,006 \text{ mm} = \pm 6,0 \text{ Mikron}$$

$$m_0 = \pm 0,0008 \text{ mm} = \pm 0,8 \text{ "}$$

Selbst der größten Abweichung (5,2 mm) vom arithmetischen Mittel der Intervallbreiten entspricht erst ein wirklicher Fehler von 1,9 Mikron in der Bewegung des Wagens.

planimeter

2 a



2 b das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausserhalb, dass die Spitze E das

if diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

b dem Umlaufen erhalte

fahren der Figur als die

die wegen ihrer Größe nicht eingeteilt und einzeln gemessen.

ne wenn die Nadelspitze B ausserhalb der Figur läge, dagegen ist

die Berechnung des Flächeninhalts aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Größe der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

Wurde nun auch nicht die ganze Zahnstange einer Prüfung unterzogen, so lassen die Ergebnisse der Untersuchung der Verzahnung des ungleich schwieriger herzustellenden Mehrädchens den Schluß wohl zu, daß die übrige geradlinige Zahnstange keine größeren Fehler aufweist.

Die Längen der zwei Maßstäbe wurden durch Messung einer Strecke in der X- und Y-Richtung miteinander verglichen. Bei einer Länge von 70,7 cm ergab sich aus 20 Messungen ein Unterschied von 0,03 mm, der sehr wohl von der Temperaturverschiedenheit der Maßstäbe bei der Untersuchung oder vielleicht auch schon bei der Teilung herrühren kann. Die Annahme einer Durchbiegung der Maßstäbe scheint in Anbetracht der T-förmigen Konstruktion der Träger nicht gerechtfertigt. Praktisch ist die Differenz ohne Bedeutung.

3. Gewinnt man aus den vorhergehenden zahlreichen Beobachtungen einen Einblick in den mittleren Fehler m_0 der Einstellung eines Teilstriches der Zelluloidtrommel an der Strichmarke, so wurde auch noch der Einstellfehler der einzelnen Intervallstellen 0,01, 0,02 usw., deren Schätzung bei unterzogen. Die Beobachtungen wurden wieder mit Hilfe des Spiegelapparates ausgeführt, derart, daß ein Beobachter die Intervallstellen in wechsellängender Folge, wie bei der gewöhnlichen Arbeitsweise am Koordinatographen Maßstabe vornahm. In nachstehender Tabelle sind die Beobachtungswerte in Millimetern der Maßstabablesungen angegeben. Jeder angegebene Wert ist das Mittel von 5 Beobachtungen.

Intervallstelle	Fehler in mm der Maßstabablesungen aus Beobachtungsreihe:					Gesamt-Mittel	Unschätzlicher Fehler bei Einstellung am Zelluloidrad in 1/100 mm	Wirklicher Fehler der Wagenbewegung in Mikron	Einseitiger Fehler gegen den Sollwert der Intervallstelle in mm der Maßstabablesungen aus Beobachtungsreihe:				
	1	2	3	4	5				1	2	3	4	5
0,00	+2,0	+1,0	+1,7	+2,0	+0,7	+1,5	± 0,3	± 0,4	-0,4	-0,4	+2,0	0	+0,4
0,01	5,0	4,2	2,8	7,2	6,3	5,1	1,3	1,8	-4,8	-3,9	-0,8	-8,4	-2,0
0,02	9,4	8,0	8,9	4,4	6,4	7,4	1,9	2,6	-8,3	-4,8	-7,4	-0,4	-4,4
0,03	5,7	7,2	5,1	7,7	3,7	5,9	1,6	2,1	+2,5	-5,8	+1,6	+6,0	+0,4
0,04	11,3	5,5	9,5	9,5	9,4	9,0	2,3	3,1	+9,6	+3,3	+8,0	+7,8	+8,0
0,05	7,0	6,2	6,6	5,0	5,8	6,1	1,6	2,1	+3,7	+3,8	+6,4	-0,6	+3,6
0,06	6,7	6,6	7,6	7,4	6,6	7,0	1,8	2,4	-4,6	-5,4	-6,0	-7,0	-6,2
0,07	13,2	10,3	7,8	1,8	6,2	7,9	2,1	2,8	+7,3	+4,2	+6,0	+1,2	+0,8
0,08	10,4	7,9	10,4	8,6	4,0	8,3	2,2	2,9	+7,2	+5,8	+9,8	+5,6	+1,4
0,09	7,6	7,0	5,0	8,3	7,4	7,1	1,8	2,5	+7,2	+6,0	+4,2	+7,8	+4,8
0,10	1,8	3,1	2,8	2,1	1,0	2,1	0,5	0,7	+0,3	0	-0,4	-0,2	0
	Gesamt-Mittel						± 1,83	± 2,34					

