

PLANUNG GEODÄTISCHER MESSUNGEN BEI DER REKONSTRUKTION EINER KRANBAHN

K. ÓDOR

Lehrstuhl für Höhere Geodäsie, Geodätisches Institut, Technische Universität, H-1521
Budapest
Eingegangen am 1. Dezember 1984
Vorgelegt von Prof. Dr. P. Biró

Abstract

The train of thoughts and calculating methods of geodesic design in connection with the assembling technology and with special respect to the prescribed tolerance values are presented in this paper through the reconstruction of a track way.

Grunddaten für die Planung von Messungen

Aus der Sicht der Planung geodätischer Messungen sind die wichtigsten technischen Daten der Kranbahn wie folgt:

Länge	280 m
Spannweite	32 000 mm
Tragfähigkeit	10 t
Abstand zwischen zwei Nachbarstützen	9 m
Höhe der Konsolen der Stützen über der Geländeoberfläche	8 m
Steghöhe der I-Träger	90 cm

Auf der Kranbahn werden vier Kranbrücken in durchgehendem Betrieb gehalten.

Es waren nachstehende Rekonstruktionsarbeiten vorgesehen:

- Auswechseln der Schienenstränge
- Abmontieren der Träger, Korrosionsschutzbehandlung, Wiedereinbau
- Beseitigung der Höhenunterschiede zwischen den Konsolen der Stützen mit Hilfe einer Ausgleichsschicht aus Kunststoff »Niketon«
- Auswechseln der Radkästen der Brücken.

In der ungarischen Norm und von dem Entwurfsverfasser angegebene Toleranzwerte:

- Höhentoleranz in Achsenrichtung der Kranbahn: Die zulässige Abweichung von der theoretischen Niveauebene beträgt ± 20 mm, die Neigung der Bahn darf aber weder in Quer- noch in Längsrichtung 1‰ überschreiten. Das bedeutet, daß die Höhendifferenz in Längsrichtung zwischen zwei Nachbarstützen nicht über 9 mm, in Querrichtung zwischen zwei gegenüberstehen-

den Stützen nicht über 32 mm sein darf. (Die Toleranzwerte beziehen sich selbstverständlich auf die Schienenkronenhöhen.)

— Zickzackführungstoleranz der Bahnachse ± 10 mm,

— Toleranzwert der Spannweite der Kranbahn (Achsenabstand zwischen den Schienen) ± 5 mm,

— Exzentrizitätstoleranz der Schienenstrangachsen im Verhältnis zu der Achsenlinie des I-Trägers ± 10 mm.

Technologischer Prozeß der Rekonstruktion:

— im ersten Arbeitsgang vollständige Erneuerung der Hälfte der Kranbahn, während die andere Hälfte in Betrieb ist, und im zweiten Arbeitsgang, nach Inbetriebsetzung der erneuerten Bahnhälfte, die Erneuerung der anderen;

— bei beiden Streckenabschnitten werden die Erneuerungsarbeiten an den Enden der ursprünglichen Kranbahn begonnen, die erneuerten zwei Streckenhälften treffen also in der Mitte zusammen;

— Ausgleichung der Niveauhöhen der Konsolen, Einheben und Befestigung der Träger erfolgten abschnittsweise in folgender Ordnung: Ausgleichung mittels »Niketons« von je vier Konsolenflächen, dann Einheben in endgültige Lage und Befestigung der je drei zwischenliegenden Träger, sodann Montage der übrigen Abschnitte in der gleichen Arbeitsweise,

— nach Fertigstellung der halben Kranbahn Verlegen und Befestigung der Schienenstränge in endgültiger Lage,

— wegen der horizontalen und Höhenabweichungen der Schienenstrangachsenlinien auf den noch zu erneuernden und bereits erneuerten Kranbahnabschnitten Umsetzen der Brücken auf den rekonstruierten Streckenabschnitt,

— schließlich, nach Fertigstellung der ganzen Kranbahn, Erneuerung der Kranbrücken.

In Kenntnis der technologischen Daten und der Montagetechnologie sind die zwei Hauptarbeitsbereiche der Planung geodätischer Messungen wie folgt:

— Planung der geodätischen Arbeitsarten, die für eine planmäßige Durchführung der kurz dargelegten Erneuerungsarbeiten unbedingt notwendig sind, bzw. Begründung dieser Notwendigkeit,

— Genauigkeitsplanung der geodätischen Arbeiten (fehlertheoretische Berechnungen) im Einklang mit den Toleranzen.

