

# Ein neues universelles Orthophotosystem

Autor(en): **Stewardson, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **72-F (1974)**

Heft 2

PDF erstellt am: **24.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-226698>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Ein neues universelles Orthophotosystem

Peter Stewardson

## Zusammenfassung

Es wird ein neues, sehr flexibles Orthophotosystem vorgestellt und über einige Details des instrumentellen Konzeptes berichtet. Das Grundprinzip erlaubt eine schnelle und genaue Umwandlung des perspektiven Luftbildes in ein Orthophoto, sowohl im On-line- als auch im Off-line-Verfahren. Der Off-line-Betrieb ist besonders zeitsparend und erfordert nur eine geringe Mehrinvestition.

Das Instrument gestattet die Verarbeitung von schwarzweißen oder farbigen Luftaufnahmen beliebiger Bildweiten. Von Positiven oder Negativen der Originalflugaufnahmen lassen sich Orthophotonegative oder -positive herstellen.

## Résumé

Un nouveau système orthophoto très flexible a été conçu et est décrit avec quelques détails. De par son principe de base, il permet une transformation rapide et précise de l'image perspective en orthophoto, soit en ligne soit en différé. L'opération en différé surtout est particulièrement rapide, avec peu d'investissement additionnel.

L'instrument accepte les prises de vues aériennes de toute focale, diapositifs ou négatifs, noir-et-blanc et couleur. En outre, on peut confectionner des orthophotos géométriques positives ou négatives à partir des originaux positifs et des négatifs.

## Einführung

Vor einiger Zeit wurde von der Firma Wild Heerbrugg AG die Entwicklung eines neuen universellen Orthophotosystems aufgenommen, welches die Nachteile der einfachen Differentialverzerrung ausschaltet. Bei den herkömmlichen On-line-Orthophotoinstrumenten treten bekanntlich an den Nahtstellen benachbarter Abtastprofile Klaffen, das heißt Bildpunktversetzungen, auf, wenn das Gelände rechtwinklig zur Abtastrichtung Neigungen aufweist.

Das neue Instrumentensystem erlaubt die vollständige Korrektur des Einflusses linearer Geländequerneigung innerhalb des Abtastprofils auch beim On-line-Betrieb. Lediglich Einflüsse zweiter Ordnung, wie eine Krümmung des Geländes im Abtastprofil quer zur Profilrichtung, verbleiben als Restfehler im Orthophoto. Zur Erzielung einer vorgegebenen Genauigkeit können daher größere Profilbreiten gewählt werden als bei anderen konventionellen Orthophotoinstrumenten mit einfacher Differentialverzerrung. Das Abtasten des Modells geht deshalb schneller vor sich, und das neue Orthophotosystem ist somit bedeutend wirtschaftlicher.

Für das neue Instrument war die Erfüllung folgender Bedingungen vorgegeben:

- Unabhängigkeit von der Bildweite der Luftaufnahmekammer für die Orthophotoherstellung
- Erstellung schwarzweißer und farbiger Orthophotos

- Anfertigung positiver und negativer Orthophotofilme ab negativen und positiven Flugaufnahmen
- Betrieb im On-line- und Off-line-Verfahren
- sehr hohe Abtastgeschwindigkeit bei der Orthophotoproduktion im Off-line-Betrieb, so daß eine Orthoprojektionseinheit von mehreren Auswertegeräten mit Daten beliefert werden kann
- Korrektur des Einflusses linearer Geländequerneigungen auch im On-line-Betrieb
- Adaptionmöglichkeit, wenigstens im Prinzip, an die verschiedensten Stereoauswertegeräte
- Arbeitskomfort und Wirtschaftlichkeit durch stufenlos regelbare Abtastgeschwindigkeit im Stereoauswertegerät
- Bedienung des Gerätes in Räumen mit normalen Lichtverhältnissen

## Grundprinzip

Die Abbildung 1 zeigt die perspektive Beziehung von Punkten im geometrischen Modell eines Stereoauswertegerätes und den entsprechenden Bildpunkten in einer der beiden sich überdeckenden Aufnahmen nach abgeschlossener gegenseitiger und absoluter Orientierung. Es werden zwei Koordinatensysteme eingeführt:  $X, Y, Z$  im Modellraum und  $x, y$  in der Bildebene der (geneigten) Flugaufnahme.

