

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
Herausgeber:	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
Band:	42 (1944)
Heft:	12
Artikel:	Fehleruntersuchungen am topographischen Bussolenzug
Autor:	Staub, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-201845

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: 24.01.2026

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

SCHWEIZERISCHE
Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik

ORGAN DES SCHWEIZ. GEOMETERVEREINS

Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Kulturtechnik / Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie

Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES GÉOMÈTRES

Organe officiel de l'Association Suisse du Génie rural / Organe officiel de la Société Suisse de Photogrammétrie

Redaktion: Dr. h. c. C. F. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Ständ. Mitarbeiter für Kulturtechnik: E. RAMSER, Prof. für Kulturtechnik an der ETH.,
Freie Straße 72, Zürich

Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats

Expedition, Inseraten- und Abonnements-Annahme

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR AG., WINTERTHUR

No. 12 • XLII. Jahrgang

der „Schweizerischen Geometer-Zeitung“
Erscheinend am zweiten Dienstag jeden Monats

12. Dezember 1944

Inserate: 25 Cts. per einspalt. Millimeter-Zeile.
Bei Wiederholungen Rabatt gemäß spez. Tarif

Abonnements:

Schweiz Fr. 14.—, Ausland Fr. 18.— jährlich

Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaften für
Kulturtechnik u. Photogrammetrie Fr. 9.— jährl.

Unentgeltlich für Mitglieder des
Schweiz. Geometervereins

**Fehleruntersuchungen
am topographischen Bussolenzug**

bearbeitet von G. Staub, Grundbuchgeometer der
Eidg. Landestopographie

Die zunehmende Verlagerung der ergänzenden Meßtischarbeiten vom alpinen in das Voralpengebiet hat bei der Eidg. Landestopographie dazu geführt, daß in den letzten Jahren dem Bussolenzug erhöhte Bedeutung geschenkt werden mußte. Die Frage nach evtl. Erschließung größerer bewaldeter Gebiete durch kostspielige Polygonzüge trat in den Vordergrund. Mängels systematischer Abschlußnotierungen konnte bis heute eine Reihe diesbezüglicher Fragen nur gefühlsmäßig beurteilt werden. Als solche Fragen sind zu nennen:

1. In welchem Maße ersetzt der Bussolenzug fehlende polygonometrische Unterlagen?
2. Welches sind seine Leistungsgrenzen?
3. Ist der lineare Abschlußfehler ein eindeutiges Kriterium?
4. Läßt sich eine Toleranzformel für den Zugsabschluß aufstellen und für diverse Maßstäbe?
5. Instrumentelles: Könnte der Anwendungsbereich des Bussolenzuges durch instrumentelle Verbesserung dahin erweitert werden, daß auf Grund bestehender Fixpunktichte (Triangulation vierter Ordnung und Topopunkte) prinzipiell von der Polygonanlage mit Theodolit abgesehen werden könnte?

Mit der Unterstellung der Meßtischtopographie unter die verifikationspflichtige Materie der Grundbuchvermessung (Übersichtsplan ist integrierender Bestandteil der Grundbuchvermessung) ist es gegeben, eine Parallele zwischen diesen zwei Vermessungsarten zu ziehen hinsichtlich der Selbstkontrolle. Wir wissen, daß der komplizierte und längere Dauer erheischende Aufbau einer Grundbuchvermessung durch eine vorsorgliche Reihe interner Selbstkontrollen in Form von Toleranzen gesichert wird, so daß ein Unternehmer innerhalb gewisser Arbeitskategorien absolut in der Lage ist, sich über die richtige und genaue Ausführung des Auftrages Rechenschaft zu geben. In der Topographie hat bis anhin diese Kontrolle gefehlt; sie ist indessen beim Vorhandensein einer dichten Polygonanlage nicht sehr vonnöten, tritt aber überall da als Wunsch auf, wo größere Gebiete ohne Polygonierung erschlossen werden müssen.

Der Bussolenzug beruht, wie eine Reihe anderer Vermessungsoperationen, auf der Wiederholung gleicher Grundfunktionen. Die Summation der Fehler äußert sich im Zugsabschluß f . Ist der Fehler der Grundfunktion, z. B. die Lagebestimmung eines Einzelpunktes, gleich m , so wird bei n -maliger Aneinanderreihung

$$f = m \sqrt{n} \quad (1) \text{ oder } m = \frac{f}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Wir erinnern daran, daß eine Reihe von Bestimmungen mittlerer Meßfehler auf dieser Formel 2 beruht, z. B.:

bei der Dreieckswinkelmessung wird $m = \frac{2 R - \sum a}{\sqrt{3}}$

bei der Winkelmessung auf einer Station $m = \frac{4 R - \sum a}{\sqrt{n}}$

bei der Polygonwinkelmessung $m = \frac{\Delta \text{ Azimut} - \sum a}{\sqrt{n}}$

Treten wir deshalb an die Genauigkeitsuntersuchung des Bussolenzuges heran, so gilt es, aus einer Reihe von Zugsabschlüssen und dazugehöriger Seitenzahlen den mittleren Fehler m zu bestimmen. Die Grundfunktion, d. h. die Festlegung eines Kartenpunktes mit dem gut justierten Instrument, setzt sich ihrerseits wieder zusammen aus den Partialfehlern:

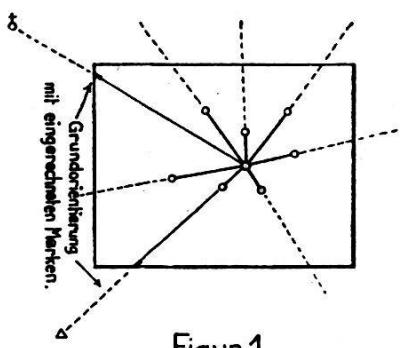
Kartierung mit Zirkel und Transversalmaßstab

Distanzmessung Reichenbach

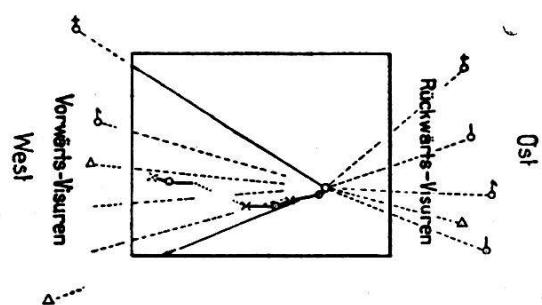
Bussolen-Unsicherheit.

Der Kartierungsfehler

Diesem Fehler galt ein Experiment, das die Sektion für Topographie im April 1942 durch 13 Beobachter durchführte. Für dessen Verständnis sei folgende Überlegung vorausgeschickt: Wir stationieren auf einem geodätisch bestimmten Punkt mit dem Meßtisch und orientieren denselben nach zwei entfernten Zielpunkten mit auf den Blattrand eingezeichneten Azimutmarken (siehe Fig. 1). Eine Reihe weit entfernter Hochpunkte, die nicht auf dem Zeichnungsblatte vorhanden sind, seien durch Winkelmessung in ihren Azimuten festgelegt. Ein Beobachter visiert nun der Reihe nach die Ziele mit dem Meßtischschaufel an und versieht jede Visur mit einer theoretischen Distanz, die er mit Parallel-Lineal, Zirkel und Transversalmaßstab festlegt.



Figur 1



Figur 2

Weitere Beobachter wiederholen diese Operation bei zeichnerisch versetztem Planzentrum und neuer Orientierung. Mit Hilfe der theoretischen Lagewerte aus Azimut und Distanz und der zugehörigen, am Koordinatographen abgelesenen Werte kann nun eine Bestimmung von mittleren Fehlern durchgeführt werden und zwar in bezug auf den Beobachter wie auf die Einzelfunktion. Die so ermittelten Fehlerwerte sind frei von Bussolen- und Distanzmeßfehlern.

Um nun den für den Bussolenzug charakteristischen Arbeitsvorgang, d. h. die sukzessive Aneinanderreihung von Planpunkten zu erreichen, wählen wir eine ostwärts liegende Zielpunktgruppe und bezeichnen sie als „Rückwärtsvisuren“. Eine westwärts liegende Gruppe liefert die „Vorwärtsvisuren“ (siehe Figur 2). Eine erste Plandistanz wird mit Hilfe der ersten Rückwärtsvisur an den Planausgangspunkt angeschlossen. Dann folgt in ungefährer Richtungsänderung um $2 R$ vermittelst erster Vorwärtsvisur der Auftrag des zweiten Zeichnungspunktes. Diese dem Feldgeschehen einer Zugsstation entsprechende Operation haben wir 14 mal wiederholt und damit eine Punktfolge über 28 verschiedene Distanzen erhalten.

Durch die sukzessive Verlagerung der Planpunkte nach Westen erleiden zwar die Zentrumssazimute eine leichte Verfälschung; es ist jedoch leicht einzusehen, daß diese kleinen Azimutänderungen für die Kartierung von Plandistanzen zwischen 1–15 mm ohne jeden praktischen Ein-

fluß bleiben. Sie erreichen den durch das Parallellineal bedingten Fehler bei weitem nicht. Diese Kartierung wurde durchgeführt

in 1 : 10 000 je einmal von 13 Beobachtern } mit „freiem Zirkelauftrag“
in 1 : 25 000 je einmal von 12 Beobachtern }

in 1 : 25 000 je einmal von 13 Beobachtern mit „bedingtem Zirkelauftrag“.

„Freien Zirkelauftrag“ nannten wir den Normalauftrag; „bedingten Zirkelauftrag“ dagegen denjenigen mit vorgezeichneter Bleistiftvisur, um die zu erwartenden Azimutfehler zu reduzieren. Als Beobachtungsstandpunkt wurde der große Beobachtungspfeiler der Landestopographie Wabern mit den

Koordinaten $y = + 983.18$; $x = - 2591.51$ gewählt.

