

Evaluation und Beschaffung eines Digitalen Photogrammetrischen Systemes am Bundesamt für Landestopgraphie

Autor(en): **Käser, Christoph / Baltsavias, Emmanuel / Eidenbenz, Christoph**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **96 (1998)**

Heft 12

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-235501>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Evaluation und Beschaffung eines Digitalen Photogrammetrischen Systemes am Bundesamt für Landestopographie

1996 vollzog das Bundesamt für Landestopographie (L+T) mit der Evaluation und Beschaffung eines Digitalen Photogrammetrischen Systemes (DPS), bestehend aus einem Luftbildscanner, einem Datenserver mit Aerotriangulations-Software und einer Digitalen Photogrammetrischen Arbeitsstation, den Einstieg in die neue Verarbeitungstechnik.

En 1996, l'Office fédéral de topographie (S+T) s'est lancé dans les nouvelles procédures techniques après avoir évalué et acquis un système digital de photogrammétrie composé d'un scanner pour photos aériennes, d'un serveur de données avec logiciel pour la triangulation aérienne et d'une station de travail digitale de photogrammétrie.

Nel 1996 l'Ufficio fed. di topografia (S+T) ha effettuato una valutazione del sistema fotogrammetrico numerico e della sua adeguatezza. Tale sistema è composto da uno scanner di riprese aeree, un server con i dati, dotato di un software di aerotriangolazione, e una stazione di lavoro di fotogrammetria numerica, entrando così in una nuova era nella tecnica dell'elaborazione.

Chr. Käser, E. Baltsavias, Chr. Eidenbenz

1. Beschaffung und Evaluation unter GATT/WTO-Bedingungen

Weil zu erwarten war, dass das Gesamtsystem die vorgesehene Kaufsumme von Fr. 263 000 übersteigen würde, musste die ganze Evaluation und Beschaffung gemäss GATT/WTO-Vorschriften für die öffentliche Verwaltung durchgeführt werden. Die wesentlichen Punkte dieser Vorschriften sind:

- 1) Die Beschaffungsabsicht ist in einer öffentlichen Ausschreibung bekanntzugeben.
- 2) Im sogenannten selektiven Verfahren hat der Ausschreiber innerhalb von mindestens 25 Tagen Kandidaten zu berücksichtigen.
- 3) Die Auswahl der Kandidaten erfolgt gemäss den veröffentlichten Nachweiskriterien.
- 4) Die ausgewählten Kandidaten erhalten

eine Angebotseinladung und haben mindestens 40 Tage Zeit ein Angebot einzureichen.

- 5) Innerhalb von 72 Tagen nach dem Zuschlag ist der erfolgreiche Anbieter öffentlich bekanntzugeben.
- 6) Es besteht ein Einspracherecht bei der Ausschreibung, der Auswahl der Kandidaten (nur im selektiven Verfahren) und der Bekanntgabe des gewählten Anbieters innerhalb von 20 Tagen nach der Veröffentlichung.

Der Ablauf der Beschaffung ist aus dem Diagramm 1 ersichtlich. Alle Veröffentlichungen erfolgten im Schweizerischen Handelsamtsblatt. Die ganze Beschaffung wurde innerhalb eines Jahres durchgeführt, wobei die wichtigsten Schritte, die Benchmarks und deren Auswertung, innert sehr kurzer Zeit, nämlich 2 Monaten, erfolgten. Die rasche Auswertung der Benchmarkdaten und der Evaluation war nur Dank der guten Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich möglich. De-

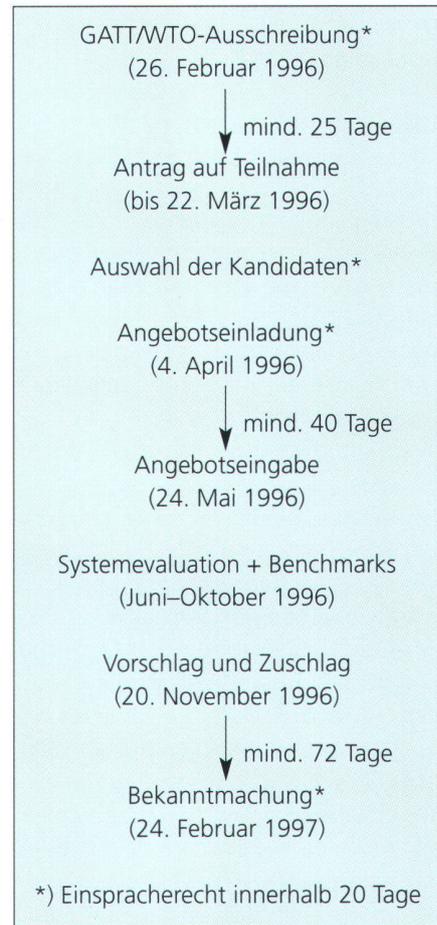


Diagramm 1: Beschaffungsablauf DPS.

tails zu den ausgeführten Tests können in den Referenzen gefunden werden.

