

Sonderdruck aus der  
Zeitschrift

---

# Bildmessung und Luftbildwesen

---

---

**Zeitschrift für  
Photogrammetrie  
und  
Fernerkundung**

**Schriftleiter  
Prof. Dr. Dr.-Ing. E. h.  
Kurt Schwidefsky  
Universität Fridericiana  
Karlsruhe (TH)**

**Herbert Wichmann  
Verlag  
Karlsruhe  
Gegründet 1926**

---



# Prüfung auf grobe Bildkoordinatenfehler bei der relativen Orientierung?

Von W. FÖRSTNER, Stuttgart

## 1. Einleitung

Die Theorie der Ausgleichsrechnung befaßt sich in neuester Zeit, besonders unter dem Einfluß der Arbeiten von BAARDA ([1], [2], [3]), mit dem Begriff der Zuverlässigkeit. Ausgehend von statistischen Tests zur Suche nach groben Datenfehlern geht es dabei um die Kontrollierbarkeit der Beobachtungen und um die Auswirkung nicht erkennbarer grober Fehler auf das Ergebnis. Genauigkeitsgesichtspunkte konventioneller Art erscheinen dabei zweitrangig. Moderne Ausgleichssysteme sollten auch über die Zuverlässigkeit des Ergebnisses Auskunft geben, um den Benutzer von der „Richtigkeit“ der Koordinaten zu überzeugen. Die Theorie wurde im geodätischen Bereich weit entwickelt und hat erste Anwendungen gefunden ([4], [5], [6]). Man wird sie zweifellos auch auf die Photogrammetrie übertragen (vgl. z. B. [7]).

Im folgenden wollen wir die Theorie an einem Beispiel aus der Photogrammetrie, der relativen Orientierung, veranschaulichen. Es ist überschaubar, und man erhält gleichzeitig wichtige Ergebnisse für die Praxis.

Bei der (rechnerischen) relativen Orientierung zeigen sich verhältnismäßig große Fehler der Bildkoordinaten bzw. der  $y$ -Parallaxen in nur kleinen Widersprüchen nach der Orientierung. Der größte Teil wird „verdrückt“. Dieser Sachverhalt deutet bereits das Problem an: Nach jeder relativen Orientierung muß im Grunde geprüft und entschieden werden, ob man das Ergebnis zur Weiterbehandlung akzeptieren kann oder ob eine Datenbereinigung oder eine Wiederholungsmessung erforderlich ist. Schärfer gefaßt geht es um die Frage, inwieweit man bei der Modellbildung aus den Restparallaxen (bzw. den Verbesserungen der Bildkoordinaten) auf grobe Datenfehlern schließen kann.

Im einzelnen geht es um folgende Teilfragen:

- Welche Datenfehler kann man aufdecken?
- Welchen Einfluß hat die Zahl der verwendeten Punkte und das Testverfahren auf die Wirksamkeit der Kontrolle?
- Was kann man gegebenenfalls gegen mangelnde Kontrolle tun?

Die Beantwortung dieser Fragen mit Hilfe der genannten Theorie wird die Erfahrungen der Praktiker bestätigen und durch Maß und Zahl präzisieren.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1 Tests zur Prüfung auf grobe Fehler

Die Prüfung auf grobe Fehler erfolgt in den meisten Fällen durch Nachmessung (z. B. am Stereogerät) oder bei Ergebnissen von Ausgleichungen (z. B. der analytischen relativen Orientierung) durch Untersuchung der Restverbesserungen  $v_i$  der Beobachtungen. In diesem Fall unterwirft man – statistisch gesehen – die Verbesserungen einem Test: Wenn die aus den Verbesserungen abgeleitete Testgröße (s. u.) einen kritischen Wert  $k$  überschreitet, vermutet man in der betreffenden Beobachtung einen groben Fehler. Der kritische Wert  $k$  hängt vom Signifikanzniveau  $S=1-\alpha_0$  des Tests ab. Die Signifikanzzahl  $\alpha_0$  gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Testgröße größer als der kritische Wert ist, d. h. ein grober Fehler vermutet wird, obwohl die Beobachtung richtig ist (Fehlentscheidung I. Art). Beispiele für  $k$  sind:

$$\alpha_0 = 0.1\% \rightarrow k = 3.29,$$

$$\alpha_0 = 1\% \rightarrow k = 2.56,$$

$$\alpha_0 = 5\% \rightarrow k = 1.96.$$

Als Testgröße verwendet man bei dem üblichen intuitiven Verfahren den Wert

$$w_i^* = \frac{|v_i|}{\sigma_i}, \quad (1)$$

der sich aus dem Vergleich der Verbesserung  $|v_i|$  mit dem mittleren Fehler  $\sigma_i$  der betreffenden Beobachtung  $l_i$  ergibt.  $w_i^*$  könnte man als „teilnormierte“ Verbesserung bezeichnen.