Nach den Formeln (4) und (5) ergibt sich aus den Beobachtungen der Einstellfehler am Zelluloidrad im Mittel zu $\pm 1,83/100$ mm und der daraus hervorgehende wirkliche Fehler der Wagenbewegung zu $\pm 2,34/1000$ mm. Die Werte zeigen mit den Untersuchungen des Oberlandmessers Herrn Kummer-Cassel (Zeitschrift f. Vermessungswesen 1907, S. 541) eine gute Uebereinstimmung. Danach ist der Gesamtschätzungsfehler $\varphi = 0,026 \cdot \sqrt{J}$, wenn J die Intervallbreite bedeutet. Im gegebenen Falle wird bei $J = 0,75$ mm der Koeffizient 0,021.

In Fig. 5 sind die aus 25 Beobachtungen gemittelten einseitigen Einstellfehler dreier Beobachter zusammengestellt. Die Erfahrung, daß die kleinen

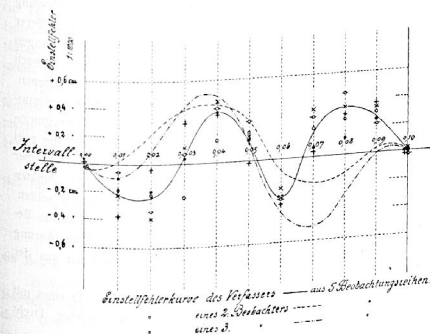


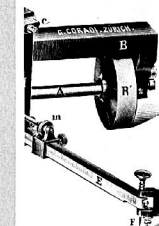
Fig. 5.

Intervallteile im Verhältnis zu den großen zu klein und im allgemeinen die Intervallstellen um 0,25 und 0,75 am schlechtesten geschätzt werden, findet auch hier ihre Bestätigung. Man erkennt auch daraus die eigene Auffassung der einzelnen Beobachter und die Berechtigung, bei genauen Arbeiten diese persönlichen Gleichungen nicht außer acht zu lassen.

4. Eine weitere Fehlerquelle ist in der Vorrichtung zum Abstechen der Punkte zu suchen. Eine vielleicht durch Abschleifen entstandene exzentrische Spitze eines Stiftes würde der Anlaß zu unregelmäßigen Fehlern sein. Jedoch kann im Bedarfsfalle durch Beibehaltung einer Richtung beim Abstechen der Punkte der Fehler zu einem einseitigen und somit unschäd-

planimeter

2 a



das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausserhalb, dass die Spitze E das

if diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die

Wegen ihrer Größe nicht

eingeteilt und einzeln gemessen.

Wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist

die Berechnung des Flächeninhalts aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Größe der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so addiert man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so subtrahiert man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

lichen gemacht werden. Zur Untersuchung wurden mit der Reißfeder Parallelllinien im Abstände von 0,20 mm gezogen, hierauf bei gleicher Einstellung mit dem Stifte die Punkte aufgetragen und sodann die Entfernungen der Punkte und Linien mit dem Schraubenmikroskope direkt gemessen. Aus vier Beobachtungsreihen von je 20 Intervallstrecken fand sich der mittlere Fehler der Abstände für Linien und Punkte zu $\pm 1,5$ Mikron, sonach der einzelne Punktfehler zu $\frac{1,5}{\sqrt{2}} = \pm 1,1$ Mikron. Beachtet man ferner, daß in diesem Fehler der Einstellfehler eines Teilstriches an dem Zelluloidrad enthalten ist, so verbleibt für den eigentlichen Punkt-Abstechfehler $\pm 0,75$ Mikron.

