



## Orientierungsgrundlagen für das Radarrundbild mit genäherten Horizontalentfernungen

Franz Geier <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Landesbaudirektion/Ref. Vermessungswesen, A-8010 Graz, Hofgasse 2*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **61** (1), S. 10–19

1973

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Geier_VGI_197303,  
  Title = {Orientierungsgrundlagen f{"u}r das Radarrundbild mit gen{"a}herten  
    Horizontalentfernungen},  
  Author = {Geier, Franz},  
  Journal = {{{"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
    Photogrammetrie},  
  Pages = {10--19},  
  Number = {1},  
  Year = {1973},  
  Volume = {61}  
}
```



### *Literatur*

- [1] *Ebner, H. und Wagner, W.*: Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen am Planimat von Zeiss — eine Geräteuntersuchung. BuL 38, Seite 249—257, 1970.
- [2] *Ackermann, F.*: Gesetzmäßigkeiten der absoluten Lagegenauigkeit von Blöcken. BuL 36, Seite 3—15, 1968.
- [3] *Ebner, H.*: Die theoretische Lagegenauigkeit ausgeglichener Blöcke mit bis zu 10000 unabhängigen Modellen. BuL 38, Seite 225—231, 1970.
- [4] *Ackermann, F., Ebner, H., und Klein, H.*: Ein Rechen-Programm für die Streifentriangulation mit unabhängigen Modellen. BuL 38, Seite 206—217, 1970.
- [5] *Ackermann, F., Ebner, H. und Klein, H.*: Ein Programm-Paket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen. BuL 38, Seite 218—224, 1970.
- [6] *Ebner, H.*: Methoden der räumlichen Blockausgleichung und ihr numerischer Aufwand. ÖZfV 5/1971, Seite 129—139.
- [7] *Klein, H.*: Das Rechenprogramm HYCHOL für die Lösung großer, symmetrischer, positiv definiter linearer Gleichungssysteme. Conférence internationale sur les méthodes de l'informatique en Géodésie. Comptes-Rendus, Fascicule III-A, Seite 115—125.
- [8] *Kraus, K.*: Blockausgleichungen im Kataster und in der Flurbereinigung — Diskussion praktischer Beispiele. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft 53, Seite 73—97.

## **Orientierungsgrundlagen für das Radarrundbild mit genäherten Horizontalentfernungen**

Von *Franz Geier*, Graz

### *Zusammenfassung*

Im vorliegenden Beitrag wird versucht, eine allgemein gültige Formulierung für das Problem der Orientierung zu finden, sodann wird auf die Orientierung von Radarbildern eingegangen und schließlich eine Lösung für die analytische Orientierung des Radarrundbildes mit genäherten Horizontalentfernungen angeboten.

### *Summary*

In the following an attempt is made to find a generally valid formulation for the problem of orientation. Then the orientation of Radar pictures is discussed, and finally a solution for the analytical orientation of Radar panorama pictures with approximate horizontal distances is given.

In der Photogrammetrie versteht man unter Orientierung die Ermittlung jener Parameter, welche Form und Raumlage des die Aufnahme vermittelnden Strahlengebildes festlegen, wobei die Form des Strahlengebildes durch die innere und die Raumlage durch die äußere Orientierung bestimmt wird. Die Geometrie des Radar ist grundsätzlich verschieden von der auf perspektiven Zusammenhängen beruhenden Geometrie der photographischen Aufnahme. Es gilt daher, das Problem der Orientierung neu zu formulieren, wobei von einer allgemeinen Problemstellung auszugehen ist, welche alle denkbaren Aufnahmesysteme einschließt.

Eine Abbildung ist definiert, wenn der Zusammenhang zwischen Ur- und Abbild feststeht. Dieser Zusammenhang kann durch rein mathematische Zuordnung gegeben sein oder durch ein physikalischen Grundgesetzen unterworfenen System vermittelt werden. In letzterem Falle ist die Zuordnung bestimmt durch die Eigenart des Systems, seine Lage im Raum und die physikalischen Zusammenhänge

innerhalb des Systems. Die Ermittlung der genannten drei Spezies stellt den vollständigen Zusammenhang zwischen dem Produkt einer wie immer durchgeführten Aufnahme mit dem Urbild dar und kann daher als Orientierung in weitestem Sinne bezeichnet werden (Fig. 1).

