

MÖGLICHKEIT DER VERBINDUNG (MONTAGE) DER PHOTOAUFNAHME UND DER RECHNERISCH ERMITTELTEN STRASSEN-PERSPEKTIVE

O. EDŐCS

Lehrstuhl für Darstellende Geometrie, TU Budapest

Eingegangen am 9. Oktober 1976

Vorgelegt von Prof. Dr. Géza PETRICH

1. Zweck des Beitrags

Im Beitrag sollen Konstruktions- und Rechenverfahren beschrieben werden, mit deren Hilfe in ein von einem beliebigen Punkt aufgenommenes Photo die geplante lineare Anlage mit erforderlicher Genauigkeit eingezeichnet werden kann.

2. Die Photoaufnahme als Zentralprojektion

Eine Photoaufnahme darf geometrisch als Zentralprojektion betrachtet werden. Das Projektionszentrum ist der optische Mittelpunkt der Linse, die Projektionsstrahlen sind durch den Dingpunkt durchgehende Strahlen, die Bildebene ist die Ebene des lichtempfindlichen Films (der Glasplatte).

Die geometrischen Gesetze der Photoaufnahme sind also gleich den Gesetzen der Zentralprojektion. Die optische Achse eines richtig zusammengestellten Photoapparats steht senkrecht auf die Bildebene. Bei auf unendlich eingestellter Dingweite ist die Bildweite gleich dem Fokalabstand. (Dieser Wert ist auf den Optiken der Aufnahmegeräte angegeben.) Die optische Achse gibt die Zielachse der Aufnahme an. Nach dem durch die Zielachse und der Horizontalebene gebildeten Winkel α unterscheidet man:

- a) waagerechte Lichtbilder ($\alpha = 0^\circ$)
- b) senkrechte Lichtbilder ($\alpha = 90^\circ$) und
- c) *schief gerichtete* Lichtbilder ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$).

3. Auf der projektiven Beziehung von Lichtbild und Landkarte beruhende Konstruktionen

Die Grundgebilde der projektiven Geometrie sind die Punktreihe, das Strahlenbüschel und das Ebenenbüschel. Die Punkte einer Punktreihe, die Strahlen des Strahlenbüschels und die Ebenen des Ebenenbüschels werden Elemente genannt. Die Gesamtheit der Punkte einer Geraden bildet die Punkt-

reihe, die nach einem Punkt gerichteten Geraden der Ebene bilden ein Strahlenbüschel, die Gesamtheit der in einer der Geraden des Raumes liegenden Ebenen bildet ein Ebenenbüschel.

3.1 Das Doppelverhältnis

Es ist aus der projektiven Geometrie bekannt, daß das Doppelverhältnis von vier Elementen (Punkten) einer Punktreihe durch Projektion nicht verändert wird. Auch das Doppelverhältnis des die vier Punkte projizierenden Strahlenbüschels bleibt unverändert: In Abb. 1 liegt die Punktreihe $1, 2, 3, 4, \dots$ auf dem Strahl k , ihr Doppelverhältnis stimmt mit dem Doppelverhältnis der Punktreihe $1', 2', 3', 4', \dots$ auf dem Strahl k' überein. Auch die Strahlenbüschel a, b, c, d, \dots bzw. a', b', c', d', \dots haben das gleiche Doppelverhältnis. (Man versteht darunter das Verhältnis der Sinusse der durch die Strahlen gebildeten Winkel.)

Die Grundgebilde, bei denen das Doppelverhältnis jedes beliebigen, entsprechenden Elementenvierers gleich ist, sind miteinander in *projektiver Beziehung*. Die projektive Beziehung zweier Grundgebilde wird also durch die Gleichheit des Doppelverhältnisses von je vier entsprechenden Elementen derselben gewährleistet. (Das Projektionszentrum C kann auch im Unendlichen liegen, z. B. bei einer kotierten Projektion!) Ist also von zwei Punktreihen oder Strahlenbüscheln bekannt, daß sie in projektiver Beziehung stehen, und kennt man vier Elemente des einen Grundgebildes, kann zu den entsprechenden bekannten drei Elementen des anderen Grundgebildes das vierte Element sowohl durch Konstruktion als auch rechnerisch bestimmt werden.

Wird eine Ebene auf die andere projiziert, projiziert man die Punkte, die Geraden der Ebene. Die projektive Beziehung der Ebenen wird also durch die projektive Beziehung ihrer Punkte und Geraden gewährleistet.

Sind die kotierte Projektion eines ebenen Geländes (Karte, Lageplan) und seine Zentralprojektion (Photoaufnahme) bekannt, kann anhand der projektiven Beziehung zwischen vier Punkten der kotierten Projektion — von denen drei nicht in dieselbe Gerade fallen — und den entsprechenden vier Punkten der Zentralprojektion das Gegenstück eines jeden Punktes der einen Ebene (z. B. der Landkarte) in der anderen Ebene (z. B. auf dem Photo) bestimmt werden. In Abb. 2 wird der Ort X' auf dem Photo eines bekannten Punktes X der Landkarte gesucht.

Für die Konstruktion wird die Gleichheit der Doppelverhältnisse der Strahlenbüschel benutzt. Es werden auf der Karte vier Punkte (P, Q, R, S) gesucht, deren Gegenstücke (P', Q', R', S') auch auf dem Lichtbild bekannt sind. Der Träger des Strahlenbüschels sei auf der Karte z. B. der Punkt P , auf dem Lichtbild der Punkt P' . Zeichnen wir auf der Karte die Strahlen PQ, PR, PS und $PX = x$, sodann auf dem Photo die Strahlen $P'Q', P'R'$ und

