

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 68 (1970)

**Heft:** 3

**Artikel:** Die Anwendung der elektronischen Distanzmessung in Verbindung mit Höhenwinkelmessungen für Verschiebungsmessungen

**Autor:** Hug, P.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-223659>

### **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:** 02.04.2026

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

# Die Anwendung der elektronischen Distanzmessung in Verbindung mit Höhenwinkelmessungen für Verschiebungsmessungen

*P. Hug*

## *Résumé*

Pour déterminer les déplacements d'une pente en glissement quelques points ont été mesurés le long d'une droite. En tenant compte des déviations de la verticale, il est démontré que l'exactitude d'une compensation augmente et que l'erreur moyenne avant la compensation correspond avec l'erreur a posteriori.

## *Zusammenfassung*

Zur Bestimmung der Verschiebung von Punkten eines Rutschhanges wurden einzelne in einer Geraden liegende Punkte durch die Messung von Distanzen und Höhenwinkeln bestimmt. Es wird gezeigt, daß bei Einführung einer Lotabweichungsdifferenz die strenge Ausgleichung auf höhere Genauigkeiten und ein Übereinstimmen der mittleren Fehler a priori und a posteriori führt als bei Vernachlässigung der Lotabweichung.

## *1. Problem*

Die Luftseilbahn Klosters-Gotschnagrät (Parsenn) führt von Klosters-Platz (1194 m) in zwei Teilstücken zur Bergstation Gotschnagrät (2291 m). Sie überwindet dabei auf einer Gesamtlänge von 2953 m eine Höhendifferenz von 1097 m. Die Masten der unteren Sektion stehen auf Bergsturzmaterial. Sie führen Bewegungen aus, die seit Jahren nach verschiedenen Methoden gemessen wurden. Zuerst geschah die Bestimmung der Bewegung auf Grund von Alignements. Später wurden sie – wenigstens teilweise – durch die Triangulation mit Richtungsmessungen und Höhenwinkelmessungen ersetzt.

Als in den Jahren 1967 und 1968 die Aufgabe der Einmessung der Masten den Diplomanden der Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung der ETHZ erneut gestellt wurde – eine Aufgabe, die sich als Diplomarbeit eignete –, wurde von den früheren Triangulationsmessungen abgegangen. An ihre Stelle trat die Bestimmung der Lage und Höhe der Masten durch Polarkoordinaten von zwei Festpunkten aus, indem von diesen aus die Richtungen, die Distanzen und Höhenwinkel nach den Masten gemessen wurden.

## *2. Meßanlage*

Die zwei Festpunkte (Sender und Fezi; siehe Kartenskizze) befinden sich ungefähr in der Richtung der Bahnaxe. Von ihnen durfte angenommen werden, daß sie ihre Lage beibehalten würden.

Zur Messung der Richtungen und Höhenwinkel wurden Theodolite vom Typ T2 und DKM3 verwendet. Als Distanzmeßgerät gelangte das dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ gehörende Geodimeter MR6 zum Einsatz. Die Sätze wurden 3–4mal, die Höhenwinkel vormittags und nachmittags je einmal gemessen.

### 3. Berechnungen

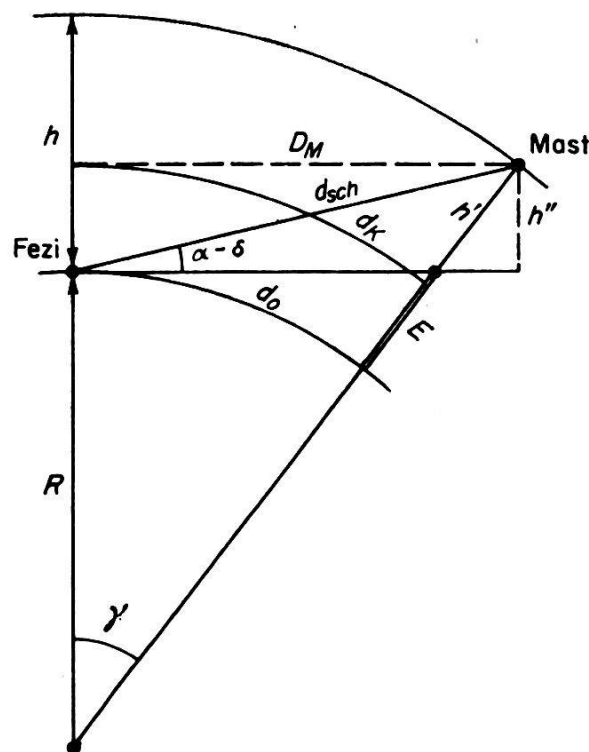
#### 3.1. Berechnung auf einfache Art ohne Computer

