

WISSENSGESTÜTZTE AEROTRIANGULATION

W. Förstner, Stuttgart

Vorbemerkung

Die Aerotriangulation ist wie kein anderes Gebiet mit der Person und dem Wirken von Prof. F. Ackermann verbunden. Er hat die Entwicklung in den 60er Jahren initiiert, getragen, über zahlreiche Arbeiten wesentlich beeinflußt und durch die Bereitstellung leistungsfähiger Rechenprogramme der Methode zum praktischen Einsatz verholfen. Der folgende Beitrag möchte Wege zeigen, wie das Wissen über das Verfahren der Aerotriangulation einem breiten Anwenderkreis genauso verfügbar gemacht werden könnte wie die entwickelten Blockausgleichungsprogramme selbst und damit unter dem Einfluß neuer Entwicklungen in der Photogrammetrie weiterhin und in gesteigerter Operationalität nutzbar ist. Dazu soll im ersten Abschnitt die Entwicklung der Aerotriangulation und insbesondere die Beiträge aus der Schule von Prof. Ackermann beleuchtet werden, um im zweiten Abschnitt die Notwendigkeit für eine Aufarbeitung und Strukturierung des durch theoretische und praktische Arbeiten erworbenen Wissens zu motivieren. Im letzten Abschnitt sollen dann Möglichkeiten diskutiert werden, dieses Wissen zu gewinnen und für Systeme vor allem für die Analyse von Blockausgleichungen nutzbar zu machen.

1 Rückblick

Unter Aerotriangulation versteht man heute die Methode zur gleichzeitigen Bestimmung der Orientierungsdaten photogrammetrischer Bilder oder Modelle und der dreidimensionalen Koordinaten der beobachteten Bodenpunkte. Während der geodätisch geprägte Begriff bis in die 60er Jahre die analogen Methoden der Rekonstruktion von Bildstreifen und mit der Radialschlitztriangulation auch von Blockverbänden meinte, umfaßt er heute die ausschließlich numerisch arbeitenden Verfahren der Blocktriangulation, die sich auf die i. a. manuell gemessenen Bild- bzw. Modellkoordinaten stützt.

Diese Entwicklung wurde von H. H. SCHMID (1958) eingeleitet, der die Rekonstruktionsaufgabe als Ausgleichungs-, d. h. statistisches Schätzproblem formulierte. Damit wurde der Anschluß der photogrammetrischen an die geodätischen Triangulationsverfahren geschaffen, der sich bis heute als außerordentlich fruchtbar erwies (vgl. ACKERMANN 1984). Die praktische Verwirklichung dieses Konzepts erfolgte in den USA durch D. Brown für die Bündelmethode und in Europa durch F. Ackermann für die Methode der Unabhängigen Modelle. Die Entscheidung für das - wie der Name zum Ausdruck bringt, nach ausgleichungstechnischen Gesichtspunkten weniger strenge - Verfahren war wesentlich durch die weltweit vorhandenen Analoggeräte motiviert, die unmittelbar gemessene Modellkoordinaten lieferten, wobei auch die zukünftige Nutzung von Komparatoren nicht ausgeschlossen war. Daneben zeichnete sich die Methode der Unabhängigen Modelle durch die rechentechnisch günstigeren Eigenschaften der Trennbarkeit von Lage- und Höhenauswertung bei der klassischen Anwendung aus und zeigte - überraschenderweise - gegenüber der Bündelmethode ohne Selbstkalibrierung günstigere Genauigkeitseigenschaften.

Für die erfolgreiche Einführung der Blockausgleichungsmethode in die photogrammetrische Praxis waren eine Reihe von Gründen entscheidend:

- *Genauigkeitsstudien* belegten die gegenüber der Streifentriangulation außerordentlich günstigen Eigenschaften flächenhaft angelegter Bildverbände (ACKERMANN 1966) und bildeten die Grundlage für die Planung von Blöcken u. a. mit der heute klassischen Empfehlung der Paßpunktrandbesetzung für Lageblöcke. Diese Untersuchungen, die konzeptionell breit angelegt und richtungsweisend für künftige Planungsstudien waren, basierte auf stark vereinfachten Annahmen: Die Reaktion auf ihre Aussagen und Schlußfolgerungen reichte von vehementer Ungläubigkeit bis zu begeisterter Aufnahme - sie bestätigten sich in den späteren - von F. Ackermann angeregten Großversuchen (Oberschwaben (HAUG 1980), Appenweier (ACKERMANN 1976)) in allen Details.
- *Leistungsfähige Programmpakete* ermöglichten es, die theoretischen Genauigkeitsmodelle empirisch zu überprüfen und den Anwendern das Verfahren selbst in die Hand zu geben. Kennzeichnend für das Programm PAT-M für die Aerotriangulation mit Unabhängigen Modellen (ACKERMANN, EBNER, KLEIN 1970), war neben der erreichten Zuverlässigkeit des Programms, daß es für damalige Verhältnisse - extrem große Modellverbände mit einigen tausend Modellen verarbeiten konnte, damit die prognostizierten günstigen Genauigkeitseigenschaften großer Blöcke auch praktisch umsetzen konnte und gleichzeitig auch gegenüber geodätischen Netzausgleichungsprogrammen neue Maßstäbe setzte. Mit weit über 100 über den Erdball verstreuten Installationen dürfte kaum ein geodätisch/photogrammetrisches an Hochschulen entwickeltes Softwareprodukt mehr zur Verbreitung eines praktischen Verfahrens beigetragen haben wie dieses Programmpaket.
- Die *Ausarbeitung der Methodik* der Aerotriangulation war in den 70er und den frühen 80er Jahren zentrales Thema photogrammetrischer Forschung. Dabei ging es zunächst um die Verfeinerung des funktionalen Modells durch das Verfahren der Selbstkalibrierung - eine entsprechende Verfeinerung des stochastischen Modells, die aufwendig und damit leistungsmindernd gewirkt hätte, war damit überflüssig. Die Arbeiten von E. STARK (1973), M. SCHILCHER (1980) und R. SCHROTH (1984) belegten dies durch umfangreiche empirische Tests und bestätigten damit die von F. ACKERMANN (1965) betonte prinzipielle Austauschbarkeit von funktionalem und stochastischem Modell. Bereits 1971 regte F. Ackermann für die Anwendbarkeit des Verfahrens wichtige Untersuchungen zur Suche nach groben Fehlern auf der Basis der von W. BAARDA entwickelten Zuverlässigkeitstheorie an. Sie führten im Endergebnis zu verfeinerten Richtlinien für die Planung photogrammetrischer Blöcke und zur Implementierung robuster Schätzverfahren zur automatischen Fehlersuche innerhalb der Blockausgleichungsprogramme.
- Die *Einbeziehung von Hilfdaten* (Statoskop, Airborne Profile Recorder, Seenpunkte) in die Aerotriangulation geht ebenfalls auf die Initiative von F. Ackermann zurück und ist als Reaktion auf die von der Praxis erhobene Forderung nach weiterer Einsparung - vor allem in Entwicklungsländern teurer - Paßpunkte zu verstehen. Mit Großblöcken gelang der empirische Nachweis, daß hunderte von Kilometern ohne Höhenpaßpunkte durch die Ankoppelung der Projektionszentren an die isobare Fläche überbrückbar sind. Die hochaktuellen Entwicklungen in jüngster Zeit zur Nutzung von GPS-Daten (FRIESS 1988) schließen an diese Pionierarbeiten aus den 70er Jahren an. Die ersten Ergebnisse, die eine Genauigkeit der Bestimmung der Projektionszentren von wenigen Zentimetern belegen, lassen fragen, wann

eine direkte Bestimmung aller Orientierungsdaten während des Fluges mit einer für die Kartierung hinreichenden Genauigkeit möglich ist und damit die indirekte Bestimmung durch Aerotriangulation überflüssig wird.

Noch ist es nicht so weit. Die Aerotriangulation wird aller Voraussicht nach noch wenigstens 10 bis 15 Jahre Basis für alle großräumigen Kartierungsaufgaben bleiben. Gleichzeitig wird das Interesse der Photogrammeter auf Bildanalyse, Fernerkundung und Raumbezogenen Informationssysteme gelenkt. Damit geht eine deutliche Verlagerung der Forschungs- und Ausbildungsschwerpunkte einher. Während bis vor einigen Jahren Aerotriangulation noch Unterrichtsstoff im Kernstudium war, wird es bereits heute hauptsächlich im Vertiefungsstudium dargeboten und hat in Zukunft noch mehr mit den aktuellen Techniken zu konkurrieren.

