

Systematische Beobachtungsfehler bei trigonometrischen Höhenmessungen, deren Ursachen und Verhütung

Autor(en): **Ganz, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Geometer-Zeitung = Revue suisse des géomètres**

Band (Jahr): **16 (1918)**

Heft 4

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-185026>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

téressés pour la bienveillance qu'ils ont montrée dans la révision du tarif.

Le président présente un rapport sur l'activité du comité. Il donne connaissance des décisions du Département fédéral de Justice et Police touchant l'élaboration de nouvelles instructions sur les mensurations, sur l'allocation d'indemnités supplémentaires et octroi d'un subside au journal de la société.

Après un rapport de la commission de taxation, il est passé aux opérations statutaires.

Les comptes sont adoptés sans observations. La finance d'entrée est fixée à dix francs et la contribution annuelle à cinq francs.

Le président, ainsi que les autres membres du comité ont leur mandat renouvelé pour une nouvelle période triennale.

Sont désignés comme délégués également pour une période de trois ans: Louis Nicod à Payerne et Auguste Ansermet à Vevey; comme suppléants Louis Blanc à Vevey et Marcel Decoppet à Yverdon.

Comme vérificateurs des comptes, l'assemblée désigne Jacques Baumgartner et Eugène Bernard à Lausanne; Edouard Amiguet à Ollon et Paul Thibaud à Montreux comme suppléants.

Le comité continuera à désigner les membres de la commission de taxation.

Après un exposé du président sur la révision des taxes cadastrales dans le canton de Vaud, la séance est levée à 11 heures 45.

Lausanne, le 11 mars 1918.

Le secrétaire: *E. Deluz.*

Systematische Beobachtungsfehler bei trigonometrischen Höhenmessungen; deren Ursachen und Verhütung.

Von *J. Ganz*, Bern.

In No. 3 der „Schweiz. Geometerzeitung“ vom 15. März 1918 macht Herr W. Leemann, Zürich, Mitteilungen über einen bei den Grundbuchtriangulationen IV. Ordnung im Kanton Zürich beobachteten systematischen Fehler in den Resultaten gegenseitig

gemessener Höhenunterschiede und erklärt diese Erscheinung durch den Einfluß der Fernrohrbiegung auf die Winkelmessung.

Seit Inkrafttreten der bundesrechtlichen Verordnungen betreffend die Grundbuchvermessung in der Schweiz hat die Verifikationsstelle für die Triangulationen IV. Ordnung Gelegenheit gehabt, sich mit der von Herrn Leemann zur Sprache gebrachten Erscheinung öfters zu befassen. Wir haben bei sehr vielen der zur Prüfung abgelieferten Triangulationen, wie er, die gleiche Wahrnehmung gemacht, nämlich die, daß von den gegenseitig gemessenen Höhenunterschieden, dem absoluten Werte nach, der vom höher gelegenen Standpunkt aus bestimmte regelmäßig größer ist, als der in entgegengesetzter Richtung ermittelte. Zum ersten Male sind wir auf diese Erscheinung aufmerksam gemacht worden bei der Verifikation der Triangulationsgruppe Grandson, die mit einem Kern'schen Repetitionstheodoliten beobachtet wurde. Der systematische Winkelfehler, berechnet aus den Abweichungen der gegenseitig bestimmten Höhenunterschiede, betrug für diese Arbeit ungefähr 6" (sex) für die einseitige Beobachtung.

Das nähere Studium von über 20 Triangulationsoperaten, die sich über ganz verschiedene Gegenden des Mittellandes und der gebirgigen Teile der Schweiz verteilen, ermöglichen es uns heute besser als damals, über den Grund des genannten systematischen Fehlers zuverlässige Mitteilungen zu machen.

Um uns ein ganz genaues Bild von der Natur des Fehlers machen zu können, haben wir aus der großen Menge des zur Verfügung stehenden Materials nur diejenigen 12 Arbeiten in den engern Betrachtungskreis gezogen, bei denen die Beobachtungen aller Höhenunterschiede einer Gruppe von ein und demselben Beobachter und mit demselben Instrument durchgeführt sind.

Die bei diesen Triangulationen verwendeten Theodolite sind die bei uns am meisten im Gebrauch stehenden Normaltypen von *Kern & Co.* in Aarau und von *Max Hildebrand* in Freiberg (Sachsen). Die Instrumente jeder Firma sind unter sich in allen ihren Teilen absolut gleich dimensioniert, so daß aus ihren Fehlern vergleichende Schlüsse ohne Bedenken zulässig sind.