In einer ersten Berechnung sollten Lage und Höhe der Masten ohne großen Arbeitsaufwand mit einfachen Mitteln bestimmt werden. Diese Problemstellung führte zur folgenden Lösung:

Die Schrägdistanzen wurden auf den Horizont des Festpunkts Fezi reduziert. Sodann wurden die Distanzen Festpunkt–Masten auf die reduzierte Strecke Fezi–Sender projiziert. Die Addition der beiden zu einem Masten gehörenden Distanzen ergab sieben Werte für die Strecke Fezi–Sender. Hinzu kamen noch die beiden Werte der direkten Messungen.

Nach der Methode der kleinsten Quadrate ist das Gewichtsmittel der plausibelste Wert der Strecke Fezi–Sender, in welche die Distanzen für jeden Mast ausgeglichen wurden.

Für die Ausgleichung der Höhendifferenzen wurde das gleiche Verfahren angewendet.



Die Distanzreduktionen erfolgten für den Punkt Fezi mit der nachstehenden Formel (siehe Figur):

$$D_M = d_{sch} \cdot \cos(\alpha - \delta) = d_{sch} \left( \cos \alpha + \frac{d}{2R} \kappa \sin \alpha \right)$$

Die grobe Höhendifferenz  $h''$  wurde berechnet aus

$$h'' = d_{sch} \cdot \sin(\alpha - \delta) = d_{sch} \left( \sin \alpha - \frac{d}{2R} \times \cos \alpha \right)$$

Mit den Näherungen

$$\begin{aligned} h' &= h'' \\ d_K &= D_M \end{aligned}$$

folgt für die reduzierte Distanz auf Höhe 0:

$$\underline{d_0 = d_K \frac{R}{R + h''}}$$

Für die Station Sender ergibt sich entsprechend:

$$\underline{d_0 = d_K \frac{R}{R + H + h''}}$$

mit  $H$  als Höhendifferenz zwischen den beiden Festpunkten.

