

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
Herausgeber:	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
Band:	24 (1926)
Heft:	2
Artikel:	Der Einfluss der Strahlenberechnung auf die Längenmessung mit Entfernungsmessfäden bei lotrechter Latte
Autor:	Lüdemann
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-189576

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: 30.01.2026

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

Nach diesen Resultaten ging ich mit Freuden an die Vermessung von Gebiet II. Meine Befürchtungen, die ich noch hatte betreff Helle des Bildes im Waldgebiet waren unbegründet. Ich habe noch kein Instrument gesehen, das so klare Bilder zeigte wie der Theodolit von H. Wild und ein so rasches Arbeiten ermöglichte. In zwei Monaten hatte ich die Feldarbeit fertig und konnte an die Berechnung gehen. Diese ergab:

für die Azimute eine mittlere Differenz von 17 % der Toleranz

„ „ Fs.	„ „ „	„ „ „	26 %	„
„ „ Höhen	„ „ „	„ „ „	20 %	„

Das gleiche Instrument wurde im letzten Sommer von Herrn Grundbuchgeometer Décaillet gebraucht, dessen Resultate den hier angeführten gleichkamen.

Die Verifikation, die peinlich genau durchgeführt wurde, weil es die erste Arbeit mit diesem Instrument war, ergab keine Differenz, die eine Nachmessung verlangt hätte. Wohl zeigten sich drei Differenzen, die über die Toleranz gingen, aber die von einer falschen Reduktion der Distanz herrührten.

Die Reduktion der Distanz gibt nicht viel Arbeit, da sie zugleich mit der Höhenberechnung gemacht werden kann. Wenn uns aber der geniale Erfinder einen Autoredukteur liefern könnte, wäre damit eine Fehlerquelle ausgeschaltet. Auch wäre ein Formular für die Höhenberechnung zu empfehlen, auf dem zugleich die Reduktion gemacht werden könnte.

Leo Pfammatter, Grundbuchgeometer.

Der Einfluß der Strahlenberechnung auf die Längenmessung mit Entfernungsmeßfäden bei lotrechter Latte.

Von Oberlandmesser a. D. Lüdemann, wissenschaftl. Mitarbeiter,
in Freiberg (Sachsen).

1. Unter den regelmäßigen Fehlerquellen, die bei der üblichen ingenieurtechnischen oder topographischen Tachymetrie, der T II in der Ausdrucksweise von E. Hammer [1 S. 129, 2 S. 32], meist ohne Bedenken vernachlässigt werden können, bei der Präzisionstachymetrie aber beachtet werden müssen, steht der Einfluß der Strahlenbrechung an einer der ersten Stellen, sofern es sich um die Benutzung einer lotrecht aufgestellten Latte

handelt. Die in der Regel ziemlich ungleichmäßige und unregelmäßige Schichtung der Luftmasse nahe der Erdoberfläche bedingt, daß die Ziellinien, die den beiden Entfernungsmeßfäden des Fernrohrs entsprechen, nicht um den gleichen Betrag abgelenkt werden, daß der gemessene Lattenabschnitt also dem Einfluß der sogenannten Differentialrefraktion unterliegt und fehlerhaft erhalten wird.

Bei einer Beurteilung dieses Fehlers läßt sich mit dem umfangreichen Schrifttum über die Strahlenbrechung bei der trigonometrischen Höhenmessung mit großen Zielweiten wenig anfangen. Auch die Untersuchungen über die Refraktion im Nivellement, von denen ich hier die Arbeiten von M. Ch. Lallemand [3], W. Jordan [4], R. Hugershoff [5] und die wertvolle Abhandlung von Fr. Kohlmüller [6] nenne, geben für die zahlenmäßige Erfassung der Differentialrefraktion keine Werte. Immerhin bieten die Beobachtungen und Ergebnisse von Fr. Kohlmüller ein ziemlich klares Bild von dem wechselnden Verlauf der Zielkurve in den Luftsichten nahe der Erdoberfläche und von der Bedeutung der Zielhöhe und der Lufttemperatur für die Refraktionswirkung.

2. Eine nähere Untersuchung des Einflusses der Strahlenbrechung in der Nähe des Erdbodens auf die Genauigkeit der Messung mit Entfernungsmeßfäden hat L. S. Smith [7, 9 S. 781 bis 782] in den Jahren 1892 und 1893 bei der mexikanischen Grenzvermessung angestellt. Nach dem Bericht, den M. Petzold [8] über diese Arbeit gegeben hat, fand L. S. Smith für Entfernungen zwischen 305 und 488 m die mittlere Abweichung vom wahren Istwert bei „hoher“ (1,4 m) Ziellinie zu $\pm 0,1\%$, bei „niedriger“ (0,25 m) Ziellinie zu $-0,5\%$.

