

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
Herausgeber:	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
Band:	20 (1922)
Heft:	1
 Artikel:	Zur optischen Distanzmessung
Autor:	Engi, Paul
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-187484

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

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

5. Die Berechnung der Rentabilität der Bodenverbesserungen, mit besonderer Berücksichtigung der Drainagen und Güterzusammenlegungen in der Schweiz.

Referent: Herr H. Fluck, Kulturingenieur, Neuenburg.

6. Typische Beispiele schweizerischer Siedlungswerke. Vortrag mit Lichtbildern.

Referent: Herr Dr. Hans Bernhard, Privatdozent, Zürich.

Das definitive Programm mit den Anmeldebedingungen erscheint in der Februarnummer.

Küsniacht/Horgen, den 2. Januar 1922.

Für die Kursleitung,

Der Präsident: *Th. Baumgartner*.

Der Sekretär: *Henry Huber*.

Zur optischen Distanzmessung.

Von Dr. *Paul Engi*, Dipl. Ingenieur, Davos.

I. Vorbemerkung.

Die Bestrebungen, die optische Distanzmessung in erhöhtem Maße bei der Grundbuchvermessung anzuwenden, haben in neuerer Zeit bedeutende Fortschritte gezeitigt. Mit Erfolg wurde sie bereits in der Polygonometrie eingeführt. In stark bewegtem Gelände kommt ihr gegenüber der Lattenmessung der Vorteil zu, daß auf günstige Meßbarkeit der Seiten nur geringe Rücksicht zu nehmen ist. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, das Polygonnetz günstiger zu gestalten, die Punktzahl zu erhöhen und die Lage der Punkte zweckentsprechender zu wählen. Die optische Distanzmessung erlaubt auch Polygonzüge zu legen, wo eine Lattenmessung ganz ausgeschlossen ist. Diese Vorteile haben zur Folge, daß die Arbeiten der Detailaufnahme, des Uebersichtsplans und der Nachführung besser und billiger ausgeführt werden können.

Ob die optische Distanzmessung bei der Detailaufnahme selbst angewendet, ebenso große Vorteile bringt, ist praktisch noch nicht genügend bewiesen. Die durch ihre Einführung bedingte Aufnahme in Polarkoordinaten ruft im Aufnahmeverfahren und Planauftrag so bedeutende Änderungen hervor, daß über Vor- und Nachteile noch kein abgeschlossenes Urteil ge-

geben werden kann. Es ist sehr fraglich, ob die Nachführung von Aufnahmen in Polarkoordinaten nicht schwieriger sein wird, als von Aufnahmen nach dem Orthogonalverfahren. Hierüber sind praktische Erfahrungen noch abzuwarten.

Die bisher angewendeten optischen Methoden beruhen hauptsächlich auf dem Reichenbach'schen Prinzip der Distanzmessung. Hievon macht beispielsweise die Zwicky-Methode eine Ausnahme, indem dort der parallaktische Winkel durch zwei getrennte Fernröhren hergestellt wird.

Ueber die Reichenbach'sche Distanzmessung und die mit ihr erreichten Genauigkeiten besteht bereits eine umfangreiche Literatur. Vorliegende Untersuchungen bezwecken, einigen bisher noch nicht erschöpfend untersuchten Fehlerquellen näher auf den Leib zu rücken. Es sollen speziell der Zielfehler und die Fadenparallaxe berücksichtigt werden.

II. Der Zielfehler.

Die Leistungsfähigkeit von Zielfernröhren wurde schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von verschiedenen Beobachtern untersucht. Anfangs war man geneigt, das von Stampfer aufgestellte Gesetz der Proportionalität zwischen Zielgenauigkeit und Fernrohrvergrößerung anzunehmen. Später hat dann Reinhertz das Gesetz aufgestellt, die Zielgenauigkeit sei der Wurzel aus der Vergrößerung proportional. Alle angestellten Untersuchungen waren aber in ihren Anordnungen nicht so durchgeführt, daß sie ein einwandfreies Material boten, aus dem man den Zusammenhang zwischen Zielfehler und Fernrohrvergrößerung mit Sicherheit feststellen konnte.

Die Arbeit von Nötzli* brachte in der Erforschung des Zielfehlers einen bedeutenden Fortschritt. Er ordnete seine Untersuchungen so an, daß die Beobachtungen von Einflüssen, die das gesuchte Gesetz verfälschen konnten, möglichst befreit waren. Seine Versuche erstreckten sich über Fernrohrvergrößerungen von 1 bis 78-fach, was für die Praxis den Vorteil hat, daß die empirisch gefundenen Gesetze für alle gebräuchlichen Vergrößerungen Anwendung finden. Die bei Zielfehleruntersuchungen auftretenden sehr kleinen Bewegungen der Zielachse oder des anvisierten Objektes wurden von Nötzli und

* Dr. Ing. A. Nötzli: Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren, Zürich 1915, bei Rascher & Cie.

andern Beobachtern mittels eines Fühlhebels resp. einer Ablesevorrichtung am Objekt gemessen. Die Schwierigkeit, die bei letzterer Versuchsanordnung in der Abhängigkeit des Beobachters von einem Gehilfen besteht, überwand Nötzli durch Verwendung eines Präzisionsspiegels. Diese Anordnung ermöglichte ihm, die Einstellungen selbst auszuführen, indem er das Spiegelbild des Objektes anvisierte.

