

ZUVERLÄSSIGKEITSMESSZAHLEN INGENIEURGEODÄTISCHER HORIZONTALER FESTPUNKTNETZE

Von

K. ÓDOR

Lehrstuhl für Höhere Geodäsie, Geodätisches Institut, TU Budapest

Eingegangen am 27. November 1978

Eine beträchtliche Zahl der ingenieurgeodätischen Arbeiten erfordern ein geometrisches Problem in einem zweckmäßig angenommenen Koordinatensystem zu lösen. Derartige Aufgaben sind die Vermessung von Anlagen für die Kartenaufnahme, die Absteckungen, die Kontroll- und Deformationsmessungen.

Auf dem Gelände wird das Koordinatensystem durch das Festpunktsystem verkörpert.

Die erforderliche Genauigkeit der Lösungen verschiedener geometrischer Aufgaben hängt von den technischen Anforderungen an die Anlagen ab. Dementsprechend sind die Vermessungen, die Absteckungen und andere ingenieurgeodätische Arbeiten mit verschiedener Genauigkeit durchzuführen, d. h. die Bestimmungsgenauigkeit der die Koordinatensysteme verkörpernden Festpunktnetze ist diesen Genauigkeitsanforderungen entsprechend zu planen.

Bei der Genauigkeitsplanung der Festpunktnetze werden drei Hauptmomente unterschieden:

a) die Wahl der für die Zuverlässigkeit des Netzes (oder der Netze) kennzeichnenden Genauigkeitsmeßzahl,

b) die Bestimmung der notwendigen Genauigkeit der Netze — des Zahlenwertes der gewählten Genauigkeitsmeßzahl, — den technischen Anforderungen der ingenieurgeodätischen Arbeiten entsprechend,

c) die Planung der für die Genauigkeit des Netzes bestimmenden Typen, Anzahl, Zuverlässigkeit der Messungen und die Form des Netzes, nach literarischem Wortgebrauch, die Bemessung des Netzes, um die vorgesehene Genauigkeit zu erreichen.

Im weiteren möchten wir uns mit dem Moment a) der Genauigkeitsplanung von ingenieurgeodätischen Festpunktnetzen, d. h. mit der Frage beschäftigen, welche Gesichtspunkte bei der Wahl der Genauigkeitsmeßzahlen für die Netze grundsätzlich zu berücksichtigen sind.

Die Genauigkeit der Landestriangulationsnetze wird — wie bekannt — durch die Ferreroschen mittleren Winkelfehler, die nach der Ausgleichung berechenbaren mittleren Netzwinkelfehler, die mittleren Koordinatenfehler,

die Achsen der Fehlerellipsen, und die Genauigkeit der Polygonnetze durch die Winkel- und Koordinatenabschlußfehler sowie die linearen Abschlußfehler gekennzeichnet.

Die Genauigkeit der ingenieurgeodätischen Netze wird sowohl in der ungarischen als auch in der ausländischen Fachliteratur neben den genannten mittleren Fehlern auch durch die mittleren Fehler der Netzseiten, die Achsen der relativen Fehlerellipsen, aber auch durch die Mittelwerte derselben gekennzeichnet.

Da die zweckmäßigen Genauigkeitsmeßzahlen einerseits deshalb gewählt werden, um sie auch bei der Genauigkeitsplanung des Netzes zu verwenden, werden hier folgende Zuverlässigkeitsmeßzahlen der ausgeglichenen Größen untersucht:

- die mittleren Koordinatenfehler,
- die Achsen der absoluten Fehlerellipsen,
- die mittleren Fehler der Entfernungen zwischen den Netzpunkten (der Seiten),
- die Achsen der relativen Fehlerellipsen.

bzw. die aus diesen berechenbaren Mittelwerte und relativen mittleren Fehler.

Um diese Zuverlässigkeitsmeßzahlen zu analysieren, betrachten wir die Art ihrer Berechnung.

Wie bekannt, können Netze nach den Methoden der Ausgleichung bedingter und vermittelnder Beobachtungen ausgeglichen werden. Je nach der Ausgleichungsmethode wird dann der mittlere Fehler einer beliebigen ausgeglichenen Größe bzw. einer aus diesen Größen gebildeten Funktion bestimmt, wenn man die Gewichtskonstanten dieser Funktionen ermittelt.