Für einen Zug wurden im Durchschnitt 20 Minuten benötigt. Nach jedem Zugsauftrag wurde die generelle Richtigkeit der Operation mit einer Pauskopie des Sollzuges überprüft und die Wiederholung vom eventuell aufgetretenen Fehlpunkt an angeordnet (Ausschluß der groben Fehler).

Die 38 Zugsresultate sind alsdann am großen Koordinatographen Coradi festgelegt worden und zwar mit Einschluß sämtlicher Zwischenresultate. Die systematische Bildung von Beobachterwert-Sollwert lieferte uns drei Grundfehlertabellen mit total 2128 Werten Δx und Δy , auf deren Wiedergabe wir aus Reproduktionsgründen im Momente verzichten.

Die Reichhaltigkeit dieses Fehlermaterials hat alsdann den Schreibenden veranlaßt, die praktische und theoretische Untersuchung weiterzutreiben, als ursprünglich beabsichtigt war. Wie in der Praxis, so lag auch beim Experiment das Interesse jedes Beteiligten beim Zugsabschluß; unser Experiment und die Versuchsanordnung gestatten aber die interne Verfolgung jeder Zugs-Fehlerentwicklung, die über das Mittel der Endabschlüsse allein nie zu erhalten wäre. Dieses berechtigte Interesse am Zugsgeschehen hat uns denn auch praktisch zuerst beschäftigt. Um aber theoretischer Folgerichtigkeit Genüge zu tun, halten wir am Prinzip des Aufbaues „vom Kleinen zum Großen“ fest und zwar im Sinne folgenden Schemas:

1. Genauigkeitsuntersuchung des Detail-Distanzauftrages
2. Genauigkeit der Distanzmessung Reichenbach
3. Der Bussolenfehler
4. Der zusammengesetzte Fehler am Zug
5. Toleranzen
6. Schlußfolgerungen.

1. Genauigkeitsuntersuchung des Detail-Distanzauftrages

Auch ohne Hinweis auf unsere speziellen Fehlertabellen und ihre Anordnung ist es einleuchtend, daß die Genauigkeit jedes Einzeldistanz-

auftrages aus der Berechnung des bezüglichen mittleren Fehlers hervor-gehen muß. Es erhalten z. B. 13 Beobachter für den Auftrag der Distanz d_1 13 verschiedene Lageorte (siehe Fig. 7 in Tabelle „Fehler der Einzel-distanz“). Vermittelst dazugehöriger Δx und Δy kann diese Auftrags-streuung in beliebigem Maßstabe festgehalten und aufgetragen werden. Es wurde dies für sämtliche 28 Distanzen für beide Maßstabgruppen (1 : 10 000 und 1 : 25 000) ausgeführt. Jede zu einer Punktgruppe gehörige Detailseite d wurde zudem in ihrem speziellen Auftragsazimut beigefügt, damit die Ausscheidung der zwei Hauptfehler „Querabwei-chung“ und „Distanzabweichung“ ermöglicht; letztere selbst zerfallen wieder in den systematischen und unregelmäßigen Fehler (siehe Fig. 7). Die Tabellen „Mittlerer Fehler der Einzeldistanzen“, geordnet nach Distanzlängen, weisen deshalb die bezüglichen Fehlerkolonnen auf; die Figuren 7–10 demonstrieren nochmals ihre Bedeutung und die Art ihrer Berechnung.

Zu diesen obgenannten vier Fehlern haben wir noch einen fünften, den sogenannten „Streuungswinkel“ errechnet; es ist der Winkel, den die beiden Tangenten an die zwei extremen Streuungsgrenzen vom Auftrags-punkte aus bilden. Er berechnet sich nach der Formel

$$\alpha = \frac{b \cdot \rho'}{r} = \frac{Q_{\max} \cdot \rho'}{d}$$

Sodann wurde ein sechster Fehler, nämlich der *mittlere Linearfehler* be-stimmt nach der Formel

$$M \delta = \sqrt{\frac{\Delta x^2 + \Delta y^2}{13}}$$

Eine kritische Durchsicht der genannten Fehlerkolonnen in Tabelle „Mittlerer Fehler der Einzeldistanz“ zeitigt die folgenden Erkenntnisse:

- a) *Der Fehler des Detaildistanz-Auftrages ist unabhängig von der Länge (d. h. innerhalb 1–15 mm), es zeigt sich keine auffallende Konvergenz der Fehlerreihe.*
- b) Der Streuungswinkel muß sich also bei gleichbleibender Punktstreu-ung gemäß dem Distanzverhältnis verändern, was in der Kolonne α deutlich zum Ausdruck kommt. Besonderes Augenmerk verdient diese Kolonne in Tabelle 1 : 25 000, die Werte bis zu 248 aufweist. Es er-klärt sich daraus die Tatsache, daß beim Topographieren im kleinen Maßstab die „azimutale Versteifung“ weit stärker gefährdet ist, als im großen Maßstab. Bei langen Zügen über kurze Distanzen ist dies eine der größten Gefahrenquellen. Wie wir später sehen werden, ist dies in keiner Weise auf die Bussole, sondern ausschließlich auf die Kartie-rungsunsicherheit zurückzuführen. Der kartographische Grundfehler bleibt bestehen, aber die Planfläche schrumpft zusammen.

Mittlerer Fehler der Einzeldistanzen.

1:10000

D-Nr.	Dm	M _q	M ₀	Syst. unrm.	M _q	M ₀	Syst. unrm.	Str. Winkel	Mitt. Linearfehler	D _{in} %
0-1	42.75	-0.01	0.30	+0.02	0.81	1.42	0.80	2.0		
20-21	43.25	+0.20	0.79	+0.19	0.61	5.59	1.13	2.6		
25-27	51.30	+0.05	0.45	-0.25	0.74	2.05	0.87	1.7		
17-18	51.70	-0.27	0.44	-0.42	0.78	1.98	1.00	1.9		
7-8	57.30	+0.05	0.67	+0.14	0.69	2.99	0.96	1.7		
1-2	61.20	-0.09	0.59	-0.33	0.77	2.29	0.98	1.6		
12-13	68.75	+0.29	0.52	+0.11	0.61	1.85	0.83	1.2		
18-19	72.50	-0.15	0.42	-0.09	0.65	1.27	0.93	1.3		
16-17	80.70	+0.18	0.71	+0.35	0.95	1.74	1.19	1.5		
8-9	86.90	+0.15	0.78	-0.26	0.60	2.05	0.99	1.1		
14-15	101.50	-0.18	0.48	+0.05	0.83	0.96	1.00	1.1		
15-16	153.70	-0.13	0.48	-0.31	0.98	0.59	1.10	0.7		

1:25000

D-Nr.	Dm	M _q	M ₀	Syst. unrm.	M _q	M ₀	Syst. unrm.	Str. Winkel	Mitt. Linearfehler	D _{in} %
3-4	18.75	-0.03	±0.68	-0.15	±0.62	79.46	1.24 ^m	6.6	18.75	+0.022
25-26	21.70	-0.16	0.60	-0.10	0.53	5.00	0.80	3.7	25-26	21.70
11-12	22.80	-0.15	0.58	-0.22	1.07	5.17	1.28	5.6	11-12	22.80
21-22	24.25	+0.01	0.96	+0.06	0.85	10.03	1.20	5.0	21-22	24.25
4-5	25.63	-0.11	0.67	+0.03	0.95	5.60	1.00	4.3	4-5	25.63
27-28	27.80	-0.12	0.50	-0.02	0.58	4.51	0.75	2.7	27-28	27.80
2-3	28.82	+0.07	0.57	+0.24	0.48	4.20	0.68	2.4	2-3	28.82
19-20	29.75	-0.10	0.58	-0.03	0.56	4.39	0.79	2.7	19-20	29.75
9-10	29.90	-0.07	0.56	+0.06	0.93	4.26	1.05	3.5	9-10	29.90
13-14	31.70	-0.02	0.55	-0.17	0.82	3.83	0.85	3.0	13-14	31.70
23-24	31.90	-0.09	0.43	-0.17	0.44	2.90	0.68	2.1	23-24	31.90
5-6	32.15	-0.05	0.41	-0.05	0.68	2.57	0.83	2.6	5-6	32.15
10-11	37.80	+0.20	1.01	+0.26	0.90	6.15	1.34	3.5	10-11	37.80
22-23	39.42	+0.07	0.69	+0.03	0.69	4.37	0.96	2.5	22-23	39.42
6-7	39.70	-0.02	0.36	+0.44	0.72	2.24	1.16	3.0	6-7	39.70
24-25	40.30	+0.28	0.59	+0.01	0.49	3.41	0.88	2.1	24-25	40.30
0-1	42.75	-0.01	0.30	+0.02	0.81	1.42	0.80	2.0	0-1	42.75
20-21	43.25	+0.20	0.79	+0.19	0.61	5.59	1.13	2.6	20-21	43.25
26-27	51.30	+0.05	0.45	-0.25	0.74	2.05	0.87	1.7	26-27	51.30
17-18	51.70	-0.27	0.44	-0.42	0.78	1.98	1.00	1.9	17-18	51.70
7-8	57.30	+0.05	0.67	+0.14	0.69	2.99	0.96	1.7	7-8	57.30
1-2	61.20	-0.09	0.59	-0.33	0.77	2.29	0.98	1.6	1-2	61.20
12-13	68.75	+0.29	0.52	+0.11	0.61	1.85	0.83	1.2	12-13	68.75
18-19	72.50	-0.15	0.42	-0.09	0.65	1.27	0.93	1.3	18-19	72.50
16-17	80.70	+0.18	0.71	+0.35	0.95	1.74	1.19	1.5	16-17	80.70
8-9	86.90	+0.15	0.78	-0.26	0.60	2.05	0.99	1.1	8-9	86.90
14-15	101.50	-0.18	0.48	+0.05	0.83	0.96	1.00	1.1	14-15	101.50
15-16	153.70	-0.13	0.48	-0.31	0.98	0.59	1.10	0.7	15-16	153.70