Planung der geodätischen Arbeitsarten

Messungen als Planungsgrundlage vor Abmontierung der Träger

a) Bestimmung der Niveauhöhen der Konsolen der Tragstützen im Verhältnis zu einem gewählten Nullniveau. Anlegung von Höhenfestpunkten.

Zweck dieser Messungen ist die Bestimmung der Sollniveauhöhe, die bei allen Konsolen auszugestalten ist, sodann in Kenntnis derselben Bestimmung der erforderlichen Niketon-Menge.

Die Planungsniveauhöhe (H_p) wurde aus dem Zusammenhang

$$H_p = H_{\max} + 20 \text{ mm} \quad (1)$$

berechnet, wo H_{\max} die Höhe der höchsten Konsolenfläche bedeutet.

20 mm ist die technologisch bestimmte, niedrigste Niketonhöhe. Eine gewisse Niketonschicht minimaler Dicke muß auch auf die höchste Konsolenfläche aufgetragen werden, um eine horizontale Ebene zu erhalten.

b) Horizontale Einmessung der Achsenlinie der Konsolen.

Zweck der Messung ist, die Planung der Lage der Träger- (und Schienenstrang-) achsenlinien. Abb. 1 zeigt den Lageplan eines Streckenabschnitts, die »Zickzack«-achsenlinien der Konsole in Längsrichtung und die geplanten Achsenlinien der Träger.

c) Anlegung eines horizontalen Festpunktnetzes (Absteckung, Beobachtung, Berechnung) Abb. 2.

Zweck der Anlegung des horizontalen Festpunktnetzes ist, die Achsenpunkte der Träger und Schienenstränge von den Festpunkten bzw. von den