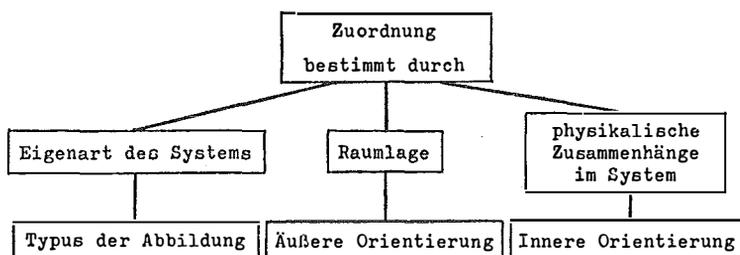


Fig. 1

Die Eigenart des Systems begründet den Typus der Abbildung. Ein bestimmtes System vermittelt Abbildungen, welche diesem System spezifische Eigenschaften aufweisen. Jene Eigenschaften sind nur von der Grundkonzeption abhängig und gelten daher für alle mittels des Systems möglichen Abbildungen.

Als Aufgabe der inneren Orientierung ist die Erforschung der physikalischen Zusammenhänge innerhalb des Systems anzusehen. Es ist hiebei von der Wirklichkeit der Abbildung auszugehen, und es liegt in der Natur alles Materiellen, daß es Abweichungen von der abstrakten Grundkonzeption gibt. Während die Grundkonzeption eines bestimmten Systems immer und überall gleich bleibt, sind die physikalischen Zusammenhänge bei jeder Verwirklichung anders, so daß es streng genommen keine zwei Systeme mit gleichen physikalischen Zusammenhängen gibt. Die Parameter, welche jene Zusammenhänge kennzeichnen, sind daher für jedes Gerät neu zu bestimmen. Sie sind jedoch konstant für Abbildungen, welche mit ein und demselben Gerät zustande kommen, solange jenes keiner Veränderung unterworfen ist und unter gleichen physikalischen Bedingungen arbeitet. Die Anzahl der Parameter hängt von einer Unzahl physikalischer Einflüsse ab, so daß eine Zusammenfassung nach wesentlichen Merkmalen zu Gruppen geboten erscheint.

Als letztes verbleibt die Ermittlung der Lage des Systems im Raum als Aufgabe der äußeren Orientierung. Sie beinhaltet im dreidimensionalen Raum die Bestimmung von 6 Parametern, wovon drei die Raumlage eines bestimmten Bezugspunktes des Systems und drei ein mit dem System verbundenes Trippel orthogonaler Einheitsvektoren festlegen.

Nach diesen allgemeinen Formulierungen ist auf die Orientierung von Radarbildern im allgemeinen und auf die Orientierung des Radarrundbildes mit genäherten Horizontalentfernungen im speziellen einzugehen. Das Grundprinzip der Radarmessung besteht in der Registrierung der Raumentfernung zu Objektpunkten, welche in einer zur Achse der Sendeantenne normalen Ebene liegen, wobei einzig und allein die gemessene Raumentfernung als ordnendes Element auftritt. Punkte gleicher Raumentfernung werden aufgenommen gleich einem einzigen Punkt mit einer Rückstrahlungsintensität, welche der Gesamtheit aller erfaßten Punkte ent-

spricht. Es ist möglich, die registrierten Schrägentfernungen auf elektrischem Wege in der Weise zu verändern, daß man entweder eine konstante Länge abzieht oder aber unter Annahme eines konstanten Höhenunterschiedes eine Reduktion auf genäherte Horizontalentfernungen nach Pythagoras vornimmt. Durch diese Manipulationen wird jedoch die grundlegende Ordnung der Punkte nach der Raumentfernung nicht berührt. Bei feststehender Antenne wird ein Profil abgetastet. Bewegt sich die Antenne im Raum, so wird das Objekt durch eine kontinuierliche Folge von Profilen erfaßt. Die Registrierung der Raumentfernungen oder der hieraus abgeleiteten Größen erfolgt auf einer Bildfläche in einer räumlichen Folge, welche der Bewegung der Antenne entspricht. Fig. 2 enthält eine schematische Darstellung des Grundprinzips der Radarmessung.

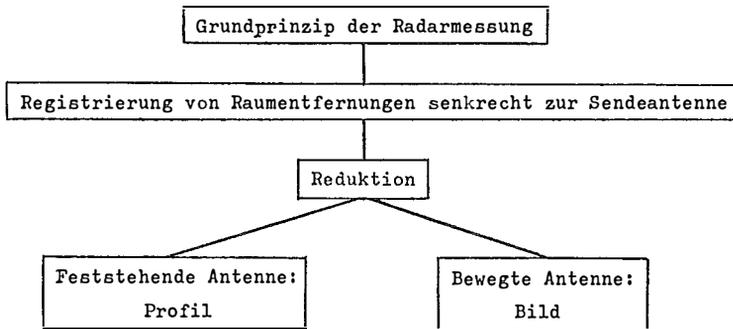


Fig. 2

Die Aussagen über die Art der Reduktion der Raumentfernungen und der Bewegung der Antenne bestimmen die Grundkonzeption eines Radarsystems und somit das geometrische Modell. Die innere Orientierung enthält drei Gruppen von Parametern, wobei die erste Gruppe die Bezugspunkte der registrierten Raumentfernungen und die zweite den Maßstab festlegt. Die dritte Gruppe behandelt die Abweichungen der Wirklichkeit der Abbildung vom geometrischen Modell. Die äußere Orientierung umfaßt die drei Raumkoordinaten des Meßzentrums und das die Antennenstellung anzeigende Vektorentrippel, beides repräsentativ für eine Ausgangslage (Fig. 3).