D-Nr.	Dm	M _q	M ₀	Syst. unrm.	M _q	M ₀	Syst. unrm.	Str. Winkel	Mitt. Linearfehler	D _{in} %
3-4	18.75	-0.03	±0.68	-0.15	±0.62	79.46	1.24 ^m	6.6	3-4	18.75
25-26	21.70	-0.16	0.60	-0.10	0.53	5.00	0.80	3.7	25-26	21.70
11-12	22.80	-0.15	0.58	-0.22	1.07	5.17	1.28	5.6	11-12	22.80
21-22	24.25	+0.01	0.96	+0.06	0.85	10.03	1.20	5.0	21-22	24.25
4-5	25.63	-0.11	0.67	+0.03	0.95	5.60	1.00	4.3	4-5	25.63
27-28	27.80	-0.12	0.50	-0.02	0.58	4.51	0.75	2.7	27-28	27.80
2-3	28.82	+0.07	0.57	+0.24	0.48	4.20	0.68	2.4	2-3	28.82
19-20	29.75	-0.10	0.58	-0.03	0.56	4.39	0.79	2.7	19-20	29.75
9-10	29.90	-0.07	0.56	+0.06	0.93	4.26	1.05	3.5	9-10	29.90
13-14	31.70	-0.02	0.55	-0.17	0.82	3.83	0.85	3.0	13-14	31.70
23-24	31.90	-0.09	0.43	-0.17	0.44	2.90	0.68	2.1	23-24	31.90
5-6	32.15	-0.05	0.41	-0.05	0.68	2.57	0.83	2.6	5-6	32.15
10-11	37.80	+0.20	1.01	+0.26	0.90	6.15	1.34	3.5	10-11	37.80
22-23	39.42	+0.07	0.69	+0.03	0.69	4.37	0.96	2.5	22-23	39.42
6-7	39.70	-0.02	0.36	+0.44	0.72	2.24	1.16	3.0	6-7	39.70
24-25	40.30	+0.28	0.59	+0.01	0.49	3.41	0.88	2.1	24-25	40.30
0-1	42.75	-0.01	0.30	+0.02	0.81	1.42	0.80	2.0	0-1	42.75
20-21	43.25	+0.20	0.79	+0.19	0.61	5.59	1.13	2.6	20-21	43.25
26-27	51.30	+0.05	0.45	-0.25	0.74	2.05	0.87	1.7	26-27	51.30
17-18	51.70	-0.27	0.44	-0.42	0.78	1.98	1.00	1.9	17-18	51.70
7-8	57.30	+0.05	0.67	+0.14	0.69	2.99	0.96	1.7	7-8	57.30
1-2	61.20	-0.09	0.59	-0.33	0.77	2.29	0.98	1.6	1-2	61.20
12-13	68.75	+0.29	0.52	+0.11	0.61	1.85	0.83	1.2	12-13	68.75
18-19	72.50	-0.15	0.42	-0.09	0.65	1.27	0.93	1.3	18-19	72.50
16-17	80.70	+0.18	0.71	+0.35	0.95	1.74	1.19	1.5	16-17	80.70
8-9	86.90	+0.15	0.78	-0.26	0.60	2.05	0.99	1.1	8-9	86.90
14-15	101.50	-0.18	0.48	+0.05	0.83	0.96	1.00	1.1	14-15	101.50
15-16	153.70	-0.13	0.48	-0.31	0.98	0.59	1.10	0.7	15-16	153.70

- c) Aus sämtlichen Punktgruppen ergeben sich für die linearen Abweichungen die Werte

$$1 : 10\,000 \quad \underline{\underline{M \delta}} = \sqrt{\frac{364}{364}} = 1,0^m = \underline{\underline{0,10 \text{ mm}}}$$

$$1 : 25\,000 \quad \underline{\underline{M \delta}} = \sqrt{\frac{2164}{331}} = 2,54^m (: 2,5) = \underline{\underline{0,10 \text{ mm}}}$$

Es ist dies die eklatante Bestätigung des unter a) Gesagten. Der mittlere Fehler einer mit Zirkel und Transversalmaßstab aufgetragenen Plandistanz ist (für Werte von 0,8–15 mm) gleichbleibend und gleich $\pm 0,10 \text{ mm}$.

2. Die Reichenbachsche Distanzmessung

Daß sich diese alte, aber außerordentlich einfache Distanzmessung mit vertikaler Latte bis heute in der Topographie zu behaupten vermöchte, ist dem Umstände zuzuschreiben, daß sich ihre Fehler im Maßstabsverhältnis verkleinern. Es hätte indessen keinen großen Sinn, für unsere Zwecke, d. h. zur Erreichung eines bezüglichen Genauigkeitswertes, eigene umfassende Untersuchungen anzustellen. Eine Reihe prominenter Fachmänner haben schon vor der Jahrhundertwende diese Frage abgeklärt, und wir beschränken uns darauf, einige interessante Resultate und Formeln wiederzugeben.

Jordan gibt leicht variable Prozentsätze für diverse Distanzen

Entfernung D	10	50	100	200	300 m
Fehler in %	0.15	0.19	0.23	0.31	0.40

Egger gibt in Zeitschrift für Vermessungswesen 1911 die Formel

$$\lambda \text{ mm} = 0.0292 \cdot t + 0.13 \cdot \frac{Z}{V}$$

$$Hohenner \quad \lambda \text{ mm} = 0.2 + 0.019 \cdot t \cdot \frac{Z}{V}$$

λ = mittl. Ablesefehler d. Interpol. Fadens

t = Lattenintervall in mm

Z = Zielweite

V = Vergrößerung des Fernrohres.

Interessehalber führen wir an, daß Dr. Reinhertz schon 1894 den Einfluß des Interpolations-Intervalls untersucht hat. Ist der mittlere Fehler für die Ablesung an der 1 cm-Latte = a , so ist derjenige an der 5 cm-Latte ($L + T$) gleich $a\sqrt{5}$.

Ein kurzer Versuch mit den 13 Beobachtern der Landestopographie und die Auswertung der obgenannten Formeln mit den Daten der Landestopographie-Ausrüstung ergab

Landestopographie	0,35 %
Jordan	0,42 % im Mittel $0,42 \%$, d. h. genau
Hohenner	0,60 % mit Jordan übereinstimmend.
Egger	0,30 %

Dieser Mittelwert von 0,42 % entspricht nun jedenfalls noch nicht den bei der Topographie vorliegenden Verhältnissen, indem die Topolatte vorwiegend von freier Hand gehalten wird; die Untersuchungen hingegen basieren auf verstrebten Latten. Wir glauben, mit einem gefühlsmäßigen Zuschlag von + 0,30 % diese zusätzliche Unsicherheit bewerten zu dürfen, so daß wir zu einem mittleren Ablesefehler $M_d = \pm 0,70 \%$ gelangen, den wir für unsere weiteren Überlegungen verwenden. Diesen Ablesefehler in Formel $M_Z = m \sqrt{n}$ eingesetzt, ergibt in verschiedenen Maßstäben für $D = 1 \text{ km}$, $d = 50 \text{ m}$ folgendes:

1 : 5 000	$M_Z = 0,35 \sqrt{20} = 1,56$	Feldmeter = 0,312 Plan mm = 104 % d. Tol.
1 : 10 000	= 1,56	„ = 0,161 „ mm = 52 % d. Tol.
1 : 25 000	= 1,56	„ = 0,06 „ mm = 20 % d. Tol.

Wir erkennen also, daß es in den Übersichtsplanmaßstäben recht vorsichtig zu operieren gilt, wenn die Distanzmessung nicht zu ungenügenden Resultaten führen soll. Tritt hier noch eine unrichtige Lattenhaltung dazu, die sich bei dejustiertem Niveau als konstanter Fehler bemerkbar macht, so ergeben sich schnell unbrauchbare Resultate. Wir haben deshalb die *Formel für den Einfluß der Lattenschiefe*

$$\Delta D = \pm D \left(\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta \mp 2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \right)$$

für vor- und rückwärtsgeneigte Latte in eine Tabelle umgesetzt (Fig. 13). Dieser entnehmen wir z. B., daß sich eine Distanz bei 35° Terrainneigung und 10 cm Abweichung der 4 m-Latte von der Vertikalen um 1,6 % verfälscht; die 100 m-Distanz wird allein dadurch im Maßstab 1 : 5000 in *einem* Auftrag um den Toleranzbetrag von 0,3 mm verfälscht.

Das Halten der Latte von freier Hand ist in den Übersichtsplanmaßstäben, zumindest in steilerem Terrain, eine Gefahrenquelle; die einfache Verstrebung mit einem Stock (in entgegengesetzter Visurrichtung) ist angezeigt.