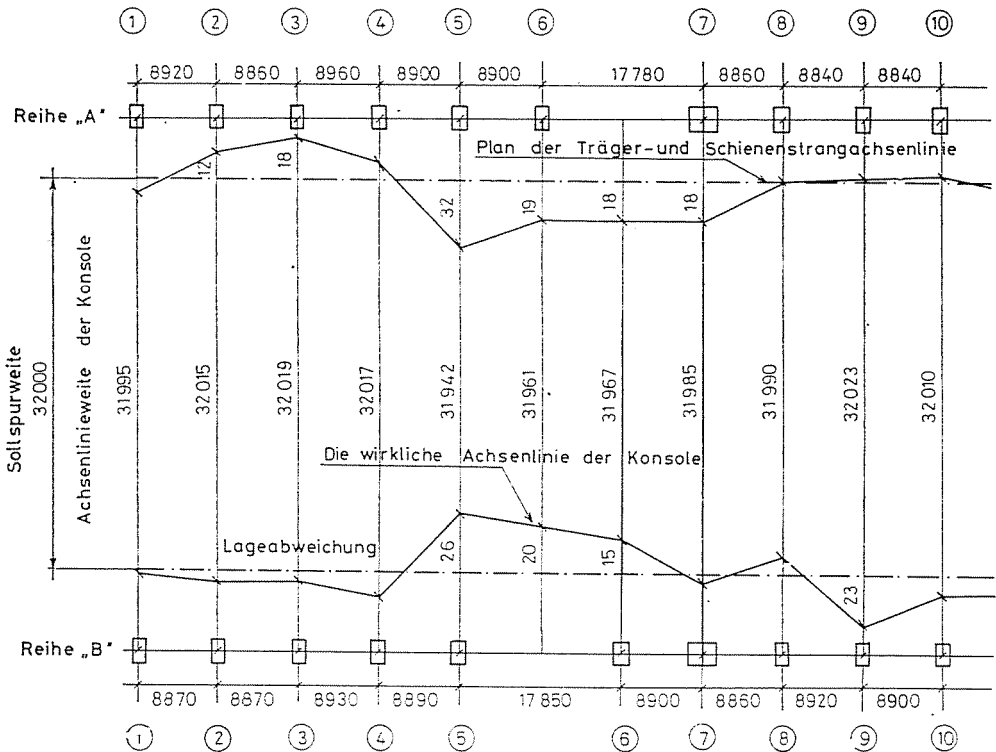


Abb. 1. Wirkliche Achsenlinie der Stützen und geplante Achsenlinie der Träger

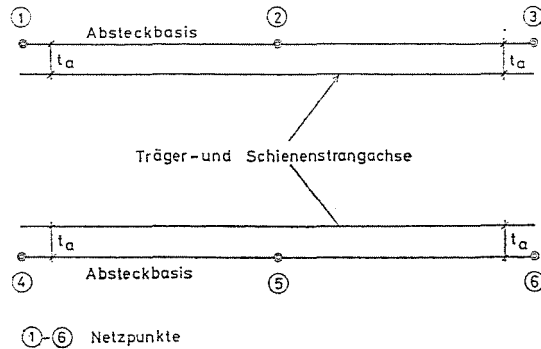


Abb. 2. Festpunktnetz für die Absteckung der Träger und Schienenstrangachsen

Basislinien zwischen den Festpunkten aus durch Ordinatenmessung abzustecken, ferner für die in Einzelabschnitten auszuführenden Montagearbeiten bzw. Absteckungen einen einheitlichen, eindeutigen Rahmen zu gewährleisten.

Absteckungen, die Ausführung lenkende und Kontrollmessungen

Bei der Ausführung wurden die Messungen nach folgenden Grundsätzen geplant.

Wo es möglich ist, wird mit Hilfe geeigneter Instrumente die Versetzung der Bauteile bis zur Befestigung derselben »gelenkt«. In solchen Fällen ist keine besondere Messung zur Kontrolle der Ausführung erforderlich (z.B. beim Versetzen der Träger und Schienenstränge).

Wo das nicht möglich ist, muß vorerst die Lage des Bauteils abgesteckt und nach dessen Versetzung eine Kontrollmessung gemacht werden (z.B. bei der Ausgestaltung der Konsolenflächen).

Die erste Lösung erfordert zwar einen höheren geodätischen Zeitaufwand als die zweite, vermindert aber den Zeitbedarf der Montage.

Unter Berücksichtigung der Grundsätze wurden folgende Arbeiten geplant bzw. durchgeführt:

a) Absteckung der Niveauhöhe der Metallschalung für das Auftragen des Niketons.

b) Nach Erhärtung des Niketons Kontrollmessung der Konsolenniveauhöhe.

c) Absteckung der Trägerachsenlinie.

d) Bestimmung der Abweichung der Stegebene der Träger von einer berechneten Ausgleichsebene. Durch die Messungen unter d) wurde auf Fehler der Träger hingewiesen, wegen derer einzelne Träger durch neue ersetzt werden mußten. Es gab auch Träger, wo einzelne Punkte um etwa 30—40 mm von der Ausgleichsebene abwichen (Abb. 3).

e) Messungen zur Lenkung der Versetzung der Träger.

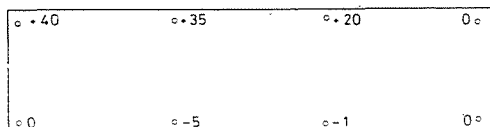


Abb. 3. Abbildung eines deformierten Steges

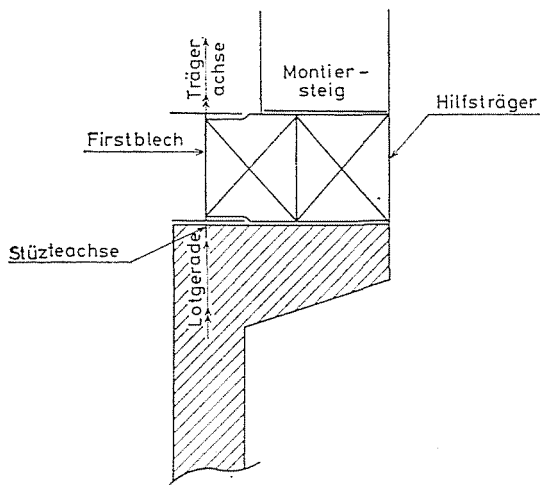


Abb. 4. Verbindung der Stützen und Träger

Diese Messungen bedeuteten hier, daß die Trägerachsen auf die abgesteckte Achsenlinie, die Stege der Träger bis zur Befestigung auf die Senkrechte angezielt wurden (Abb. 4). Die Träger wurden mit den Hilfsträgern zusammengebaut auf die Konsolen eingehoben.

Die Lenkung der Montage der Träger wurde durch den Umstand erschwert, daß die durch die Gurtplatten der Träger und die Hilfsträger gemeinsam bestimmte Ebene und die Stegebene in mehreren Fällen von der Senkrechten abwichen, bzw. die erste »Ebene« (Auflagerfläche) tatsächlich keine Ebene, sondern eine konvexe Fläche war.

Die Lenkung der Montage der Träger wurde weiterhin auch dadurch erschwert, daß die Achsenlinie der Träger nicht immer eine gerade Linie war.

