

Paper-ID: VGI_196915



Beitrag zur Theorie und den Verfahren der Photogrammetrischen Auswertung

Karl Rinner ¹

¹ *Technische Hochschule Graz, 8020 Graz, Rechbauerstraße 12*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **57** (4), S. 123–131

1969

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Rinner_VGI_196915,  
  Title = {Beitrag zur Theorie und den Verfahren der Photogrammetrischen  
    Auswertung},  
  Author = {Rinner, Karl},  
  Journal = {{\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {123--131},  
  Number = {4},  
  Year = {1969},  
  Volume = {57}  
}
```



A 80—B, B—B 0/1 und B 0/1—B 0/2 Signalstangen eingefluchtet. Da diese Stangen im Winter vom Eisdruck umgeworfen bzw. vernichtet werden können, muß das Einfluchten alljährlich im Frühjahr wiederholt werden.

9. *Schlußbemerkungen*

Die durch verschiedene Umstände bedingte einmalige Arbeitsaufgabe und die Behandlung besonders schwieriger Probleme bilden den Kern dieses Berichtes. Am Rande sind auch die Grundlagen, die Organisation und die Wege zur Durchführung der Arbeiten an Staatsgrenzen erkennbar.

Es muß aber noch das ausgezeichnete Verhandlungsklima innerhalb dieser Gemischten Kommission in besonderer Weise hervorgehoben werden. Nur dadurch war es möglich, die voraussichtlich besten Lösungen sachlich zu suchen. Während dieser Verhandlungen hatten es die Dolmetscher beider Seiten sehr schwer, die unbedingt notwendigen Fachausdrücke unmißverständlich zu übersetzen. Außer den bereits erwähnten Stellen hat die Schiffszollwachabteilung in Mörbisch am See durch Abstimmung ihrer Diensterteilung auf die Arbeiten an der Grenze, wertvolle Hilfe mit ihren beiden Motorbooten geleistet.

Die Plattform über dem Grenzpunkt A 79 wird auch noch einer zusätzlichen Aufgabe dienen. Der Hydrographische Dienst des Amtes der Burgenländischen Landesregierung beabsichtigt entsprechende Geräte für die Messung des Wasserstandes, des Niederschlages und der Windgeschwindigkeit auf der Österreich zugekehrten Ecke der Plattform anzubringen. Die Meßergebnisse könnten auch von der ungarischen Wasserbauverwaltung verwendet werden. Die Gemischte Kommission hat die vorgetragene Absicht zur Kenntnis genommen und keinen Einwand erhoben.

Der Winter 1968/69 brachte auf dem Neusiedler See eine starke Eisdecke. Tauwetter und Wind bewirkten einen starken Eisschollentrieb und an Staustellen einen kräftigen Eisdruck bzw. Eisstoß. Die im Sommer 1968 über den 4 Grenzbruchpunkten errichteten Bauwerke mußten die erste Bewährungsprobe bestehen. Ende März 1969, als der See wieder eisfrei war, konnte bei einer Besichtigung konstatiert werden, daß die Bauwerke alle Erwartungen hinsichtlich Festigkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt haben.

Beitrag zur Theorie und den Verfahren der Photogrammetrischen Auswertung

Von *Karl Rinner*, Graz*)

1. *Vorbemerkung:*

Das Sprichwort „Nichts ist praktischer als eine gute Theorie“ gilt auch für die Photogrammetrie. Auch in dieser Disziplin führen theoretische Erkenntnisse zu optimalen Verfahren für die praktische Arbeit an den photogrammetrischen Geräten und ist jedes Gerät Anlaß zu neuen Verfahren und theoretischen Überlegun-

*) Resumé aus dem Invited Paper „Theorie u. Verfahren d. Auswertung“, vorgelegt der Kommission II am XI. Internationalen Photogrammetrischen Kongreß in Lausanne 1968.

