

Näherungsverfahren für die Ermittlung der Lage des Unterwasserpunktes in der Zweimedienphotogrammetrie

Von

Chuji MORI* und Atsushi OKAMOTO**

(Received September 20, 1969)

In der Zweimedienphotogrammetrie, falls wir von der Luft ins Wasser ein Bilder aufnehmen, geht ein Lichtstrahl von einem Unterwasserpunkt aus und tritt nach Brechung an der Wasseroberfläche in der Luft heraus. Wenn wir ein von diesen Bilder herausgestelltes Unterwassermodell mit gewöhnlichen Auswertegeräten stereoskopisch sehen wollen, schneidet sich ein Paar Lichtstrahlen in der Luft nicht, so daß sich verschiedene Schwierigkeiten in der Zweimedienphotogrammetrie ergeben. Die Haupt-Hindernisse sind, daß die stereoskopische Beobachtung des hergestellten Modells sehr schwierig ist und die Unterwasserpunkte mittels Auswertegeräte nicht direkt gemessen werden können. Wir schlagen in diesem Aufsatz ein Näherungsverfahren vor, den Unterwasserpunkt mit gewöhnlichen Auswertegeräten zu finden. Ferner geben wir Aufschlüsse über die praktische Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens. Aus den rechnerischen Ergebnissen folgt, daß das Näherungsverfahren eine praktisch genügende Genauigkeit hat, wenn die mittels gewöhnlicher Auswertegeräte gemessen Punkte nach dem Lichtbrechungsgesetz in die entsprechende Unterwasserpunkte umgerechnet werden.

1. Einleitung

Die Bestimmung der Lage eines Unterwasserpunktes in der Zweimedienphotogrammetrie ist erheblich schwierig, da sich im allgemeinen die in die Aufnahmeobjektive gelangenden einander entsprechenden Einfallstrahlen infolge der Brechung an der Brechungsebene nicht schneiden, so daß wir das Modell richtig nicht herstellen können. Wir finden deshalb große Schwierigkeiten bei der stereoskopischen Beobachtung eines Unterwasserpunktes. Auch wenn wir die scheinbare Lage des Unterwasserpunktes mittels stereoskopischer Auswertegeräte in irgend einer Weise bestimmen können, so ist der Unterwasserpunkt, der durch das Lichtbrechungsgesetz aus der scheinbaren Lage berechnet wird, behaftet mit einem Lagefehler. Die oben erwähnten Schwierigkeiten verhindern die Entwicklung der Zweimedienphotogrammetrie.

* Institut für Verkehrsbauwesen

** Institut für Bauingenieurwesen

In diesem Aufsatz setzen wir voraus, daß die Orientierung eines aus der Luft aufgenommenen Stereoaufnahmepaares auch in der Zweimedienphotogrammetrie möglich ist, und daß ein entsprechendes Einfallstrahlenpaar richtig herstellbar ist. Wir untersuchen zuerst die Möglichkeit, daß das stereoskopische Modell mittels gewöhnlicher Auswertegeräte abgebildet, beobachtet und gemessen werden kann. Dann entwickeln wir ein Näherungsverfahren, um den Unterwasserpunkt aus der scheinbaren Lage zu berechnen. Ferner ermitteln wir die Fehler, die von diesem Näherungsverfahren herrühren.

2. Optisch-geometrische Grundlagen in der Zweimedienphotogrammetrie

O_1 und O_2 seien die zwei Aufnahmezentren, π sei die zwischen den Aufnahmezentren und dem Objekt P gelegene Trennungsebene der zwei Medien. Die Trennungsebene sei die stille Wasseroberfläche und $\overline{O_1O_2}$ parallel zur Trennungsebene.

Die photographische Abbildung in der Zweimedienphotogrammetrie wird durch gebrochene Lichtstrahlen erzeugt, wie in Abb. 1 gezeigt. Das von einem

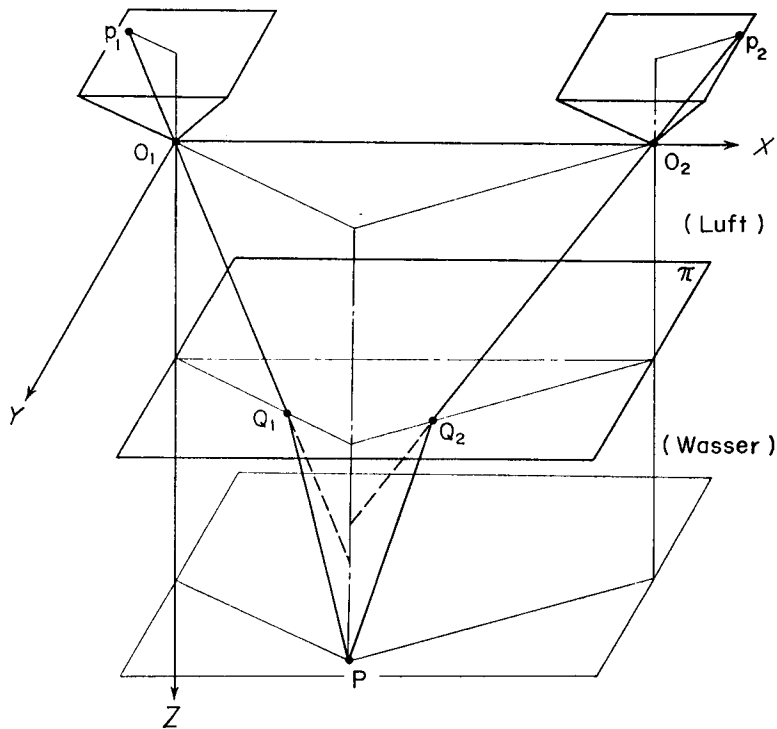


Abb. 1. Abbildung in der Zweimedienphotogrammetrie.

Unterwasserpunkt P ausgehende Strahlenpaar gelangt an den entsprechenden Punkte p_1 und p_2 in den zwei Bildebenen durch die Einfallspunkte Q_1 und Q_2 und die Aufnahmeobjektive O_1 und O_2 .

Ist das Bildpaar vollkommen richtig orientiert so ist dabei die Lichtstrahlen $\overline{O_1Q_1}$ und $\overline{O_2Q_2}$ richtig hergestellt. Aber, wie unten gezeigt, schneiden sich die einander entsprechenden Lichtstrahlen $\overline{O_1Q_1}$ und $\overline{O_2Q_2}$ im allgemeinen nicht, so dass wir den richtigen Schnittpunkt eines Einfallstrahlenpaares nicht bestimmen können. Wir müssen nach dem Lichtbrechungsgesetz die Lagen der gebrochenen Strahlen im Wasser ermitteln, um die Lage des Unterwasserpunktes zu bestimmen, weil sich die Richtung eines Strahles aus der Luft beim Eintritt ins Wasser ändert. Deswegen erfolgen die verschiedenen schwierigen Probleme in der Zweimedienphotogrammetrie.

