

ZEICHNERISCHE ERMITTLUNG DES AUFNAHMESTANDPUNKTES VON PHOTOGRAPHIEN

A. HORN

Lehrstuhl für Darstellende Geometrie, TU Budapest

Eingegangen am 12. Februar 1979

Die genaue Ermittlung des Aufnahmestandpunktes von Photographien bildet einen unerläßlichen Teil der Rekonstruktion, wenn die genaue Lage und die Projektion eines Gebildes im Verhältnis zu seiner bekannten Umgebung von einem Photo mit Hilfe der Karte bestimmt werden soll.

In der Baupraxis ist das auch eine unumgängliche Aufgabe, wenn die Einfügung in die Umgebung eines geplanten Gebäudes, Denkmals oder Bauwerks der Realisierung vorangehend, beim Entwerfen untersucht oder die Wirkung etwa erforderlicher Änderungen im voraus im Interesse einer günstigen Erscheinung des Bauwerks, seiner harmonischen Anpassung an die Umgebung studiert werden sollen.

Am häufigsten ist das der Fall in der Baupraxis, wenn Baulücken bebaut werden sollen und es geprüft wird, wie sich modernere Gebäude in abweichendem Stil in ein einheitliches früheres Straßenbild, einen Platz älteren Stils einfügen werden. Eine besondere Bedeutung erhält dieses Vorgehen, wenn in ein historisches Ensemble nachträglich modernere Gebäude abweichenden Stils eingebaut werden sollen.

In einem solchen Falle werden von der Umgebung der geplanten Bebauung von mehreren Standpunkten aus Photoaufnahmen gemacht. Die Aufnahmestandpunkte werden durch manuelle Messung oder mit Hilfe geodätischer Instrumente auf dem Gelände festgelegt und in die Karte der betreffenden Umgebung eingezeichnet. In einem weiteren Schritt wird auf die Karte in deren Maßstab der Grundriß des geplanten Objekts aufgebracht. Als letzter Schritt wird aus dem Grundriß und den Höhenmaßen gleichen Maßstabes auf das Photo wieder das Perspektivbild des geplanten Objektes gezeichnet. Wird dieses Verfahren mit von verschiedenen Punkten aufgenommenen Photos wiederholt, erhält man durch Zeichnungen ergänzte Photos, welche die vorteilhafte oder unvorteilhafte Beziehung zwischen Vorgesehenem und Vorhandenem überzeugend zeigen.

Die auf das Photo gezeichneten perspektiven Bilder der geplanten Bauten können die neuen Massen auch nur linear, in großen Zügen darstellen, wobei der vorherige Zustand auf dem Photo darunter sichtbar bleibt. Die

Übertragung in das Photo kann jedoch auch in der Weise geschehen, daß die genaue und ausführliche Zeichnung des zu errichtenden Bauwerks auf einem anderen Papier gezeichnet, dem Licht auf der Photographie entsprechend schattiert wird, wobei gewisse Teile auch den vorgesehenen Grundton erhalten. Die so erhaltene naturalistische Zeichnung wird den Rand des geplanten Bauwerks entlang ausgeschnitten und auf die vorher genau bestimmte Stelle des Photos geklebt. Solche Bilder wirken oft wirklichkeitstreu und geben ein anschauliches Bild von der Erscheinung des vorhandenen und des vorgesehenen Ensembles.

Zeichnerische Ermittlung des Aufnahmestandpunktes von einer Photoaufnahme mit bekannten inneren Daten

Unter inneren Daten des Photos werden die Vertikalprojektion des Projektionszentrums in der Bildebene, der Hauptpunkt F und die Entfernung d des Projektionszentrums von der Bildebene verstanden. Mit Hilfe dieser beiden läßt sich das Projektionszentrum im Verhältnis zur Bildebene in die gleiche Lage bringen, wie im Zeitpunkt der photographischen Aufnahme. Beim Photographieren wurden das Projektionszentrum durch den Hauptpunkt an der Bildseite des benutzten Linsensystems, und die Bildebene durch die emulsionbeschichtete Seite des Films verkörpert. Der Abstand d des Projektionszentrums von der Bildebene stimmt mit dem Fokalabstand f des Linsensystems überein, wenn bei der Aufnahme das Objektiv auf ∞ eingestellt war. Das ist auch bei dem Großteil der Bauphotos der Fall. Anderenfalls kann es von mit den Kameras gelieferten Tabellen abgelesen werden. Durch die dem Aufnahmезustand gleiche Lage des Zentrums und der Bildebene erhält man einen dem bei der Abbildung benutzten Projektionspyramide gleichen, kongruenten Rekonstruktions-Projektionspyramide, die eine der Möglichkeiten zur Bestimmung des Aufstellungspunktes enthält.

Abb. 1 zeigt die Skizze einer Ecke eines Platzes mit der Mündung zweier Straßen. Im weiteren werden statt Photos lineare Bilder benutzt, weil diese nur die für die zeichnerische Darstellung notwendigen, wesentlichen Teile enthalten, um auch damit das leichtere Verständnis der Erörterungen zu fördern. Der Lageplan der Ecke des Platzes in Abb. 1 ist im schematischen Kartenteil in Abb. 2 zu sehen. Zur Identifizierung dienen in den beiden Bildern die durch Ziffern gekennzeichneten, vertikalen Gebäudekanten.