Zuerst untersuchte Nötzli die Zielgenauigkeit *ohne* Fernrohrfaden. Derselbe war ersetzt durch einen vor dem Objekt verschieblich angeordneten Faden. Die Untersuchung dieses so genannten „reinen“ Zielfehlers ergab Proportionalität zwischen Fernrohrvergrößerung und Zielfehler, also

$$m_r = \frac{c_1}{V}, \text{ worin } c_1 \text{ zirka } 1'',5 \text{ beträgt.}$$

Analoge Versuche wurden durchgeführt *mit* Fernrohrfäden und es zeigte sich das Zielfehlergesetz: $m = \frac{c_2}{\sqrt{V}}$ mit $c_2 = 0'',7$. Für die gebräuchlichen Vergrößerungen (20—40-fach) haben wir folgende Fehler:

V	20 ×	30 ×	40 ×
m_r	0'',075	0'',050	0'',037
m	0'',156	0'',128	0'',111

Der Zielfehler mit Fernrohrfäden ist also in diesem Bereich mehr als doppelt so groß als der reine Zielfehler. Bei der Zielung mit Fernrohrfäden wirken eine Anzahl von Fehlerquellen, die bei derjenigen ohne Fäden keinen Einfluß haben, weshalb ein Unterschied in der Genauigkeit beider Zielmethoden sich ergeben mußte. Nötzli betrachtet die Fehlerquellen: Fadenparallaxe, Unschärfe von Faden oder Bild, der Faden als dreidimensionales Objekt, Unregelmäßigkeiten an Faden oder Objekt, Bildverschlechterung mit zunehmender Vergrößerung, Diffraktionserscheinungen, Instrumenten- und Luftbewegung als wirkend. Ueber deren Beitrag zur Erhöhung des Zielfehlers hat er keine direkten Versuche angestellt. Zum Teil dürften sie auch schwierig durchzuführen sein.

Im folgenden seien die Versuchsanordnung und die gefundenen Resultate für die Beeinflussung des Zielfehlers durch die Fadenparallaxe mitgeteilt. Die Untersuchungen erstreckten sich

nur über ein Fernrohr, weshalb die Aufstellung eines Gesetzes nicht beabsichtigt ist. Sie sollen lediglich zeigen, wie der Einfluß der Fadenparallaxe untersucht werden kann, und in welchem ungefährnen Größenverhältnis er zum Gesamtzielfehler steht.

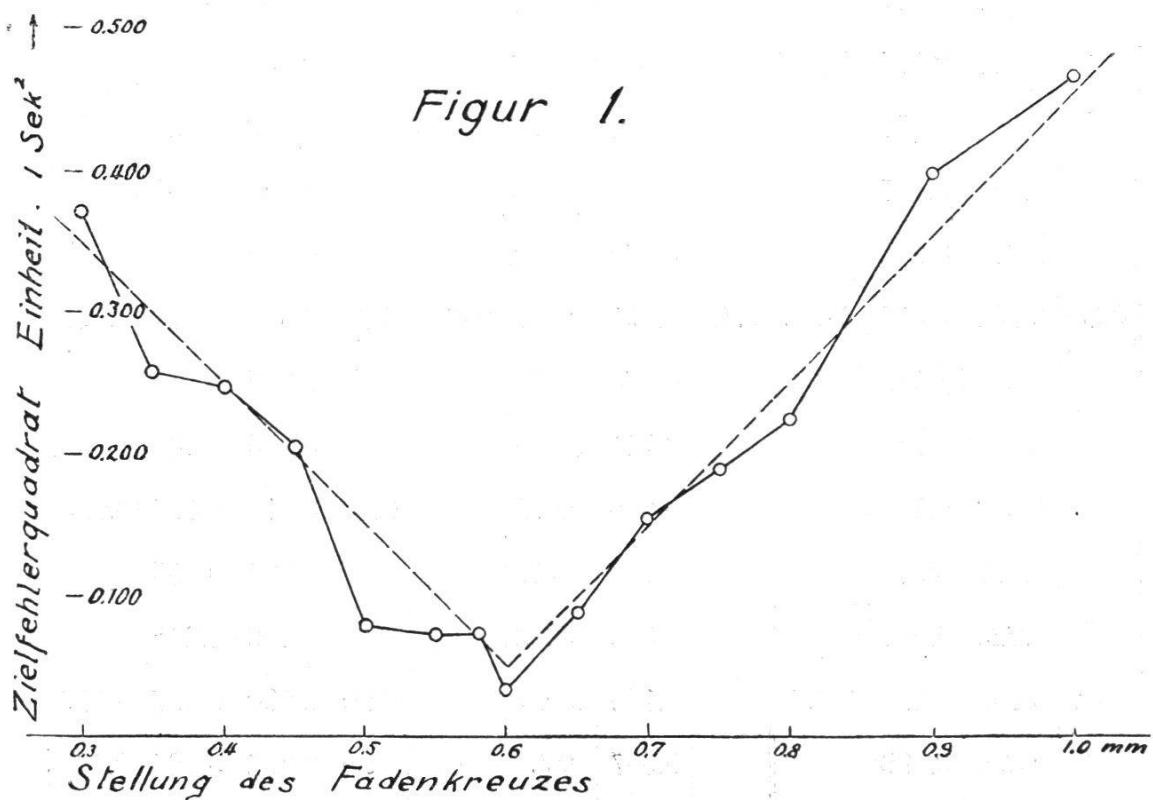
Als Zielfernrohr lag ein Theodolitfernrohr von Kern vor mit dreißigfacher Vergrößerung, 240 mm Objektivbrennweite und 30 mm Objektivdurchmesser. Das Okular war mit Dioptrien-

