

fahren heißt deshalb auch Raumbildmessung oder Stereophotogrammetrie<sup>1</sup>.

Das Einbildverfahren gestattet nur punktweise Auswertung eines Bildpaares; beim Zweibildverfahren kann man bei Verwendung eines passenden Instruments die Auswertung eines Bildpaares auch linienweise durchführen; nachdem heute verschiedene erprobte Instrumente hierfür hergestellt werden, wird das Einbildverfahren nur noch ganz ausnahmsweise angewendet.

Bei jedem mit einer Meßkammer aufgenommenen Meßbild spricht man von seiner inneren Orientierung und von seiner äußeren Orientierung. Die innere Orientierung ist bekannt, wenn die Lage des hinteren Objektivhauptpunktes zur Bildebene, also z. B. der Hauptpunkt des Bildes und die Bildweite gegeben sind. Als äußere Orientierung bezeichnet man die räumliche Lage des Objektivhauptpunktes, der Kammerachse und der durch die beiden Markenpaare des Bildes bestimmten Bildachsen im Augenblick der Aufnahme.

## 2. Erdphotogrammetrie.

Bei der Erdphotogrammetrie besteht die Festlegung eines Punktes  $P$  (Abb. 79) darin, daß man in zwei ihrer Lage nach bekannten, in beliebigen Höhen liegenden Punkten  $S_1$  und  $S_2$  die Meßbilder  $B_1$  und  $B_2$

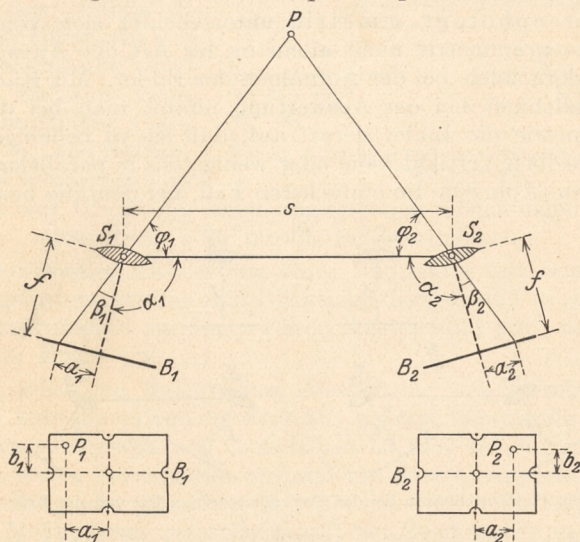


Abb. 79. Grundgedanke der Erdphotogrammetrie.

aufnimmt; dabei sorgt man mit Rücksicht auf eine einfache Auswertung der Bilder dafür, daß während der Aufnahme der Bilder die Bildebenen vertikal, die Kammerachse also horizontal und die durch die Bildmarken bestimmten Bildachsen horizontal bzw. vertikal liegen. Mißt

<sup>1</sup> Da bei einer gewissen Art der Auswertung „Parallaxen“ gemessen werden, so wurde das Verfahren auch schon als Parallaxenphotogrammetrie bezeichnet.

man bei der Aufnahme der Bilder die Horizontalwinkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  zwischen der Standlinie  $S_1S_2$  und der horizontalen Kammerachse und bestimmt man die Winkel  $\beta_1$  und  $\beta_2$  auf Grund der Bilder, so erhält man die Winkel  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  aus  $\varphi_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1)$  und  $\varphi_2 = 180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2)$ . Mit  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  kann man die Lage von  $P$  nach dem Einschneideverfahren ermitteln. Die Winkel  $\beta_1$  und  $\beta_2$  erhält man nach Abmessen der horizontalen Abstände  $a_1$  und  $a_2$  in den Bildern<sup>1</sup> auf Grund der bekannten Bildweite  $f$  aus  $\text{tg } \beta_1 = \frac{a_1}{f}$  und  $\text{tg } \beta_2 = \frac{a_2}{f}$ . Mißt man in den Bildern auch die vertikalen Abstände  $b_1$  und  $b_2$  der Bildpunkte  $P_1$  und  $P_2$  von den Bildhorizontalen, so kann man die Höhenunterschiede  $h_1$  und  $h_2$  zwischen  $P$  und  $S_1$  bzw.  $S_2$  berechnen aus

$$h_1 = b_1 \frac{S_1 P}{f / \cos \beta_1} \quad \text{und} \quad h_2 = b_2 \frac{S_2 P}{f / \cos \beta_2};$$

dabei erhält man  $S_1P$  und  $S_2P$  mit Hilfe von  $S_1S_2 = s$  aus

$$S_1P = s \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \quad \text{und} \quad S_2P = s \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}.$$

Sind demnach die N. N.-Höhen des Objektivhauptpunktes in  $S_1$  und  $S_2$  bei der Aufnahme der Bilder bekannt, so kann man die N. N.-Höhe von  $P$  doppelt berechnen.