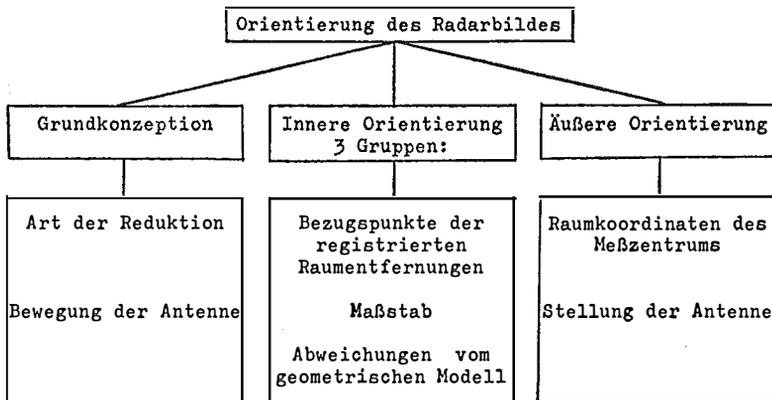


Fig. 3

Die Elemente der Orientierung des Radarrundbildes mit genäherten Horizontalentfernungen sind:

a) Die Grundkonzeption, gekennzeichnet durch Messung des ebenen Azimuts der Punkte des Objektes von einem Zentralpunkt aus und der aus der Raumentfernung Zentrum-Objektpunkt ( $s$ ), sowie einem Parameter ( $h$ ) abgeleiteten Größe

$$s_e = \sqrt{s^2 - h^2}$$

und direkte Zuordnung der Meßgrößen als ebene Polarkoordinaten der Bildpunkte.

b) Die innere Orientierung mit den beiden Koordinaten des Bildhauptpunktes als Parameter der ersten Gruppe und dem Modellparameter  $h$  sowie dem Bildmaßstab als Parameter der zweiten Gruppe. Schließlich können als Parameter der dritten Gruppe jene beiden Koordinatendifferenzen angesehen werden, welche die tatsächliche Lage eines Bildpunktes in bezug auf seine dem Modell entsprechende Sollage festlegen.

c) Von den 6 Parametern der äußeren Orientierung bestimmen drei die Lage des (im Raum feststehenden) Zentralpunktes, zwei die Richtung der (ebenfalls feststehenden) Rotationsachse und die letzte die durch eine bestimmte Ausgangslage der Antenne definierte Bezugsrichtung des Systems.

*Abbildungsgleichungen für den allgemeinen Fall*

$$\begin{aligned} x_B &= x_o + \mathbf{i}'(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o) m \sqrt{1 + \frac{[\mathbf{k}'(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o)]^2 - h^2}{[\mathbf{i}'(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o)]^2 + [\mathbf{j}'(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o)]^2}} \\ y_B &= y_o + \mathbf{j}'(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o) m \sqrt{\dots} \end{aligned} \quad \dots(4a)$$

$\mathbf{x}$  = Ortsvektor des Objektpunktes  
 $\mathbf{x}_o$  = Ortsvektor des Zentralpunktes  
 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  = Spaltenvektoren der Drehmatrix  $\mathbf{R}$   
 $m$  = Bildmaßstab  
 $h$  = Modellparameter  
 $x_o, y_o$  = Bildkoordinaten des Hauptpunktes  
 $x_B, y_B$  = nicht zentrierte Bildkoordinaten

*Gleichungen für die Rückabbildung*

$$(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o)^2 - (\mathbf{b}^2 + h^2) = 0 \quad \dots(4b)$$

$$(\mathbf{x} - \mathbf{x}_o)' \mathbf{n} = 0 \quad \dots(4c)$$

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} x_B - x_o \\ y_B - y_o \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{n} = \mathbf{R}(\mathbf{b} \times \mathbf{k})$$

Fig. 4

Radarrundbild mit genäherten Horizontalentfernungen

Den Aufgaben der analytischen Orientierung sind die in Fig. 4 dargestellten allgemeinen Gleichungen für Abbildung und Rückabbildung zu Grunde zulegen. Als Standardaufgaben sind zu nennen:

1. Die Eichung als Ermittlung der Elemente der inneren Orientierung bei bekannter Lage von Zentralpunkt und Drehachse im Raum. Aus den Angaben über Aufnahmeort und Richtung der Drehachse lassen sich die gegebenen Koordinaten der Objektpunkte in ein System überführen, welches gegen das modellorientierte System nur mehr eine Verkantung aufweist und man erhält die in Fig. 5 dargestellten Bestimmungsgleichungen für die Orientierungsunbekannten.