Tabelle I.

Okular mm	m "	m^2	Mittel	Okular mm	m "	m^2	Mittel	Okular mm	m "	m^2	Mittel
0.30	0.675	0.455	0.370		0.242	0.059		0.65	0.308	0.095	0.089
	0.534	0.285			0.373	0.139			0.360	0.130	
0.35	0.507	0.257	0.257		0.358	0.128			0.315	0.099	
0.40	0.524	0.275	0.247		0.271	0.073			0.184	0.034	
	0.334	0.112			0.175	0.030		0.70	0.440	0.194	0.152
	0.512	0.262			0.293	0.086			0.406	0.165	
	0.683	0.467		0.58	0.273	0.075	0.073		0.348	0.121	
	0.342	0.117			0.317	0.100			0.552	0.305	
0.45	0.418	0.175	0.204		0.309	0.096			0.209	0.044	
	0.592	0.350			0.302	0.091			0.198	0.039	
	0.443	0.197			0.188	0.035			0.438	0.192	
	0.310	0.096			0.208	0.043			0.400	0.160	
0.50	0.234	0.055	0.078	0.60	0.171	0.029	0.035	0.75	0.420	0.176	0.189
	0.334	0.112			0.270	0.073			0.555	0.308	
	0.292	0.085			0.241	0.058			0.286	0.082	
	0.368	0.136			0.268	0.072		0.80	0.410	0.168	0.223
	0.179	0.032			0.135	0.018			0.504	0.255	
	0.225	0.051			0.059	0.003			0.496	0.246	
0.55	0.153	0.023	0.071		0.165	0.027		0.90	0.630	0.397	0.397
	0.300	0.090			0.067	0.004		1.00	0.682	0.465	0.465

teilung versehen. Die Zielversuche wurden nach dem Nötzlichen Verfahren mit Präzisionsspiegel und Verschiebeapparat durchgeführt. Als Verschiebeapparat diente eine Teilmachine, an welcher die Objektverschiebungen auf zwei Mikron genau abgelesen wurden. Als Zielobjekt wurde ein weißer Keil in schwarzem Feld mit Öffnungswinkel 1 : 5 gewählt. Störende Einflüsse waren durch solide Aufstellung der Apparatur, künstliche Beleuchtung des Objektes und andere Vorsichtsmaßregeln nach Möglichkeit beseitigt. Die Entfernung: Fernrohrobjektiv—Spiegel—Objekt betrug 20,63 m. Am Fernrohrtubus war ein Schraubenmikroskop so befestigt, daß mit demselben an einer am Okularauszug angebrachten Teilung Verschiebungen des Fadenkreuzes mit einem mittleren Fehler von 0,7 Mikron gemessen werden konnten.

Für verschiedene Stellungen des Okularauszuges, also für verschieden große Fadenparallaxe, wurden Zielfehlerbestimmungen durchgeführt. Die aus Reihen von je zehn Zielungen ermittelten Zielfehler einer Beobachtung sind in Tabelle I zusammengestellt, sowie die Mittel der mittleren Fehlerquadrate für jede Okularstellung als Funktion derselben in Figur 1 aufgezeichnet.



