

Digitale Aerotriangulation über die ganze Schweiz

Thomas Kersten
Swissphoto Vermessung AG
Dorfstr. 53, CH - 8105 Regensdorf-Watt
e-mail: thomas.kersten@swissphoto.ch
<http://www.swissphoto.ch/>

ZUSAMMENFASSUNG

Wegen der Effizienz durch Automation werden Aerotriangulationen heute in der photogrammetrischen Produktion zunehmend digital durchgeführt. In diesem Artikel wird eine angepasste und erweiterte Methode einer digitalen Aerotriangulation mit dem Helava Automated Triangulation System (HATS) vorgestellt, in der der Datenfluss und die Qualitätskontrolle durch zusätzliche Softwareentwicklungen weitestgehend automatisiert wurde. Von Oktober 1995 bis Juli 1998 wurde der Block Schweiz mit mehr als 6000 Bildern, bei denen der Bildmassstab zwischen 1: 22'000 und 1: 54'000 variierte, in 43 Subblöcken bei Swissphoto Vermessung AG trianguliert. Es werden die Ergebnisse von sieben ausgewählten Triangulationssubblöcken vorgestellt. Die Grenzen der digitalen Aerotriangulation werden aufgezeigt und Verbesserungen der Triangulationssoftware werden vorgeschlagen.

1. EINLEITUNG

Der Übergang von der analytischen zur digitalen Photogrammetrie wurde in der photogrammetrischen Produktion schon weitestgehend vollzogen. Ein wesentlicher Vorteil der digitalen Photogrammetrie ist das Potential, Produktionsprozesse zu automatisieren und damit das Preis/Leistungsverhältnis von photogrammetrischen Produkten wie z. B. das Orthophoto erheblich zu verbessern. Somit ist heute der Schlüssel einer effizienten Produktionsumgebung der Grad der Automation in der Datenproduktion und in der Qualitätskontrolle. In der digitalen Aerotriangulation (AT) laufen Arbeitsschritte wie Bildimport, Generierung der Bildpyramiden, Innere Orientierung, Punktübertragung und Bündelblockausgleichung automatisch ab, während die Passpunktmessung und die Qualitätskontrolle noch halbautomatisch durchgeführt werden.

Seit 1995 setzt die Swissphoto Vermessung AG digitale photogrammetrische Stationen von LH Systems (LHS) in der Produktion ein. Für das Projekt *swissphoto* wurde ein Block von 6063 Luftbildern, die die ganze Fläche der Schweiz in den Bildmassstäben von 1: 22'000 bis 1: 54'000 bedecken, in der Zeit von Oktober 1995 bis Juli 1998 trianguliert. Sieben ausgewählte, repräsentative Subblöcke des Blockes Schweiz werden in Kapitel 2 vorgestellt. Die Anpassung und Erweiterung des Helava Automated Triangulation System (HATS) durch die Integration zusätzlicher Softwaremodule und einfacher graphischer Benutzeroberflächen, die bei der Swissphoto Vermessung AG entwickelt wurden, werden in Kapitel 3 vorgestellt. Ausserdem werden die Resultate (Kapitel 3) und die Produktionsraten (Kapitel 4) der sieben verschiedenen Subblöcke präsentiert. In Kapitel 5 werden die Probleme und die Grenzen der digitalen Triangulation in anspruchsvollen Terrain wie in den Schweizer Alpen aufgezeigt und Verbesserungsvorschläge für die Triangulationssoftware werden daraus abgeleitet.