Im weiteren werden ausschließlich Bilder mit vertikaler Bildebene benutzt, wie es aus der Parallelität der vertikalen Hauskanten ersichtlich ist.

Die Aufgabe ist also, den genauen Ort auf der Karte in Abb. 2 zeichnerisch zu bestimmen, von dem aus die Aufnahme in Abb. 1 gemacht wurde.

Als Ausgangspunkt wurde in Abb. 1 die Schnittlinie h der durch das Projektionszentrum durchgehenden, horizontalen Horizontebene mit dem

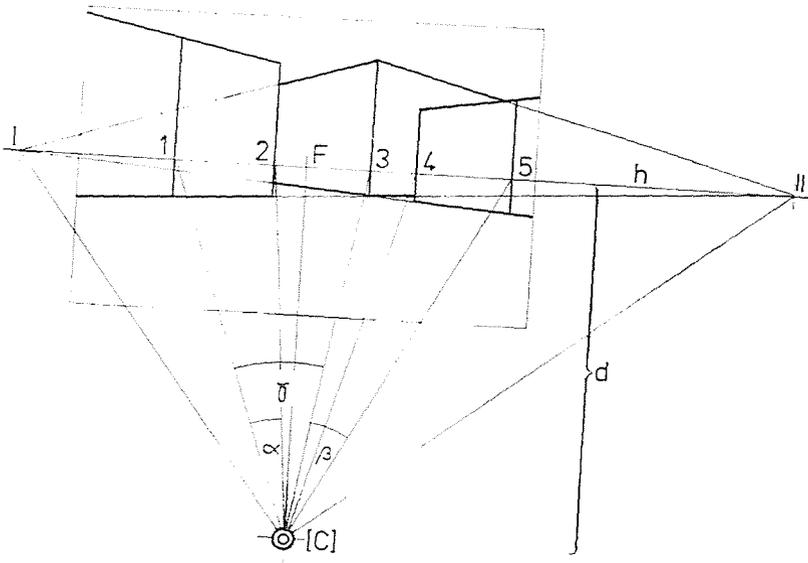


Abb. 1

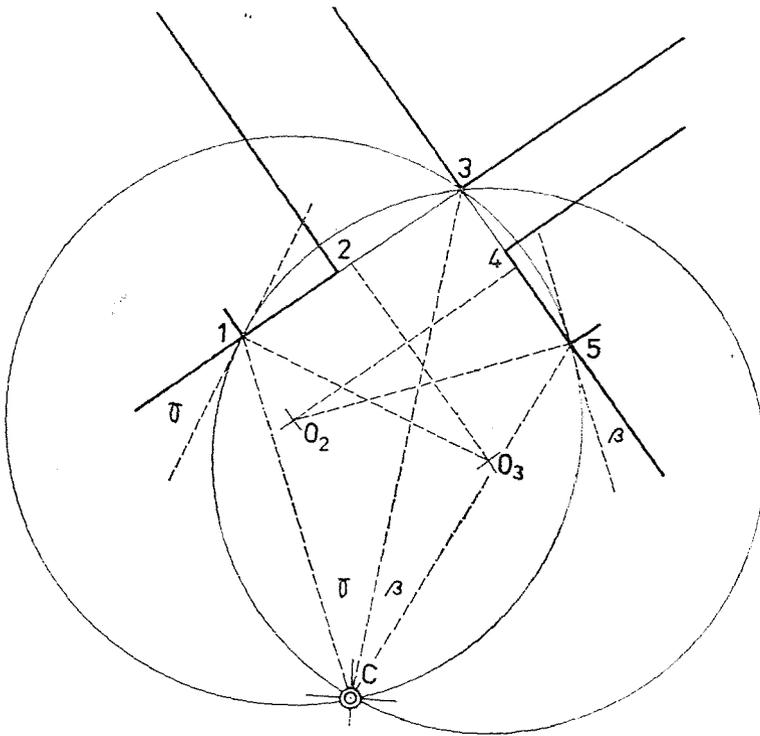


Abb. 2

Photo eingezeichnet. Diese wird durch Verbindung der Richtpunkte I und II erhalten, die sich durch Verlängerung der Bilder der Horizontalkanten der vertikalen Wandflächen der Gebäudeblöcke ergeben. Nun wird das Zentrum C in der Horizontalebene mitsamt der Horizontalebene um die Schnittlinie h in die Ebene des Photos gedreht. So kommt das Zentrum an die Stelle C , die von dem Hauptpunkt F gerade im Abstand d in auf die Horizontlinie h senkrechter Richtung ist. Wird nun C mit den Punkten 1, 2, 3, 4, 5, . . . der Bilder der vertikalen Wandkanten in h verbunden, erhält man ein Strahlenbüschel, das mit dem Strahlenbüschel, das bei der photographischen Aufnahme die Punkte 1, 2, 3, 4, 5, . . . abbildete, kongruent ist.