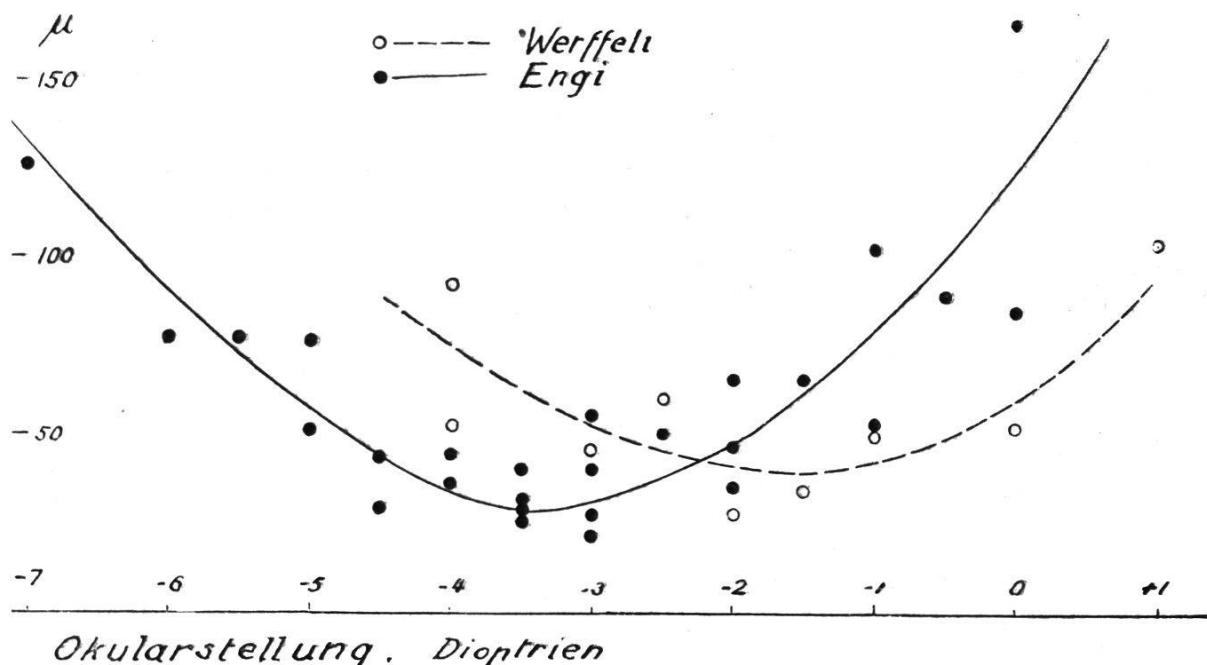
Wie zu erwarten war, zeigte sich eine Vergrößerung des Zielfehlers mit der Fadenparallaxe. Für Okularstellung 0,6 mm haben wir den kleinsten mittleren Zielfehler: $\sqrt{0,035} = \pm 0'',187$. Von dieser Stelle an, wo die Fadenparallaxe angenähert 0 ist, nimmt das mittlere Fehlerquadrat nach beiden Seiten hin ungefähr gleich stark, wahrscheinlich linear zu, d. h. der mittlere Zielfehler wächst infolge Parallaxe um einen der Quadratwurzel aus deren Größe proportionalen Betrag. Aus Figur 1 können wir eine Zunahme des Fehlerquadrates pro mm Parallaxe um eine Einheit (Sek.²) ablesen. Daraus ist ersichtlich, daß die Fadenparallaxe für das Zielen eine sehr gefährliche Fehlerquelle bedeutet und daß auf deren Beseitigung großes Gewicht zu legen ist.

Fällt das Fadenkreuz nicht in die Bildebene, so bemerkt man beim Hin- und Herbewegen des Auges vor dem Okular eine Verschiebung von Faden und Bild relativ zueinander. Durch Betätigung des Okulargetriebes können Okularstellungen erreicht werden, wo keine Relativbewegung mehr konstatiert werden kann; das Fadenkreuz befindet sich dann in der Nähe der Nullstelle der Parallaxe. Mit dem vorliegenden Fernrohr und Mikroskop wurden Untersuchungen über die Genauigkeit der Beseitigung der Parallaxe angestellt. Der Okularauszug wurde von der einen Seite her eingestellt, bis die Relativbewegung verschwand, und dann die Okularstellung mit dem Mikroskop abgelesen. Es wurden Reihen von zehn Einstellungen auf ein Zielobjekt in zirka 12 Meter Entfernung ausgeführt und der mittlere Fehler einer Einstellung berechnet. Aus später anzugebenden Gründen wurden Reihen für verschiedene Dioptrienzahlen des Okulars und von zwei Beobachtern ausgeführt. In Tabelle II sind die gefundenen Einstellfehler zusammengestellt und in Figur 2 als Funktion der Dioptrienzahl aufgezeichnet. Weil die Einstellung immer von der gleichen Seite her ausgeführt wurde, ist das Mittel der zugehörigen Mikroskopablesungen nicht etwa die wahrscheinlichste Ablesung für die Nullstelle der Parallaxe. Hätten wir in einer Reihe gleichviel Vorwärts- wie Rückwärtsbewegungen ausgeführt, dann dürfte das Mittel der Ablesungen als wahrscheinlichste Nullstelle der Parallaxe angesehen werden. Da aber die meisten Beobachter gewohnheitsgemäß immer von der gleichen Seite her einstellen, was für die optische Distanzmessung, wie wir später sehen wer-

Tabelle II.

Beobachter: Engi						Werffeli	
Dptr	μ	Dptr	μ	Dptr	μ	Dptr	μ
0	165	-2.5	50	-4.0	44	+1.0	104
	85	-3.0	27		36	0	52
-0.5	89		55	-4.5	43	-1.0	52
-1.0	102		21		29	-1.5	35
	53		40	-5.0	76	-2.0	27
-1.5	65	-3.5	30		51	-2.5	60
-2.0	65		40	-5.5	77	-3.0	45
	35		27	-6.0	71	-4.0	92
	47		28	-7.0	125		53

Figur 2.



den, sogar geschehen muß, wurde hier der einseitige Einstellfehler bestimmt.