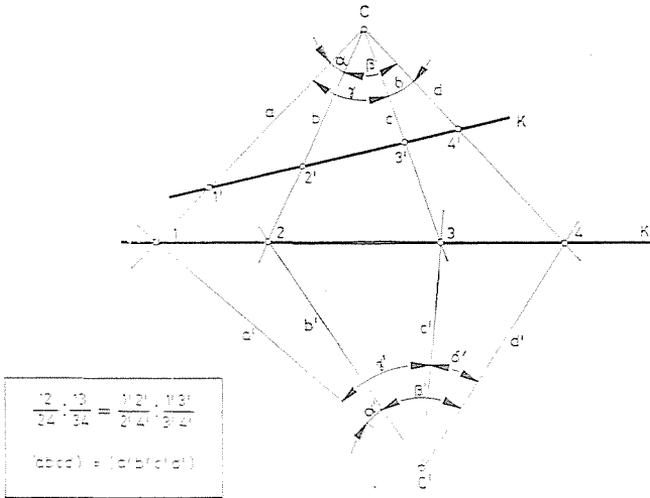


Abb. 1

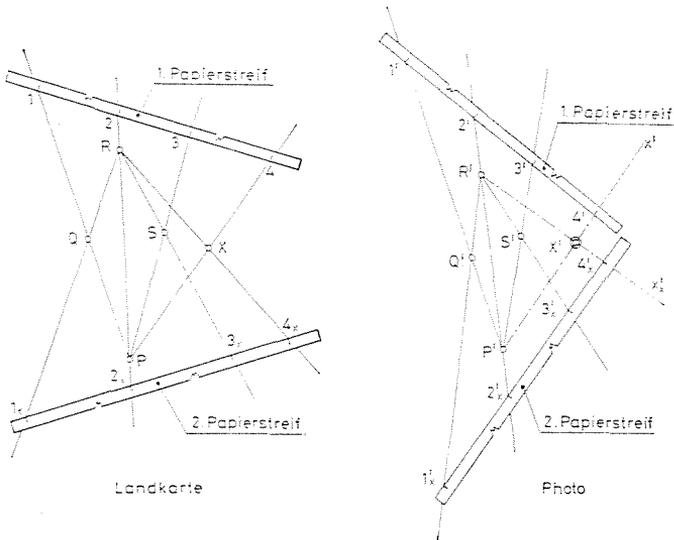


Abb. 2

$P'S'$. Da das Doppelverhältnis der vier Strahlen der Karte gleich dem Doppelverhältnis der drei Strahlen auf dem Photo ist, kann der unbekannte Strahl $P'X' = x'$ mit Hilfe drei Strahlen des Photos dargestellt werden. Legen wir z. B. einen Papierstreifen auf die Karte und bezeichnen wir auf diesem die Schnittpunkte 1, 2, 3 und 4 der Strahlen. Diese Punktereihe liegt auf dem Strahlenbüschel, es besteht also zwischen ihnen eine projektive Beziehung. Legt man die Punktereihe (den Papierstreifen) auf die entsprechenden Strahlen auf dem Lichtbild, erhält man den Ort von $4' \cdot \overline{P'4} = x'$ ist der gesuchte

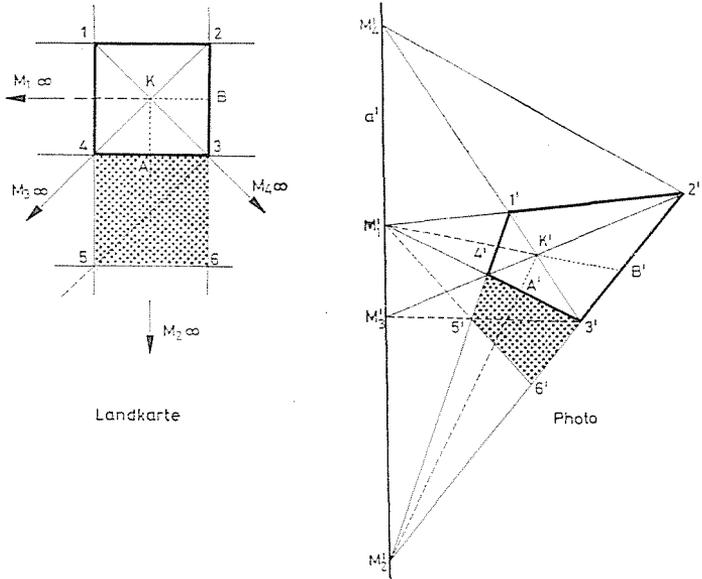


Abb. 3

Strahl, auf dem sich das gesuchte X' befindet. Wiederholen wir die Konstruktion, so daß, z. B. R bzw. R' der Folgereglerpunkt sei. Auch der so erhaltene Strahl $\overline{R'A'_x} = x'_x$ auf dem Lichtbild geht durch den Punkt X durch, d. h. X' ist der Schnittpunkt von x' und x'_x .

3.2 Konstruktion eines Netzes

Die Bestimmung auf dem Lichtbild eines Netzes, das dem auf der Karte konstruierten regelmäßigen Netz entspricht, wird in Abb. 3 gezeigt.

Auf der Karte ist das Quadrat 1234 bekannt, dessen Gegenstück auf dem Photo das Rechteck $1'2'3'4'$ ist. Dem Schnittpunkt K der Diagonalen des Quadrats entspricht der Schnittpunkt K' der Diagonalen des Rechtecks. Die Schnittpunkte M_1 bzw. M_2 der sich im Unendlichen schneidenden, parallelen, gegenüberliegenden Seitenpaare des Quadrats sowie die unendlich entfernten Endpunkte M_3, M_4 der Diagonalen sind die vier Elemente der Punktreihe in einer unendlich entfernten Geraden der Ebene (der Karte). Deren Gegenstücke sind auf dem Lichtbild die Schnittpunkte M_1 und M_2 der gegenüberliegenden Seitenpaare des Rechtecks, sowie die Schnittpunkte M_3' und M_4' der diese regelnden Geraden a' und der Diagonalen des Rechtecks.