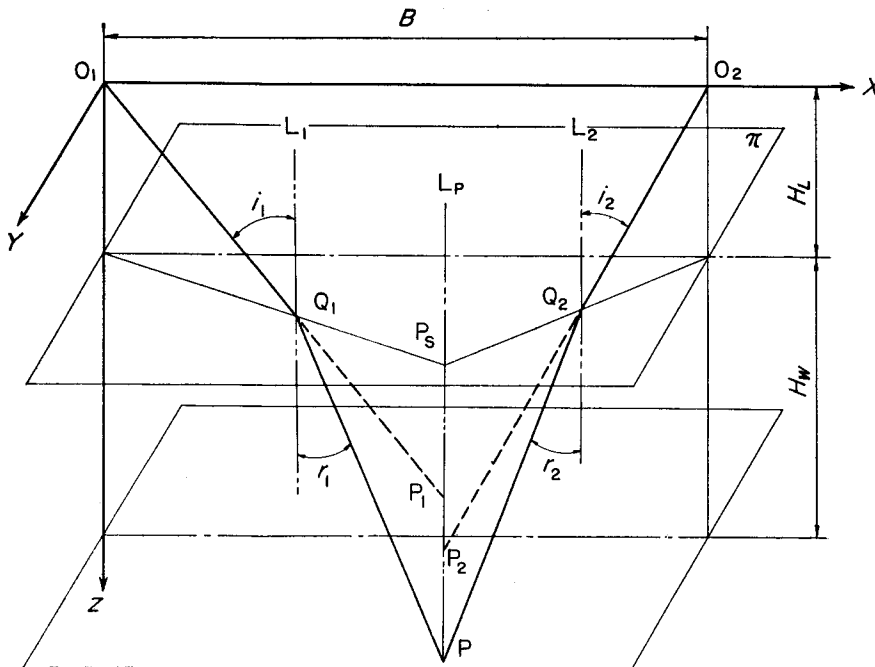


Abb. 2. Optisch-geometrische Beziehung.

Nun zeigen wir im folgenden, daß die zwei einander entsprechenden Einfallstrahlen $\overline{O_1Q_1}$ und $\overline{O_2Q_2}$ sich nicht schneiden. In Abb. 2 brauchen wir die folgenden Bezeichnungen:

- i_1, i_2 : die Einfallswinkel, r_1, r_2 : die Brechungswinkel
- Q_1, Q_2 : die Einfallspunkte, L_P : das Lot durch P
- P_S : der Schnittpunkt des Lotes L_P mit der Ebene π

- P_1 : der Schnittpunkt des Lotes L_P mit dem Lichtstrahl $\overline{O_1Q_1}$
 P_2 : der Schnittpunkt des Lotes L_P mit dem Lichtstrahl $\overline{O_2Q_2}$
 H_L : die Aufnahmehöhe von der Wasseroberfläche
 H_W : die Wassertiefe, B : die Basislänge
 N : die Brechzahl des Wassers

Aus Abb. 2 erfolgen sofort die Gleichungen

$$\overline{Q_1P_S} = H_W \tan r_1, \quad \overline{Q_2P_S} = \overline{P_1P_S} \tan i_1. \quad (1)$$

Es ist somit

$$\overline{P_1P_S} = H_W \tan r_1 / \tan i_1. \quad (2)$$

In gleicher Weise erhalten wir

$$\overline{P_2P_S} = H_W \tan r_2 / \tan i_2, \quad (3)$$

so daß die nachstehende Gleichung gilt:

$$\overline{P_1P_2} = \overline{P_S P_2} - \overline{P_S P_1} = H_W (\tan r_2 / \tan i_2 - \tan r_1 / \tan i_1). \quad (4)$$

Da nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz $\sin i / \sin r = N$ ist, so ergibt sich für diese Gleichung die Form

$$\overline{P_1P_2} = H_W \left(\frac{\cos i_1}{\sqrt{N^2 - \sin^2 i_1}} - \frac{\cos i_2}{\sqrt{N^2 - \sin^2 i_2}} \right). \quad (5)$$

Wenn die einander entsprechenden Strahlen sich in einem Punkt auf dem Lot L_P schneiden, ist die Bedingung

$$\overline{P_1P_2} = 0 \quad (6)$$

immer zu erfüllen. Durch Einsetzen der Gleichung (5) in die Bedingung (6) ist es ersichtlich, daß die Bedingung $\overline{P_1P_2} = 0$ nur für $i_1 = i_2$ gilt. Wir erkennen die Tatsache, daß sich die einander entsprechenden Einfallstrahlen im Lot durch P nicht schneiden. K. Rinner hat erwiesen, daß ein Einfallstrahlenpaar im allgemeinen in einer gemeinsamen Ebene nicht liegt, das heißt, daß sich ein Einfallstrahlenpaar nur unter besonderen Bedingungen schneidet¹⁾.

3. Die Bestimmung der scheinbaren Lage eines Unterwasserpunktes

Falls wir gewöhnliche Auswertegeräte benutzen, bestimmen wir die scheinbare Lage eines Unterwasserpunktes mit einem Einfallstrahlenpaar $\overline{O_1Q_1}$ und $\overline{O_2Q_2}$. Aber auch wenn das Einfallstrahlenpaar richtig hergestellt wird, schneidet dieses sich im allgemeinen nicht. Daher müssen wir untersuchen,

welcher Punkt für die scheinbare Lage eines Unterwasserpunktes am geeignetsten ist.

Wenn eine kleine Y -Parallaxe zwischen den Projektionspunkten eines Strahlenpaares übrig bleibt, nehmen wir bei stereoskopische Beobachtung gewöhnlich an, daß der Mittelwert der zwei Y -Koordinaten auf der Projektionsebene, wo die X -Parallaxe verschwindet, als Schnittpunkt dieses Strahlenpaares gewählt werden kann.

Nun zeigen wir im folgenden das Berechnungsverfahren der scheinbaren Lage eines Unterwasserpunktes. Zuerst ermitteln wir die Höhe der Projektionsebene, auf der die X -Koordinaten eines Einfallstrahlenpaares gleich sind. Dann setzen wir voraus, daß die scheinbare Lage des Unterwasserpunktes auf dieser Projektionsebene vorhanden ist. Wir ermitteln die zwei Y -Koordinaten der Projektionspunkte des Einfallstrahlenpaares auf dieser Ebene, und nehmen an, daß die scheinbare Lage des Unterwasserpunktes der Mittelpunkt der beiden Y -Koordinaten ist.

Um die scheinbare Lage zu erhalten, müssen wir zuerst die beiden Lagen der Einfallpunkte eines Einfallstrahlenpaares bestimmen. Wir setzen hier voraus, daß die räumliche Lage der zwei Aufnahmekammern, die Höhe der Brechungsebene (die Wasseroberfläche) und auch die Lage des Unterwasserpunktes bekannt sind.

(3-1) Die Berechnung der Grundrißkoordinaten der Einfallspunkte Q_1 und Q_2

Außer dem in Abb. 2 bezeichneten Koordinatensystem (X, Y, Z) führen wir um den linken Strahlengang zu untersuchen, die X_L -Achse ein. Diese X_L -Achse liegt in der Lotebene, die den brechenden Strahlengang O_1Q_1P enthält, und zwar parallel zu der Wasseroberfläche (Abb. 3).

