

Paper-ID: VGI\_198307



## Absolute Orientierung in der Landes- und Katastervermessung

Gottfried Gerstbach <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Technische Universität Wien, Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **71** (2), S. 72–81

1983

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Gerstbach_VGI_198307,  
  Title = {Absolute Orientierung in der Landes- und Katastervermessung},  
  Author = {Gerstbach, Gottfried},  
  Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen und  
    Photogrammetrie},  
  Pages = {72--81},  
  Number = {2},  
  Year = {1983},  
  Volume = {71}  
}
```



# Absolute Orientierung in der Landes- und Katastervermessung

Von G. Gerstbach, Wien

## Zusammenfassung

In der Katastervermessung bieten Orientierungsverfahren mit der Sonne bei Festpunktmangel oder Sichthindernissen viele Vorteile. Binnen weniger Minuten und ohne Spezialausrüstung sind dabei Genauigkeiten um  $\pm 10''$  ( $30^{\text{C}}$ ) erreichbar. Es wird eine diesbezügliche Ergänzung der Vermessungsverordnung (§ 2) vorgeschlagen, die auch für Kreiselazimute gelten kann.

In der Landesvermessung bedeuten absolute Orientierungen eine Versteifung der Netze, wie an Beispielen gezeigt wird. In erster Linie kommen Polaris-Azimute in Frage, die teilweise auch bei Tag meßbar sind.

## Summary

Solar orientation methods prove advantageous in cadastral surveying when no control points or connecting directions are available. There is no need for special equipment and accuracies of  $\pm 10''$  ( $\pm 3$  mgon) may be obtained within a few minutes. Due to this a supplement to the Austrian decree of cadastral surveying is proposed, that would fit to gyroscope observations too.

In geodetic networks Polaris-azimuths are more advisable. Common theodolites can secure  $\pm 1''$  and the observation might be performed even at daylight. Some examples show how effectively absolute orientations increase the strength of geodetic networks.

Die absolute Orientierung von Richtungen wird selten und meist nur in Spezialprojekten angewendet. Der Grund hierfür dürfte in der fälschlichen Annahme liegen, daß diese Verfahren schwierig und unökonomisch seien. Für den Bereich der Katastervermessung kommt hinzu, daß weder Kreisel- noch astronomische Verfahren in der Vermessungsverordnung vorgesehen sind, obwohl sie manchmal von großem Nutzen wären. Erwähnt seien Sichthindernisse durch Gelände, Bewuchs und Verbauung oder der Mangel an geeigneten Festpunkten.

## 1. Wesen und Vorteile der absoluten Orientierung

Astronomische Orientierungsverfahren (und Vermessungskreisel) liefern Azimute  $A^*$ , die auf die durch Lot und Himmelspol definierte wahre Nordrichtung bezogen sind. Den Unterschied zu geodätischen Azimuten  $A$  (auf dem Bezugsellipsoid der Landesvermessung) beschreibt für flache Visuren die Laplace'sche Gleichung

$$A^* - A = (\lambda^* - \lambda) \sin \varphi + w, \quad (1)$$

weshalb man bei höheren Genauigkeitsansprüchen die longitudinale Lotabweichung  $\lambda^* - \lambda = \eta / \cos \varphi$  und den Laplace'schen Widerspruch  $w$  kennen oder mittels (3b) eliminieren muß. Letzterer bewegt sich im österreichischen Gebrauchsnetz zwischen den Werten  $-9'' < w < -6''$ , ist also nahezu konstant. Die Lotabweichung ist stärker ortsveränderlich, liegt in Österreich aber mit beiden Komponenten  $\xi, \eta$  in dichtem Raster vor (TU Wien und Graz, BEV). Wegen  $\eta < 20''$  kann sie bei vielen Katastermessungen vernachlässigt werden, wenn geringe Orientierungsgenauigkeit ausreicht.

$$A \approx A^* \quad (\text{innerhalb } \pm 20'' \text{ bzw. } \pm 0,6^{\text{C}}). \quad (1a)$$

Bei allen absoluten Orientierungen muß hingegen die Meridiankonvergenz berücksichtigt werden, wenn man Richtungswinkel in der Gauß-Krüger-Abbildung erhalten will. Mit der Längendifferenz  $\Delta\lambda$  zum Mittelmeridian bzw. mit dem Querkrümmungsradius  $N$  zur Fußpunktsbreite  $\varphi_x$  gilt im Gradmaß genähert

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi + \frac{\Delta\lambda^3}{3 \varphi^2} \sin \varphi \cos^2 \varphi = \frac{y}{N} \varphi \operatorname{tg} \varphi_x \left[ 1 - \frac{y^2}{3N^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_x) \right] \quad (2)$$

Die Meridiankonvergenz erreicht also im Überlappungsbereich zweier  $3^\circ$ -Streifensysteme Werte von  $+1,5^\circ$  bzw.  $-1,5^\circ$ . Die Richtungsreduktion  $\Psi \approx y\Delta\lambda \cdot \rho/2R^2$  ist nur dort anzubringen, wo dies auch sonst nötig wäre – bei  $1''$  Genauigkeitserfordernis und 5 km Zielweiten also ab  $|y| > 80$  km.

