

ERFAHRUNGEN MIT DER AUTOMATISCHEN AEROTRIANGULATION

Konrad Eder¹, Christian Heipke²

¹Technische Universität München

Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung
80290 München

²Universität Hannover

Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen
Nienburger Straße 1, 30167 Hannover

KEYWORDS: Automatische Aerotriangulation, Internationaler Test

ABSTRACT

The European Organisation for Experimental Photogrammetric Research (OEEPE) and the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) have carried out a common test on the performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation (AAT). The aims of the test were to investigate the geometric block stability, the accuracy of the tie points and the derived orientation parameters and the limitations of existing commercial and experimental software systems. The Chair for Photogrammetry and Remote Sensing of the Technical University Munich acted as pilot centre and was responsible for the selection and distribution of the test data and the support of the test participants. The results of 21 participants have been received, analysed and the most important results are presented in this paper. Furthermore, the results are discussed in terms of accuracy, reliability and experiences made during the test evaluation. Besides the test results this paper also discusses recent improvements of AAT and the current state-of-the-art.

1. Einführung

Die automatische Aerotriangulation (AAT) ist seit geraumer Zeit verstärkt Gegenstand von Forschung und Entwicklung (siehe Schenk, 1997 für einen exzellenten Überblick), und es sind eine Reihe von AAT-Softwaresystemen auf dem Markt, entweder als "stand-alone" Systeme oder integriert in eine digitale photogrammetrische Arbeitsstation. Die anfängliche Euphorie dahingehend, daß AAT ohne jegliche Interaktion eines menschlichen Operateurs in sehr kurzer Zeit ähnlich wie die digitale Orthoprojektion zum Standard in der photogrammetrischen Auswertekette werden würde, hat sich inzwischen gelegt (siehe z. B. Käser et al. 1999; Kersten 1999; Masala 1999; Urset, Maalen-Johansen 1999), denn viele unbeantwortete Fragen stehen im Raum. Die beiden wichtigsten sind vielleicht:

- Unter welchen Bedingungen liefert die AAT ohne Interaktion brauchbare Ergebnisse?
- Wie kann eine effektive Qualitätskontrolle erreicht werden?

Im Rahmen des internationalen Tests "Performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation", der gemeinsam von der Europäischen Organisation für experimentelle

Photogrammetrie (OEEPE) und der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) durchgeführt wurde, sollte versucht werden, die Möglichkeiten und Grenzen der AAT aufzuzeigen. Der Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität München war als Testzentrum für die Auswahl der Testbeispiele, sowie die organisatorische und fachliche Betreuung zuständig.

In Kapitel 2 dieses Beitrags werden Ziele und Konzeption des Tests erläutert, im nächsten Kapitel wird über die Ergebnisse und Erfahrungen bei der Auswertung und Analyse der Teilnehmerergebnisse berichtet. Seit Abschluß des Tests ist die Entwicklung weiter fortgeschritten. Diese Entwicklungen werden in Kapitel 4 aufgezeigt.

2. Der OEEPE/ISPRS Test

2.1 Ziele des Tests

Das wichtigste Ziel des Tests bestand in der Untersuchung der Qualität der **automatisch generierten Verknüpfungspunkte** in Bezug auf Genauigkeit, Anzahl und Verteilung im Bild. Es wurde großer Wert darauf gelegt, daß während und nach der automatischen Verknüpfungspunktgenerierung **keinerlei manuelle Messungen** durchgeführt wurden, etwa um die Genauigkeit zu

steigern, oder texturschwache Gebiete zu überbrücken. Erlaubt waren dagegen automatische Prozeduren zur Fehlerbereinigung im Rahmen der Verknüpfungspunktgenerierung. Auf diese Weise war es möglich, wirklich neue Aspekte, die sich durch die Automation ergaben, von den bekannten Aspekten, die die AAT beeinflussen, wie Verteilung der Paßinformation oder Blockkonfiguration zu trennen. Die einzelnen Ziele des Tests waren Untersuchungen

- zur geometrischen Stabilität des Bildblocks,
- zur Genauigkeit der automatisch generierten Verknüpfungspunkte,
- zu Grenzen und Beschränkungen der verfügbaren kommerziellen und experimentellen Systeme.