Die Einstellgenauigkeit hängt in hohem Maße von der Ruhe der Fernrohrbilder ab, da die Möglichkeit der Wahrnehmung einer Relativbewegung zwischen Faden und Bild mit der Zunahme der Vibration des letztern abnimmt und bei einem bestimmten Grade ganz aufhört.

Viele Beobachter beseitigen die Fadenparallaxe lediglich durch Vergleich der Schärfe von Bild und Fadenkreuz. Diese Methode ist meines Erachtens aber weniger genau, als die Beseitigung mit Augenbewegung, schon deswegen, weil wir eigentlich zwei ganz verschieden geartete Gebilde vor uns haben: Einerseits das ebene Fernrohrbild (es seien hier lediglich Lattenablesungen ins Auge gefaßt), anderseits das körperliche dreidimensionale Fadenkreuz, was leicht zu verschiedenen Auffassungen Anlaß geben kann.

Außer der Beeinflussung des Zielfehlers durch die Fadenparallaxe wurde auch diejenige des Akkommodationszustandes des Auges untersucht. Die Akkommodationsfähigkeit des Auges erlaubt, in einem gewissen Intervall der Dioptrienteilung am Okular Bild und Faden scharf zu sehen. Darüber hinaus erscheinen letztere auch bei größter Anstrengung verschwommen. Es ist nun ohne weiteres zu erwarten, daß dann die Zielschärfe abnehmen muß. Aber auch im Intervall des scharfen Erfassens von Bild und Faden ist die Zielgenauigkeit nicht konstant. Offenbar ist das Auge für einen bestimmten Akkommodationszustand am leistungsfähigsten. Diesbezügliche Untersuchungen wurden durchgeführt, indem nach dem oben beschriebenen Verfahren Zielfehler bei verschiedenen Dioptrienablesungen, aber konstanter Stellung des Okularauszuges ermittelt wurden. In Tabelle III sind die gefundenen Zielfehler verzeichnet. Die Zielungen mit Dioptrienzahl —2,5 sind die besten. Jeder Beobachter hat eine andere Dioptrienzahl als Optimum, und sie kann sogar für ein und denselben Beobachter zeitlich verschieden sein, je nach Gewöhnung und Ermüdungsgrad. Wenn hier auf das Optimum aufmerksam gemacht wird, ist es in dem Sinne gemeint, daß sich der Beobachter hierüber Rechenschaft geben und es zu erreichen sich selbst Mittel und Wege verschaffen soll. Die physiologischen und psychologischen Vorgänge beim Zielen sind noch zu wenig erforscht und in so hohem Maße vom Beobachter abhängig (persönliche Leistungsfähigkeit, Uebung,

Tabelle III.

Dptr	m	Mittel	Dptr	m	Mittel	Dptr	m	Mittel
—1.0	0.474	0.453		0.342			0.342	
	0.568			0.252			0.420	
	0.266			0.198			0.190	
—1.5	0.397			0.302			0.231	
—2.0	0.265	0.397		0.164		—4.0	0.204	0.394
	0.325	0.324		0.082			0.364	
	0.392			0.212			0.550	
	0.302			—3.0	0.502		0.396	
—2.5	0.295	0.259		0.253		—5.0	0.580	0.474
	0.172			0.397			0.228	
	0.362			0.370			0.536	
	0.311			0.302				

Beobachtungsmethode), daß es schwierig sein dürfte, Gesetze aufzustellen.

Eine weitere Untersuchung über das Optimum des Akkommodationszustandes wurde bei der oben erwähnten Untersuchung der Einstellgenauigkeit des Fadenkreuzes in die Bildebene durchgeführt (vergleiche Tabelle II und Figur 2). Eine Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Akkommodationszustand ist hier deutlich ausgeprägt. Die Optima der Beobachter W. und E. liegen um zwei Dioptrien auseinander. Der Versuch mahnt aber auch noch insofern zum Aufsehen, als er zeigt, wie groß der Einfluß der Akkommodation auf die Möglichkeit der Parallaxbeseitigung ist, wodurch der Zielfehler indirekt wieder beeinträchtigt wird, und wie wir später sehen werden, die Distanzablesung.

Die Reichenbach'sche Distanzmessung beruht auf der Differenzbildung zweier Lattenablesungen. Haben wir für eine Zielung einen mittleren Fehler m , so ist die Distanzablesung mit dem mittleren Fehler $m\sqrt{2}$ behaftet. Streng genommen, gilt die Beziehung nur für den Fall, da beide Distanzfäden mit einer

Zielmarke in Koinzidenz gebracht werden können. Bei der Verwendung einer einfachen Lattenteilung ist das nur einseitig der Fall. Der eine Distanzfaden wird an einem Teilstreich oder besonderer Zielmarke eingestellt und der andere muß in die Teilung hineingeschätzt werden. Da die Schätzung der Einstellung punkto Genauigkeit unterlegen ist, ist die Distanzablesung weniger genau, als wenn beide Distanzfäden zur Koinzidenz gebracht werden können.