Durch die Einführung dieses Koordinatensystems (X_L, Z_L) können wir die Untersuchung des Strahlenganges O_1Q_1P als ein Problem mit einem Unbekannten a_L behandeln, wie es in Abb. 4 gezeigt wird. Sind dann die Lagen der Punkt O_1, P und der Ebene π bekannt, so kann die gesuchte Strecke a_L , welche die Lage des Einfallspunktes Q_1 auf der Brechungsebene bestimmt, durch die folgende Gleichung berechnet werden:

$$\frac{a_L}{\sqrt{a_L^2 + H_L^2}} - \frac{N(X_L - a_L)}{\sqrt{(X_L - a_L)^2 + (Z_L - H_L)^2}} = 0. \quad (7)$$

Darin ergeben sich die folgenden Beziehungen zwischen den oben erwähnten zwei Koordinatensystemen (X, Y, Z) und (X_L, Z_L) :

$$X_L = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad Z_L = Z. \quad (8)$$

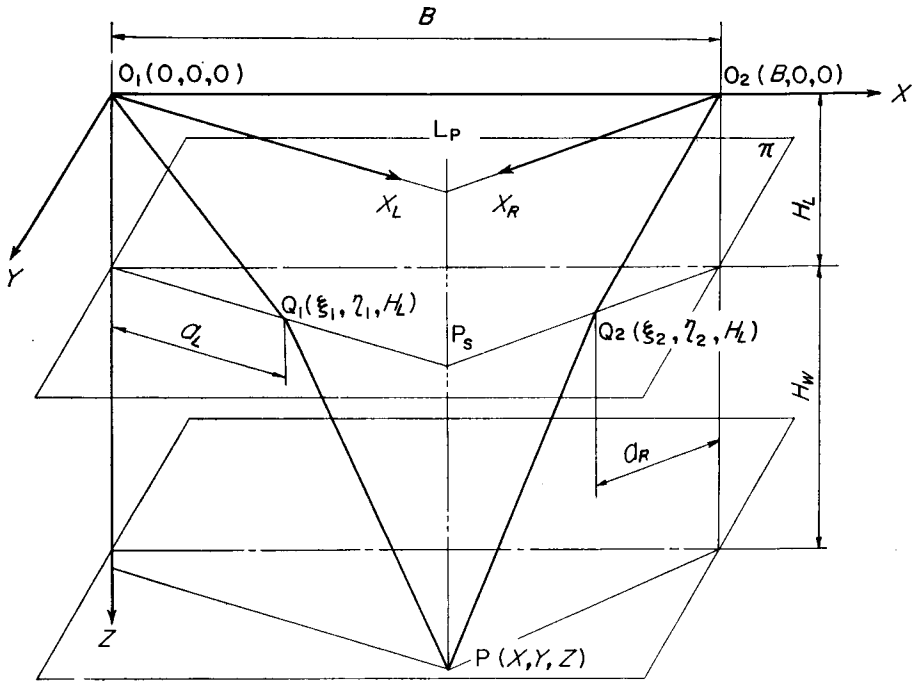


Abb. 3. Die brechenden Strahlengänge und die Koordinatenachsen X_L und X_R .

Erhalten die Strecke a_L aus der Lösung der Gleichung (7), so können die Koordinaten (ξ_1, η_1, H_L) des Einfallspunktes Q_1 , in dem Koordinatensystem (X, Y, Z) , berechnet werden (Abb. 3). Diese sind

$$\xi_1 = \frac{a_L X}{X_L}, \quad \eta_1 = \frac{a_L Y}{X_L}. \quad (9)$$

In gleicher Weise erhalten wir bei dem rechten Strahlengang die folgende Gleichung für die Ermittlung der Strecke a_R in Abb. 5:

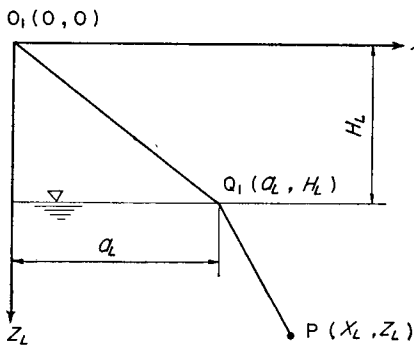


Abb. 4. Der linke Strahlengang.

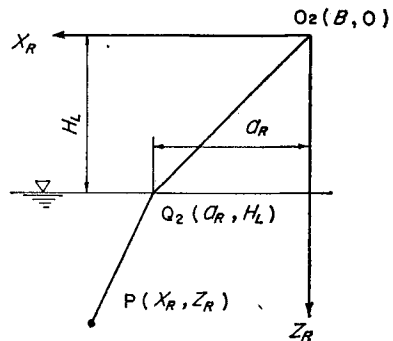


Abb. 5. Der rechte Strahlengang.

$$\frac{a_R}{\sqrt{a_R^2 + H_L^2}} - \frac{N(X_R - a_R)}{\sqrt{(X_R - a_R)^2 + (Z_R - H_L)^2}} = 0. \quad (10)$$

Die Beziehungen zwischen zwei Koordinatensystemen (X, Y, Z) und (X_R, Z_R) sind

$$X_R = \sqrt{(B - X)^2 + Y^2}, \quad Z_R = Z. \quad (11)$$

So werden die Koordinaten (ξ_2, η_2, H_L) von Q_2 wie im folgenden gegeben:

$$\xi_2 = B - \frac{a_R(B - X)}{X_R}, \quad \eta_2 = \frac{a_R Y}{X_R}. \quad (12)$$

(3-2) Die Ermittlung der scheinbaren Lage eines Unterwasserpunktes

Wenn die räumlichen Lagen der beiden Kammern bekannt und die zwei Einfallspunkte $Q_1(\xi_1, \eta_1, H_L)$ und $Q_2(\xi_2, \eta_2, H_L)$ des Strahlenpaares festgelegt sind, können wir die Gleichungen zur Bestimmung des Einfallsstrahlenpaares $\overline{O_1 Q_1}$ und $\overline{O_2 Q_2}$ aufstellen. Die Gleichungen von $\overline{O_1 Q_1}$ und $\overline{O_2 Q_2}$ sind

$$\frac{X}{\xi_1} = \frac{Y}{\eta_1} = \frac{Z}{H_L} \quad (13)$$

und

$$\frac{X - B}{\xi_2 - B} = \frac{Y}{\eta_2} = \frac{Z}{H_L}. \quad (14)$$

Wir setzen nun voraus, daß diese beiden Strahlen auf die folgenden Horizontalebene projiziert werden:

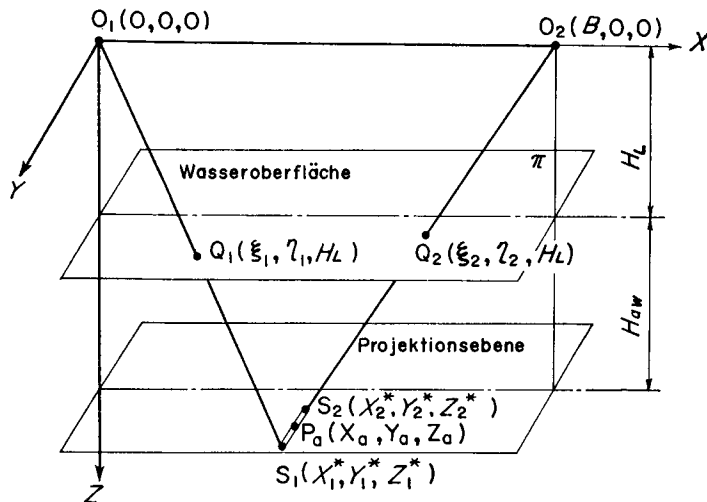


Abb. 6. Projektion des Einfallsstrahlenpaares und die scheinbare Lage.

$$Z = H_L + H_{aw}. \quad (15)$$

Darin ist H_{aw} die scheinbare Tiefe des Unterwasserpunktes $P(X, Y, Z)$.

Die zwei einander entsprechenden Einfallstrahlen schneiden sich im allgemeinen nicht, so dass die Parallaxe $\overline{S_1 S_2}$ auftritt (Abb. 6). Darin sind die Punkte S_1 und S_2 die Projektionspunkte der beiden Strahlen auf der Horizontalebene. Wir nehmen deshalb die horizontale Projektionsebene, wo die X -Komponente der Parallaxe $\overline{S_1 S_2}$ beseitigt wird, als die Ebene, in welcher die durch das Einfallstrahlenpaar gegebene scheinbare Lage liegt. Dafür müssen wir zunächst die Projektionspunkte $S_1(X_1^*, Y_1^*, Z_1^*)$ und $S_2(X_2^*, Y_2^*, Z_2^*)$ der zwei einander entsprechenden Einfallstrahlen $\overline{O_1 Q_1}$ und $\overline{O_2 Q_2}$ auf der Horizontalebene bestimmen.