Was bedeutet dies für das Knowhow, das für die richtige Nutzung der Aerotriangulation notwendig ist? Ich möchte im folgenden darlegen, warum es mir sinnvoll scheint, das in den letzten zwei Jahrzehnten photogrammetrischer - und auch geodätischer - Forschung angereicherte Wissen im Bereich der Aerotriangulation aufzuarbeiten und für eine rechnerunterstützte Planung und vor allem Datenanalyse zur Verfügung zu stellen und auf welchem Wege dies erreicht werden könnte. Dies würde nicht nur dem Anliegen einer Steigerung der Operationalität der Verfahren dienen sondern könnte sich auf verwandte Aufgaben in der Geodäsie oder auch der Bildanalyse übertragen lassen, die auf ihre Weise eine ähnliche Entwicklung durchlaufen.

2 Plädoyer

Der Gedanke, wissenschaftlich gestützte Verfahren innerhalb der Aerotriangulation einzusetzen, ist nicht neu. Insbesondere die Bildflugplanung ist hierfür hervorragend geeignet (vgl. SESTER 1988). Der Grund liegt in der starken Formalisierung der Beziehungen zwischen den die Blockgeometrie bestimmenden Faktoren wie sie etwa in der tabellarischen Zusammenfassung durch KRAUS (1982) zu entnehmen ist. Die Analyse der Daten dagegen läßt sich aus naheliegenden Gründen bei weitem nicht so leicht in ein formales Schema bringen, da im Prinzip alle nur denkbaren Abweichungen von der Planung beurteilbar sein müssen. Entscheidend aber ist, daß der *Prozeß* der Blockausgleichung, d. h. der Datenbereinigung bisher von der Forschung kaum betrachtet wurde. Wie der Rückblick verdeutlichte, ist dazu das Einzelwissen der verschiedenen Teilkomponenten zu integrieren, wie etwa Wissen über:

- Projektspezifikationen
- Geräteeigenschaften und Meßverfahren
- Ausgleichstechniken
- Statistische Methoden und Hypothesentests
- Zusätzliche Parameter und grobe Fehler
- Beurteilung von Varianzen, σ
- Verknüpfungsstrukturen bzw. Topologie von Blöcken

- Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmodelle
- Paßpunktanordnungen
- Störungen der Blockgeometrie
- Programmiersprache, Betriebssystem
- etc.

Daher geben die Programme i. a. nur Auskunft, wenn Fehler auftreten, nicht dagegen wann ein Ergebnis für den vorgesehenen Zweck akzeptierbar ist. Richtlinien, d. h. Strategien, nach denen auf Fehler, die vom Programm aufgedeckt wurden, zu reagieren ist, sind in der Regel in der Benutzeranweisung enthalten. Sie leitet sich aus der Erfahrung bei der Nutzung der Programme durch den Entwickler ab, stützt sich auf die Ergebnisse theoretischer Untersuchungen und muß sich auf die mit der Zeit erworbene Erfahrung des Bearbeiters verlassen. Auch bei guter Schulung verblaßt das erworbene Wissen durch Termindruck, selten auftretende Fehler, ungenügenden Informationsrückfluß innerhalb eines Betriebs und damit möglicherweise scheinbar wirksame Vereinfachungen des Verfahrens. Wesentliches Hemmnis für eine bessere Nutzung der an den verschiedenen Stellen gesammelten Erfahrung ist die Schwierigkeit, diese Erfahrung zu formulieren oder gar zu formalisieren.

Wenn man schließlich die Kosten allein für die wissenschaftliche Entwicklung abschätzt, kommt man bei vorsichtigen Annahmen (20 Jahre 50 Wissenschaftler) auf einen Aufwand von ca. 100 Mio. DM, der die o. g. Erfahrungskosten bei den Anwendern nicht enthält. Aus diesen praktischen - und selbstverständlich auch aus prinzipiellen Gründen - scheint ein Versuch lohnend, die verwendeten Strategien bei der Analyse von Blockausgleichungen zu sammeln, zu formalisieren, zu speichern und wenn möglich in einem wissensgestützten System für die Aerotriangulation zur Verfügung zu stellen.