Es ist bekannt, daß die Gewichtskoeffizientenmatrix $Q_{(x)}$ bzw. $Q_{(U)}$ der Funktionen aus der Matrix der Koeffizienten der Zwischen- bzw. Bedingungsgleichungen, aus der sog. Formmatrix und aus der Gewichtskoeffizientenmatrix der Meßergebnisse bestimmt wird.

Die ursprünglichen Verbesserungsgleichungen lauten:

$$\underset{(n,1)}{\mathbf{L}} + \underset{(n,1)}{v} = \underset{(n,r)}{\mathbf{A}} \quad \underset{(r,1)}{x} + \underset{(n,1)}{l} . \quad (1)$$

Die Bedingungsgleichungen sind:

$$\underset{(f,n)}{\mathbf{B}^*} \quad \underset{(n,1)}{v} + \underset{(f,1)}{l} = 0. \quad (2)$$

Bei der Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen hat man also:

$$\underset{(r,r)}{\mathbf{Q}_{(x)}} = (\underset{(r,n)}{\mathbf{A}^*} \quad \underset{(n,n)}{\mathbf{P}} \quad \underset{(n,r)}{\mathbf{A}})^{-1} \quad (3)$$

bei der Ausgleichung bedingter Beobachtungen:

$$\mathbf{Q}_{(U)} = \mathbf{P}^{-1} \begin{array}{c} -\mathbf{P}^{-1} \mathbf{B} \\ \mathbf{B} \end{array} (\mathbf{B}^* \mathbf{P}^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^* \mathbf{P}^{-1}. \quad (4)$$

(n, n) (n, n) (n, n) (n, f) (f, f) (f, n) (n, n)

Dabei bedeuten bei beiden Ausgleichungsverfahren

\mathbf{P} die zu den Meßergebnissen gehörende Gewichtsmatrix

n die Anzahl der Messungen

r die Anzahl der zu bestimmenden Unbekannten

f die Anzahl der überschüssigen Beobachtungen bzw. der unabhängigen Bedingungsgleichungen.

Bei der Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen wird der mittlere Fehler der ausgeglichenen Unbekannten aus der Varianz-Kovarianz-Matrix

$$\mathbf{M}_{(x)} = m_0^2 \mathbf{Q}_{(x)} \quad (5)$$

(r, r) (r, r)

ermittelt, wo

$\mathbf{Q}_{(x)}$ die Gewichtskoeffizientenmatrix der ausgeglichenen Unbekannten

(r, r)

m_0 der Gewichtseinheitsfehler

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^* \mathbf{P} \mathbf{v}}{f}} \quad (6)$$

ist.

Die Varianz-Kovarianz-Matrix der aus den ausgeglichenen Unbekannten gebildeten Funktionen lautet:

$$\mathbf{M}_{(f)} = m_0^2 \begin{pmatrix} \mathbf{G}^* & \mathbf{Q}_{(x)} & \mathbf{G} \\ (s, r) & (r, r) & (r, s) \end{pmatrix} \quad (7)$$

wo die Elemente der Matrix \mathbf{G}^* die partiellen Ableitungen der Funktionen nach den ausgeglichenen Unbekannten sind.

Bei der Ausgleichung bedingter Beobachtungen lauten die Varianz-Kovarianz-Matrix der ausgeglichenen Beobachtungen:

$$\mathbf{M}_{(U)} = m_0^2 \mathbf{Q}_{(U)} \quad (8)$$

(n, n) (n, n)

und die Varianz-Kovarianz-Matrix der Funktionen:

$$\mathbf{M}_{(f)} = m_0^2 \begin{pmatrix} \mathbf{G}_{(U)}^* & \mathbf{Q} & \mathbf{G} \\ (s, n) & (n, n) & (n, s) \end{pmatrix} \quad (9)$$

wo $\mathbf{Q}_{(U)}$ die Gewichtskoeffizientenmatrix der ausgeglichenen Meßergebnisse und s die Zahl der Funktionen ist.

Die beiden Ausgleichungsverfahren sind sowohl in geodätischer als auch in rechentechnischer Hinsicht unterschiedlich.

In geodätischer Hinsicht — für die Genauigkeitsplanung des Netzes — besteht der wichtigste Unterschied darin, daß vor der Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen entweder die Ausgangsgrunddaten angenommen werden müssen, um die Singularität der Normalgleichung aufzuheben, oder das Normalgleichungssystem mit Hilfe allgemeiner Inversen gelöst werden muß.