Daraus läßt sich feststellen, daß bei der Aufnahme von dem Aufstellungspunkt aus die Punkte 1 und 2 unter dem Winkel α , die Punkte 3 und 5 unter dem Winkel β , die Punkte 1 und 3 unter dem Winkel γ usw. sichtbar waren. Da sich diese Winkel in der horizontalen Horizontalebene befinden, sind sie im ebenfalls horizontalen Lageplan — auf der Karte — gleichfalls in ursprünglicher Größe zu sehen. Daher liegt es auf der Hand, daß der Aufstellungspunkt — das Zentrum C der Abbildung — ein Punkt auf der Karte sein muß, von dem aus die Punkte 1 und 2 unter einem Winkel α , die Punkte 3 und 5 unter einem Winkel β zu sehen sind.

Alle Punkte, von denen aus der Abschnitt 12 unter dem Winkel α sichtbar ist, befinden sich in einer Sichtskreislinie, die durch die Punkte 1 und 2 durchgeht. Der Mittelpunkt O_1 dieses Kreises wurde in der Halbierungsenkrechten des Abschnitts 12 durch den auf die Tangente, die mit dem genannten Abschnitt einen Winkel α bildet, senkrechten Radius ausgeschnitten. Der Schnittpunkt des für den Abschnitt 35 mit dem Winkel β in der gleichen Weise gezeichneten Kreises mit dem Mittelpunkt O_2 und der vorigen Kreislinie ist nicht anderes, als die Projektion des Aufstellungspunktes zur Photoaufnahme, des Abbildungszentrums C auf der Karte.

Die beiden Sichtskreise schneiden sich neben dem Punkt C auch noch in einem weiteren Punkt X . Da dieser innerhalb des durch die Punkte 4 und 5 bezeichneten Gebäudes liegt, so läßt sich leicht entscheiden, welcher von den Schnittpunkten C die Projektion des Projektionszentrums ist. Das kann auch durch einen Vergleich der Abbildungen 1 und 2 leicht festgestellt werden.

Diese beiden Schnittpunkte können größere Schwierigkeiten verursachen, wenn sie wesentlich näher zueinander zu liegen kommen. Das läßt sich jedoch — wie es Abb. 3 zeigt — leicht vermeiden, wenn die erwähnten beiden Kreise durch einen bekannten Punkt geführt werden. Damit ist einer von den möglichen beiden Schnittpunkten ein bereits bekannter Punkt, der bei der Wahl des Ortes für das Zentrum nicht mehr in Frage kommt. Der andere Schnittpunkt ergibt sich hingegen eindeutig als die Projektion C des Zentrums. Hier wird durch den für die Punkte 3 und 5 mit dem Winkel γ gezeichneten Kreis mit dem Mittelpunkt O_2 in der für die Punkte 1 und 3 mit dem Winkel

β gezeichneten Sichtskreislinie mit dem Mittelpunkt O_3 die Projektion des Zentrums C auf der Karte eindeutig bezeichnet.

Die Höhe des in horizontaler Projektion bereits bestimmten Projektionszentrums wird im Bild einer senkrechten Wandkante bekannter Höhe ermittelt. Seine Höhe über der horizontalen Grundrißebene verhält sich zu der Höhe der bekannten Wandkante, wie der Abschnitt des Bildes der Wandkante unterhalb der Horizontebene zu der Gesamtlänge des Bildes der Kante.

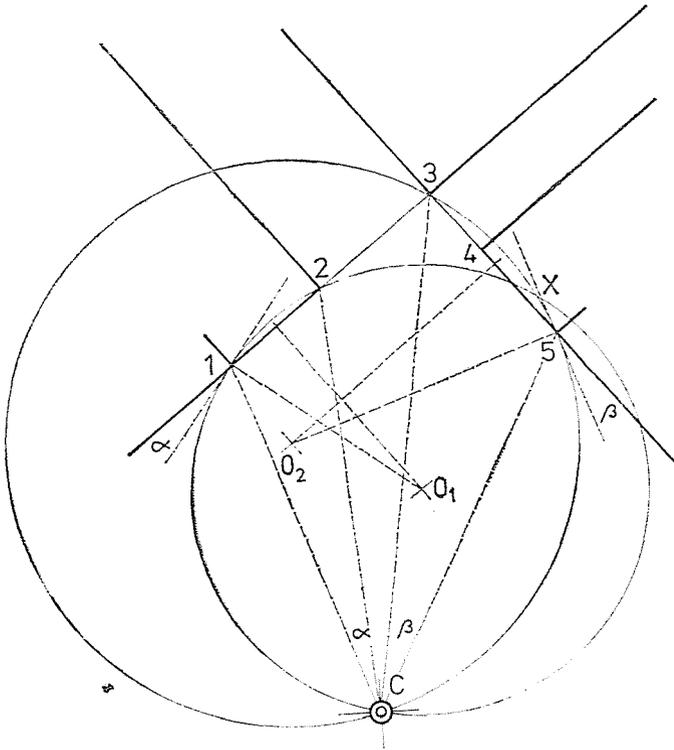


Abb. 3

Bestimmung des Aufnahmestandpunktes durch Verdeckung

Der Aufstellungspunkt zur Photoaufnahme läßt sich auf der Karte auch in anderer Weise ermitteln. Wenn man über keine Photos mit bekannten inneren Daten verfügt — in der überwiegenden Mehrheit der Fälle — kann der Aufnahmepunkt auf der Karte nur mit Hilfe der Verdeckungsverhältnisse auf dem Photo bestimmt werden.