Die Grundlagen für die nachstehenden Untersuchungen lieferte das umfangreiche Beobachtungsmaterial der vier Hilde-

brand'schen Instrumente No. 11 291, 11 819, 11 820 und 12 222 und der Kern'schen Theodolite No. 20 212, 20 408 und 20 670.

Zur augenfälligen Veranschaulichung der Fehlererscheinung bei den verschiedenen Instrumenten und Triangulationsgruppen ist die graphische Darstellung gewählt worden, weil diese Art vor den vielen ziffernmäßigen Tabellen den großen Vorteil der besseren Uebersichtlichkeit und der allgemeinen Verständlichkeit voraus hat.

In unserer Zeichnung sind aufgetragen:

Die Horizontalentfernungen der gegenseitig gemessenen Punkte auf einer Abszissenaxe.

Die durchschnittlichen Mittelwerte der absoluten Differenzen aus Hin- und Hermessung als Ordinaten und zwar in positivem Sinn, wenn der Höhenunterschied aus dem Depressionswinkel dem absoluten Werte nach größer ist als der des Elevationswinkels, in negativem Sinn beim umgekehrten Fall. Dabei erhalten wir folgendes Bild:

Die Verbindungslinien der Fehlergrößen der einzelnen Horizontalentfernungen einer Triangulationsgruppe bilden in allen zwölf Fällen eine schwach gebrochene Zickzacklinie, die sich in ihrem Gesamtverlauf einer mehr oder weniger steigenden *Geraden* anschmiegt, welche letztere den Verlauf des *systematischen Fehlers* 2 f der gegenseitigen Messung ausdrückt. Wie man sieht, wächst dieser Fehler überall direkt mit der Entfernung, entspricht also einem *konstanten Winkelfehler*, wie es Herr Leemann für die Gruppen im Kanton Zürich bereits festgestellt hat. Es geht aus den verschiedenen Fehlerlinien ebenso deutlich hervor, daß die Größenordnung des Fehlers nicht für alle Instrumente dieselbe ist. Bei den Hildebrand'schen Theodoliten ändert der Fehler von 2",3 bis zu 12",5 (sex) und bei den Kern'schen Instrumenten von 0" bis 38",2 für die gegenseitige Visur; stets aber tritt der Fehler im *gleichen, positiven* Sinn auf. Das sind die Hauptmerkmale unserer Fehlerlinien.

Nebenbei bemerkt, beträgt der *mittlere Fehler* einer zweimaligen Höhenwinkelmessung für die einseitige Visur bei all diesen Triangulationen ziemlich gleichmäßig zirka $\pm 3'',5$ (sex).

Dieser charakteristische, systematische Winkelfehler kann nur hervorgerufen sein:

1. Unter gewissen Voraussetzungen durch einen persönlichen Zielfehler des Beobachters infolge der scheinbaren Dicke des Horizontalfadens.

2. Durch eine Veränderung der Ziellinie zwischen der Ablesung in Lage I und der Ablesung in Lage II des Fernrohrs.

Eine solche Veränderung der Ziellinie tritt ein:

- a) Wenn die Objektivlinse nicht solid gefaßt ist und sich infolge der eigenen Schwere beim Durchschlagen des Fernrohrs in der Fassung bewegt.
- b) Bei ungleicher Durchbiegung der Objektivseite und der Okularseite des Fernrohrs.
- c) Bei einer Durchbiegung des Horizontalfadens infolge des Eigengewichtes.
- d) Durch eine Bewegung des Fadenkörpers oder des ganzen Okularauszuges.

Es soll nun kurz untersucht werden, unter welchen besonderen Bedingungen und mit welcher Größenordnung die angegebenen Fehlerquellen in Betracht fallen können.

Ad 1. Wenn die Höhenwinkel nach Vorschrift gemessen werden, d. h. wenn die letzte Feineinstellung des Horizontalfadens auf Brettunterkante des Signals immer in drückendem Sinne der Höhenmikrometerschraube erfolgt, so ist ein systematischer Zielfehler infolge der scheinbaren Fadendicke ausgeschlossen. Zielt der Beobachter aber in Fernrohrlage I in drückendem Sinne der Schraube und in der Lage II in nachlassendem Sinne die Höhenmarke an, so kann er im schlimmsten Fall einen Maximalfehler begehen, der der Hälfte der scheinbaren Fadendicke entspricht. Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass die scheinbaren Fadendicken bei den Kern'schen Theodoliten 2—3" und bei den Hildebrand'schen ungefähr 5" betragen. Es könnte also im ungünstigsten Fall und bei konstanter Mißachtung der Vorschriften ein systematischer Zielfehler von $5'' : 2$, also 2",5 auf den Einfluß der scheinbaren Fadendicke zurückgeführt werden. Die bei den Triangulationen IV. Ordnung beschäftigten Trigonometrierer befolgen aber die geltenden Vorschriften gewissenhaft genug, daß ein solcher Fehlereinfluß schon aus diesem Grunde für unsere Arbeiten nicht in Betracht fällt.