Das Netz läßt sich sowohl auf der Karte als auch auf dem Lichtbild weiter verdichten oder durch Konstruktion ausdehnen. In Abb. 3 ist z. B. das Gegenstück des Quadrats $A K B 3$ das Rechteck $A' K' B' 3'$. A' ist der Schnittpunkt von $K'M_2'$ und $3'4'$; und B' ist der Schnittpunkt von $M_1'K'$ und $2'3'$. 5 ist der Schnittpunkt von $M_3'3'$ und $1'4'$ usw.

4. Beziehung zwischen Lichtbild und Landkarte aufgrund der bekannten äußeren und inneren Daten des Lichtbildes

Durch Photographieren dreier Festpunkte mit bekannten Koordinaten können die äußeren Daten des Lichtbildes bestimmt werden.

Äußere Daten:

1. die Koordinaten des Zentrums: zwei horizontale Koordinaten und die Höhe (3 Angaben)
2. Höhenwinkel des Hauptstrahls (der optischen Achse) des Lichtbildes, d. h. die Neigung desselben (1 Angabe)
3. Richtungswinkel der Horizontalprojektion der optischen Achse, d. h. der Orientierungswinkel des Lichtbildes (1 Angabe)
4. der durch eine der Hauptrichtungen des Lichtbildes gebildete Winkel, d. h. der Verdrehungswinkel des Lichtbildes (1 Angabe).

Innere Daten:

- a) Zwei Koordinaten des Hauptpunktes auf die Hauptrichtungen bezogen (2 Angaben)
- b) Abstand des Zentrums von dem Hauptpunkt, d. h. die Bildweite (1 Angabe).

Das zentrale System des Lichtbildes ist also durch die 6 äußeren und 3 inneren Daten vollkommen bestimmt.

Für unseren Zweck benutzen wir Lichtbilder, deren Zentralsystem sich leicht bestimmen läßt.

4.1 Senkrechte Bildebene (die Aufnahmerichtung ist waagrecht, $z = 0$)

In Abb. 4 wurde das zentrale System auf dem Lichtbild mit senkrechter Bildebene eines prismatischen Gebäudes mit bekannten Maßen bestimmt.

Nach den Konstruktionsregeln der Zentralprojektion wurden zuerst die Richtpunkte I_1 und I_2 der Bilder der parallelen und horizontalen Seitenpaare konstruiert. Diese liegen in der Horizontlinie h . Der Richtpunkt I_{24} der Diagonalen 24 der Seitenfläche 1234 liegt in der vertikalen Richtungslinie i , die in I_2 steht. Durch die Diagonalen (2) (4) der um i in die Bildebene gedrehten Seitenfläche 1234 wird in der Horizontlinie der Teilungspunkt 0 bestimmt. Man erhält das mit der Horizontebene abgedrehte Zentrum (C) auf dem auf I_1I_2 passenden Thaleskreis, mit dem Kreisbogen mit I_2 als Mittelpunkt und dem Radius I_2O . $F(C)$ ist die Bildweite, F der Hauptpunkt. In Kenntnis des Teilungspunktes 0 und der Länge von 12 kann die Grundlinie a konstruiert werden. Die Grundlinie ist zu h parallel, und ihre zwischen 01 bzw. 02 liegende Strecke ist $I_x2_x = 12$.

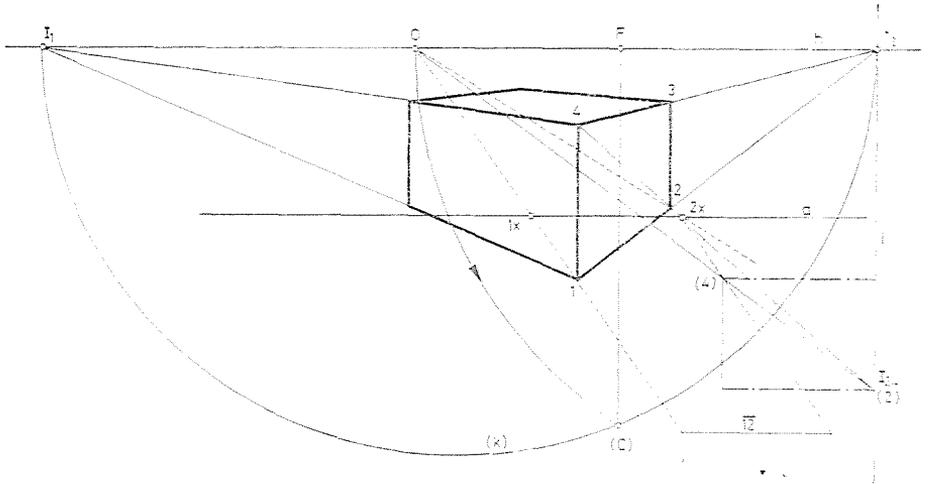


Abb. 4

Ist auch der Ort des Gebäudes in einem Koordinatensystem bekannt, dürfen alle inneren und äußeren Daten des zentralen Bildes als bekannt betrachtet werden, und es lassen sich z. B. unter Anwendung von Bildkoordinaten weitere Bildpunkte konstruieren.

4.11 Konstruktion von Bildpunkten mit Hilfe von Koordinaten

Die Einfügung der geplanten Straße in ein Lichtbild läßt sich praktisch nur mit Hilfe der Bildkoordinaten der einzelnen Profilpunkte durchführen.

Die Koordinaten können sowohl rechnerisch als auch durch Konstruktion bestimmt werden. Die für eine senkrechte Bildebene gültigen geometrischen Zusammenhänge sind anhand des dort angegebenen Zusammenhanges in Abb. 5 veranschaulicht.

4.2 Geneigte Bildebene (Aufnahmerichtung $0^\circ < \alpha < 90^\circ$)

In einer geneigten Bildebene schneiden sich die Bilder der zu allen drei Hauptrichtungen eines rechtwinkligen Koordinatensystems gehörenden parallelen Geraden, das Lichtbild ist ein sog. Dreipunktbild.

In Abb. 6 wurden die paarweise aufeinander senkrechten Kanten eines prismenförmigen Gebäudes mit bekannten Abmessungen für die Bestimmung der inneren Daten des Bildes (Lichtbildes) benutzt.