Wegen der Deformation einzelner Bauteile konnte die Montage nur so innerhalb der angegebenen Toleranzwerte durchgeführt werden, daß in Kenntnis der verschiedenen geometrischen Widersprüche die jeweils optimale Lösung gewählt wurde. Theoretisch ist es z. B. nicht schwer, die Trägerachse auf die abgesteckte Achsenlinie anzuzielen. Wegen der geometrischen Widersprüche mußte man sich aber oft als optimale Lösung damit begnügen, daß die beiden Achsenlinien um nicht mehr als 8 mm voneinander abweichen. Die

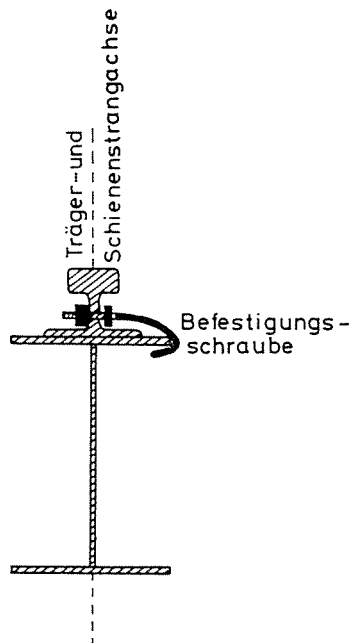


Abb. 5. Befestigung der Schienenstränge an den Trägern

Wahl dieser Lösung konnte z. B. dadurch gerechtfertigt sein, daß der Steg senkrechtgestellt werden könne, oder neben dem Steg Platz für die Befestigungsschrauben bleibe (Abb. 4); die Lage der Befestigungsschrauben ließ sich nämlich nicht ändern.

Die Wahl einer Toleranz von 8 mm war dadurch begründet, daß mit dem Toleranzwert von 2 mm bei der Verlegung der Schienenstränge die für die Außenmittigkeit der beiden Achsen zugelassene Toleranz von 10 mm nicht überschritten werde.

f) Das Verlegen der Schienenstränge lenkende Messungen.

Die Schienenstränge wurden mit Hilfe pfeifenförmiger Schraubenverbindungen an den Trägern befestigt (Abb. 5). Diese Befestigungsart der Schienenstränge bedeutete für die Lenkung der Montage und für die Montage, daß die festgelegte Achse der Schienenstränge — durch Anziehen der Schraubenmuttern — ohne Abweichung in die Ziellinie des Theodolits gestellt werden konnte.

Fehlertheoretische Überlegungen und Berechnungen

Von den fehlertheoretischen Berechnungen sollen zwei dargelegt werden, die für die Absteckung der geometrischen Elemente der Kranbahn innerhalb des Toleranzwertes und zugleich für die Montage bestimmend sind.

Die Genauigkeit der Spannweite der Kranbahn wird — wie es in Abb. 2 zu sehen ist — durch die Absteckungsgenauigkeit ihrer zu der x-Achse des Festpunktnetzes parallelen Seiten und der an beiden Seiten abzusteckenden Ordinaten bestimmt:

$$T_{Sw}^2 = T_G^2 + 2T_A^2 \tag{2}$$

Dabei bedeuten:

T_{Sw} Toleranz der Spannweite

T_G Toleranz bei der Bestimmung der genannten Seiten des Festpunktnetzes

T_A Toleranz bei der Absteckung und zugleich bei der Montage der Schienenstränge

Da $T_{Sw} = \pm 5$ mm, ferner $T_A = \pm 2$ mm vorgesehen wurde, gilt aufgrund von (2)

$$T_G = (5^2 - 2.2^2)^{1/2} = \pm 4,1 \text{ mm} \tag{3}$$

Aus dem Bestimmungstoleranzwert des Basisnetzes beträgt der für die Planung der geodätischen Messungen notwendige mittlere Fehler:

$$m_G = \frac{T_G}{3} = \pm 1,4 \text{ mm} \tag{4}$$

Um mittlere Fehler von ± 1 mm beim Netz und von ± 2 mm bei der Absteckung zu erreichen, wurde in der vollen Bahnlänge ein Festpunktnetz aus 10 Punkten nach Abb. 6 geplant.