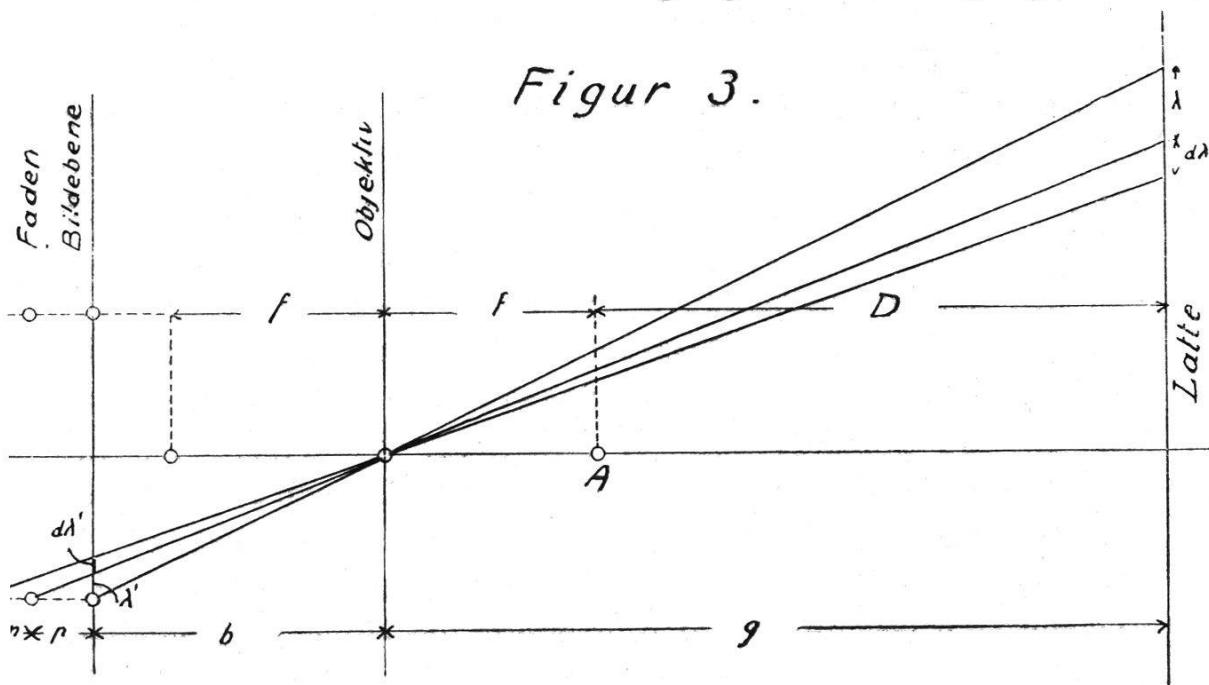
Den mittleren Fehler der Distanzablesung habe ich empirisch direkt bestimmt, nicht etwa um die Gültigkeit der Beziehung $m\sqrt{2}$, also das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz zu prüfen, sondern umgekehrt, um mit letzterem das hier angewendete Untersuchungsverfahren zu sanktionieren. Dasselbe wurde nachher zur Untersuchung des Fadenparallaxeneinflusses auf die Distanzablesung benutzt. In zirka 12 m Entfernung vom anallaktischen Punkt des Fernrohres war eine Zielmarke aufgestellt, die mit dem einen Distanzfaden anvisiert werden konnte. Auf den andern Distanzfaden wurde das Spiegelbild einer zweiten Marke, die auf dem Verschiebeapparat angebracht war, eingestellt. Die Entfernung des Spiegels vom Theodoliten war natürlich so gewählt, daß die Lichtwege der beiden Marken genau gleich groß waren. Alle Beobachtungen wurden bei gleicher Okularauszug- und Dioptrienstellung durchgeführt, zwecks Ausschaltung von Parallax- und Akkommodationseinflüssen. Eine Beobachtung bestand in der Einstellung des einen Distanzfadens auf die direkt gesehene Zielmarke, Einstellung des Spiegelbildes der zweiten Marke auf den andern Distanzfaden und zugehörige Ablesung am Verschiebeapparat. Der aus acht Reihen zu zehn Beobachtungen berechnete mittlere angulare Distanzablesungsfehler ergab sich zu $0'',383$. Der mittlere Zielfehler der Distanzfäden wurde sodann direkt bestimmt und als Mittel aus sechs Reihen $0'',252$ gefunden. Er ist etwas größer als der Zielfehler des Mittelfadens, was auch schon von andern Beobachtern festgestellt wurde. Berechnet man aus dem mittleren Fehler der Distanzfäden den zu erwartenden mittleren Fehler einer Distanzablesung, so findet man $0'',252\sqrt{2} = 0'',357$, was mit dem oben direkt gefundenen Werte schön übereinstimmt.

Es sei hier noch ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß die bis anhin gegebenen Fehlergrößen Resultate aus unter

günstigen Verhältnissen durchgeführten Laboratoriumsversuchen darstellen. Weil in der Praxis selten oder nie so günstige Verhältnisse vorherrschen, dürfen dieselben nicht als Grundlagen für die Berechnung praktisch erreichbarer Genauigkeiten dienen. Letztere müssen empirisch direkt ermittelt werden. Sicher ist nur, daß sie größer sein werden.