Somit ergibt sich der ebene Richtungswinkel von  $P_i$  nach  $P_k$  aus einem astronomisch beobachteten Azimut zu

$$v_{ik} = A_{ik}^* - \gamma_i - \Psi_{ik} - \eta_i \operatorname{tg} \varphi_i - w_i \quad (3)$$

Die geographische Breite  $\varphi_i$  des Standpunktes kann dabei – wie auch für die Azimutberechnung selbst – aus der ÖK 1 : 50 000 entnommen werden. Für geringe Ansprüche vereinfacht sich (3) zu

$$v_{ik} \approx A_{ik}^* - \gamma_i \doteq A_{ik}^* - \Delta\lambda_i \sin \varphi_i \doteq A_{ik}^* - \frac{y_i}{100\ 360} \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3a)$$

In Altgrad beträgt die Konstante 111 510 m. Für mittlere Genauigkeitsansprüche von  $10\text{--}20''$  lassen sich die Korrektursterme in (3) einfach berücksichtigen, indem auf einem trigonometrischen Punkt  $P_o$  das Azimut  $A_{o1}$  einer längeren Netzseite gemessen und der zugehörige Richtungswinkel berechnet wird. Die Differenz ist die Lotabweichungskorrektur aller astronomischen Orientierungen in gewissem Umkreis (Flachland  $10\text{--}15$  km, Hochgebirge 1 km).

$$v_{ik} = A_{ik}^* + (v_{o1} - A_{o1}^*) + \frac{y_o - y_i}{100\ 360} \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3b)$$

Astronomische Orientierungen sind vor allem für lokale Messungen wertvoll, wenn keine geeigneten Anschlußrichtungen vorhanden sind. Zufolge ihres absoluten Charakters tragen sie aber auch als zusätzliche Beobachtungen wesentlich zur Güte von Punktbestimmungen bei, was im folgenden an einigen Beispielen gezeigt wird. Dieser günstige Effekt verstärkt sich mit der Größe eines Netzes, wie von der verwindungshemmenden Wirkung der Laplace-Azimute bekannt ist.

### 1.1 Rückwärtsschnitt mit absoluter Orientierung

Für eine erste Genauigkeitsuntersuchung diene die Punktconfiguration der Abb. 1, worin die für die Güte des Rückwärtsschnitts verantwortlichen Differentiale einfach aufgebaut sind:

$$\frac{d\alpha}{dx} = \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{\Delta x}, \quad \frac{d\alpha}{dy} = \frac{-\sin^2 \alpha}{\Delta x},$$

analog für  $\beta$ . Betrachtet man  $\alpha$  und  $\beta$  als unkorreliert und schließt Exzentrizitätsfehler aus, folgen für  $\beta = \alpha$  und  $m_\beta = m_\alpha$  die mittleren Koordinatenfehler

$$m_x = \frac{m_\alpha \Delta x}{\sqrt{2} \sin \alpha \cos \alpha}, \quad m_y = \frac{m_\alpha \Delta x}{\sqrt{2} \sin^2 \alpha} \quad (4)$$

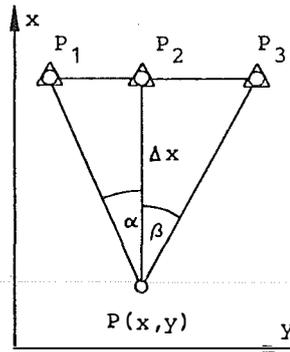


Abb. 1

Wird nun außer den Winkeln  $\alpha$ ,  $\beta$  eine astronomische Orientierung gemessen, kann die Bestimmung von P als Ausgleich dreier Standlinien mit Gewichten proportional  $1/s^2$  aufgefaßt werden. Durch Summation der Gewichtskomponenten in x und y ergibt sich

$$m_x = \frac{m_y \Delta x}{\sqrt{2} \sin \alpha \cos \alpha}, \quad m_y = \frac{m_y \Delta x}{\sqrt{1 + 2\cos^4 \alpha}} \quad (5)$$

Sind Orientierung und Richtungssatz gleich genau, wird der Fehler eines Richtungswinkels  $m_v$  gleich dem früheren Winkelfehler  $m_\alpha$ . Dann bleibt zwar  $m_x$  unverändert, doch sinkt  $m_y$  für  $\alpha = 45^\circ$  auf  $1/\sqrt{3} = 58\%$ , für  $\alpha = 20^\circ$  sogar auf 10%. Die absolute Orientierung garantiert auch am gefährlichen Kreis genaue Lösungen.

