

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

**Herausgeber:** Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

**Band:** 35 (1937)

**Heft:** 1

**Artikel:** Lot-Abweichungen und Laplace-Gleichung

**Autor:** Baeschlin, C.F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-196641>

### 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:** 18.02.2026

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

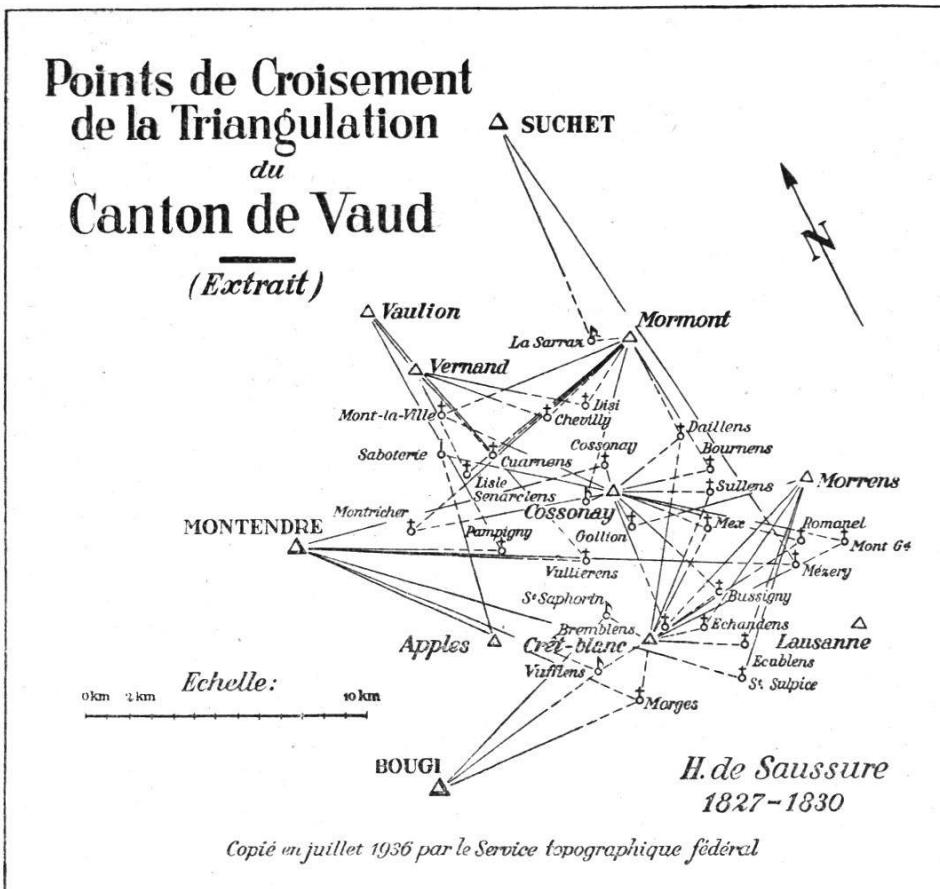


Fig. 12.

très soigneusement faits et contenus dans les carnets d'angles, nous renseignent exactement sur le point visé et nous permettent d'identifier, encore aujourd'hui, les objets visés il y a une centaine d'années et de décider si les points sont restés les mêmes ou s'ils ont été modifiés ou, finalement, si les points sont à considérer comme disparus et perdus. Tous ces points, sauf les points perdus, peuvent servir encore aujourd'hui à des relevés purement topographiques avec leurs valeurs transformées dans le système de projection cylindrique actuel.

(A suivre.)

### Lot-Abweichungen und Laplace-Gleichung.

Von Prof. Dr. C. F. Baeschlin, Zollikon.

Wenn wir auf der Erdoberfläche eine Haupttriangulation durchführen, so sind durch die Messung einer Basis und der Dreieckswinkel die Längen der Dreiecksseiten bestimmt, wenn wir über die Krümmungsverhältnisse desjenigen Teiles der mathematischen Erdoberfläche einigermaßen orientiert sind, auf dem die Triangulation ausgeführt wird. Dagegen fehlt uns eine Orientierung dieser Triangulation. Zu ihrer

Beschaffung bestimmen wir in einem geeigneten Punkte  $O$ , dem sogen. *Fundamentalpunkt* durch direkte astronomische Messungen die geographische Breite  $\varphi_0$  und die geographische Länge  $\lambda_0$ , sowie das geographische Azimut  $a_{0 \cdot 1}$  nach einem Punkte  $P_1$  der Triangulation, der mit  $O$  direkt verbunden ist. Wir wählen ein geeignetes Rotations-Ellipsoid, ein sogen. *Referenzellipsoid*, das in der Umgebung des Punktes  $O'$  mit den geographischen Koordinaten  $\varphi_0$  und  $\lambda_0$  Krümmungsverhältnisse aufweist, die möglichst gut mit den Krümmungen der mathematischen Erdoberfläche in der Umgebung des Punktes  $O$  übereinstimmen. Man kann dieses Referenzellipsoid nun in eine solche Lage bringen, daß seine Normale im Punkte  $O'(\varphi_0, \lambda_0)$  mit der Normalen der mathematischen Erdoberfläche im Punkte  $O(\varphi_0, \lambda_0)$  zusammenfällt. Die Rotationsachse des gewählten Referenzellipsoide wird im allgemeinen nicht mit der Erdachse zusammenfallen, sondern ihr nur parallel sein.