Für die Koordinaten von S_1 und S_2 erhalten wir aus Abb. 6

$$X_1^* = \frac{\xi_1(H_L + H_{aw})}{H_L}, \quad Y_1^* = \frac{\eta_1(H_L + H_{aw})}{H_L}, \quad Z_1^* = H_L + H_{aw} \quad (16)$$

und

$$X_2^* = B + \frac{(\xi_2 - B)(H_L + H_{aw})}{H_L}, \quad Y_2^* = \frac{\eta_2(H_L + H_{aw})}{H_L}, \quad Z_2^* = H_L + H_{aw} \quad (17)$$

Aus der Bedingung

$$X_1^* = X_2^* \quad (18)$$

können wir die Höhe der Projektionsebene mit Hilfe der Gleichungen (16) und (17) erhalten:

$$\text{oder} \quad \left. \begin{aligned} H_{aw} &= \frac{(\xi_2 - \xi_1)H_L}{\xi_1 - \xi_2 + B} \\ Z_a = H_L + H_{aw} &= \frac{BH_L}{\xi_1 - \xi_2 + B}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Nun setzen wir voraus, daß die scheinbare Lage des Unterwasserpunktes der Mittelpunkt der Strecke $\overline{S_1 S_2}$ ist. Also erhalten wir für die scheinbare Lage $P_a(X_a, Y_a, Z_a)$ des Unterwasserpunktes P mit Hilfe der Gleichungen (16)~(19)

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\xi_1 B}{\xi_1 - \xi_2 + B} \\ Y_a &= \frac{(\eta_1 + \eta_2)B}{2(\xi_1 - \xi_2 + B)} \\ Z_a = H_L + H_{aw} &= \frac{BH_L}{\xi_1 - \xi_2 + B}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Wir haben oben vorausgesetzt, daß die scheinbare Lage des Unterwasser-

punktes der Mittelpunkt des zwei Projektionspunkte auf der Horizontalebene ist, wo keine X -Parallaxe auftritt. Aber wir können auch voraussetzen, daß die scheinbare Lage der Mittelpunkt der Strecke $\overline{S_1S_2}$ auf der Horizontalebene ist, in der die Parallaxe $\overline{S_1S_2}$ am geringsten ist. In diesem Fall erhalten wir für die scheinbare Tiefe H'_{aw}

$$H'_{aw} = \frac{(\xi_2 - \xi_1)(\xi_1 - \xi_2 + B) - (\eta_1 - \eta_2)^2}{(\xi_1 - \xi_2 + B)^2 + (\eta_1 - \eta_2)^2} H_L. \quad (21)$$

Wenn $\eta_1 = \eta_2$ ist, so folgt aus der Gleichung (21):

$$H'_{aw} = \frac{(\xi_2 - \xi_1)H_L}{\xi_1 - \xi_2 + B} = H_{aw}. \quad (22)$$

Da im allgemeinen $\eta_1 \neq \eta_2$ ist, so gilt $H'_{aw} \neq H_{aw}$.

Dies letzt erwähnte Verfahren kann vielleicht die ein wenig bessere Näherungswerte als das erste liefern. Aber bei der praktischen stereoskopischen Beobachtung mittels gewöhnlicher Auswertegeräte ist dieser Mittelpunkt nicht leicht zu finden und der Lagefehler des letzten Verfahrens wird nur ein wenig kleiner als derjenige des ersten Verfahrens.

Möglichkeit des dritten Verfahrens zur Bestimmung der scheinbaren Lage besteht. Wir nun setzen voraus, daß der Mittelpunkt der kürzesten Strecke zwischen einem Einfallstrahlenpaar (Normalstrecke zu den zwei einander entsprechenden Strahlen) als die scheinbaren Lage betrachtet werden kann. Dieses dritte Verfahren jedoch ist interessant nur für analytische Behandlungen.

4. Das Näherungsverfahren, aus der scheinbaren Lage den Unterwasserpunkt zu ermitteln

Wir haben in der Zweimedienphotogrammetrie vorausgesetzt, daß die Orientierung eines Aufnahmebildpaares möglich ist und die zwei einander entsprechenden Einfallstrahlen in der Luft richtig hergestellt werden können. Unter dieser Voraussetzung werden die zwei Einfallspunkte $Q_1(\xi_1, \eta_1, H_L)$ und $Q_2(\xi_2, \eta_2, H_L)$ und die Richtungen der gebrochenen Lichtstrahlen im Wasser nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz berechnet, so scheint daß der Unterwasserpunkt als der Schnittpunkt der beiden Unterwasserstrahlen theoretisch ermittelt werden kann.

Bei der stereoskopischen Beobachtung mittels gewöhnlicher Auswertegeräte können wir zuerst nur die scheinbare Lage festlegen und dann den Unterwasserpunkt daraus berechnen, denn bei der stereoskopischen Beobachtung können wir die Richtung der Unterwasserstrahlen nicht bestimmen. Im folgenden werden

die Berechnungsvorgänge, um aus der scheinbaren Lage die Lage des Unterwasserpunktes zu ermitteln, erwähnt.

Unter Berücksichtigung des in Abschnitt 3 erwähnten ersten Verfahrens, setzen wir hier voraus, daß die scheinbare Lage $P_a(X_a, Y_a, Z_a)$ mittels gewöhnlicher Auswertegeräte gemessen werden kann (Abb. 7). Unter dieser Voraussetzung sind die gemessenen Einfallsstrahlen nicht mehr richtig, und auch die Lage der aus diesen Einfallsstrahlen ermittelten Einfallspunkte hat kleine Fehler.

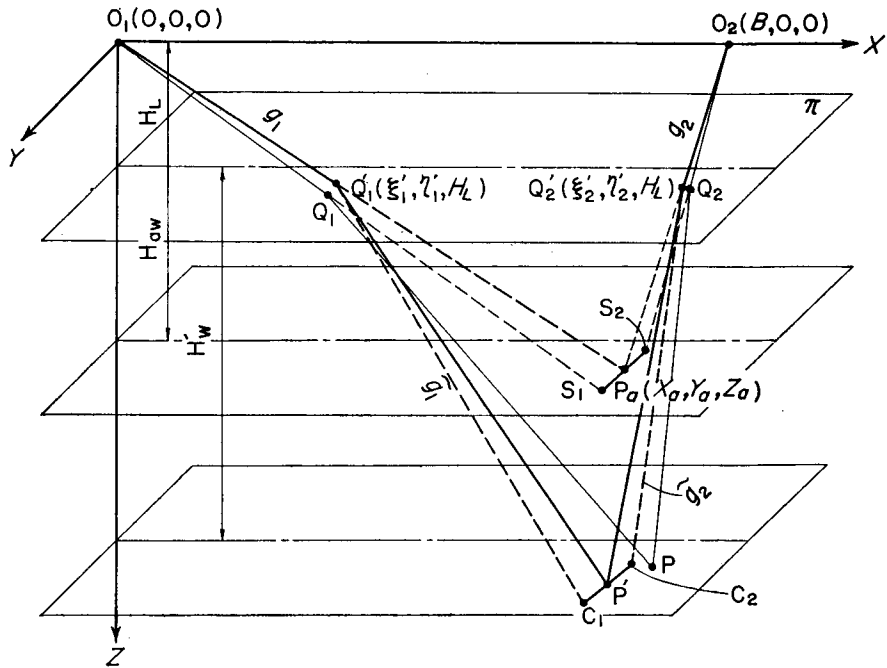


Abb. 7. Lichtstrahlengänge nach der Voraussetzung für das Näherungsverfahren.