Die Abstände von den übrigen zwei Stiften wurden durch Messung an der Teilung des Apparates selbst untersucht und hiebei kein größerer Unterschied als $\pm 0,01$ mm gefunden. Das Mittel aus 10 Beobachtungen ergab sogar nur 0,004 mm, eine hinreichende Genauigkeit, um je nach Lage eines Punktes jeden der Stifte ohne Bedenken verwenden zu können. Wohl die größte Schwierigkeit der Konstruktion des Koordinatographen liegt bei der Herstellung des rechten Winkels der zwei Bewegungsrichtungen. Es erscheint auf den ersten Blick etwas unsicher, daß die zwei 50 cm voneinander entfernten Führungsrollen dem großen Wagen von über 1 m Ausdehnung eine durchaus gleichförmige Bewegung in allen Punkten und damit die Unveränderlichkeit des rechten Winkels verbürgen sollten. Die solide Konstruktion des Wagens als Gitterträger und seine leichte Beweglichkeit sichern jedoch gegen Verbiegung, die scharfe Rillenführung und die kräftigen Achsenlager der Rollen gegen das Ausweichen aus der Geraden.

Eine Untersuchung selbst wurde an den Winkeln A und D eines mit dem Apparat konstruierten Quadrates ABCD (Fig. 6) durchgeführt. Dreht

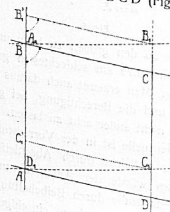


Fig. 6.

man die Zeichnung unter dem Apparate um 90°, so daß die in der Y-Richtung gezogenen Linien AD und BC parallel zur X-Richtung werden, was mit Hilfe des Mikroskopes ohne besondere Mühe zu erreichen ist, so werden die Punkte B₁ und C₁ in der neuen Lage gegenüber A₁D₁ verschiedene Abszissenwerte B₁' und C₁' erhalten. Die Unterschiede $\delta = A_1B_1' = D_1C_1'$ geben auch bei ungleichen Längen der zwei Maßstäbe den doppelten Verschwenkungsfehler des Systems.

Im gegebenen Falle wurden zwei Quadrate von 50 cm und 40 cm Seitenlänge konstruiert. Für das erstere fand sich ein Verschwenkungsfehler von $\pm 0,034$ mm, für das letztere $\pm 0,0275$ mm, oder für beide gleich ein solcher von 14". Hieraus berechnet sich für eine Blattseite im Soldner'schen System von 14". Hieraus berechnet sich für eine Blattseite im Soldner'schen System von 14". Hieraus berechnet sich für eine Blattseite im Soldner'schen System von 14". Hieraus berechnet sich für eine Blattseite im Soldner'schen System von 14".

Hervorgehoben sei noch, daß sich diese Fehlergröße innerhalb dreier Monate stürkster Inanspruchnahme des Apparates nicht veränderte; eine Korrektur an den Achsen des großen Wagens wurde daher auch nicht vorgenommen.

Faßt man die einzelnen Fehler zu einem Ganzen zusammen, so ergibt sich für den mittleren Fehler eines Punktes in einer Richtung:

aus dem Fehler der Meßbrädhenteilung	zu $\pm 0,8$ Mikron
" " mittleren Einstellfehler	" $\pm 2,34$ "
" " Abstechfehler	" $\pm 0,75$ "

ein Betrag von $\pm 2,6$ Mikron oder ca. $\pm 0,3$ cm 1:1000. Außerdem unterliegt ein Punkt noch der Beeinflussung durch die auftretenden einseitigen Fehler, Maßstablängen- und Verschwenkungsfehler, deren Größe je nach Lage und Entfernung des Punktes von den Maßstablinealen wechselt.