gen, durch deren Verallgemeinerung wiederum neue Theorien entstehen können. Es besteht daher auch in der Photogrammetrie eine enge Wechselbeziehung zwischen Theorie, praktischen Verfahren und Entwicklungen im Gerätebau, von welcher alle Beteiligten Vorteile haben.

Die Theorie der Photogrammetrie hat aber nur eine Wurzel in der Praxis und ist mit dieser von den Entwicklungen der Praxis beeinflusst und abhängig. Eine zweite, mindestens ebenso tiefe, liegt in dem Streben nach wissenschaftlicher Erkenntnis, nach der wissenschaftlich systematischen Durchforschung des Sachgebietes und der Behandlung aller sich anbietenden Probleme ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Überlegungen. Dieses Streben ist völlig frei und unabhängig und ist um seiner selbst willen tätig.

Diese Überlegungen waren maßgebend für die Abfassung des Invited Papers [1]. Darin wurde Umschau gehalten nach offenen Problemen und Lücken in der Theorie und versucht, diese zu formulieren, um damit eine Bearbeitung anzuregen. Auch sich anbahnende Entwicklungen wurden in die Betrachtung einbezogen und eine Beschränkung auf derzeit aktuelle Probleme vermieden. Da [1] in den Berichten des XI. Photogrammetrischen Kongresses aufgenommen ist, soll hier nur eine Auswahl jener Probleme mitgeteilt werden, welche (nach Ansicht des Berichterstatters) von allgemeiner Bedeutung sind.

2. *Das mathematische Modell der photogrammetrischen Aufnahme*

Es ist üblich, den physikalischen Vorgang der photogrammetrischen Abbildung in erster Näherung durch das mathematische Modell der Perspektive zu beschreiben. Für Abweichungen von diesem Modell werden Reduktionen angegeben, welche von physikalischen Vorstellungen abgeleitet sind.

Die Gesetze der perspektiven Abbildung sind bekannt, mathematische Formulierungen für alle denkbaren Probleme liegen in genügendem Ausmaß vor. Ein praktisches Bedürfnis für weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet ist nicht gegeben.

Für die Reduktionen gibt es hinreichende Modellvorstellungen für Verzeichnung und Refraktion, nicht aber für die Vorgänge der photogrammetrischen Schicht und im Träger. Für die Verzeichnung sollten die in der Satellitentriangulation benutzten Formulierungen Anwendung finden, welche alle derzeit absehbaren Fälle in größter Allgemeinheit beschreiben. Durch Spezialisierung und Weglassen von Parametern können diese besonderen Verhältnissen angepaßt werden.

Das Refraktionsmodell sollte erweitert werden, vor allem um den Einfluß der Turbulenz in der Umgebung des Flugzeuges berücksichtigen zu können. Verfahren zur Messung und analytischen Beachtung von charakteristischen Parametern des Refraktionsfeldes zwischen Kammer und Objekt sollten entwickelt werden.

Der unregelmäßige Anteil der Bewegungen in der photogrammetrischen Schicht und des Schichtträgers und von anderen Vorgängen bei der Entwicklung der Schicht kann derzeit nur mit Hilfe eines Reseau's erfaßt werden. (Bei Stellaraufnahmen ersetzen die Sternbilder das Reseau). Die übliche maschenweise Abbildung des Meßbildes auf das Reseau durch lineare Transformation befriedigt aber nicht, weil einem Punkt einer Gitterlinie im allgemeinen verschiedene Bildpunkte entsprechen,

je nachdem, zu welcher Gittermasche der Punkt gezählt wird. Für Arbeiten hoher Präzision sollte daher eine eindeutige Transformation benutzt werden. Vorschläge hierfür sind von Interesse.