Mit Hilfe des Azimutes  $a_{0 \cdot 1}$  können wir unsere Triangulation auf dem Referenzellipsoid orientieren. Wir wählen zur Berechnung der Dreiecksseiten die Krümmungsverhältnisse des Referenzellipsoide. Dabei sprechen wir als Dreiecksseiten die geodätischen Linien zwischen den Dreieckspunkten an. Die gemessenen Winkel sind auf die sogenannten geodätischen Winkel, d. h. die Winkel zwischen den geodätischen Linien, überzuführen. Da die Krümmungen des Geoides von denjenigen des angenommenen Referenzellipsoide etwas abweichen, so werden die Winkelreduktionen auf die geodätischen Linien des Geoides etwas abweichen von den Reduktionen auf die geodätischen Linien des Referenzellipsoide. Nach strengen Untersuchungen von *Helmert*, durchgeführt in „Die mathematischen und physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie I. Teil, Leipzig 1880“, sind die Änderungen der Seiten, welche sich durch die ellipsoidische Rechnung gegenüber der strengen geoidischen Rechnung ergeben, ganz bedeutend kleiner als die mittleren Fehler der Seiten, wie sie aus den mittleren Fehlern der beobachteten Winkel hervorgehen, sofern die Höhenwinkel der gemessenen Richtungen nicht groß sind. Diese Bedingung ist bei einer Triangulation I. Ordnung im allgemeinen ohne weiteres erfüllt infolge der verhältnismäßig langen Seiten.

Wir erhalten auf diese Weise je eine Triangulation auf dem Geoid und auf dem Referenzellipsoid, so daß die Dreiecke beider praktisch kongruent sind.

Wir berechnen nun mit Hilfe der sogenannten „geodätischen Hauptaufgabe“ aus den ausgeglichenen Winkeln und Seiten der Triangulation auf dem Referenzellipsoid, ausgehend vom Fundamentalpunkt und dem Ausgangsazimut  $a_{0 \cdot 1}$  sukzessive die geographischen Koordinaten  $\varphi^g$  und  $\lambda^g$  aller Dreieckspunkte für das Referenzellipsoid, sowie die Azimute der geodätischen Linien, also der Dreiecksseiten.

Wenn wir auf dem Triangulationspunkt  $P_n$  die geographischen Koordinaten durch direkte astronomische Beobachtungen bestimmen, wie auch das geographische Azimut von  $P_n$  nach  $P'_n$ , so können wir daraus die geographischen Koordinaten  $\varphi_n^a$ ,  $\lambda_n^a$  für die Projektion

von  $P_n$  auf das Geoid  $P'_n$  (ausgeführt mit Hilfe der durch  $P_n$  gehenden Lotlinie) berechnen, ebenso wie das Azimut der geodätischen Linie  $a_{n,n}'^a$ , welche durch die Projektionen von  $P_n$  und  $P'_n$  geht.  $\varphi_n^a$  und  $\lambda_n^a$  bestimmen die Stellung der Lotlinie, d. h. der Normalen zum Geoid im projizierten Punkt von  $P_n$ . Im allgemeinen weichen die Größen  $\varphi_n^a$ ,  $\lambda_n^a$  und  $a_{n,n}'^a$  von den durch die geodätische Uebertragung gefundenen sogenannten geodätischen Elementen  $\varphi_n^g$ ,  $\lambda_n^g$  und  $a_{n,n}'^g$  auf dem Referenzellipsoid ab, weil die Geoidnormale von  $P_n$  nicht parallel zur Ellipsoidnormalen von  $P'_n$  ist. Das zeigt, daß das Geoid von dem angenommenen Referenzellipsoid abweicht. Wir denken uns durch  $P'_n$  eine Parallele zur Geoidnormalen gezogen. Den Winkel, welchen diese Parallele mit der Ellipsoidnormalen bildet, nennen wir die *totale Lotabweichung*  $\Theta_n$  im Punkte  $P_n$  für das angenommene Referenzellipsoid.

Es soll nun  $\Theta_n$  aus der Vergleichung der astronomischen Elemente  $\varphi_n^a$ ,  $\lambda_n^a$ ,  $a_{n,n}'^a$  mit den geodätischen Elementen  $\varphi_n^g$ ,  $\lambda_n^g$ ,  $a_{n,n}'^g$  bestimmt werden.

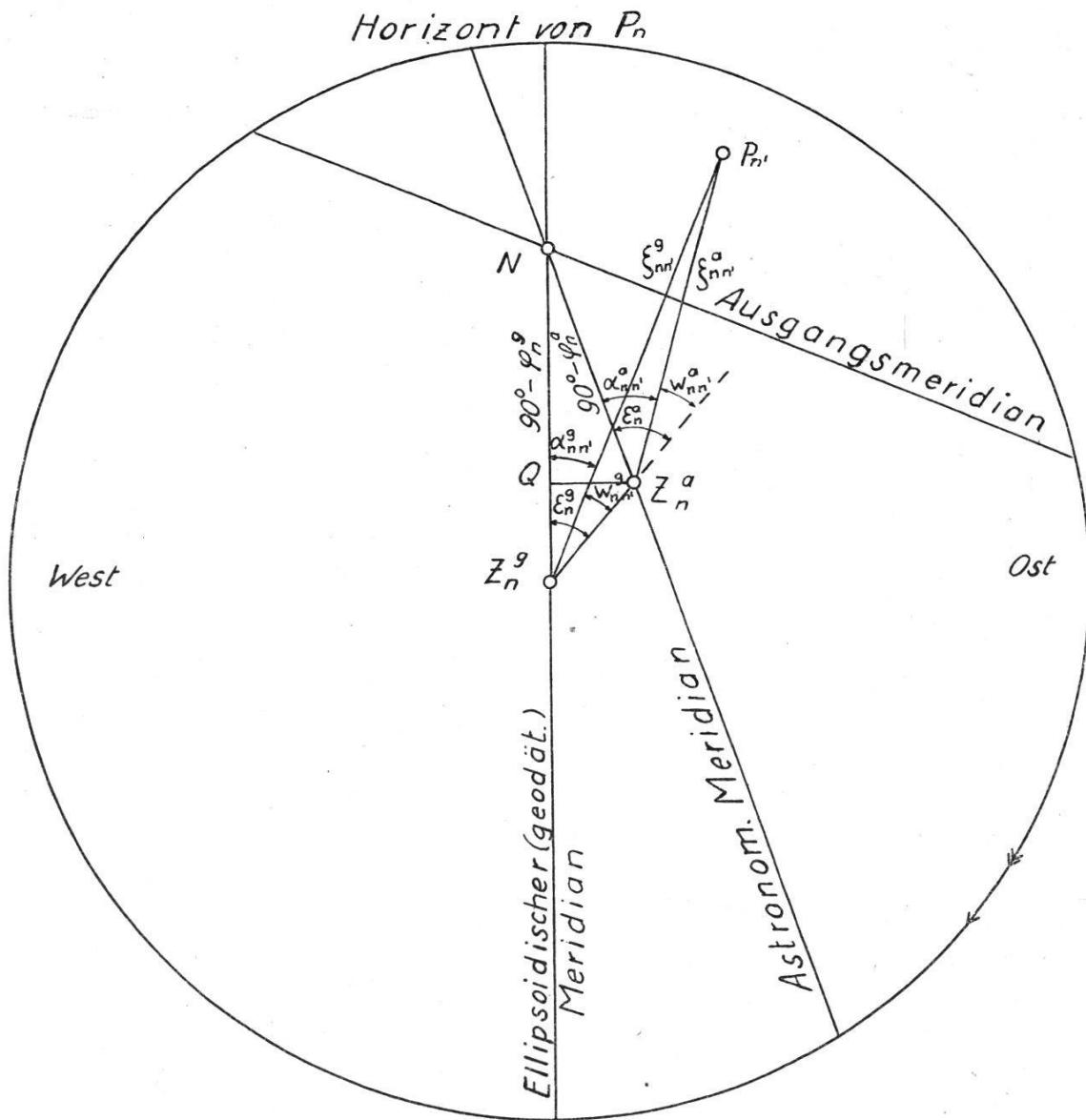
#### Bestimmung der Lotabweichung.