Der Test wurde mit Hilfe verschiedener Datensätze durchgeführt, die von den Teilnehmern zu bearbeiten waren. Die Analyse der erzielten Ergebnisse wurde dann in München durchgeführt.

2.2 Testdatensätze

Für die Auswahl der Testdaten wurden folgende Vorgaben zugrunde gelegt:

- möglichst repräsentative Beispiele im Hinblick auf verschiedene Standardaufgaben in der Photogrammetrie,
- kleine Blöcke, um die Datenmenge gering zu halten,
- einwandfreies Bildmaterial, gescannt mit einem photogrammetrischen Präzisions-scanner,
- keine aus Sicht der Luftbildphotogrammetrie „exotischen“ Beispiele (z. B. Aufnahmen mit stark unterschiedlichem Maßstab, aus unterschiedlichen Epochen oder aus dem Nahbereich), um den Programmen eine reelle Chance zu geben, den Test zu meistern.

Diese Überlegungen führten zur Auswahl sehr kleiner Blöcke mit 3x3 bzw. 3x2 Bildern und eines Bildstreifens mit 3 Bildern. Die Blöcke unterscheiden sich hinsichtlich Bildinhalt, Geländeform, Aufnahmekamera, Bildmaßstab, Filmmaterial und Überdeckungsverhältnissen und werden im folgenden kurz beschrieben:

Echallens:

3x3 Bilder, ebenes, offenes Gelände, teilweise bewaldet, Bildmaßstab 1:5000, 60% Längs- und 30% Querüberdeckung, Pixelgröße 20 µm.

Kapellen:

2x3 Bilder, teils besiedeltes, teils offenes Gelände, Bildmaßstab 1:4000, 60% Längs- und Querüberdeckung, Pixelgröße 24 µm.

Montserrat:

3x3 Bilder, bergiges teils besiedeltes, teils bewaldetes Gebiet, Bildmaßstab 1:15000, 60% Längs- und 30% Querüberdeckung, Pixelgröße 30 µm.

München:

1 Streifen mit 3 Bildern, Innenstadtbereich, Bildmaßstab 1: 2000, 60% Längsüberdeckung, Pixelgröße 30 µm.

OSU:

3x3 Bilder, amerikanischer Universitätscampus, Bildmaßstab 1: 4000, 60% Längs- und Querüberdeckung, Pixelgröße 24 µm, verwendet wurde der Rotkanal der Farbinfrarotaufnahmen.

Die Teilnehmer erhielten die Bilddaten (insgesamt 3.5 GB) auf DAT- bzw. Exabytebändern zusammen mit den Daten der Kamerakalibrierung, sowie den Näherungswerten der äußeren Orientierung und einer allgemeinen Testbeschreibung. Paßinformation wurde nicht zur Verfügung gestellt. Die Teilnehmer waren aufgefordert, die Bilddaten mit der bei ihnen verfügbaren AAT-Software zu bearbeiten, und die Koordinaten der extrahierten Verknüpfungspunkte an das Testzentrum zurückzuschicken.

2.3 Testteilnehmer

Nach Ankündigung des Tests bekundeten 39 Institutionen Interesse, sich zu beteiligen und forderten Testdaten an. 21 Teilnehmer prozessierten die Daten und lieferten Ergebnisse an das Testzentrum zurück, wobei nicht alle Teilnehmer alle Datensätze bearbeiteten. Unter den Teilnehmern waren die vier wichtigsten Softwarehersteller (Carl Zeiss / Phodis AT, Tang et al. 1997; Intergraph / Match AT, Inpho GmbH / Match AT, Ackermann, Krzystek 1997; LH Systems / HATS, de Venecia et al. 1997), fünf Landesvermessungsbehörden und vier photogrammetrische Privatfirmen. Von den insgesamt acht Forschungseinrichtungen verwendeten drei kommerzielle Systeme, während fünf Institute eigene Entwicklungen einsetzten (Honkavara,