Die technischen Randbedingungen für ein solches Vorhaben sind heute gegeben: Die Leistung moderner Workstations lassen die Berechnung mehrerer Varianten einer Ausgleichung innerhalb einer Arbeitssitzung zu und - wichtiger noch: vor einigen Jahren haben Entwicklungen für die Nutzung von Methoden der Künstlichen Intelligenz in der statistischen Datenanalyse begonnen, deren Erfahrungen hier nutzbringend verwertet werden können (vgl. GALE 1986)

3 Wege

Der erste und entscheidende Schritt bei der Entwicklung eines wissensgestützten Systems besteht in der Erfassung, Sichtung und Analyse des vorhandenen Wissens (vgl. BROOKING 1986). Die Informationsquellen im Bereich der Aerotriangulation sind vielfältig: Handbücher, Benutzeranleitungen, Ergebnisse theoretischer Untersuchungen etc. Sie müssen durch Interviews mit Aerotriangulations-Spezialisten, d. h. erfahrenen „Datenbereinigern“ an Hand von Projekten ergänzt werden. Rechnergestützter Wissenserwerb ermöglicht, die oft vorhandene psychologische Hemmschwelle, die Schwierigkeit, eigene Methoden zu beschreiben offenzulegen, zu überwinden. Erst die Analyse der so erfaßten Erfahrungen ermöglicht, eine Entscheidung über die Struktur

des wissensgestützten Systems zu treffen. Ich möchte im folgenden für ein solches System geeignetes Wissen exemplarisch darstellen, um die Vielfalt und Reichhaltigkeit des schon vorliegenden Wissens zu demonstrieren. Da die Analyse dieser Informationen noch nicht vorliegt, wird die Darstellung eines möglichen Systems auf allgemein anerkannte Richtlinien beschränkt bleiben müssen. Sie wird aber zeigen, daß ein solches System verspricht, sich realisieren zu lassen.

Benutzeranleitungen enthalten i. a. Empfehlungen, wie ein System möglichst gut genutzt werden kann, erklären die Fehlermeldungen (unterschiedlich gut) und geben dabei *Hinweise auf Fehlerursachen*, denen der Benutzer nachgehen kann. Ein typisches Beispiel ist etwa die folgende Fehlermeldung (#39, PAT-M Benutzerhandbuch):

```
"Reduced normal equation matrix not positive definite.
```

```
Message type: fatal error
```

```
User response:
```

```
In general poor geometry of the block.
```

- ```
A. Not enough control points with non-infinite standard
 deviations within the block. Check point numbers and serial
 numbers of the referenced standard deviation sets in the
 list of control points printed after this message.
B: Not enough connections and control points of one model or of
 a subblock with the remaining block. With regard to the
 iteration step where the message occurs check for height
 (Z-coordinates and 3 coordinates of projection centres) or
 planimetry (X and Y coordinates of model points without
 projection centres) in the succeeding printout.
C. Possibly negative values for standard deviations read in.
 Check printed values."
```

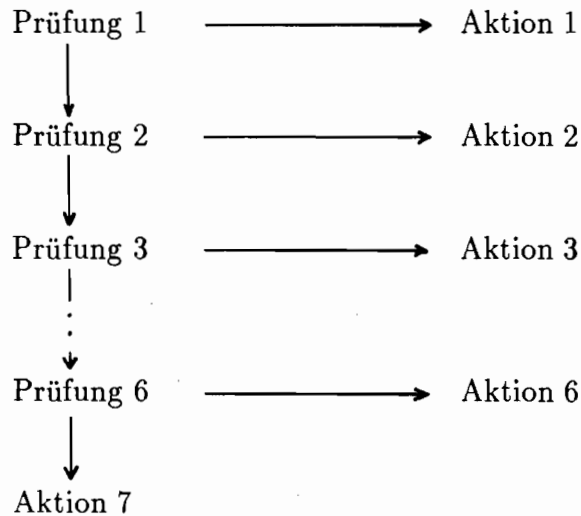
Diese Fehlermeldung, die prinzipiell in allen Ausgleichsprogrammen vorgesehen ist, gibt hier ausführlich Auskunft, welche Maßnahmen zur Behebung notwendig sind, und geht damit deutlich über die technisch richtige und für den Spezialisten genügende erste Zeile hinaus. Die generelle Aussage „poor geometry of the block“ wird spezifiziert, wohl entsprechend der Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Ursachen. Während der Fall C auch vom Programm prüfbar wäre, gibt es m. W. kein *allgemein* gültiges Verfahren zur Erkennung der ersten beiden Fälle. Dies betrifft insbesondere das Fehlen von Paßpunkten, denn die Lokalisierung geometrischer Schwächen im Blockgefüge ließe sich etwa durch die Analyse der Genauigkeit der Orientierungsparameter unterstützen (über die Änderung von a priori Standardabweichungen durch die Ausgleichung).