Die folgenden Systeme konnten an den Benchmarks getestet werden:

- System A: DSW200 (Scanner) und DPW770 von LH Systems
- System B: Orthovision 950 (Scanner) von XL Vision und Softplotter von Autometric
- System C: SCAI SC-AW (Scanner) und PHODIS von Zeiss
- System D: Match-AT (Aerotriangulation) und Match-T (DGM) von Inpho (nur Teilmodule vorhanden)

2. Benchmark: Tests, Kriterien und Resultate

2.1 Grundsätze

Das Hauptgewicht der Evaluation lag aus technischer Sicht gesehen auf den Bench-

marks. Dazu wurde zuerst ein detaillierter Aufgabenkatalog erstellt, mit den Angaben was und wie getestet werden sollte. Dabei wurde der Benchmark in sieben Komponente aufgeteilt, von denen die wichtigsten der Luftbildscanner, die digitale Aerotriangulation (AT), die Herstellung von Orthophotos (OP), sowie die automatische Generierung eines DGMs waren. Für jede dieser Komponenten wurden die Tests sorgfältig ausgedacht und die benötigten Testdaten im voraus ausgewählt unter Berücksichtigung folgender Überlegungen:

- Wegen der Zeitbeschränkung während der Benchmarks selbst (zwei Tage) und auch während der Datenauswertung, umfassten die Testdaten nicht alle möglichen Landnutzungs- und Relieftypen. Hingegen wurden die für die L+T typischen Fälle mit mittlerem bis hohem Schwierigkeitsgrad ausgewählt.
- Rund 35 Bodenpunkte wurden mit GPS erhoben, um eine quantitative Analyse der Resultate vornehmen zu können.
- Die Verarbeitungs- und Analysemethoden wurden im voraus erwogen, um eine schnelle Datenverarbeitung sicherzustellen.
- Bei allen Systemen wurden pro Komponente dieselben Ausgangsdaten und Auswertemethoden angewandt, um bei jedem System gleiche Startbedingungen zu erhalten. Z.B. wurde beim OP dasselbe DGM und dieselben Orientierungselemente verwendet, um einen objektiven Vergleich der Lagegenauigkeit zu erhalten.
- Um den Datentransfer zu gewährleisten, wurden vorgängig mit allgemeinen Daten die Schnittstellen zu den Systemen überprüft.
- Die Testdaten wurden erst am Benchmark abgegeben, ausser den 30 digitalen Luftbildern für die AT. Diese wurden kurz vor dem Benchmark den Anbietern zugestellt.
- Alle Luftbilder wurden mit einem photogrammetrischen Scanner von hoher geometrischer Genauigkeit und mit einer Auflösung von 15 µm gescannt. Der Bildmassstab war 1:24 000, die Kamera eine Leica Wild RC30 mit einer Brenn-

weite von 152 mm, den typischen Bedingungen der L+T.

- Der Benchmark wurde von 2–4 Personen der L+T und ETHZ beurteilt, dauerte pro Firma zwei Tage und wurde gemäss unserem Tagesablauf und Aufgabenkatalog durchgeführt.
- Bei gewissen Aufgaben wurde die Parameterwahl bewusst den Anbietern überlassen, obwohl die Qualität der Resultate sehr stark von diesen Parametern abhängig war. So liessen wir die Firmen selbständig die Scannerkalibrierung durchführen, die minimale und maximale Dichte beim Scan bestimmen, die Anzahl und Position der Verknüpfungspunktgebiete bei der AT wählen, die Matching Strategie bei AT und DGM definieren, etc. Es wurde vorausgesetzt, dass genügend Systemkenntnisse beim Anbieter vorhanden seien, um eine optimale Einstellung vornehmen zu können. Wie sich später zeigen sollte, war dies nicht immer der Fall.