In Abb. 4 und in Abb. 1 ist dieselbe Aufnahme zu finden. Hier wurden mit Hilfe der Richtpunkte *I* und *II* die Fassadenebenen des mittleren Ge-

bäudeblockes nach oben bis zur gleichen Höhe verlängert, damit sich die zeichnerische Darstellung leichter verfolgen läßt. In der rechtsseitigen Wandebene wurde das Rechteck $ABCD$ derart gezeichnet, daß seine Seite AB eine durch den Punkt 2 durchgehende Kante sei, und seine Seite CD mit der durch den Punkt 4 durchgehenden Kante zusammenfalle. Die Entfernung zwischen den Kanten AB und CD wird durch die, durch den Punkt 3 durchgehende Gebäudekante im Verhältnis c zu d geteilt, das auf der Kante 3 mit Hilfe der Diagonalen AC graphisch dargestellt ist. Da die Wandkante 3 des

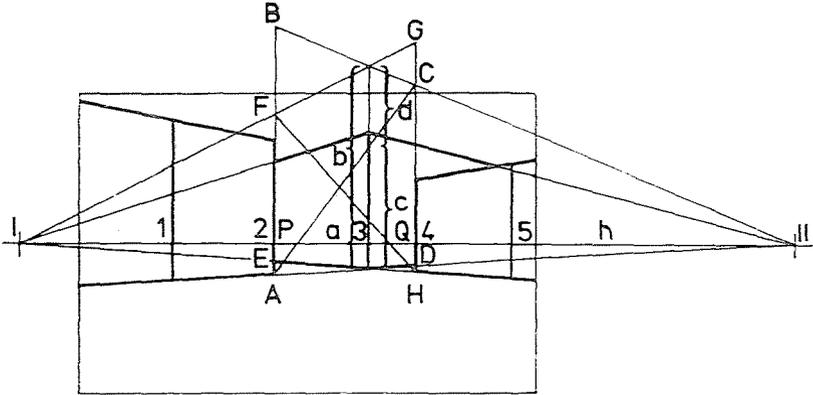


Abb. 4

mittleren Gebäudeblockes zu der Bildebene parallel ist, kann hier das Verhältnis der durch die Diagonale geteilten Teile abgemessen werden. Die Breite des sichtbaren Teils der eben benutzten rechtsseitigen Wandebene des mittleren Gebäudeblockes verhält sich zu der Breite der Straße vor der linksseitigen Fassade wie d zu c .

Dadurch erhält man in Abb. 5, in der Projektion der erwähnten, verlängerten Wandebene, in der d/c -maligen Entfernung des Abschnitts 23 von 3 an aufgemessen das als Punkt erscheinende Bild der Seite CD , das durch seinen Punkt Q in der Horizontebene bezeichnet wurde. Da sich die Kante 4 des rechtsseitigen Gebäudeblockes und die durch den Punkt Q gehende vertikale Gerade des mittleren Gebäudeblockes im Photo der Abb. 4 deckten, muß das Zentrum C in deren Verbindungsebene liegen. Wird also in Abb. 5 die Gerade $4Q$ gezeichnet, erhält man die in der Geraden gesehene Projektion der vertikalen Projektionsebene, in der sich das Zentrum C befindet.

Durch Wiederholung des eben gesehenen Verfahrens wird auf die linksseitige Wandebene das Bild des Rechtecks $EFGH$ gezeichnet, durch dessen durch die Punkte F und H durchgehende Diagonale die Wandkante 3 im Verhältnis a zu b geteilt wird. Damit verhält sich hier der von der Straße aus noch sichtbare Teil der linksseitigen Wandebene zu der Breite der Straße

vor der rechtsseitigen Wandebene wie b zu a . In Abb. 5 erhält man also in der b/a -maligen Entfernung des die Punkte 3 und 4 verbindenden Abschnittes die Gerade der Seite EF , die durch ihren Punkt P in der Horizontebene bezeichnet wurde. In Abb. 4 deckten sich die Punkte P und 2, daher kann man durch Verbinden der Punkte P und 2 das in der Geraden gesehene Bild

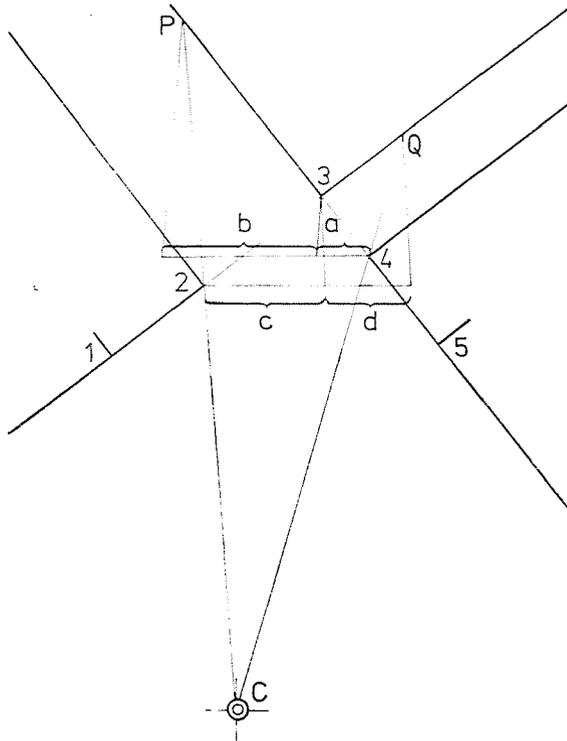


Abb. 5

einer weiteren, durch das Zentrum durchgehenden, vertikalen Ebene zeichnen, die in der vorigen die Projektion des Zentrums C herausschneidet.