Das Beispiel zeigt deutlich die verschiedenen Ebenen, auf denen die Analyse solcher Informationen angesiedelt ist:

- einfache Prüfung von Eingabeparametern
- algorithmische Prüfung komplexerer Situationen
- Rückgabe der Prüfung an den Benutzer.

In allen Fällen bleibt aber die Entscheidung über die notwendigen Maßnahmen beim Anwender. Die Fehlermeldung gibt auch keinen Hinweis *wie* eine evtl. auch vom Programm aufgedeckte Schwäche eines Blocks behoben werden kann.

Da i. a. mehrere Fehlermeldungen gleichzeitig auftreten, ist es notwendig, ihre *gegenseitige Abhängigkeit* zu kennen und zu wissen, welche der Fehler zuerst behoben werden müssen. Ein bereits formalisiertes Schema hat W. Schneider entwickelt. Es besitzt folgende lineare Struktur:



Das folgende Beispiel verdeutlicht die Art der Prüfungen und der empfohlenen Aktionen:

"3. Check roughly whether the sorting of the model groups corresponds with the block structure.

If yes: see point 4.

If no:

- Check whether the model numbers for the first model group in the basic data are selected properly.
- Use printout of model connections (requested by basic data) to find out unexpected model connections. Check such models for common point numbers and correct wrong point numbering.

If you can't find common point numbers in your block data but models are connecting, the format string for the model points in the basic data may be wrong."

(Hervorhebungen eingefügt)

Auch hier sind Prüfungen auf den oben genannten Ebenen angesprochen. Falsche Formate ließen

sich durch Verwendung freier Formatierung, besser noch, durch Standardisierung vermeiden. Die Angabe der ersten Modellgruppe wäre bei der Verwendung einer entsprechenden Optimierungsroutine nicht notwendig. Die Prüfung falscher Modellverknüpfungen würde dadurch nicht entfallen, sie wird vor allem nicht leichter. Die Ummumerierung von falschen Verknüpfungen könnte - zumindest prinzipiell - automatisiert werden. Auf eine Überprüfung durch den Bearbeiter würde man aber nicht verzichten wollen.

Wichtig scheint mir in unserem Kontext die Rolle der Worte „properly“ und „unexpected“ zu sein. Beide Begriffe sind unscharf und in höchstem Maße kontextabhängig. Während die Eignung der ersten Modellgruppe etwa durch die zu erwartende Rechenzeit objektiv meßbar wäre, hat das Programm grundsätzlich keine Erwartung an die Modellverknüpfungen (vom Grad der eingebaren Überdeckung abgesehen). Diese Information steht nur dem Nutzer über die Befliegungsübersicht, i. a. ein Plan, zur Verfügung. Hier ist also zu fragen, ob es möglich und sinnvoll ist, dem Programm die Planungsdaten mitzuteilen, in Zukunft evtl. durch GPS-Daten unterstützt, um über den Vergleich der aktuellen Befliegung mit dem Flugplan Verknüpfungsfehler automatisch aufdecken zu können. Da eine rechnerunterstützte Bildflugplanung ohnehin Teil eines Prototypen sein sollte, in den u. a. die umfangreichen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmodelle eingingen, würde das Programm automatisch diese und eine Reihe anderer „Erwartungen“ haben und nutzen können.

Die Qualität des Ergebnisses hängt von vielen Parametern ab. Für Rückfragen in einer Erklärungskomponente oder zur Beurteilung von Entscheidungen ist es wertvoll zu wissen, welchen *Einfluß Fehler im mathematischen Modell*, insbesondere die Auswahl zusätzlicher Parameter bei der Selbstkalibrierung auf das Ergebnis haben. Die folgende Tabelle zeigt, daß die hierzu notwendigen qualitativen Informationen vollständig verfügbar sind.

| Fehler<br>Einfluß auf | Funktionalteil         |                       |                                 | Stochastischer Teil<br>falsche Streuungen                                                                        |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | zu wenige<br>Parameter | zu viele<br>Parameter | falsche<br>Parameter-<br>gruppe |                                                                                                                  |
| Koordinaten           | verzerrt               | unverzerrt            | verzerrt                        | unverzerrt                                                                                                       |
| Genauigkeit           | zu optimistisch        | zu pessimistisch      | verzerrt                        | alle $\Delta\sigma \leq 0$ : zu pessimistisch<br>alle $\Delta\sigma \geq 0$ : zu optimistisch<br>sonst: verzerrt |
| $\sigma_0$            | zu pessimistisch       | unverzerrt            | unverzerrt                      | alle $\Delta\sigma \leq 0$ : zu pessimistisch<br>alle $\Delta\sigma \geq 0$ : zu optimistisch                    |