Ist die astronomische Beobachtung wesentlich genauer als der terrestrische Richtungssatz, sinken *beide* mittleren Koordinatenfehler nochmals bis zu 29%.

### 1.2 Gestreckter Polygonzug mit absoluter Orientierung

Der Längsfehler eines gestreckten Polygonzuges wird durch Zwischenorientierung nach Gestirnen oder Fernzielen *nicht* verkleinert, ist aber zufolge der günstigen Fehlerfortpflanzung und der Genauigkeit moderner Meßgeräte ohnehin unproblematisch.

Der Querfehler kann hingegen drastisch reduziert werden. Zunächst sei ein gestreckter, offener Polygonzug mit annähernd gleichlangen Seiten  $s$  angenommen. Bei größerer Punkteanzahl  $n$  wird die Richtungsgenauigkeit am Zugsende den Erwartungswert

$$\sigma_{v_{n-1, n}} = m_\beta \cdot \sqrt{n-1} \quad (6)$$

besitzen, wobei im mittleren Fehler  $m_\beta$  eines Brechungswinkels (Bogenmaß) auch die Exzentrizitätseinflüsse enthalten seien. Bei fehlerlosen Anschlußpunkten summiert sich der Querfehler  $f_q$  ab dem 2. Standpunkt gemäß

$$f_q = s \cdot m_\beta \sqrt{(n-1)^2 + (n-2)^2 + \dots + 1^2} = s \cdot m_\beta \sqrt{\frac{n(n-1)(n-0,5)}{3}} \tag{7}$$

wächst also bei Verlängerung des Zuges etwa mit  $n\sqrt{n}$ . Nach verschiedenen Untersuchungen (z. B. JEK II 1963, Meissl 1969) ändert sich dieses Verhalten auch bei Zugsabschluß nicht wesentlich und liegt in ähnlicher Form den Fehlergrenzen der Vermessungsverordnung 1976 zugrunde.

Die Fehlerfortpflanzung bessert sich entscheidend, wenn der Polygonzug aus *Azimuten* aufgebaut ist. Anders als in (6), bleibt die Richtungsgenauigkeit  $m_v$  konstant und vom Querfehler der jeweiligen Nachbarpunkte unabhängig, sodaß anstelle von (7) die viel günstigere Formel

$$f_q^* = s \cdot m_v \sqrt{n-1} = \frac{[s] \cdot m_v}{\sqrt{n-1}} \tag{8}$$

tritt. Bei vorgegebener Gesamtlänge [s] wird ein herkömmlicher Polygonzug bekanntlich dann am genauesten, wenn er aus möglichst langen Polygonseiten besteht. Im Gegensatz zu älteren Anschauungen und trotz (8) gilt dies auch für Astro-, Kreis- und Bussolenzüge. Tarczy-Hornoch (1977) zeigt nämlich, daß der für mehr Polygonpunkte notwendige Zeitaufwand besser in die wiederholte Messung *weniger* Azimute investiert wird.

Wegen des Unterschiedes (7) zu (8) sind Kreiseldzüge ab etwa 10 Polygonpunkten genauer. Bei Astro-Zügen liegt diese Grenze zufolge der besseren Orientierung tiefer – dies soll Gegenstand einer späteren Untersuchung sein. Obwohl man astronomische Orientierungen rasch und ohne Zusatzgeräte messen kann (siehe folgender Abschnitt), dürfte das Optimum in einer Kombination mit Brechungswinkel bestehen.

Die Fehlerfortpflanzung eines solchen astronomisch gestützten Polygonzuges liegt zwischen den beiden obigen Gesetzen, und die Querfehler verringern sich – je nach Anzahl und Genauigkeit der Azimute – um bis zu 90%. Schon bei einem einzigen, zwischen zwei Festpunkte eingeschalteten „Polygonpunkt“ mit Orientierung ( $m_v = m_\beta$ ) sinkt  $f_q$  im Verhältnis  $\sqrt{6} : 8$ , also um 14%.