2. Triangulationsblock und eingesetztes photogrammetrisches System

2.1. Triangulationsblock Schweiz

Um die Aerotriangulation (AT) über die ganze Schweiz hinsichtlich verfügbarer Hard- und Software effizient zu gestalten, wurde der Gesamtblock in 43 Subblöcke mit einer Anzahl von 82 bis 333 Bildern pro Subblock aufgeteilt. Alle Subblöcke wurden mit einer Überlappung von je drei Bildern in Streifenrichtung und je einem Streifen von Subblock zu Subblock miteinander verknüpft. Die Befliegung der Schweiz 1995/1996 und das Projekt *swissphoto* sind in Kersten (1996) beschrieben. Die sieben Triangulationssubblöcke (siehe Abb. 1) repräsentieren unterschiedliche Geländecharakteristik (Typ, Geländehöhe) sowie Blockkonfiguration und -grösse. Die Blöcke Aargau, Basel und Luzern repräsentieren das Schweizer Mittelland, während die Subblöcke Nidwalden, Brienz, Thuisis und Lugano alpinen Geländecharakter aufweisen. Neben den extremen Höhenunterschieden zeigen diese Blöcke auch grosse Bildmassstabsunterschiede zwischen den Hoch- und Talflügen. Ausserdem enthält jeder Subblock Fluglinien mit unterschiedlichen Flugdaten, die entweder zwischen einigen Tagen oder einem Monat, aber auch teilweise bis zu einem Jahr (z.B. Block Nidwalden, Brienz and Lugano) variierten, was zu markanten Änderungen der Vegetation in den Bildern führte. Die Flug- und Blockdaten der sieben vorgestellten Subblöcke sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Anzahl Bilder und Fluglinien sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Block	Fläche [km ²]	Geländehöhe [m]	Geländecharakteristik	Bildmassstab	Überlappung L/Q [%]	Flugdatum (Flugtage)
Aargau	1262	350 - 900	Landwirtsch., hügelig	~1: 28'200	70%/30%	Juni/Juli '95, (3)
Basel	1203	250 - 1300	urban, hügelig	~1: 26'700	70%/30%	Jul./Aug. '95, (4)
Luzern	1735	380 - 1800	hügelig bis bergig.	~1: 26'700	70-90%/10-30%	Juni/Juli '95, (4)
Nidwalden	3726	400 - 2900	Alpen, Seen	~ 1:24'000 - 1: 40'000	70-90%/10-30%	Jul.-Okt. '95, Jul. '96 (9)
Thuisis	1800	550 - 2900	Alpen	~ 1:22'000 - 1: 52'000	70-90%/10-30%	Okt. '95 (7)
Brienz	2080	430 - 2650	Alpen	~ 1:28'000 - 1: 40'000	70-90%/10-30%	Jul.-Okt. '95, Jul. '96 (7)
Lugano	3477	190 - 2600	Alpen, Seen	~ 1:24'000 - 1: 51'000	70-90%/10-30%	Aug.-Okt. '95, Sep. '96 (7)

Tabelle 1: Flug- und Blockdaten der sieben *swissphoto* Triangulationssubblöcke

2.2. Eingesetzte photogrammetrische Systeme

Alle für die AT erforderlichen Bilder wurden mit der digitalen Scanning Arbeitsstation DSW200 von LH Systems im RGB-Modus von August 1995 bis Januar 1998 gescannt. Für die Triangulation wurden die digitalisierten Farbbilder in Grauwertbilddaten konvertiert, um Speicherplatz zu sparen. Die Auflösung der Bilder betrug 25 µm (1016 dpi), was einer Auflösung von circa 0.7 m bis 1.3 auf dem Boden und einer Datenmenge von 80 MByte pro Bild entspricht.

Die Aerotriangulationen wurden auf einer digitalen photogrammetrischen Arbeitsstation DPW670 (Monostation) von LH Systems durchgeführt. Als Computer diente eine SUN Ultra 2 (167 MHz). Für die Triangulationsdaten standen insgesamt bis zu 105 GByte Speicherplatz zur Verfügung. Für die Triangulation wurde der Software-Release 3.1.2 bzw. 3.2 von SOCET SET (Softcopy Exploitation Tools) eingesetzt. HATS ist ein Modul von SOCET SET, mit dem die Blocktriangulation von sich überlappenden Bildern durchgeführt wird.