Bei der Ausgleichung direkter Beobachtungen müssen keine Ausgangsdaten angenommen werden.

Der Grad der Singularität wird durch den Defekt d veranschaulicht, der die Differenz zwischen Format r und Rang ϱ der Matrix darstellt:

$$d = r - \varrho(N) \quad (10)$$

N ist die Matrix der Normalgleichung.

Der Defekt ist von der geometrischen Bestimmtheit des Netzes abhängig und stimmt mit dem Freiheitsgrad des Netzes überein. Der Defekt von Längen- und gemischten Netzen ist gleich 3, jener des Richtungsmeßnetzes gleich 4.

Die Singularität der Normalgleichung läßt sich in dreifacher Weise beheben:

a) die der Anzahl der Defekte entsprechenden Koordinaten, Richtungswinkel oder die Orientierungskonstanten werden als fehlerfreie Werte angesetzt;

b) es werden der Defektenzahl entsprechend Zielfunktionen aufgenommen und mit diesen wird die Matrix der Normalgleichungsmatrix vergrößert:

$$\begin{aligned} (\mathbf{A}^* \mathbf{P} \mathbf{A}) \mathbf{x} + \mathbf{C} \mathbf{k} + (\mathbf{A}^* \mathbf{P} \mathbf{l}) &= 0 \\ \mathbf{C}^* \mathbf{x} + \mathbf{w} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

wo die Matrix \mathbf{C} der Koeffizient der Unbekannten in den linearisierten Zielfunktionen ist, der Vektor \mathbf{w} die reinen Glieder der Gleichungen und \mathbf{k} die zu den Unbekannten gehörenden Korrelaten bedeuten.

c) Die Lösung erfolgt mit Hilfe allgemeiner Inversen.

Diese aus der Mathematik bekannte Lösung bedeutet aus geodätischer Sicht, daß

Spur $\mathbf{Q} = \min.$ und gleichzeitig

$$[m_x^2 + m_y^2] = \min. \quad (12)$$

d. h. daß wird das Normalgleichungssystem mit Hilfe der allgemeinen Inversen gelöst, unter der Bedingung $v^* \mathbf{P} v = \min.$ auch die Quadratsumme der mittleren Koordinatenfehler den Minimumwert haben wird.

Wohlgermerkt, erhält man dasselbe Ergebnis auch dann, wenn als Ziel-funktion nach b) die folgenden drei Bedingungsgleichungen angesetzt werden [2]:

$$[\delta x] = 0; \quad [\delta y] = 0; \quad [x^0 \delta y - y^0 \delta x] = 0 \quad (13)$$

wobei x^0 und y^0 die vorläufigen Werte der für die Ausgleichung benutzten Koordinaten, δx und δy die für die vorläufigen Werte bestimmten Änderungen sind.

Die Ausgleichungsmethoden nach b) und c) werden in der Fachliteratur als »freie Netzausgleichung« bezeichnet.

Wird das Netz nach den Verfahren unter a) bis c) ausgeglichen, dann ist die Zahl der überschüssigen Beobachtungen f in der Formel (6) des Gewichtseinheitsfehlers aus

$$f = n - r + d \quad (14)$$

zu berechnen, wo n die Anzahl der Beobachtungen, r jene der Unbekannten und d jene der Defekte bedeuten.

Unter Anwendung des allgemeinen Fehlerfortpflanzungsgesetzes (3) bis (9) lassen sich also die erwähnten mittleren Fehler aus den folgenden Gleichungen errechnen:

Die mittleren Koordinatenfehler aus

$$m_x = m_0 \sqrt{\overline{Q_{xx}}} \quad m_y = m_0 \sqrt{\overline{Q_{yy}}} \quad (15)$$

die halben Längen der großen und der kleinen Achse der absoluten Fehlerellipsen und die Richtung der großen Achse aus

$$A, B = \frac{m_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\overline{Q_{xx} + Q_{yy} \pm (Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2}} \quad (16)$$

$$\omega = \frac{1}{2} \arctg \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \quad (17)$$