Wenn man dagegen den Betrag der Verbesserung mit ihrem mittleren Fehler  $\sigma_{v_i}$  vergleicht, erhält man die sogenannte *normierte Verbesserung*

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}}, \quad (2)$$

eine – wie sich herausstellen wird – wesentlich geeignetere Testgröße. Dabei wird berücksichtigt, daß der mittlere Fehler  $\sigma_{v_i}$  der Verbesserung infolge der Ausgleichung i. a. kleiner ist als der mittlere Fehler der Beobachtung. Der Unterschied zwischen beiden Werten ist umso geringer, je höher die Redundanz  $r$ , genauer, der Anteil  $r_i$ , der Beobachtung  $l_i$  an der Gesamtredundanz  $r$  ist; dieser läßt sich aus

$$r_i = (\mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P}_{ll})_{ii} \quad (3)$$

als Diagonalelement der Matrix  $(\mathbf{Q}_{vv} \mathbf{P}_{ll})$  errechnen; in Gl. (3) stellt  $\mathbf{Q}_{vv}$  die Gewichtungskoeffizientenmatrix der Verbesserungen und  $\mathbf{P}_{ll}$  die Gewichtsmatrix der in die Ausgleichung eingeführten ursprünglichen Beobachtungen dar. Der Redundanzanteil  $r_i$  ist das Verhältnis

$$r_i = - \frac{\Delta v_i}{\Delta l_i} \quad (4)$$

einer Änderung  $\Delta v_i$  der Verbesserung zur verursachenden Änderung  $\Delta l_i$  der Beobachtung. Mit anderen Worten:  $r_i$  gibt an, wie stark sich ein grober Fehler  $\nabla l_i$ <sup>1</sup> in der zugehörigen Verbesserung  $v_i$  auswirkt. Die  $r_i$  sind wegen Gl. (3) nur von der Geometrie des Systems und den Gewichten der Beobachtungen, nicht aber von den Beobachtungswerten selbst abhängig.

Falls keine Korrelationen unter den Beobachtungen vorliegen, kann man die normierte Verbesserung  $w_i$  mit Hilfe der Gl. (4) auch als

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_i \sqrt{r_i}} \quad (5)$$

darstellen. Wegen  $0 \leq r_i \leq 1$  ist  $w_i$  im allgemeinen größer als  $w_i^*$  und zeigt grobe Fehler deutlicher an.  $w_i$  ist die Testgröße in BAARDAS „data-snooping“, das demnach kleinere Fehler aufdecken wird als die Prüfung auf der Basis der Testgröße  $w_i^*$ .

## 2.2 Die Kontrollierbarkeit der Beobachtungen

Die Größe gerade noch erkennbarer grober Fehler läßt sich bestimmen, wenn man eine Mindestsicherheit  $\beta_0$  vorgibt, mit der der Test einen groben Fehler anzeigen soll: Es bezeichne  $\delta_0$  (mit  $\sqrt{\lambda_0}$  bei BAARDA identisch, vgl. PELZER [8]), den unteren Grenzwert  $\nabla_0 w_i$  oder  $\nabla_0^* w_i$ , den die Testgröße  $w_i$  oder  $w_i^*$  aufweisen muß, um mit der vorgegebenen Sicherheit  $\beta_0$  gerade auf einen groben Fehler  $\nabla l_i$  hinzuweisen.  $\delta_0$  hängt also von  $\alpha_0$  und  $\beta_0$  ab. Man erhält beispielsweise:

$$\alpha_0 = 0.1\%, \beta_0 = 80\% \rightarrow \delta_0 = 4.17; \quad (6)$$

<sup>1</sup> sprich Nabla;  $\nabla$  ist *nicht* identisch mit dem Operator aus der Physik. Die Bezeichnung geht zurück auf BAARDA und dient zur Unterscheidung von groben Fehlern  $\nabla l$  und Differenzen oder Änderungen  $\Delta l$ .

d. h. wenn der Test ein Signifikanzniveau von 99,9% ( $\alpha_0 = 0,1\%$ ) hat, deckt er mit einer Sicherheit von  $\beta_0 = 80\%$  grobe Fehler in den Beobachtungen, die zu Werten  $w_i = 4,17$  oder  $w_i^* = 4,17$  führen, auf; 20% dieser Fehler bleiben unentdeckt (Fehlentscheidung II. Art).

Aus Gl. (4) kann man mit Gl. (1) und (5) den unteren Grenzwert  $\nabla_{0i}$  für einen groben Fehler  $\nabla_i$  ableiten, der gerade noch mit dem jeweiligen Test erkannt wird.