Teilnehmer	AAT System
LH Systems, San Diego	HATS, 3.2.1.1
BKG, Frankfurt	HATS, 3.1.1.2
EPFL, Lausanne	HATS, 3.1.3.k
National Land Survey of Finland, Helsinki	HATS, 3.2.1.2
National Land Survey of Sweden, Gävle	HATS, 4.0.8
UNSW, Sydney	HATS, 3.2.1
Swissphoto, Regensdorf	HATS, 3.2.1.2
Inpho GmbH, Stuttgart	Match AT, 2.1.0
Intergraph, Huntsville	Match AT, 2.1.1
CGR, Parma	Match AT, 2.1.1
Hansa Luftbild, Münster	Match AT, 2.1.1
Photogr. GmbH, München	Match AT, 2.1.1
Carl Zeiss, Oberkochen	Phodis AT, 2.0.1
Bayer. LVA, München	Phodis AT, 2.0.0
General Command of Mapping, Ankara	Phodis AT, 2.0.0
LGN, Hannover	Phodis AT, 2.0.0
Finn. Geod. Institute, Masala	Eigenentwicklung
Universität Hannover	Eigenentwicklung
Techn. Universität München	Eigenentwicklung
Politecnico di Milano	Eigenentwicklung
Olsztyn University	Eigenentwicklung

Tabelle 1: Testteilnehmer und eingesetztes AAT System

Hogholen, 1996, Wang 1996, Brand, Heipke 1998, Forlani et al. 1998, Paszotta 1998). In Tabelle 1 sind alle Testteilnehmer sowie deren eingesetzte Software im Überblick dargestellt.

2.4 Testauswertung

Die von den Teilnehmern erhaltenen Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte wurden einer Auswertung und Analyse unterzogen. Da bei der automatischen Aerotriangulation einige

hundert oder gar tausend Verknüpfungspunkte pro Bild bestimmt werden, war es aus Zeitgründen nicht möglich, jeden einzelnen Punkt visuell zu überprüfen. Statt dessen wurde ein Auswertekonzept entwickelt, das Qualitätsangaben für jedes Teilnehmerergebnis liefert (Heipke, Eder, 1996; 1998; Winkler 1998).

In einem **ersten Schritt** wurden die Teilnehmerergebnisse einer **robusten Bündelausgleichung** unterzogen. Aufgrund allgemeiner Erfahrungen aus der Bildzuordnung wurde die a priori Genauigkeit der Bildkoordinaten dabei mit 1/3 Pixel angesetzt. Das Blockdatum wurde über 7 Datumparameter festgehalten (6 Parameter eines Bildes und eine Strecke). Die robuste Bündelausgleichung - durchgeführt mit dem am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU München entwickelten Bündelprogramm CLIC - lieferte u.a. die a posteriori Standardabweichung der Bildkoordinaten σ_0 aus der Ausgleichung und die **ausgeglichenen Parameter der äußeren Orientierung** für jedes Bild. Diese Ergebnisse ermöglichen es lediglich, einen ersten Eindruck von der Qualität der Verknüpfungspunkte zu erlangen. σ_0 erlaubt keine Aussage über die geometrische Stabilität des Blockverbandes, wie noch gezeigt wird. Bei der automatischen Aerotriangulation ist besonders auf die Anzahl und Verteilung der Verknüpfungspunkte im Bild zu achten. Aus diesem Grund wurden für alle Teilnehmerergebnisse Plots generiert, die die Verteilung der Bildpunkte vor und nach der robusten Ausgleichung zeigen. Ebenso wurden die Anzahlen der Mehrstrahlpunkte nach den Kriterien 2-,3-,4-...n-fach ermittelt.

In einem **zweiten Schritt** wurden die ausgeglichenen Orientierungselemente der Bilder fest vorgegeben, und mit den Bildkoordinaten von Kontrollpunkten wurde ein "**kleinster Quadrate Vorwärtsschnitt**" durchgeführt. Die Bildkoordinaten der Kontrollpunkte waren vorab manuell bestimmt worden, wobei durch besonders sorgfältige Punktauswahl und -messung eine sehr hohe Genauigkeit erreicht worden war. Der zweite Auswerteschritt lieferte sowohl die **Objektkoordinaten der Kontrollpunkte** als auch σ_{vw} (σ_0 des kleinsten Quadrate Vorwärtsschnittes).