3. Die Orientierung von Aufnahmen

Mathematische Entwicklungen für die Orientierung von Aufnahmen liegen in genügendem Maße für alle möglichen Fälle vor. Ein weiterer Bedarf für neue Verfahren ist nicht gegeben. Es besteht aber auch keine Notwendigkeit, bisher eingeführte Verfahren der Orientierung auf jeden Fall beizubehalten. Auch *O. v. Gruber* würde heute nicht mehr ausschließlich die von ihm vorgeschlagenen Orientierungsverfahren empfehlen. Eine Analyse zeigt, daß derzeit und in der nächsten Zeit mit zwei Tatsachen gerechnet werden muß:

- a) Die Analogauswertung wird ihre Bedeutung beibehalten.
- b) In jedem Auswertungszentrum werden leistungsfähige Computer zur Verfügung stehen.

Es bietet sich daher eine Kombination beider an, um optimale Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit und der Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Dies bedeutet, daß Näherungen und iterative Verfahren durch strenge ersetzt werden können, daß mehr als 5 oder 6 Orientierungspunkte benutzt, die Einpassung streng durch digitale lineare Transformation erfolgen und bessere Kriterien für die Genauigkeit der Ergebnisse ermittelt werden können.

Anstelle von Genauigkeitsmaßen für die Orientierungsparameter sollten solche für die gegenseitige Lage der Modellpunkte eingeführt werden, etwa die Matrix der Koordinationsfehler eines Gitters von ausgewählten Modellpunkten. Dadurch würde, wie in der Geodäsie allgemein üblich, die Genauigkeit der Endergebnisse und nicht die von Zwischenprodukten für die Beurteilung der Güte der Verfahren Verwendung finden*).

Weitere Untersuchungen über die optimale Anzahl von Orientierungspunkten und günstige Fehlermaße für die Raumlage von charakteristischen Modellpunkten scheinen daher erwünscht.

Durch Vermehrung der Anzahl der Aufnahmen eines Objektes von verschiedenen Standpunkten wird hinsichtlich der Geometrie eine Verbesserung der Güte der Punktbestimmung erreicht. Überlegungen dazu sind in [1] enthalten. Systematische Untersuchungen über das Ausmaß der in speziellen Fällen erreichbaren Genauigkeitssteigerung sollten ausgeführt werden, um Hinweise für praktische Anwendungen in jenen Fällen zu erhalten, in welchen höchste Genauigkeit ohne Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit erstrebt wird. Eine praktische Anwendungsmöglichkeit ist derzeit in der Satellittriangulation gegeben.

4. Affinauswertung

Aus bekannten gerätetechnischen Gründen hat die Herstellung und Auswertung

*) In der Triangulierung entsprechen den Orientierungsparametern der Photogrammetrie die Orientierungskonstanten der Richtungssätze. Es wäre sicher wenig sinnvoll, die Genauigkeit einer Triangulierung nach den Fehlermaßen dieser Orientierungskonstanten zu beurteilen, statt die Koordinatenfehler zu benutzen.

von affin verformten Modellen nach wie vor praktische Bedeutung. Auch hier bietet die Kombination Analoggerät und Computer neue Möglichkeiten.

Vom Standpunkt der Geometrie sind affine Umformungen erstrebenswert, durch welche Meßbilder in punktweise kongruente Ebenen transformiert werden und die Projektion aus festliegenden Zentren erfolgt. Dies ist bekanntlich in einfacher Weise nur möglich, wenn die Aufnahmeachsen parallel sind. Es läßt sich jedoch zeigen, daß für beliebig geneigte Aufnahmen bei beliebig geformtem Gelände ein affines Modell entsteht, wenn die Kammerkonstanten beider Aufnahmen mit dem gleichen Faktor multipliziert und beide Zentren relativ zum Bild verschoben werden. Geometrische Grundlagen für diese Behauptung sind in [1] und auszugsweise im Anhang mitgeteilt.

Die Herstellung eines affinen Modells kann demnach erfolgen, wenn zusätzlich zu den Orientierungsparametern für jede Aufnahme je 2 Zentriergrößen ermittelt werden. Hierzu sind mindestens 9 homologe Punktepaare nötig. Für die Berechnung eignen sich im besonderen Maße analytische Verfahren, in welchen Parallaxen oder Bildkoordinaten eingeführt werden. Jedoch sind auch iterative Analogverfahren denkbar.