3. Der Bussolenfehler

Für den Bussolenzug spielt die Genauigkeit einer Meßtischorientierung ungefähr die gleiche Rolle wie diejenige eines gemessenen Winkels im Polygonzug. Die primäre Frage für das Fehlergeschehen am Zug, hervorgehend aus der Bussolenorientierung ist also:

„Welches ist der mittlere Fehler einer einzelnen Bussoleneinstellung, ausgedrückt im Winkelmaß?“

Für unsere gangbaren Meßtische hat sich innerhalb der letzten zehn Jahre ein ungefährer Einheits-Bussolentypus herausgebildet mit ca. 15 cm langer Nadel und vertikal gelagerter Schmalseite. Nach einer grundsätzlichen Versuchsanordnung haben wir 36 Bussolen der Landestopographie untersucht. An einem für variable magnetische Einflüsse unempfindlichen Ort wurde ein Meßtisch aufgestellt und horizontiert, sowie in der Distanz von 63,66 m ($\rho \vartheta$) eine horizontale Latte fixiert. Einem durch Drehen des Tisches beobachteten Lattenabschnitt in cm entspricht dann dieselbe Abzahl Winkelminuten (n. T.) des Drehungswinkels. Bei gleichbleibender Lage von aufgesetztem Fernrohr und Bussole wurden dann 20 Nadeleinschwingungen mit ihren zugehörigen Ablesungen an der Latte gemacht und hieraus der mittlere Ablesefehler, bzw. der Einstellfehler der Bussole errechnet. Die Resultate waren folgende:

- a) *Die mittleren Fehler der 36 untersuchten Bussolen bewegen sich zwischen den Werten 3.'2 und 14.'0. Die Qualitätsschwankungen selbst innerhalb desselben Bussolentypus sind also ganz erhebliche, und es läßt sich deshalb die Forderung ableiten, diesem Fehler bei erster praktischer Verwendung einer Bussole eine bezügliche Untersuchung zu widmen.*
- b) *Als Mittelwert einer guten Topographenbussole kann der Angabewinkel von 6' für eine Einstellung betrachtet werden. Der dazugehörige Ausschlag auf 1 km ist alsdann 1 m (genau bei 6.'4).*
- c) *Es passiert jedem Topographen, daß er zu gewissen Zeiten das Vertrauen zu seiner Bussole verliert und sich frägt, ob gewisse Zugsausschläge auf das Konto grober Mißweisungen oder auf dasjenige der Bussolen-„Unempfindlichkeit“ zurückzuführen seien. Gegen grobe Mißweisungen ist bekanntlich keine Theorie und kein Kraut gewachsen, aber die innere Empfindlichkeit der Bussole bleibt dennoch bestehen. Liegt jedoch eine beschädigte Auflagerspitze vor oder eine schlecht ausbalancierte Nadel mit touchierendem Ende, so kommt dies durch das besprochene Experiment klar zum Ausdruck.*
- d) *Der lineare Fehler am Zug, hervorgehend aus dem Bussolenfehler, errechnet sich nach der Formel $f_b = m \sqrt{n}$, wobei m = Linearbetrag für eine Meßtischorientierung mit zugehöriger doppelter Durchschnittsseitenlänge und n = Anzahl der Stationen. Für $2 d = 100$ m wird $m = 0,1$ m. Für den Zug von 1 km würde demnach $f_b = 0,1 \sqrt{10} = 0,33$ m = 0,03 mm = $1/10$ der Toleranz (1 : 10 000) = $1/25$ der Toleranz (1 : 25 000).*

Die Umkehrung der Formel löst die Frage:

„Welche Bussolengenauigkeit würde genügen, um die Zugtoleranzen in verschiedenen Maßstäben innezuhalten?“ (Z. B. für $D = 1000$ m, $d = 50$ m)

$$1 : 5000 f_b < 0,3 \text{ mm} = 1,5 \text{ Feldmeter} = \frac{2 d \cdot \alpha \cdot \sqrt{10}}{\rho}$$

$$\alpha = \frac{\rho \cdot 1,5}{2 d \cdot \sqrt{10}} = 30^\circ$$

$$1 : 10\,000 = 3,0 \text{ Feldmeter} =$$

$$\alpha = \frac{\rho \cdot 3,0}{100 \cdot \sqrt{10}} = 59^\circ$$

$$1 : 25\,000 = 7,5 \text{ Feldmeter} =$$

$$\alpha = \frac{\rho \cdot 7,5}{100 \cdot \sqrt{10}} = 151^\circ$$

$$1 : 50\,000 = 15 \text{ Feldmeter} =$$

$$\alpha = \frac{\rho \cdot 15,0}{100 \cdot \sqrt{10}} = 304^\circ$$

Wir sehen also, daß die von Mißweisungen unbekelligte Bussole den Forde-rungen der Zugsanlage weitgehend genügt. Weder interne Schwankungen von Instrument zu Instrument noch diejenigen des Tages haben einen bemerkenswerten Einfluß auf das Zugsresultat.

4. Der zusammengesetzte Fehler am Zug

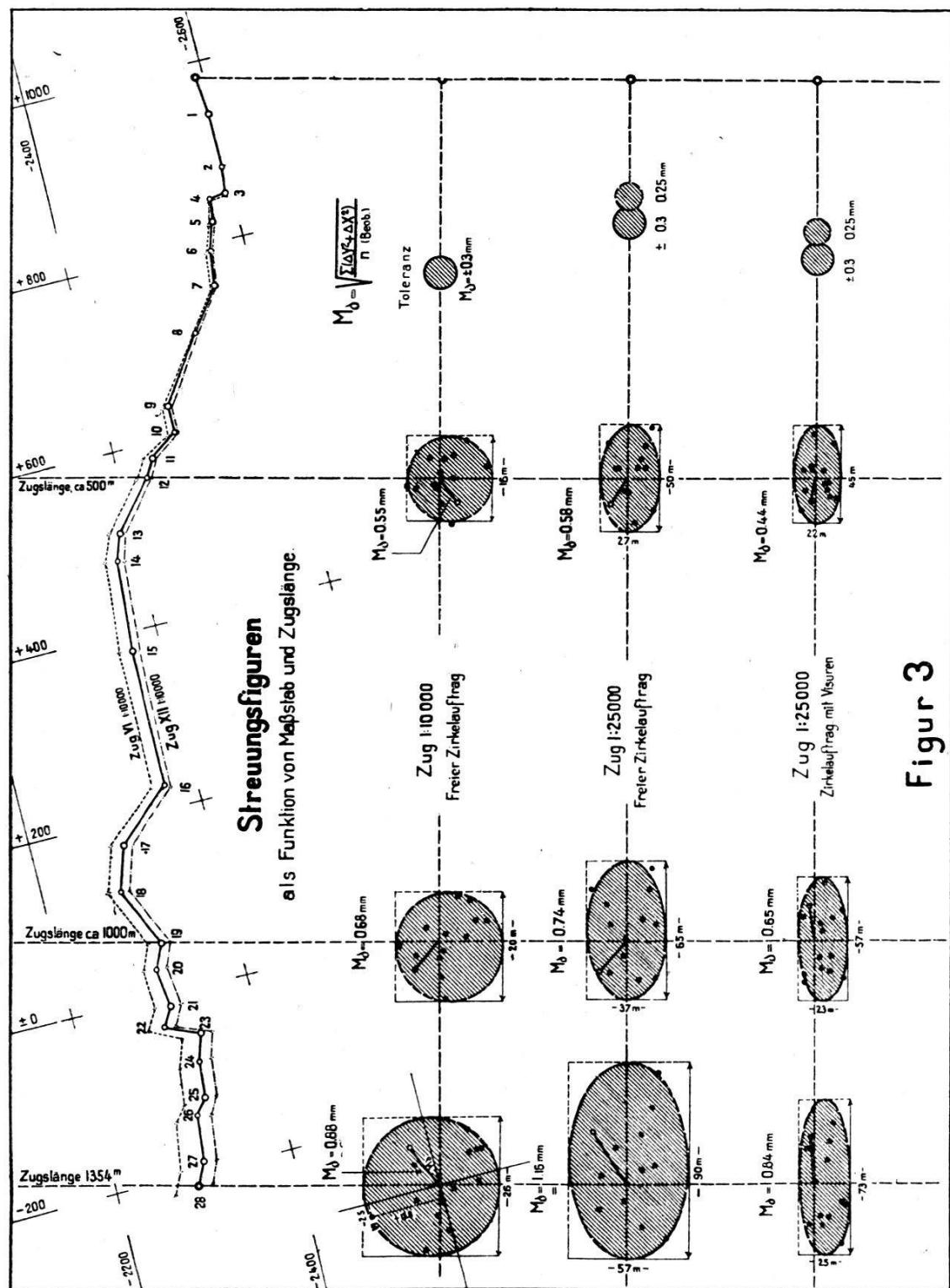
Aus der Untersuchung des Detaildistanzauftrages ging zweimal übereinstimmend hervor:

$$M_k = \pm 0,10 \text{ Plan mm.}$$

Es war nun überaus interessant, an Hand unseres graphischen Experi-mentes das Verhalten unserer Züge hinsichtlich der theoretischen Formel $F_{\text{zug}} = M_k \sqrt{n}$ zu verfolgen.

Eine vorläufige, von jeder mittleren Fehlerberechnung losgelöste Betrachtung der Zugs-Fehlerreihen ergab folgenden Überblick:

- Die Tendenz der Zugsabschlüsse ist individuell, und zwar so, daß ein und derselbe Beobachter ungefähr in den gleichen Quadranten abweicht.
- Die Endresultate sämtlicher Züge gruppieren sich ohne spezielle Verlagerung um den Sollpunkt; es tritt – mit leichter Ausnahme für



Figur 3

- den „bedingten Punktauftrag“ – keine systematische Verlagerung auf (siehe Fig. 5, Streuungsfiguren und nähere Untersuchung unter d).
- c) Schon die rein okulare Betrachtung der einzelnen Fehlerreihen deckt uns hingegen Abweichungen in der Zugssystematik auf; die innern Schwankungen treten zutage.
- d) Die Frage nach dem Grenzwert des „verlorenen Zuges“, d. h. des leeren, nur einseitigen, unausgeglichenen, erhält eine erste praktische Beantwortung. In jedem Zuge ist feststellbar, wo der lineare Toleranzwert von $\pm 0,3$ Plan-Millimetern erreicht wird.