Für den „einfachen“ Test mit der teilnormierten Verbesserung  $w_i^*$  (Gl. (1)) gilt

$$\nabla_{0i}^* = \frac{\nabla_{\delta}^* v_i}{r_i} = \sigma_{i1} \frac{\nabla_{\delta}^* w_i}{r_i} = \sigma_{i1} \frac{\delta_0}{r_i}; \tag{7}$$

für den „statistischen“ Test mit der normierten Verbesserung  $w_i$  (Gl. (5)) gilt

$$\nabla_{0i} = \frac{\nabla_0 v_i}{r_i} = \sigma_{i1} \frac{\nabla_0 w_i \sqrt{r_i}}{r_i} = \sigma_{i1} \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}} \tag{8}$$

Für  $0 \leq r_i \leq 1$  ist  $\nabla_{0i}^* \geq \nabla_{0i}$ : Beim „einfachen“ Test mit der teilnormierten Verbesserung  $w_i^*$  muß ein grober Fehler größer sein, um erkannt zu werden, als bei dem „statistischen“ Test. Der Unterschied ist umso kleiner, je näher  $r_i$  an 1 liegt; ein Ergebnis, das wir bereits vermuteten.

Die Grenzwerte  $\nabla_{0i}$  für gerade noch erkennbare Fehler sind ein Maß für die Kontrollierbarkeit der Beobachtungen und damit auch für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse:  $r_i = 1$  ist nur möglich, wenn der wahre Wert der Beobachtungen bekannt ist, etwa bei Beobachtungen zwischen „Fest“punkten. Aber auch dann lassen sich Fehler von  $4,2 \cdot \sigma_{i1}$  gerade noch mit 80%iger Sicherheit erkennen. Auf der anderen Seite sind im Fall  $r_i \rightarrow 0$  überhaupt keine groben Fehler mehr erkennbar, der Grenzwert  $\nabla_{0i}$  geht gegen unendlich, die Verbesserung (vgl. Gl. (4)) entsprechend gegen Null. In diesem Fall handelt es sich um Beobachtungen, die im System nur schwach oder nicht kontrolliert werden können.

### 3. Beispiel

#### 3.1 Die analytische Modellbildung

Diese theoretischen Überlegungen wollen wir nun auf die relative Orientierung nach einem analytischen Verfahren anwenden. Dabei sollen folgende Voraussetzungen gelten:

Die Bildkoordinaten sind unkorreliert und gleich genau, systematische Fehler sind nicht vorhanden. Die Punkte 1 bis 6 (vgl. Abb. 1) liegen nach dem idealen Schema an den Standardstellen (Gruberpunkte). Die Punkte 1' und 2' sind die Nadirpunkte. Die Figur ist rechteckig,  $2d \times b$ . Die Punkte haben

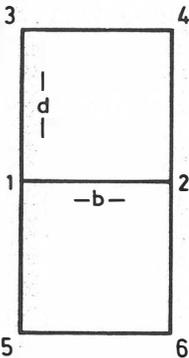


Abb. 1 Lage der Modellpunkte bei der relativen Orientierung

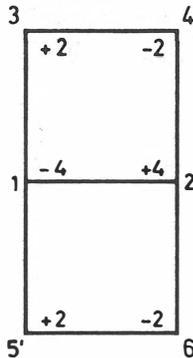


Abb. 2 Beispiel für Restparallaxen (in  $\mu\text{m}$ ) nach relativer Orientierung mit 6 Punkten

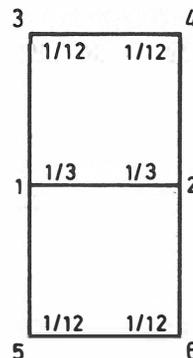


Abb. 3 Redundanzanteile  $r_i$  für y-Parallaxen bei der relativen Orientierung mit 6 Punkten

gleiche Höhe. Die relative Orientierung erfolgt durch Ausgleich, bei der die Quadratsumme der y-Parallaxen minimiert wird.

### 3.2 Modellbildung mit 6 Punkten

In Abb. 2 sind als Beispiel die Restparallaxen  $p_y$  (in  $\mu\text{m}$ ) nach einer Modellbildung für den Fall dargestellt, daß 5 Punkte fehlerfrei sind und in einem der 6 Punkte ein kleiner „grober“ Fehler vorliegt. Wie man leicht nachprüfen kann, läßt sich das obige Bild von Restparallaxen durch verschiedene Annahmen des groben Fehlers erzeugen, da nur eine Überbestimmung bzw. eine Bedingung (s. Gl. (12)) vorliegt. Ein Widerspruch in der Bedingungsgleichung wird nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate stets gleich verteilt (s. u.). Man erhält die dargestellten y-Parallaxen in zwei Gruppen von Fällen:

- a) bei einem Fehler von  $\nabla l = 12 \mu\text{m}$  in den Punkten 1 oder 2
- b) bei einem Fehler von  $\nabla l = 24 \mu\text{m}$  in einem der Punkte 3 bis 6.