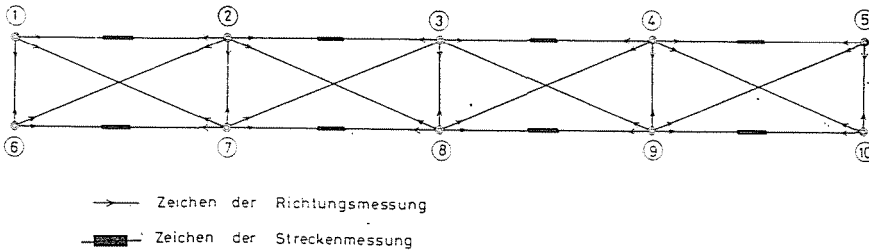


Abb. 6. Messungsplan des Festpunktnetzes für die Absteckung

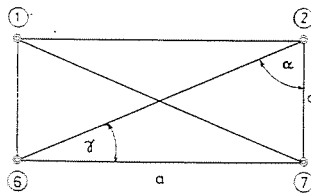


Abb. 7. Für die Genauigkeitsuntersuchung entnommener Netzteil

Der a priori mittlere Fehler der Messungen in einem dem Netz entnommenen, durch die Punkte 1, 2, 6 und 7 bestimmten Rechteck wurde als Ergebnis von Untersuchungen aufgrund des Fehlerfortpflanzungsgesetzes geplant (Abb. 7)

$$c = \frac{a \sin \gamma}{\sin \alpha} \quad (5)$$

$$\frac{\partial c}{\partial a} = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}; \quad \frac{\partial c}{\partial \gamma} = a \frac{\cos \gamma}{\sin \alpha} \quad (6)$$

$$\frac{\partial c}{\partial \alpha} = \frac{a \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \quad (7)$$

$$c = 32,943 \text{ m} \quad a = 69,465 \text{ m}, \quad \gamma = 25-22-19, \quad \alpha = 64-35-43$$

Aufgrund von Berechnungen in mehreren Varianten und von meßtechnischen Überlegungen wurden die mittleren Fehler der Entfernungsmessung und der Winkelmessung mit den Werten

$$m_s = \pm 2 \text{ mm} \text{ und } m_w = \pm 3^\circ$$

geplant.

Die bei den Variationsrechnungen benutzte Funktion und der mit dieser berechnete mittlere Fehler sind wie folgt:

$$m_c^2 = \begin{matrix} f^* & M & f \\ (1,3) & (3,3) & (3,1) \end{matrix} \quad (8)$$

mit

$$f_{(1,3)}^* = \left(\frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}, \quad a \frac{\cos \gamma}{\sin \alpha}, \quad - \frac{a \sin \gamma \cos \alpha}{\sin^2 \alpha} \right) \quad (9)$$

$$M_{(3,3)} = \begin{bmatrix} m_a^2 & \\ & m_r^2 \\ & & m^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$m_c = \pm 1,405 \text{ mm}$$

Da die beiden Außenseiten des Netzes (1—6, 5—10) aus zwei Dreiecken berechnet werden können, ergeben sich deren a priori mittlere Fehler zu

$$m_{1,6} = m_{5,6} = \frac{m_c}{\sqrt{2}} = \frac{1,405}{1,414} \approx \pm 1,0 \text{ mm.}$$

Es sei bemerkt, daß die zwischenliegenden Seiten des Netzes (die Seiten zwischen den Punkten 2—7, 3—8 und 4—9) aus je 4 Dreiecken berechnet werden können, daher liegen deren a priori mittlere Fehler etwa um $\pm 0,5$ mm.

Die Zahl der Messungen wurde jedoch auch hier nicht vermindert, u. zw. aus der Überlegung, daß der mittlere Fehler der zwischenliegenden Seiten den geplanten Wert von ± 1 mm auch dann nicht überschreite, wenn bei der Winkelmessung wegen äußerer Umstände der geplante Wert ± 3 des mittleren Fehlers nicht erreicht würde. (Im Falle der beiden äußeren Seiten werden in solchen Fällen zusätzliche Messungen gemacht.)

Die Höhentoleranzwerte in der Ebene der Schienenstränge betragen (nach dem Gesagten) zwischen den Tragstützen in Längsrichtung (T_{HL}) 9 mm und in Querrichtung 32 mm.

Ob die Kronenhöhe der Schienenstränge unter dem vorgeschriebenen Toleranzwert bleibt, hängt von der Genauigkeit (dem Toleranzwert) dreier Faktoren ab:

- von der Genauigkeit der Absteckung (T_{AH}) der Niketon-Niveauhöhe,
- von der Genauigkeit der Ausführung der Niketonfläche (T_{AF}),
- und von der Abweichung von dem Nennmaß der Gesamthöhe der Träger und Schienenstränge (T_K).