σ_{vw} ist ein Indikator für die Qualität der im ersten Schritt bestimmten Parameter der äußeren Orientierung. Liegt σ_{vw} im Bereich der Genauigkeit der Referenzmessung, dann liegen keine in diesem

Test aufdeckbaren Blockverbiegungen vor. Ist dagegen der Wert für σ_{vw} deutlich höher, so ist dies ein Hinweis für durch fehlerhafte Bildorientierungen hervorgerufene Blockdeformationen.

Schließlich wurden in einem **dritten Schritt** die Objektkoordinaten der Kontrollpunkte mit den im zweiten Auswerteschritt gewonnenen Objektkoordinaten aus den Teilnehmerergebnissen verglichen. Die quadratischen Mittelwerte der **Differenzen an den Kontrollpunkten** (RMS_x , RMS_y , RMS_z) liefern ein Genauigkeitsmaß für die Koordinaten im Objektraum.

3. Erkenntnisse für die Praxis

Die Ergebnisse des OEEPE/ISPRS Tests sind detailliert in Heipke, Eder (1998) dargestellt. Zusammenfassend können aus dem Test eine Reihe von Aussagen für den praktischen Einsatz der AAT gewonnen werden.

Blockstabilität

Da das Ergebnis der automatischen Verknüpfungspunktmessung i. a. mit groben Fehlern behaftet ist, ist eine Bereinigung im Zuge einer **robusten Ausgleichung** unumgänglich. Dafür ist eine hohe Redundanz notwendig. Eine ausreichende Stabilität des resultierenden Bildblocks ist deshalb nur gewährleistet, wenn eine **große Anzahl von Verknüpfungspunkten** generiert wird. Als angemessen erwiesen sich ca. 100-300 Punkte pro Bild. Die hohe Redundanz führt im Vergleich zur analytischen AT auch zu einer kleineren Standardabweichung und einer verbesserten Zuverlässigkeit für die Parameter der äußeren Orientierung. Die Bedeutung der **Mehrstrahlpunkte** ist geringer als bei der analytischen AT, allerdings zeigt sich eine höhere Blockstabilität, je mehr Mehrstrahlpunkte zur Verfügung stehen. Bei ungünstigen Bedingungen im Objekt (bergiges, bewaldetes Gelände) traten vielfach Blockdeformationen im Bereich der **Streifenverknüpfung** auf. σ_0 ist als globales Maß über den gesamten Block nicht geeignet, derartige lokale Deformationen aufzudecken, sie wurden erst durch die Verwendung der Kontrollpunkte erkannt. Aus diesem Grund ist σ_0 in der AAT nur sehr bedingt aussagekräftig. Nach dem heutigen Stand ist eine sorgfältige Verifikation der Ergebnisse durch einen erfahrenen Operateur als notwendig anzusehen.

Genauigkeitspotential der automatisch generierten Verknüpfungspunkte

Bei guter Bildqualität, guter Textur und offenem ebenem Gelände ist eine Genauigkeit der Verknüpfungspunkte von 3-4 μm oder 0.15-0.2 Pixel erzielbar, sofern die Kleinste-Quadrate-Bildzuordnung für die Punktmessung eingesetzt wird. Durch Mehrfachbildzuordnung, wie sie z. B. in MATCH-AT realisiert ist, läßt sich die Genauigkeit noch steigern. Die Genauigkeit liegt in diesen Fällen im Bereich der analytischen Photogrammetrie mit künstlichen Verknüpfungspunkten. Betrachtet man alle in dem Test untersuchten Beispiele, so läßt sich bei einer Pixelgröße von 20-30 μm ein realistischer Wert für σ_0 von 4-9 μm angeben. Diese Genauigkeit wurde im Test mit allen getesteten kommerziellen Systemen erzielt, wenn die Systemparameter optimal gesetzt waren.

Defizite der Systeme

Zunächst bleibt festzuhalten, daß nicht alle Teilnehmer Ergebnisse für alle Testdatensätze erzielten. Dies kann darin begründet sein, daß in diesen Fällen kein erfolgreicher AAT Lauf erzielt wurde. Außerdem wurden von den eingereichten Teilnehmerergebnissen eine Reihe von Einzelergebnissen (Größenordnung ca. 10) als grob falsch verworfen.