Der Ort dieses Grenzwertes $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ ist außerordentlich verschieden. Für Beobachter I z. B. liegt er beim zwölften Zugspunkt, bei Beobachter II beim siebenten usw.; das Mittel liegt bei neun Detaildistanzen oder 4–5 Stationen. Es heißt dies:

Ein „verlorener Zug“ erreicht in 1 : 10 000 schon allein durch die Auftragsungenauigkeit den Toleranzwert von $\pm 0,3$ mm bei 8–9 aufgetragenen Detaildistanzen.

Im Maßstab 1 : 25 000 wird der Toleranzwert von 0,25 mm schon bei 4–5 gestochenen Punkten erreicht.

Dieselbe Abklärung kann aber auch über den *mittleren Linearfehler* erfolgen. Sie steht zweifellos in besserem Einklang mit dem Begriffe des mittleren Fehlers der Toleranzformel. Wird ein Situationsobjekt durch 13 unabhängige Bussolenzüge bestimmt, so entstehen die Linearabweichungen $\delta_1 - \delta_{13}$. Sie, bzw. ihre Werte Δx und Δy werden unsren Fehlertabellen entnommen. Der mittlere Wert der Linearabweichungen in ein und demselben Zugspunkte ist dann

$$M_\delta = \sqrt{\frac{\sum (\Delta y^2) + \sum (\Delta x^2)}{13}}$$

Selbstverständlich ist hier der Ort, um die Frage der systematischen Verlagerung des Punktbüsches zu erörtern. Die Untersuchung ist am aufschlußreichsten in den Schluß-Streuungen, d. h. am Ende des Zuges. Wir haben zu diesem Zwecke die Zugsabschlüsse vermittelst ihrer Δx und Δy graphisch aufgetragen und in das Auftragszentrum die allgemeine Zugsrichtung gezogen. In genauer Analogie zur Untersuchung der Einzeldistanz (siehe Fig. 7) wurde alsdann der systematische Quer- und Längsfehler und hierauf der mittlere Linearfehler berechnet.

Es ergab sich in Plan-Millimetern:

		M_Q syst.	M_D syst.	M_δ	M_δ'
frei	1 : 10 000	— 0,60	+ 0,18	0,81	0,88
	1 : 25 000	— 0,41	+ 0,72	1,08	1,13
bedingt	1 : 25 000	— 0,03	+ 0,55	0,81	0,84

M_δ' bedeutet den ohne Ausschaltung der Systematik, d. h. direkt aus den ursprünglichen Δx und Δy errechneten Wert.

Mit Rücksicht auf die prinzipielle „Größenordnung“ der untersuchten Elemente und auf die Genauigkeit des verwendeten Kontrollinstrumentes (großer Coradi-Koordinatograph), haben wir in den folgenden, den Wert $M\delta$ enthaltenden Rechnungen nurmehr den etwas größeren von $M\delta'$ verwendet, deshalb auch die hiefür angegebene Formel. Die Untersuchung der Toleranzzonen ergab:

$$\text{In } 1 : 10\,000 \quad M_6' = \sqrt{\frac{100 \cdot 0}{13}} = 0,28 \text{ mm} \quad M_7 = \sqrt{\frac{1458}{13}} = 0,33 \text{ mm}$$

$$\text{In } 1 : 25\,000 \quad M_3 = \sqrt{\frac{417 \cdot 4}{12}} = 5,90 : 2,5 \quad M_4 = \sqrt{\frac{518 \cdot 2}{12}} = 6,58 : 2,5 \\ = 0,24 \text{ Plan-mm} \quad = 0,26 \text{ Plan-mm}$$

Wird die Gefahrenzone, d. h. der Ort des zu erwartenden Toleranzwertes auf der Basis des mittleren Linearwertes berechnet, so liegt er in $1 : 10\,000$ bei ca. 6–7 aufgetragenen Distanzen, in $1 : 25\,000$ bei ca. 3–4 aufgetragenen Distanzen.

Wir nehmen aber als Norm an, daß bei der Erschließung größerer Aufnahmegeriete die grundlegenden Züge ausgeglichen werden; daß es sich dabei nicht nur um das „ausgleichen“ auf zwei sich begegnenden Aufnahmestationen handeln kann, liegt auf der Hand. Unser Fehlermaterial hat nun den Schreibenden angeregt, das Maß der Verbesserung festzustellen, das den einzelnen Zügen durch seriöse *rechnerische* Ausgleichung widerfährt. Jeder graphisch erhaltene Zugsabschluß wurde im zugehörigen Zuge proportional verteilt und getilgt. Da wir die Soll-Lagewerte der Zwischenpunkte kennen, ergeben sich auch die *restierenden Fehler δ' nach der Ausgleichung*. Ebenso verständlich ist es, daß wir den Mittelwert dieser Restfehler pro Zug und Beobachter errechnen können; er gibt uns sogar ein besseres Kriterium für den technischen Wert ausgeführter Funktionen als die systematischen Fehlerbeträge; letztere werden weitgehend durch die Ausgleichung getilgt, der erstere nicht. Wir versagen uns die Wiedergabe der einzelnen Zugsresultate und führen dafür den errechneten Gesamtrestfehler an für

$$1 : 10\,000 \quad \delta' = \sqrt{\frac{1493,1}{364}} = 2,0 \text{ m} = 0,20 \text{ Plan-mm} = 67\% \text{ der Toleranz}$$

$$1 : 25\,000 \quad \delta' = \sqrt{\frac{8400}{336}} = 5,0 \text{ m} = 0,20 \text{ Plan-mm} = 67\% \text{ der Toleranz} \\ \text{von } 0,3 \text{ mm} \\ (\text{: } 2,5) \quad \text{oder} \quad 84\% \text{ der Toleranz} \\ \text{von } 0,25 \text{ mm}$$

Diese Resultate besagen uns, daß selbst dem seriös ausgeglichenen Zuge noch eine verhältnismäßig große Unsicherheit anhaftet, wir müssen aber vorwegnehmen, daß dieser ungünstige Eindruck beim langen Zug

(28 Distanzen) vorwiegt, jedoch eine Verbesserung zugunsten des kleineren eintritt. Bei einigen von unsren Zügen läßt sich das Abschwenken von einer ursprünglich eingeschlagenen Fehlertendenz feststellen; sie kann rückläufig werden, zu gutem Abschluß führen, was dann die Nichttilgung der trotzdem vorgekommenen Fehler zur Folge hat. Dann tut sich uns wieder einmal die Erkenntnis auf, daß wir uns gerne bei den „auf Heller und Pfennig“ stimmenden Abschlüssen kleinerer und größerer Ausgleichsrechnungen täuschen lassen. Wie manches „Nichtstimmen“ eingeschalteter nachträglicher Verbindungen, bezügliches hartes Kopfzerbrechen, wenn nicht gar Nachmessen, läßt sich auf solche Erscheinungen zurückführen.

Die in Fig. 3 konstruierten Streuungsfiguren, noch mehr aber die errechneten mittleren Linearfehler M_δ erlauben uns eine sehr interessante *Kritik an der Zugsformel* $f = m \sqrt{n}$. Auf Grund des errechneten kartographischen Fehlers $M = \pm 0,1$ mm müßte der Linearfehler von 13 Beobachtern, erreicht nach 12, 19, 28 Distanzen sein:

$$\begin{array}{lll} n = 12 & f = 0,10 \sqrt{12} = 0,35 \text{ m}, & \text{er zeigt aber} \\ 19 & 0,10 \sqrt{19} = 0,43 & \text{die Werte} \\ 28 & 0,10 \sqrt{28} = 0,53 & \text{siehe Fig. 3 } M_\delta \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{lll} 0,55 & 0,58 & 0,44 \\ 0,68 & 0,74 & 0,65 \\ 0,88 & 1,16 & 0,84 \end{array} \right.$$

Diese Divergenzen bestimmten den Verfasser, die M_k für jeden zweiten Zugspunkt zu berechnen nach der Formel $M_k = \frac{M_\delta}{\sqrt{n}}$. Die folgenden Tabellen und Fig. 11 veranschaulichen die erhaltenen Resultate.