Da wir das Referenzellipsoid im Fundamentalpunkt  $O$  berührend an das Geoid gelegt haben (die beiden Normalen fallen zusammen), so haben wir:

$$\begin{aligned}\varphi_o^a &= \varphi_o^g \\ \lambda_o^a &= \lambda_o^g \\ a_{0\cdot 1}^a &= a_{0\cdot 1}^g\end{aligned}$$

Wir legen um den Punkt  $P'_n$  eine Kugel vom Radius Eins, schneiden mit ihr die verschiedenen Linien und Ebenen und erhalten so die nachstehende Figur 1.

- $Z_n^g$  = ellipsoidisches (geodätisches) Zenit von  $P_n$  = Schnitt der Ellipsoidnormalen durch  $P'_n$  mit der Kugel.  
 $Z_n^a$  = wirkliches (astronomisches Zenit) von  $P_n$  = Schnitt der Parallelen durch  $P'_n$  zur Geoidnormalen von  $P_n$ .  
 $N$  = Schnitt der Parallelen zur Erdachse durch  $P'_n$  mit der Kugel.  
 $P_n'$  = Schnitt der Parallelen zur Ziellinie  $P_n P_{n'}$  mit der Kugel.  
 $Z_n^g Z_n^a$  =  $\Theta_n$  = totale Lotabweichung von  $P_n$ .  
 $\varepsilon_n^g$  = geodätisches Nordazimut der Lotabweichung.  
 $180^\circ + \varepsilon_n^a$  = astronomisches Nordazimut der Lotabweichung.  
 $Q$  = Fußpunkt des Großkreises durch  $Z_n^a$  normal zum geodätischen Meridian durch  $Z_n^g$ .



Figur 1.

$Z_n^g Q = \zeta_n$  = Meridiankomponente der Lotabweichung  $\theta_n$  von  $Z_n^g$ , nach Norden positiv gezählt.

$Q Z_n^a = \eta_n$  = I. Vertikalkomponente der Lotabweichung  $\theta_n$ , nach Osten positiv gezählt.

Aus dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck  $NQZ_n^a$ , mit dem rechten Winkel bei  $Q$ , erhalten wir:

$$\cos(\lambda_n^g - \lambda_n^a) = \operatorname{tg} \varphi_n^a \cdot \operatorname{cotg} (\varphi_n^g + \xi_n)$$

$$\sin \eta_n = \sin(\lambda_n^g - \lambda_n^a) \cos \varphi_n^a$$

$\lambda_n^g - \lambda_n^a$  ist höchstens eine Minute sexagesimal. Wir dürfen daher ohne Gefährdung der Genauigkeit der abzuleitenden Formeln setzen:

$$\cos(\lambda_n^g - \lambda_n^a) = 1.$$

$$\sin(\lambda_n^g - \lambda_n^a) = \operatorname{arc}(\lambda_n^g - \lambda_n^a)$$

Damit erhalten wir:

$$\operatorname{tg} (\varphi_n^g + \xi_n) = \operatorname{tg} \varphi_n^a$$

und daraus

$$(1) \quad \underline{\xi_n = \varphi_n^a - \varphi_n^g}$$

$$(2) \quad \underline{\eta_n = (\lambda_n^g - \lambda_n^a)'' \cos \varphi_n^a = -(\lambda_n^a - \lambda_n^g)'' \cos \varphi_n^a}$$

in Sekunden

Aus dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck  $Z_n^a Z_n^g Q$  folgt:

$$(3) \quad \underline{\xi_n = \Theta_n \cos \epsilon_n^g} \quad \underline{\eta_n = \Theta_n \sin \epsilon_n^g}$$

In der geodätischen Literatur finden wir oft die Formel

$$\eta_n = + (\lambda_n^a - \lambda_n^g) \cos \varphi_n^a$$

Dabei sind die geographischen Längen nach Osten positiv gezählt, was dem allgemeinen Gebrauch widerspricht, oder es wird  $\eta$  nach Westen positiv gezählt. Dann ist aber der Drehsinn des Winkels  $\epsilon_n^g$  gegen den Uhrzeigersinn gerichtet, was der allgemeinen geodätischen Praxis widerspricht. Aus diesen Gründen entscheiden wir uns für das in den Formeln (1) bis (3) adoptierte System.

Für positives  $\xi_n$  liegt das astronomische Zenit nördlich vom geodätischen I. Vertikal durch das geodätische Zenit.

Für positives  $\eta_n$  liegt das astronomische Zenit östlich vom geodätischen Meridian durch das geodätische Zenit.