Ferner ergab sich für kurze (61 bis 305 m) und lange (335 bis 610 m) Zielweiten und für die guten ($7^h a$ bis $9^h a$, $2^h 30^m p$ bis $7^h p$) und weniger guten ($9^h a$ bis $2^h 30^m p$) Tageszeiten, sowie aus im Mittel je 11 Einzelbeobachtungen die durchschnittliche Abweichung einer beobachteten Länge vom wahren Wert zu

Tageszeit	Zielweite	kurz	lang
	{ gut	$\pm 0,07\%$	$+0,1\%$
	{ weniger gut	$\pm 0,15\%$	$-0,46\%$

L. S. Smith schlug auf Grund seiner Erfahrungen die horizontale Lage der Latte vor.

3. Eine weitere, wertvolle Untersuchung stammt von O. Eggert [10, 9 S. 782—783]. Er leitete für das Fehlerglied ΔE der Entfernung E den Näherungswert

$$\Delta E = -(0,176 - 0,001 t) \frac{B}{760} l^2 (\tau_3 - \tau_1)$$

ab, in dem bedeuten: t die Lufttemperatur, B der Barometerstand, l der gemessene Lattenabschnitt und τ die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe, bezogen auf die Endpunkte des Lattenabschnittes. Wie die angestellten Beobachtungen und Rechnungen zeigen [10 S. 498], entsprechen die nach dieser Gleichung berechneten Fehlerwerte den wirklichen Fehlern der Messung ziemlich gut.

Für die Praxis noch wichtiger sind aber zahlenmäßige Feststellungen der Refraktionswirkungen bei einer Zielweite von 135 m, die O. Eggert mit einem Feinnivellierinstrument anstellte. Er las an einer in cm geteilten Nivellierlatte an drei Stellen und zwar „Unten“ je zehnmal, „Mitte“ und „Oben“ je fünfmal die Entfernungsmeßfäden ab. Aus den Lattenabschnitten wurden mit der sorgfältig ermittelten Multiplikationskonstante die Entfernungen berechnet, die mit dem durch Lattenmessung erhaltenen genauen Wert verglichen wurden. Die Unterschiede Lattenmessung—Fadenentfernungsmeßung sind in Tafel 1 hingeschrieben; sie haben der Begriffsbestimmung gemäß das entgegengesetzte Vorzeichen wie bei L. S. Smith.

Tafel 1.

Zeit		Unten m	Mitte m	Oben m
vormittags	8.40	+0,94	+0,04	+0,18
	9.40	+1,20	+0,22	+0,36
	10.50	+1,21	+0,16	±0,00
	11.40	+1,31	+0,36	+0,10
nachmittags	12.40	+1,28	+0,34	+0,16
	2.10	+1,20	+0,14	+0,08
	3.20	+1,19	+0,20	+0,20
	4.10	+1,04	+0,22	+0,08
	5.20	+0,98	+0,24	+0,22
	6.20	+0,88	+0,22	±0,00
Mittel		+1,12	+0,21	+0,14

Die Werte der Tafel 1 zeigen deutlich, wie stark die Ablesungen am unteren Ende der Latte durch die Refraktion beeinflußt sind; sie geben auch ein Bild von dem zeitlichen Verlauf der Aenderung der Entfernung.

Vier weitere Beobachtungsreihen gleicher Art, bei denen der Mittelfaden der Reihe nach auf

0,7 1,1 1,5 2,3 m

stand, wurden an verschiedenen Tagen, Reihen 1 bis 3 bei Sonnenschein, Reihe 4 nach einem lange anhaltenden Landregen bei bedecktem Himmel, gemessen. Die Ergebnisse gibt Tafel 2, die wiederum den Einfluß der Differentialrefraktion auf das deutlichste zeigt.

Tafel 2.