Die Systeme liefern in der Regel keine ausreichenden Hinweise, wenn ein grob fehlerhaftes Ergebnis erzielt wurde, da eine **automatische Qualitätskontrolle** nicht oder nur rudimentär vorhanden ist. Die Qualität eines automatisch verknüpften Blockes kann über die Genauigkeit der Bildzuordnung, die Verteilung der Verknüpfungspunkte, die Anzahl der Mehrstrahlpunkte, die Genauigkeit der gewonnenen Verknüpfungspunkte, sowie die Kovarianzmatrix der unbekanntem Orientierungsparameter abgeschätzt werden. Die Systeme liefern i. d. R. nur ein globales Maß für σ_0 , was, wie bereits erwähnt, für eine detaillierte Qualitätsaussage ungeeignet ist. Eine wichtige Information liefern Punktverteilungsplots. Diese werden zwar von einigen Systemen angeboten, allerdings nicht aufgeschlüsselt nach der Anzahl Strahlen pro Objekt- bzw. Bildpunkt. Derartige Plots sind eine wichtige Voraussetzung für eine manuelle Durchmusterung des Blocks.

Die Ergebnisse der Anwender ein und desselben Systems waren mit Ausnahme derjenigen von PHODIS-AT teilweise sehr unterschiedlich. Dies

bedeutet, daß das Ergebnis sehr stark von der Bedienung (Parametereingabe) abhängig ist und damit eine **spezielle Einweisung** oder Schulung durch den Systemhersteller unverzichtbar ist.

4. Neuere Entwicklungen

Seit Abschluß des OEEPE/ISPRS Tests, dessen Resultate den Stand der Softwaresysteme aus dem Jahre 1997 repräsentieren, gab es eine Reihe von Weiterentwicklungen. Teilweise wurden diese Entwicklungen durch Anstöße der Nutzer ausgelöst (Hartfiel 1997; Kersten, Häring 1997; Kersten et al. 1998; Köhler 1998) aber auch der Test hat sicherlich Anregungen zu Verbesserungen der Software gegeben. Viele der Entwicklungen wurden auf dem OEEPE-Workshop "Automation in Digital Photogrammetric Production" in Paris im Juni 1999 bzw. auf der 48. Photogrammetrischen Woche im September 1999 in Stuttgart vorgestellt. Die wesentlichen Neuerungen sind:

- LH Systems hat das Programmpaket HATS überarbeitet und eine robuste Bündelausgleichung integriert. Das jetzige Produkt trägt den Namen APM (Automated Point Measurement). APM bietet auch die Möglichkeit, ein DTM als Näherungsinformation für die Geländehöhen zu verwenden. Ebenso bietet LH Systems eine Reihe von graphischen Darstellungen der Ergebnisse an, um die Qualität des automatischen Prozesses zu überprüfen (Miller 1999).
- In Match AT wurde die Zuordnung dahingehend verbessert, daß Korrelationen zwischen den Verknüpfungspunkten einer Punktgruppe verringert und mehr Mehrstrahlpunkte extrahiert werden (Heuchel 1999).
- Z/I Imaging hat in Phodis AT ebenfalls Verbesserungen durchgeführt, so daß jetzt die Anzahl der Mehrstrahlpunkte deutlich höher ist als früher. Auch die Verknüpfung benachbarter Streifen konnte verbessert werden (Dörstel 1999).

Zwei neue Produkte kamen inzwischen auch auf den Markt: Orthobase von ERDAS und eine AAT Lösung von VituoZo. Orthobase ist eine kommerzielle Lösung basierend auf einer Entwicklung, die am Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover stattfand (Wang 1996). Das System wurde mit einigen Datensätzen des OEEPE/

ISPRS Tests überprüft und lieferte ähnliche Ergebnisse wie die bereits verfügbaren Systeme. Das System von VituoZo stellt eine Weiterentwicklung der an der Wuhan University of Surveying and Mapping, PR China durchgeführten Forschungsarbeiten dar (Zhang et al. 1996) und beruht auf einem ähnlichen Ansatz wie HATS. Detaillierte Informationen waren nicht erhältlich. Nach Angabe beider Firmen sind deren Systeme hauptsächlich für GIS Anwender und weniger für Photogrammeter an sich gedacht.