Bedeutet $Q_1'(\xi_1', \eta_1', H_L)$ und $Q_2'(\xi_2', \eta_2', H_L)$ diese ermittelten Einfallspunkte und deren Koordinaten, so bestehen die Beziehungen

$$\left. \begin{aligned} \xi_1' &= \frac{X_a}{Z_a} H_L, & \eta_1' &= \frac{Y_a}{Z_a} H_L, \\ \xi_2' &= B - \frac{B - X_a}{Z_a} H_L, & \eta_2' &= \frac{Y_a}{Z_a} H_L. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Wir betrachten nun jetzt $\overline{O_1Q_1'}$ und $\overline{O_2Q_2'}$ als die Einfallsstrahlen (Abb. 7). Infolge dieser oben erwähnten Voraussetzung, schneiden sich die zwei einander entsprechenden gebrochenen Strahlen (Unterwasserstrahlen), die aus der scheinbaren Lage berechnet werden, im allgemeinen nicht. Deswegen stellen wir

die Voraussetzung wie in Abschnitt 3 auf, daß der Unterwasserpunkt auf der Horizontalebene liegt, wo die zwei X -Koordinaten des gebrochenen Strahlenpaares miteinander gleich sind, und der Mittelpunkt der zwei Projektionspunkte auf dieser Ebene als der Unterwasserpunkt betrachtet werden kann.

Wenn die räumlichen Lagen $O_1(O, O, O)$ und $O_2(B, O, O)$ der zwei Aufnahmekammern bekannt sind und die Einfallspunkte $Q'_1(\xi'_1, \eta'_1, H_L)$ und $Q'_2(\xi'_2, \eta'_2, H_L)$ aus der scheinbaren Lage $P_a(X_a, Y_a, Z_a)$ berechnet werden, so können wir die zwei entsprechenden Einfallsstrahlen $g_1(l_1, m_1, n_1)$ und $g_2(l_2, m_2, n_2)$ ermitteln und also die gebrochenen Strahlen $\tilde{g}_1(\tilde{l}_1, \tilde{m}_1, \tilde{n}_1)$ und $\tilde{g}_2(\tilde{l}_2, \tilde{m}_2, \tilde{n}_2)$ nach dem Brechungsgesetz bestimmen. Darin sind $(l_1, m_1, n_1), \dots$ die Richtungskosinus der Strahlen.

Aus Abb. 7 sind die Richtungskosinus der Strahlens g_1 und g_2

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{\xi'_1}{\sqrt{\xi_1'^2 + \eta_1'^2 + H_L^2}}, & m_1 &= \frac{\eta'_1}{\sqrt{\xi_1'^2 + \eta_1'^2 + H_L^2}}, \\ l_2 &= \frac{\xi'_2 - B}{\sqrt{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2 + H_L^2}}, & m_2 &= \frac{\eta'_2}{\sqrt{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2 + H_L^2}}, \\ & & n_1 &= \frac{H_L}{\sqrt{\xi_1'^2 + \eta_1'^2 + H_L^2}} \\ & & n_2 &= \frac{H_L}{\sqrt{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2 + H_L^2}}. \end{aligned} \right\} (24)$$

Für die Richtungskosinus der einander entsprechenden Strahlen \tilde{g}_1 und \tilde{g}_2 folgt nach dem Brechungsgesetz

$$\left. \begin{aligned} \tilde{l}_1 &= \frac{l_1}{N}, & \tilde{m}_1 &= \frac{m_1}{N}, & \tilde{n}_1 &= \frac{\sqrt{N^2(\xi_1'^2 + \eta_1'^2 + H_L^2) - (\xi_1'^2 + \eta_1'^2)}}{N\sqrt{\xi_1'^2 + \eta_1'^2 + H_L^2}} \\ \tilde{l}_2 &= \frac{l_2}{N}, & \tilde{m}_2 &= \frac{m_2}{N}, & \tilde{n}_2 &= \frac{\sqrt{N^2\{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2 + H_L^2\} - \{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2\}}}{N\sqrt{(\xi'_2 - B)^2 + \eta_2'^2 + H_L^2}}. \end{aligned} \right\} (25)$$

Die Gleichungen dieser gebrochenen Strahlen g_1 und g_2 erhalten die Form

$$\left. \begin{aligned} \frac{X - \xi'_1}{\tilde{l}_1} &= \frac{Y - \eta'_1}{\tilde{m}_1} = \frac{Z - H_L}{\tilde{n}_1} \\ \frac{X - \xi'_2}{\tilde{l}_2} &= \frac{Y - \eta'_2}{\tilde{m}_2} = \frac{Z - H_L}{\tilde{n}_2}. \end{aligned} \right\} (26)$$

Bedeutet H'_W die Wassertiefe der Projektionsebene, in der der ermittelte Unterwasserpunkt liegt, so folgt für diese Ebene die Gleichung

$$Z = H_L + H'_W \quad (27)$$

In der gleichen Weise wie die scheinbaren Lage ermittelt wurde, nun jetzt für den Unterwasserpunkt $P'(X', Y', Z')$ ergibt sich

$$\left. \begin{aligned} X' &= \xi'_1 + \frac{\bar{l}_1}{\bar{n}_1} H'_W \\ Y' &= \frac{1}{2} \left\{ \eta'_1 + \eta'_2 + \left(\frac{\bar{m}_1}{\bar{n}_1} + \frac{\bar{m}_2}{\bar{n}_2} \right) H'_W \right\} \\ Z' &= H_L + H'_W. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Darin

$$H'_W = \frac{\xi'_2 - \xi'_1}{\frac{\bar{l}_1}{\bar{n}_1} - \frac{\bar{l}_2}{\bar{n}_2}}. \quad (29)$$

5. Modelle für rechnerische Beispiele

Um die Fehler, die vom bis zum Abschnitt 4 entwickelten Näherungsverfahren herrühren, zu ermitteln, werden einige rechnerische Beispiele durchgeführt. Im folgenden zeigen wir die allgemeinen Bedingungen für die verschiedenen Versuchsmodelle:

die Bildweite der Aufnahmekammer: $f=15$ cm

die Aufnahme­richtung: senkrecht

der Höhenunterschied zwischen den Aufnahmezentren und einem Unterwasserpunkt: $H=H_L+H_W=\text{konst.}$

das Basisverhältnis: $B/H=0.54=\text{konst.}$

die Brechungs­zahl des Wasser für die Luft: $N=4/3$

die Wassertiefe H_W , die Höhe H_L der Aufnahmezentren von der Wasseroberfläche, und das Verhältnis H_W/H_L : veränderlich

die Überdeckung des Bildpaares: ungefähr 60%

Der Lagefehler des ermittelten Unterwasserpunktes, der aus der scheinbaren Lage berechnet wird, wird von der räumlichen Lage des gegebenen Unterwasserpunktes beeinflusst. Tabelle 1 zeigt die für rechnerische Beispiele gewählten Modelle. Jedes Modell hat die verschiedenen Verhältnisse H_W/H_L . Abb. 8 zeigt den Überdeckungsteil eines Modells und die für die Berechnung gewählten

Tabelle 1. Rechnerische Beispiele.
($B/H=0.54$, $H_L+H_W=H$)

| Modell | H_W/H | H_L/H | H_W/H_L |
|--------|---------|---------|-----------|
| a | 0.01 | 0.99 | 0.0101 |
| b | 0.05 | 0.95 | 0.0526 |
| c | 0.15 | 0.85 | 0.176 |
| d | 0.25 | 0.75 | 0.333 |
| e | 0.50 | 0.50 | 1.000 |