*Resultate:*

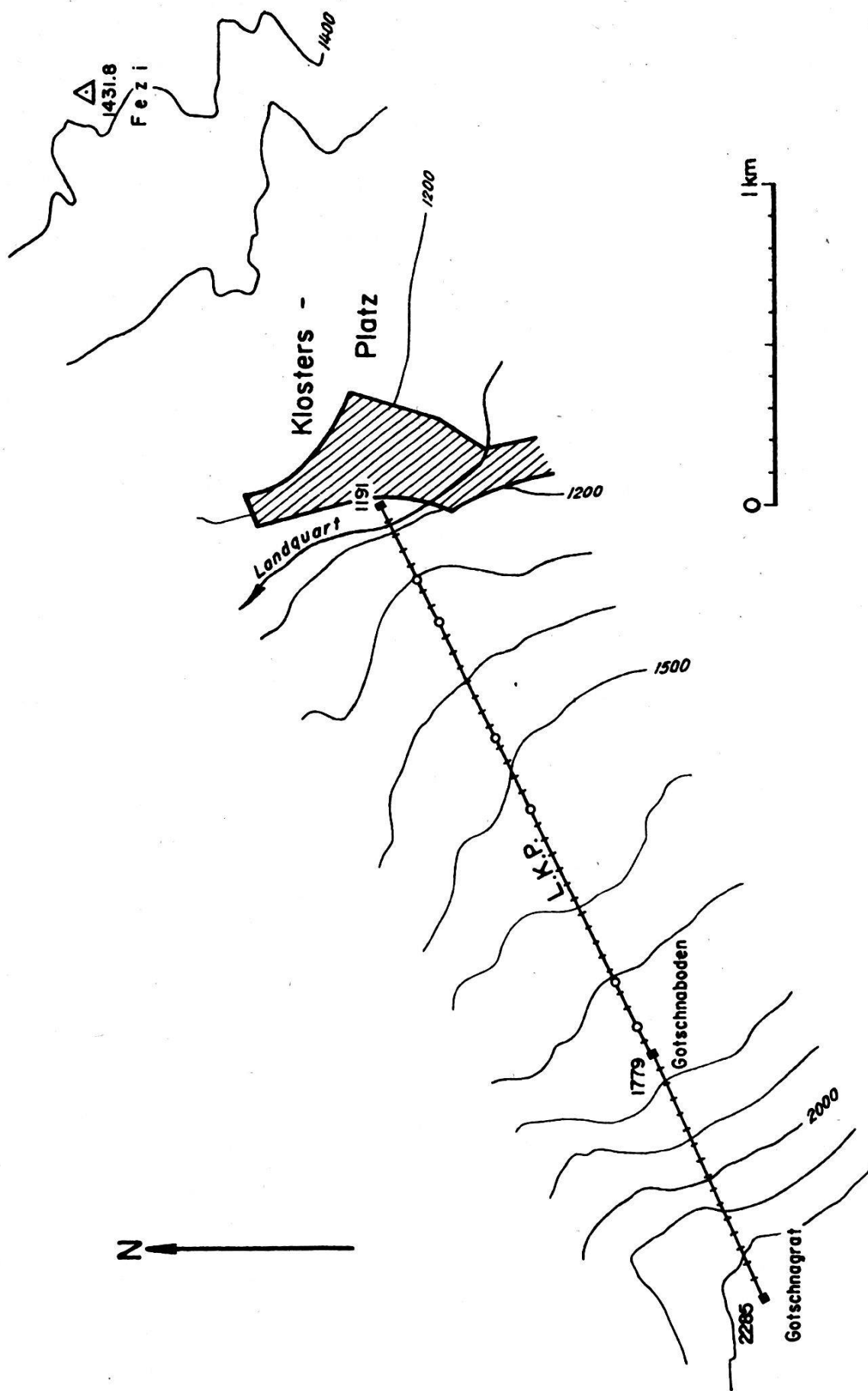
Die Fehlerrechnung ergab mittlere Fehler von  $\pm(1 \text{ cm} + 2 \text{ mm/km})$  für die Geodimeterdistanzen und  $\pm 10''$  für die Höhenwinkel. Die Genauigkeit der Distanzen entspricht den Erwartungen, wie sie auch in der Literatur angegeben werden. Der mittlere Fehler der Höhenwinkel dagegen übersteigt den Normalwert von  $4''$  erheblich. Ursache ist vermutlich der Einfluß der Lotabweichungen in den beiden Festpunkten. Aus dem Vergleich der unausgeglichenen Höhendifferenzen Fezi–Sender und Sender–Fezi läßt sich eine Lotabweichungsdifferenz von ca.  $60''$  erwarten.

Die mittleren Fehler der ausgeglichenen Werte für die Mastenlage waren  $\pm 0,7 \div \pm 1,4 \text{ cm}$  an der Horizontalabstand und  $\pm 1,5 \div \pm 3,0 \text{ cm}$  an der Höhe.

### *3.2. Strenge Ausgleichung unter Berücksichtigung der Lotabweichungen*

Waren auch die durch die einfache Ausgleichung gefundenen Werte für die Beurteilung der Verschiebung der Masten durchaus befriedigend, so sollte – mindestens im Rahmen der Diplomarbeit – untersucht werden, ob durch die Einführung der Lotabweichungen als Unbekannte in die Ausgleichung die mittleren Fehler der Höhenwinkel, wie sie sich aus der Ausgleichung ergaben, besser mit den beobachteten Genauigkeiten übereinstimmen. Zudem war zu erwarten, daß es durch eine korrekte Ausgleichung, in der Distanzen und Höhenwinkel gemeinsam als Beobachtungen eingeführt wurden, unter Berücksichtigung der Lotabweichungen auch kleinere mittlere Fehler für die gesuchte Lage und Höhe der Masten geben würde.