Vom Operateur werden im Stereoauswertegerät Profile  $P$  auf der Modelloberfläche  $M$  abgetastet. Diese Profillinien

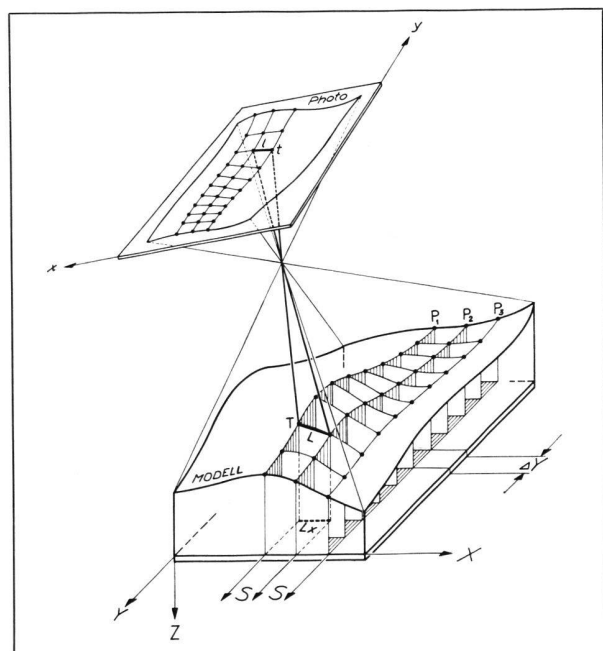


Abb. 1 Geometrisches Prinzip

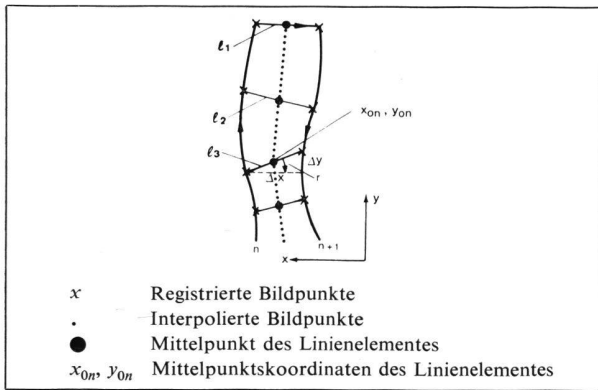


Abb. 2 Profillinien in der Flugaufnahme

sind so definiert, daß sie bei senkrechter Projektion in die  $XY$ -Ebene gerade Linien parallel zur  $Y$ -Achse ergeben und einen konstanten Abstand voneinander aufweisen. In gleichen Grundrißintervallen  $\Delta Y$  wird längs jedes Profiles eine automatische Registrierung der Bildkoordinaten  $x, y$  des Bildpunktes  $t$ , welcher dem Modellpunkt  $T$  entspricht, ausgelöst. Diese Bildkoordinaten  $x, y$  werden nacheinander in einem Digitalrechner gespeichert.

Betrachtet man nun den Modellpunkt  $T$  und seinen Nachbarpunkt (mit demselben  $Y$ ) im Folgeprofil, so ist leicht zu erkennen, daß die Raumgerade zwischen diesen beiden Punkten ein Linienelement definiert, welches sich der Modelloberfläche sehr eng anschmiegt. Die senkrechte Projektion des im Raum geneigten Linienelementes  $L$  in die  $XY$ -Ebene ist das Linienelement  $L_x$ , welches als eines der unendlich vielen Linienelemente zu betrachten ist, aus denen sich das Orthophoto zusammensetzt (in der Abb. 1 im selben Maßstab wie das Modell dargestellt). Alle orthogonal projizierten Linienelemente  $L_x$  liegen in  $X$ -Richtung. Sie sind gleich lang und haben einen konstanten Abstand  $\Delta Y$  voneinander.

Dem Linienelement  $L$  bzw.  $L_x$  entspricht in der Aufnahmelebene das Linienelement  $l$ . Die (Bild-)Koordinaten  $x, y$  seiner Endpunkte stehen im Digitalrechner gespeichert zur Verfügung. Die Abbildung 2 zeigt drei dieser Linienelemente, welche zwischen den Profillinien  $n$  und  $n+1$  in der Bildebene der Flugaufnahmen liegen.

Die folgenden Beziehungen sind aus Abbildung 2 sofort abzulesen:

$$x_{0n} = \frac{1}{2} (x_{n+1} + x_n) \quad \left. \begin{array}{l} \text{Mittelpunktskoordinaten} \\ \text{des Linienelementes } l \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$y_{0n} = \frac{1}{2} (y_{n+1} + y_n) \quad (2)$$

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n \quad \left. \begin{array}{l} xy\text{-Komponenten} \\ \text{des Linienelementes } l \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$\Delta y = y_{n+1} - y_n \quad (4)$$

$$s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad \text{Länge des Linienelementes } l \quad (5)$$

$$r = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{Rotationswinkel des Linienelementes } l \quad (6)$$

Wird nun dafür gesorgt, daß die Referenz- $x$ -Achse parallel zur  $X$ -Achse des Orthophotos steht, so stellt  $r$  in Abbildung 2 den Winkel dar, um welchen das Linienelement  $l_3$  zu drehen ist, um es parallel zur  $X$ -Richtung des Orthophotos zu stellen.

Außerdem besteht die einfache Beziehung zwischen der Länge  $s$  des Linienelementes  $l_3$  und der Länge des zugehörigen Linienelementes  $S$  im Orthophoto:

$$\text{Vergrößerung } V = \frac{aG}{s} = \frac{S}{s} \quad (7)$$

wobei

$a$  konstanter horizontaler Profilverabstand im Modell

$G$  Maßstabsfaktor Orthophoto:Modell

$S$  konstanter Profilverabstand im Orthophoto (= Step-Breite) sind.