Tabelle 1: Einfluß von Modellfehlern (nach SCHROTH 1986)

Die Tabelle läßt sich vor allem dafür verwenden, den Einfluß der Wahl eines Parametersatzes auf das Ergebnis abzuschätzen. Etwa führt die Erhöhung der Anzahl zusätzlicher Parameter zu im Mittel korrekten Koordinaten, zu im Mittel ungünstigeren Genauigkeiten und zu einem im Mittel richtigen Varianzfaktor. Dies sind Erwartungswerte, die das Programm zur Prüfung von Ergebnissen verwenden kann. Abweichungen deuten auf Mängel im mathematischen Modell hin, d. h. auf nicht kompensierte systematische Fehler. Aber auch bei der Datenbereinigung lassen

sich die Aussagen der Tabelle verwenden, da die Elimination einer Beobachtung der Einführung eines zusätzlichen Parameters entspricht. Da fast alle diese Effekte, zumindest prinzipiell, auch quantitativ bestimmbar sind, stehen für die Datenanalyse wichtige Prozeduren zur Verfügung. Sie sollten allerdings nur durch vom Programm initiierte Analysen verwendet werden, da sie als Spezialroutinen den Anwender nur belasten würden (s. u.).

Diese Beispiele für bereits dokumentiertes Wissen über die Durchführung von Blockausgleichungen sollen genügen, denn sie zeigen deutlich, daß eine detaillierte Analyse und Aufarbeitung der Texte, Diagramme und Tabellen notwendig ist, aber auch, daß noch zusätzliches Strategie-Wissen erworben werden muß. Dies ist durch *Protokolle* möglich, die während der Datenbereinigung ausgewählter Projekte angefertigt werden. Sie sollten nicht nur die jeweiligen Aktionen enthalten, sondern vor allem auch die Diskussionen, die zu bestimmten Schlußfolgerungen führte, etwa „Paßpunkt XX ist wohl falsch, obwohl die zugehörige Testgröße klein ist“ und die Erwartungen, die man an den nächsten Versuch stellt. HUBER hat für diesen Zweck vorgeschlagen, und mit Erfolg für die multivariate statistische Analyse realisiert (1986), ein leicht zu handhabendes System zu entwickeln, das es dem Benutzer erlaubt, „einfach und schnell zu improvisieren“. Dabei soll das Programm eine Protokoll über den Ablauf einer Sitzung führen und durch Fragen wie „Was sehen Sie auf dieser Grafik?“, „Was haben Sie als nächstes vor?“ oder „Was erwarten Sie vom nächsten Ergebnis?“ die Interpretation des Protokolls erleichtern. Es ist wichtig - so HUBER -, daß ein solches System den Benutzer so weit wie möglich entlastet, d. h. etwa (quasi) umgangssprachliche Formulierungen in Befehlsfolgen umsetzt und sich mit eigenen Vorschlägen zurückhält, um die Strategie des Benutzers zu erfahren.

Erst die Analyse der auf diese Weise entstandenen Protokolle wird eine geeignete Grundlage für die Strukturierung der Strategien sein und die Möglichkeit bieten, das Wissen so zu formalisieren, daß es sich in ein wissensgestütztes System für die Aero triangulation gießen läßt. Auch hier muß man schrittweises vorgehen, da die für die Entwicklung solcher Systeme notwendige Theorie nicht vorhanden ist. Die Ratschläge, die PREGIBON (1986) für die Implementierung einer persönlichen (Do it yourself) statistischen Strategie gibt, seien hier zitiert und kommentiert:

„DO CHOOSE A DATA ANALYSIS TASK YOU ARE QUITE FAMILIAR WITH“

Dies ist eine notwendige Voraussetzung für den Erfolg, aber keine Garantie dafür, daß man erklären kann, warum man eine gute Lösung erzielt hat.

„DON'T CHOOSE A COMPLEX DATA ANALYSIS TASK“

Die Bereinigung von Lageblöcken wäre ein genügend einfaches Teilproblem, das mit seinen Genauigkeits- und Verknüpfungsstrukturen repräsentativ für die allgemeineren Verfahren ist.