Die Schnittpunkte der Bilder der parallelen Kanten sind I_1 , I_2 und I_3 . Das gesuchte Zentrum C ist der Schnittpunkt der abgedrehten Thaleskreise K_1 und K_2 . Der Hauptpunkt F ist das Bild des wiederhergestellten Zentrums. Die Horizontlinie h steht in F und ist parallel zu I_1I_2 .

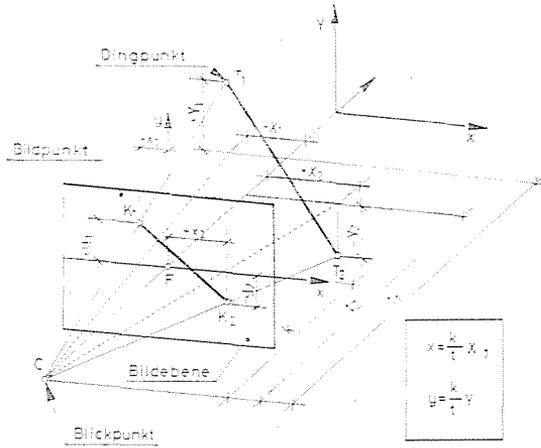


Abb. 5

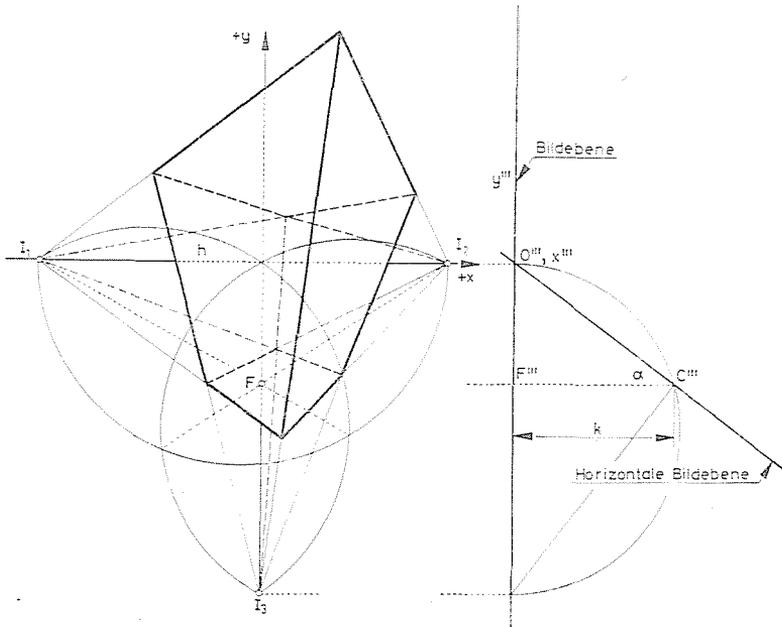


Abb. 6

Die Bildweite k lässt sich in der Seitenansicht messen. Auch der durch die Richtungslinie der photographischen Aufnahme mit der Horizontalebene gebildete Winkel kann hier gemessen werden.

Nachdem die inneren Daten bestimmt sind, kann die Lage des Prismas bzw. des Zentrums und der Bildebene rekonstruiert werden.

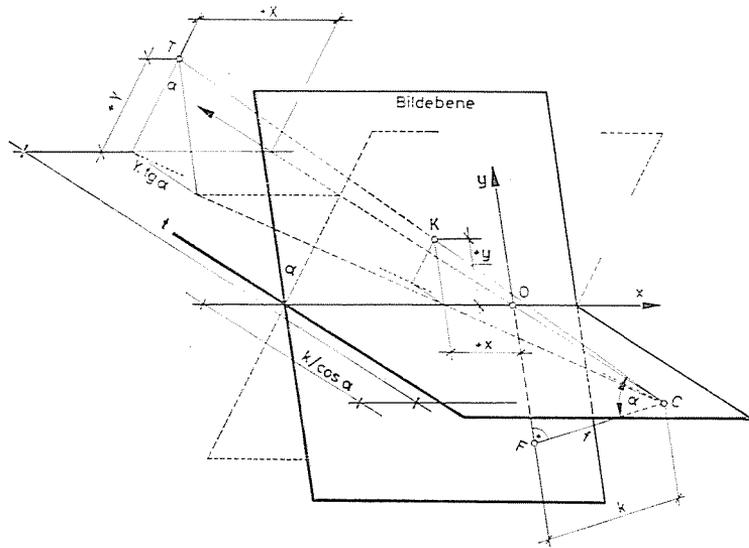


Abb. 7

4.21 Konstruktion von Bildpunkten mit Hilfe von Koordinaten

Das Bild kann beliebig durch Bildpunkte ergänzt werden. Die Bildpunktkoordinaten werden nach Abb. 7 aus ähnlichen Dreiecken berechnet:

$$\left. \begin{aligned} (t - Y \cdot \operatorname{tg} z) : \frac{k}{\cos z} &= X : x \\ \frac{Y}{\cos z} : y &= X : x \end{aligned} \right\}$$

$$x = \frac{\frac{k}{\cos z} X}{t - Y \cdot \operatorname{tg} z} = \frac{kX}{t \cdot \cos z - Y \cdot \sin z}$$

$$y = \frac{Y \cdot x}{X \cdot \cos z} = \frac{kY}{t \cdot \cos^2 z - Y \sin z \cos z}$$

4.3 Vereinfachungsbedingungen für die Bestimmung der äußeren und inneren Daten des Lichtbildes

- Es soll eine Aufnahme mit senkrechter Bildebene sein.
- In der Vergrößerung sollen die Ränder des Negativs sichtbar sein. So läßt sich der Vergrößerungsmaßstab feststellen, und im Falle einer richtig montierten Kamera liegt der Hauptpunkt im Mittelpunkt des Bildfeldes.

c) Der Verdrehungswinkel der Aufnahme sei 0° , und die durch den Hauptpunkt durchgehende Horizontlinie sei parallel zu dem waagerechten Rand der Aufnahme (des Negativs).

d) Die Höhe der Horizontebene des Photos wird bei dessen Aufnahme an Ort und Stelle gemessen.

e) Richtungslinie und Ort der Kamera werden auf geodätischem Wege bestimmt.