Da bei der affinen Umformung im allgemeinen die Orthogonalität zwischen Lot und Niveaufläche verloren geht, muß bei Analogverfahren die Auswertung für Lage und Höhe getrennt mit verschiedener absoluter Orientierung erfolgen. Dies ist umständlich. Bei digitaler Einpassung beliebig orientierter affin verformter Modelle kann hingegen die Transformation von Modellkoordinaten durch eine räumliche affine Transformation mit Hilfe von 4 vorgegebenen Paßpunkten erhalten werden. Hinweise dazu sind in [1] enthalten. Weitere Untersuchungen über die aufgezeigte Kombination von Analogauswertung und digitaler Rechnung für affine Modelle sollten ausgeführt werden (s. [6], [9]).

5. *Zweimedienphotogrammetrie*

Durch die Notwendigkeit den Meeresboden zu kartieren und Aufgaben der Meeresgeodäsie zu studieren, haben Probleme der Zweimedienphotogrammetrie erhöhte Bedeutung erlangt. Grundaufgaben für den Fall einer ebenen Trennfläche der Medien wurden in [1] in allgemeiner Form formuliert, weitere Beiträge sind in [2] enthalten. Doch liegt noch die Aufgabe vor, Probleme der Orientierung und Auswertung von Zwei- und Mehrmedienaufnahmen systematisch zu studieren, praktische Verfahren zu entwickeln und Fehleruntersuchungen auszuführen. Ebenso sind theoretische Untersuchungen für sphärische und andere Trennflächen der Medien erwünscht. Von den Ergebnissen könnte auch die Theorie der Refraktionsinflüsse befruchtet werden (s. [7], [8]).

6. *Radargrammetrie*

Radarbilder können bereits jetzt für kartographische Zwecke benutzt werden. Da weitere Verbesserungen in der Bildqualität abzusehen sind, erscheint es notwendig, die Geometrie von Radarbildern zu studieren und Verfahren für die Orientierung und Auswertung der Bilder bereitzustellen. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß Radarbilder wichtige Ergänzungen, in bestimmten Fällen sogar ein

Ersatz für photogrammetrische Aufnahmen sind, und ihre Auswertung zu Problemen führt, welche den photogrammetrischen analog sind.

In einem Radarbild werden gemessene Schrägentfernungen oder daraus abgeleitete Größen von einem Zentrum in Azimuten aufgetragen, welche vom betrachteten Punkt und der Raumlage der Bildebene oder der dazu normalen Antennenachse abhängen. Ein Radarbild kann daher als ebene Projektion des Objektes mit Hilfe von konzentrischen Kreisbüschel durch die Antennenachse angesehen werden. Als derartige Projektion läßt sich die Geometrie eines Radarbildes mit der Geometrie der photogrammetrischen Aufnahme vergleichen, bei welcher die Projektion durch Strahlenbündel erfolgt.

Mathematische Formulierungen sind hierfür in [1] enthalten und auszugsweise im Anhang, Ziffer 2, wiedergegeben. Weitere Betrachtungen dazu werden in [3] mitgeteilt. Diese unterscheiden sich von den an anderer Stelle publizierten durch die größere Allgemeinheit der Annahmen und den Versuch, in Analogie zur Photogrammetrie Abbildungsgleichungen und Orientierungsfälle zu definieren und zu beschreiben. Ausführliche weitere Untersuchungen über praktische Verfahren für Orientierung und Auswertung, sowie die zugehörige Fehlertheorie sind noch durchzuführen.

7. Weitere Probleme

Die Ausmessung extraterrestrischer Himmelskörper mit Hilfe von Photographien und Fernsichtaufnahmen stellt neuartige Probleme für die Orientierung und Auswertung von Aufnahmen mit bewegtem Zentrum und profilförmigen Elementen. Diese sollten in allgemeiner Form studiert werden, um auf breiter Basis theoretische Grundlagen zur Verfügung zu stellen. Auch die geometrischen Eigenschaften von Hologrammen und thermischen Bildern, sowie ihre Verwendung für die Ausmessung von Objekten und die zugehörigen Fehlerstudien liegen zur Bearbeitung vor.