Das sphärische Dreieck  $Z_n^a Z_n^g P_n'$  gibt nach einer Neper'schen Analogie

$$\operatorname{tg} \left( \frac{\zeta_{n,n'}^a + \zeta_{n,n'}^g}{2} \right) = \frac{\sin \left( \frac{w_{n,n'}^a + w_{n,n'}^g}{2} \right)}{\sin \left( \frac{w_{n,n'}^a - w_{n,n'}^g}{2} \right)} \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta_n}{2} \right)$$

wenn wir die Bezeichnungen einführen:

$$w_{n,n'}^g = \text{Winkel } P_{n'} Z_n^g Z_n^a$$

$$w_{n,n'}^a = \text{Winkel } P_{n'} Z_n^a \cdot \text{Verlängerung von } Z_n^g Z_n^a$$

Daraus folgt mit für alle Fälle genügender Genauigkeit, im Hinblick auf die Kleinheit von  $\Theta_n$  (maximal eine Minute)

$$(4) \quad w_{n,n'}^a - w_{n,n'}^g = \Theta_n \operatorname{cotg} \zeta_{n,n'}^a \sin w_{n,n'}^a$$

Das Dreieck  $N Z_n^a Z_n^g$  gibt nach einer Neper'schen Analogie:

$$\operatorname{cotg} \left( \frac{\varphi_n^a + \varphi_n^g}{2} \right) = \frac{\sin \left( \frac{\epsilon_n^a + \epsilon_n^g}{2} \right)}{\sin \left( \frac{\epsilon_n^a - \epsilon_n^g}{2} \right)} \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta_n}{2} \right)$$

Daraus folgt, da starke Annäherung an die Pole auf näher als  $2^\circ$  praktisch nicht in Frage kommt, und daher  $\frac{\varepsilon_n^a - \varepsilon_n^g}{2}$  stets so klein bleibt, daß der Sinus durch den Arcus ersetzt werden darf

$$(5) \quad \varepsilon_n^a - \varepsilon_n^g = \Theta_n \operatorname{tg} \varphi_n^a \sin \varepsilon_n^g$$

Aus der Figur 1 erkennen wir die Beziehungen:

$$\alpha_{n, n'}^g + w_{n, n'}^g = \varepsilon_n^g; \quad \alpha_{n, n'}^a + w_{n, n'}^a = \varepsilon_n^a$$

Daraus folgt

$$\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g = (\varepsilon_n^a - \varepsilon_n^g) - (w_{n, n'}^a - w_{n, n'}^g)$$

und weiter, unter Beachtung von (4) und (5):

$$\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g = \Theta_n \sin \varepsilon_n^g \operatorname{tg} \varphi_n^a - \Theta_n \operatorname{cotg} \zeta_{n, n'}^a \sin w_{n, n'}^g$$

Unter Beachtung der Beziehungen für  $\eta_n$  und  $\zeta_n$  ergibt sich daraus:

$$(6a) \quad \underline{\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g} = \eta_n \operatorname{tg} \varphi_n^a - \eta_n \operatorname{cotg} \zeta_{n, n'}^a \cos \alpha_{n, n'}^g + \\ + \underline{\zeta_n \operatorname{cotg} \zeta_{n, n'}^a \sin \alpha_{n, n'}^g}$$

oder auch:

$$(6b) \quad \underline{\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g} = \eta_n \operatorname{tg} \varphi_n^a + \Theta_n \sin (\alpha_{n, n'}^g - \varepsilon_n^g) \operatorname{cotg} \zeta_{n, n'}^a$$

Da  $\zeta_{n, n'}^a$  im allgemeinen sehr nahe an  $90^\circ$  liegt, weil in Haupttriangulierungen keine großen Zielneigungen auftreten, so ist für die meisten Zwecke genügend genau

$$(7) \quad \underline{\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g} = \eta_n \operatorname{tg} \varphi_n^a$$

oder

$$(8) \quad \underline{\eta_n} = (\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g) \operatorname{cotg} \varphi_n^a$$

In niedrigen Breiten, wo  $\operatorname{cotg} \varphi$  groß wird, ist die Bestimmung von  $\eta$  aus Azimutmessungen sehr ungenau, um am Äquator ganz zu versagen.

#### *Aufstellung der Laplace-Gleichung.*

Setzt man die beiden Werte für  $\eta_n$  nach (2) und (8) einander gleich, so erhält man

$$(\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g) \operatorname{cotg} \varphi_n^a = -(\lambda_n^a - \lambda_n^g) \cos \varphi_n^a$$

oder einfacher

$$(9) \quad \underline{\alpha_{n, n'}^a - \alpha_{n, n'}^g + (\lambda_n^a - \lambda_n^g) \sin \varphi_n^a} = 0$$

Das ist die von Laplace aufgestellte und nach ihm benannte Gleichung.

Wenn man  $\zeta_{n, n'}^a \neq 90^\circ$  annimmt, und daher  $\operatorname{cotg} \zeta_{n, n'}^a$  nicht vernachlässigt, so erhält man eine etwas kompliziertere Gleichung, die wir aber hier nicht aufstellen wollen. Wir verweisen diesbezüglich auf eine kürzlich veröffentlichte Arbeit des Verfassers<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Baeschlin, C. F., Rapport sur la répartition et l'utilisation pratique des points de Laplace. Bulletin géodésique 1936, No 52, page 433, formule (9a).

Es muß hier ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Formel (9) auf der Voraussetzung beruht, daß im Fundamentalpunkt  $O$  die Lotabweichungskomponenten  $\zeta_0$  und  $\eta_0$  gleich Null seien. Es geht also nicht an, bei einer größeren Triangulation die Laplace-Gleichung (9) zwischen zwei beliebigen Punkten anzuwenden; sie darf nur zwischen dem Fundamentalpunkt und einem Außenpunkt verwendet werden.

Man kann sich zwar von dieser Beschränkung befreien, wenn man die Formeln aufstellt, die sich ergeben, wenn man auch für den Fundamentalpunkt  $O$  eine Lotabweichung annimmt. Da die Ableitung ziemlich umständlich ist und eine recht komplizierte Formel resultiert, sehen wir hier davon ab, diese Rechnung durchzuführen. Wir verweisen auf die oben zitierte Veröffentlichung des Verfassers<sup>1</sup>.