Das zeichnerische Verfahren kann unter Anwendung beliebiger anderer sich deckender Elemente durchgeführt werden, somit bietet diese Methode unendlich viele Möglichkeiten zur Rekonstruktion des Zentrums.

Ermittlung des Aufnahmezustandes durch Deckung eines einzigen vertikalen Geradenpaares

In Abb. 6 ist das Bild einer Straße in geschlossener Bauweise zu sehen, die durch eine einzige Baulücke unterbrochen ist. Abb. 7 zeigt den Lageplan. Hier soll auch in Abb. 7 die Projektion des Aufnahmezentrums graphisch ermittelt werden.

In der Wandebene der gemeinsamen Straßenfassade wird mit Hilfe des Richtpunktes *I* das perspektive Bild des Rechtecks *1234* graphisch dargestellt, das in Abb. 7 der auf die Baulücke fallende Teil der Straßenfassadenebene ist. Dann wird in das Rechteck in Abb. 6 die Gerade *78* eingezeichnet. Diese deckt sich mit der hinteren vertikalen Kante *56* der linksseitigen Brandmauer des Hauses rechts von der Baulücke. Die Vertikale *78* wurde mit Hilfe der Diagonalen *13* des Rechtecks *1234* in Abb. 6 in der bereits beschriebenen Weise in Abb. 7 übertragen. Durch die Vertikale *78* wird der Abschnitt *14* im

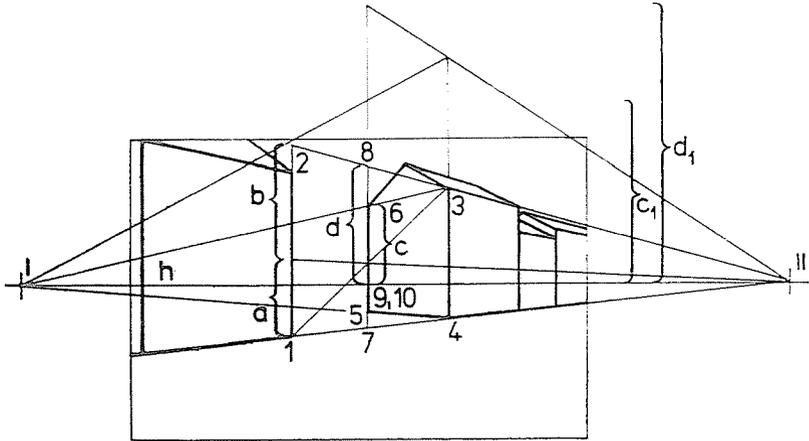


Abb. 6

Verhältnis *a* zu *b* geteilt. So erhält man in Abb. 7 die in einem Punkt gesehene Projektion der Kante *78* in der Ebene der Straßenfassade. Nach den früheren Überlegungen muß das Zentrum *C* in Abb. 7 in der als Gerade gesehene Verbindungsebene der Kanten *56* und *78* liegen.

Da die Geraden *36* und *45* die Bilder paralleler horizontaler Geraden — mit gemeinsamen Richtpunkt! — sind, ferner auch die Geraden *38* und *47* parallel sind, stimmt auch die Größe der Kante *56* und des Abschnitts *78* mit der Wirklichkeit überein, und beide sind gleicher Länge wie die Kante *34*. So sind nicht nur die Teile unter der Horizontebene der betreffenden Abschnitte von gleicher Größe — weil die Grundrißebene horizontal ist —, sondern auch ihre Abschnitte oberhalb der Horizontebene sind gleich. Da die Kante *56* weiter hinten liegt, kommt ihr mit *d* übereinstimmender Abschnitt mit dem durch *c* bezeichneten Abschnitt der näheren Kante *78* in Deckung. Dasselbe Verhältnis wurde mit Hilfe der Richtpunkte *I* und *II* zu *c*₁ und *d*₁ vergrößert, was der Multiplikation mit einer beliebigen gleichen Zahl entspricht. Übrigens kann dieser Schritt auch als eine beliebige Aufhöhung des Gebäudes aufgefaßt werden. Wird nun in Abb. 7 die Verbindungsebene der

Kanten 56 und 78 in eine zur Projektionsebene parallele Lage gedreht, sodann beim Umdrehen bei der Kante 56 die Entfernung d_1 , bei der Kante 78 die Entfernung c_1 aufgemessen, so schneidet die Verbindungsgerade ihrer Endpunkte in der früher graphisch dargestellten Ebene die Projektion C des Zentrums heraus. Von C aus deckt der Abschnitt c_1 der Kante 78 tatsächlich den Abschnitt d_1 der Kante 56.