8. Schlußbetrachtung

Bei der Diskussion der photogrammetrischen Geräte wurde an anderer Stelle vom Überschreiten einer Schwelle gesprochen, welche eine neue Entwicklungsphase einleiten wird. Dies gilt auch für das Gebiet von Theorie und Verfahren, welches nach einem weitgehenden Abschluß der zentralen Aufgaben neue Möglichkeiten in den Randgebieten anbietet.

Eine Zusammenfassung ergibt den folgenden Ausblick:

Für die Auswertung herkömmlicher photogrammetrischer Aufnahmen besteht als Hauptproblem die Reduktion der Aufnahme in das benutzte Modell der Perspektive, sowie das Auffinden geeigneter Kombinationen zwischen Analogverfahren und digitaler Berechnung in Automaten. Bei analytischer Auswertung verdient auch die durch mehrfache Überdeckung mögliche Genauigkeitssteigerung Beachtung. Die Zwei- und Mehrmedienphotogrammetrie stellt noch grundsätzliche Probleme, deren systematische Untersuchung empfehlenswert erscheint. Auch in der Radargrammetrie besteht noch ein Bedürfnis nach allgemeinen geometrischen Untersuchungen, welche Grundlagen für Orientierungs- und Auswertungsverfahren sein können. Wegen der zunehmenden Bedeutung der Radargrammetrie als Ergänzung der Photogrammetrie besitzt diese Aufgabe besondere Be-

deutung. Randgebiete, in welchen die Anwendung photogrammetrischer Verfahren oder von Analogien dazu zweckmäßig erscheint, sollten in die Reihe der photogrammetrischen Betrachtungen einbezogen werden.

Anhang

1. Geometrische Beziehungen für affine Modelle

Eine Ebene ϵ wird durch eine perspektive Affinität in eine punktwise kongruente Ebene ϵ' übergeführt, wenn entweder ϵ (und ϵ') parallel zur Affinitätsebene AA sind, oder die Richtung R der Affinitätsstrahlen parallel zu den Drehsehnen der Ebenen ϵ, ϵ' liegt. Im ersten Fall (Abb. 1, 2) können Richtung R und Streckungsfaktor

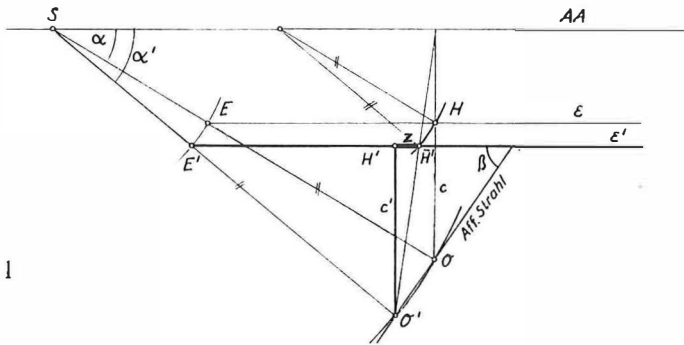


Abb. 1

k für diese beliebig angenommen werden, im zweiten (Abb. 2) sind beide von den Winkeln α und α' abhängig, welche ϵ und ϵ' mit AA bilden. Darauf wurde auch in [9] hingewiesen. Für den Streckungsfaktor k gilt die Beziehung

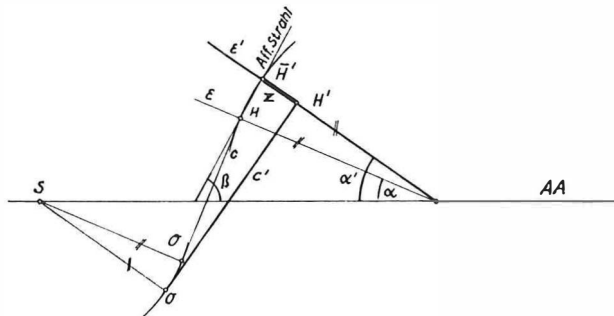


Abb. 2

$$k = \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} \dots (1a)$$

der Winkel β , von R mit der Ebene AA ist durch

$$\beta = \frac{1}{2} (\pi - \alpha' - \alpha) \dots (1b)$$

bestimmt.