Die Formeln (1) bis (4) sind in ihrer Einfachheit sehr geeignet für die Echtzeitrechnung in einem digitalen Computer. Aber auch die etwas aufwendigeren Formeln (5) bis (7) bereiten keine unüberwindlichen Schwierigkeiten für die Echtzeitrechnung.

Für die instrumentelle Realisation von Drehung und Maßstabsänderung eines Bildausschnittes bieten sich servogetriebene optische Elemente wie Doveprisma und Zoom-Optik an.

Ein Orthophoto setzt sich, wie erwähnt, aus unendlich vielen Linienelementen zusammen. Orientierung und Länge aller Linienelemente  $l$  ändern sich fortwährend als Funktion der Neigung der Flugaufnahme und der Geländeneigung zwischen Nachbarprofilen.

Im folgenden wird gezeigt, wie das oben beschriebene Prinzip praktisch angewandt wird.

### Stereoauswertegerät

Die Erläuterungen zur praktischen Verwirklichung des Prinzips beziehen sich in diesem Aufsatz auf die Wild Aviographen B8/B8S. Sie gelten unter gewissen Voraussetzungen jedoch auch für andere Typen von Stereoauswertegeräten.

Der B8-Lenkerfuß wird in  $Y$ -Richtung bewegt. Am Ende jedes Abtastprofils erfolgt automatisch ein Schritt in  $X$ -Richtung. Das Gerät ist dazu mit dem bereits bekannten Kreuzschlittensystem (Tri-Axis-Locator) versehen, welches zusätzlich motorgetriebene  $X$ - und  $Y$ -Spindeln erhält. Zur Freihandführung des Lenkerfußes lassen sich die Spindeln abkoppeln. Der  $Y$ -Motor ist an der Rückseite des Instrumentes montiert, der  $X$ -Motor auf dem Tri-Axis-Locator angebracht. Ein Schalthebel links vom Modellraum gestattet dem Operateur, die Fahrgeschwindigkeit beim Profilieren in einem großen Bereich stufenlos und bequem zu regeln. Rechts vom Modellraum befindet sich ein kleines zusätzliches Handrad zur elektrischen Höhenverstellung während des Abtastens des Modells. Ein Servomotor, der sich für die Durchführung von Kartierungsarbeiten abkoppeln läßt, dient zur Verstellung der  $Z$ -Säule.

Der unter dem linken Kammerkörper aller B8/B8S-Geräte bereits serienmäßig eingebaute rechtwinklige Kreuzschlitten bildet die Basis für das Bildkoordinatensystem  $x, y$ . Elektro-optische Inkrementalgeber werden dort für den Abgriff von  $x$  und  $y$  montiert und die Bildkoordinaten an einem kleinen Anzeigegerät sichtbar gemacht. Diese Bildkoordinatenanzeige wird für die spätere Orientierung des Duplikates der linken Aufnahme in der separaten Orthoprojektionseinheit benötigt.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Projektionen  $L_x$  der Linienelemente  $L$  in der  $XY$ -Ebene in  $X$ -Richtung liegen und dort in  $Y$ -Richtung gleichen Abstand voneinander aufweisen. Diese Voraussetzungen haben zwei Konsequenzen. Erstens müssen die Befehle zur Registrierung der Bildkoordinaten  $x, y$  in konstanten Intervallen  $\Delta Y$  im Modell ausgelöst werden. Zum zweiten ist es erforderlich, daß die  $Y$ -Koordinaten am Anfang (und analog am Ende) jedes Profils identisch sein müssen. Gewöhnliche Endschalter gewährleisten die Festlegung der Koordinaten der Profilanfangs- und -endpunkte nicht mit der notwendigen Genauigkeit. Daher wurde ein digitales Adressierungssystem für die Auslösung der Registrierungen gewählt. Die Profillänge wird in Millimetern im Orthophoto ausgedrückt und an einem dreiziffrigen Dekadenschalter eingestellt. Das eine Ende aller Abtastprofile legt der Operateur als Startpunkt im Modell fest. Das Grundintervall für alle Registrierungen der Bildkoordinaten  $x, y$  beträgt  $\Delta Y = 1$  mm im Orthophoto. Es ist deshalb an der  $Y$ -Spindel ein Inkremental-Drehgeber angebracht, welcher eine Doppelfunktion hat. Beim On-line-Betrieb synchronisiert er den Vorschub des Orthophotofilmes (in der Projektionseinheit) mit der Bewegung im stereoskopischen Modell (und damit in der Flugaufnahme). Sowohl im On-line- als auch im Off-line-Betrieb werden außerdem von dem Geber die Signale für die automatische Auslösung der Registrierung der Bildkoordinaten erzeugt. Ein Maßstabsunterschied zwischen Modell und Orthophoto wird durch ein elektronisches «Getriebe» berücksichtigt, welches jedes Verhältnis  $b/c$  einzuführen gestattet. Die Größen  $b$  und  $c$  sind ganze Zahlen. Sie können im Bereich von 1 bis 16 variiert werden. Es ist an dieser Stelle zu bemerken, daß die  $xy$ -Bildkoordinatenregistrierungen völlig unabhängig von anderen Datenaufnahmegaräten sind. Auf Wunsch können ein Koordinaten-Registriersystem EK 8 oder das neue Datenerfassungssystem

EK 22 angeschlossen werden, wenn beim Profilieren gleichzeitig auch Modellkoordinaten für andere Zwecke mit erfaßt werden sollen.