III. Einfluß der Fadenparallaxe auf die Distanzablesung.

Die Fadenparallaxe bildet neben der Vergrößerung des Zielfehlers als mittelbare Beeinflussung auch noch eine direkte Fehlerquelle der Distanzablesung, indem sie die Multiplikationskonstante verfälscht. Durch Verfolgung des Strahlenganges läßt



sich dies leicht nachweisen. Figur 3 stellt schematisch den Strahlengang für die Distanzablesung dar. Es bedeuten: D die Entfernung der Latte vom anallaktischen Punkt A des Fernrohres, f die Objektivbrennweite, g die Gegenstandsweite, b die Bildweite, p die Fadenparallaxe, q die Entfernung der beiden Distanzfäden λ' und λ die Änderungen des Lattenabschnittes infolge der Parallaxe p im Bild resp. auf der Latte gemessen. Aus der Figur ergibt sich:

$$\lambda' = p \frac{q}{b-p}; \lambda = \frac{g}{b} \lambda' = \frac{g}{b} p \frac{q}{b-p} = \frac{D}{kf} \frac{p}{g} \frac{p}{f},$$

weil $\frac{f}{q} = k$ (Multiplikationskonstante) und $b = f \frac{g}{D}$.

Andern wir durch Betätigung des Okulargetriebes p um dp , so erfährt λ eine Änderung um $d\lambda$:

$$d\lambda = \frac{D}{kf} \frac{g}{D \left(\frac{g}{D} - \frac{p}{f} \right)^2} dp$$

Praktisch darf $\frac{g}{D} = 1$ gesetzt und $\frac{p}{f}$ gegenüber $\frac{g}{D}$ vernachlässigt werden, dann lautet obige Formel einfacher:

$$d\lambda = \frac{D}{kf} dp$$

und der Fehler an der Distanz beträgt:

$$dD = \frac{D}{f} dp$$

Die Beeinflussung der Distanzablesung durch die Fadenparallaxe wurde mit Hilfe der am Schlusse des vorigen Abschnittes erwähnten Versuchsanordnung empirisch bestimmt. Bei verschiedenen Stellungen des Okularauszuges, die mittels des Mikroskopes hergestellt werden konnten, wurde der eine Distanzfaden auf eine feste Zielmarke einvisiert und mit dem Verschiebeapparat das Bild der andern mit dem zweiten Distanzfaden zur Koinzidenz gebracht. Die Ablesungen am Verschiebeapparat für verschiedene Stellung des Fadenkreuzes ergaben also direkt die Änderungen von λ . Für jede Mikroskopablesung wurden zehn Beobachtungen erhoben, und dann gemittelt. In Tabelle IV sind die Mittel zusammengestellt und in Figur 4 in Funktion der Fadenkreuzstellung aufgetragen.

Für eine Änderung dp der Parallaxe von 0,800 bis 1,400 = 0,6 mm, haben wir eine Änderung $d\lambda$ von 164 bis 299 = $135 \times 2 \mu = 0,27$ mm. Nach der abgeleiteten Formel sollten wir bekommen: $f = 240$, $D = 11\,600$, $dp = 0,6$ mm, $k = 100$

$$d\lambda = \frac{11\,600}{100 \times 240} 0.6 = 0.29 \text{ mm},$$

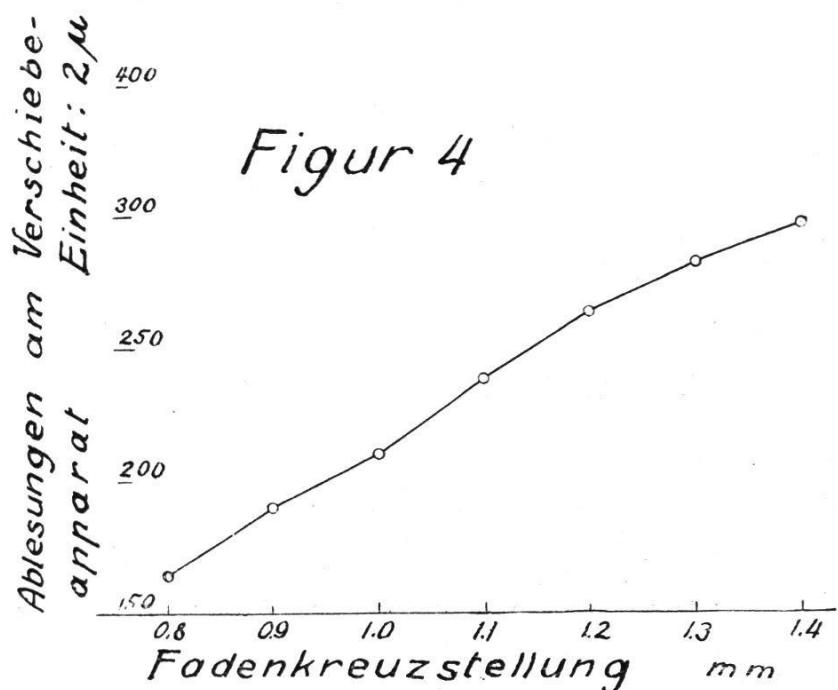
was mit dem empirisch gefundenen Werte gut übereinstimmt.