*Eichung, Bestimmungsgleichungen für die Orientierungsunbekannten*

$$x_B = x_o + (x' \cos \alpha_o + y' \sin \alpha_o) m \sqrt{1 + \frac{z'^2 - h^2}{x'^2 + y'^2}}$$

$$y_B = y_o + (y' \cos \alpha_o - x' \sin \alpha_o) m \sqrt{1 + \frac{z'^2 - h^2}{x'^2 + y'^2}}$$

Gegebene Größen:

$x', y', z'$  = transformierte Objektkoordinaten

$x_B, y_B$  = ausgemessene Bildkoordinaten

Gesuchte Größen:

$x_o, y_o$  = Koordinaten des Bildhauptpunktes

$\alpha_o$  = Verkantung

$m$  = Bildmaßstab

$h$  = Modellparameter

Fig. 5

Radarrundbild mit genäherten Horizontalentfernungen

2. Die Ermittlung der Elemente der äußeren Orientierung bei bekannter innerer Orientierung. Von den sechs Parametern der äußeren Orientierung wirken nur drei in radialer Richtung, nämlich die drei Koordinaten des Zentralpunktes. Die Lage des Zentralpunktes kann daher durch räumlichen Bogenschnitt getrennt von den übrigen Parametern bestimmt werden. Jeder idente Punkt bestimmt eine Kugel im Raum. Zwei Kugeln schneiden sich in einem Kreis. Drei Kugeln haben zwei gemeinsame Punkte (reell, zusammenfallend oder imaginär). Der räumliche Bogenschnitt ist also durch drei aus dem Bild ermittelte Raumentfernungen identer Punkte vom Meßzentrum gegeben, wobei die Zweideutigkeit der Aussage für die Fälle des Airborne Radar ohne Belang ist. Der Ansatz für den Bogenschnitt folgt aus der Gleichung 4b (Fig. 4). Die Drehmatrix kann aus der Gleichung 4c zusammen mit den bekannten Bedingungen für Orthogonalität und Normierung ermittelt werden. Die Ausgangsbeziehung für die Drehmatrix enthält aber auch die Lagekoordinaten des Zentralpunktes, so daß eine Korrelation zwischen allen sechs Größen der äußeren Orientierung vorliegt und die gleichzeitige Ermittlung von Aufnahmeort und Drehparameter vorteilhaft ist. Die getrennte Ermittlung wird daher, ähnlich wie in der Photogrammetrie, nur in der Vorausgleichung von Bedeutung sein.

3. Die gemeinsame Ermittlung aller Orientierungsparameter des geometrischen Modells. Das geometrische Modell eines Einzelbildes enthält 10 wesentliche Parameter. Durch die Einführung von Näherungswerten erhält man aus den Gleichungen für die Rückabbildung zwei getrennte Gruppen von Verbesserungsgleichungen für die Ablagen in tangentialer und in radialer Richtung.

4. Die Orientierung eines Paares von Radarbildern. Man kann hier, wie in der Photogrammetrie, zwischen relativer und absoluter Orientierung unterscheiden.

4. a) Die relative Orientierung. Bei der Rückabbildung des Radarbildes bleibt, wie bei jeder Abbildung eines zweidimensionalen Raumes in einen dreidimensionalen Raum, ein Freiheitsgrad offen. Durch ein Bildpaar hiegegen ergeben sich für jeden Objektpunkt vier Bestimmungsstücke, sodaß infolge von nur drei Freiheitsgraden des Objektraumes jedes homologe Punktepaar genau eine Bedingungsgleichung liefert. Von den vier Grundgleichungen der Rückabbildung bestimmen zwei die Ebenen  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  der Projektionskreise und die beiden anderen Kugeln um die Zentralpunkte  $o_1$  und  $o_2$ . Fallen die Ebenen  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  zusammen, so ist der Objektpunkt nur einfach bestimmt und das homologe Paar der Bildpunkte liefert keine Bedingungsgleichung. Die Bedingungsgleichung wird ungenau, wenn  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  annähernd parallel sind, oder ihre Schnittgerade die Kugeln um  $o_1$  und  $o_2$  tangiert. Benötigt man für die vollständige Orientierung eines Einzelbildes, abgesehen von den Abweichungen vom geometrischen Modell, zehn Parameter, so ist die vollständige Orientierung des Bildpaares im allgemeinsten Fall durch zwanzig, voneinander unabhängige Parameter gegeben. Von diesen definieren zehn das Einzelbild und zehn die Zuordnung des Zweitbildes. Die Kenntnis von zehn Parametern, welche die räumlichen Verhältnisse der beiden Bilder zueinander und die Abweichungen der inneren Orientierung des einen von der inneren Orientierung des anderen Bildes festlegen, vermittelt sonach ein räumliches Gebilde. Für die Herstellung eines maßstäblichen Modells des Dingraumes ist darüber hinaus die Kenntnis der Elemente der inneren Orientierung eines der beiden Bilder erforderlich. Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß die Herstellung eines maßstäblichen Modells aus einem Paar von Radarrundbildern mit reduzierter Raumentfernung insgesamt vierzehn Parameter erfordert, wovon nur zehn aus den Bedingungsgleichungen homologer Punktepaare hergeleitet werden können, während die restlichen vier Parameter der inneren Orientierung auf geeignete Weise vorzubestimmen sind. Ist hiegegen die innere Orientierung für beide Bilder vorgegeben, so beschränkt sich die relative Orientierung auf die Ermittlung von nur sechs Parameter, welche die gegenseitige Lage der beiden Bilder im Raum festlegen, aus sechs Paaren homologer Punkte.