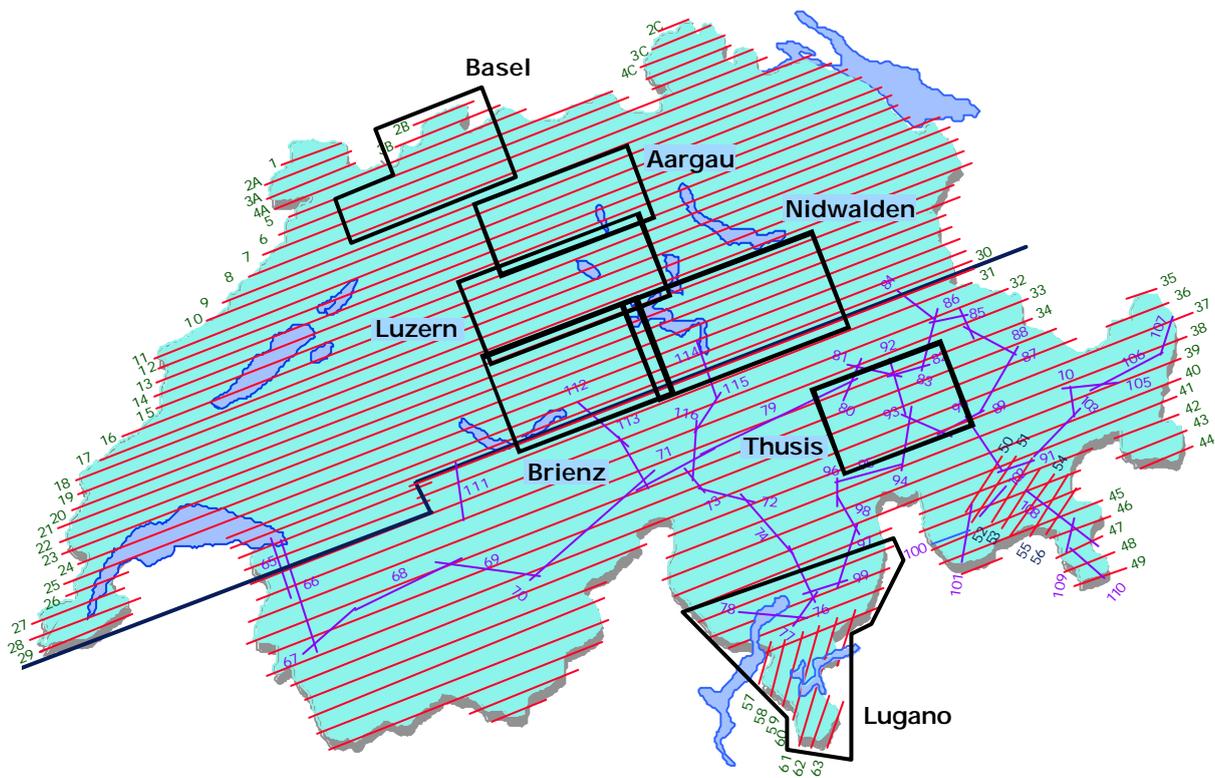


Abbildung 1: *Swissphotos* Triangulationsblock Schweiz mit den sieben ausgewählten Subblöcken

3. Digitale Aerotriangulation

In unserer Produktionsumgebung ist die digitale AT in folgende Arbeitsschritte aufgeteilt: Vorbereitung (Photos und Passpunkte), automatischer Datenimport und Aufbau der Bildpyramiden, automatische innere Orientierung, automatische und halbautomatische AT Messungen, GPS unterstützte Bündelblockausgleichung und die abschliessende Qualitätskontrolle. Um den Einsatz der AT Arbeitsprozesse für den Operateur zu erleichtern, wurde zusätzliche Software für Batch-Prozesse und einfach zu verwendende graphischen Benutzeroberflächen (GUIs) von der Swissphoto Vermessung AG entwickelt und im System integriert.

3.1. Datenvorbereitung

Die Datenvorbereitung beinhaltet die Konfiguration des jeweiligen Luftbildverbandes (Zusammenstellen und Laden der Bilddaten vom Band, falls sie nicht auf einer Disk schon verfügbar sind) und das Zusammenstellen der Passpunkte (Koordinaten, Übersichtsplot, verfügbare Punktskizzen). Um genügend Passpunkte in den Subblöcken zu haben, wurden sechs verschiedene Arten von Passpunkten verwendet:

- signalisierte Punkte des Schweizer GPS Landesvermessungsnetzes LV'95
- 3-D Punkte aus zusätzlichen GPS Kampagnen
- 3-D Passpunkte aus früheren photogrammetrischen Projekten im Hause (gemessen am Leica SD2000)
- Lagepasspunkte aus Katasterplänen 1:500 - 1:2'000
- Passpunkte aus Übersichtsplänen 1:5'000/ 1:10'000
- Höhenpasspunkte aus Landeskarten 1: 25'000