#### *Verwendung der Laplace-Gleichungen für die Ausgleichung eines Dreiecksnetzes.*

Wir gehen von der einfachen Laplace-Gleichung (9) aus

$$a_{n, n'}^a - a_{n, n'}^g + (\lambda_n^a - \lambda_n^g) \sin \varphi_n^a = 0.$$

Infolge der Fehler an den 5 in dieser Gleichung auftretenden Elementen wird die rechte Seite von (9) von Null verschieden sein; wir wollen diesen Wert mit  $\omega$  bezeichnen.

Bevor wir an die Lösung der gestellten Aufgabe herantreten, müssen wir uns Rechenschaft geben, wie wir uns die Größen  $a_{n, n'}^g$  und  $\lambda_n^g$  verschaffen.

Der Fundamentalpunkt  $O$  sei mit dem Punkt  $P_n$  durch eine Triangulation verbunden; wir wählen aus dieser Triangulation eine möglichst direkt von  $O$  nach  $P_n$  führende Dreieckskette. Wir gleichen in den Dreiecken dieser Kette die Winkel auf  $180^\circ$  aus und rechnen mit Hilfe der so ausgeglichenen Winkel die Seiten  $OP_1, P_1P_2, \dots P_{n-1}P_n$ .

Aus den ausgeglichenen Winkeln bilden wir die Brechungswinkel  $w$  in dem Polygon aus geodätischen Linien, das auf möglichst direktem Weg den Punkt  $P_n$  mit dem Fundamentalpunkt  $O$  verbindet.

Das geodätische Azimut von  $OP_1 = a_{0,1}$  bestimmen wir aus dem auf dem Fundamentalpunkt  $O$  astronomisch beobachteten Azimut von  $OP'_0 = a_{0,0}'$ , durch Zufügung des Winkels  $w_0$

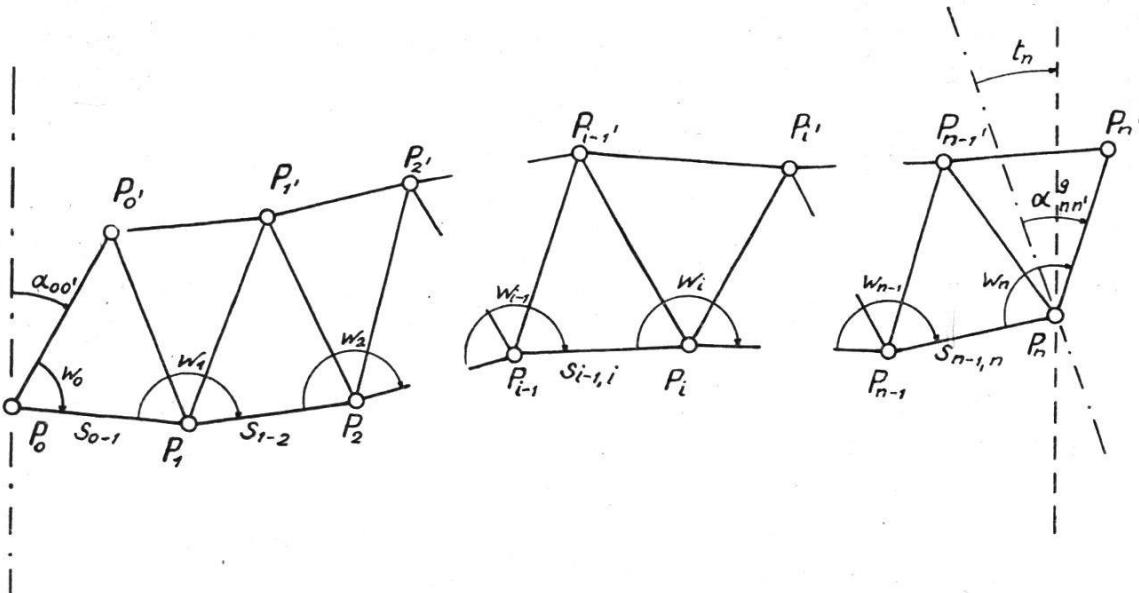
$$a_{0,1} = a_{0,0}' + w_0$$

Aus diesem Azimut und der Länge der geodätischen Linie  $OP_1 = s_{0,1}$  berechnen wie die geodätischen rechtwinkligen Koordinaten von  $P_1: x_1$  und  $y_1$ , wo wir die Koordinaten von  $O$

$$x_0 = 0 \text{ und } y_0 = 0$$

setzen.

<sup>1</sup> Baeschlin, C. F., Rapport sur les répartition et l'utilisation pratique des points de Laplace. Bulletin géodésique 1936, No 52, page 436, formule 11).



Figur 2.

Nach *Helmert*, Höhere Geodäsie, I. Teil, 9. Kapitel, § 7, S. 419, Formeln (1), (2), (3) und (4) erhalten wir:

$$(10) \quad \begin{cases} y_1 = s_{0 \cdot 1} \sin \alpha_{0 \cdot 1} - \frac{v_{0 \cdot 1} \cdot u_{0 \cdot 1}^2}{6 R^2} + \text{Gl}_5 \\ x_1 = s_{0 \cdot 1} \cos \alpha_{0 \cdot 1} \left\{ 1 + \left( \frac{y_1^2}{2 R^2} - \frac{y_1^2}{6 R^2} \right) + \text{Gl}_4 \right\} \\ \Delta \alpha_{0 \cdot 1} = -\rho'' \frac{u_{0 \cdot 1}}{R} \left\{ \left( \frac{y_1}{R} + \frac{y_1}{2 R} \right) + \text{Gl}_3 \right\} \end{cases}$$

Hier haben wir zur Abkürzung gesetzt

$$u_{0 \cdot 1} = s_{0 \cdot 1} \cos \alpha_{0 \cdot 1}$$

$$v_{0 \cdot 1} = s_{0 \cdot 1} \sin \alpha_{0 \cdot 1}$$

$R^2 = \frac{b^2}{W_0^4} = N_0 \cdot M_0$ , wo  $b$  die kleine Achse der Meridianellipse des Referenzellipsoïdes ist.