IV. Genauigkeit der optischen Distanzmessung.

Nachdem wir nun einigen Einblick in die hauptsächlichsten Fehlerquellen gefunden haben, können wir uns die Frage vor-

Tabelle IV.

Mikroskopablesung mm	Verschiebeapparat Einheit: 2 Mikron
0.8	164
0.9	190
1.0	211
1.1	239
1.2	264
1.3	283
1.4	299



legen, welche Genauigkeit mit dem Reichenbach'schen Distanzmesser zu erreichen ist.

Für einen mittleren Zielfehler m haben wir einen mittleren Distanzfehler:

$$m_D = m \sqrt{2} \frac{D}{\rho''} k.$$

Für eine mittlere Einstellgenauigkeit μ des Fadenkreuzes ergibt sich ein mittlerer Distanzfehler:

$$\mu_D = \mu \frac{D}{f}$$

Der zu erwartende mittlere Distanzfehler unter Berücksichtigung beider angegebenen Fehlerquellen ist:

$$M_D = \sqrt{m_D^2 + \mu_D^2} = D \sqrt{\frac{2 m^2 k^2}{\rho''^2} + \frac{\mu^2}{f^2}}$$

Er ist somit der Distanz proportional. Praktisch dürfte er aber mit wachsender Distanz stärker zunehmen, weil die obigen Formeln ohne Rücksicht auf den Einfluß der Luftbewegung abgeleitet wurden. Da letztere mit zunehmender Distanz stärker wirkt und sowohl m als auch μ ungünstig beeinflußt werden, nimmt M_D in höherem Maße zu als die Formel angibt.

Betrachten wir ein Beispiel unter Zugrundelegung von mittleren Ziel- und Einstellfehlern, die bei noch als „gute Verhältnisse“ zu bezeichnenden Umständen auftreten. Es sei $m = \pm 0,3$; $\mu = \pm 0,05$ mm; $f = 250$ mm; $D = 100$ m und $k = 100$. Wir finden:

$$\begin{aligned} m_D &= \pm 20,5 \text{ mm}, \\ \mu_D &= \pm 20,0 \text{ mm}, \\ M_D &= \pm 28,6 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Wir haben also einen mittleren Distanzfehler von rund 3 cm und müssen mit dem dreifachen Wert, also 9 cm als Maximalfehler rechnen.

Es dürfen aber obige Angaben nicht als objektive Genauigkeitskriterien des Einflusses von Zielfehler und Fadenparallaxe für die Reichenbach'sche Distanzmessung aufgefaßt werden. Jeder aufmerksame Beobachter konstatiert, daß er ab und zu für dieselbe Distanz zu verschiedenen Zeiten stark auseinandergehende Beobachtungen erhebt. Solche Abweichungen haben ihre Ursache in verschiedenen Auffassungen beim Zielvorgang. In noch viel höherem Maße treten diese Differenzen für verschiedene Beobachter auf. Die Tatsache der bedeutenden persönlichen Auffassungsfehler drückt den Genauigkeitsgrad noch weiter herunter.

Zu den beiden besprochenen, beim Zielvorgang auftretenden Fehlerquellen treten dann noch weitere Beeinflussungen,

so der Zentrierfehler, die Differentialrefraktion (hauptsächlich bei vertikaler Latte), der Fehler des Höhenwinkels und der Temperatureinfluß, hinzu.

Wir sehen also, daß der Reichenbach'schen Distanzmessung punkto Genauigkeit eine Grenze gezogen ist. Meines Erachtens ist sie für Grundbuchvermessungen nur mit großer Vorsicht anzuwenden und für Gebiete mit höheren Genauigkeitsanforderungen unbrauchbar.

Damit ist aber noch nicht gesagt, daß das Problem der optischen Distanzmessung als solches für unsere Zwecke überhaupt nicht verwirklicht werden kann. Es ist wohl denkbar, daß Instrumente und Methoden geschaffen werden können, die die oben erwähnten Fehlerquellen reduzieren und zum Teil eliminieren; es sei hier nur an den reduzierten Zielfehler, sowie an die Herstellung eines wirklich konstanten parallaktischen Winkels erinnert.

Davos, im Oktober 1921.

Confection du plan d'ensemble original exécuté conformément aux instructions du 27 décembre 1919.

Par M. *Marcel Diday*, ingénieur-topographe, vérificateur de la section de topographie au service topographique fédéral.

(Suite.)

Les recherches ont porté sur les deux points suivants:

a) *exactitude de la réduction d'une longueur* donnée aux différentes échelles de réduction, en variant la position de l'instrument de l'extension extrême à la plus rabattue, en variant de 10 en 10 cm la distance pôle-pointe à tracer. La longueur à réduire étant toujours perpendiculaire à la ligne pôle-pointe.

Puis la même opération a été refaite en variant la position du pantographe sur la table.

La longueur à réduire avait été piquée au coordinatographe sur une plaque d'aluminium.

Les longueurs réduites mesurées au moyen du microscope du coordinatographe.

Les résultats ont été les suivants:

De la position très tendue, distance pôle-pointe = environ 190 cm jusqu'à la position moyenne (bras du pantographe