3.2. Automatischer Datenimport

Bevor die eigentlichen Messungen durchgeführt werden können, mussten die digitalen Bilddaten in die photogrammetrische Station importiert werden und anschliessend die Bildpyramiden aufgebaut werden. Dieser Arbeitsschritt läuft vollautomatisch als Batch-Prozess ab und braucht bis zu 60 Sekunden pro Bild auf der SUN Ultra 2. Dabei wurden die GPS Stationskoordinaten von jedem Bild auch automatisch importiert, so dass die Bildüberlappungen im Block näherungsweise vorlagen. Zusätzlich wurde im Anschluss das erforderliche Triangulationsfile für den ganzen Block vollautomatisch erzeugt.

3.3. Automatische innere Orientierung

Vor dem Start von HATS muss die innere Orientierung für jedes Bild bestimmt werden. Um auch hier die Operateur-Zeit deutlich zu reduzieren, wurde von Swissphoto Vermessung AG eine völlig operationelle automatische innere Orientierung (IO) für digitale Luftbilder entwickelt, die in der SOCET Set Software integriert wurde und ohne Operateur-Eingriff als Batch-Prozess abläuft. Die IO einer unbegrenzten Anzahl von Bildern (nur abhängig vom verfügbaren Speicherplatz) bezogen auf einen vorher festgelegten Kameratyp kann dabei zusammen mit der Qualitätskontrolle in einem Schritt durchgeführt werden. Die Geschwindigkeit der IO-Bestimmung beträgt circa 5 Sekunden pro s/w Bild. Der verwendete Algorithmus ist in Kersten und Häring (1997) beschrieben.

3.4. Automatische AT Messungen

Der Arbeitsschritt der AT Messungen wie er zur Zeit in HATS verwendet wird, ist in vier Teilschritte aufgeteilt: Automatische Punkt-Messungen (APM), Interaktive Punkt-Messungen (IPM), simultane Ausgleichung (inkl. Wiederholungsmessungen) und grobe Fehlersuche.

Vor dem Start von APM muss eine Konfiguration für die Verknüpfungspunktverteilung ausgewählt werden, um sicher zustellen, dass eine gute Punktverteilung in jedem Bild zur Verknüpfung des gesamten Blockes gewährleistet ist. Für die *swissphoto* Blöcke wird eine sehr dichte Verknüpfungspunktanordnung von 98 Punkten pro Bild festgelegt. APM läuft mit dieser Vorgabe anschliessend über den ganzen Block als Batch-Prozess über Nacht oder über das Wochenende. Auf der SUN Ultra 2 benötigt APM ungefähr bis zu 30 Minuten pro Bild. Nach Beendigung der APM wurden folgende Rate erfolgreich gemessenen Punkten erreicht, die von der Geländecharakteristik, von der Variation der Bildmassstäbe in jedem Block und von den unterschiedlichen Flugdaten für jeden Streifen abhängig ist: Aargau 94%, Basel 89%, Luzern 80%, Nidwalden 53%, Brienz 64%, Thuisis ca. 60%, Lugano 34-75% je einzelnen Streifen. Die automatische Bildverknüpfungen waren im Mittelland deutlich höher als in den Alpen. Es zeigte sich im Laufe der Triangulation der Subblöcke, dass eine halbautomatische Verknüpfung der Bilder und Streifen in den Alpen zuverlässiger und schneller war.

Passpunkte und zusätzliche Punkte werden halbautomatisch mit dem Modul IPM gemessen. Falls das Datum durch Messung von drei Passpunkten oder durch die GPS-Stationskoordinaten festgelegt ist, führt das System den Operateur automatisch zur genäherten Position aller aufgerufenen Passpunkte hin.