Damit ist von vornherein bestätigt, daß sich in jedem Fall nur ein Bruchteil des ursprünglichen Fehlers in den Restparallaxen zeigt.

Die Redundanzanteile  $r_i$  nach Gl. (3) für die 6 Punkte sind in Abb. 3 dargestellt. Aus Gl. (8) kann man untere Grenzwerte für die erkennbaren groben Fehler mit dem „einfachen“ Test ableiten.

Setzt man  $\delta_0$  vereinfacht = 4 gilt mit  $\sigma_{iy} = \sigma_{py} = 5 \mu\text{m}$ :

$$\text{a) } \nabla \delta l = 60 \mu\text{m} = 12 \sigma_{py} \text{ für Punkt 1 und 2} \quad (10)$$

$$\text{b) } \nabla \delta l = 240 \mu\text{m} = 48 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 3 bis 6.}$$

Die Werte sind unangenehm groß, wir vergleichen sie daher mit den Grenzwerten beim „statistischen“ Test und erhalten nach Gl. (9):

$$\text{a) } \nabla \delta l = 35 \mu\text{m} = 7 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 1 und 2} \quad (11)$$

$$\text{b) } \nabla \delta l = 70 \mu\text{m} = 14 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 3 bis 6.}$$

Der Unterschied beider Tests ist beträchtlich. Der strengere „statistische“ Test (11) erweist sich hier jedenfalls als wesentlich schärfer. Trotzdem bleiben – vor allem in den außenliegenden Punkten – noch zu große Fehler unentdeckt, als daß man mit dieser Punktanordnung in der Praxis beruhigt arbeiten könnte.

Nach Gl. (11) kann man also das Vorhandensein grober Fehler  $\geq 35 \mu\text{m}$  bzw.  $70 \mu\text{m}$  zwar mit 80%iger Sicherheit erkennen, die Lokalisierung des groben Fehlers ist jedoch nicht möglich, da nur eine Überbestimmung vorhanden ist. Ein Widerspruch in den y-Parallaxen führt, wie bereits erwähnt, stets auf das gleiche Schema der Restparallaxen, das sich aus der Bedingung für die y-Parallaxen

$$2p_1 - p_3 - p_5 = 2p_2 - p_4 - p_6 \quad (12)$$

ergibt.

Die y-Restparallaxen der äußeren Punkte sind immer halb so groß wie die der inneren Punkte. Damit kann man aber auch zeigen, daß jeweils an allen 6 Punkten die Testgröße  $w_i$  des „data-snoopings“ gleich groß ist:

$$w_3 = w_4 = w_5 = w_6 = \frac{|p_3|}{\sigma_{py} \sqrt{r_3}} = \frac{|2p_3|}{\sigma_{py} \sqrt{4r_3}} = \frac{|p_1|}{\sigma_{py} \sqrt{r_1}} = w_1 = w_2.$$

Der „statistische“ Test ist so ehrlich und „gibt zu“, daß er einen groben Fehler nicht lokalisieren kann. Der „einfache“ Test mit  $w_3^* < w_1^* = w_2^*$  täuscht dagegen eine Lokalisierung vor, in unserem Fall würden nämlich die äußeren Punkte wegen  $w_3^* < w_1^* = w_2^*$  bei der Fehlersuche nicht erfaßt – falls man schematisch vorgeht, wie etwa bei einem Programm zur automatischen Fehlersuche, das nur die maximalen Beträge der Testgrößen betrachtet.

Beide Tests können aber bei der überbestimmten relativen Orientierung nur grobe Fehler der y-Koordinaten oder y-Parallaxen kontrollieren. Die x-Koordinaten sind überhaupt nicht kontrollierbar. Dies zeigt sich auch bei einer analytischen relativen Orientierung nach der Bündelmethode. Dabei werden im Prinzip Verbesserungen aller Bildkoordinaten eingeführt, also auch  $v_x$ . Bei der üblichen Annahme des Koordinatensystems ergibt die Ausgleichung daher stets  $v_x \approx 0$ . Dem entsprechen nach Gl. (4) Redundanzanteile  $r_i \approx 0$  und damit Grenzwerte für erkennbare Fehler  $\nabla_{0i} \rightarrow \infty$ . Fehler der x-Koordinaten gehen unerkannt in die Höhe des Punktes ein und verfälschen – bei den außenliegenden Punkten – alle 3 Koordinaten. Hier kann erst eine Kontrolle im Block weiterhelfen.