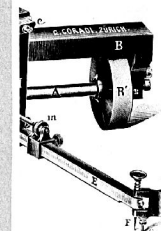
Zum Schlusse wurde noch im Maßstab 1:1000 und 1:2500 je ein Netz von 16 Punkten aufgetragen und mit dem Mikroskope umgekehrt wieder beobachtet. Die geringe Anzahl der Punkte und günstige Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse ermöglichten die Ermittlung von Resultaten, die als frei vom Papiercingang betrachtet werden können. Der mittlere Punktfehler in X und Y wurde zu

$\pm 0,6$ cm	im Maßstab 1:1000
$\pm 1,4$ cm	" " 1:2500

gefunden. Die Uebereinstimmung mit dem aus der Untersuchung gefundenen Fehler ist genügend, wenn man beachtet, daß in den zuletzt gefundenen

planimeter

2 a



das ganze Instrument

beliebiger Stelle ausserhalb, dass die Spitze E das

den diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache esung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die

Wegen ihrer Größe nicht

eingeteilt und einzeln gemessen.

wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist

die Berechnung des Flächeninhalts aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Größe der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so addiert man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so subtrahiert man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

16
18

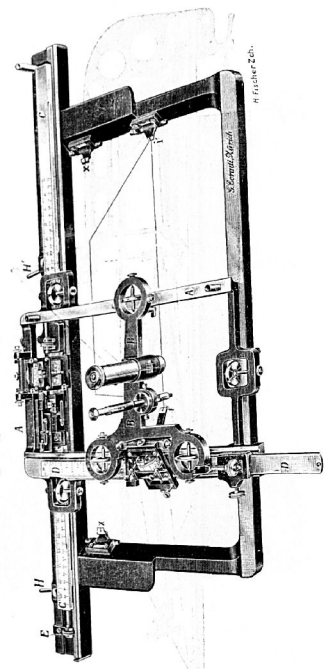
— 16 —

Werten noch der Einstellfehler für das Fadenkreuz des Mikroskopes und noch ein Ablesefehler an der Trommel enthalten ist.

Gegen die Beobachtungen von Kummer (Zeitschrift f. Vermessungswesen 1907, S. 606), auch von Dr. Grünert (dasselbst 1912) ist die Angabe des mittleren Fehlers wesentlich kleiner. Die Ursache wird sein, daß in den angegebenen Werten von $\pm \frac{3}{1000}$ cm und $\pm \frac{2.2}{1000}$ cm nach der Art der Untersuchung ein etwaiger Verschwenkungsfehler und ein Fehler, herrührend von Maßstabsdifferenzen, mit enthalten ist.

Wenngleich nun der Koordinatograph in einer maschinellen Genauigkeit alle anderen Kartierungsinstrumente weit überragt, so geht ein Teil des erzielten Genauigkeitserfolges durch die Veränderlichkeit des Papiers während der Arbeit wieder verloren. Durch stete Kontrolle dieser Aenderung mit dem Mikroskope ist es jedoch möglich, selbst bei größeren Arbeiten und ungünstigen Feuchtigkeitsverhältnissen den Fehler des Punktauftrages in den Grenzen von 0,02–0,03 mm zu halten; und das dürfte für Zeichnungsarbeiten den höchsterreichbaren Genauigkeitsgrad darstellen.

CORADI'S Detail-Koordinatograph



die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

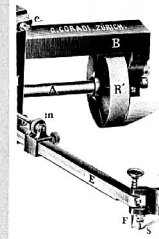
Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

13 1 15

89

planimeter

2 a



h das ganze Instrument

a beliebiger Stelle ausserhalb, dass die Spitze E das

if diesen Punkt, lese den man die Figur mit dem angekommen, so mache estung ab. Die Differenz alt der Figur, ausgedrückt eingerichtet ist, ist jener