Bezeichnet c den Normalabstand eines beliebigen Punktes O von ϵ , so gilt für den Normalabstand c' des entsprechenden Punktes O' von ϵ' in beiden Fällen die einfache Gleichung:

$$c' = k c \dots (2)$$

Für die als Abstand des Fußpunktes H' von O' in ϵ' vom Bild $\overline{H'}$ des Fußpunktes

H von 0 in ε definierte Zentriergröße z bestehen jedoch verschiedene Beziehungen. Parallele Ebenen $\varepsilon, \varepsilon'$:

$$z = (c' - c) \cot \beta = (c' - c) \tan \frac{\alpha' + \alpha}{2} \quad \dots (3a)$$

Geneigte Ebenen $\varepsilon, \varepsilon'$:

$$z = (c' + c) \tan \frac{\alpha' - \alpha}{2} \quad \dots (3b)$$

Die Gln. (1) bis (3) sind Grundlage für die Bildung affiner photogrammetrischer Modelle mit Hilfe der ursprünglichen Aufnahmen.

Werden die Kammerkonstanten von 2 beliebigen photogrammetrischen Aufnahmen mit einem Faktor multipliziert, so ergeben die deformierten Bündel nach geeigneter Dezentrierung (Verschiebung der Bildhauptpunkte) jeder der Aufnahmen ein affines Modell.

Um dieses zu erhalten, wird AA parallel zu einer der Aufnahmen gewählt, so daß der Winkel α für die zweite bekannt ist. Aus Gl. (1 a, b) folgen α' und β und damit die Lage der zweiten Bildebene und die Richtung R der Affinitätsstrahlen. Die Zentriergrößen sind durch die Gln. (3a, b) bestimmt.

Da für das affine Modell zusätzlich zu den 5 Parametern der relativen Orientierung noch je 2 Zentriergrößen zu bestimmen sind, kann das affine Modell mit Hilfe von 9 homologen Bildpunktpaaren hergestellt werden. Für die Ermittlung der Orientierungsparameter kommen vor allem analytische Verfahren in Betracht. Wegen der Auswertung in Analoggeräten sei auf [1] verwiesen.

2. Orientierung von Radarbildern

Ein Radarbild ist orientiert, wenn die Raumlage des Meßzentrums 0 und der Bildebene π bekannt sind. Erstere wird durch die 3 Koordinaten (X_0, Y_0, Z_0) des Ortsvektors \mathbf{x}_0 , letztere durch die 3 Parameter (ρ_1, ρ_2, ρ_3) einer orthogonalen Orientierungsmatrix \mathbf{R} bestimmt, welche die Lage eines mit der Bildebene verbundenen orthogonalen Achssystems $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ festlegt (s. Abb. 3). Zwei der Achsen \mathbf{i}, \mathbf{j} liegen

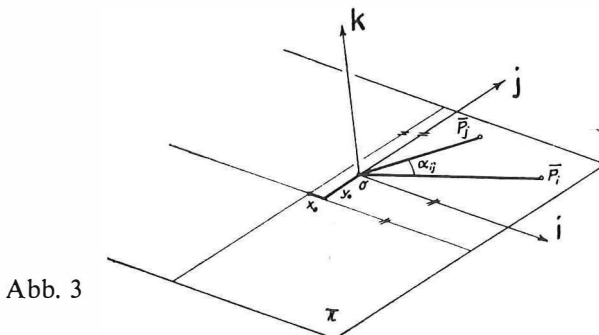


Abb. 3

in der Bildebene, die dritte \mathbf{k} ist normal dazu und bestimmt die Umdrehungsachse der Antenne. Wie in der Photogrammetrie sind $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ Spaltenvektoren von \mathbf{R} . Jeder Objektpunkt P ist im System $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ durch den Richtungswinkel α des Bildpunktes P^c in der Bildebene π , dem von der Antennenachse (\mathbf{k} -Achse) an gezählten

Winkel β und die gemessene Schrägentfernung s bestimmt. Für den Ortsvektor von P gilt daher:

$$\mathbf{p}^T = (s \sin \beta \cos \alpha, s \sin \beta \sin \alpha, s \cos \beta) \quad \dots (1a)$$

Bezeichnen (x, y) und (x_0, y_0) die Bildkoordinaten des Bildpunktes P^c und des Meßzentrums 0 , so bestehen die Beziehungen:

$$s \cos \alpha = x - x_0, s \sin \alpha = y - y_0 \quad \dots (2)$$

Mit diesen und dem Parameter

$$\lambda = \sin \beta \quad \dots (3)$$