„DON'T TRY TO GET ALL THE DETAILS DOWN THE FIRST TIME“

Die Beschränkung auf einfache Strategien für die Bereinigung, wie etwa „zuerst photogrammetrische, dann geodätische Beobachtungen prüfen“, ist ohne weiteres möglich.

„DON'T TRY FOR PERFECTION.“

We are interested in the *technological* rather than in the *scientific* aspects of data analysis strategie - for now at least!..“

„DON'T SIT AROUND THINKING TOO LONG BEFORE EXPERIMENTING.“

... *Thinking* about how you can do data anlysis is no substitute for *doing it*. Clearly there is a subtle interplay between the two ...“



„DO DOCUMENT YOUR CASE STUDIES“  
Dies entspricht den o. g. Protokollen.

„DON'T USE ARTIFICIAL DATA.  
... Thinking about all those things that *could possibly* go wrong but *seldom do*, will at some time or another tempt you to try to sort Pandora's Box“

Die Diskussion sollte gezeigt haben, daß die in der Aerotriangulation für die Analyse notwendige Strategien eine Chance haben auf Rechnern implementiert zu werden. Selbst wenn die Details noch offen sind, kann man doch erwarten, daß man dem Nutzer vergleichsweise weitgehende Hilfen durch eine solches System geben kann.

## 4 Schluß

Die Arbeit entstand aus der Sorge, daß das im Bereich der Aerotriangulation erarbeitete und für die Praxis auch in der Zukunft noch wichtige Wissen langsam verloren geht und aus dem Interesse, Erfahrungen mit der Entwicklung eines wissensgestützten Systems zu sammeln. Es lohnt sich, das Wissen im Bereich der Aerotriangulation zu sammeln und zu formalisieren, denn es bestehen gute Chancen, es zur weiteren Operationalisierung von Blockausgleichsprogrammen zu verwenden. Auch wenn nur Teile des Systems verwirklicht werden, so wird man dabei nicht nur viel über die Behandlung qualitativer Modelle lernen, und damit die reichhaltige Erfahrung mit quantitativen Modellen vervollständigen, sondern auch wertvolle Erkenntnisse über Strategien und Bewertungsmethoden bei der Datenanalyse gewinnen, die auch in anderen Anwendungsgebieten von großem Nutzen sein werden.

## Dissertationen und Habilitationen unter Prof. Dr. F. Ackermann:

28. Januar 1969  
HEINRICH EBNER: Genauigkeitsuntersuchung zur photogrammetrischen Sternkoordinatenbestimmung durch geschlossene Blockausgleichung  
DGK C 141, München 1969
22. Dezember 1969  
HANS MOHL: Vergleichende fehlertheoretische Untersuchungen über die Genauigkeit verschiedener Verfahren der photogrammetrischen Streifentriangulation  
DGK C 149, München 1970
19. Dezember 1970  
HELMUT SCHNEIDER: Untersuchungen am Orthoprojektor GZ1 über die Höhengenaugkeit der Profilschraffenmethode  
DGK C 162, München 1971
14. Januar 1972  
HEINRICH EBNER: Leistungssteigerung in der Blockausgleichung  
(Habilitation)
14. Januar 1972  
KARL KRAUS: Neue Methoden in der numerischen Photogrammetrie  
(Habilitation)
5. Juni 1973  
EBERHARD STARK: Die Genauigkeitsstruktur im photogrammetrischen Einzelmodell  
DGK C 193, München 1973
6. Juni 1973  
DIERK HOBBIE: Zur Verfahrensdiskussion bei der differentiellen Entzerrung von photogrammetrischen Luftbildern  
DGK C 197, München 1974
17. Juli 1973  
HARALD MEIXNER: Programmentwicklung und Genauigkeitsuntersuchungen zur Bündelmethode der Aerotriangulation  
DGK C 206, München 1975
11. Dezember 1975  
KLAUS KRACK: Die Blockausgleichung zur Berechnung umfangreicher tachymetrischer Aufnahmen  
DGK C 231, München 1977
19. Februar 1976  
WOLFGANG FÖRSTNER: Die Suche nach groben Fehlern in photogrammetrischen Lageblöcken  
DGK C 20, München 1980
25. Februar 1977  
C. M. A. VAN DEN HOUT: Photogrammetrische Blockausgleichung mit Bündelmodellen  
Selbstverlag