$$W_0^2 = 1 - e^2 \sin^2 \varphi_0; e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$R$  stellt den sogenannten „mittleren Krümmungsradius“ des Fundamentalpunktes dar.

$$\Delta \alpha_{0 \cdot 1} = \alpha_{1 \cdot 0} - \alpha_{0 \cdot 1} - 180^\circ.$$

Die Winkel  $\alpha$  stellen die Winkel dar, welche eine geodätische Linie mit der Parallelen durch den Scheitel zum Ausgangsmeridian durch  $O$  bildet. Wir wollen diese Winkel „Neigungen“ nennen, in Analogie zu der ebenen Koordinatenrechnung; wir zählen sie vom Nordast der Parallelen aus, positiv im Uhrzeigersinn.

Die Neigung der geodätischen Linie  $P_1 P_2$ ,  $\alpha_{1 \cdot 2}$ , wird

$$\alpha_{1 \cdot 2} = \alpha_{1 \cdot 0} + w_1$$

Es ist aber

$$\alpha_{1 \cdot 0} = \alpha_{0 \cdot 1} + 180^\circ + \Delta \alpha_{0 \cdot 1}$$

Mit Hilfe von  $\alpha_{1 \cdot 2}$  und  $s_{1 \cdot 2}$  berechnen wir  $y_2$ ,  $x_2$  und  $\Delta \alpha_{1 \cdot 2}$

$$(10a) \begin{cases} y_2 = y_1 + \left\{ v_{1 \cdot 2} - \left( y_1 + \frac{1}{3} v_{1 \cdot 2} \right) \frac{u_{1 \cdot 2}^2}{2 R^2} \right\} \\ x_2 = x_1 + u_{1 \cdot 2} \left\{ 1 + \left( \frac{y_2^2}{2 R^2} - \frac{v_{1 \cdot 2}^2}{6 R^2} \right) \right\} \\ \Delta \alpha_{1 \cdot 2} = - \rho'' \frac{u_{1 \cdot 2}}{R} \left\{ \frac{y_1}{R} + \frac{v_{1 \cdot 2}}{2 R} \right\} \end{cases}$$

Damit ergibt sich die Neigung der geodätischen Linie  $P_2 P_3$ ,  $\alpha_{2 \cdot 3}$

$$\alpha_{2 \cdot 3} = \alpha_{2 \cdot 1} + w_2$$

wobei

$$\alpha_{2 \cdot 1} = \alpha_{1 \cdot 2} + 180^\circ + \Delta \alpha_{1 \cdot 2}$$

So fahren wir weiter bis zum Punkt  $P_n$

$$(10b) \begin{cases} y_n = y_{n-1} + \left\{ v_{n-1, n} - \left( y_{n-1} + \frac{1}{3} v_{n-1, n} \right) \frac{u_{n-1, n}^2}{2 R^2} \right\} \\ x_n = x_{n-1} + u_{n-1, n} \left\{ 1 + \left( \frac{y_n^2}{2 R^2} - \frac{v_{n-1, n}^2}{6 R^2} \right) \right\} \\ \Delta \alpha_{n-1, n} = - \rho'' \frac{u_{n-1, n}}{R} \left\{ \frac{y_{n-1}}{R} + \frac{v_{n-1, n}}{2 R} \right\} \end{cases}$$

wo  $v_{n-1, n} = s_{n-1, n} \cdot \sin \alpha_{n-1, n}$   
 $u_{n-1, n} = s_{n-1, n} \cdot \cos \alpha_{n-1, n}$

Daraus leitet man die Neigung der geodätischen Linie  $P_n P_{n'}$ ,  $\alpha_{n, n'}$ , ab, nach welcher das astronomische Azimut auf  $P_n$  beobachtet worden ist. Wir erhalten:

$$\alpha_{n, n'} = \alpha_{n, n-1} + w_n$$

Es ist

$$\alpha_{n, n-1} = \alpha_{n-1, n} + 180^\circ + \Delta \alpha_{n-1, n}$$

Setzen wir den Wert für  $\alpha_{n-1, n}$  ein und gehen zurück bis auf  $\alpha_{0, 0}'$ , so folgt

$$\begin{aligned} \alpha_{n, n'} &= \alpha_{0, 0}' + w_0 + w_1 + w_2 + \dots + w_n + \Delta \alpha_{0 \cdot 1} + \Delta \alpha_{1 \cdot 2} + \dots \\ &\quad + \Delta \alpha_{n-2, n-1} + \Delta \alpha_{n-1, n} + (n-1) 180^\circ \end{aligned}$$

oder

$$(11) \quad \alpha_{n, n'} = \alpha_{0, 0}' + \sum_{i=0}^n w_i + \sum_{i=1}^n \Delta \alpha_{i-1, i} + (n-1) 180^\circ$$

Damit wir das *Azimut* der geodätischen Linie  $P_n P_{n'}$  erhalten ( $\alpha_{n, n}'$ ) müssen wir die sogenannte „Meridiankonvergenz“  $t_n$  zufügen. Es ist dies der Winkel, den die Parallele durch  $P_n$  zum Meridian durch den Fundamentalpunkt  $O$  mit dem Meridian durch  $P_n$  bildet. Wir

zählen diesen Winkel zwischen den Nordästen der beiden Linien im Uhrzeigersinn.