Nach Abschluss aller Messungen werden alle Beobachtungen mit dem HATS Modul „Simultaneous Solve“ ausgeglichen. Anstatt Punkte mit groben Fehler wieder zu messen, werden alle Beobachtungen mit Residuen über einen definierten Schwellwert automatisch eliminiert. Die simultane Ausgleichung und die grobe Fehlersuche werden iterativ

Block	Bilder	Flug- linien	Passpunkte H/V	s_0 [mm]	RMS X [m]	RMS Y [m]	RMS Z [m]	RMS X_0 [m]	RMS Y_0 [m]	RMS Z_0 [m]
Aargau	152	6	12/107	12.2	0.45	0.44	0.79	0.48	0.40	0.18
Basel	150	8	80/159	11.5	0.59	0.62	0.78	0.37	0.31	0.11
Luzern	216	8	22/144	11.8	0.55	0.64	1.01	0.59	0.57	0.13
Nidwalden	333	13	11/180	11.5	0.60	0.39	1.24	0.44	0.35	0.13
Thuisis	185	11	10/108	12.6	0.45	0.35	1.25	0.29	0.22	0.36
Brienz	270	12	13/128	11.7	0.26	0.31	1.04	0.47	0.34	0.13
Lugano	263	19	13/137	12.4	0.88	0.57	1.96	0.24	0.49	0.22

Tabelle 2: Ergebnisse der Bündelblockausgleichungen der sieben *swissphoto* Subblöcke

solange durchgeführt, bis ein bestimmter Genauigkeitswert erreicht wird. Für die Elimination grober Fehler wird nur ein bestimmtes Schwellwertkriterium verwendet, wobei eine hohe Redundanz im System vorausgesetzt werden kann. Mit dieser Methode konnte es passieren, dass wegen der schlechten Qualität der automatisch übertragenen Punkte eventuell zu viele Punkte eliminiert wurden, speziell zwischen den Streifen. Doch Gegenden mit schwacher Blockverknüpfung wurden in der späteren Qualitätskontrolle entdeckt, so dass diese Lücken (Bereiche ohne Punkte) durch halbautomatische Punktmessungen gezielt gefüllt werden konnten.

3.5. GPS unterstützte Bündelblockausgleichung

Alle Beobachtungen (Bild-, Passpunkt- und GPS-Stationskoordinaten) wurden in einer GPS unterstützten Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung für jeden Block separat mit dem Bündelblockausgleichungsprogramm BLUH der Universität Hannover auf einem PC durchgeführt. Nach jedem Ausgleichungsschritt wurde auch hier eine sogenannte automatische grobe Fehlersuche eingesetzt, um auch hier alle Beobachtungen über einen bestimmten Schwellwert zu eliminieren. Die endgültige Blockausgleichung wurde durchgeführt, nachdem alle Residuen über 30 Mikron eliminiert waren.

Die Ergebnisse der Ausgleichungen sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Für alle sieben Blöcke sind die Standardabweichungen (root mean square RMS-Werte) der Passpunktkoordinaten zwischen 0.3 m und 0.9 in X und Y und zwischen 0.8 und 2 m in Z, während die RMS-Werte der Stationskoordinaten besser als 0.6 m in X und Y und in Z sogar besser als 0.4 m waren. Das σ_0 aus der Ausgleichung variierte zwischen 11.5 und 12.6 μm , was einer Genauigkeit von etwas besser als der halben Pixelgrösse entspricht. Mit allen anderen Subblöcken wurde eine ähnliche Genauigkeit erzielt.