die mittleren Fehler der Netzseiten aus

$$m_d = m_0 \sqrt{\overline{Q_{dd}}} \quad (18)$$

Die halbe Länge der großen und der kleinen Achse der relativen Fehlerellipsen (A_r, B_r) und die Richtung der großen Achse (ω_r) werden aus Gleichungen der gleichen Form wie (16), (17) berechnet, nur steht in diesen statt der Matrix der Gewichtskonstante der Unbekannten die aus der Formel der Koordinatendifferenzen berechenbare Gewichtskoeffizientenmatrix

$$A_r, B_r = \frac{m_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\overline{Q_{dx dx} + Q_{dy dy} \pm (Q_{dx dx} - Q_{dy dy})^2 + 4Q_{dx dy}^2}} \quad (19)$$

$$\omega_r = \frac{1}{2} \operatorname{arc\,tg} \frac{2Q_{\Delta x \Delta y}}{Q_{\Delta x \Delta x} - Q_{\Delta y \Delta y}} \quad (20)$$

wo die Funktionen der Koordinatendifferenzen zwischen den Netzpunkten i und j wie folgt lauten:

$$\Delta x_{ij} = x_i - x_j \quad (21)$$

$$\Delta y_{ij} = y_i - y_j. \quad (22)$$

Aus den Funktionen (21) und (22) werden die Elemente der Matrix $Q_{\Delta x \Delta y}$ in (19) und (20) nach (7) berechnet.

Aus (19), (21) und (22) folgt, daß durch die relativen Fehlerellipsen letzten Endes angegeben wird, daß der eine Endpunkt einer Netzseite von dem anderen Endpunkt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit innerhalb welcher Grenzen liegt.

Zur Kennzeichnung der Zuverlässigkeit der Netze werden auch die relativen mittleren Fehler — bzw. deren Mittelwert — herangezogen, die folgendermaßen berechnet werden:

a) Aus den mittleren Fehlern m_d der Netzseitenentfernungen d ergibt sich der relative mittlere Fehler einer Seite zu

$$m_{r,d} = \frac{m_d}{d} \quad (23)$$

und der für das Gesamtnetz kennzeichnende mittlere Fehler M_{RD} zu

$$M_{RD} = \frac{M_D}{D_m} \quad \text{wo } M_D = \sqrt{\frac{[m_d^2]}{n}} \quad (24)$$

und n die Anzahl der Netzseiten, D_m den Mittelwert der zu m_d gehörenden Seitenlängen bedeuten.

b) In [6] berechnet der Verfasser den für das Netz kennzeichnenden relativen mittleren Fehler aus den mittleren Koordinatenfehlern über den sog. mittleren Punktfehler in folgender Weise:

$$m_p = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}}. \quad (25)$$

Die quadratischen Mittelwerte ergeben sich (bei einem aus n Punkten bestehenden Netz) zu

$$M_p = \sqrt{\frac{[m_p^2]}{n}} \quad (26)$$

und

$$M_{RK} = \frac{M_p}{S_m} \quad (27)$$

wo S_m der mittlere Abstand zwischen den benachbarten Netzpunkten ist.

c) Aus den Achsen der relativen Fehlerellipsen derselben erhält man

$$m_{r,e} = \sqrt{\frac{A_r^2 + B_r^2}{2}}. \quad (28)$$

Die aus n berechneten quadratischen Mittelwerte ergeben sich zu

$$M_{re} = \sqrt{\frac{[m_{re}^2]}{n}} \quad (29)$$

$$M_{RE} = \frac{M_{re}}{D_{rc}} \quad (30)$$

wo D_{re} der Mittelwert der Längen der zu den relativen Fehlerellipsen gehörenden Seiten ist.

Bei der Wahl der Zuverlässigkeitsmeßzahlen ist von folgenden Gesetzmäßigkeiten auszugehen, die sich aus den Zusammenhängen für die Berechnung der verschiedenen mittleren Fehler ergeben:

a) Die mittleren Koordinatenfehler sind von der Orientierung des für die Berechnung aufgenommenen Koordinatensystems abhängig, der mittlere Punktfehler, die mittleren Fehler der Entfernungen und die Größe der Achsen der Fehlerellipsen sind hingegen von dieser unabhängig.

b) Die mittleren Koordinatenfehler, die Achsen der absoluten Fehlerellipsen und die mittleren Punktfehler sind von der Annahme der Ausgangsdaten (als fehlerfrei betrachtete Koordinaten) abhängig. Mit der Entfernung von den Ausgangsdaten nehmen die genannten Zuverlässigkeitsmeßzahlen zu.

c) Durch das Ausgleichen eines Netzes als freies Netz läßt sich erreichen, daß die Quadratsumme der mittleren Koordinatenfehler gleich dem Minimum sei, und gleichzeitig die mittleren Koordinatenfehler nur wenig voneinander abweichen.