15. Juni 1978  
EBERHARD SEEGER: Das Orthophotoverfahren in der Architekturphotogrammetrie  
Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie Stuttgart, Heft 5
25. Januar 1979  
GERHARD HAUG: Bestimmung und Korrektur systematischer Bild- und Modelldeformationen in der Aerotriangulation am Beispiel des Testfeldes „Oberschwaben“  
Nachrichten aus dem Karten und Vermessungswesen, Nr. D-13, Frankfurt/M. 1980
1. Februar 1980  
MATTHÄUS SCHILCHER: Empirisch-statistische Untersuchungen zur Genauigkeitsstruktur des photogrammetrischen Luftbildes  
DGK C 262, München 1980
23. Juni 1980  
SHUE-CHIA WANG: Einfluß der geodätischen Abbildungsverzerrungen auf die photogrammetrische Punktbestimmung  
DGK C 263, München 1980
17. Juli 1981  
WILHELM STANGER: Ein Digitales Geländemodell und einige Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Flurbereinigung  
DGK C 273, München 1983
24. Mai 1982  
EMIL WILD: Die Prädiktion mit Gewichtsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung von Geländeflächen bei topographischen Geländeaufnahmen  
DGK C 277, München 1983
25. April 1984  
RALF SCHROTH: Ein erweitertes mathematisches Modell der Aerotriangulation zur hochgenauen Punktbestimmung  
DGK C 316, München 1986
6. Februar 1985  
DEREN LI: Untersuchungen zur Trennbarkeit von groben und systematischen Fehlern bei der Bündelblockausgleichung  
DGK C 324, München 1987
25. Januar 1989  
WOLFGANG FÖRSTNER: Statistische Verfahren für die Automatische Bildanalyse und Ihre Bewertung bei der Objekterkennung  
(Habilitation)

## Literatur

- ACKERMANN, F. (1965): Fehlertheoretische Untersuchungen über die Genauigkeit photogrammetrischer Streifentriangulationen DGK C 87, München 1965
- ACKERMANN, F. (1966): On the Accuracy of Planimetric Block Triangulation, *Photogrammetria*, Vol. 21, 1966, S. 145-170
- ACKERMANN, F. (1975): Photogrammetrische Netzverdichtung - Das Projekt Appenweier, *Schriftenreihe d. Inst. für Photogr.*, Heft 1, 1976
- ACKERMANN, F. (1984): Photogrammetrie und Geodäsie - Einige kritische Betrachtungen über ihr gegenseitiges Verhältnis, *Schriftenreihe des Inst. f. Photogr.* 10, 1984, S. 7-20
- ACKERMANN, F., EBNER H., KLEIN H. (1970): Ein Programmpaket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen, *Bildmessung und Luftbildwesen* 1970, S. 218-224
- ACKERMANN, F., EBNER H., KLEIN H. (1972): Combined Blockadjustment of APR Data and Independent Photogrammetric Models, *Canadian Surveyor* 1972, S. 384-396
- ACKERMANN, F., SCHNEIDER, W. (1983): Neue Ergebnisse zur Aerotriangulation mit Statoskop-Daten, *Bildmessung und Luftbildwesen* 1983, S. 21-37
- BROOKING A. G. (1986): The Analysis Phase in Development of Knowledge Based Systems, in *Gale* 1986, pp. 321-334
- EBNER, H. (1976): Selfcalibrating Blockadjustment, *Int. Archives of Photogrammetry*, 21-3, Helsinki 1976
- FRIESS P. (1989): Empirical Accuracy of Positions Computed from Airborne GPS-Data, in K. Linkwitz u. U. Hangleiter (Eds): *High Precision Navigation*, Springer, Berlin/Heidelberg 1989
- GALE W. A. (1986, Ed.): *Artificial Intelligence and Statistics*, Addison-Wesley, 1986
- HUBER P. J. (1986): Environments for Supporting Statistical Strategy, in *Gale* 1986, pp. 285-294
- KRAUS K. (1982): *Photogrammetrie*, Bd. 1, Dümmler, Bonn 1982
- PREGIBON D. (1986): A DIY Guide to Statistical Strategy, in *GALE* 1986, pp. 389-400
- SCHMID, H. H. (1958): Eine allgemeine analytische Lösung für die Aufgabe der Photogrammetrie, *Bildmessung und Luftbildwesen*, 1958, S. 103-113, 1959, S. 1-12
- SCHNEIDER, W. (1987): Hints for the Practical Use of PAT-M, Unpublished Manuscript
- SESTER M. (1988): Entwurf und Implementierung eines Expertensystems zur photogrammetrischen Bauaufnahme, Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie, Karlsruhe, 1988