1:10 000														
n:	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Zugsfehler m	1.34	1.87	2.77	3.74	4.66	5.48	6.03	5.82	6.82	7.04	7.35	7.72	8.24	8.75
$M_k - \frac{m}{\sqrt{n}}$	0.094	0.093	0.113	0.132	0.147	0.158	0.161	0.145	0.161	0.157	0.157	0.157	0.161	0.161

1:25000														
m (F'meter)	4.21	6.98	8.68	10.58	12.93	14.60	17.44	18.82	20.33	22.32	23.7	25.2	27.2	29.1
m' (Pl'mm)	1.68	2.79	3.47	4.24	5.18	5.84	6.98	7.53	8.14	8.94	9.49	10.07	10.84	11.65
$M_k - \frac{m'}{\sqrt{n}}$	0.119	0.140	0.142	0.150	0.164	0.169	0.187	0.188	0.192	0.200	0.202	0.206	0.212	0.221

Wir konstatieren, daß sich in den Kolonnen M_k eine interessante innere Entwicklung zeigt; die Werte aufgetragen, ergeben in Figur 11 neue Fehlerkurven und wir erkennen:

1. *Der ursprüngliche Grundfehler m_k wirkt sich im Zuge nicht als Konstante, sondern als leicht Variable aus*

$$(0.093 - 0.161 \text{ in } 1:10\,000)$$

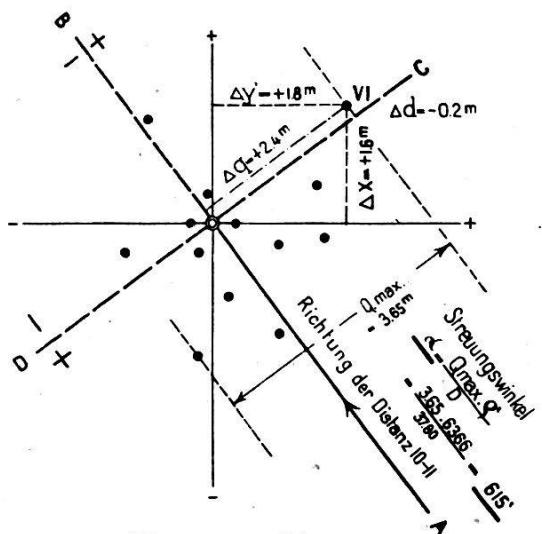
$$(0.119 - 0.221 \text{ in } 1:25\,000)$$

Fehler der Einzeldistanz.

Punkt 10, Δy , Δx	+2.4 -1.4	+4.3 +0.6	-1.7 +0.9	+4.6 -5.2	+1.4 +6.5	-1.0 +4.1	-7.5 -0.4 +2.9 +0.4	-3.4 +0.3 +0.7	-0.8 -1.1 +1.7	-0.4 -1.6 +1.1 +2.2	
" 11, Δy , Δx	+1.2 -1.8	+4.1 +0.2	-2.0 +0.9	+4.7 -6.2	+1.2 -8.3	+0.8 +5.7	-7.6 ± 0	+3.6 -1.1	-3.4 +1.0 +2.1	-0.3 +0.4 +1.5	+0.5 -1.9 +0.2 +3.6

Fehler der Distanz 10-11: +1.2 -0.4 -0.2 +0.4 -0.3 0 +0.1 -1.0 -0.2 -1.8 +1.8 +1.6 -0.1 +0.4 +0.9 -1.5 0 +0.3 +1.4 +0.5 +1.5 -0.2 +0.9 -0.3 +0.9 +1.4 $\Delta y', \Delta x'$

Beobachtung	Querabweichungen			Distanzabweichungen		
	Δq	$\Delta q'$	$(\Delta q')^2$	Δd	$\Delta d'$	$(\Delta d')^2$
I	-12	-14	196	-4	-7	49
II	-4	-6	36	+2	-1	1
III	-2	-4	16	-2	-5	25
IV	-4	-6	36	+9	+6	36
V	-12	-14	196	+13	+10	100
VI	+24	+22	484	-2	-5	25
VII	+2	0	-	-4	-7	49
VIII	-2	-4	16	+17	+14	196
IX	+3	+1	1	+2	-1	1
X	+14	+12	144	+4	+1	1
XI	+11	+9	81	+11	+8	64
XII	+5	+3	9	+8	+5	25
XIII	+2	0	-	-16	-19	361
	+61	+47	1215	+66	+44	933
	-36	-48	$\sqrt{1215}$	-28	-45	$\sqrt{933}$
	+25	-13	$\sqrt{12}$	+38	$\sqrt{12}$	
	M _q syst	M _q unr. m.	M _d syst	M _d unr. m.		
	= +0.2 m	= ± 1.01 m	= +0.3 m	= ± 0.88 m		

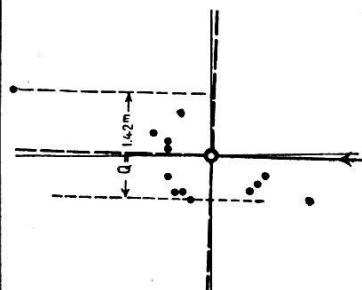


Figur 7

zu Distanz 10-11 (37.80 m) 1:10000
mit zugehöriger Berechnung.

Figur 8

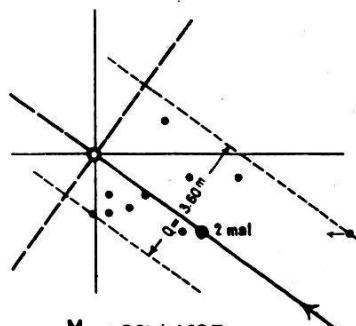
Distanz 15-16-153.70 m
1:10000



$$\begin{aligned} M_q &= -0.13 \pm 0.48 \text{ m} \\ M_d &= -0.31 \pm 0.98 \text{ m} \\ \alpha &= 59^\circ \end{aligned}$$

Figur 9

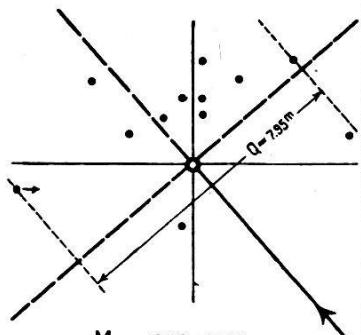
Distanz 7-8-57.30 m
1:25000



$$\begin{aligned} M_q &= +0.21 \pm 1.20 \text{ m} \\ M_d &= +2.58 \pm 1.72 \text{ m} \\ \alpha &= 49^\circ 00' \end{aligned}$$

Figur 10

Distanz 16-17-80.70 m
1:25000



$$\begin{aligned} M_q &= +0.76 \pm 2.23 \text{ m} \\ M_d &= -1.08 \pm 1.50 \text{ m} \\ \alpha &= 69^\circ 30' \end{aligned}$$

Fig.11 Variable M_k

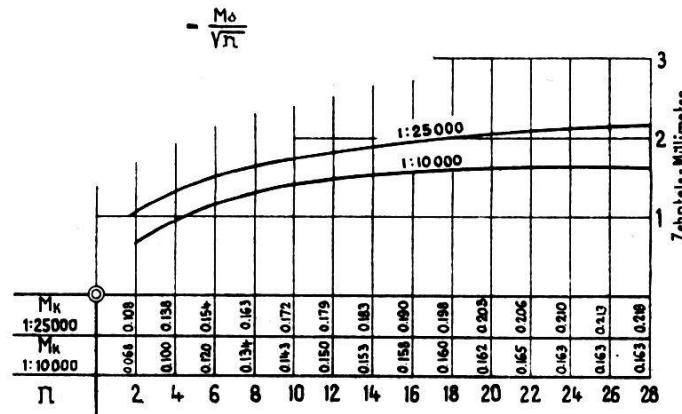
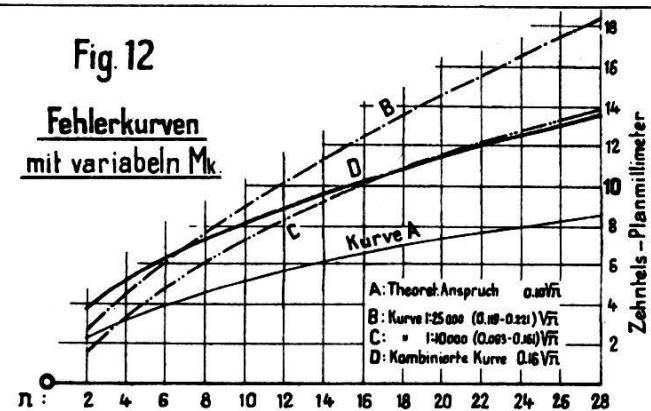


Fig.12

Fehlerkurven
mit variablen M_k



Bewertung von Bussolenzugs-Abschlüssen

auf der Basis von 38 Experimentalzügen.

$M_k = \pm 0.10\sqrt{n}$; $M_2 = 0.16\sqrt{n}$ (heutige Situation)
 $M_k = \pm 0.05 \pm M_2 = 0.05\sqrt{n}$ (theoret. Annahme)