Ad 2 a) In unserer Praxis sind schon vereinzelte Fälle vor-

gekommen, wo die Objektivlinse oder das Gewinde der Linsenfassung nicht absolut unbeweglich im Fernrohr befestigt war. Ein solcher Mangel äußert sich aber nicht durch einen systematischen Winkelfehler mit *positivem* Vorzeichen, wie in unsern graphisch dargestellten Fehlerlinien, sondern würde mit entgegengesetztem Vorzeichen, d. h. *negativ*, in Erscheinung treten. Unsere Fehler haben also ihren Grund nicht in der Beweglichkeit der Objektivlinse.

Ad 2 b) Wie weiter oben bemerkt, sind die in unsern Betrachtungskreis gezogenen Instrumente Einheitstypen. Die Theodolite desselben Fabrikanten zeigen unter sich absolut gleiche Dimensionen. Bei solchen gleichdimensionierten Röhren müßte eine Differenz in der Durchbiegung der beiden Fernrohrenden, wenn sie überhaupt meßbar in Erscheinung käme, für denselben Typ in *gleichbleibender Größe* auftreten. Das ist aber weder bei Kern noch bei Hildebrand der Fall, wie wir aus unsern Fehlerlinien entnehmen können, denn beim erstern Typ wechselt der Fehler von 0—38",2 und beim zweiten von 2",3—12",5. *Der systematische Fehler bei diesen Instrumenten kann also nicht unbedingt und nur in nebensächlichen Teilbeträgen auf Fernrohrdurchbiegung zurückgeführt werden.*

Ad 2 c) Bei unsern Triangulationstheodoliten werden ausschließlich Spinnenfäden für die Fadenkreuze verwendet. Bekanntlich sind Spinnenfäden stark hygroskopisch und es wäre denkbar, daß der Horizontalfaden bei besonders starker Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Atmosphäre sich infolge dieser Belastung nach unten durchbiegen könnte. Mit dem Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre müßte sich aber dieser fehlerhafte Zustand ändern, also bald verschwinden oder größer werden. Dann würde er sich aber nicht mehr als reiner systematischer Fehler von bestimmter Winkelgröße äußern. Zudem müßte eine Einsenkung des Horizontalfadens im Betrage von 19,1 (siehe Theodolit No. 20408 von Kern) beim Anzielen des geradlinigen Brettandes unbedingt auffallen, denn die scheinbare lineare Einbiegung würde ja bei einer Zielweite von 1 km für den genannten Fall schon 10 cm, also die Hälfte der Signalbretthöhe, betragen. Also auch diese Fehlerquelle ist nicht die Ursache unseres systematischen Fehlers.

Ad 2 d) Es verbleibt somit nur noch die Möglichkeit einer

Bewegung des Fadenkörpers oder des ganzen Okularauszuges beim Lagewechsel (Durchschlagen) des Fernrohres, die eine Veränderung der Ziellinie verursacht.

Systematische Höhenwinkelfehler bei Kern'schen Theodoliten.