4. b) Die absolute Orientierung. Für die absolute Orientierung des durch die relative Orientierung bestimmten Modells ist die Kenntnis von sechs Koordinaten im übergeordneten System erforderlich. Die Aufgabe gleicht der absoluten Orientierung eines Bildpaares in der Photogrammetrie, mit der Ausnahme, daß hier der Maßstab des Modells vorgegeben ist, die Transformation also keine Streckung zulassen kann.

Für die aufgezeigten Orientierungsfälle wurde ein Testprogramm entwickelt. Dieses ist in FORTRAN IV erstellt und wurde im Rechenzentrum Graz ausgewertet. Die Eingabe erstreckt sich auf die Koordinaten von 25 Objektpunkten und die Orientierungsparameter für 3 Bilder, wovon das erste den Normalfall, das zweite den genäherten Normalfall und das dritte den allgemeinen Fall enthält. Modellparameter und Bildmaßstab sind für alle drei Bilder gleich, ebenso entsprechen die Koordinaten des Bildhauptpunktes des zweiten Bildes jenen des dritten Bildes.

Aus den eingegebenen Daten wird zunächst ein Modell mit fehlerfreien Bildkoordinaten gerechnet und diese werden sodann auf ganze Meter gerundet. In der Folge werden unter Zuhilfenahme der gerechneten Bildkoordinaten für den genäherten Normalfall die Eichung, die äußere Orientierung mit getrennter und gleichzeitiger Ermittlung von Aufnahmeort und Drehparameter und bei vorge-

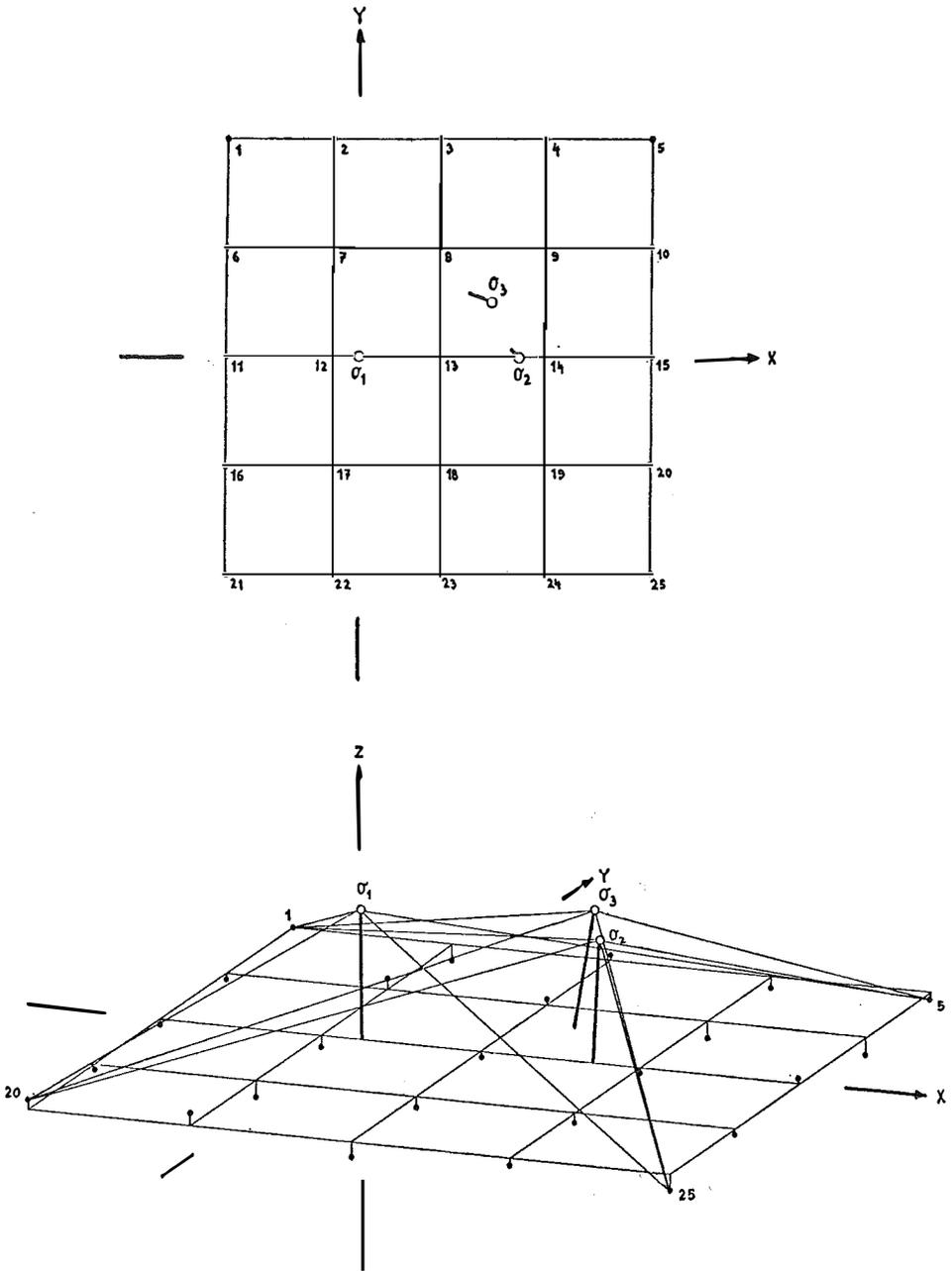


Fig. 6

gebener innerer Orientierung die relative Orientierung durchgeführt. Desgleichen für den allgemeinen Fall die gemeinsame Ermittlung aller Orientierungsparameter des Einzelbildes und, wie vorhin, die relative Orientierung. Die Berechnung erfolgt iterativ nach den Regeln der Ausgleichsrechnung. Der gesamte Rechengang

Koordinaten der Gitterpunkte:

Punkt Nr.	X	Y	Z
1	- 25000.000	+ 40000.000	- 15000.000
2	- 5000.000	+ 40000.000	- 16500.000
3	+ 15000.000	+ 40000.000	- 14500.000
4	+ 35000.000	+ 40000.000	- 16000.000
5	+ 55000.000	+ 40000.000	- 15500.000
6	- 25000.000	+ 20000.000	- 15500.000
7	- 5000.000	+ 20000.000	- 14000.000