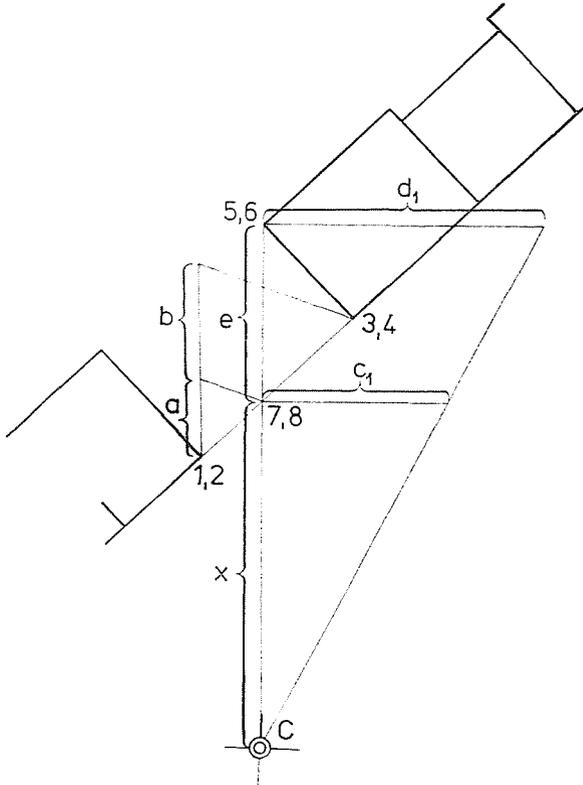


Abb. 7

Der Ort von C kann in Kenntnis des Abstandes e der Geraden 56 und 78 in Abb. 7 und der in Abb. 6 dargestellten Verhältnisse c zu d oder c_1 zu d_1 auch aufgrund der von der Geraden 78 aus gemessenen Entfernung x rechnerisch ermittelt werden: $x = c \cdot d/d - c$.

In den Abbildungen 4 und 6 kann die Höhe von C in der gleichen Weise, wie bei Abb. 1 beschrieben, ermittelt werden, daher wird hier darauf nicht näher eingegangen.

Durch das gezeigte graphische Verfahren haben wir also mit Hilfe der sich deckenden Bilder eines einzigen vertikalen Geradenpaares von in der

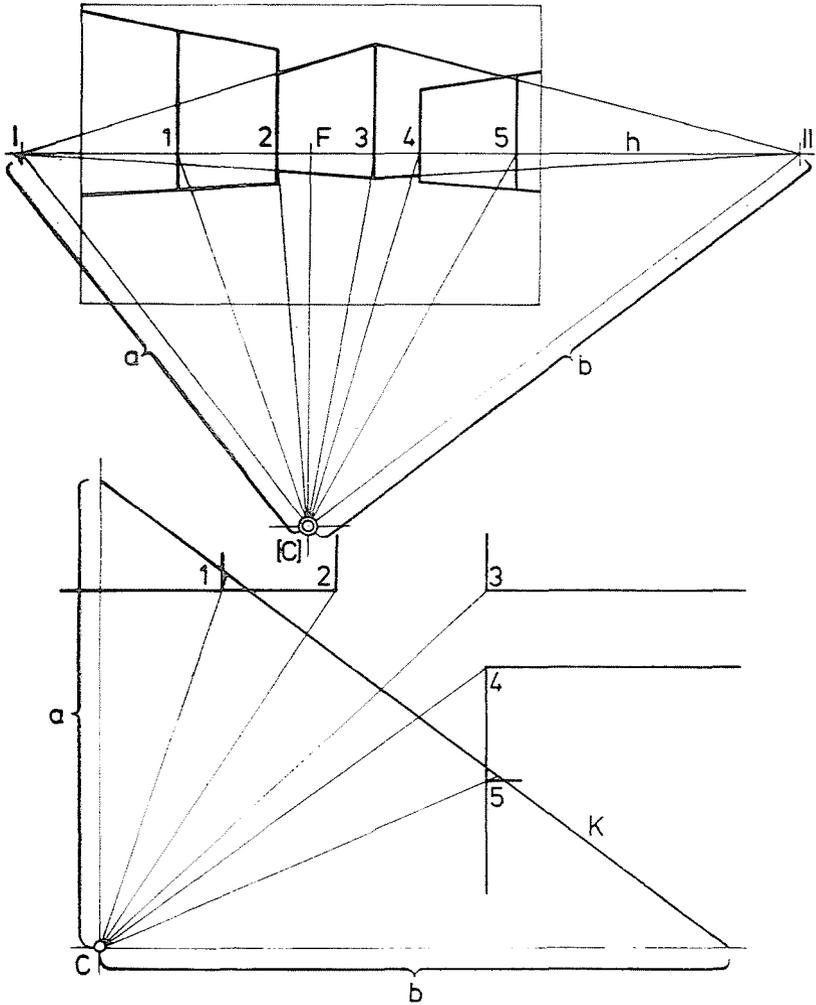


Abb. 8

Wirklichkeit gleicher Größe die Projektion C des Aufnahmezentrums auf der Karte bestimmt.