Bei der Beschränkung auf das Einzelmodell kann man an der Nichtüberprüfbarkeit der x-Koordinaten oder -Parallaxen nichts ändern. Dagegen stellt sich die Frage, was man gegen die unangenehm ungünstige Erkennbarkeit von groben Fehlern in den y-Koordinaten bzw. -Parallaxen bei der relativen Orientierung tun kann, etwa durch Hinzunahme weiterer Messungen, d. h. durch Erhöhung der Redundanz. Die Grenzwerte für gerade noch erkennbare Fehler in den y-Parallaxen hängen kaum von der Lage der Punkte im Modell, außerdem auch nicht von der Kammerkonstanten ab (vgl. [7]). Wie wir schon feststellten, können bei 6 Punkten keine groben Fehler lokalisiert werden. Um eine bessere Kontrollierbarkeit zu erreichen, muß man in jedem Fall mehr Punkte messen.

### 3.3 Modellbildung mit mehr als 6 Punkten

#### 3.3.1 Modellbildung mit 12 Punkten

Wir nehmen den Fall an, daß an den Standardpositionen der relativen Orientierung jeweils zwei Messungen (an Doppelpunkten) ausgeführt werden (vgl. Fig. 4). Die Beipunkte 1' bis 6' haben also (fast) die gleichen Koordinaten wie die zugehörigen Punkte 1 bis 6. In Abb. 4a bzw. 4b sind die Restparallaxen für zwei Fälle mit einem groben Fehler von  $24 \mu\text{m}$  in den Punkten 1 bzw. 3 dargestellt.

Die jeweiligen groben Meßfehler zeigen sich in beiden Fällen deutlich an den Restparallaxen nach der relativen Orientierung. Am tatsächlich fehlerhaften Punkt ist der Betrag der Restparallaxe jeweils am größten.

Mit dem „einfachen“ Test ist – bei einem kritischen Wert von  $k=3$  ( $\cong \alpha_0=0,3\%$ ),  $\sigma_{py}=5 \mu\text{m}$  der Fehler im Punkt 3 nicht, im Punkt 1 gerade noch zu erkennen, aber nur mit einer Sicherheit, die kleiner als 80% ist; denn die Grenzwerte für Fehler, die mit 80%iger Sicherheit gerade noch erkennbar sind, liegen nach Gln. (7) und (8) und den in der Abb. 5 dargestellten Redundanzanteilen  $r_i$  bei

$$\begin{aligned} \text{a) } \nabla_{01}^* &= 30 \mu\text{m} = 6 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 1 und 2} \\ \text{b) } \nabla_{03}^* &= 37 \mu\text{m} = 7,5 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 3 bis 6.} \end{aligned} \quad (13)$$

Im Vergleich zur relativen Orientierung mit 6 Punkten (vgl. (10)) läßt sich somit eine wesentliche Erhöhung der Kontrollierbarkeit feststellen.

Beim „statistischen“ Test lauten die entsprechenden Grenzwerte

$$\begin{aligned} \text{a) } \nabla_{01} &= 24,5 \mu\text{m} = 5 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 1 und 2} \\ \text{b) } \nabla_{03} &= 27 \mu\text{m} = 5,5 \sigma_{py} \text{ für die Punkte 3 bis 6.} \end{aligned} \quad (14)$$

Die Überlegenheit gegenüber dem „einfachen“ Test ist bei weitem nicht mehr so ausgeprägt wie bei dem Fall mit nur 6 Punkten. Dennoch ist der Unterschied groß genug, daß man auch hier nur den „statistischen“ Test empfehlen kann.

Der Aufwand für die Messung von 6 Beipunkten erscheint im Hinblick auf die Vorteile zwar nicht groß. Trotzdem ist die Frage berechtigt, ob man nicht mit weniger Beipunkten dasselbe Ziel erreicht.

3	-2	+2	4
3'	-2	+2	4'
1	+16	-4	2
1'	-8	-4	2'
5	-2	+2	6
5'	-2	+2	6'

Abb. 4 Beispiel für  
a) Restparallaxen in  $\mu\text{m}$   
nach relativer Orientierung mit 12 Punkten  
Fehler im Punkt 1

3	+13	-1	4
3'	-11	-1	4'
1	-2	+2	2
1'	-2	+2	2'
5	+1	-1	6
5'	+1	-1	6'

b) Restparallaxen in  $\mu\text{m}$   
nach relativer Orientierung mit 12 Punkten  
Fehler im Punkt 3

3	13/24	13/24	4
3'	13/24	13/24	4'
1	2/3	2/3	2
1'	2/3	2/3	2'
5	13/24	13/24	6
5'	13/24	13/24	6'

Abb. 5  
Redundanzanteile  $r_i$  bei  
der relativen Orientierung mit 6 Punkte-  
paaren

3	21/40	21/40	4
3'	21/40	21/40	4'
1	2/5	2/5	2
1'			2'
5	21/40	21/40	6
5'	21/40	21/40	6'

Abb. 6  
Redundanzanteile  $r_i$  bei  
der relativen Orientierung mit 10 Punkten

### 3.3.2 Modellbildung mit 10 Punkten

Betrachten wir daher noch den Fall, daß nur in den schwach kontrollierbaren Eckpunkten des Modells Beipunkte gemessen werden. Wie Abb. 6 zeigt, ist die Kontrollierbarkeit aller 10 Punkte nur unwesentlich geringer als bei der relativen Orientierung mit 12 Punkten.