Die Stereophotogrammetrie unterscheidet sich von der Einschneidephotogrammetrie nicht allein in der Art der Auswertung der Bilder, sondern auch bei der Aufnahme der Bilder. Mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit bei der Auswertung nimmt man bei der Stereophotogrammetrie die Bilder derart auf, daß sie in beliebigen Höhen, aber in derselben Vertikalebene oder wenigstens in parallelen Vertikal Ebenen liegen (Abb. 80). Im einfachsten Fall, bei dem die beiden Bilder

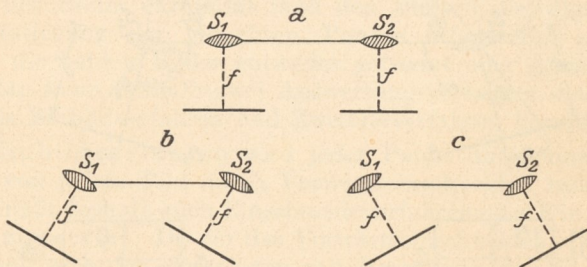


Abb. 80. Plattenstellungen bei der Stereophotogrammetrie von der Erde aus.

bei der Aufnahme in derselben Vertikalebene liegen (Abb. 80a), erhält man die Lage eines Punktes  $P$  (Abb. 81) mit Hilfe des als Parallaxe bezeichneten Unterschiedes  $p$  der beiden Abstände  $a_1$  und  $a_2$  von den Bildvertikalen. Ist  $s$  die Länge der Standlinie  $S_1S_2$ ,  $f$  die Bildweite und  $b_1$  der Abstand des Bildes  $P_1$  von  $P$  von der Bildhorizontalen im linken Bilde, so erhält man die Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  von  $P$  in bezug auf

<sup>1</sup> Alle Abmessungen in den Bildern werden am besten an Hand der bei der Aufnahme hergestellten Negativplatten ausgeführt.

die Standlinie  $S_1S_2$  und den Punkt  $S_1$  aus den einfach abzulesenden Gleichungen

$$x = \frac{sa_1}{p}, \quad y = \frac{sf}{p}, \quad z = \frac{sb_1}{p}.$$

Ist demnach vom linken Standpunkt  $S_1$  die Lage und die N. N.-Höhe und vom rechten Standpunkt  $S_2$  die Lage des Objektivhauptpunktes während der Aufnahme bekannt, so kann man einen Punkt  $P$  nach Lage und Höhe festlegen.

Die Auswertung oder Ausmessung des Bildpaares, bestehend in der Messung von  $a_1$ ,  $b_1$  und  $p$ , geschieht mit Hilfe des Stereokomparators;  $a_1$  und  $b_1$  kann man dabei unmittelbar bestimmen auf Grund des im linken Standpunkt  $S_1$  aufgenommenen Bildes. Die Parallaxe  $p$  erhält man mit Hilfe des bei zweiäugiger Betrachtung beider Bilder entstehenden stereoskopischen Bildes, in dem

man eine räumlich gesehene und räumlich bewegbare Marke durch entsprechendes Drehen einer Schraube räumlich auf den festzulegenden Punkt  $P$  einstellt; an einem mit der „Parallaxenschraube“ verbundenen Maßstab kann dann  $p$  unmittelbar abgelesen werden. Die Bestimmung der Koordinaten von

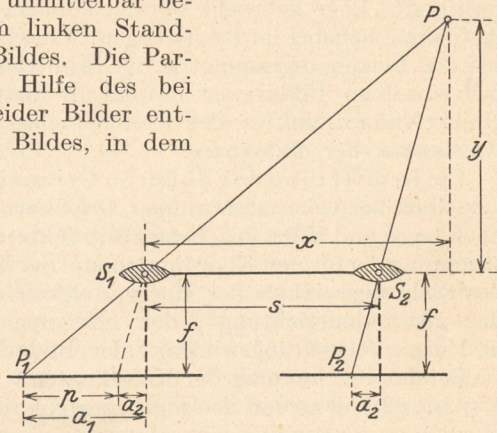


Abb. 81. Einfachster Fall der Stereophotogrammetrie von der Erde aus.

$x$ ,  $y$  und  $z$  auf Grund der oben angegebenen Gleichungen kann man rechnerisch, zeichnerisch oder mechanisch vornehmen.

Diese punktweise Auswertung eines Bildpaares mit Benutzung des Stereokomparators kommt mit Rücksicht darauf, daß es verschiedene erprobte Instrumente zur linienweisen Auswertung gibt, nur noch gelegentlich in Frage.