Zeichnen der Bildebene des Photos auf der Karte

In Kenntnis des Aufstellungspunktes für die Photoaufnahme und im Besitz eines Photos mit bekannten inneren Daten läßt sich auf der Karte die Bildebene des Photos leicht aufzeichnen. In Abb. 8 wird die Horizontebene — in der bei Abb. 1 bereits erörterten Weise — um h in die Bildebene gedreht. So kommt das Projektionszentrum in die Lage C. Diese mit den Richtpunkten

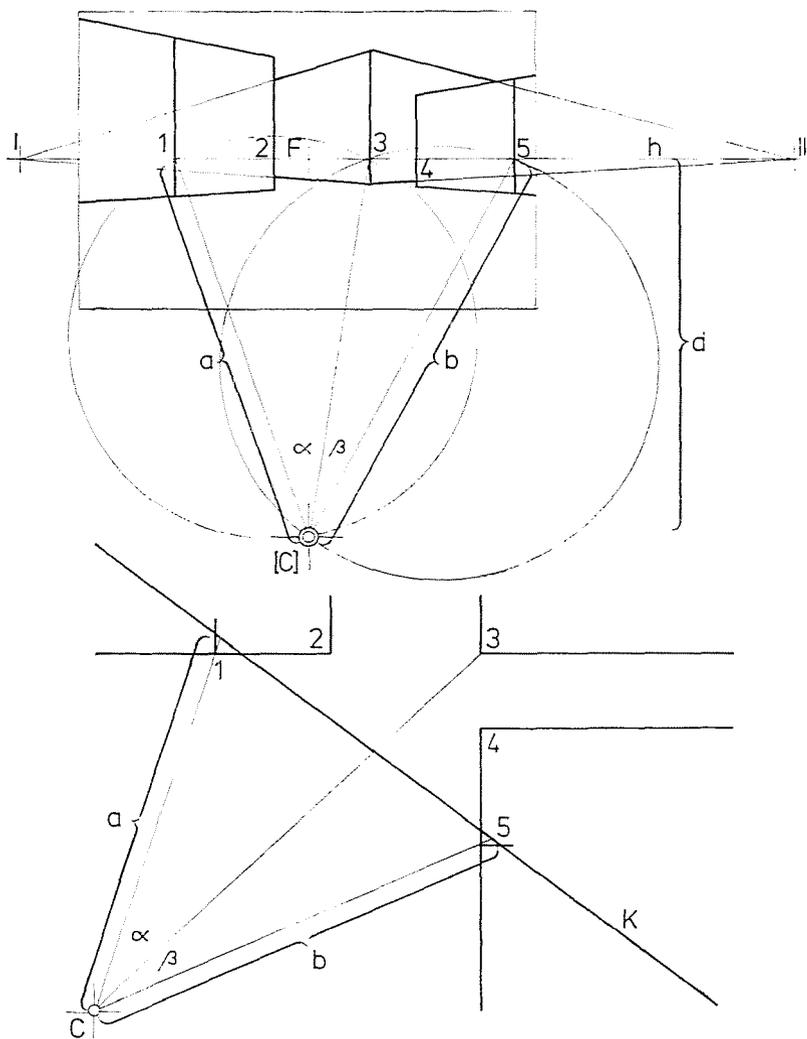


Abb. 9

I und II verbunden, erhält man ein rechtwinkliges Dreieck mit den Katheten der Längen a und b . Zeichnet man auf der Karte durch C die zu den Wandebenen der Gebäudeblöcke parallelen Richtlinien und mißt man auf diese sinngemäß die Entfernungen a und b auf, erhält man durch Verbindung der ermittelten Endpunkte die in der Geraden gesehene Projektion der Ebene des Photos.

In Abb. 9 ist die Projektion C des Aufnahmezentrums auf der Karte ebenfalls bekannt, die inneren Daten des Photos, der Hauptpunkt F und der Bildabstand d sind jedoch unbekannt. Dadurch gestaltet sich die Übertra-