Es wurde eine vermittelnde Ausgleichung durchgeführt mit den gemessenen Schrägdistanzen und Höhenwinkeln als Beobachtungen. Als Unbekannte wurden für jeden Neupunkt und den Punkt Sender die projizierte Horizontalabstand nach Fezi und die Höhe über dem Horizont von Fezi eingeführt. Hinzu kam im Punkt Fezi noch die Komponente



der Lotabweichungsdifferenz in Richtung Sender. Das gab zusammen 17 Unbekannte bei 32 Beobachtungen.

Bereits im Jahre 1967 waren gleiche Messungen durchgeführt worden; auch für sie gab es 17 Unbekannte bei 32 Beobachtungen. Als zweckmäßige strenge Lösung wurde daher eine Gesamtausgleichung für die Jahre 1967 und 1968 durchgeführt. Lage und Höhe der Masten gaben verschiedene Unbekannte für die beiden Jahre, während die Lotabweichungen als zeitunabhängig in gleicher Weise in den Gleichungen für 1967 und 1968 auftraten. Das ergab 33 Unbekannte bei 64 Beobachtungen.

Aus den Beziehungen zwischen Beobachtungen und Unbekannten folgen

– für die *Distanzen*

im Punkt Fezi

$$d_{sch} = \sqrt{D_M^2 + h'^2} = \sqrt{(R + h + s_R - i_G)^2 \gamma^2 + (h - E + s_R - i_G)^2}$$

mit

$s_R$  = Signalthöhe des Reflektors

$i_G$  = Instrumentenhöhe des Geodimeters

$x$  = Projizierter Horizontaldistanz

$\varepsilon$  = Horizontalwinkel Sender – Zielpunkt

und daraus die Verbesserungsgleichungen

$$v = \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ (R + h_0 + s_R - i_G)^2 \frac{\gamma^2}{x_0} - (h_0 - E + s_R - i_G) \frac{\gamma}{\cos \varepsilon} \right] dx$$

$$+ \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ (R + h_0 + s_R - i_G) \gamma^2 + (h_0 - E + s_R - i_G) \right] dh + d_{sch_0} - d_{sch}$$

im Punkt Sender gilt analog

$$v = \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ - (R + h_0 + s_R - i_G)^2 \frac{\gamma^2}{X_0 - x_0} - (H_0 - h_0 + E - s_R + i_G) \frac{\gamma}{\cos \varepsilon} \right] dx$$

$$+ \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ (R + h_0 + s_R - i_G)^2 \frac{\gamma^2}{X_0 - x_0} + (H_0 - h_0 + E - s_R + i_G) \frac{\gamma}{\cos \varepsilon} \right] dX$$

$$+ \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ (R + h_0 + s_R - i_G) \gamma^2 - (H_0 - h_0 + E - s_R + i_G) \right] dh$$

$$+ \frac{1}{d_{sch_0}} \left[ (H_0 - h_0 + E - s_R + i_G) \right] dH + d_{sch_0} - d_{sch}$$

mit

$H$  = Höhe Sender

$X$  = Horizontaldistanz Fezi–Sender

– für die Höhenwinkel

im Punkt Fezi

$$\alpha = \varrho^{cc} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[ \frac{h - E + s - i}{(R + h + s - i) \gamma} + \left( \frac{\theta \cos \varepsilon}{\varrho^{cc}} + \frac{x}{2 R \cos \varepsilon} \varkappa \right) (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \right]$$

und die Verbesserungsgleichungen

$$\begin{aligned} V_{\alpha} = & \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( -\frac{1}{(R + h_0 + s - i) \cos \varepsilon} - \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{X_0} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right. \\ & \left. + \frac{\varkappa}{2 R \cos \varepsilon} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_0) \right] dx \\ & + \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( \frac{1}{R + h_0 + s - i} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{R + h_0 + s - i} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right] dh \\ & + \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \cos \varepsilon (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_0) \right] d\theta + \alpha_0 - \alpha \end{aligned}$$