8	+ 15000.000	+ 20000.000	- 14500.000
9	+ 35000.000	+ 20000.000	- 16500.000
10	+ 55000.000	+ 20000.000	- 16500.000
11	- 25000.000	0.000	- 15500.000
12	- 5000.000	0.000	- 16000.000
13	+ 15000.000	0.000	- 15500.000
14	+ 35000.000	0.000	- 15500.000
15	+ 55000.000	0.000	- 14500.000
16	- 25000.000	- 20000.000	- 15500.000
17	- 5000.000	- 20000.000	- 16500.000
18	+ 15000.000	- 20000.000	- 16000.000
19	+ 35000.000	- 20000.000	- 16000.000
20	+ 55000.000	- 20000.000	- 15500.000
21	- 25000.000	- 40000.000	- 14000.000
22	- 5000.000	- 40000.000	- 14000.000
23	+ 15000.000	- 40000.000	- 16500.000
24	+ 35000.000	- 40000.000	- 15500.000
25	+ 55000.000	- 40000.000	- 16500.000

Orientierungsparameter und Näherungen:

$h$	=	15018.64	$h_N$	=	15000.00
$m$	=	1.12637	$m_N$	=	1.12500
$x_0$	=	+ 434.17	$x_{0N}$	=	+ 400.00
$y_0$	=	+ 716.82	$y_{0N}$	=	+ 700.00
$X_{02}$	=	+ 30054.47	$X_{02N}$	=	+ 30000.00
$Y_{02}$	=	+ 28.16	$Y_{02N}$	=	0.00
$Z_{02}$	=	- 1039.87	$Z_{02N}$	=	- 1000.00
$X_{03}$	=	+ 25043.17	$X_{03N}$	=	+ 25000.00
$Y_{03}$	=	+ 9947.84	$Y_{03N}$	=	+ 10000.00
$Z_{03}$	=	- 472.16	$Z_{03N}$	=	- 500.00
$\alpha_0$	=	0.1592 $^\circ$	$\alpha_{0N}$	=	0.3000 $^\circ$
$\varphi$	=	0.0955 $^\circ$	$\varphi_N$	=	0.0000 $^\circ$
$\omega$	=	0.1273 $^\circ$	$\omega_N$	=	0.0000 $^\circ$
$\varkappa$	=	0.1592 $^\circ$	$\varkappa_N$	=	0.0000 $^\circ$
$\varphi_3$	=	6.1824 $^\circ$	$\varphi_{3N}$	=	6.1000 $^\circ$
$\omega_3$	=	4.2365 $^\circ$	$\omega_{3N}$	=	4.2000 $^\circ$
$\varkappa_3$	=	17.5432 $^\circ$	$\varkappa_{3N}$	=	17.5000 $^\circ$

Fig. 7

wird zweimal ausgeführt, einmal unter Zugrundelegung der fehlerfreien Bildkoordinaten und das zweite Mal mit den auf ganze Meter gerundeten Werten. Die Auswertung mit fehlerfreien Bildkoordinaten gewährt einen Einblick in die Abweichung des linearen Hilfsproblems von den exakten Werten und gibt einen Überblick über die Güte der Iteration. Durch die nachfolgende Rundung der Bildkoordinaten auf ganze Meter werden zufällige Fehler simuliert.