Daß ähnliche Genauigkeitssteigerungen auch für stark gekrümmte Polygone gelten, zeigt eine Analyse der Stuttgarter Raumpolygonzüge (Ramsayer 1974). Sie sind 83 km lang und in 10 bzw. 20 Strecken unterteilt. Abgesehen vom Anfangspunkt wurden auf 3 Polygonpunkten astronomische Azimute gemessen. Obwohl sie mit  $\pm 4''$  etwas ungenauer als die Richtungssätze ( $\pm 3''$ ) sind, verkleinern sie die Abschlußfehler von 111 auf 59 cm bzw. von 120 auf 48 cm. Daß der Genauigkeitserfolg von 47% bzw. 60% unter dem theoretisch möglichen bleibt, der wegen

$$f_q^* \approx f_q \frac{m_v}{m_\beta} \sqrt{\frac{3}{n}} \tag{9}$$

77% bzw. 88% beträgt, erklärt sich zwanglos durch die geringe Anzahl der zusätzlichen Orientierungen.

### 1.3 Triangulationsnetz mit Laplace-Azimuten

In einem flächenhaften Netz, das aus gemessenen Winkeln aufgebaut ist, wächst der durchschnittliche bzw. netzinterne Punktlagefehler nach Meissl (1972) asymptotisch mit der Anzahl der Netzpunkte,

$$c_1 n \leq \tau, \tau' \leq c_2 \sqrt{n \ln n}. \quad (10)$$

Sind hingegen Distanzen und Azimute aller Netzseiten gemessen, gilt

$$\tau, \tau' \approx c \sqrt{\ln n}, \quad (11)$$

worin die stabilisierende Funktion absoluter Meßgrößen zum Ausdruck kommt. Die Konstanten beider Fehlergesetze hängen hauptsächlich von den Meßfehlern ab. (11) gilt auch für ein am Rand eingespanntes Winkelnetz.

Meistens ist aber nicht die auf das Zentrum bezogene Netzgenauigkeit von Bedeutung, sondern die Nachbargenauigkeit, welche durch die Fehlerellipsen allein noch nicht festliegt. Sie läßt sich jedoch zwischen beliebigen Punkten  $P_i, P_k$  aus der (stark bandstrukturierten) Kovarianzmatrix errechnen,

$$\sigma_{x_i - x_k} = \sigma_{x_i}^2 + \sigma_{x_k}^2 - 2\sigma_{x_i x_k}$$

analog für  $y_i - y_k$ . Auf ähnliche Weise haben Ashkenazi und Cross (1972) den britisch-irischen Triangulationsblock eingehend analysiert. In diesem aus 350 Punkten bestehenden Netz wurden 2287 Richtungen (je  $\pm 0.65''$ ), 179 Seiten (Tellurometer,  $\pm 2.5$  ppm) und 15 Laplace-Azimute ( $\pm 0.81''$ ) gemessen. Je nach Anzahl der verwendeten Azimute und Seiten ändert sich die mittlere Nachbargenauigkeit erheblich:

| Anzahl der Azimute Seiten |     | $\sigma_A$ | $\sigma_s$ | Anzahl der Azimute Seiten |      | $\sigma_A$ | $\sigma_s$ |
|---------------------------|-----|------------|------------|---------------------------|------|------------|------------|
| 1                         | 1   | 1.29"      | 7.71       | 15                        | 1    | 0.59"      | 7.49       |
| 1                         | 179 | 1.15       | 2.45       | 15                        | 23   | 0.57       | 3.02       |
| 15                        | 179 | 0.52       | 2.44       | 15                        | 179  | 0.52       | 2.44       |
| 51                        | 179 | 0.44       | 2.41       | 15                        | 575  | 0.46       | 1.76       |
| 350                       | 179 | 0.36       | 2.25       | 15                        | 1150 | 0.36       | 1.28       |

Gleiche Effekte wurden 1976 für Rahmennetze und übergreifende lange Seiten nachgewiesen. Die Genauigkeitssteigerung der Tabelle ist mit (10) : (11) nicht direkt vergleichbar, zeigt aber den starken Einfluß, den bereits wenige Laplace-Azimute ausüben. Daß ein Winkel- oder Streckennetz durch astronomische Azimutmessungen auf nur 5–10% der Punkte schon weitgehend optimiert ist, hat z. B. für geodynamische Bewegungsnetze große Bedeutung.

## 2. Methoden der astronomischen Orientierung

Um die oft feststellbare Scheu vor astronomischen Messungen zu überwinden, müssen die vorgeschlagenen Methoden einfach und ökonomisch sein. Wichtig sind folgende Aspekte:

- normales Instrumentarium soll genügen,
- übersichtlicher und genauer Meßvorgang,
- einfache Auswertung der Messungen.