5. Anfertigung der Aufnahmen

Für Untersuchungszwecke wurden auf der Straße 8102, deren Modernisierung im Gange ist, Versuchsaufnahmen gemacht.

Es wurde eine 6×6 Rollfilmkamera Typ *Hasselblad* mit einem Weitwinkelobjektiv mit $f = 50$ mm Brennweite und einem Normalobjektiv mit $f = 80$ mm Brennweite benutzt. Das Stativ ist mit Regel- und Befestigungsvorrichtungen für die horizontale und Höheneinstellung der Kamera, mit Horizontal- und Höhenwinkelmeßskale, Einstellibelle ausgerüstet. In den Sucher der Kamera sind eine konzentrische Kreiseinteilung und ein Fadenkreuz eingebaut. Obwohl das Fadenkreuz auf das Negativ nicht aufgenommen wird, ist dank den genannten Einrichtungen die Kamera dem Phototheodolit fast gleichwertig.

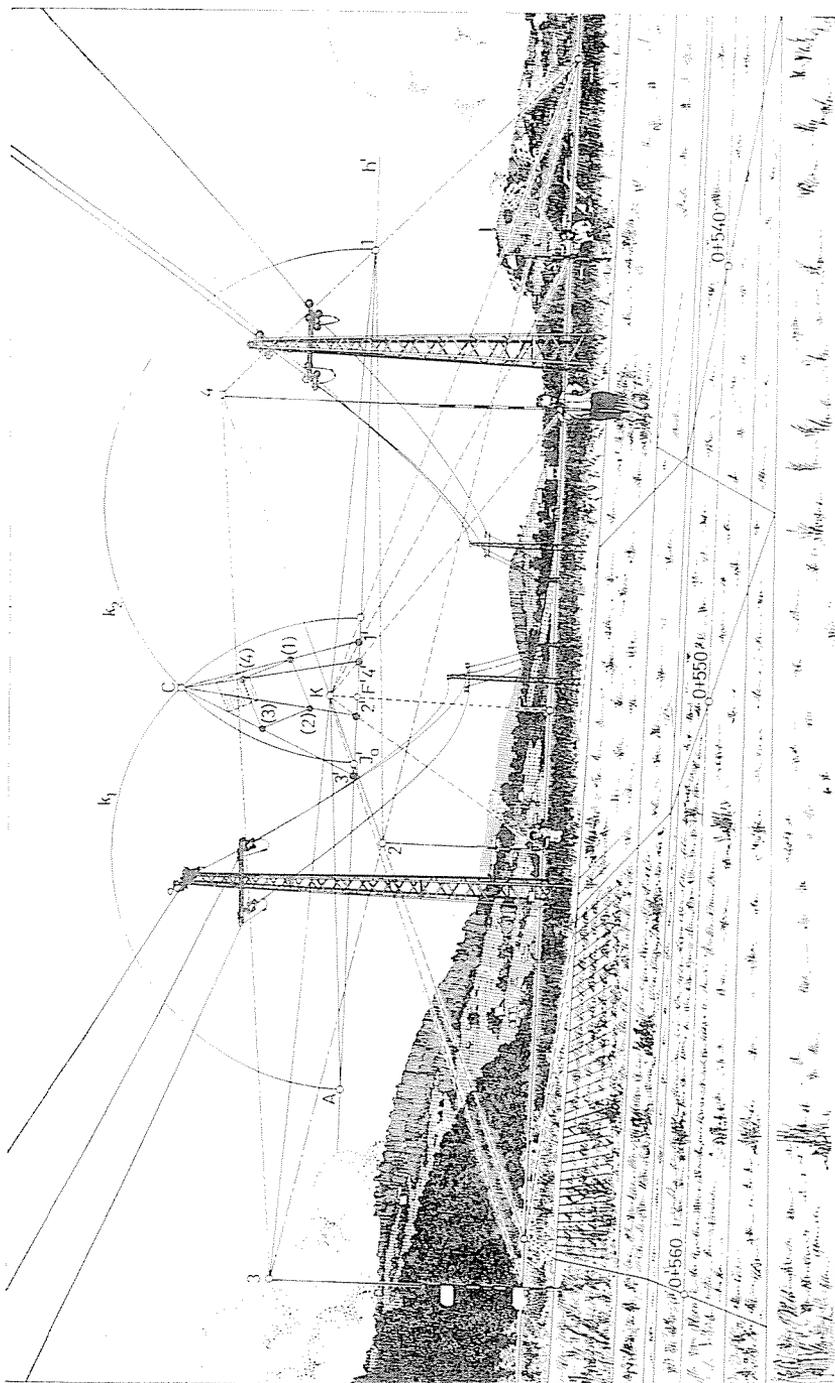
Mit Hilfe der Libelle und der Gradeinteilung wurde die Kamera so eingestellt, daß ihre Richtungslinie (optische Achse) horizontal sei. Ort der Aufnahme, Höhe und Richtung der Richtungslinie wurden bei der Aufnahme auf geodätischem Wege bestimmt; auch die Koordinaten des Aufnahmeortes, die Höhe sowie der mit der Nordrichtung gebildete Winkel der optischen Achse wurden ermittelt.

Für die Aufnahme wurde die Linse der Kamera auf Unendlich gestellt.