Fig. 6 enthält das durchgerechnete Zahlenbeispiel in Grundriß und in axonometrischer Darstellung. Die dazugehörigen Eingabedaten sind aus Fig. 7 ersichtlich. Im dargestellten Modell wurde weiter durch Veränderung der Höhen das Gitter der Objektpunkte in eine Ebene, sowie, je in konvexer und konkaver Lage, auf Zylinder in der  $x$ - und der  $y$ -Richtung und auf Kugelflächen gebracht. Die Ergebnisse der Auswertung mit auf ganze Meter gerundeten Bildkoordinaten sind in Fig. 8 zusammengestellt. Es ist jeweils der sich aus der Ausgleichung ergebende

	Willk. Höhen Fig. 7	Ebene	Kugel 150. ( )	Zyl. $y$ 150. ( )	Zyl. $x$ 150. ( )	Kugel 150. ( )	Zyl. $y$ 150. ( )	Zyl. $x$ 150. ( )	Kugel 300. ( )	Zyl. $x$ 300. ( )	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

### I. Genäherter Normalfall

#### Eichung:

$m_0$	0.28	0.32	0.31	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.32	$m$
wF: $x_0$	-0.01	0.02	-0.07	-0.03	-0.07	0.03	-0.03	0.07	0.04	-0.01	$m$
$y_0$	-0.05	-0.07	-0.03	-0.03	-0.01	-0.12	-0.14	-0.11	-0.07	0.04	$m$
$h$	-0.06	-0.04	-0.03	0.13	-0.06	-0.03	-0.06	-0.03	0.03	0.00	$m$
$m$	-2	1	-2	1	-1	-2	-2	-2	0	-4	$10^{-6}$
$\alpha_0$	-1	0	-1	0	1	1	0	-1	0	-2	$cc$

#### Äußere Orientierung:

##### a) Räumlicher Bogenschnitt

$m_0$	0.30	0.23	0.29	0.28	0.29	0.24	0.22	0.24	0.26	0.26	$m$
wF: $X_{02}$	-0.06	0.03	-0.05	-0.11	-0.05	0.16	0.12	0.15	0.01	0.15	$m$
$Y_{02}$	0.07	0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.11	-0.08	0.01	-0.08	0.09	$m$
$Z_{02}$	-0.05	-0.03	0.02	-0.12	-0.08	0.08	0.11	0.05	0.22	0.04	$m$

##### b) Drehparameter

$m_0$	0.30	0.32	0.31	0.28	0.29	0.22	0.25	0.27	0.26	0.25	$m$
wF: $\varphi$	-9	-2	-1	-8	-9	25	9	14	-9	2	$cc$
$\omega$	6	9	5	2	6	13	13	1	10	-5	$cc$
$\kappa$	-1	-1	0	-1	0	0	-1	-2	1	-1	$cc$

##### c) Gemeinsame Ermittlung der 6 Parameter

$m_0$	0.28	0.31	0.31	0.28	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.32	$m$
wF: $X_{02}$	-0.01	0.05	-0.02	0.05	-0.06	-0.05	0.07	-0.03	-0.05	0.02	$m$
$Y_{02}$	0.03	0.15	-0.02	-0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.07	-0.01	$m$
$Z_{02}$	0.04	0.06	-0.05	-0.07	0.03	0.00	0.05	0.11	-0.04	0.02	$m$
$\varphi$	1	4	-3	1	-7	1	6	4	-1	3	$cc$
$\omega$	1	-9	3	3	-2	7	6	0	0	-3	$cc$
$\kappa$	-1	0	-1	1	1	1	1	0	0	-1	$cc$

Fig. 8

	Willk. Höhen Fig. 7	Ebene —	Kugel 150. ( )	Zyl. y 150. ( )	Zyl. x 150. ( )	Kugel 150. ( )	Zyl. y 150. ( )	Zyl. x 150. ( )	Kugel 300. ( )	Zyl. x 300. ( )	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Relative Orientierung (genäherter Normalfall)

$m_0$	0.36	0.16	0.30	0.22	0.32	0.12	0.29	0.24	0.32	0.37	<i>m</i>