Mittelfaden m	1 m	2 m	3 m	4 m	Mittel m
0,7	+1,02	+0,90	+1,06	+0,36	+0,83
1,1	+0,51	+0,40	+0,55	+0,24	+0,43
1,5	+0,31	+0,15	+0,44	+0,18	+0,27
2,3	+0,31	+0,06	+0,23	+0,22	+0,21

Die in den Tafeln 1 und 2 mitgeteilten Unterschiede weichen vom Sollwert alle in *einer* Richtung ab. Ob die Annahme von J. Stambach [11], daß die angewendete Multiplikationskonstante bei den Messungen „etwas zu klein bestimmt worden“ ist, richtig ist, mag dahingestellt bleiben. Nimmt man aber an, daß bei einer in der üblichen Instrumentenhöhe von etwa 1,5 m über ebenem Gelände verlaufenden Ziellinie größere Refraktionsstörungen bei mittleren äußeren Verhältnissen nur noch selten auftreten, so hat man in Tafel 2 bei

einer Stellung des Mittelfadens auf . . 1,1 m 0,7 m
noch einseitige Abweichungen bis zu . 0,23 % 0,61 %
und im Mittel von 0,14 % 0,44 %.

4. Sobald man sich mit einer wesentlichen Verfeinerung der mittelbaren Entfernungsmessung bei der Präzisionstachymetrie, der T I (feinere Tachymetrie) in der Ausdrucksweise von E. Hammer, beschäftigt oder gar die größte Genauigkeit der „Hochpräzisionstachymetrie“, wie F. Baeschlin [12 S. 111] sagt, der T 0 (Feinsttachymetrie) von E. Hammer [2 S. 32], erreichen will, kann keine Unklarheit darüber bestehen, daß

eine fest aufgestellte horizontale Latte verwendet, eine vertikale dagegen möglichst vermieden werden muß.

In Deutschland hat W. Wolf [13] 1898 bei seinen Versuchen zur „Polygonstreckenmessung“ vermittelst der Feinbewegung des Theodolits“ eine vertikal stehende Latte benutzt. Auch M. Kunze [14] stellte die Latte lotrecht, machte aber die Erfahrung, daß die unterste Ablesung oder Einstellung mindestens 0,5 m, besser 1 m über dem Erdboden bleiben muß, um „die Einwirkung der Refraktion tunlichst“ herabzumindern. Bei der weiteren Entwicklung der Feinmessung von Längen mit der Tangentenschraube, an der besonders C. Pulfrich mitgewirkt hat, ist dann, zu einem wesentlichen Teil wohl aus konstruktiven Gründen, meistens eine horizontal gelagerte Distanzlatte angewendet worden.

Soweit man sich in Deutschland mit der Verfeinerung der Entfernungsmessung mit Entfernungsmeßfäden beschäftigte, hat man hierbei auch auf die horizontale Latte Rücksicht genommen; so z. B. H. Hohener [15, 2 S. 31] bei seinem „Präzisionsdistanzmesser“.

Die hauptsächlichste Förderung erfuhr diese Meßweise in den drei letzten Jahrzehnten aber in der Schweiz, wo durch die Zulassung der Stückvermessung (Parzellarvermessung, Detailaufnahme) nach Polarkoordinaten in den Instruktionsgebieten II und III ein starker Anreiz zu ihrer wirklich praktischen Erprobung gegeben war.

Bei der „tachymetrischen Messung von Polygonseiten“, über die Röthlisberger [16] schon 1898 berichtete, und bei der Aufnahme von festen Punkten, haben sich sowohl Vertreter der Wissenschaft, so z. B. F. Baeschlin [12 S. 111] 1920 in seinem Vortrag über „Die allgemeinen Grundlagen der optischen Distanzmessung“, und praktisch erfahrene Fachleute, wie R. Werffeli [17 S. 54] und R. Boßhardt [18 S. 31], für die fest aufgestellte horizontale Latte mit völliger Bestimmtheit ausgesprochen.

Bei der Stückvermessung im Instruktionsgebiet III und zum Teil auch II wird, hauptsächlich wohl mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der Messung, die vertikale Latte von R. Häfliiger [19] und Fr. Wohlgemuth [20] für ausreichend erachtet. Letzterer hält den Einfluß der Differentialrefraktion

nicht für so bedeutend, daß er die Ausschaltung der vertikalen Latte fordern müßte.

Allerdings ließ ja Art. 51 der Vermessungsinstruktion vom 15. Dezember 1910 bei Zielweiten von nicht über 100 m die fest aufgestellte lotrechte Latte im Instruktionsgebiet III zu [11 S. 215—216].

Mit dem Zwang, im bewachsenen Gelände und bei gewissen Punkten eine lotrechte Latte zu benutzen, muß natürlich stets gerechnet werden, so daß jede Konstruktion des Meßgerätes darauf Rücksicht nehmen muß.