Bei den Theodoliten kommt man ohne Steilsichtprismen, Filter oder Reiterlibellen aus, benötigt aber für zwei Methoden eine gute Armbanduhr, bzw. Funkgeräte für die dritte. Die Auswertung erfolgt mit Jahrbüchern, die im Buchhandel erhältlich und an geodätischen Instituten verfügbar sind.\*)

### 2.1 Azimutmessung mit Polaris

Mit Sekundentheodoliten liefert diese Standardmethode während der Dämmerung oder Nacht Genauigkeiten bis 1" ( $\pm 3^c$ ). Zum Aufsuchen des Polarsterns genügt die ungefähre Zenitdistanz  $z = 90^\circ - \varphi \pm 0,8^\circ$ . Nach den Erfahrungen des Verfassers ist Polaris bei gutem Wetter, besonders im Orient, auch in den Morgen- und Nachmittagsstunden beobachtbar, wofür man Zenitdistanz und Azimut mittels

$$\begin{aligned} z &= 90^\circ - \varphi - 0,8^\circ \cos t \\ A &= (360^\circ) - 0,8^\circ \sin t / \cos \varphi \\ t &= (4,6 + 2M + T) \cdot 15 - 33,8^\circ \end{aligned} \tag{12}$$

vorausberechnen kann. M bedeutet den Monat (z. B. 9,6 für den 18. September) und T die Ortszeit.

Nach Uhrvergleich und sorgfältiger Horizontierung des Theodolits wird die terrestrische Zielung vorgenommen. Dann wird Polaris eingestellt und die Uhr abgelesen (auf einige Sekunden); zur bequemeren Kreisablesung kann man das Fernrohr herabkippen. Es folgen Polaris und terrestrisches Ziel in der anderen Kreislage.

Nach Neuorientierung sollten weitere derartige „Sätze“ anschließen. Zuletzt wird die Uhr nochmals mit Radio- oder Telefonzeit verglichen.

Zur Auswertung werden  $\varphi$  und  $\lambda$  aus der Karte entnommen, wobei  $\pm 10''$  genügen, und die Polarkoordinaten  $\alpha$ ,  $\delta$  aus den „scheinbaren Sternörter“ interpoliert. Mit demselben Jahrbuch werden die korrigierten Uhrlesungen in Greenwich Sternzeiten  $\vartheta_G$  umgerechnet, woraus die einzelnen Polaris-Azimute

$$\operatorname{tg} A_p^* = \frac{\sin t}{\sin \varphi \cos t - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta}, \quad t = (\vartheta_G - \alpha) \cdot 15^\circ + \lambda \tag{13}$$

folgen. Subtrahiert man von  $A_p^\circ$  die Kreislesung der Polariszielung, ergibt sich die Orientierungsunbekannte jedes Halbsatzes. Aus dem Mittelwert aller Ziel-Azimute  $A_k$  gibt (3) oder (3b) den Richtungswinkel. Ungeübte Studenten erreichen mit 5 Sätzen absolute Genauigkeiten von etwa 5".

Wenn ein Kontrollnetz bessere Genauigkeiten erfordert, muß die Stehachsneigung durch Höhenkreiskompensator oder Reiterlibelle bestimmt werden (Gerstbach 1977). Wird außerdem jede Zielung doppelt vorgenommen, kann man mit 5 Sätzen in einer knappen Stunde  $\pm 1''$  erreichen. Wegen (1) ist dann meist noch eine Lotabweichungsbestimmung notwendig. Die höchstmögliche Azimutgenauigkeit (0.2–0.5") läßt sich nur mit astronomischen Theodoliten verwirklichen.

\*) Ein Auswerteprogramm für den HP 41C oder HP 41CV (Sonnen- und Polarisazimute) kann beim Verfasser um S 500,- bezogen werden.

## 2.2 Orientierung mit der Sonne

Wenn Orientierungsgenauigkeiten von  $10''$  ( $30^{\circ}$ ) ausreichen, bietet sich aus arbeitstechnischen Gründen die Sonne an. Ihr Azimut kann aus gemessener Uhrzeit (siehe Gerstbach 1983), Zenitdistanz (Eberwein 1952) oder Differenzverfahren berechnet werden, wobei die erste Methode am einfachsten ist und nur eine gute Armbanduhr benötigt. Die Sonnenbeobachtung erfolgt durch Projektion auf ein Blatt Papier, wodurch sich Filter und Steilsichtprismen erübrigen. Aufgesucht wird die Sonne anhand des Fernrohrschattens, scharfgestellt mit dem Okular. Rasche Messung verringert Strahlungseinflüsse, die Horizontierung soll jedoch sorgfältig und unter Beschattung der Libelle erfolgen.