mit

$\alpha$  = gemessener Höhenwinkel

$\theta$  = Komponente der Lotabweichungsdifferenz in Richtung Sender

$\beta = \alpha - \theta \cos \varepsilon - \delta$

im Punkt Sender die Verbesserungsgleichungen

$$\begin{aligned} V_{\alpha} = & \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( \frac{1}{(R + h_0 + s - i) \cos \varepsilon} + \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{X_0 - x_0} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right. \\ & \left. - \frac{\varkappa}{2 R \cos \varepsilon} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_0) \right] dx \\ & + \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( \frac{1}{(R + h_0 + s - i) \cos \varepsilon} - \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{X_0 - x_0} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right. \\ & \left. + \frac{\varkappa}{2 R \cos \varepsilon} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_0) \right] dX \\ & + \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( \frac{1}{(R + h_0 + s - i) \gamma} - \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{R + h_0 + s - i} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right] dh \\ & + \frac{\varrho^{cc}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0} \left[ \left( -\frac{1}{(R + h_0 + s - i) \gamma} \right) (1 + \gamma \varkappa \operatorname{tg} \beta_0) \right] dH + \alpha_0 - \alpha \end{aligned}$$

Die Ausgleichung für das Jahr 1968 brachte erstaunlich kleine mittlere Fehler, nämlich  $\pm(0,5 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km})$  für die Geodimeterdistanzen

und  $\pm 2^{\circ}$  für die Höhenwinkel. Auch die Gesamtausgleichung 67/68 ergab die sehr guten Werte von  $\pm (0,7 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km})$  und  $3^{\circ}$ .

Als Lotabweichungsdifferenz für 1968 ergaben sich  $66^{\circ}$  mit einem mittleren Fehler von  $\pm 2^{\circ}$ , für 67/68 war der entsprechende Wert  $58^{\circ}$  mit einem mittleren Fehler von  $\pm 3^{\circ}$ , beide in Richtung Talboden. Die etwas größere Differenz zwischen den beiden Werten ist wohl durch äußere Einflüsse (Refraktionsverhältnisse) bedingt.

Die mittleren Fehler an den einzelnen Masten waren für die ausgeglichenen Horizontalabstände  $\pm 0,5 \div \pm 0,8 \text{ cm}$ , für die Höhen  $\pm 1,6 \div \pm 1,8 \text{ cm}$ .

Wie zu erwarten war, ergaben die beiden Methoden bis auf Millimeter genau die gleichen Verschiebungen. Einen Gewinn brachte die strenge Ausgleichung insofern, als die mittleren Fehler an den Punktlagen und Punkthöhen bedeutend kleiner wurden. Befriedigend ist zudem das Übereinstimmen der mittleren Fehler a priori und a posteriori.

Wie bereits erwähnt, dürfte die einfache Methode zur praktischen Lösung der Aufgabe vollkommen genügen, besonders wenn man den finanziellen Aufwand einer Computerrechnung berücksichtigt.

DK 625.8 (253 + 254)

## **Der Vertikalaufbau von Wald- und Güterstraßen**

*V. Kuonen*

### *1. Einleitung*

In den letzten Jahren sahen sich Bauherrschaften und projektierende Ingenieure vermehrt vor die Frage gestellt, ob auch Wald- und Güterstraßen mit einem Belag versehen werden sollten. Das Problem ist entstanden durch eine stärkere mechanische und klimatische Beanspruchung dieser Straßen. Einerseits haben die Verkehrslasten und die Geschwindigkeit erheblich zugenommen; andererseits werden heute Straßen im Winter offengehalten, die nicht für diese zusätzliche Beanspruchung gebaut wurden.

Das Problem «Belag» darf nicht für sich allein betrachtet werden, sondern es muß im Zusammenhang mit dem gesamten Vertikalaufbau der Straße gesehen werden. Dieser ist von verschiedenen Faktoren abhängig, nämlich:

- von den Beanspruchungen des Verkehrs und des Klimas,
- von den Baugrundverhältnissen,
- von den Baustoffvorkommen im Projektgebiet und in Projektnähe.

Die Beanspruchungen durch den Verkehr können weitgehend durch eine Klassifikation des Straßentyps (Verbindungs-, Sammel- oder Erschließungsstraße) festgelegt werden. Bei Verbindungs- und Sammelstraßen ist zu berücksichtigen, daß eventuell sehr große Baustellentransporte (Antransport des Oberbaumaterials) erfolgen. Ebenso ist abzuschätzen,