Das zunächst zur linienweisen Auswertung von stereophotogrammetrischen Aufnahmen von der Erde aus in Frage kommende Instrument ist der Stereoautograph von C. Zeiß; es ist dies ein durch ein Hebelsystem mit einem Zeichenstift verbundener Stereokomparator, bei dem jede Einstellung der räumlich bewegbaren Marke im stereoskopisch gesehenen Meßbildpaar selbsttätig auf den Zeichenstift und damit in die Zeichnung übertragen wird. Die Einrichtung des Stereoautographen ist derart, daß man mit der bewegbaren Marke jede Linie in dem räumlich gesehenen Bild verfolgen kann; der Zeichenstift zeichnet dann die Horizontalprojektion der betreffenden Linie selbsttätig auf. Insbesondere kann man bei dem Instrument die bewegbare Marke auf eine bestimmte N. N.-Höhe ein- und feststellen und die dieser entsprechende Höhenschichtlinie mit der Marke in dem räumlich gesehenen

Bild verfolgen; die Schichtlinie wird dabei von dem Zeichenstift aufgezeichnet<sup>1</sup>.

Die von verschiedenen Seiten ausgeführten Genauigkeitsuntersuchungen haben einwandfrei ergeben, daß insbesondere bei der Geländedarstellung in Höhenschichtlinien das Ergebnis einer stereophotogrammetrisch durchgeführten Aufnahme ebenso genau ist wie dasjenige einer Aufnahme mit dem Tachymetertheodolit oder mit dem Meßtisch.

### 3. Luftphotogrammetrie.

Die Luftphotogrammetrie unterscheidet sich von der Erdphotogrammetrie bei der Aufnahme darin, daß die Bildebenen nicht in eine bestimmte Lage gebracht werden können, sondern im Augenblick der Aufnahme beliebig im Raum liegen. Eine besondere Rolle spielt deshalb bei der Luftphotogrammetrie die Ermittlung der äußeren Orientierung des einzelnen Bildes; sie besteht in der Bestimmung der Lage des Objektivhauptpunktes, der Kammerachse und der Bildachsen für den Augenblick der Aufnahme.

Die Ermittlung der äußeren Orientierung eines Bildes setzt voraus, daß bei bekannter innerer Orientierung das Bild mindestens drei, nach Lage und Höhe gegebene Festpunkte enthält; sie zerfällt in die Bestimmung der ebenen Koordinaten und der N.N.-Höhe des Aufnahmeorts, des Richtungswinkels der Horizontalprojektion der Kammerachse oder der „Aufnahmerichtung“, des „Neigungswinkels“ der Kammerachse und des „Verkantungswinkels“ der Bildachsen gegen die Horizontale.

Bei der Bestimmung der Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  des Aufnahmeorts  $S$  (Abb. 82) auf Grund der gegebenen Koordinaten  $(x_a, y_a, z_a)$ ,  $(x_b, y_b, z_b)$

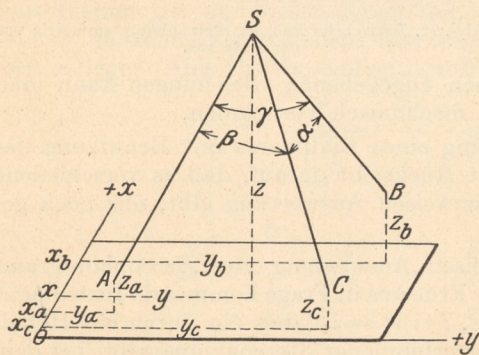


Abb. 82. Grundgedanke des Rückwärtseinschnittens im Raum mit Hilfe von Positionswinkeln.

und  $(x_c, y_c, z_c)$  der Festpunkte  $A$ ,  $B$  und  $C$  handelt es sich um ein Rückwärtseinschneiden im Raum mit Hilfe der drei Positionswinkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$ , die bei bekannter innerer Orientierung des Bildes — Hauptpunkt  $H$  und Bildweite  $OH = f$  (Abb. 83) — durch die Bildpyramide  $O, A'B'C'$  bestimmt sind und in dieser z. B. mit Benutzung eines Bildtheodolits unmittelbar gemessen werden können.

Die Lösung der Aufgabe kann man graphisch, graphisch-numerisch, numerisch oder mechanisch vornehmen. Die mechanische Lösung geschieht mit Hilfe eines Auswertungsinstruments — Aerokartograph oder Stereoplanigraph —; sie besteht darin, daß man durch systematische Versuche oder durch allmähliche Annäherung der Bildplatte im Instrument

<sup>1</sup> Der Stereoaograph wurde deshalb auch schon als Schichtlinienzeichner bezeichnet.