5.1 Photobeilage 1

Die auf der Aufnahme sichtbaren Absteckstäbe bezeichnen die Eckpunkte eines Quadrats mit Diagonalen von 20 m. Die »Fahnenstäbe« bilden die eine Diagonale. Der »Einfahnenstab« steht im Straßenprofil Nr. 0 + 540 im abgesteckten Achsenpunkt, der andere im Achsenpunkt des Profils Nr. 0 + 560. Die andere Diagonale wurde von dem Achsenpunkt des Profils Nr. 0 + 550 aus mit Winkelprisma abgesteckt. Auf die senkrechte Gerade wurden je 10 m mit Hilfe des Meßbandes abgemessen.

Die Kamerabildebene war vertikal, die Absteckstäbe sind also auch auf dem Lichtbild parallel. Sicherheitshalber wurde die Horisonthöhe mit dem Fadenkreuz des Suchers der Kamera auf allen Absteckstäben bezeichnet.



Beilage I

(An drei Stäben wurde die Horizonthöhe »von Hand«, auf dem vierten mit Hilfe einer Fahne festgehalten.)

Die Absoluthöhe der Horizontebene wurde aus den abgesteckten und nivellierten Profilverpunkten ermittelt. Im Achsenpunkt des Profils $0 + 540$ beträgt die Geländehöhe 156,55 m ü. M. Auf dem Absteckstab wurde eine Höhe von 1,13 m gemessen. Die Horizonthöhe ist also: $156,55 + 1,13 = 157,68$ m ü. M.

Auf dem Bild ist der gestreifte Anstrich an den Absteckstäben gut sichtbar. Die einzelnen Streifen sind 20 cm lang. Daraus können auf dem Photo weitere Eckpunkte von Quadraten in der Horizontalebene bestimmt werden. Das Quadrat 1234 des Photos liegt, zum Beispiel, 4 m über der Horizontebene. D. h., wir erhielten seine Eckpunkte, indem das 20fache der auf dem Absteckstab gemessenen Streifenlänge von der Horizontebene aus aufgetragen wurde. Dieses Quadrat wurde benutzt, um die inneren Daten des Lichtbildes durch Konstruktion zu ermitteln.

Das Projektionszentrum wird nach Abb. 4 ermittelt. Auf dem Lichtbild können jedoch nur der Richtpunkt I der Seiten 14 und 23 und der Richtpunkt I_a der Diagonalen 24 konstruiert werden, die beiden anderen Richtpunkte liegen außerhalb des Lichtbildes. Daher wurde ein dem ursprünglichen ähnliches, neues Zentralsystem angesetzt.

Der Ähnlichkeitspunkt ist der Mittelpunkt K des Quadrats. Die neue Horizontlinie geht durch den Punkt I und wird durch h' bezeichnet. Die von h aus auf h' projizierten Quadrateckpunkte sind $1'2'3'4'$. Der Richtpunkt von $1'4'$ und von $2'3'$ ist I' , der Richtpunkt der Diagonalen I_a . Der Richtpunkt des Diagonalen $1'3'$ ist I , der Richtpunkt der Seiten $3'4'$ und $1'2'$ ist A . (Die Gerade AK ist parallel zu 12 bzw. 34 . Sie haben jedoch keinen gemeinsamen Richtpunkt auf dem Lichtbild, daher wurden statt eines Richtpunktes ähnliche Dreiecke benutzt.)

Der Schnittpunkt C' der in die Lichtbildebene gedrehten Horizontebene auf AJ' gezeichneten Thaleskreises k_1 und des auf IJ'_a gezeichneten Thaleskreises k_2 ist das Projektionszentrum des angesetzten, neuen Zentralsystems. Damit ist die relative Lage des Quadrats und des Zentrums — einstweilen ohne meßbare Koordinaten — bestimmt.

Für die Konstruktion stand ein Lageplan im Maßstab 1:1000 zur Verfügung, auf dem die Länge von 20 m der Diagonalen der Quadrate 2 cm beträgt. Es wurde also in ähnlicher Lage wie das Quadrat (1) (2) (3) (4) ein Quadrat mit 2 cm langen Diagonalen konstruiert (auf dem Bild mit punktierter Linie bezeichnet). Dieses Quadrat und das Zentrum C' können bereits — im Maßstab 1:1000 — in den Lageplan übertragen werden, bzw. können die Koordinaten des Zentrums gemessen werden.

Der Hauptpunkt F des Lichtbildes wurde in der Horizontlinie mit Hilfe des Projektionsstrahles KF' abgesteckt. Man erhält in Kenntnis der Brenn-

weite von $f = 50$ mm die Vergrößerung des Photos z. B. aus folgender Proportion:

$$C'F' : CF = F'J' : FJ$$

$$CF \text{ (die Bildweite des Photos)} = \frac{C'F' \cdot FJ}{F'J'}$$

Aus dem Photo sind:

$$C'F' = 67 \text{ mm}$$

$$F'J' = 29 \text{ mm}$$

$$FJ = 237 \text{ mm}$$

$$CF = \frac{67 \cdot 237}{29} \approx 550 \text{ mm. Die Vergrößerung ist also}$$

$$\frac{CF}{f} = \frac{550}{50} = 11 \text{ (eine elffache).}$$

In Kenntnis der inneren und äußeren Daten des Lichtbildes wurde das Bild der geplanten Straße auf dem Lichtbild konstruiert. Für die Konstruktion wurden der Lageplan im Maßstab 1 : 1000 und das Längsprofil 1 : 1000/1 : 100 benutzt. Die Koordinaten des Dingpunktes wurden im Lageplan gemessen, die Koordinaten des Bildpunktes rechnerisch bestimmt. Die erhaltenen Bildpunktkoordinaten wurden schließlich auf das Lichtbild aufgetragen. Die Berechnung der Bildpunktkoordinaten ist in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Auf dem Lichtbild wurde nur die linke Seite des Profils 0×560 (Fahrbahndeckenrand, Planumrand, Herdsohle) abgebildet. In das Photo wurden die Achsenlinie, Fahrbahndecken- und Planumränder sowie die Herdsohlenlinien weiß eingezeichnet. Wie aus dem Bild zu erkennen ist, hat man von der Aufnahmestelle her keine Draufsicht auf die geplante Straße, nur ein oberer Streifen der rechtsseitigen Einschnittsböschung ist sichtbar.