3.6. Qualitätskontrolle

Nach der endgültigen Bündelblockausgleichung wurden die Orientierungsdaten in jedem Bild-Supportfile und die Files mit den gemessenen Bildpunkten an der DPW670 mit Hilfe einer Schnittstelle zwischen BLUH und SOCET SET aktualisiert. Die geometrische Qualitätskontrolle ist für den Block durch die Resultate der Blockausgleichung (σ_0 , RMS, etc.) gegeben. Darüberhinaus ist es aber aufgrund der hohen Automation in den Bildmessungen und bei der Eliminierung grober Fehler absolut notwendig, die Bildverknüpfungen in und quer zur Streifenrichtung zu überprüfen, um eine zuverlässige Punktverteilung und Verknüpfung des Triangulationsblockes zu gewährleisten. Speziell dafür wurde von der Swissphoto Vermessung AG ein zusätzliches Softwaremodul entwickelt, das eine schnelle und einfach zu handhabende Visualisierung von Punktverknüpfungen innerhalb des Blockes erlaubt (Abb. 2). Mit diesem Werkzeug ist der Operateur in der Lage, Bild für Bild und Streifen für Streifen schnell durch den Block zu gehen, um die Anzahl der Strahlen pro Punkt, die Punktverteilung innerhalb jedes Bildes und durch Anklicken der Bildnummer, welche neben dem dargestellten Bildrahmen erscheinen (siehe dazu die Bildnummern wie z. B. 16_135 in der Abb. 2), die jeweiligen Bildverknüpfungen als farblich hervorgehobene Punktnummern (Nummer stellt bei Verknüpfungspunkten die Anzahl der Strahlen dar) zu überprüfen. Dadurch kann der Operateur die Verknüpfungen innerhalb des Blockes sauber analysieren und gegebenenfalls zusätzliche Punkte in schwach verknüpften Gegenden sofort messen.

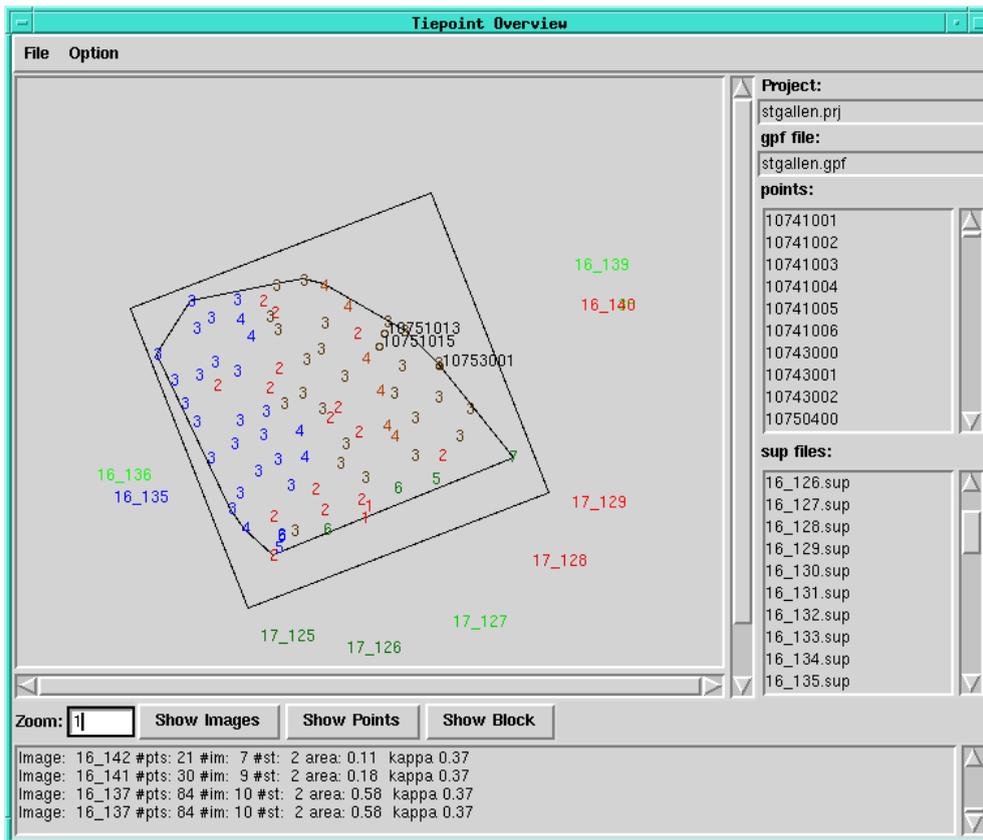


Abb 2: Qualitätskontrolle der Aerotriangulation durch Visualisierung der Bildverknüpfungen

4. Produktionszeiten

Die verwendete Zeit für die digitale Aerotriangulation von jedem hier vorgestellten *swissphoto* Subblock ist in Tabelle 3 zusammengefasst. In dieser Tabelle sind nur die Zeiten des Operateurs berücksichtigt, da die Rechenzeit des Computers mit den vielen Prozessen im Batch-Modus, die meistens über Nacht oder am Wochenende gelaufen sind, vernachlässigt wurde. Ausserdem wurden die Zeiten für das Scannen und für die Vorbereitung von Passpunkten nicht berücksichtigt.