Die Profillänge ist wählbar zwischen 2 mm und 16 mm in Stufen von 1 mm, wobei diese Werte auf das Orthophoto bezogen sind. Die Maßstabsdifferenz zwischen Modell und Orthophoto wird wie bei der  $Y$ -Bewegung mittels des elektronischen «Getriebes» berücksichtigt.

### Orthophotoinstrument

Das Orthophotoinstrument ist ein separates, unabhängiges Gerät, das beim On-line-Betrieb in einem arbeitstechnisch bequemen Abstand vom Stereoauswertegerät aufgestellt werden kann. Für Off-line-Betrieb bestehen keinerlei Beschränkungen bezüglich der Platzierung des Orthophotoinstrumentes. Es kann bei normalen Raumlichtverhältnissen gearbeitet werden. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den Prototyp des Gerätes.

Die Hauptbestandteile des Instrumentes sind:

- Bildwagen und Beleuchtungssystem
- Optisches System
- Trommel für den Orthophotofilm
- Digitalrechner
- Servosysteme und Elektronik

### Bildwagen und Beleuchtungssystem

Das Duplikat der Flugaufnahme wird im Bildwagen in  $x$ - und  $y$ -Richtung durch Digitalservos verschoben, welche vom Digitalrechner entsprechend den Formeln (1) und (2) gesteuert werden. Die  $x$ -Achse ist genau parallel zur  $X$ -Achse der Orthophotofilmtrommel (axiale Verschiebung). Das Duplikatphoto läßt sich im Bildwagen um  $\approx$  kanten.

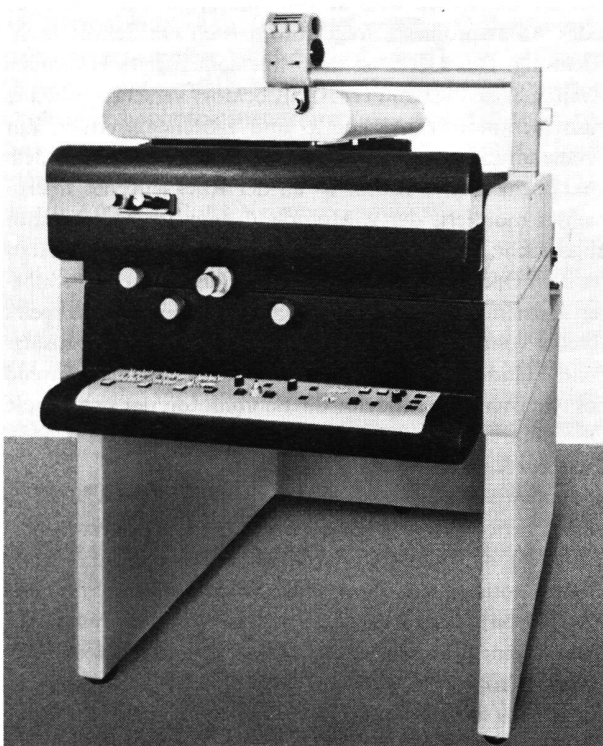


Abb. 3 Orthophoto-Projektionseinheit

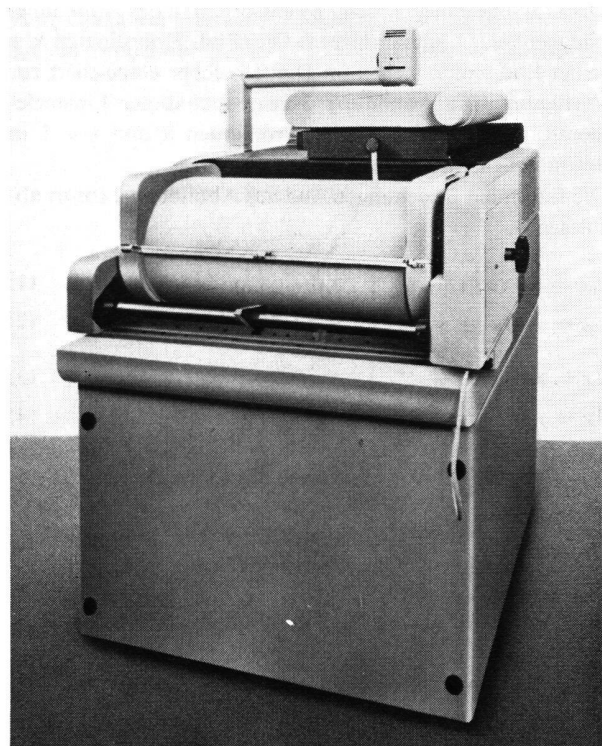


Abb. 4 Orthophoto-Projektionseinheit, Rückseite

Damit kann ihm im  $xy$ -System der Orthophotoprojektions-einheit dieselbe azimutale Orientierung gegeben werden, welche die Originalaufnahme im  $xy$ -Bildkoordinatensystem des Auswertegerätes hat bzw. hatte.