2.2 Luftbildscanner

Das *Testmaterial* bestand aus einer Glasgitterplatte mit 25 x 25 Passkreuzen und 1 cm Linienabstand, einem kalibrierten Grauwertkeil (0.05D - 3.1D), einer Auflösungstafel, der leeren Bildträger-Glasplatte des Scanners sowie hochauflösenden Scans von Schwarzweiss- und Farbluftbildern. Einige Testmaterialien wurden mit verschiedenen Auflösungen gescannt, um den Einfluss der Pixelgrösse zu prüfen, und in Farbe, obwohl sie schwarzweiss waren, um geometrische und radiometrische Differenzen zwischen den verschiedenen Spektralkanälen zu kontrollieren. In der *qualitativen Analyse* wurde die Funktionalität der Software beurteilt. Im speziellen wurden die Scannerkalibrierung (geometrisch, radiometrisch und spektral) begutachtet, der Automationsgrad (Rollfilmscan) bewertet, wie einfach die verschiedenen Scanparameter eingestellt werden konnten (insbesondere die Bestimmung der Filmdichte) und die Scanzeiten bei einer Auflösung von 10–14 µm. Die *geometrische Genauigkeit* pro Farbkanal wurde mit Hilfe der Gitterkreuze der Glasgitterplatte bestimmt und anschlies-

Evaluation et acquisition d'un système de photogrammétrie numérique à l'Office fédéral de topographie

En entreprenant en 1996 l'évaluation et l'achat d'un système de photogrammétrie numérique (DPS) comprenant un scanner de précision, un serveur avec logiciel d'aerotriangulation et une station de travail pour la restitution, la génération d'orthophotos et de modèles numériques de terrain, l'Office fédéral de topographie a effectué son entrée dans une nouvelle ère du traitement de l'image.

Le scanner devait comporter un dispositif d'entraînement automatique du film. Une analyse qualitative portant sur les possibilités d'emploi ainsi que différents tests de précision et de radiométrie ont été effectués à partir d'un jeu de données test.

Les logiciels d'aerotriangulation numérique ont été comparés en calculant un même bloc avec chacun d'eux. La qualité de la détermination automatique des points de passage a été analysée ainsi que la valeur des résidus sur les 20 points d'ajustage.

Une mosaïque d'orthophotos et un modèle numérique de terrain (MNT) résultant toujours de données test du S+T ont complété cette comparaison des différents systèmes.

La coopération entre le S+T et l'EPFZ pour la réalisation de ce projet fut un succès. L'EPFZ a su apporter sa connaissance théorique et le S+T son expérience pratique dans le domaine.

Pour plus de détails veuillez vous référer au texte en allemand.

send der RMS, der Mittelwert mit Vorzeichen (Bias) und der maximale absolute Fehler berechnet (Tab. 1). Um systematische Fehler, insbesondere zwischen den Kacheln oder den Streifen zu entdecken,

wurden die Fehlervektoren anschliessend ausgedrückt. Die paarweisen Differenzen der Pixelkoordinaten zwischen den drei Farbkanälen wurden bestimmt, um geometrische Verschiebungen zwischen den Farbkanälen abzuschätzen. Anschliessend wurden die gleichen Werte (RMS, etc.), Plots und Statistiken berechnet (Tab. 2). Die *radiometrische Genauigkeit* konnte mit dem Grauwertkeil bestimmt werden. Dazu wurde der Grauwertkeil in Farbe und mit einer linearen LUT (LookUpTable) gescannt. Im zentralen Ausschnitt jeder Dichtestufe wurde der Mittelwert und die Standardabweichung des Grauwertes berechnet. Mit diesen Werten konnte der Rauschpegel, der dynamische Bereich und die Linearität des Systems bestimmt werden (Tab. 3). Mit den Mehrfachscans benachbarter Kacheln oder Streifen der Bildträger-Glasplatte konnte die zeitliche und räumliche Variation des Rauschens abgeschätzt werden.

Die *geometrische Auflösung* wurde mit Hilfe der USAF-Auflösungstafel visuell in horizontaler und vertikaler Richtung bestimmt und stimmte mit den Herstellerangaben überein.

Die Gitterplatte und die Luftbilder (SAW und Farbe) wurden kontrastverstärkt und visuell nach *Artefakten und radiometrischen Problemen* durchsucht. So konnten verschiedene Rauschmuster wie vertikale und horizontale Streifen, elektronischer Staub, radiometrische Unterschiede zwischen benachbarten Kacheln und Streifen, sowie Signalwiederholungen eines Spektralkanals in den verbleibenden Kanälen gefunden werden (Abb. 1).