Zusammenfassend kann man den aktuellen Stand der AAT derzeit folgendermaßen beschreiben: Nach der anfänglichen Begeisterung nach Einführung der ersten Systeme wurde durch den Test und auch durch die Erkenntnisse im praktischen Einsatz eine realistische Einschätzung der Leistungsfähigkeit der AAT möglich. Unbestritten ist eine deutliche Zeit- und damit eine Kosteneinsparung um den Faktor 3-5 gegenüber der analytischen Aerotriangulation, allerdings ist unter schwierigen Bedingungen ein hoher interaktiver Aufwand notwendig, der im wesentlichen durch folgende Probleme verursacht wird:

- In der AAT werden die Verknüpfungspunkte durch lokale Interest Operatoren extrahiert; eine „intelligente“ Punktauswahl wie sie in der analytischen Photogrammetrie stattfindet (dort werden nur sicher definierte Punkte auf stabilem Untergrund verwendet, die in möglichst vielen Bildern sichtbar sind), ist nicht realisiert. Automatisch generierte Verknüpfungspunkte liegen deshalb immer wieder auf fahrenden Autos oder auf Baumwipfeln. Nicht selten werden Punkte gefunden, die durch Schattenwurf auf dem Boden entstehen. Während bei benachbarten Bildern innerhalb eines Streifens diese Schattenpunkte kein Problem darstellen, können Schattenpunkte Fehler verursachen, wenn die Schatten durch die zeitliche Verzögerung zwischen der Aufnahme mehrerer Streifen zu stark wandern.
- Große Höhenunterschiede im Gelände, unterschiedliche Bildmaßstäbe und Aufnahmezeitpunkte sowie größere Abweichungen von der Idealkonfiguration eines Bildblocks bereiten den Systemen Schwierigkeiten.
- Die Selbstkontrolle der Systeme ist noch zu wenig ausgeprägt. Maße für die Qualität eines Blocks stellen die Genauigkeit der automatisch generierten Verknüpfungspunkte

sowie die Anzahl der Mehrstrahlpunkte und deren Verteilung dar. Wie bereits angesprochen ist die alleinige Angabe von σ_0 zur Beschreibung der Qualität der AAT Ergebnisse nicht geeignet. Die Erkenntnisse aus der analytischen Photogrammetrie bzgl. Fehlerbereinigung und Zuverlässigkeit sollten konsequenter berücksichtigt werden.

In einer Produktionsumgebung kann die AAT deshalb nur sehr bedingt als vollautomatischer Prozess eingesetzt werden. In aller Regel ist eine Überprüfung und Überarbeitung durch einen erfahrenen Operateur notwendig. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Systeme hinsichtlich der interaktiven Eingriffsmöglichkeiten zu optimieren, da zwar die Routineaufgaben für die Operateure im Vergleich zur analytischen Photogrammetrie geringer geworden, die Anforderungen im Bereich Qualitätskontrolle jedoch gestiegen sind.

Abgesehen von den erzielten und noch zu erwartenden Verbesserungen im Bereich AAT ist eine andere Entwicklung für die Bestimmung der Bildorientierung in der Luftbildphotogrammetrie in der letzten Zeit in das Zentrum des Interesses gerückt: die direkte Messung der Orientierungsparameter mit Hilfe von GPS/INS. Inzwischen stellt sich bereits die Frage, ob die AT in Zukunft überflüssig werden könnte. Ohne näher auf dieses Thema einzugehen (siehe z. B. Skaloud, Schwarz 1998; Colomina 1999; Cramer 1999; Wewel et al. 1999), soll hier nur festgestellt werden, daß sich die direkte Bestimmung der Orientierungsparameter mit GPS/INS für eine Reihe von Anwendungen, vor allem diejenigen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen und/oder der Forderung nach sehr schneller Bereitstellung der Ergebnisse, weitgehend durchsetzen wird. Eine sinnvolle Lösung für die Bestimmung der Bildorientierung liegt jedoch insbesondere für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse bis auf weiteres in der Integration beider Verfahren.