Die Uhr muß vor und nach der Meßserie auf mindestens halbe Sekunden mit MEZ (Telefon Wien 15 05) verglichen werden, weil sich das Sonnenazimut um  $10\text{--}30''/\text{sec}$  verändert. Die Messung soll – auch wegen des Stehachsfehlers – bei möglichst tiefem Sonnenstand erfolgen. Beobachtet werden die *Sonnenränder*, indem man sie durch den Vertikalfaden laufen läßt und gleichzeitig Kommandos zur Uhrablesung gibt. Ein Satz beinhaltet: Terrestrisches Ziel – rechter (vorangehender) Sonnenrand – linker Rand – Kreislagenwechsel – rechter Rand – linker Rand – terrestrisches Ziel.

Bei dieser Reihenfolge kann man die Auswertung stark vereinfachen und Reduktionen vermeiden, da die Bewegungsableitungen 2. Grades gegeneinander wirken (Gerstbach 1983). In jedem Halbsatz mittelt man die Richtungen beider Sonnenränder und die Uhrlesungen. Letztere werden auf Weltzeit  $UT1 = MEZ - 1^h + dUT1$  korrigiert ( $dUT1 < 0,7^s$ ), um damit im „Nautical Almanac“, einem sehr praktischen Jahrbuch, den Greenwich Hour Angle GHA und die Deklination  $\delta$  der Sonne linear zu interpolieren. Mit  $t = GHA_{\text{int}} + \lambda$  und Formel (13) ergibt sich Sonnenazimut und Orientierung jedes Halbsatzes. Aus dem gemittelten Zielazimut  $A_{ik}^{\circ}$  liefert (3a) oder (3b) den Richtungswinkel. Die manuelle Auswertung eines Satzes dauert 5–10 Minuten.

Lehrplanmäßige Meßübungen an der TU Wien zeigen, daß Studenten schon aus 4 Sätzen in 1 Stunde absolute Genauigkeiten von  $\pm 10''$  erreichen, worin Horizontierfehler und Reaktionszeit den Großteil ausmachen. Letztere beträgt durchschnittlich  $0,3^s$  und wäre von den gestoppten Zeiten abzuziehen. Mit etwas Erfahrung sind dann  $\pm 2''$  erreichbar, doch sollte in  $\varphi$ ,  $\lambda$  die genäherte Lotabweichung berücksichtigt werden. Spezialzubehör (Roelofs-Prisma, Koinzidenzokular u. ä.) ist nicht erforderlich. Daß mit einem normalen Theodolit in *einem* Satz und nur 10 Minuten echte Genauigkeiten von 5–15'' möglich sind, gibt diesem Orientierungsverfahren z. B. in Polygonzügen (Abschnitt 1.2) oder bei Sichthindernissen einen großen ökonomischen Wert.

## 2.3 Richtungsübertragung mit Sonne, Mond oder Sternen

Wenn von einem Standpunkt  $P_i$  kein Anschlußziel sichtbar ist, wohl aber von einem Festpunkt  $P_o$  kann man diese terrestrische Orientierung durch Simultanbeobachtung eines astronomischen Hilfszieles von  $P_o$  auf  $P_i$  übertragen. Die Berechnung ist einfach, Jahrbuch und Uhr werden nicht benötigt, und wie in (3b) entfallen Einflüsse der Lotabweichung. Mit tiefstehenden Gestirnen ( $z > 45^{\circ}$ ), Punktentfernungen unter etwa 10 km und Funkgeräten sind Richtungsübertragungen auf  $\pm 5''$  bzw.  $\pm 15^{\circ}$  möglich.

Die Simultanmessungen erfolgen in Sätzen nach dem Schema: sorgfältiges Horizontieren – terrestrisches Ziel – 2x Gestirn – grobe Zenitdistanz – Kreislagenwechsel – 2x Gestirn – terrestrisches Ziel. Die Gleichzeitigkeit der Gestirnszielungen erreicht man, indem ein Beobachter das Funkkommando „Achtung . . . s . . top!“ gibt,

wenn der Sonnenrand (Okularprojektion) bzw. der Stern den Vertikalfaden passiert. Der andere Beobachter hat bis dahin nachgeführt und läßt nun den Feintrieb los. Zur Eliminierung der Reaktionszeiten wird in der Satzmitte oder beim nächsten Satz das Kommando getauscht.