Als Lichtquelle findet eine Halogenlampe Verwendung. Die Beleuchtung hat eine feste Lage zum optischen System.

### *Optisches System*

Die wesentlichen Bestandteile des optischen Systems sind, abgesehen von Übertragungsgliedern, die Zoom-Optik, das Dove-Prisma, der Graukeil und die Schlitzmaske.

Die Zoom-Optik besteht effektiv aus zwei hintereinander angeordneten Zoom-Systemen. Das erste wird mit «Grund»-Zoom bezeichnet. Seine Betätigung erfolgt von Hand durch den Operateur zur Einstellung des nominellen Vergrößerungsverhältnisses zwischen Flugaufnahme und Orthophoto. Das zweite System ist der «Differential»-Zoom, dessen Steuerung der Digitalrechner besorgt. Der Zoom-Servomotor erhält über einen Digital-Analog-Konverter die Lösung der Formel (7) als Eingabe. Die Profildicke im Orthophoto wird vom Operateur am Steuerpult vorgewählt. Beide Zoom-Systeme sind elektronisch gekuppelt, so daß die Totalvergrößerung auf dem Orthophoto stets dem erforderlichen Wert entspricht.

Das Dove-Prisma wird ebenfalls von einem Servomotor angetrieben. Die digitale Lösung der Formel (6) wird dem Servomotor auch über einen Digital-Analog-Konverter zugeführt.

Der Antrieb des stufenlosen Graukeiles erfolgt durch einen Servomotor in Funktion der Abtastgeschwindigkeit. Die Stellung des Graukeiles und damit die ihn durchdringende Lichtmenge wird fortlaufend automatisch so reguliert, daß die Belichtung auf dem Orthophotofilm konstant bleibt. Diese Korrektur ist für den On-line-Betrieb notwendig, um den Einfluß der variablen Abtastgeschwindigkeit zu kompensieren. Die regelbare Fahrgeschwindigkeit ist sehr vorteilhaft, denn sie erhöht nicht nur den Bedienungskomfort für den Operateur, sondern trägt auch wesentlich zur Steigerung der Orthophotoproduktion bei. Für den Off-line-Betrieb ist die automatische Beleuchtungsregelung ebenfalls notwendig. Zwar ist dann die Fahrgeschwindigkeit im Orthophotoinstrument konstant, doch machen die Beschleunigung und die Verzögerung jeweils am Anfang und am Ende eines Profils die Funktion des Graukeiles erforderlich.

Der Graukeil wird außerdem mit zur Einstellung der Grundbelichtung für die jeweilige Kombination von Flugaufnahme und verwendetem Orthophotofilm benutzt. Zu diesem Zweck ist im optischen System ein Belichtungsmesser eingebaut.

Der auf den Orthophotofilm zu übertragende Bildausschnitt wird nach Drehung und Maßstabsänderung durch einen sehr schmalen Schlitz projiziert, welcher in  $X$ -Richtung liegt. Die Schlitzmasken sind auswechselbar. Es können Schlitzlängen zwischen 2 mm und 16 mm gewählt werden. Die sehr geringe Schlitzweite von nur 0,1 mm für Schwarzweißfilm sichert eine hohe Auflösung im Orthophoto. Die Maske liegt unmittelbar vor dem Orthophotofilm.

Im optischen System ist ferner ein Paar Wechselprismen enthalten. Die Umschaltung erlaubt die freie Wahl aller mög-

lichen geometrischen Kombinationen für das Orthophoto. So können seitenrichtige oder seitenverkehrte Diapositive zu seitenrichtigen oder seitenverkehrten photographischen Orthophotonegativen verarbeitet werden. Umgekehrt ist auch die Erstellung von Orthophotodiapositiven ab Negativen von Flugaufnahmen in allen geometrischen Kombinationen möglich.

Schließlich befindet sich ein Strahlenteiler im optischen Strahlengang, welcher einen Bildausschnitt des eingelegten Flugphotos zu den Binokularen an der Vorderseite des Instrumentes leitet. Dieser Teil des optischen Systems, der auch eine Leuchtmeßmarke enthält, wird vom Operateur zur Orientierung der Luftaufnahme im  $xy$ -System benutzt. Es ist diese Orientierung, welche zusammen mit der Parallelität von  $x$ - und  $X$ -Achse im Orthophotoinstrument sicherstellt, daß das Linienelement  $l$  der Flugaufnahme die richtige Rotation  $r$  erfährt.