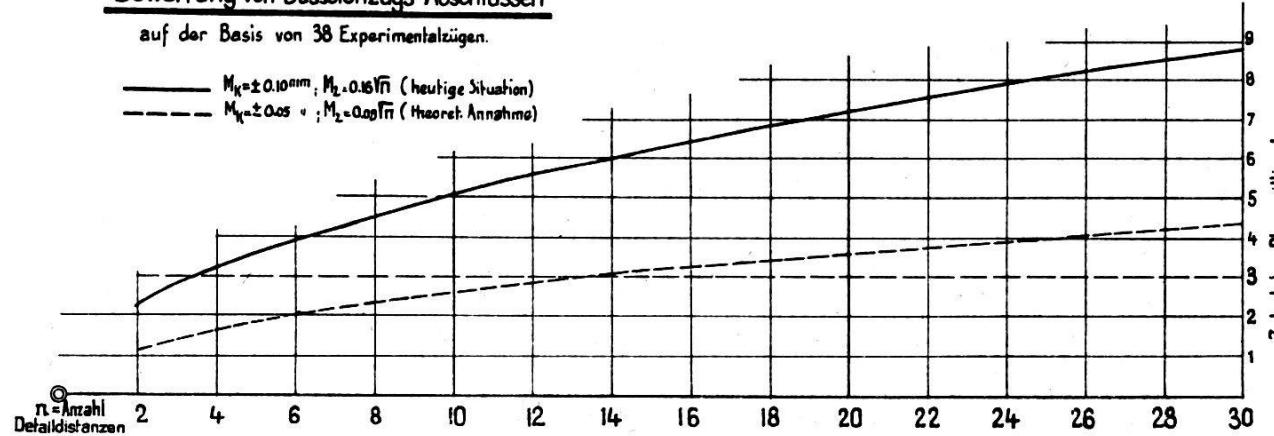


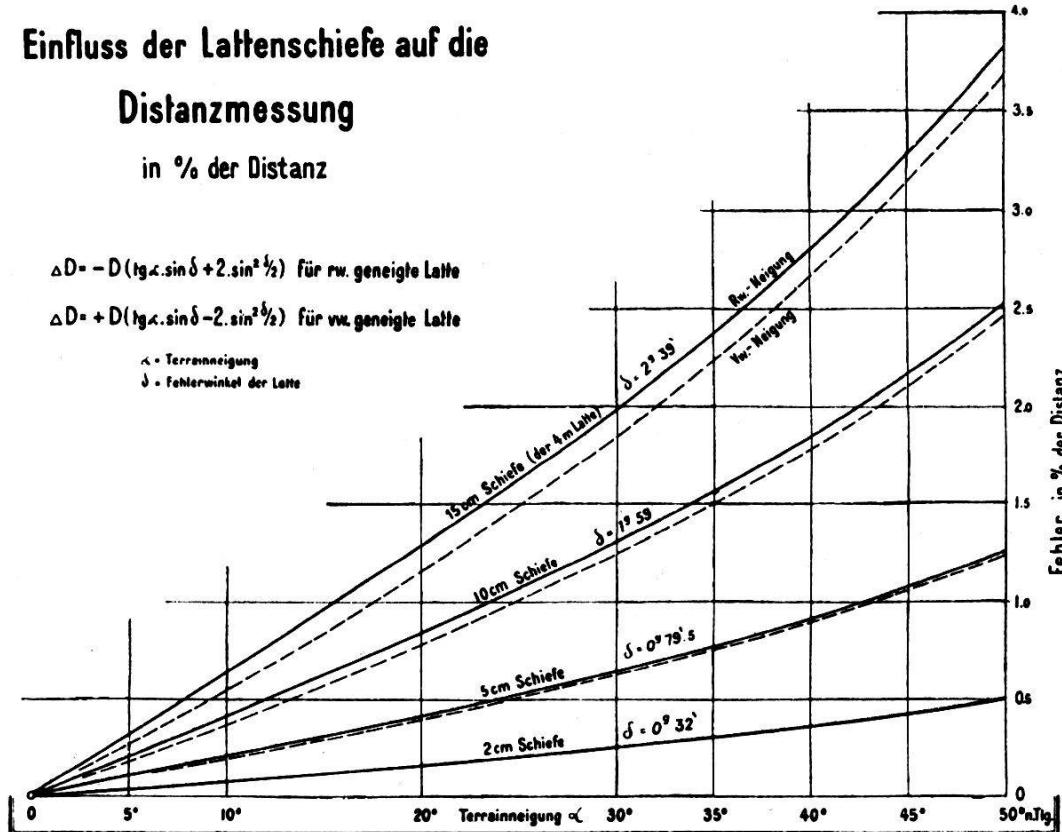
Fig.14

Einfluss der Lattenschiefe auf die
Distanzmessung
in % der Distanz

$$\Delta D = -D(\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta + 2 \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}) \text{ für rw. geneigte Latte}$$

$$\Delta D = +D(\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta - 2 \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}) \text{ für vw. geneigte Latte}$$

α = Terrainneigung
 δ = Fehlerwinkel der Latte



Figur 13

2. Das Grundgesetz $f = m \cdot \sqrt{n}$ ist nur in verhältnismäßig kurzen Zügen verwirklicht; bei längeren wird es gestört durch die zunehmende Oszillation der Fehlerschwankungen.
3. Die in Fig. 11 konstruierten Ausgleichskurven sind als ergänzendes Kriterium der inneren Genauigkeit einer größeren Arbeitskategorie anzusprechen. Die innere Unsicherheit des Zugsauftrages in 1 : 25 000 ist größer als beim selben Zuge in 1 : 10 000 (trotz gleichen Grundfehlers m_k). Wir gehen vermutlich nicht fehl in der Annahme, daß für den Maßstab 1 : 50 000 noch eine stärkere Steigerung in Form einer dritten „Oszillationskurve“ eintreten würde. Diese Kurven wären gewissermaßen ein Barometer dafür, wann eine bestimmte technische Vorrichtung zu versagen beginnt und durch ein anderes Mittel ersetzt werden muß. Diese Erkenntnis der inneren Schwankungen, die durch die Formel $m \sqrt{n}$ nicht genügend zum Ausdruck kommt, führt zu folgenden Schlüssen:

Der Abschluß speziell eines langen Zuges ist kein eindeutig mathematisches Kriterium für seine innere Richtigkeit, wenngleich kein anderes Mittel zu seiner praktischen Beurteilung zur Verfügung steht.

Da kurze Züge ausgeprägtere Systematik zeigen, ist es von Vorteil, lange Züge nicht direkt von Signal zu Signal, sondern von den Enden her gegen die Mitte zuzuführen.

Fehlerkurven mit variablen m_k . Wird die Berechnung der Fehlerkurve $f = m_k \sqrt{n}$ auf Grund der in Fig. 11 ausgeglichenen variablen m_k durchgeführt, so treten die bezüglichen Konsequenzen recht augenfällig in Erscheinung. Fig. 12 zeigt uns die Unterschiede der theoretisch errechneten Fehlerwerte (Kurven A) gegenüber den praktisch zutage getretenen (Kurven B und C), z. B. daß die Punktstreuung beim 16. Zugspunkt anstatt 6,3 mm in Kurve A, deren 12,2 in Kurve B, d. h. ungefähr den doppelten Betrag erreicht.

Begeben wir uns nach diesen ganz beiläufig gewonnenen Erkenntnissen der inneren Zugsentwicklung wieder in die Bezirke praktisch meßbarer Fehlerbeträge, so glauben wir uns mit einer Fehlerkurve begnügen zu dürfen, die mit dem Mittelwerte $m_k = 0.16$ errechnet wurde. Sie ist in Fig. 12 identisch mit Kurve D, ist etwas toleranter im Zugsanfange, gibt aber im Bereich jener Züge, die gerade einer kritischen Bewertung rufen, d. h. zwischen 8–20 vorkommenden Detaildistanzen, ungefähr das Mittel von 1 : 10 000 und 1 : 25 000.

5. Toleranzen

Wenn wir im kommenden Kapitel auf die Frage von Toleranzbedingungen eintreten, so geschieht es nicht mit der Absicht, der weit fortgeschrittenen Übersichtsplantopographie neue Fesseln anzulegen. Wir würden es aber als Unterlassung deuten, wenn wir die Konsequenzen aus den gewonnenen Erfahrungen nicht im Sinne praktischer Anwendung und Kritik auswerten würden. Es ging uns ja darum, uns und eventuell

einem weiteren Kreise von Berufstätigen praktische Handhaben für die Beurteilung eigener Arbeiten zu schaffen.

Im letzten Abschnitt haben wir erkannt, daß es nicht genüge, einen errechneten unregelmäßigen Grundfehler m ohne weiteres für den Zugsfehler $f = m \sqrt{n}$ einzusetzen; m hatte sich als leicht variabel erwiesen und wir nahmen Zuflucht zu einem 60prozentigen Zuschlag. Ob nun in der Zugskomposition die beobachteten Mittelwerte einer Bussolenangabe $m_b = \pm 6'.4$, wie auch der unregelmäßige Fehler $m_d = \pm 0,70\%$ der Distanzmessung diesem Gesetze ebenfalls unterliegen, wagen wir nicht eindeutig zu behaupten, das Experiment beweist uns nur dessen Existenz beim kartographischen Auftrag. Für die weiteren Fehlerberechnungen am Zug führen wir ein:

$$m_k = \pm 0,16 \text{ mm pro kart. Punkt}$$

$$m_b = \pm 10' \text{ pro Meßtischorientierung}$$

$$m_d = \pm 0,70\% \text{ Unsicherheit der Distanzmessung}$$

und erhalten nach der Formel $f = m \sqrt{n}$ die einzelnen Fehleranteile von Kartierung, Bussole und Distanzmessung und nach der Formel

$$F_{\text{zug}} = \sqrt{f_k^2 + f_b^2 + f_d^2}$$

den vereinigten Zugsfehler. Wir formen aber noch um:

$$\begin{aligned} F_{\text{zug}} &= \sqrt{(m_k \sqrt{n})^2 + \left(m_b \sqrt{\frac{n}{2}}\right)^2 + (m_d \sqrt{n})^2} \\ &= \sqrt{n} \sqrt{m_k^2 + \frac{m_b^2}{2} + m_d^2} = K \sqrt{n} \end{aligned}$$

Beim Bussolenzugfehler muß mit der Anzahl der Stationen gleich der halben Anzahl Detaildistanzen gerechnet werden und mit dem Linearausschlag für $2d$. Das K könnte Maßstabkonstante genannt werden. Seine Berechnung erfolgt in sogenannten Feldmetern; das Resultat wird nachher in Planmillimeter umgesetzt. Es müssen hiefür verschiedene Grundannahmen von durchschnittlichen Detailseitenlängen gemacht werden.