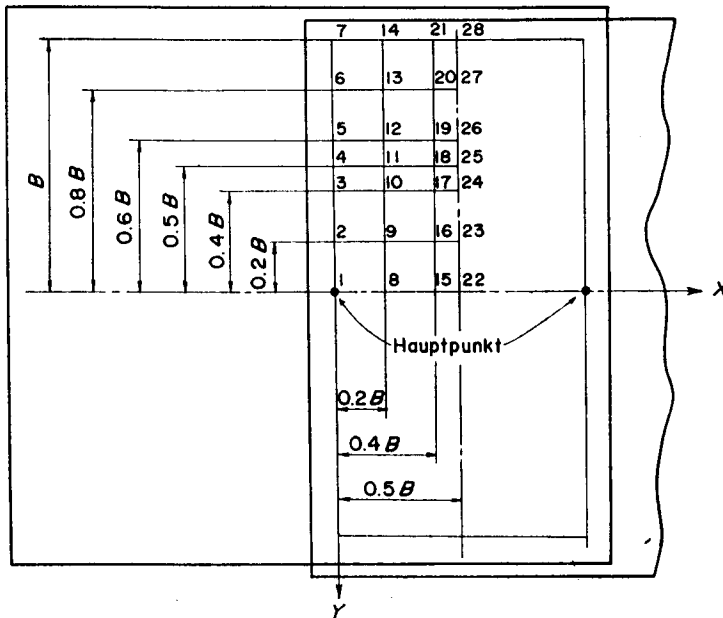


Abb. 8. Zeichnung der Punkte im Modell.

Tabelle 2. Koordinaten der Unterwasserpunkte.

| Punkt | X_0 | Y_0 | Z_0 |
|-------|-------|--------|-------|
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | -0.270 | 1 |
| 7 | 0 | -0.540 | 1 |
| 8 | 0.108 | 0 | 1 |
| 11 | 0.108 | -0.270 | 1 |
| 13 | 0.108 | -0.432 | 1 |
| 14 | 0.108 | -0.540 | 1 |
| 21 | 0.216 | -0.540 | 1 |
| 22 | 0.270 | 0 | 1 |
| 25 | 0.270 | -0.270 | 1 |
| 28 | 0.270 | -0.540 | 1 |

$$(X_0 = X/H, Y_0 = Y/H, Z_0 = Z/H)$$

Punkte. Tabelle 2 zeigt die Koordinaten von einigen gewählten Punkten. Darin $X_0 = X/H$, $Y_0 = Y/H$, $Z_0 = Z/H$.

6. Rechnerische Ergebnisse

$P(X, Y, Z)$ sei ein gegebener Unterwasserpunkt, $P_a(X_a, Y_a, Z_a)$ die scheinbare Lage des Punktes P und $P'(X', Y', Z')$ der berechnete Unterwasserpunkt. Wir

Tabelle 3. Berechnete Koordinaten-Fehler und H_W/H_{aW} (a) $H_W/H=0.01$

| Punkt | ΔX_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔY_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔZ_{a0} ($\times 10^{-6}$) | H_W/H_{aW} | $\Delta X'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Y'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Z'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta H'_0$ ($\times 10^{-6}$) |
|-------|---|---|---|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | -2 937 | 1.415 89 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 57 | -3 036 | 1.435 88 | 0 | 0 | 0 | -10 |
| 7 | 0 | 100 | -3 308 | 1.494 30 | 0 | 0 | 0 | -40 |
| 8 | -23 | 0 | -2 734 | 1.376 26 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -22 | 21 | -2 841 | 1.396 82 | 0 | 0 | 0 | -10 |
| 13 | -21 | 31 | -2 999 | 1.428 33 | 0 | 0 | 0 | -10 |
| 14 | -20 | 37 | -3 136 | 1.456 80 | 0 | 0 | 0 | -10 |
| 21 | -10 | 4 | -3 047 | 1.438 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0 | -2 615 | 1.354 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | -2 728 | 1.375 04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | -3 036 | 1.435 88 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(b) $H_W/H=0.05$

| Punkt | ΔX_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔY_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔZ_{a0} ($\times 10^{-6}$) | H_W/H_{aW} | $\Delta X'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Y'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Z'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta H'_0$ ($\times 10^{-6}$) |
|-------|---|---|---|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | -14 735 | 1.417 82 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 294 | -15 238 | 1.438 35 | 0 | 0 | -2 | -31 |
| 7 | 0 | 520 | -16 632 | 1.498 46 | 0 | -2 | -5 | -101 |
| 8 | -121 | 0 | -13 695 | 1.377 23 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -116 | 109 | -14 242 | 1.398 29 | 0 | 0 | 0 | -11 |
| 13 | -109 | 163 | -15 050 | 1.430 60 | 0 | 0 | -1 | -26 |
| 14 | -102 | 192 | -15 750 | 1.459 87 | 0 | 0 | -2 | -37 |
| 21 | -52 | 22 | -15 296 | 1.440 73 | 0 | 0 | 0 | -4 |
| 22 | 0 | 0 | -13 089 | 1.354 62 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | -13 662 | 1.375 97 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | -15 238 | 1.438 35 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(c) $H_W/H=0.15$

| Punkt | ΔX_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔY_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔZ_{a0} ($\times 10^{-6}$) | H_W/H_{aW} | $\Delta X'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Y'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Z'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta H'_0$ ($\times 10^{-6}$) |
|-------|---|---|---|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | -44 592 | 1.423 04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 960 | -46 196 | 1.445 03 | 0 | 0 | -18 | -106 |
| 7 | 0 | 1 712 | -50 651 | 1.509 82 | 0 | 17 | -52 | -349 |
| 8 | -394 | 0 | -41 290 | 1.379 82 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -379 | 355 | -43 027 | 1.402 23 | -1 | 0 | -6 | -39 |
| 13 | -356 | 534 | -45 598 | 1.436 76 | -3 | 3 | -14 | -90 |
| 14 | -337 | 632 | -47 834 | 1.468 20 | -4 | 6 | -19 | -128 |
| 21 | -171 | 71 | -46 380 | 1.447 60 | -2 | 1 | 2 | -14 |
| 22 | 0 | 0 | -39 365 | 1.355 81 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | -41 180 | 1.378 43 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | -46 196 | 1.445 03 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 3.
(d) $H_W/H=0.25$

| Punkt | ΔX_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔY_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔZ_{a0} ($\times 10^{-6}$) | H_W/H_{aW} | $\Delta X'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Y'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Z'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta H'_0$ ($\times 10^{-6}$) |
|-------|---|---|---|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | -75 035 | 1.428 86 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 1 746 | -77 888 | 1.452 55 | 0 | 0 | -51 | -202 |
| 7 | 0 | 3 151 | -85 832 | 1.522 83 | 0 | 56 | -170 | -681 |
| 8 | -715 | 0 | -69 193 | 1.382 69 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -689 | 646 | -72 267 | 1.406 60 | -5 | 0 | -19 | -75 |
| 13 | -652 | 979 | -76 831 | 1.443 68 | -10 | 10 | -44 | -174 |
| 14 | -621 | 1 163 | -80 811 | 1.477 64 | -15 | 21 | -62 | -250 |
| 21 | -314 | 131 | -78 217 | 1.455 32 | -7 | 2 | -7 | -28 |
| 22 | 0 | 0 | -65 785 | 1.357 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | -68 990 | 1.381 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | -77 888 | 1.452 55 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(e) $H_W/H=0.50$