Es sei bemerkt, daß der zahlenmäßige Wert der Fertigungstoleranz der Konstruktionsteile (T_K) wegen der Deformationen der Träger im Gebrauch bei den Berechnungen erhöht werden muß.

Also:

$$T_{HL}^2 = T_{AH}^2 + T_{AF}^2 + T_K^2 \quad (11)$$

Bei den Berechnungen wurde der folgende Gedankengang verfolgt. Da es den Projektanten nicht bekannt war, wie genau die Ausführung der Niketonfläche ausfallen wird (neben anderen Faktoren z. B. schon wegen des Schrumpfens des Materials), wurde für diesen Toleranzwert, im Vergleich mit den anderen beiden Toleranzwerten, ein günstigerer vorgesehen.

Aufgrund von Untersuchungen wurden für T_K 3 mm, aufgrund von Ausführungs-Absteckerfahrungen für die Höhenabsteckung, für T_{AH} , ebenfalls 3 mm als Toleranzwert geplant.

Die vorgeschriebenen und geplanten Toleranzwerte in (11) eingesetzt, erhält man

$$9^2 = 3^2 + T_{AF}^2 + 3^2 \quad (12)$$

Aus (12) ergibt sich

$$T_{AF} = \pm 8 \text{ mm} \quad (13)$$

Aus (13) erhält man, daß die geplante Ausführungstoleranz der Höhe einer Tragstütze $8/2 = \pm 4$ mm beträgt.

Aus den geplanten Toleranzwerten ergibt sich der zulässige mittlere Absteckungsfehler der Höhen benachbarter Stützen zu

$$m_{AH} = \pm 1 \text{ mm} \quad (14)$$

Die Absteckung der Höhen beruhte auf einem auf der Geländeoberfläche die Tragstützen entlang angelegten Höhenfestpunktnetz (Polygon). Die angelegte Nivellementsschleife hatte etwa 600 m Länge. Die Höhen der Festpunkte wurden durch gegenseitiges Nivellement bestimmt.

Die Nivellementsmessungen waren so geplant, daß der Schlußfehler des Polygons aus den Nivellements in zwei Richtung getrennt 2 mm nicht überschreite.

Durch die nach Fertigstellung der Kranbahn durchgeführten Kontrollmessungen wurden die Richtigkeit der Genauigkeitsberechnungen bei der Planung und die Einhaltung der technologischen Vorschriften bei der Ausführung bestätigt.

Die Ergebnisse der Kontrollmessungen wurden nach Inbetriebsetzung der Kranbahn auch durch den leichten, spannungslosen Betrieb bekräftigt.

Die Absteckung und die Kontrollmessungen, ferner die Einhaltung der geplanten Genauigkeit bei der Montagetechnologie wurden durch viele Umstände erschwert, z. B. durch die fehlerhafte Lage der Trägerbefestigungsschrauben durch die Deformationen der Träger, durch die Ausführung der Arbeiten an einer Anlage in Betrieb usw. Mit gemeinsamem Kräfteinsatz des Investitionsträgers, der Bauausführung und der geodätischen Organe, mit gegenseitiger Achtung für die Arbeit des anderen und nicht zu allerletzt mit Erfahrung und Fachwissen der Mitarbeiter lassen sich aber die Aufgaben auch trotz der schwierigen Verhältnisse lösen. Bei dem beschriebenen Bauvorhaben waren alle drei Faktoren vorhanden.

Zusammenfassung

Im Beitrag werden der Gedankengang und die Berechnungsverfahren bei der Planung geodätischer Messungen im Rahmen der Rekonstruktion einer Kranbahn gezeigt, u. zw. in Verbindung mit der Montagetechnologie und unter besonderer Berücksichtigung der vorgeschriebenen Toleranzwerte.

Literatur

1. HENNECKE/WERNER: Ingenieurgeodäsie. VEB Verlag für Bauwesen. Berlin. 1980.
2. DETREKŐI, Á.: Genauigkeitsfragen und Absteckungen im Bauwesen. Acta Geodastica, Geophysica et Montanistica, Acad. Sci. Hung. 9, 1974.
3. ÓDOR, K.: Zuverlässigkeitsmeßzahlen ingenieurgeodätischer horizontaler Festpunktnetze. Period. Polytechn. Civil Eng. 24, 157 (1980).

Dr. Károly ÓDOR H-1521 Budapest