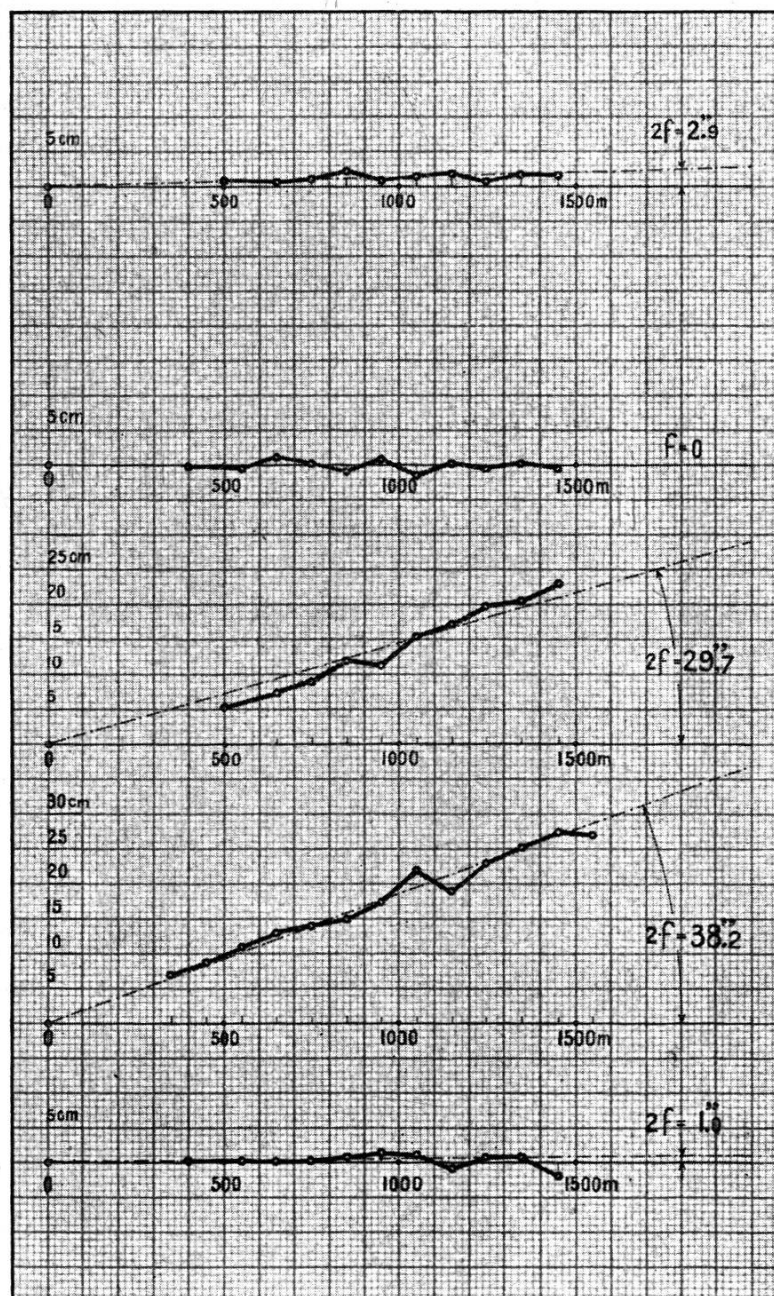
Theodolit No. 20 212
Sektion I
Appenzell I.-Rh.
483 Höhenunter-
schiede

Theodolit No. 20 670
Sektion Rorschach-
St. Margrethen
137 Höhenunter-
schiede

Theodolit No. 20 408
Sektion II Fribourg
291 Höhenunter-
schiede

Sektion IV Fribourg
erster Teil
109 Höhenunter-
schiede

Sektion IV Fribourg
zweiter Teil
145 Höhenunter-
schiede



In der Tat zeigt eine nähere Betrachtung der Führung des Okularauszuges bei beiden Instrumententypen, daß die Hauptursache des systematischen Höhenwinkelfehlers hier liegen muß. Die Kern'sche Konstruktionsart unterscheidet sich von der Hildebrand'schen insofern vorteilhaft, als die Federung stärker aus-

gebaut ist. Kern verwendet *zwei* Gegenfedern zur Führung des Okularauszuges, währenddem sich Hildebrand mit einer einzigen, verhältnismäßig schwachen Feder begnügt. (Siehe Figur.) Bei

Systematische Höhenwinkelfehler bei Hildebrand'schen Theodoliten.