Sind die Brechungswinkel jeder Kreislage ermittelt, folgen die Einzelwerte des gesuchten Richtungswinkels nach Rössler (1974)

$$\nu_{ik} = \nu_{o1} + (\beta_i - \beta_o) + \text{ctg } z_o^* \left[ \sin A_o^* (\varphi_i - \varphi_o) - \cos A_o^* \cos \varphi_o (\lambda_i - \lambda_o) \right] - \Delta\lambda_o \cos \varphi_o (\varphi_i - \varphi_o). \tag{14}$$

Die Koordinaten  $\varphi, \lambda$  beider Standpunkte sind aus der Karte 1 : 50 000 auf mm (knapp 2") zu entnehmen. Bis 10 km Punktdistanz genügt die Formel

$$\nu_{ik} = \nu_{o1} + (\beta_i - \beta_o) + r \cdot \text{ctg } z_o^* , \tag{14a}$$

worin  $r$  gemäß Abb. 2 die Kartenkomponente quer zum Gestirn bedeutet (32 . 4" bzw. 1° pro km). Liegt  $P_o$  in Gestirnsrichtung rechts von  $P_i$ , ist  $r$  positiv zu nehmen. Wird die Richtungsübertragung mit dem *Mond* durchgeführt, ist (14a) bzw. (14) um  $0,017r/\sin z^*$  zu korrigieren.

Nach kurzem Üben sind aus 1 Satz (10 Minuten) absolute Genauigkeiten von  $\pm 5''$  mit Sternen und  $\pm 10''$  mit Sonne oder Mond erreichbar (Gerstbach 1983).

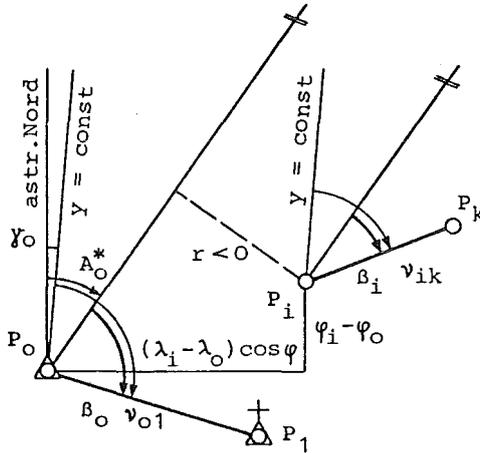


Abb. 2

#### 2.4 Vergleich der Astro- und Kreisellorientierung

Während in Hauptdreiecksnetzen genaue astronomische Azimute unersetzlich sind, kommen für Kleintriangulierung und Polygonierung auch Vermessungskreisel in Frage. Für den MOM Gi-B1 gibt die Herstellerfirma reproduzierbare Genauigkeiten von  $\pm 20''$  in einer halben Stunde an, während Caspary u. a. (1982) mit speziellen Verfahren  $\pm 5''$  in 6 Stunden erreichen (inkl. Richtungssätze). Der neue, in Bochum entwickelte Gyromat erzielt  $\pm 3-4''$  in 3 Stunden.

Umgelegt auf 10" Genauigkeitsforderung ergibt letztere Angabe einen Zeitaufwand von 20–25 Minuten. Die Sonnenmethoden (Abschnitt 2.2 und 2.3) benötigen hierfür mit üblichen Theodoliten 10 Minuten, sind also überlegen – jedoch wetterabhängig. Im Durchschnitt Österreichs (Zentralanstalt 1978–1982) scheiden rund 60% der Tage wegen Bewölkung über 5 Zehntel für Sonnenbeobachtungen aus, unter den „Außendiensttagen“ ohne Regen dürften es aber nur etwa 30% sein. Auch dies läßt sich manchmal durch markante Fernziele umgehen, die man erst später astronomisch einmißt.

Zur leichten Unterlegenheit der Kreiseltheodolite kommt außer dem hohen Preis noch die Notwendigkeit von Referenzmessungen (Caspary u. a., 1982). Bei höheren Ansprüchen sind wegen (1) ohnehin astronomische Beobachtungen (Lotabweichung) durchzuführen.

Für Astro- und Kreiselorientierungen der Genauigkeitsklasse  $\pm 3''$ – $10''$  empfiehlt sich die Differenzkorrektion nach (3b), die auch einen Vorteil der Richtungsübertragung (14a) ausmacht. Solche Orientierungen sparen oft viel Zeit und verbessern jede lokale Vermessung.

### 3. Vorschlag zur Novellierung der Vermessungsverordnung 1976

Um die Vorteile absoluter Orientierungsverfahren für die Katastervermessung nutzbar zu machen, schlägt der Verfasser für die nächste Novellierung der Vermessungsverordnung entsprechende kleine Änderungen im § 2 vor. Dabei ist gewährleistet, daß ausreichende terrestrische Kontrollen und mindestens gleichviel Überbestimmungen wie bei der gegenwärtigen Gesetzeslage bestehen.