wF: $X_{02}$	-2.17	-5.71	1.33	0.05	-0.97	-1.39	-6.67	1.28	4.19	1.45	<i>m</i>
$Y_{02}$	0.24	-0.02	0.05	0.07	0.28	-0.06	-0.33	0.05	-0.04	0.04	<i>m</i>
$Z_{02}$	4.53	10.38	-1.01	-0.69	2.89	3.14	12.41	-3.49	-7.67	-2.72	<i>m</i>
$\varphi$	-202	-513	89.	3	-111	-138	-563	171	376	125	<i>cc</i>
$\omega$	38	12	-10	7	-13	26	6	14	33	-26	<i>cc</i>
$\kappa$	-1	1	0	0	10	1	-6	1	4	-6	<i>cc</i>

Korr:

$r_{x/z}$	0.994	0.998	0.986	0.998	0.985	0.968	0.998	0.974	0.994	0.995
$r_{x/\varphi}$	0.997	0.999	0.993	0.999	0.993	0.982	0.999	0.986	0.997	0.997
$r_{z/\varphi}$	0.997	0.999	0.992	0.999	0.992	0.984	0.999	0.987	0.997	0.997

II. Allgemeiner Fall:

Gemeinsame Ermittlung aller Orientierungsparameter

$m_0$	0.27	0.30	0.27	0.28	0.29	0.31	0.30	0.26	0.27	0.28	<i>m</i>
wF: $X_{03}$	-1.14	-1.86	-0.16	-3.79	-1.20	1.31	-0.32	-2.72	0.72	0.26	<i>m</i>
$Y_{03}$	2.18	2.41	0.44	5.06	0.91	0.63	1.17	2.91	1.57	1.16	<i>m</i>
$Z_{03}$	-1.58	-0.75	-0.81	1.79	-0.11	-0.42	0.36	-0.25	-1.58	1.77	<i>m</i>
$\varphi'_3$	15	8	7	-7	-3	6	2	13	18	-8	<i>cc</i>
$\omega_3$	10	9	5	-13	2	10	-1	6	9	-5	<i>cc</i>
$\kappa_3$	0	1	0	-2	0	0	0	0	2	-1	<i>cc</i>
$x_0$	-0.73	-1.37	-0.16	-2.67	-1.04	1.42	0.01	3.62	1.02	0.18	<i>m</i>
$y_0$	2.79	3.20	0.62	6.46	1.27	0.38	1.39	2.43	1.59	1.40	<i>m</i>
$h$	-2.25	-1.33	-1.04	0.94	-0.28	-0.69	0.34	-0.59	-2.02	2.11	<i>m</i>
$m$	-4	-2	3	-5	-2	-3	-1	-2	-4	4	$10^{-6}$

Relative Orientierung (allgemeiner Fall)

$m_0$	0.26	0.12	0.24	0.29	0.31		0.42		0.35	0.33	<i>m</i>
wF: $X_{03}$	-0.53	-0.29	-0.01	-0.13	-1.51		-0.23		0.83	-0.59	<i>m</i>
$Y_{03}$	0.15	-0.53	0.40	-0.39	-0.74		-0.14		0.24	-0.43	<i>m</i>
$Z_{03}$	1.04	-0.20	0.51	0.08	3.12		-0.33		-0.99	0.77	<i>m</i>
$\varphi_3$	-57	-10	0	-12	-102		2		55	-35	<i>cc</i>
$\omega_3$	5	30	-11	6	62		9		-17	30	<i>cc</i>
$\kappa_3$	2	3	12	-7	17		-5		-2	-1	<i>cc</i>

Rechnung wegen singulärer Matrix abgebrochen

Keine brauchbare Lösung

zu Fig. 8

mittlere Fehler einer Bildkoordinate und der im Vergleich mit dem bekannten wahren Wert der jeweiligen Orientierungsgröße aufscheinende wahre Fehler ausgewiesen. Bei der relativen Orientierung im genähernten Normalfall sind weiters die Korrelationskoeffizienten  $r_{x/z}$ ,  $r_{x/\varphi}$  und  $r_{z/\varphi}$  ausgewiesen, da sie für die Erklärung der hohen Ablagen bei den entsprechenden Parametern erforderlich sind. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf das geometrische Modell. Die davon abweichende Wirklichkeit der Aufnahme und die durch solche Abweichungen bedingten Korrekturen bedürfen einer gesonderten Untersuchung.