6. Einzeichnen in die Photoaufnahme mit Hilfe eines Quadratnetzes

Verfahren zum Einzeichnen in das Lichtbild. Für diesen Zweck wird ein perspektives Quadratnetz, perspektiver Raster konstruiert, dessen Seiten zur Horizontlinie des Bildes parallel sind bzw. auf diese senkrecht stehen. Die Seiten des Quadrats sind in der Wirklichkeit von 1 m Länge, so erhält man auf dem Kartenblatt im Maßstab 1 : 500 ein 2 mm-Raster. Sowohl der perspektive Raster als auch das Kartennetz werden auf Zelluloidplatten ausgeführt.

Der Hauptpunkt auf dem Lichtbild ist der geometrische Mittelpunkt desselben; die Horizontlinie ist parallel zu der Bildunterkante. Mit Hilfe der Horizontlinie und des Hauptpunktes läßt sich der perspektive Raster auf die Photoaufnahme anpassen.

Auf der Karte werden erst Aufnahmeort und -richtung durch Konstruktion angegeben, und mit deren Hilfe läßt sich auch das Kartennetz auf die Landkarte legen. (Der Anfangspunkt ist mit dem Aufnahmeort identisch, die Seiten des Quadrats liegen in Richtung der Aufnahme bzw. auf diese senkrecht.)

Der perspektive Raster wird in der Form hergestellt (auch das Musterexemplar in der Anlage wurde in dieser Weise bereitet), daß die Rasterebene 1 m hoch über der Horizontebene liegt, d. h. man unter den Raster sieht, das Zelluloid also die Photoaufnahme nur über dem Horizont deckt. Da jeder Rasterpunkt in 1 m Höhe über der Horizontebene liegt, beträgt der Abstand zwischen Rasterpunkt und Horizontlinie überall 1 m, selbstverständlich in perspektivischer Kürzung. Soll also von einem Rasterpunkt ausgehend ein Raumpunkt eingetragen werden, wird von der Rasterebene aus (die um 1 m höher als die optische Achse ist), die auf die Rasterebene bezogene Höhendifferenz des Raumpunktes mit dem örtlichen Höhenmaßstab aufgemessen, der durch die Höhendifferenz von 1 m zwischen Rasterpunkt und Horizontebene bestimmt ist. Liegen z. B. der darzustellende Punkt in 102,5 m, die optische Achse in 100 m Höhe, werden von der Rasterebene (von 101 m) aus 1,5 m, d. h. die einundeinhalbfache Entfernung zwischen Rasterpunkt und Horizontlinie in positiver Richtung (aufwärts) aufgemessen.

Der perspektive Raster läßt sich bis zu einer Bildtiefe von etwa 50 bis 100 m ohne jede Schwierigkeit verwenden, auch eine Bildtiefe von 1000 m kann aber dargestellt werden; diese ist in einer Entfernung von 0,8 mm von der Horizontlinie!

Sollte das Eintragen der Punkte bereits durch die Rasterdichte erschwert sein, so stellt man sich den Raster in unveränderter Lage 2 m über der Horizontebene vor. Dann werden die Laufzahlen (d. h. die Bildtiefen) halbiert, d. h., die Bildtiefe von 40 m wird in der NetZRasterlinie für die Länge von 20 m eingetragen, in diesem Falle wird jedoch der Höhenmaßstab — der Abstand von der Horizontebene — 2 m sein! Ferner müssen auch die positiven bzw. negativen Werte halbiert werden.

Will man ein Weitwinkelobjektiv (Brennweite $f = 50,0$ mm) benutzen, muß ein anderer perspektiver Raster angewandt werden.

Verwendung von Diapositiven. Die beschriebene Konstruktion läßt sich auch vorteilhaft durchführen, indem vom Gelände kein gewöhnliches Photo, sondern ein Diapositiv aufgenommen wird, und man die Geländepunkte in die auf das Zeichenblatt mit Hilfe des Bildwerfers übertragene Diaaufnahme zeichnet. In diesem Falle wird der perspektive Raster vorher auf das Zeichen-

Tabelle I

 $k = 550 \text{ mm}$

Zeichen des Dingpunktes	X (m)	Y (m)	t (m)	$\frac{1000}{t}$
0 + 540	+ 9.50	-1.13	29.8	33.60
0 + 540	+ 9.50	-3.08	29.8	33.60
1	-12.2	-3.08	23.0	43.50
2	-11.3	-3.08	25.2	39.70
3	- 6.9	-3.08	36.6	27.30
4	+ 7.5	-3.08	34.7	28.8
0 + 550	0	-2.84	26.4	37.9
0 + 560	- 9.50	-1.10	28.4	44.60
0 + 560	- 9.50	-2.60	22.4	44.60
5	- 7.0	-2.60	15.8	63.3
6	- 7.8	-2.60	17.9	55.9
7	-12.0	-2.60	29.2	34.3
8	-11.3	-2.60	27.0	37.1

blatt gezeichnet, oder auch von dem Raster eine Diaaufnahme angefertigt; sodann werden die beiden Bilder zusammen auf das Zeichenblatt projiziert, schließlich wird das Projektionsbild mitsamt den durch Konstruktion übertragenen Punkten nochmals photographiert.

Beispiel für die Berechnung der Punkte des perspektiven Rasters

Ausgangsdaten:

- Brennweite des Objektivs der Kamera: $f = 80 \text{ mm}$;
- Vergrößerung der Photoaufnahme: 10fach;
- Abstand zwischen den benachbarten Punkten des Quadratrasters: 1 m ;
- Die Rasterebene ist horizontal, liegt in 1 m Höhe über der optischen Achse.