Unter „astronomischer Orientierung“ sei Richtungsmessung zu Sonne, Planeten oder Sternen bzw. Orientierung mit nordsuchendem Kreisel verstanden sowie die Übertragung terrestrischer Orientierungen (Anschlußrichtungen) mittels astronomischem Hilfsziel.

Änderungsvorschlag für § 2 (1), Standpunktbestimmung:

1. durch Messen der Richtungen von mindestens drei Festpunkten aus (Vorwärtseinschneiden), wobei auf den verwendeten Festpunkten jeweils mindestens eine Anschlußrichtung nach weiteren Festpunkten zu messen *oder eine astronomische Orientierung (Himmelsobjekt oder Kreisel nord) vorzunehmen* ist;
2. durch Messen der Richtungen nach mindestens vier Festpunkten (Rückwärtseinschneiden) *oder nach mindestens drei Festpunkten bei astronomischer Orientierung am Standpunkt*;
3. . . . mindestens eine Anschlußrichtung nach weiteren Festpunkten *oder astronomisch* zu messen ist . . . (Kombiniertes Einschneiden);
6. durch Messen eines zwischen Festpunkten gelegenen Polygonzuges, wobei auf den verwendeten Festpunkten jeweils mindestens eine Anschlußrichtung nach weiteren Festpunkten *oder astronomisch* zu messen ist.

Zusatz zu § 2 (2), Entfernungen unter 150 m:

. . . Verwendung nur dieses Festpunktes als Standpunkt ausreichend. *Eine dieser Anschlußrichtungen kann durch astronomische Orientierung ersetzt werden.*

Zusatz zu § 10 (1), Vermessungspläne:

5. die Richtungswinkel und Entfernungen beim Anschluß für Vermessungen gemäß §§ 2 und 3; *bei astronomischer Orientierung Richtungswinkel zum Himmelsobjekt und Uhrzeit der Messung oder Richtungswinkel nach Kreisel nord.*

Auch wenn die vorgeschlagene Ergänzung der Vermessungsverordnung zunächst nur in wenigen Fällen genutzt werden sollte, ist sie überfällig. Einerseits, weil astrogeodätische Messungen seit jeher zur Ausbildung von Vermessungsingenieuren gehören und in technischen Projekten auch angewendet werden. Andererseits, weil immer mehr Geodäten mit kosmischen Verfahren in Berührung kommen und auch eine Bewußtseinsbildung in Hinblick auf Kreisverfahren notwendig ist. Denn voraussichtlich werden diese Methoden im nächsten Jahrzehnt das Vermessungswesen revolutionieren.

### Literatur

*Ashkenazi, V. und Cross, P. A.* (1972): Strength Analysis of Block VI of the European Triangulation. Bull. Geod. 103, S. 5–24.

*Caspary, W., Heister, H. und Schwintzer, P.* (1982): Zur Netzorientierung durch Kreisellazimute. Zeitschr. f. Verm. 107/10, S. 461–468.

*Eberwein, J.* (1952): Geodätische Orientierung mit der Sonne. Österr. Zeitschr. f. Verm., Sonderveröff. 14 (Festschrift Dolezal), S. 299–314.

*Gerstbach, G.* (1977): Zur Azimutmessung mit Sekundentheodoliten. Österr. Zeitschr. f. Verm. u. Phot. 64/2, S. 53–68.

*Gerstbach, G.* (1983): Orientierung kleinräumiger Vermessungen mit Sonne und Mond. Geowiss. Mitt. TU Wien, voraus. Heft 24.

*Meissl, P.* (1972): Investigation of Random Error Propagation in Geodetic Networks. Mittlg. geod. Inst. TU Graz, Heft 11/2, S. 301–319.

*Ramsayer, K.* (1974): Untersuchungen eines geschlossenen Raumpolygonzugs. DGK Reihe A, Heft 80.

*Rössler, W.* (1974): Richtungsübertragung mit astronomischem Hilfsziel. Geodät. Inf. Tage TU Wien, Studienbehelf.

*Tarczy-Hornoch, A.* (1977): Genauigkeitsvergleiche der Theodolitpolygonzüge und der Kreiselpolygonzüge bei gleicher Gesamtarbeitszeit. Österr. Zeitschr. f. Verm. u. Phot. 64/3/4, S. 105–111.

Vermessungsverordnung (1976): Bundesgesetzblatt f. d. Republik Österreich, 54/181.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (1978–1982): Jahrbücher der ZA. f. Met. u. Geodyn. Wien, Jahrgang 1975–1979, Band 112–116.

Manuskript eingelangt am: 12. Mai 1983