Durch die Gesetzmäßigkeiten unter a) bis c) wird also ermöglicht, daß — falls die Zuverlässigkeit eines Netzes durch mittlere Koordinatenfehler oder durch Fehlerellipsen gekennzeichnet wird — sogar aufgrund gleicher Messungen durch eine Änderung der Ausgleichungsgrunddaten für die Genauigkeitsmeßzahl des Netzes verschiedene Werte bestimmt werden.

Wird hingegen das Netz durch die mittleren Fehler der Seiten oder die Achsen der relativen Fehlerellipsen gekennzeichnet, ist diese Mehrdeutigkeit behoben.

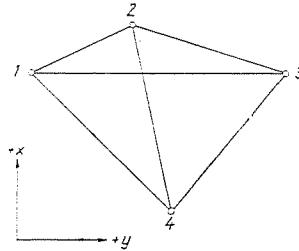


Abb. 1. Längenmessungsnetz

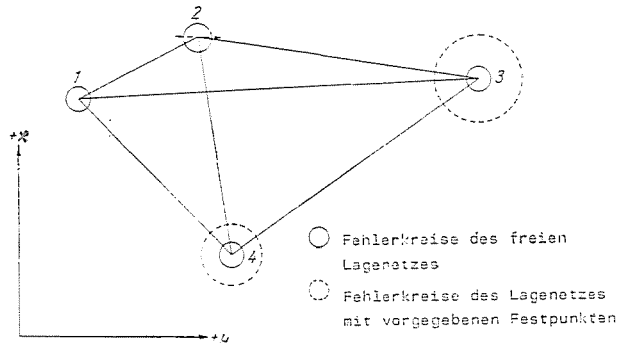


Abb. 2. Fehlerkreise eines Längenmessungsnetzes

Die Angaben in Tabelle I (die unter Anwendung der Grunddaten in [2] berechnet wurden) zeigen auch zahlenmäßig, welche Abweichungen sich bei der Berechnung des mittleren Punktfehlers bzw. relativen mittleren Fehlers des Längenmessungsnetzes in Abb. 1 ergeben, wenn das Netz mit der Annahme von Ausgangsgrunddaten oder aber als freies Netz berechnet wird, bzw. wenn die relativen mittleren Fehler aus den Punktfehlern oder aus den mittleren Fehlern der Entfernungen errechnet werden.

Tabelle I enthält nach fünf Ausgleichsvarianten errechnete mittlere Punktfehler, deren Mittelwert und die daraus berechenbaren relativen mittleren Fehler M_{RK} , M_{RD} .

Bei den Ausgleichsvarianten 1 bis 4 sind die Ausgangsgrunddaten unterschiedlich (es wurde jedesmal eine andere Koordinate als fehlerfrei angenommen), während in der fünften Variante das Netz als freies Netz berechnet wurde.

In den Varianten 1 bis 4 sind die maximalen Differenzen zwischen den mittleren Punktfehlern (wenn als einer der Grenzwerte der mittlere Punktfehler gleich Null des als fehlerfrei angesetzten Punktes angenommen wird): 16,9, 17,2, 8,0 und 9,1 mm, während bei der Ausgleichung als freies Netz die maximale Differenz zwischen den Randwerten nur 0,6 mm beträgt.

Tabelle I

Die mittleren Punktfehler des Netzes in Abb. 1, die mittleren Fehler der Seiten und die daraus berechneten mittleren Fehler ($D_m = 2914$ m)