Berechnung der Y-Koordinaten (Abb. 8)

Rasterpunkt 1

$$1000 : 80 = 1000 : y_1$$

$$y_1 = \frac{80 \ 000}{1000} = 80 \text{ mm}$$

Wegen der 10fachen Vergrößerung:

$$Y_1 = 10 y_1 = 800 \text{ mm.}$$

$c = \frac{1000 k}{t}$	$x = cX$ (mm)	$y = cY$ (mm)	Bemerkung
18.50	+175.7	-20.90	Gelände
18.50	+175.7	-57.00	Fahrbahndecke
23.90	+292.0	-73.60	Planumrand, links
21.80	+246.0	-67.10	Fahrbahndeckenrand, links
15.00	+103.5	-46.20	Fahrbahndeckenrand, rechts
15.85	+119.0	-48.90	Planumrand, rechts
20.8	0	-59.00	Fahrbahndecke
24.5	-232.8	-27.0	Gelände
24.5	-232.8	-63.7	Fahrbahndecke
34.8	-243.6	-90.5	Planumrand, links
30.7	-239.0	-79.8	Fahrbahndeckenrand, links
18.80	-225.6	-48.80	Planumrand, rechts
20.4	-232.3	-54.00	Fahrbahndeckenrand, rechts

Punkt 2

$$2000 : 80 = 1000 : y_2$$

$$y_2 = \frac{80\ 000}{2000} = 40\ \text{mm}$$

$$Y_2 = 400\ \text{mm}$$

3. $Y_3 = 266,6\ \text{mm}$

4. $200\ \text{mm}$

5. $160\ \text{mm}$

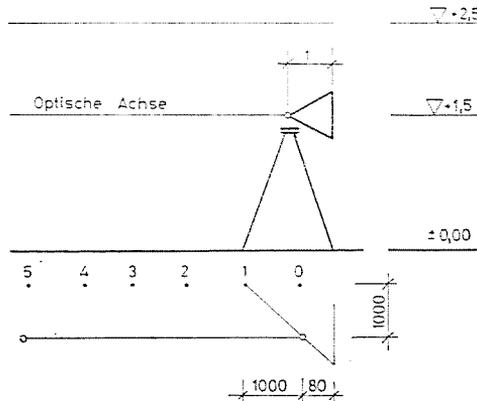


Abb. 8

6.	133 mm	30.	26,7 mm
7.	113,4 mm	40.	20 mm
8.	100 mm	50.	16 mm
9.	88,9 mm	100.	8 mm
10.	80 mm	150.	5,3 mm
11.	72,7 mm	200.	4 mm
12.	66,7 mm	300.	2,7 mm
15.	53,3 mm	400.	2 mm
20.	40 mm	500.	1,6 mm
25.	32 mm	1000.	0,8 mm

Bestimmung von X z. B. auf Y_{10} (Abb. 9)

$$x : 1000 = \sqrt{80^2 + 8^2} : \sqrt{10\,000^2 + 1000^2}$$

$$x = \frac{1000 \sqrt{80^2 + 8^2}}{\sqrt{10\,000^2 + 1000^2}} = \frac{10^3 \sqrt{6464}}{10^3 \sqrt{101}} \approx 8,04 \text{ mm}$$

$$x = 8,04 \text{ mm.}$$

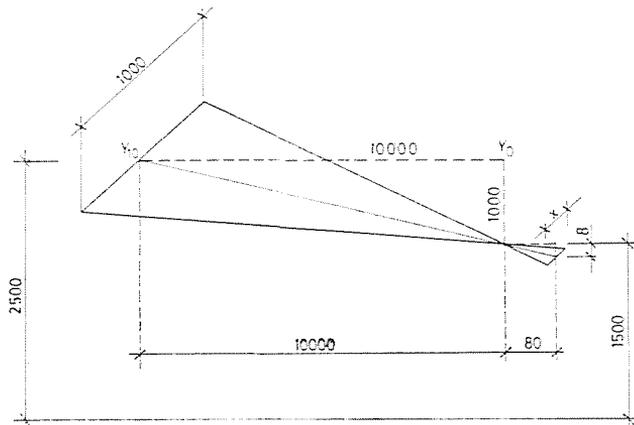


Abb. 9

Zusammenfassung

Die Einfügung in die Umgebung, die voraussichtliche Raumwirkung einer geplanten Straße müssen bereits während des Entwerfens beurteilt werden.

Diese, ein hohes Raumgefühl erfordernde Arbeit wird durch »montierte« Lichtbildaufnahmen erleichtert.

Im Beitrage werden die auf der projektiven Beziehung zwischen Lichtbild und Landkarte beruhenden Konstruktions- und Rechenverfahren beschrieben, mit deren Hilfe in ein von einem beliebigen Punkt aus aufgenommenes Photo die geplante Straße mit hinreichender Genauigkeit eingezeichnet werden kann.

Schrifttum

- EDŐCS, O.: Konstruktion perspektiver Bilder und deren Verwendung beim Entwerfen von Straßen. Straßenperspektive.* Wissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität für Bau- und Verkehrswesen Budapest. Bd. XII (1966) H. 1.
- HANKÓ, I.: Die Bedeutung der Photogrammetrie für die Ingenieurpraxis.* Vortragsreihe im Weiterbildungsinstitut für Ingenieure. Manuskript. Budapest (1955)
- HANKÓ, I.: Herstellung von Lichtbild-Karten mit Hilfe eines Bildwandlers.* Veröffentlichung des Weiterbildungsinstituts für Ingenieure. H. M 56. Budapest. (1945)
- LACMANN, O.: Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten. S. Hirzel Verlag, Leipzig (1950)
- OLTAY, K.: Photogrammetrie.* (Ausgabe des Verfassers), Budapest (1926)
- LÓRINCZ, P.—PETRICH, G.: Darstellende Geometrie.* Tankönyvkiadó, Budapest (1976)
- RANKE-NIEBLER: Perspektive im Ingenieurbau, insbesondere im Straßenbau. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin. 3. Auflage (1960)
- SÉBOR: Allgemeine Geodäsie* 1—2. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest (1955)

* In ungarischer Sprache

Ottó Edőcs, H-1521 Budapest