| Punkt | ΔX_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔY_{a0} ($\times 10^{-6}$) | ΔZ_{a0} ($\times 10^{-6}$) | H_W/H_{aW} | $\Delta X'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Y'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta Z'_0$ ($\times 10^{-6}$) | $\Delta H'_0$ ($\times 10^{-6}$) |
|-------|---|---|---|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 | -154 449 | 1.446 97 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 4 468 | -161 313 | 1.476 29 | 0 | 0 | -303 | -607 |
| 7 | 0 | 8 375 | -180 678 | 1.565 82 | 0 | 376 | -1 060 | -2 121 |
| 8 | -1 792 | 0 | -140 649 | 1.391 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | -1 757 | 1 648 | -149 911 | 1.420 10 | -29 | 0 | -110 | -221 |
| 13 | 1 702 | 2 552 | -158 823 | 1.465 52 | -69 | 62 | -264 | -528 |
| 14 | -1 648 | 3 091 | -168 449 | 1.508 06 | -99 | 138 | -387 | -773 |
| 21 | -834 | 348 | -162 116 | 1.479 80 | -50 | 16 | -43 | -87 |
| 22 | 0 | 0 | -132 605 | 1.360 93 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | -140 096 | 1.389 26 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | -161 313 | 1.476 29 | 0 | 0 | 0 | 0 |

haben $P_a(X_a, Y_a, Z_a)$ und $P'(X', Y', Z')$ aus P nach der Anwendung des Näherungsverfahrens berechnet und diese Ergebnisse sind aus der Tabelle 3 ersichtlich. Die in Tabelle 2 und 3 gebrauchten Zeichnungen sind folgende:

$X_0=X/H, Y_0=Y/H, Z_0=Z/H$: die dimensionslosen Koordinaten eines gegebenen Unterwasserpunktes.

H_W/H_{aW} : das Verhältnis der wahren Tiefe zu der scheinbaren Tiefe.

$\Delta X_{a0}=\Delta X_a/H, \Delta Y_{a0}=\Delta Y_a/H, \Delta Z_{a0}=\Delta Z_a/H$: die dimensionslosen Koordinatenunterschiede zwischen der scheinbaren Lage und dem gegebenen Unterwasserpunkt. Darin

$$\Delta X_a = X_a - X, \quad \Delta Y_a = Y_a - Y, \quad \Delta Z_a = Z_a - Z = H_{aW} - H_W.$$

$\Delta X'_0 = \Delta X'/H$, $\Delta Y'_0 = \Delta Y'/H$, $\Delta Z'_0 = \Delta Z'/H$: die dimensionlosen Koordinaten-Unterschiede zwischen dem berechneten Unterwasserpunkt und dem gegebenen Unterwasserpunkt. Darin

$$\Delta X' = X' - X, \quad \Delta Y' = Y' - Y, \quad \Delta Z' = Z' - Z = H'_w - H_w.$$

$$\Delta H'_0 = \Delta Z'/H_w$$

Wie in Tabelle 3 gezeigt, erfolgen die Unterschiede der X - und Y -Koordinaten zwischen der scheinbaren Lage und der wahren Lage des gegebenen Unterwasserpunktes, ausser auf der symmetrischen Linie parallel zu der y -achse. Diese Unterschiede werden von dem Ort des Punktes und der gegebenen Bedingung erheblich beeinflusst. Der maximale Unterschied tritt im Eckpunkt 7 auf, und beträgt $100 \times 10^{-6} H$ in der Bedingung $H_w/H=0.01$, $1712 \times 10^{-6} H$ in $H_w/H=0.15$. Deswegen gilt es nicht für einen größeren Wert von H_w/H , die von G.C. Tewinkel vorgeschlagene Voraussetzung²⁾ anzunehmen, daß die Unterschiede zwischen den Grundrißkoordinaten des scheinbaren Punktes und des wahren Unterwasserpunktes nicht vorhanden sind. Die Durchschnittswerte dieser Unterschiede betragen ungefähr $100 \sim 200 \times 10^{-6} H$ im Fall $H_w/H=0.05$. Demnach ist im Fall, daß das Verhältnis H_w/H den Betrag von 0.05 überschreitet, das Tewinkelsche Verfahren nicht mehr anzuwenden*, um die genügende Genauigkeit für die X - und Y -Koordinaten zu erhalten.

Im Fall $H_w/H > 0.05$ können wir das oben entwickelte Näherungsverfahren anwenden. Der Durchschnittswert der Unterschiede der X - und Y -Koordinaten zwischen dem nach diesem Verfahren berechneten Unterwasserpunkt und dem gegebenen beträgt auch im Fall $H_w/H=0.5$ ungefähr nur $100 \times 10^{-6} H$. Daraus folgt, daß das entwickelte Näherungsverfahren die genügend genaue Grundrißkoordinaten liefert. An dem Eckpunkt der Raummodelle wird indessen ein beträchtlich großer Grundrißkoordinaten-Fehler nicht vermieden, und zugleich tritt auch ein größerer Höhenfehler auf. Im folgenden erklären wir die Höhenfehler.

Wir haben immer die scheinbare Wassertiefe H_{aw} in die wahre Wassertiefe H_w umzurechnen, da durch die Brechung des Lichtstrahles H_w ungefähr $1.4 H_{aw}$ ist. In der Bedingung $H_w/H < 0.25$, wie in Tabelle 3 eingetragen, sind die Unterschiede zwischen der berechneten Wassertiefe H'_w und der gegebenen Wassertiefe H_w gering. Sogar im Modell von $H_w/H=0.5$ überschreitet dieser Durchschnittswert ungefähr $200 \times 10^{-6} H$ nicht. Der Maximale Wert dieses Unterschiedes tritt auch am Eckpunkt jedes Raummodells auf, und beträgt $1000 \times 10^{-6} H$ im Fall $H_w/H=0.5$.

* Das Tewinkelsche Verfahren weicht etwas von diesem entwickelten Verfahren ab,

Da das entwickelte Näherungsverfahren und das Tewinkel-Meijersche Verfahren³⁾, die scheinbare Wassertiefe in die wahren Wassertiefe umzurechnen, eine gleiche Wassertiefe ergeben, können wir demnach das Tewinkel-Meijersche Verfahren anwenden, um nur die Wassertiefe des Unterwasserpunktes zu ermitteln.

Der von Tewinkel und Meijer entwickelte Kompensationskoeffizient, H_{aw} zu H_w umzurechnen, ist bequem für die praktischen Anwendung, aber für die Ermittlung der X - und Y -Koordinaten ergibt das Tewinkel-Meijersche Verfahren einen erheblichen Fehler. Das von der Verfasser entwickelte Verfahren ergibt dagegen die genaueren X - und Y -Koordinaten als die Z -Koordinate, und ist brauchbar mit praktisch genügende Genauigkeit.

Für eine Modell von $H_w/H=0.25$ werden die Fehler der X - und Y -Koordinaten der Scheinbaren Lagen in Abb. 9 dargestellt. Für dasselbe Modell werden die Fehler der X - und Y -Koordinaten der berechneten Unterwasserpunkte in Abb. 10 gezeigt.

Die scheinbare Lage und die berechnete Lage eines Unterwasserpunktes haben keinen Fehler der X -Koordinate auf den folgenden Linien: diese sind die durch den Hauptpunkt parallel zu der Y -Achse laufende Gerade und die durch den Mittelpunkt zwischen den beiden Hauptpunkten parallel zu der Y -Achse laufende

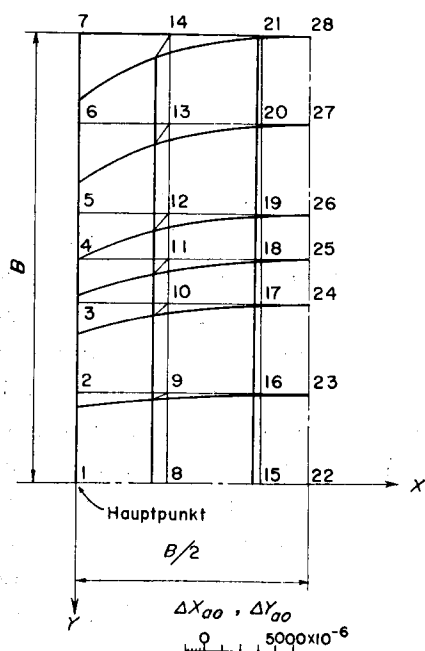


Abb. 9. Die Fehler der Grundrißkoordinaten der scheinbaren Lagen (im Fall $H_w/H=0.25$).