Mittlere Punktfehler		Zahl der Ausgleichsvarianten und Werte der mittleren Punktfehler					
Zeichen	Dimension	1	2	3	4	5	
m_{p1}	mm	0	$\pm 5,2$	$\pm 8,0$	$\pm 9,1$	$\pm 3,8$	
m_{p2}	mm	$\pm 5,2$	0	$\pm 7,2$	$\pm 7,8$	$\pm 4,3$	
m_{p3}	mm	$\pm 16,9$	$\pm 17,2$	0	$\pm 7,2$	$\pm 3,7$	
m_{p4}	mm	$\pm 11,6$	$\pm 12,2$	$\pm 7,2$	0	$\pm 4,0$	
M_p	mm	$\pm 12,2$	$\pm 12,5$	$\pm 7,5$	$\pm 8,1$	$\pm 4,0$	
M_{RK}	—	$\frac{1}{239000}$	$\frac{1}{233000}$	$\frac{1}{389000}$	$\frac{1}{360000}$	$\frac{1}{728000}$	
Mittlere Fehler der Seiten		Zeichen der Seiten und die Werte ihrer mittleren Fehler					
Zeichen	Dimension	d_{1-2}	d_{1-3}	d_{1-4}	d_{2-3}	d_{2-4}	d_{3-4}
m_d	mm	$\pm 5,0$	$\pm 6,2$	$\pm 6,6$	$\pm 6,3$	$\pm 6,5$	$\pm 7,2$
M_{RD}	—	$\frac{1}{460000}$					

In Abb. 2 wurden den Varianten 1 und 5 entsprechend auch die »Fehlerkreise« gezeichnet, welche die mittleren Punktfehler darstellen und so bei der Netzausgleichung als freies Netz den geringen Unterschied zwischen den mittleren Punktfehlern — und selbstverständlich in ähnlicher Weise zwischen den mittleren Koordinatenfehlern — veranschaulichen.

Die mit voller Linie gezeichneten Kreise zeigen die aus der Ausgleichung als freies Netz berechneten, die mit gestrichelter Linie gezeichneten Kreise aber die aus der Ausgleichung unter der Annahme von Ausgangsdaten berechneten mittleren Punktfehler.

Aus den mittleren Punktfehlern berechnet schwanken die relativen mittleren Fehler zwischen $1/239000$ und $1/728000$, aus den mittleren Fehlern der Seiten berechnet erhält man in allen fünf Fällen $1/460000$.

d) Die angeführten Gesetzmäßigkeiten (und die auf dieser Grundlage angeführten Zahlenwerte) unterstützen die Meinung, daß die mittleren Koordinatenfehler (aber hauptsächlich die aus diesen berechneten relativen mittleren Fehler) bei der Genauigkeitsplanung von Netzen für die Charakterisierung der Zuverlässigkeit ingenieurgeodätischer Netze nicht immer geeignet seien, weil sich die Werte der mittleren Koordinatenfehler auch aufgrund von Messungen

gleicher Zuverlässigkeit durch die Annahme der Orientierung des Koordinatensystems bzw. der Ausgleichungsgrunddaten zwischen ziemlich weiten Grenzen »willkürlich« ändern lassen.

Statt dieser Zuverlässigkeitsmeßzahlen können ingenieurgeodätische Netze durch die mittleren Fehler der Seiten, durch die relativen Fehlerellipsen oder durch deren Mittelwerte bzw. durch den aus diesen berechneten relativen mittleren Fehler eindeutig charakterisiert werden.

e) Durch den Mittelwert der mittleren Fehler können Netze nur dann charakterisiert werden, wenn die Abweichung der Zuverlässigkeitsmeßzahlen — hinsichtlich der Genauigkeitsforderungen — vernachlässigbar ist. Die größte Differenz zwischen den mittleren Fehlern der Entfernungen in Tabelle I betrug, zum Beispiel, nur 2.2 mm. Damit sind der aus den mittleren Fehlern der Entfernungen berechnete Mittelwert von 6,3 mm, wie auch der daraus berechnete relative mittlere Fehler von $1/460000$ bei den meisten geodätischen Arbeiten für die Kennzeichnung der Zuverlässigkeit des Netzes geeignet.

Wo die mittleren Fehler der einzelnen Netzelemente voneinander stark abweichen, kann bei der Planung der Zuverlässigkeit des Netzes stipuliert werden — falls sich das durch technische Forderungen begründen läßt, — daß alle mittleren Fehler einen vorgegebenen Wert unterschreiten. Durch diese Bedingung werden jedoch neben technischen, Beobachtungs- und Berechnungsfragen auch Wirtschaftlichkeitsfragen gestellt.