Als bestes Resultat wurden die insgesamt 22 Stunden für die Triangulation vom Block Aargau erreicht, was einer Triangulationsrate von 8.7 Minuten pro Bild entspricht. Bei der Triangulation der Subblöcke Aargau, Basel und Luzern wurde ein hoher Grad an Automation durch erfolgreiche Punktübertragung erreicht, was im wesentlichen auch auf die entsprechend geeignete Geländecharakteristik zurückzuführen war.

Schlechtere Resultate hinsichtlich der Produktivität (16 bis 38 Minuten pro Bild) wurden mit den alpinen Subblöcken Nidwalden, Brienz, Thuisis und Lugano erzielt. Hier lagen die Probleme hauptsächlich bei der Punktübertragung: (a) extreme Höhenunterschiede in den Tälern, (b) grosse Bildmassstabsunterschiede zwischen Streifen, (c) unterschiedliche Flugdaten der Streifen bis zu einem Jahr, und (d) Streifenüberlappung von manchmal weniger als 10%. Die Produktionsrate einiger anderer *swissphoto* Subblöcke war manchmal sogar deutlich schlechter.

Auch andere Autoren berichten von ähnlichen Problemen und Produktionsraten in alpinen und nordischem Terrain

AT Arbeitsschritte/Blöcke	Aargau	Basel	Luzern	Nidwalden	Thuisis	Brienz	Lugano
Vorbereitung [h]	4.0	5.0	7.5	12.5	20.0	9.0	13.5
AT Messungen [h]	13.0	16.5	29.0	69.5	90.0	78.5	57.0
Bündelblockausgleichung [h]	5.0	3.0	7.0	6.5	7.5	15.0	4.0
Verwendete Zeit total [h]	22.0	24.5	43.5	88.5	117.5	102.5	74.5
Anzahl Bilder	152	150	216	333	185	270	263
Zeit pro Bild [min]	8.7	9.8	12.0	15.9	38.0	22.8	17.0

Tabelle 3: Erforderliche Operateurzeit für die digitale AT der sieben Subblöcke mit HATS

(Kaeser et al., 1999; Urset und Maalen-Johansen, 1999) mit der Triangulationssoftware Match-AT.

5. Probleme und Verbesserungen

Die Qualität der Resultate und die Effizienz der Triangulation hängt von der Qualität der automatischen Punktübertragung und damit vom Korrelationsalgorithmus ab, der wiederum hauptsächlich von der Bildqualität (Film, Bilddigitalisierung und Wetterbedingungen) und von der Geländecharakteristik (z. B. Vegetation und Höhenunterschiede) beeinflusst wird. In unseren Untersuchungen haben folgende Aspekte Probleme für den Korrelationsalgorithmus verursacht:

- Extreme Höhendifferenzen in Bildern bzw. im Block
- Flugstreifen mit unterschiedlichen Flugdaten (Änderungen der Vegetation im Sommer)
- Schatten durch Befliegung am frühen Morgen oder zur späten Jahreszeit
- Dicht bewaldete Flächen und Seen
- Triangulationblöcke mit Variation des Bildmassstabes innerhalb des Blockes (von Streifen zu Streifen)

Um HATS hinsichtlich der Geschwindigkeit, Genauigkeit, Robustheit, Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, schlagen wir folgende Softwareverbesserungen vor:

- (1) Eine bedienungsfreundliche graphische Benutzeroberfläche erleichtert die Konfiguration der Blöcke und die visuelle Überprüfung der Bild- und Streifenüberlappungen. Die Näherungswerte für die Orientierungsparameter beeinflussen die anschliessende Punktübertragung signifikant.
- (2) Die Verwendung von vorhandenem DTM in APM beschleunigt den APM-Prozess und verbessert zunehmend die Genauigkeit und Robustheit, besonders in bergigen und alpinen Gegenden, so dass die Rate der erfolgreich gemessenen Punkte zunehmen sollte.
- (3) Die Verwendung von GPS-Daten, zusätzlichen Parametern zur Kompensation systematischer Fehler und ein effizienter Sortieralgorithmus zur Reduktion der Bandbreite im Normalgleichungssystem führt in der simultanen Ausgleichung zu mehr Flexibilität und zu einer signifikanten Verkürzung der Rechenzeit.
- (4) Die Implementierung eines kombinierten Messalgorithmuses (eigenschafts-basiertes und flächen-basiertes Matching nach der Methode der kleinsten Quadrate) erhöht die Genauigkeit der Messungen.
- (5) Die Integration einer Bündelblockausgleichungssoftware in den Messalgorithmus oder der Einsatz von On-line Triangulationalgorithmen (sequentielle Schätzung in der Bündelblockausgleichung und grobe Fehlersuche mit Hilfe des Data Snooping) während des APM Prozesses verbessert die Qualität der automatischen Messungen durch Eliminierung von groben Fehlern schon in der Messphase.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Eine digitale Aerotriangulation für den Block Schweiz mit mehr als 6000 Bildern konnte mit HATS trotz der variierenden Geländecharakteristik in den einzelnen Subblöcken erfolgreich durchgeführt werden. Die Aerotriangulation bildete die Grundlage für die Erstellung von flächendeckenden Orthophotos in Farbe mit einer Pixelgrösse von 75 cm. Während der Bearbeitung der 43 Subblöcke konnte durch Integration zusätzlicher Software und graphischer Benutzeroberflächen ein hoher Grad an Automation bei den Arbeitsschritten der digitalen Aerotriangulation erreicht werden, so dass die Interaktion der Operateure minimiert wurde.

Es zeigte sich aber bei der Aerotriangulation über die ganze Schweiz deutlich, dass die Produktionsrate sehr vom Geländetyp und der Blockkonfiguration abhängt. So konnten die Subblöcke im Mittelland deutlich schneller trianguliert werden als Blöcke in den Alpen. Besonders die Bildmassstabsunterschiede durch die Kombination von Hoch- und Talflügen und die extremen Höhenunterschiede in den Blöcken bereiteten dem Korrelationsalgorithmus bzw. der automatischen Punktübertragung erhebliche Probleme, so dass die Bilder in vielen Blöcken halb-automatisch miteinander verknüpft werden mussten. Eine Qualitätssteigerung der automatischen Punktübertragung kann durch bessere Näherungswerte für die Orientierungen und für das Gelände (z. B. durch DTM) erreicht werden.

Heute gehört die Integration einer Bündelblockausgleichung im Messalgorithmus zum Standard, obwohl diese Methode nicht in allen kommerziellen Systemen mit automatischer Punktübertragung implementiert ist. Zukünftig muss die Automation in der Qualitätskontrolle zunehmen, um eine höhere Zuverlässigkeit und Effizienz zu erreichen. Ausserdem wird die direkte Messung der Orientierungselemente durch GPS und Inertial-Messeinheiten (z.B. Applanix-System) während des Bildfluges zunehmen. Aus Zuverlässigkeitsgründen und wegen erforderlicher Qualitätskontrollen wird die direkte Messung der Orientierungselemente durch GPS/INS die digitale Aerotriangulation in Zukunft nicht ersetzen, doch die Kombination beider Methoden wird sich zunehmend durchsetzen, so dass in Zukunft Produktionsraten von besser als 5 Minuten pro Bild erreicht werden können.

Literatur

- Kaeser, Ch., Czàka, Th., Kunz, Th., 1999.** Digital Aerotriangulation for Map Revision with MATCH-AT. Proceedings of the OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, 22.-24. Juni.
- Kersten, Th., 1996.** Das Projekt *swissphoto* - Flächendeckende und aktuelle Geodaten als Grundlage für viele GIS-Anwendungen in der Schweiz. Zeitschrift GEO-INFORMATION-SYSTEME GIS, Nr. 6/96, pp. 12-19.
- Kersten, Th., Haering, S., 1997.** Automatic Interior Orientation of Digital Aerial Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63 (8), pp. 1007-1011.
- Urset, A., Maalen-Johansen, I., 1999.** Automatic Triangulation in Nordic Terrain - Experiences and Challenges with MATCH-AT. Proceedings of the OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, 22.-24. Juni.