Die in der letzten Kolonne enthaltenen Linearwerte für K sukzessive mit \sqrt{n} multipliziert, ergäben uns entsprechende Maßstabskurven mit leichten Variationen für durchschnittliche Einzeldistanzen. Wir sehen aber, daß bei den kleineren Maßstäben – und speziell diesem galten unsere Untersuchungen – der Kartierungsfehler im Quadrat seine Trabanten M_d und M_b völlig erdrückt. Eine Fehlerkurve für kleinmaßstäbliche Topographie kann also ohne Bedenken, wie in Fig. 14 dargestellt, auf der Basis $m_z = 0,16 \sqrt{n}$ konstruiert werden. Diese Kurve ermöglicht uns

I:10000	d	M _k	M _k ²	M _d	M _d ²	M _b	M _b ²	$\frac{M_b^2}{2}$	$\sum M^2$	K _{in Feld - m}	K _{in Pl' mm}
M _k - 1.6 Feldmeter	20	1.60	2.560	0.14	0.020	0.06	0.004	0.002	2.582	1.607	0.161
	30	1.60	2.560	0.21	0.044	0.09	0.008	0.004	2.608	1.615	0.161
	50	1.60	2.560	0.35	0.122	0.157	0.025	0.012	2.694	1.641	0.164
	100	1.60	2.560	0.70	0.490	0.314	0.099	0.049	3.099	1.760	0.176
I:25000	20	4.00	16.000	0.14	0.020	0.06	0.004	0.002	16.022	4.003	0.160
M _k - 16x25-40 Fm	30	4.00	16.000	0.21	0.044	0.09	0.008	0.004	16.048	4.006	0.160
	50	4.00	16.000	0.35	0.122	0.157	0.025	0.012	16.134	4.017	0.161
	100	4.00	16.000	0.70	0.490	0.314	0.099	0.049	16.539	4.067	0.163

nun eine Eigenkontrolle, die bis anhin fehlte. Da wir uns damit auf einen *mittleren Fehler* stützen, so dürfen wir bei dessen Überschreiten die Gnade des dreimal größeren Maximalfehlers anrufen! Je nach der Natur der Anschlußpunkte, d. h. ob Signal oder Meßtisch-Pothenot, so kommt hiezu noch ein Zuschlag von 1–2 Zehntelmillimetern. Wenn es sich aber um ein größeres zu erschließendes Gebiet handelt, so bequemen wir uns vielleicht dazu, aus den einzelnen Zugsabschlüssen die dazugehörigen $m = \frac{f}{\sqrt{n}}$

und zuletzt gar noch $m = \sqrt{\frac{\sum m^2}{n_{\text{züge}}}}$ zu berechnen. Damit erhalten wir einen

Begriff von der Genauigkeit unserer topographischen Zugsgrundlagen, die nicht einmal dem gefürchteten Verifikator auf Grund seiner immerhin spärlicheren Messungen zuteil wird.

6. Schlußfolgerungen und Instrumentelles

Wenn wir zu Beginn des Kapitels „Toleranzen“ unserer Auffassung Ausdruck gaben, daß ein bezügliches „mehr“ von Übel wäre, so verpflichten uns die gewonnenen Erkenntnisse, die Konsequenzen auf instrumentellem Gebiete zu ziehen. Wir haben gesehen, daß im *Übersichtsplanmaßstab 1 : 5000* die größte Gefahrenquelle bei der Distanzmessung liegt. *Doseniveau und verstreute Latte (mit cm-Teilung!) sind die praktisch einfachen Vorkehren, um diese Gefahr zu bannen.* Das in unseren Fehlerrechnungen eingeführte $m_d = \pm 0,70\%$ reduziert sich ja bei verstreuter Latte auf 0,42 %; arbeiten wir noch mit der cm-Latte, so divi-

dert sich diese Angabe durch $\sqrt{5}$ und es wird $m_d = \frac{0.42}{\sqrt{5}} = 0,20\%$.

Der Zugsfehler für $D = 1 \text{ km}$, $d = 50 \text{ m}$ wird in 1 : 5000 $m_z = 0.10\sqrt{20} = 0.45 \text{ Feldmeter} = 0,09 \text{ Plan-Millimeter} = 30\%$ der Toleranz.

In den kleinen Maßstäben 1 : 25 000 und 1 : 50 000 verlagert sich das Fehlergeschehen völlig in den Bezirk des graphischen Auftrages. Wie schützen wir uns hier vor der Toleranzüberschreitung? Der Topograph der Eidg. Landestopographie kann sich wohl zu der Überlegung flüchten, daß eventuelle „Übermarchungen“, begangen im Originalmaßstab, im Publikationsmaßstab nur zur Hälfte zum Ausdruck kommen. Die Überlegung stimmt aber nicht mehr in 1 : 10 000 und bei Nachführungen in 1 : 50 000. Die Flucht zur behelfsmäßigen Bleistiftvisur, d. h. zum „bedingten Zirkelauftrag“ reduziert den mittleren Fehler des „freien Auftrages“ nur um ca. 25 %, denn laut Fig. 3 wird in:

$$1 : 25 000 M_2 = 1,13 \text{ mm}; M_8 = 0,84 \text{ mm}.$$

Die azimutale Versteifung wird besser, die Distanzunsicherheit besteht weiter; es bleibt somit im gesamten die betrübliche Erkenntnis, daß bei kritischer Würdigung der Bussolenzugsfehler hinsichtlich der verpflichtenden Toleranzbedingung $m_{\text{sit}} = \pm 0,3 \text{ mm}$ diesem Erschließungsmittel ziemlich enge Grenzen gezogen sind. Wir verweisen nochmals auf die sehr bescheidenen Längen des „verlorenen Zuges“. Und doch wissen wir Leute der Topopraxis zur Genüge, daß gerade das unkontrollierte An-einanderhängen von Meßtischstationen sich in der Richtung größter Wirtschaftlichkeit bewegt.

Es wäre noch die Frage beruflicher Angewöhnung und Routine in den Kreis der Überlegung zu ziehen; gewiß spielt auch sie eine nicht zu unterschätzende Rolle. Aber ist es nicht so, daß gerade in den Jahren größter technischer Routine und Funktionssicherheit das Auge immer etwas weiter vom Zeichenobjekt abrückt, um unweigerlich gegen die Fünfzig die Attribute Brille und Lupe zu fordern? Gewiß erfährt auch die manuelle Sicherheit und Ruhe der Hand von dieser Altersgrenze an keine Steigerung mehr. Physiologische, menschliche Grundfunktionen lassen sich so wenig von Wünschen und Hoffnungen beeinflussen wie der mittlere Fehler einer technischen Apparatur! Also bleibt es beim Festhalten an Zirkel und Transversalmaßstab bei der Gefahr der Altersverkrampfung – oder es erhebt sich der *Ruf nach einer technischen Verbesserung der Auftragsapparatur*. Wenn wir als Vertreter der Technik nicht schon um deren Wunderwerke wüßten, so müßte uns der demonstrativ zerlegte Scherkopf eines elektrischen Rasierapparates mit dem Tausendstelmillimeter sagen, daß wir Kleinmaßstabstopographen doch furchtbar geduldige Leute sind. Da zieht auf dem Gebiete geodätischer Konstruktionen ein Strom neuer Nivelliere, Theodolite und Autographen an uns vorbei, ohne daß wir ein einziges Mal ein kleines bescheidenes Kolumbus-Ei zu unserer Erleichterung gefordert hätten – für die Ausschaltung eines Fehlers, dessen koboldische Tücken und Überlegenheit wir ja schon seit Jahrzehnten kennen. Gelänge uns die Konstruktion einer handlichen Kartierungsapparatur mit dem Grundfehler $m_k = \pm 0,05 \text{ mm}$, so würden auch wir endlich dem Dilemma der Toleranzinnehaltung oder -überschreitung weitgehend enthoben; die kartographische Fehlerkurve von

Fig. 14 erführe eine Reduktion auf die Hälfte, die Länge des „verlorenen Zuges“ eine Verdreifachung und der unwirtschaftliche Polygonzug mit Theodolit weitgehende Einschränkung.

Die Firma Kern & Cie. in Aarau hat schon einen Vorstoß in dieser Richtung gemacht; es beweist dies, daß wir mit unserer Überlegung und Forderung nicht allein dastehen. Wir hoffen in einer weiteren kleineren Publikation „Genauigkeitsuntersuchung des Kernschen Lineal-Piquoirs“ die Frage weiter zu fördern.

Bern, November 1944.

Kleine Mitteilungen

Feststellung der theoretischen Ausbildung der Mitglieder des schweizerischen Geometervereins

Dezember 1944. Bestand ca. 520 Mitglieder

- A. Ca. 300 Mitglieder haben das Patent als Konkordats- oder als Grundbuchgeometer oder eines der kant. Patente vor 1916 erworben.
- A¹. Von diesen Mitgliedern haben ca. 5 noch das Diplom als Ingenieur oder einen andern akademischen Ausweis erworben.
- B. Ca. 15 weitere Mitglieder sind nicht als Geometer patentiert, besitzen aber das Diplom als Bau-, Vermessungs- oder Kulturingenieur.
- C. Ca. 200 Mitglieder studierten an den Geometer-Abteilungen an der E. T. H. in Zürich oder an der Universität in Lausanne.
- C². Von diesen erwarben ca. 25 das Diplom als Vermessungsingenieur, ca. 65 das Diplom als Kulturingenieur, ca. 10 das Diplom als Bauingenieur oder einen andern akademischen Titel.
- NB. ¹ Von den Mitgliedern unter A sind ca. 70 Veteranen, die den Beruf nicht mehr oder nur noch teilweise ausüben.
² Von den Grundbuchgeometern, die an den Geometerabteilungen der E. T. H. in Zürich und der Universität Lausanne studiert haben, sind nahezu alle (bis ca. auf 5) dem schweizerischen Geometerverein beigetreten.

Festgestellt an Hand eines von der eidg. Vermessungsdirektion ab 1911 geführten Registers der Geometerkandidaten.

Bern, im Dezember 1944.

Kassier des S. G. V.
P. Kübler.