### *Filmtrommel*

Der Orthophotofilm wird auf einer zylindrischen Trommel befestigt, welche in einem lichtdichten Gehäuse an der Rückseite des Gerätes untergebracht ist. Das Laden und Entladen des abnehmbaren und transportablen Magazins sind die einzigen Operationen, die in einer Dunkelkammer ausgeführt werden müssen. Das maximale Filmformat beträgt 970 mm  $\times$  780 mm, wovon die Fläche 900 mm  $\times$  750 mm für das Orthophoto ausnutzbar ist.

Die Drehung der Trommel entspricht der Abtastbewegung in  $Y$ -Richtung, die axiale Verschiebung dem Profilschritt in  $X$ -Richtung.

### *Digitalrechner*

Es wird ein Nova-Prozeßrechner mit einer Speicherkapazität von 8K (16 bit) für die notwendigen Rechnungen verwendet.

### *Servosysteme und Elektronik*

Alle Abtast- und Profilschrittservos sind Digital-Servos. Die Servos für Zoom, Dove-Prisma und Graukeil sind dagegen Analog-Servos wie übrigens auch der Z-Servo am B8/B8S. Die meisten elektronischen Schaltkreise und Elemente sowie der Prozeßrechner sind in einer separaten Konsole untergebracht, welche neben dem Gerät aufgestellt wird. Am Orthophotoinstrument selbst befindet sich ein Schaltpult. Außerdem gehört zum Stereoauswertegerät ein kleiner Elektronikschrank.

## **Bedienung des Instrumentes**

### *Orientierung der Duplikataufnahme*

Nach abgeschlossener gegenseitiger und absoluter Modellorientierung im Stereoauswertegerät setzt der Operateur die Meßmarke im linken Bild monokular auf drei gut verteilte und leicht identifizierbare Bildpunkte und notiert ihre angezeigten Bildkoordinaten sowie die Kantung  $\alpha$  der linken Aufnahme.

Dieser  $\alpha$ -Wert wird dann am Bildträger des Orthophotoinstrumentes, in welchem das Duplikatphoto liegt, eingeführt. Die drei Bildkoordinatenpaare werden am Schaltpult

der Orthophotoprojektionseinheit eingestellt. Auf einen Knopfdruck fährt der Bildwagen automatisch jeweils in die durch die vorgewählten Bildkoordinaten festgelegte Position. Der Operateur prüft durch binokulare Betrachtung, ob die Leuchtmessmarke auf dem gewählten Bildpunkt steht. Bei Abweichungen, die meistens nur sehr klein sind, können Kantungs-Korrekturen manuell und Translationen des  $xy$ -Koordinatensystems elektronisch angebracht werden, bis die Messmarke präzise auf den Bildpunkten zentriert ist. Für diese Orientierung sind im Prinzip nur zwei Bildpunkte erforderlich. Der dritte Punkt dient zur Kontrolle der Orientierungsgenauigkeit. Die ganze Operation beansprucht nur wenige Minuten.

### On-line-Betrieb

Nach der Orientierung des Duplikatphotos beginnt der Operateur mit dem Profilieren des stereoskopischen Modells im Auswertegerät.

Die erste automatische Registrierung der Bildkoordinaten  $x, y$  wird am Profilanfang sofort ausgelöst und dem Prozeßrechner zugeführt. Der Computer übermittelt dem Bildwagensystem des Orthophotoinstrumentes ein Signal und führt das Duplikat der Flugaufnahme auf den entsprechenden Bildpunkt, allerdings ohne eine Belichtung des Orthophotofilmes auszulösen. Das Duplikatphoto verbleibt bis auf weiteres an diesem Punkt.

In Intervallen im Modell, welche einer Grundrißdistanz von  $\Delta Y = 1$  mm im Orthophoto entsprechen, werden nun automatisch weitere Bildkoordinatenregistrierungen ausgelöst und nacheinander im Prozeßrechner gespeichert. Am ersten Profilende, das durch die vorher eingestellte, auf das Orthophoto bezogene Profillänge definiert ist, wird die Bewegung gestoppt, der Profilschritt in  $X$ -Richtung ausgeführt und das Profilieren beginnt erneut in entgegengesetzter  $Y$ -Richtung. Die Bildkoordinaten des zweiten Profils werden wiederum dem Rechner zugeführt und sequentiell gespeichert.