geht Gl. (1a) in eine von λ abhängige Beziehung über, welche als Gleichung des Büschels der kreisförmigen Projektionsstrahlen im örtlichen System $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ angesehen werden kann.

$$\mathbf{p}^T = (\lambda (x - x_0), \lambda (y - y_0), [(1 - \lambda^2) [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]]^{1/2}) \quad \dots (1b)$$

Im System der Objektkoordinaten bestehen daher die Gleichungen:

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{R} \mathbf{p}, \quad \mathbf{p} = \mathbf{R}^T (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \quad \dots (4)$$

Diese Grundgleichungen der Radargrammetrie vermitteln den Zusammenhang zwischen den Koordinaten (X, Y, Z) des Objektpunktes P , den Bildkoordinaten (x, y) seines Bildpunktes P^c und den 8 Orientierungsparametern des Radarbildes. Die Bildkoordinaten (x_0, y_0) des Meßzentrums bestimmen die innere, $\mathbf{R} (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ und $\mathbf{x}_0 (X_0, Y_0, Z_0)$ die äußere Orientierung des Radarbildes.

Wird daraus der Koeffizient λ eliminiert, so verbleiben 2 skalare Gleichungen für Objekt-, Bildkoordinaten und die Orientierungsparameter.

Eine der Gleichungen entspricht der Bedingung, daß Objektpunkt P , Bildpunkt P^c und Antennenachse \mathbf{k} in einer Ebene liegen und kann daher in der Form

$$(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \left(-(x - x_0) \mathbf{j} + (y - y_0) \mathbf{i} \right) = 0 \quad \dots (5)$$

dargestellt werden. Die zweite drückt aus, daß die Entfernung des Bildpunktes P^c vom Zentrum 0 eine bekannte Funktion der gemessenen Entfernung s sein muß.

Wird im Bild die gemessene Entfernung angezeigt, so gilt hierfür:

$$s = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} = \sqrt{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^2} \quad \dots (6a)$$

Erfolgt, wie üblich, eine Reduktion durch Projektion auf eine zur Bildebene im Abstand h liegende parallele Ebene, so hat sie die Form (s. Abb. 4):

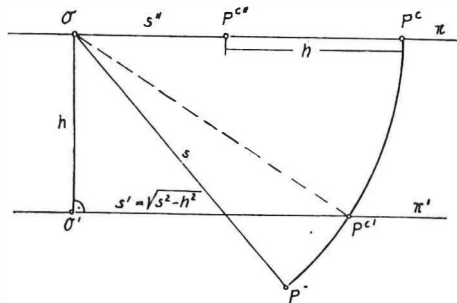


Abb. 4

$$s' = \sqrt{(x' - x_0')^2 + (y' - y_0')^2} = \sqrt{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^2 - h^2} \quad \dots (6b)$$

Für die Reduktion mit Hilfe einer konstanten, einem Betrag s_0'' entsprechenden, Laufzeitverschiebung folgt:

$$s'' = \sqrt{(x'' - x_0'')^2 + (y'' - y_0'')^2} = \sqrt{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^2} - s_0'' \quad \dots (6c)$$

Für beide Gleichungen lassen sich auch explizite Formen für die Bildkoordinaten angeben. Z. B. folgt aus den Gln. (5) und (6a):

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \mu (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{i} \\ y &= y_0 + \mu (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{j} \quad \dots (7) \\ \mu^2 &= \frac{1}{\lambda^2} = \frac{[(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{k}]^2}{[(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{i}]^2 + [(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{j}]^2} + 1 \end{aligned}$$

Bei vorgegebener Orientierung können daraus Bildkoordinaten eines vorgegebenen Objektpunktes ermittelt werden.