Nach *Helmert*, Höhere Geodäsie, I. Teil, S. 460, Formeln (3) ergibt sich unter Beschränkung auf Glieder bis zur 4. Ordnung

$$(12) \quad t_n = -\lambda_n'' \sin \varphi_n \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{\lambda_n''^2}{\rho''^2} \cos^2 \varphi_n + \text{Gl}_4 \right)$$

und

$$(13) \quad y_n = -\frac{a}{\rho''} \frac{\cos \varphi_n \cdot \lambda_n''}{W_n} \left( 1 - \frac{\lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right)$$

Damit wird:

$$(14) \quad \lambda_n'' = -\frac{y_n}{a} \frac{W_n \cdot \rho''}{\cos \varphi_n} \left( 1 + \frac{\lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right)$$

Setzen wir diesen Wert für  $\lambda_n''$  in (12) ein, so folgt

$$(15) \quad t_n'' = +\frac{y_n W_n \rho''}{a} \operatorname{tg} \varphi_n \left( 1 + \frac{1}{3} \frac{\lambda_n''^2}{\rho''^2} \cos^2 \varphi_n + \frac{\lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right)$$

Den Ausdruck für  $\Delta a_{i-1, i}$  können wir noch etwas umformen; es ist nach *Helmert*, Höhere Geodäsie, I. Teil, S. 418, Formel (9)

$$\Delta a_{i-1, i} = -\rho'' \frac{\Delta x}{R} \left\{ \begin{array}{l} \frac{y}{R} \left( 1 - \frac{y^2}{6 R^2} + \frac{(\Delta x)^2}{12 R^2} + \frac{(\Delta y)^2}{8 R^2} \right) \\ + \left( 2 \frac{xy}{R^2} + \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{6 R^2} \right) e^2 \sin 2 \varphi_0 + \text{Gl}_5 \end{array} \right\}$$

Dabei ist

$$\Delta x = x_i - x_{i-1} \quad x = \frac{x_{i-1} + x_i}{2}$$

$$\Delta y = y_i - y_{i-1} \quad y = \frac{y_{i-1} + y_i}{2}$$

Beachten wir nur die Glieder 2. Ordnung, so ist

$$\Delta a_{i-1, i} = -\rho'' \frac{\Delta x \cdot y}{R^2} + \text{Gl}_4$$

und damit wird

$$(16) \quad \sum_{i=1}^n \Delta a_{i-1, i} = -\frac{\rho''}{R^2} \sum \Delta x \cdot y$$

$\sum \Delta x \cdot y$  ist aber genähert die Fläche zwischen dem Polygonzug  $O_1 P_1 P_2 \dots P_i \dots P_n$ , der Ordinate von  $P_n$  und dem Meridian durch  $O$ .

Somit wird, richtig bis auf Glieder 3. Ordnung

$$(17) \quad \sum_{i=1}^n \Delta a_{i-1, i} = -E$$

wo  $E$  der sphäroidische Exzeß der oben bezeichneten Figur ist.

Somit erhalten wir

$$(18) \quad a_{n,n'}^g = a_{0,0'}^a + \sum_{i=0}^{i=n} w_i - E \\ + \frac{y_n W_n \cdot \rho''}{a} \operatorname{tg} \varphi_n \left( 1 + \frac{\lambda_n''^2 \cos^2 \varphi_n}{3 \rho''^2} + \frac{\lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right)$$

Die Laplace-Gleichung lautet

$$a_{n,n'}^a - a_{n,n'}^g + \sin \varphi_n (\lambda_n^a - \lambda_n^g) = \omega.$$

Rechnen wir dies aus, so erhalten wir:

$$a_{n,n'}^a - a_{0,0'}^a + \sin \varphi_n \lambda_n^a - \sum_{i=0}^{i=n} w_i + E - \frac{y_n W_n \rho''}{a} \operatorname{tg} \varphi_n \\ \left( 1 + \frac{\lambda_n''^2 \cdot \cos^2 \varphi_n}{3 \rho''^2} + \frac{\lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right) - \sin \varphi_n \cdot \lambda_n^g = \omega$$

Nun ist aber

$$-\sin \varphi_n \cdot \lambda_n^g = + \frac{y_n W_n \rho''}{a} \operatorname{tg} \varphi_n \left( \frac{1 + \lambda_n''^2 \sin^2 \varphi_n}{6 \rho''^2} \right)$$

so daß wir erhalten

$$a_{n,n'}^a - a_{0,0'}^a + \lambda_n^a \sin \varphi_n - \sum_{i=0}^{i=n} w_i + E \\ - \frac{y_n W_n \rho'' \cdot \operatorname{tg} \varphi_n}{a} \frac{\lambda_n''^2 \cos^2 \varphi_n}{3 \rho''^2} = \omega.$$

In erster Näherung ist nach Formel (14) oben

$$\lambda_n'' \cos \varphi_n = - \frac{y_n W_n \rho''}{a}$$

Damit erhalten wir die endgültige Formel

$$(19) \quad a_{n,n'}^a - a_{0,0'}^a + \lambda_n^a \sin \varphi_n - \sum_{i=0}^{i=n} w_i + E \\ - \frac{y_n^3 W_n^3}{3a^3} \rho'' \operatorname{tg} \varphi_n = \omega.$$

Man erkennt daraus, daß der von der geodätischen Uebertragung herrührende Teil der Laplace-Gleichung ist

$$(20) \quad E - \frac{y_n^3}{3a^3} W_n^3 \rho'' \operatorname{tg} \varphi_n = \omega_g$$

Wenn daher zur geodätischen Uebertragung fehlerhafte Elemente verwendet werden ( $w$  und  $s$ ), womit die Koordinaten der Punkte

$P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$  fehlerhaft werden, so hat das auch zur Folge daß  $E$  und  $y_n$  sich ändern.

In (20) ist  $E = \rho'' \frac{\Sigma \Delta xy}{R^2}$  von der 2. Ordnung klein, wenn wir  $\frac{x}{R}$

und  $\frac{y}{R}$  von der 1. Ordnung klein annehmen, während das 2. Glied von  $\omega_g$ ,

welches  $\frac{y_n^3}{a^3}$  enthält, von der 3. Ordnung klein ist. Es genügt daher für die Abschätzung des mittleren Fehlers von  $\omega_g$ , herrührend aus der Unsicherheit der Koordinaten  $x$  und  $y$ , nur den mittleren Fehler von  $E$  in Betracht zu ziehen.