Sobald das Abfahren des dritten Profils im Modell beginnt, wird der Bildwagen mit dem Duplikatphoto automatisch auf den Mittelpunkt des ersten Linienelementes verschoben, der Verschuß im optischen System der Projektionseinheit öffnet sich, und die Orthophotoprojektion wird eingeleitet. Die Abbildung 2 zeigt die Reihenfolge der Vorgänge. Für  $n = 1$  berechnet der Computer die folgenden Ausdrücke:

$$\left. \begin{aligned} x_{01}^{(1)} &= \frac{1}{2} (x_2^{(1)} + x_1^{(1)}) \\ y_{01}^{(1)} &= \frac{1}{2} (y_2^{(1)} + y_1^{(1)}) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Mittelpunktkoordinaten des} \\ \text{Linienelementes } l_1 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} x_{01}^{(2)} &= \frac{1}{2} (x_2^{(2)} + x_1^{(2)}) \\ y_{01}^{(2)} &= \frac{1}{2} (y_2^{(2)} + y_1^{(2)}) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Mittelpunktkoordinaten des} \\ \text{Linienelementes } l_2 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x^{(1)} &= x_2^{(1)} - x_1^{(1)} \\ \Delta y^{(1)} &= y_2^{(1)} - y_1^{(1)} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} x, y\text{-Komponenten des} \\ \text{Linienelementes } l_1 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x^{(2)} &= x_2^{(2)} - x_1^{(2)} \\ \Delta y^{(2)} &= y_2^{(2)} - y_1^{(2)} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} x, y\text{-Komponenten des} \\ \text{Linienelementes } l_2 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} r^{(1)} &= \arctan \frac{\Delta y^{(1)}}{\Delta x^{(1)}} \\ V^{(1)} &= S / \sqrt{\Delta x^{(1)2} + \Delta y^{(1)2}} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Rotation und Vergrößerung} \\ \text{des Linienelementes } l_1 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} r^{(2)} &= \arctan \frac{\Delta y^{(2)}}{\Delta x^{(2)}} \\ V^{(2)} &= S / \sqrt{\Delta x^{(2)2} + \Delta y^{(2)2}} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Rotation und Vergrößerung} \\ \text{des Linienelementes } l_2 \end{array}$$

Die in Klammern geschriebenen Exponenten bezeichnen die Nummer des Linienelementes, die Indizes die Nummer des Profils.

Der Computer berechnet nun in Schleifen 99 linear interpolierte Werte für  $x_{01}, y_{01}, r$  und  $V$  zwischen den Größen  $x_{01}^{(1)}, x_{01}^{(2)}; y_{01}^{(1)}, y_{01}^{(2)}; r^{(1)}, r^{(2)}; V^{(1)}$  und  $V^{(2)}$ .

Diese berechneten und interpolierten Werte werden den  $x$ - und  $y$ -Servos zugeführt, welche den Bildwagen im Orthophotoinstrument entsprechend verschieben. Dies bedeutet, daß das Duplikatphoto stets auf der Mittellinie zwischen den benachbarten Profillinien geführt wird. Das Abfahren des ersten Orthophotoprofiles fällt zeitlich mit dem Abtasten des dritten Modellprofils zusammen.

Die berechneten und interpolierten Werte  $r$  und  $V$  werden den Servomotoren des Dove-Prismas und des Zoom über einen Digital-Analog-Konverter zugeleitet.

Die Synchronisation der Bewegungen von Filmtrommel, Bildwagen, Dove-Prisma und Zoom-System ist durch einen am Filmtrommelantrieb befestigten Inkrementalgeber gewährleistet, welcher 100 Synchronisierungsimpulse pro 1 mm  $Y$ -Bewegung des Orthophotos erzeugt. Diese Impulse passieren den Prozeßrechner, der die gerechneten Werte nur nach Empfang eines Synchronisierungsimpulses abgibt. Beim On-line-Betrieb ist die Filmtrommel ihrerseits als nachgeordnete Vorrichtung durch den am Stereoauswertegerät angebrachten  $Y$ -Inkrementalgeber synchronisiert, welcher mit der Orthoprojektionseinheit elektrisch verbunden ist.

Sobald beim Profilieren der Mittelpunkt des Linienelementes  $l_2$  erreicht ist, wiederholt sich der oben beschriebene Vorgang einschließlich Interpolation für die Linienelemente  $l_2$  und  $l_3$  und so fort bis zum Profilende. Ebenso werden die  $x, y$ -Koordinaten des Profils Nr. 1, wenn sie nicht mehr benötigt werden, durch jene des Profils Nr. 3 ersetzt. Auf diese Weise müssen immer  $x, y$ -Koordinaten von nur zwei Profilen gespeichert werden. Die 8K-Speicherkapazität ist mehr als ausreichend für zwei Profile von 900 mm Länge, für das Kontrollprogramm sowie für zusätzliche Instrumenten- und Systemtestprogramme.

### Off-line-Betrieb

Der wesentliche Unterschied zwischen der On- und Off-line-Operation des Systems besteht beim Off-line-Betrieb darin, daß jegliche elektrische Verbindung vom Auswertegerät zum Orthophotoinstrument fehlt.

Die automatisch registrierten Bildkoordinaten werden auf Band mittels eines Doppelspeicher-Magnetbandgerätes aufgezeichnet, welches im Elektronikschrank beim Auswertegerät untergebracht ist.

Zum Orthophotoinstrument wird ein Magnetbandlesegerät benötigt. Es hat seinen Platz in der Elektronikkonsole und ist mit dem Prozeßrechner verbunden.