Der Weg der Entwicklung auf diesem Gebiet in der Schweiz von der 1888 erschienenen Schrift des Stadtgeometers F. Brönnimann [21] in Bern, deren Bedeutung J. Bischoff [22] sofort erkannte, bis zum heutigen Stand, der noch keineswegs die Vollendung bedeutet, ist für jeden Vermessungskundigen, der sich mit der geodätischen Methodenlehre beschäftigt, hoch interessant.

5. O. Eggert [10 S. 498] hat bereits mit Recht darauf hingewiesen, daß „an eine Berücksichtigung des Refraktionsgliedes in der Praxis nicht zu denken ist“. Es unterliegt keinem Zweifel, daß es unmöglich ist, für die untersten Luftsichten, die in einer Höhe von wenigen m, etwa 2 bis 3 m, über der Erdoberfläche liegen, eine für alle Fälle ausreichende Darstellung der Refraktion durch einen theoretisch abgeleiteten oder empirisch gefundenen Ausdruck zu geben, da selbst eine größere Anzahl von Temperaturbestimmungen dazu nicht ausreicht. Es ist bekannt, „wie verschieden die meteorologischen Einflüsse auf das Medium der Luft und das ganz andersartige des Erdbodens einwirken“ [23 S. 116].

Nach den Untersuchungen von R. Wagner [24 S. 485], die ich nach eigenen Beobachtungen bestätigen kann, beträgt der „mittlere Fehler einer Lufttemperaturbestimmung mittelst Schleuderthermometer bei einer Schleuderzeit von 2 Minuten rund $\pm 0^\circ, 2''$.“ Bei den hier in Frage kommenden Verhältnissen hat sich aber in dieser Schleuderzeit die Temperatur häufig schon um ein mehrfaches dieses mittleren Fehlers geändert. So beobachtete G. Hellmann [25, 26], indem er auf der Beobachtungswiese des Meteorologischen Observatoriums in Potsdam in 1 m und 2 m Höhe über dem Boden Aspirationsthermometer

aufhing und deren Stand mit einem Fernrohr alle 5 Sekunden ablas, „daß in den Vormittagsstunden, wenn die konvektiven Ströme kräftig entwickelt sind, die Temperatur in beiden Höhen über dem Erdboden so rasch schwankt, und zwar auf- und absteigend, daß bei den 12 Ablesungen innerhalb einer Minute gewöhnlich Differenzen von 3 bis 4 Zehntel, bisweilen sogar von 6 bis 7 Zehntel Grad vorkommen“ [25 S. 76].

Die vermessungstechnische Praxis kann sich aber mit gleichzeitigen Temperaturmessungen mit mehreren Aspirations-thermometern in verschiedener Höhe und an verschiedenen Stellen des Weges der Zielstrahlen nicht abgeben.

6. Um über den zahlenmäßigen Einfluß der Differential-refraktion weitere Unterlagen zu erhalten, habe ich in den Jahren 1923 und 1924 Beobachtungen angestellt, die in ihrer Anordnung den von O. Eggert [10] gemachten gleichen.

Zur Messung diente ein Feinnivellierinstrument der fein-mechanischen Werkstätten der M. Hildebrand, G. m. b. H., in Freiberg, dessen Fernrohr folgende optischen Abmessungen hatte: des Objektivs freie Öffnung 40,5 mm, Brennweite 440 mm; äquivalente Brennweite des Okulars 13,5 mm; Vergrößerung 33-fach; Austrittspupille 1,24 mm; relative Helligkeit 1,54; Gesichtsfeld $1^{\circ} 3'$. Von den beiden Okularen für 33- und 40-fache Vergrößerung, die dem Instrument beigegeben waren, wurde das eine 33-fache Vergrößerung liefernde benutzt, damit der Einfluß des Flimmerns, der sogenannten „Konvektion“, des Wechselspiels auf- und absteigender feiner Luftströme, sich nicht allzu störend bemerkbar machen konnte.

Die vertikal festaufgestellte Latte hatte schwarz-weiße Zentimeter-Feldteilung in schachbrettförmiger Anordnung.

Als Zielweite wurde 125,5 m gewählt. Der Art. 15 der Schweizerischen Instruktion für die Vermarkung und die Parzellarvermessung vom 10. Juni 1919 sieht für den Regelfall als Höchstgrenze für Polygonseiten 150 m vor. Bei der Stück-vermessung im Instruktionsgebiet II und III verwendeten E. Müller [27 S. 245] Zielweiten bis zu 100 m, R. Werffeli [17 S. 58] bei ruhiger Luft bis zu 130 m, R. Häfliger [19 S. 85] bis zu 120 m.

(Schluß folgt.)