f) Bei der Wahl des mittleren Fehlers und des relativen Fehlers kann — unter Berücksichtigung der Größe und der erforderlichen Genauigkeit der ingenieurgeodätischen Netze sowie der breiten Skala der Bestimmungsmöglichkeiten, — einmal die Betrachtung des einen, einmal des anderen mittleren Fehlertyps für die Kennzeichnung der Genauigkeit zweckdienlich sein. Es sollen, zum Beispiel, zwei Netze mit einem relativen mittleren Fehler von $1/30000$ angelegt werden. Die durchschnittliche Entfernung der Seiten des einen Netzes sei 2 km (Festpunktnetz für einen Betrieb), jene des anderen Netzes (Netz für die Montage einer Maschinengruppe) sei 10 m. In dem ersteren Falle kann also der mittlere Fehler der Entfernung 66 mm, in dem zweiten 0,3 mm betragen. Während also durch den Zahlenwert des relativen mittleren Fehlers die beiden Netze als von gleicher zahlenmäßiger Genauigkeit qualifiziert werden, zeigen hingegen die mittleren Fehler der Entfernungen direkt, daß die letztere Zuverlässigkeit eine besonders hohe Genauigkeit, außerordentlich genaue Messungs-, Bestimmungs- und Vermarktungsarten darstellt.

Wie es sich aus den vorigen Ausführungen entnehmen läßt, kann die Zuverlässigkeit ingenieurgeodätischer Netze durch ziemlich vielerlei Meßzahlen charakterisiert werden, die sich auf verschiedene geodätische Elemente des Netzes beziehen und unterschiedliche Eigenschaften haben.

Daher ist für die verschiedenen ingenieurgeodätischen Aufgaben (Absteckung, Deformationsmessung usw.) von diesen Zuverlässigkeitsmeßzahlen

bei der Genauigkeitsplanung mit der erforderlichen Umsicht jene zu wählen, die — unter Berücksichtigung ihrer beschriebenen Eigenschaften — für die vorliegende Aufgabe am zweckmäßigsten ist.

Zusammenfassung

Durch die Entwicklung der Rechentechnik wurde von den Planungsaufgaben für Festpunktnetze deren Genauigkeitsplanung in den Vordergrund gerückt. Zweck der Genauigkeitsplanung ist, für die ingenieurgeodätischen Arbeiten von verschiedener Genauigkeit Festpunktnetze mit technisch und wirtschaftlich wohlbegründeter Genauigkeit anzulegen. Da jedoch Festpunktnetze durch mehrere Zuverlässigkeitsmeßzahlen gekennzeichnet werden können, besteht der erste Planungsschritt darin, die zweckdienlichste Genauigkeitsmeßzahl auszuwählen. Im Beitrag werden die Zuverlässigkeitsmeßzahlen der Festpunktnetze und die Kenngrößen dieser Meßzahlen zusammengefaßt. In Kenntnis der Kenngrößen der Genauigkeitsmeßzahlen kann die zweckdienlichste Meßzahl gewählt werden.

Schrifttum

1. REISSMANN, G.: Die Ausgleichsrechnung. Berlin 1976.
2. REISSMANN, G.: Zur Ausgleichung freier Lagenetze. Vermessungstechnik, H. 12. 1976.
3. DETREKÓI, Á.: Ausgleichsrechnungen.* Tankönyvkiadó. Budapest. 1974.
4. DETREKÓI, Á.: Die Fehlertheorie und die Methode der kleinsten Quadrate in der industriellen Geodäsie.* Geodézia és Kartográfia, H. 5. 1976.
5. RÓZSA, P.: Die lineare Algebra und ihre Anwendungen.* Budapest. 1974.
6. HOMORÓDI, L.: Landestriangulation und lokale Systeme.* Geodézia és Kartográfia H. 2. 1955.
7. HAZAY, I.: Ausgleichsrechnungen.* Tankönyvkiadó. Budapest. 1966.
8. HÓNYI, E.: Die Zuverlässigkeit der dazwischengeschalteten Punkte des ungarischen Füllnetzes.* Geodézia és Kartográfia, H. 3. 1961.
9. V. HETÉNYI, M.: Berechnung der relativen Netzfehlerellipsen.* Geodézia és Kartográfia, H. 5. 1972.
10. MÁRKUS, B.: Einsatz von Rechenanlagen bei der Planung geodätischer Netze.* Geodézia és Kartográfia, H.1. 1973.
11. BÁNHEGYI, I.: Rechtwinklige Absteckungsnetze.* Doktorarbeit. Manuskript. Budapest 1976.

Dozent Dr. Károly ÓDOR, H-1521 Budapest

* In ungarischer Sprache