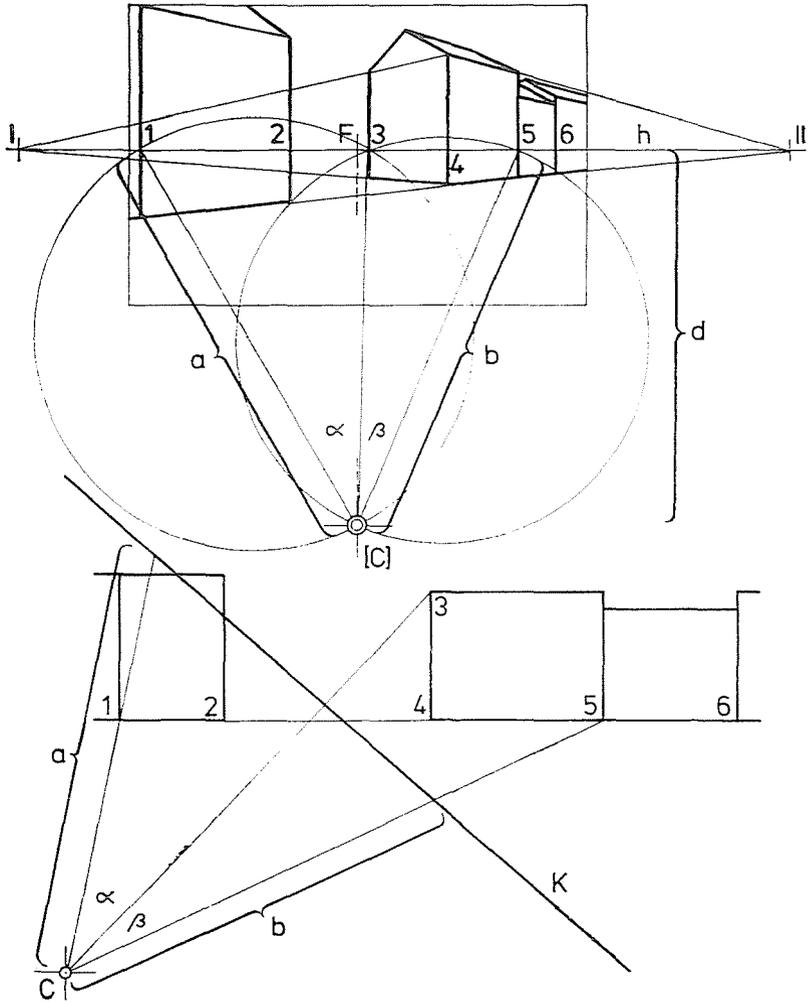


Abb. 10

gung der Ebene des Photos auf die Karte verwickelter. Hier werden zuerst auf der Karte drei beliebige Punkte — 0, 2, 3, — mit C verbunden, die paarweise die Winkel α und β bilden. Nun werden auf dem Photo nach Drehen der Horizontebene in die Bildebene auf den Verbindungsabschnitt der Punkte I und 3 mit dem Winkel α , auf den Abschnitt 35 mit dem Winkel β Gesichtskreise gezeichnet, die aufeinander das gedrehte Bild (C) des Projektionszentrums ausschneiden. Dessen vertikale Projektion in h ist der Hauptpunkt F und der Abschnitt $(C)F$ der Bildabstand d . In Kenntnis dieser Daten kann das bei Abb. 8 gezeigte Verfahren wiederholt werden. Um auch andere Möglichkeiten zu veranschaulichen, wurde hier die Projektion der Ebene der

Photographie auf der Karte durch Durchzeichnen des Dreiecks (C)15 dargestellt. Von dem Photo wurde die Entfernung (C)1 auf der Karte von C an auf den Projektionsstrahl des Punktes 1 aufgemessen, sodann der Abschnitt (C)5 des Photos von C aus auf der Karte auf den Projektionsstrahl des Punktes 5 durchkopiert. Durch Verbindung der so erhaltenen beiden Punkte ergibt sich die Projektion K der Ebene des Photos.

Abschließend wurde dieselbe zeichnerische Darstellung in Abb. 10 in der gleichen Weise wie vorher wiederholt.

Damit wurden alle für die einführend gestellten Aufgaben notwendigen graphischen Schritte dargestellt.

Zusammenfassung

In dem Beitrag wird eine Methode für den Fall gezeigt, wo das perspektive Bild eines geplanten Bauwerks in die vorhandene Photoaufnahme von dessen späterer Umgebung eingezeichnet werden soll. Es empfiehlt sich, dies besonders bei nachträglichen Einbauten in architektonische, vor allem historische Ensembles vorzunehmen, damit die Einpassung des geplanten Objekts in die vorhandene Umgebung vor der Durchführung des Bauvorhabens studiert werden könne.

In der Arbeit wird zuerst die Ermittlung des Aufnahmestandpunktes einer vorhandenen Photographie auf der Karte der Umgebung durch zeichnerische Herstellung der Sichtskreise gezeigt, sodann wird dieselbe Aufgabe mit Hilfe der Deckungsverhältnisse gelöst. Es wird auch die Ermittlung der inneren Daten der Photoaufnahme mit Hilfe der vorgenannten zeichnerischen Darstellungen beschrieben. Abschließend behandelt der Verfasser das Zeichnen der Projektion des Photos auf die Karte, mit deren Hilfe das perspektive Bild des vorgesehenen Bauwerkes in die Photoaufnahme übertragen werden kann.

Schrifttum

- ZIGÁNY, F.: Darstellende Geometrie.* Tankönyvkiadó, Budapest
 HORN, A.: Photogrammetrie. Ein Abschnitt im Buche von Hajnóczy, Gy.: Vermessung von Baudenkmalern.* Építőipari Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei (Wissenschaftliche Mitteilungen der TU für Bauwesen Budapest), Bd. 1, H. 6. 1956.
 KORIS, K.: Eindeutigkeitsproblem der photogrammetrischen gegenseitigen Orientierung*, ÉKME Tudományos Közleményei (Wissenschaftliche Mitteilungen der TU für Bau- und Verkehrswesen Budapest) Bd. 12, H. 1, 1966.
 HORN, A.: Konstruktive photogrammetrische Verfahren zur Rekonstruktion von Rotationsflächen. Periodica Polytechnica Arch. Bd. 13. (1969) H. 1—2.
 HORN, A.: Rekonstruktion eines Baudenkmals (Windmühle) durch photogrammetrische Konstruktion. Periodica Polytechnica, Arch. Bd. 21. (1977) H. 1—2.

Dr. ANTAL HORN, H-1521, Budapest

* In ungarischer Sprache.