LITERATUR

- Ackermann F., Krzystek P., 1997: Complete automation of digital aerial triangulation, *Photogrammetric Record* (15) 89, 645-656.
- Brand R., Heipke C., 1998: A system for automatic aerial triangulation, *IntArchPhRS* (32) 2, 27-34.
- Colomina I., 1999: GPS, INS and aerial triangulation: what is the best way for the operational determination of photogrammetric image orientation? *IntArchPhRS* (32) Part 3-2W5, 121-130.
- Cramer M., 1999: Direct geocoding – is aerial triangulation obsolete? In: *Photogrammetric Week '99*, D. Fritsch, R. Spiller (Eds.) Wichmann Karlsruhe, 59-70.
- Dörstel C., 1999: Perspectives for aerial triangulation offered by Z/I Imaging, in: Fritsch D., Spiller R. (Eds.) *Photogrammetric Week '99*, Wichmann, Heidelberg, 205-210.
- Forlani G., Pinto L., Scaioni M., 1998: The TRIADIGIT program for automatic aerial triangulation, *IntArchPhRS* (32) 2, 67-73.
- Hartfiel P., 1997: Higher performance with automated aerial triangulation, in *Photogrammetric Week '97*, D. Fritsch, D. Hobbie (Eds.), Wichmann Karlsruhe, 109-113.
- Heipke C., Eder K., 1996: Performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation, description of the OEEPE-ISPRS test, Technische Universität München.
- Heipke C., Eder K., 1998: Performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation, OEEPE Official Publications, No. 36, 125-185.
- Heuchel T., 1999: persönliche Mitteilung.
- Honkavaara E., Hogholen A., 1996: Automatic tie point measurement in aerial triangulation, *IntArchPhRS* (31) B3, 337-342.
- Käser C., Czaka T., Kunz T., 1999: Digital aerial triangulation for map revision with Match AT, *Proceedings OEEPE Workshop "Automation in Digital Photogrammetric Production"*, Paris, June 22-24, 1999.
- Kersten T., Häring S., 1997: Efficient automated digital aerial triangulation through customisation of a commercial photogrammetric system, *IntArchPhRS* (32) 3-2W3, 72-79.
- Kersten T., Häring S., O'Sullivan W., 1998: Digital aerial triangulation in alpine regions – a challenge, *IntArchPhRS* (32) 2, 149-156.
- Kersten T., 1999: Digital aerial triangulation in production – experiences with block Switzerland, in: Fritsch D., Spiller R. (Eds.) *Photogrammetric Week '99*, Wichmann, Heidelberg, 193-204.

Köhler, G., 1998: Digitale Photogrammetrie – Konzept und Umsetzung beim Hessischen Landesvermessungsamt, *ZfV* (123) 9, 301-306.

Masala B., 1999: Experiences on automatic aerial triangulation, *Proceedings OEEPE Workshop “Automation in Digital Photogrammetric Production”*, Paris, June 22-24, 1999.

Miller S., 1999: persönliche Mitteilung.

Paszotta Z., 1998: Report on the OEEPE-ISPRS test on “Performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation”, unpublished.

Schenk T., 1997: Towards automatic aerial triangulation, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* (52) 3, 110-121.

Skaloud, J., Schwarz K.P., 1998: Accurate Orientation for Airborne Mapping Systems. *IntArchPhRS* (32) 2, 282-290.

Tang L., Braun J., Debitsch R., 1997: Automatic aerial triangulation – concept, realisation and results, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* (52) 3, 122-131.

Urset A., Maalen-Johansen I., 1999: Automated triangulation in nordic terrain – experiences and challenges with Match AT, *Proceedings OEEPE Workshop “Automation in Digital Photogrammetric Production”*, Paris, June 22-24, 1999.

de Venecia K., Miller S., Pacey R., Walker S. 1997: Experiences with a commercial package for automated aerial triangulation, *ASPRS/ACSM Annual Convention*, (1) 548-557.

Wang Y. 1996: Structural matching and its applications for photogrammetric automation, *IntArchPhRS* (31) B3, 918-923.

Wewel F., Scholten F., Neukum G., Albertz J., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie, *PFG* 6, 337-348.

Winkler R., 1998: Praktische Auswertungen zum OEEPE/ISPRS Test „Performance of tie point extraction in automatic aerial triangulation“ , Diplomarbeit, Technische Universität München, unveröffentlicht.

Zhang J., Zhang Z., Shen W., Wang Z., 1996: VirtuoZo digital photogrammetric system and its theoretical foundation and key algorithms, *IntArchPhRS* (31) B2, 424-429.