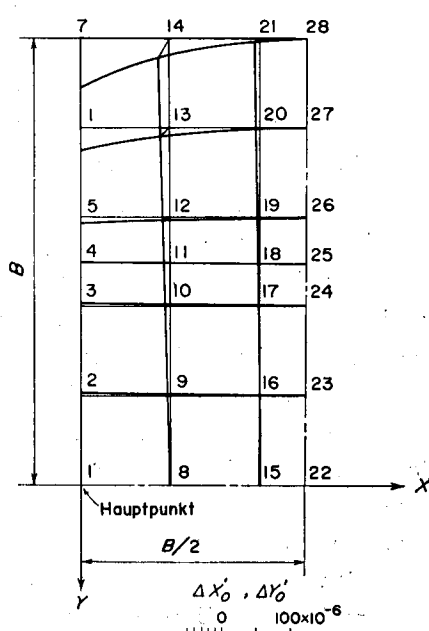


Abb. 10. Die Fehler der Grundrißkoordinaten der berechneten Unterwasserpunkte (im Fall $H_w/H=0.25$).

Gerade. In Bezug auf die scheinbare Lage erscheint der größte Fehler der X -Koordinate nahe am Punkt $X=B/4, Y=0$, aber in Bezug auf den berechneten Unterwasserpunkt erscheint dieser größte Fehler nahe am Punkt $X=B/4, Y=B/2$.

Wir haben die Aufmerksamkeit auf die Tatsache zu lenken, daß in jedem Modell der maximale Fehler der Y -Koordinate größer ist als derjenige der X -Koordinate und er an der Ecke des Modells auftritt. Der Fehler der Y -Koordinate verschwindet auf den folgenden Linien: diese sind die durch den Mittelpunkt zwischen der beiden Hauptpunkten parallel zu der Y -Achse laufende Gerade und die die beiden Hauptpunkte verbindende Gerade.

Tabelle 4 zeigt die Y -Parallaxe, die auf der Bildebene auftritt. Der Wert der Y -Parallaxe ändert sich in gleicher Weise mit der Änderung der Fehler der Y -Koordinate. Leider sind erheblich große Y -Parallaxen im Modell, das den größeren Wert von H_w/H hat, vorhanden, so daß es unmöglich ist, Bilder eines sehr tiefen Unterwasserobjektes stereoskopisch zu sehen und auszumessen.

Tabelle 4. Maximale Y -Parallaxe auf der Bildebene
(am Eckpunkt 7).

| Modell | H_w/H | Y -Parallaxe (mm) |
|--------|---------|------------------------|
| b | 0.05 | 0.158 |
| c | 0.15 | 0.538 |
| d | 0.25 | 1.036 |
| e | 0.50 | 3.067 |

Wir haben vorausgesetzt, daß als die scheinbare Lage eines Unterwasserpunktes der Mittelpunkt der Strecke $\bar{S}_1\bar{S}_2$ auf der Projektionsebene anzusehen ist, wo die X -Koordinaten der beiden Schnittpunkte eines entsprechenden Einfallstrahlenpaares gleich sind (Abb. 6). Wir können auch voraussetzen, daß als die scheinbare Lage einer von den Schnittpunkten eines Einfallstrahlenpaares mit der Projektionsebene anzusehen ist. Die danach berechneten Ergebnisse zeigen, daß die Fehler der Grundrißkoordinaten der scheinbaren Lagen ziemlich kleiner sind als die nach bisher erwähnten Näherungsverfahren, wenn die Auswahl des Schnittpunktes geeignet ist. Deshalb können wir die Grundrißkoordinaten der scheinbaren Lage mit der höheren Genauigkeit als oben bestimmen. Aus den rechnerischen Beispielen ist das Folgende klar geworden: Im linken Halnteil des Modells ist der Schnittpunkt des rechten Einfallstrahles mit der Projektionsebene als die scheinbare Lage des Unterwasserpunktes anzusehen, und im rechten Halnteil der Schnittpunkt des linken Einfallstrahles.

Dieses letzte Verfahren ist zweckmäßiger als das erste, weil der Grundriß-Lagefehler kleiner wird, und bei der stereoskopischen Beobachtung genügt es, ein

einzelnes Bild für sich zu verschieben, um die infolge der Brechung auftretende Y -Parallaxe zu beseitigen. Nach diesem Verfahren sind die Grundrißkoordinaten der scheinbaren Lagen ziemlich genau, wenn die Bedingung $H_w/H < 0.15$ erfüllt ist.

7. Zusammenfassung

Die hauptsächlichsten Schwierigkeiten in der Zweimedienphotogrammetrie sind folgende:

- (1) Das photographische Abbildungsgesetz ist kompliziert, da ein Lichtstrahl an der Wasseroberfläche zwischen dem Unterwasserpunkt und dem Aufnahmeobjektiv gebrochen wird.
- (2) Um den Vorgang des Lichtstrahles zu verfolgen, ist es nötig, daß die Höhe der Wasseroberfläche bekannt ist.
- (3) Die in die Aufnahmeobjektive gelangenden einander entsprechenden Einfallstrahlen schneiden sich nicht.
- (4) Unter gewissen Bedingungen sind die Y -Parallaxen zwischen diesen beiden Einfallstrahlen so groß, daß eine stereoskopische Beobachtung unmöglich ist.

Wenn wir die Punkte auf einem Bildpaar im einzelnen ausmessen können und elektronische Rechengeräte brauchbar sind, so verschwindet der größte Teil dieser Schwierigkeiten.

Wenn wir gewöhnliche Doppelbildauswertegeräte anwenden wollen, läßt sich die Verwendung der optischen Kompensations-Verfahren¹⁾²⁾ gedenken, um die oben gezeigten Schwierigkeiten zu überwinden. Doch sind diese Kompensations-Verfahren nur für besondere Fälle brauchbar.

Im Fall, daß die größere Y -Parallaxe auf der Projektionsebene auftritt, ist das entwickelte Näherungsverfahren unbequem anzuwenden, aber dieses Verfahren ist in verschiedenen Fällen brauchbar und wir können ausreichend genaue Ergebnisse mittels gewöhnlicher Auswertegeräte erhalten.

In dieser Studie wird die Orientierungsaufgabe nicht behandelt. Es wurde schon angedeutet, daß auch in der Zweimedienphotogrammetrie, wie in der Einmedienphotogrammetrie, die Orientierung von Bildpaaren möglich ist.¹⁾⁴⁾⁵⁾ Um mittels gewöhnlicher Auswertegeräte (mit mechanischer Projektion) ein Bildpaar zu orientieren, ist es nötig, ein neues praktisches Verfahren zu entwickeln.

Literatur

- 1) K. Rinner: Sonderheft 5 der Österr. Z. für Vermessungswesen (1948)
- 2) G.C. Tewinkel: Photogramm. Engng., **29**, 1037 (1963)
- 3) W.O.J.G. Meijer: Photogramm. Engng., **30**, 1037 (1964)
- 4) K. Zaar: Sonderheft 4 der Österr. Z. für Vermessungswesen (1948)
- 5) B. Shmutter and L. Bonfiglioli: Photogramm. Engng., **33**, 1421 (1967)