Wir haben den mittleren Fehler von  $\Sigma \Delta x \cdot y$  für eine Dreieckskette aus gleichseitigen Dreiecken berechnet, wobei die sämtlichen Dreiecks-winkel mit demselben mittleren Fehler  $\mu$  behaftet angenommen worden sind, wobei aber auf die Ausgleichung der drei Winkel in jedem Dreieck verzichtet worden ist. Dadurch wird der mittlere Fehler des Ausdruckes  $\Sigma \Delta x \cdot y$  bestimmt zu groß erhalten. Wir gehen hier auf diese Berechnung nicht näher ein, sondern geben nur das Ergebnis.

Wir finden

$$m \omega_g'' < \mu'' - \frac{s^2}{R^2} \sqrt{2 \cdot n^3}$$

wo  $s$  die Länge einer Dreiecksseite und  $n$  die Anzahl der Seiten zwischen dem Fundamentalpunkt  $O$  und dem Laplacepunkt  $P_n$  ist.

Mit

$\mu = 1''$ ;  $s = 50$  km;  $n = 10$ ;  $R = 6371$  km finden wir

$$m \omega_g'' < 0.''00275$$

Mit  $\mu = 1''$ ;  $s = 100$  km;  $n = 10$ ;  $R = 6371$  km finden wir

$$m \omega_g'' < 0.''011.$$

Da die letzten Annahmen sicher extreme sind, so ist durch diese Fehleruntersuchung zweifellos gezeigt, daß der Einfluß der geodätischen Elemente auf den Widerspruch der Laplace'schen Bedingungsgleichung unter allen Umständen vernachlässigt werden darf.

Das Ergebnis unserer Untersuchung im Bericht über die Verteilung und die praktische Verwendung der Laplace-Punkte an die Internationale Vereinigung für Geodäsie anlässlich ihrer Versammlung vom September 1936 in Edinburg<sup>1</sup> wird also durch diese strengere Prüfung vollkommen bestätigt.

Auf die weiteren Fragen, welche in jenem Berichte behandelt worden sind, treten wir hier nicht ein. Es lag uns nur daran, hier eine strengere Ableitung für den aus den geodätischen Elementen folgenden Widerspruch der Laplace-Gleichung zu geben. Er erweist sich als von der 2. Ordnung klein und nicht, wie man auf den ersten Blick schließen

<sup>1</sup> Baeschlin, C. F., Rapport sur la répartition et l'utilisation pratique des points de Laplace. Bulletin géodésique 1936, No. 52, page 442.

möchte, von der ersten Ordnung. Sein Fehlereinfluß ist daher gegenüber den Fehlern der astronomischen Elemente und der Winkel des Dreiecksnetzes verschwindend. Damit ist aber erst die einwandfreie Verwendung der Laplace-Gleichungen als Bedingungsgleichungen für die Ausgleichung von Triangulationsnetzen gewährleistet.

---

## Herbstversammlung der Sektion Zürich-Schaffhausen.

Samstag, den 12. Dezember 1936, fand im Restaurant „Du Pont“ in Zürich die ordentliche Herbstversammlung der Sektion Zürich-Schaffhausen statt. Der späte Zeitpunkt der Tagung war begründet durch einige pendente Geschäfte, die der Vorstand noch vorher zu erledigen hoffte.

Präsident Vogel konnte in seinen Eröffnungsworten eine erfreulich große Zahl von Vereinsmitgliedern begrüßen. Es war dies nicht anders zu erwarten, bildete doch das Haupttraktandum „Aktuelle Fragen über Arbeitsbeschaffung“ reichlich Stoff zur Diskussion.

Bereits seit längerer Zeit sind die Arbeitsmöglichkeiten in unserm Berufe zusammengeschrumpft. Das Fortschreiten der Grundbuchvermessung muß wegen der eingeschränkten Kredite verlangsamt werden, tiefbautechnische Arbeiten, die sehr oft an Geometerbureaux vergeben werden, kommen wegen der allgemeinen Depression auf dem Baumarkt weniger zur Ausführung. Auch auf dem Gebiete der Meliorationen, insbesonders der Güterzusammenlegungen, ist ein Stillstand eingetreten, als Folge fehlender Mittel bei Staat, Gemeinde und Landwirtschaft. An die Aufnahme neuer Unternehmen soll gewiß mit Vorsicht geschritten werden, doch wichtige Argumente sprechen dafür, daß solche nicht einfach sistiert werden dürfen. Meliorationen tragen wesentlich zur Arbeitsbeschaffung bei, sprechende Beispiele finden wir bei den zwei schaffhauserischen Gemeinden Herblingen und Beringen. Beide Orte haben ziemlich viele, früher in der Metallindustrie beschäftigte Arbeiter, für die dringend Notstandsprojekte bereitgestellt werden mußte. Beim Wegebau anlässlich der Güterzusammenlegung konnten während mehreren Jahren viele Beschäftigung finden. — Die Schaffung neuer Erwerbsmöglichkeiten, die Vereinfachung der Betriebsverhältnisse, die Vermehrung der Produktion sind alles Momente die volkswirtschaftlich solche Unternehmen rechtfertigen. Bei der politischen Unsicherheit unserer Zeit soll die wirtschaftliche Unabhängigkeit unseres Landes so weit als möglich gefördert werden.

Zu diesen Problemen Stellung zu nehmen, von den vorhandenen Arbeitsmöglichkeiten diejenigen auszuwählen, die selbst in einer Krisenzei verantwortet werden können, war das Hauptthema unserer Tagung.

Der Vorsitzende gab in einem längern Exposé die Schritte des Vorstandes bekannt, die er hinsichtlich Arbeitsbeschaffung unternommen hat. Den präsidialen Ausführungen folgte eine reichlich benützte Diskussion, die wertvolle Anregungen zeitigte.

So wurde u. a. die Förderung der Uebersichtspläne gewünscht, die als Grundlage der neuen Kartenwerke, nicht beliebig hinausgeschoben werden darf. In verschiedenen Kantonen, die aus früheren Jahren Vermessungen besitzen, wäre dies ohne vorhergehende Parzellarvermessung möglich.

Im engen Zusammenhang mit den vorhandenen Arbeitsmöglichkeiten steht auch die Frage des Nachwuchses. Während bei den Vermessungstechnikern bereits gewisse Richtlinien aufgestellt wurden, sind