Somit sind die zusätzlichen Kosten für Off-line-Betrieb beschränkt auf je ein Magnetbandgerät pro Stereoauswerte-

gerät und auf ein Magnetbandlesegerät zum Orthophotoinstrument.

Beim Off-line-Verfahren ist die Abtastgeschwindigkeit in der Projektionseinheit konstant. Sie beträgt 30 mm/s im Orthophoto und ermöglicht damit eine sehr große Produktionsrate ohne Einbuße an Genauigkeit oder optisch-photographischer Qualität.

Einen Anhalt mögen die folgenden Daten von einem kürzlich durchgeführten, repräsentativen Test vermitteln:

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Maßstab der Flugaufnahme (Diapositiv) | 1:30000 |
| Modellmaßstab (B8)                    | 1:15000 |
| Orthophotomaßstab (Negativ)           | 1:10000 |
| Länge der Schlitzmaske                | 8 mm    |
| Profillänge im Orthophoto             | 660 mm  |
| Anzahl der Abtastprofile              | 43      |
| Profilierzeit im Stereomodell         | 2 h     |
| Orthoprojektion, off-line             | 17 min  |

Die Flugaufnahmen waren mit der Universalkammer RC10 mit Überweitwinkelobjektiv 8,8SAGII im Gebiet von Bühler AR erstellt worden. Die Geländehöhenunterschiede betragen etwa 12% der Flughöhe.

#### Technische Daten

|  |         |
|--|---------|
| Größte Fahrgeschwindigkeit im Orthophoto | 30 mm/s |
|--|---------|

|  |                 |
|--|-----------------|
| Größte Fahrgeschwindigkeit im Modell     | 15 mm/s         |
| Kleinste Fahrgeschwindigkeit im Modell   | 1 mm/s          |
| Feste Vergrößerung des optischen Systems | 2 ×             |
| Vergrößerung des Grund-Zoom              | 0,333–3 ×       |
| Vergrößerung des Differential-Zoom       | 0,40–2,5 ×      |
| Maximaler Zoom-Faktor                    | 56,25           |
| Maximale optische Gesamtvergrößerung     | 15 ×            |
| Minimale optische Gesamtvergrößerung     | 0,27 ×          |
| Größte Bilddrehung                       | ± 85°           |
| Größtes Orthophoto-Filmformat            | 970 mm × 780 mm |
| Größtes Orthophotoformat                 | 900 mm × 750 mm |
| Länge der Schlitzmasken                  | 2–16 mm         |
| Schlitzweite für schwarzweiß             | 0,1 mm          |
| Schlitzweite für Color                   | 0,3 mm          |

Das beschriebene Orthophotosystem setzt neue Maßstäbe für die Orthophototechnik. Schnelligkeit, Genauigkeit, Flexibilität, Wirtschaftlichkeit und hohe photographische Qualität der mit ihm erzeugten Orthophotos sind die charakteristischen Merkmale des Systems, dessen Prototyp derzeit intensiven Prüfungen unterzogen wird.

## Numerische Orientierung von Stereomodellen mittels Tischcomputern

G. Schölin und P. Vetterli

### Zusammenfassung

Dank ihrer hohen Leistungsfähigkeit lassen sich moderne Tischcomputer auf allgemeine numerische Orientierungsmethoden programmieren. Im folgenden Artikel werden die Grundlagen für ein Rechenprogramm beschrieben, das beliebige Modellformen akzeptiert und das sich auch in der Praxis bewährt hat.

### Résumé

Nous donnons une description des bases théoriques d'un programme dont le but est le traitement numérique du problème de l'orientation sur un ordinateur de table. Aucune restriction n'est faite quant à la forme du modèle plastique. Son application pratique a donné entière satisfaction.

Die numerische Lösung der Orientierung – der Hauptaufgabe der Photogrammetrie – ist längst bekannt, abgesehen von gewissen Verfeinerungen. Trotz den vielen unbestrittenen Vorteilen hat sich die numerische Methode in der Aus-

wertepaxis aber nicht durchsetzen können, was wohl mit den damit verbundenen Rechenproblemen zusammenhängt. Für einen erfolgreichen Einsatz der Methode muß nicht nur die notwendige Rechenkapazität vorhanden sein, sondern der Operateur muß rasch und jederzeit darüber verfügen können. Darum hat auch der Normalcomputer die Einführung numerischer Methoden in der täglichen Auswertepaxis nicht sonderlich gefördert, weil der rasche Zugriff in den seltensten Fällen gesichert war.

Seit kurzem hat sich diese Situation grundlegend geändert. Mit dem modernen Tischcomputer steht erstmals ein handliches Instrument zur Verfügung, das sich auf allgemeine numerische Orientierungsmethoden programmieren läßt. Dank seinen relativ niedrigen Anschaffungs- und Betriebskosten kann der Tischcomputer heute als reines Peripheriegerät des Autographen eingesetzt werden, was seine Ver-