Wie aber leicht zu sehen ist, ist nicht in allen Punkten eine Lokalisierung grober Fehler gewährleistet. Die Punkte 1 und 2 sind für die gegenseitige Kontrolle notwendig. Ein Fehler in einem der beiden Punkte verursacht eine gleich große Verbesserung in beiden Punkten. Die Testgröße  $w_i$  wäre gleich, eine Lokalisierung nicht möglich.

Die Messung von 6 Beipunkten erscheint unter diesen Gesichtspunkten am günstigsten.

Die Erkennung und Lokalisierung von zwei groben Fehlern ist aber auch bei der Messung von 6 Punktepaaren nicht immer gesichert; insbesondere, wenn die Fehler sich verstärken, z. B. wenn Punkt und Beipunkt um denselben Betrag grob falsch sind.

## 4. Schlußfolgerungen

Am Beispiel der rechnerischen Modellbildung konnte gezeigt werden, daß die theoretischen Aussagen über die Kontrollmöglichkeiten und die schlechte Lokalisierbarkeit grober Fehler die Erfahrungen der Praktiker im wesentlichen bestätigen. Insofern waren die Ergebnisse nicht überraschend. Vielleicht aber überraschte, wie groß die unteren Grenzwerte für gerade noch erkennbare Fehler sind. Al besonders schwach für die Fehlersuche stellte sich die relative Orientierung mit nur 6 Punkten heraus. Bei der relativen Orientierung am Stereogerät werden zwar in der Regel nur die y-Parallaxen an den 6 Schemapunkten gemessen, dabei aber praktisch stets Mehrfachpunkte gemessen oder überprüft, so daß große grobe Fehler sofort erkannt und durch Nachmessen beseitigt werden können. Daher bilden die ungünstigen Grenzwerte nur bei der rechnerischen Lösung eine Gefahr, wenn Ableser-, Registrier- oder Ablochfehler zu befürchten sind.

Die den Überlegungen zugrunde gelegte Theorie enthält einen statistisch fundierten Test, das „data snooping“. Der Test spürt kleinere grobe Fehler auf, als der „einfache“ Test, bei dem die Geometrie der Punktbestimmung unberücksichtigt bleibt. Der Unterschied ist umso größer, je schwächer die Geometrie ist; es ist keine Seltenheit, daß bei nicht idealer Punktlage – nicht nur bei der relativen Orientierung – Fehler unter dem 20- bis 50fachen mittleren Beobachtungsfehler unerkannt bleiben können. Der „statistische“ Test ist theoretisch besser fundiert und optimal, wenn nur ein grober Fehler vorliegt. Das zeigt sich auch darin, daß er „ehrlicher“ ist, da er keine Lokalisierung eines

groben Fehlers vortäuscht. Die Kontrollierbarkeit der Beobachtungen wird objektiv beschrieben durch untere Grenzwerte für grobe Fehler, die durch den Test mit einer vorgegebenen Mindestsicherheit gerade noch erkennbar sind.

Wie sich nicht erkennbare grobe Fehler auf die Modellkoordinaten auswirken, soll an anderer Stelle behandelt werden.

### Zusammenfassung

Der Artikel veranschaulicht die von BAARDA entwickelte Theorie der Zuverlässigkeit an einem Beispiel aus der Photogrammetrie. An Hand der rechnerischen relativen Orientierung wird gezeigt, daß der statistische Test (das „data-snooping“) grobe Fehler treffsicher lokalisiert und eine hinreichende Kontrolle der relativen Orientierung erst bei der Messung von 12 Punkten erreicht wird. Die Kontrolle bezieht sich nur auf die y-Parallaxen, nicht auf die x-Koordinaten.

### Searching for gross errors in photo coordinates after relative orientation

The article illustrates BAARDA's reliability theory on a photogrammetric example. Concerning relative orientation it is shown that the statistical test (the "data-snooping") localizes gross errors securely and that sufficient control is only possible with at least 12 points measured. The control only refers to the y-parallaxes but not to the x-coordinates.