Theodolit No. 11 291
Sektion Limmattal
199 Höhenunter-
schiede

Sektion Winterthur
385 Höhenunter-
schiede

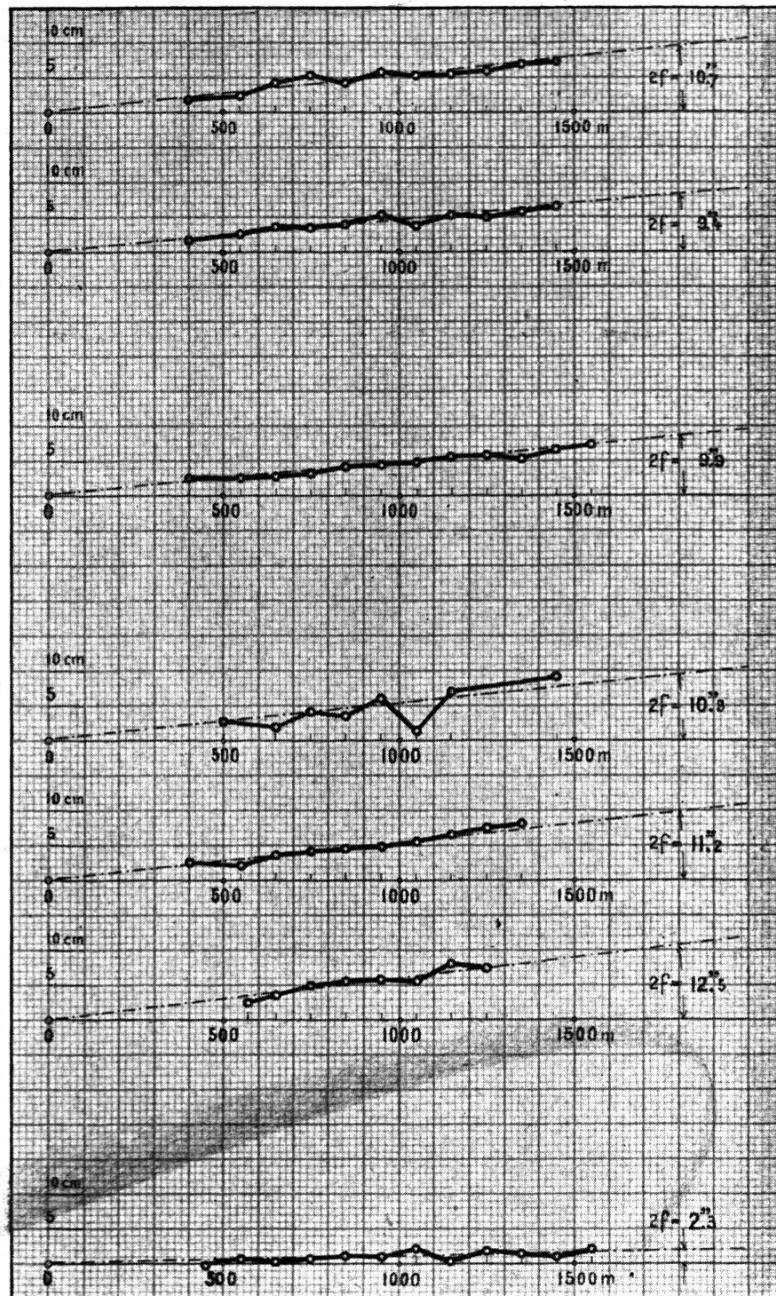
Theodolit No. 11 820
Sektion II Luzern
553 Höhenunter-
schiede

Theodolit No. 12 222
Sektion III
Appenzell I. Rh.
93 Höhenunter-
schiede

Sektion
Eschenbach (St. G.)
380 Höhenunter-
schiede

Sektion Wattwil
183 Höhenunter-
schiede

Theodolit No. 11 819
Sektion III Wallis
180 Höhenunter-
schiede



beiden Instrumententypen wird in Fernrohrlage I der Okularauszug durch sein Eigengewicht und durch die Gegenfedern gegen die feste Innenseite der Fernröhre angedrückt. In Lage II aber lastet er je nach der Konstruktion ganz oder zum Teil auf der Federung und hat Gelegenheit, sich im Hohlraum der Fern-

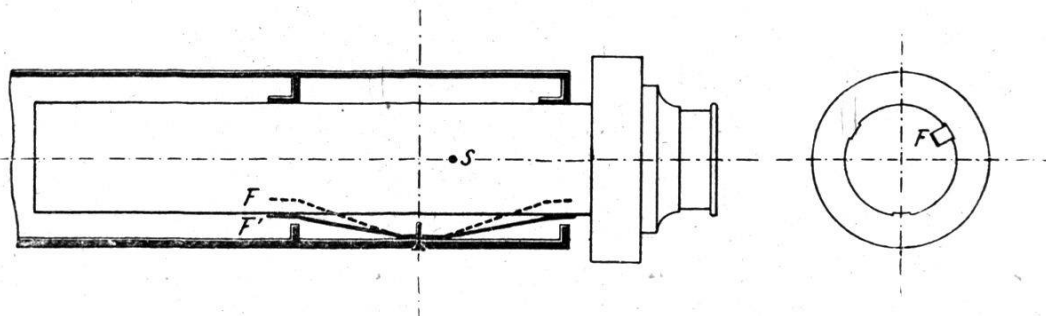
röhre einzusenken, wenn die Gegenfeder nicht kräftig genug ist, um diese Bewegung zu verhindern.