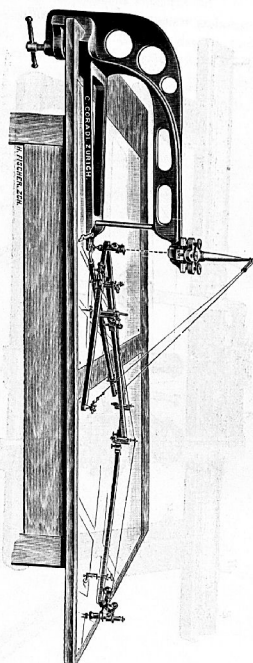
h dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die

ue wegen ihrer Grösse nicht

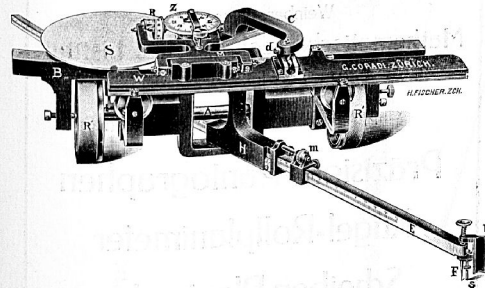
zählere beknonen eingeteilt und einzeln gemessen.

ose, wie wenn die Nadelspitze E ausserhalb der Figur läge, dagegen ist

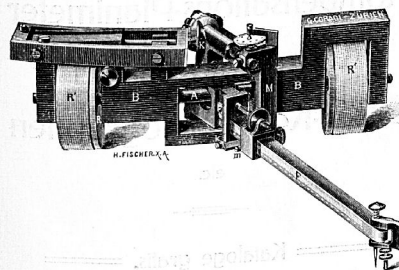


Präzisions-Pantograph

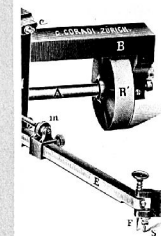
Scheiben-Rollplanimeter ohne Gleitbewegung der Messrolle



Kugel-Rollplanimeter



planimeter 2a



ch das ganze Instrument
n beliebiger Stelle ausser-
n, dass die Spitze *E* das
if diesen Punkt, lese den
man die Figur mit dem
angekommen, so mache
esung ab. Die Differenz
alt der Figur, ausgedrückt
eingerichtet ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die
die wegen ihrer Grösse nicht
in mehrere Sektionen eingeteilt und einzeln gemessen.

die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.

Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ — ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.

G. CORADI, Zürich 6

Weinbergstrasse 49

Mathematisch-mechanisches Institut

Telegramm-Adresse: Coradige Zürich

empfiehlt seine rühmlichst bekannten

Präzisions-Pantographen

Kugel-Rollplanimeter

Scheiben-Planimeter

Scheiben-Rollplanimeter

Kompensations-Planimeter

Koordinatographen

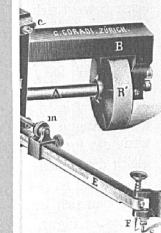
Detail-Koordinatographen

etc.

Kataloge gratis.

planimeter

2 a



ch das ganze Instrument

n beliebiger Stelle ausser-

if diesen Punkt, lese den
man die Figur mit dem
angekommen, so mache
esung ab. Die Differenz
alt der Figur, ausgedrückt
eingetragen ist, ist jener

h dem Umfahren erhalte

fahren der Figur als die
die wegen ihrer Grösse nicht

die Berechnung des Flächeninhaltes aus den Ablesungen etwas verschieden.
Je nach der Grösse der Figur kann die Gesamtdrehung der Rolle vorwärts oder rückwärts — positiv oder negativ —
ausfallen. Tritt der erste Fall ein, so **addiert** man die Differenz der Rollenablesungen zu der fünfstelligen Zahl, die auf dem
Belastungsgewichtchen steht. Multipliziert man dann die Summe mit dem Faktor auf dem Belastungsgewichtchen, so erhält
man den gesuchten Flächeninhalt.

Tritt der Fall ein, dass die Gesamtdrehung der Rolle rückwärts erfolgt, also negativ ist, so **subtrahiert** man die
Differenz der Ablesungen von der Konstanten auf dem Belastungsgewichtchen.