Wie in der Photogrammetrie vermittelt demnach auch in der Radargrammetrie jeder abgebildete Objektpunkt 2 Bestimmungsgleichungen für die Orientierungsparameter und Objektkoordinaten. Mit 4 Paßpunkten können daher alle 8 Parameter ermittelt werden, bei Kenntnis der inneren Orientierung genügen 3 Paßpunkte.

In diesem Fall kann die Lage x_0 des Meßzentrums aus den 3 gemessenen Entfernungen durch einen Bogenschnitt ermittelt werden.

Für die 3 Drehparameter verbleiben aus der ersten der Gln. (4) 3 skalare Gleichungen. Von diesen können 2 als Bestimmungsgleichungen eines sphärischen Rückwärtsschnittes für das Bild der Antennenachse k auf einer Richtungskugel gedeutet werden. Die restliche als Gleichung für die Ermittlung einer Orientierungskonstanten (s. [1]).

Für die Orientierung eines Radarbildpaares sind bei vorliegender innerer Orientierung 12 Parameter zu bestimmen. Von diesen können 6 als Parameter der relativen Orientierung eines einschließlich des Maßstabes bestimmten Modelles angesehen werden, die restlichen bestimmen eine Lineartransformation, ohne Streckung. Aus dem Inhalt von 2 Radaraufnahmen kann daher ein Modell im richtigen Maßstab hergestellt werden, für die Einpassung desselben sind 6 geeignete Koordinaten von Paßpunkten erforderlich.

Literatur:

- [1] *K. Rinner*: Theorie und Verfahren der Auswertung. XI. Intern. Kongreß für Photogrammetrie, Lausanne 1969.
- [2] *K. Rinner*: Problems of Two-Medium Photogrammetry Photogrammetric Engineering, March 1969, S. 275–282.
- [3] *Jordan-Eggert-Kneißl*: Handbuch der Vermessungskunde, Bd. V. Metzlersche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.
- [4] *Jochmann, H.*: Eine Möglichkeit zur Genauigkeitssteigerung des Folgebildanschlusses. Wiss. Zeitschr. der TH Dresden, 1963.
- [5] *Krukikoski, S. J.; Chapelle, W. E.*: Laser Optics, Holograms and photogr. Measurements Bendix Res. Lab. 1967.
- [6] *Schoeler, H.*: Die Theorie der umgeformten Strahlenbündel und ihre praktische Anwendung im Stereometreograph aus Jena, Vermessungsinformation, Jena 1964, Sonderheft B., S. 10.
- [7] *Zaar, K.*: Zweimedienphotogrammetrie, Österr. Zeitschrift f. Vermessungswesen, Sonderheft 4, Wien 1948.
- [8] *Rinner, K.*: Abbildungsgesetz und Orientierungsaufnahmen der Zweimedienphotogrammetrie, Österr. Zeitschr. f. Verm.-Wesen, Sonderheft 5, Wien 1948.
- [9] *Finsterwalder, R.*: Über affindeformierte Modelle. Bildm. u. Luftbildwesen 1965.