Zu dieser Ueberlegung führt uns die Betrachtung der Fehlerlinien des Theodoliten No. 20408 von Kern in den Sektionen Fribourg II und Fribourg IV erster Teil. Das Gewicht des Okularauszuges vermochte in diesen beiden Gruppen die zu schwachen Federn in Lage II des Fernrohrs so stark auszubiegen, daß für die einseitige Messung ein systematischer Fehler im Höhenwinkel von $14'',85$ bzw. $19'',10$ eintrat. Beim zweiten Teil der mit demselben Instrument gemessenen Gruppe IV wurden diese großen

Schematische Darstellung der Okularführung bei Hildebrand'schen Theodoliten.

Fernrohrlage II mit eingeschobenem Okular

Lage I ohne Okular



s = Schwerpunkt des Okularauszuges

Fehler bis auf den kleinen Rest von $0'',5$, praktisch genommen also ganz, zum Verschwinden gebracht, *indem die Federung einfach verstärkt wurde.*

Bei den Theodoliten von Hildebrand ist bei eingeschobener Okularröhre die Feder gegenüber ihrer freien Lage F um ungefähr drei mm in die Lage F^1 ausgebogen und wirkt durch diese Ausbiegung mit einer Federkraft von ungefähr 400 g gegen den Okularauszug, da eine Ausbiegung der Feder um 0,75 mm 100 g Gewicht benötigt. Wird nun das Fernrohr in Lage II gebracht, so braucht das Gewicht des Okularauszuges von dieser Gegenkraft nur 120 g auf. Man sollte also annehmen können, daß die überschüssigen 280 g die Okularröhre unverändert gegen die Innenwand des Fernrohrs andrücken würden. Das ist nun aber nicht der Fall.

Praktische Belastungsversuche des Okularauszuges haben nämlich ergeben, daß sich die Feder in Fernrohrlage II schon bei einer Mehrbelastung von nur 10 g noch weiter ausbog.

Diese Ausbiegung der Feder, bzw. Einsenkung der Okularröhre, wurde direkt durch das Fernrohr aus der Bewegung des Horizontalfadens auf einer feinen 0,5 mm Teilung abgelesen. Entsprechend größere Ausschläge zeigten sich bei zunehmender Mehrbelastung. Mit 50 und mehr Gramm konnte bei den Hildebrand'schen Theodoliten auch eine geringe Durchbiegung des Okularendes der Fernröhre wahrgenommen werden. Immerhin blieb diese Durchbiegung stets bedeutend kleiner als die reine Einsenkung des Okularauszuges.

Unsere Untersuchungen beweisen somit, daß der systematische Höhenwinkelfehler bei unseren mit Kern'schen oder Hildebrand'schen Theodoliten durchgeführten trigonometrischen Höhenmessungen hauptsächlich bei mangelhafter Führung des Okularauszuges auftritt. Durch richtige Dimensionierung und sinngemäße Verteilung der Federung am Okularauszug sollte sich dieser, bei konsequenter gegenseitiger Beobachtung allerdings unschädliche, aber dennoch lästige Fehler verhüten lassen. Die Verifikationsbehörde beabsichtigt, bei einigen Theodoliten die schwachen Federn der Okularauszüge durch stärkere zu ersetzen und hofft dadurch den Fehler auf ein annehmbares Maß beschränken zu können.

Zu den „kritischen Beiträgen“ über das Vermessungswerk Chur.

(Schluß.)

Ueber den folgenden Absatz des Artikels ist zu sagen, daß wir von vorneherein eine gute gegenseitige Verbindung der Dreieckspunkte im Gelände *nicht nur anstrebten, sondern auch durchführten*. Das ergeben auch die Verifikationsberichte. Auch Mehrkosten für Signalbauten und Freihieb von Visuren wurden keineswegs gescheut: So wurden auf drei Punkten 3—5 m hohe Beobachtungsgerüste erstellt, sowie zwei Dach- und Turmpunkte zu Meßstationen hergerichtet und auf dem Mittenberg allein wurden durch das Stadtforstamt mehr als 70 Tannen zur Oeffnung von Visuren gefällt. Das ist aber alles ganz unabhängig von diesen Gruppeneinschaltungen, aber auch ohne solche „kritische Beiträge“ geschehen. *Künstliche* Gruppeneinschaltungen sind weder gebildet noch gerechnet worden und es ist allge-