### La recherche des erreurs grossières après l'orientation relative

L'article montre l'emploi de la théorie de reliabilité de BAARDA à un exemple photogramétrique. De l'exemple de l'orientation relative analytique explique que le test statistique (le »data-snooping«) localise des erreurs grossières certainement et que l'on ne contrôle justement l'orientation relative qu'au dessus de 12 points. On peut contrôler seulement les parallaxes p, mais pas les x-coordinates.

### Literatur

- [1] BAARDA, W.: Statistical Concepts in Geodesy. Netherlands Geodetic Commission, Vol. 2, No. 4, 1967.
- [2] BAARDA, W.: A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. Netherlands Geodetic Commission, Vol. 2, No. 5, 1968.
- [3] BAARDA, W.: Reliability and Precision of Networks, VII. Internationaler Kurs für Ingenieurmessungen hoher Präzision, Darmstadt 1976, S. 17–27.
- [4] KRAUS, K.: Verschiedene Transformationen und Indikatoren zur Elimination grober Datenfehler. AVN 82 (1975) S. 23–34.
- [5] FÖRSTNER, W.: Das Programm TRINA zur Ausgleichung und Gütebeurteilung geodätischer Lagenetze. ZfV 104 (1979) (im Druck).
- [6] HELBLE, W.: Zur Rechnerischen Grenzbestimmung. DVW-Mitteilungen, Baden-Württemberg, 24 (1977) S. 20–31.
- [7] FÖRSTNER, W.: Die Suche nach groben Fehlern in photogrammetrischen Lageblöcken. DGK C 240, 1978, München.
- [8] PELZFR. H.: Criteria for the Reliability of Geodetic Networks. International Symposium on Optimization of Design and Computation of Control Networks, Sopron, Ungarn, 1977.

### Buchbesprechung

VERSTAPPEN, H. Th.: **Remote Sensing in Geomorphology**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam/New York 1977. X, 214 S., 200 Abb. (davon zahlreiche Stereobilder), 5 Tab. US-Dollar 39,95.

In einem großformatigen Buch, durch sehr gut reproduzierte Photos unterstützt, versucht VERSTAPPEN (ITC; Enschede) die Bedeutung der Fernerkundung zur Lösung geomorphologischer Probleme und Erklärung geomorphologischer Prozesse in gedrängter Form darzustellen. Auf ca. 20 Seiten werden Kurzbeschreibungen der wichtigsten Verfahren der Fernerkundung gegeben, dann einfache bis hochentwickelte Auswertemethoden beschrieben. Die Interpretation des Reliefs umfaßt auch den Flachwasserbereich; unterschiedliche Verfahren zur Erklärung hydrologischer, geologischer, lagerstättenkundlicher Phä-

nomene werden gegenübergestellt und praktische Hinweise gegeben (z. B. Anweisung für die Wassermengenberechnung einer geplanten Talsperre). Die Möglichkeiten der LANDSAT-Auswertungen werden besprochen, Probleme der Thermographie (u. a. Wasserbewegung und Vulkanismus) und der Sonar-Erkundung (auch im Hinblick auf ihre Anwendung in der Praxis) werden behandelt. Im eigentlichen Interpretationsteil des Buches (80 Seiten) wird im Gegensatz zu anderen Werken dem Bildmaterial aus nicht-ariden Gebieten der Vorzug gegeben. Auch die Auswertung extraterrestrischer Bilder wird diskutiert. Instruktive Graphiken unterstützen das Verständnis des Textes, der durch umfangreiche Schriftenverzeichnisse (nicht nur englischsprachige Literatur!) ergänzt wird.

Dem Buch ist nicht nur im Hochschulbereich eine weite Verbreitung zu wünschen. K. FAHLBUSCH, Darmstadt

## Hochschulschriften

### Universität Karlsruhe

Dipl.-Ing. GÜNTER HELL, Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Photogrammetrie und Topographie, wurde mit der Dissertation „Terrestrische Bildtriangulation mit Berücksichtigung zusätzlicher Beobachtungen“ zum Dr.-Ing. promoviert. Referenten waren Prof. Dr.-Ing. W. HOFMANN, Universität Karlsruhe, und Prof. Dr.-Ing. J. ALBERTZ, TH Darmstadt.

### Universität Stuttgart

Herr Dr.-Ing. HANS-KARSTEN MEIER, Leiter der Abteilung für Geodäsie und Photogrammetrie der Firma CARL ZEISS, Oberkochen, Lehrbeauftragter für die Fächer „Instrumentelle Optik“ und „Technik geodätischer Instrumente“ im Fachbereich Geodäsie der Universität Stuttgart, ist am 18. 9. 1978 zum Honorarprofessor ernannt worden.

### Autoren dieses Heftes

Dr.-Ing. W. FÖRSTNER, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Keplerstr. 11, 7000 Stuttgart 1  
Prof. Dr.-Ing. J. HOTHMER, Rheinlandstr. 19, 6231 Schwalbach

Prof. Dr.-Ing. H.-K. MEIER, Firma CARL ZEISS, 7082 Oberkochen  
Dipl.-Ing. W. WESTER-EBBINGHAUS, Institut für Photogrammetrie, Universität Bonn, Nußallee 15, 5300 Bonn

### Wichtiger Hinweis für alle Abonnenten!

Trotz der allgemeinen Kostensteigerungen war es uns bisher möglich, die Abo-Preise für Bildmessung und Luftbildwesen in den letzten zwei Jahren nicht zu erhöhen. Die immensen Kostensteigerungen bei der technischen Fertigung können durch Rationalisierung allein jedoch nicht mehr aufgefangen werden. Ab 1. 1. 1979 werden wir deshalb den Abonnements-Preis für Bildmessung und Luftbildwesen geringfügig anheben:

Abo-Preis Inland 77,— DM, Einzelheft 13,50 DM, jeweils zuzüglich Versandkosten.

Abo-Preis Ausland 83,— DM, Einzelheft 16,— DM, jeweils zuzüglich Versandkosten.

Abo-Vorzugspreis für Studenten und Referendare 64,— DM, zuzüglich Versandkosten.

Wir danken für Ihr Verständnis für diese Maßnahme und freuen uns, Ihnen auch zukünftig qualifiziertes Fachwissen vermitteln zu dürfen.

**Der Verlag**

### BEILAGENHINWEIS

Dieser Ausgabe liegt ein Prospekt des IFG-Verlages, Frankfurt a. M., und eine Bestellkarte des Herbert Wichmann-Verlages, Karlsruhe, bei. Wir bitten unsere Leser um Beachtung.

**Herausgeber und Verlag:** Herbert Wichmann Verlag GmbH, Rheinstraße 122, Postfach 21 0729, D-7500 Karlsruhe 21, Telefon (0721) 555955. Telex 7825909.

**Schriftleitung:** Prof. Dr.-Ing. Jörg Albertz, Technische Hochschule Darmstadt, Petersenstraße 13, D-6100 Darmstadt, Telefon 06151/1634 47.

Prof. Dr.-Ing. Walther Hofmann, Universität Karlsruhe, Englerstraße 7, D-7500 Karlsruhe 1, Telefon 0721/6082315.

**Manuskripte** sind einzureichen an das Büro der Schriftleitung: Institut für Photogrammetrie und Topographie der Universität Karlsruhe, Englerstraße 7, Postfach 6380, D-7500 Karlsruhe.

Unverlangt eingesandte Manuskripte werden nur zurückgesandt und Auskünfte nur erteilt, wenn Rückporto beiliegt. **Gesetzte** nete Beiträge stellen die Ansicht des Verfassers dar, nicht aber unbedingt die der Schriftleitung. Mit der Annahme des Manuskriptes und der Veröffentlichung geht das alleinige Recht der Vervielfältigung und der Übersetzung auf den Verlag über.

**Anzeigenverwaltung und Vertrieb:** Herbert Wichmann Verlag GmbH, Rheinstraße 122, Postfach 210729, D-7500 Karlsruhe 21. Bank: Commerzbank, Filiale Karlsruhe, Konto-Nr. 2203131. Postscheckkonto Karlsruhe 116370-757, Anzeigenpreis laut Tarif 10. Verantwortlich für den Anzeigenteil: Walter Reutin.

**Erscheinungsweise und Bezugspreis:** BuL erscheint zweimonatlich. Abonnentenpreis pro Jahr DM 72,— (6 Ausgaben). Einzelheft 12,60, Auslandspreis pro Jahr DM 83,—, Einzelheft: Auslandspreis DM 14,80. Vorzugs-Abonnentenpreis für Studenten und Referendare im Vermessungsdienst DM 60,— pro Jahr. (Alle Preise einschl. Mehrwertsteuer, zuzüglich Post- und Versandgebühren.) **Abbestellung nur spätestens 6 Wochen vor dem 30. 6. oder 31. 12. eines Jahres möglich.**

**Adressänderungen** sind bei Direktbezug unmittelbar an den Verlag zu richten.

**Alle Rechte vorbehalten**, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages. Aus der Beschreibung von Konstruktionen, Nennung von Markenbezeichnungen u. ä. in dieser Zeitschrift können keine Rückschlüsse daraus gezogen werden, ob es sich um geschützte Ausführungen oder Zeichen handelt.

**Gesamtherstellung:** C. F. Müller, Großdruckerei und Verlag GmbH, Rheinstraße 122, Postfach 210729, D-7500 Karlsruhe 21, Telefon 555955.