2.3 Aerotriangulation

Für die AT wurde ein Luftbildblock von 3 x 10 Schwarzweissaufnahmen über hügeligem und ziemlich rauhem Gelände (17,5 x 12 km²) mit etwa 40% Wald, Dörfern und kleinen Städten benutzt (Abb. 2). Längs-/Querüberdeckung betragen 60%/30% bei einem Bildmassstab von 1:24 000. Der Block wurde in den vier Ecken und in der Mitte mit je einem GPS-Punkt und den während des Photofluges mit GPS bestimmten Aufnahmezentren festgehalten.

Scanner Pixelgrösse	Kanal	RMS		Mittelwert mit Vorzeichen		Max. abso- luter Fehler	
		x	y	x	y	x	y
DSW 200 25 µm	blau	2,4	2,4	0,0	0,0	8,4	8,4
	grün	2,5	2,5	0,0	0,0	8,7	8,6
	rot	2,6	2,6	0,0	0,0	8,7	8,8
Orthovision 950 20 µm	blau	7,4	7,1	0,0	0,0	26,3	18,9
	grün	7,5	7,0	0,0	0,0	26,8	17,5
	rot	7,7	6,9	0,0	0,0	27,4	17,2
SCAI 14 µm	blau	2,3	2,1	0,0	0,0	6,2	7,1
	grün	2,2	2,1	0,0	0,0	6,0	7,6
	rot	2,2	2,0	0,0	0,0	6,1	7,5

Tab. 1: Geometrische Fehler (in µm) pro Farbkanal der Scanner (affine Transformation und 625 Passpunkte).

Scanner Pixelgrösse	Kanäle	RMS		Mittelwert mit Vorzeichen		Max. abso- luter Fehler	
		x	y	x	y	x	y
DSW 200 25 µm	blau-grün	0,4	0,2	-0,1	0,1	2,0	1,0
	blau-rot	0,6	0,4	-0,2	-0,1	2,3	1,4
	grün-rot	0,3	0,3	-0,1	-0,2	2,2	1,0
Orthovision 950 20 µm	blau-grün	3,2	0,9	0,2	0,3	8,0	2,9
	blau-rot	4,9	1,5	0,1	0,1	11,1	4,3
	grün-rot	1,9	0,9	-0,1	-0,2	4,0	3,5
SCAI 14 µm	blau-grün	0,2	1,1	-0,1	1,0	0,8	2,2
	blau-rot	0,4	2,4	-0,1	2,3	1,5	4,3
	grün-rot	0,2	1,4	-0,0	1,3	0,8	2,7

Tab. 2: Koordinatendifferenzen zwischen den Farbkanälen (in µm).

Graukeil	Kanal	Dichtebereich	
		0,05–3,09	0,51–1,44
DSW 200 (12,5 µm)	SAW	1,1	1,6
Orthovision 950 (10 µm)	blau	1,6	2,3
	grün	1,7	2,6
	rot	1,4	1,9
SCAI (7 µm)	blau	2,5	4,3
	grün	2,2	4,3
	rot	2,2	4,2
SCAI (14 µm)	blau	2,1	4,3
	grün	2,0	4,4
	rot	2,0	4,3

Tab. 3: Mittlere Standardabweichung der Grauwerte in zwei Dichtebereichen der Graukeile.

Die *Software* wurde anhand des Automationsgrades in der Projektaufsetzung, der Blockdefinition, der Messung der

Rahmenmarken, Bodenpunkte sowie den zusätzlichen Verknüpfungspunkten und der Ausreissersuche bewertet. Bei der Be-

urteilung der Funktionalität wurden der Import der GPS-Aufnahmezentren, die Übersicht über den aktuellen Bearbeitungsstand, die Benutzung eines DGMS, die Qualitätskontrolle des Blockes sowie den Export zum Analytischen Plotter begutachtet. Schliesslich wurde die Rechenzeit verschiedener Prozesse wie der Erzeugung der Bildpyramiden, der Bestimmung der inneren Orientierung, der automatischen Messung der Verknüpfungspunkte sowie der Blockausgleichung festgehalten. Hier konnten die grössten Unterschiede bei der automatischen Verknüpfungspunktemessung und Blockausgleichung festgestellt werden. Bei 15 Verknüpfungspunkten pro Bild dauerte für System A die Rechenzeit für den Block 16 Minuten. Es wurden ca. 90% der Punkte korrekt übertragen. Der Rest musste von Hand nachgemessen werden. Andere Systeme bestimmten in drei Stunden Rechenzeit bis zu 1500 Punkte pro Bild. Die Bündelblockausgleichung dauerte zwischen zwei Minuten (180 Punkte) und zehn Minuten (32 000 Punkte), wobei Geschwindigkeit leider kein Garant für gute Resultate war.

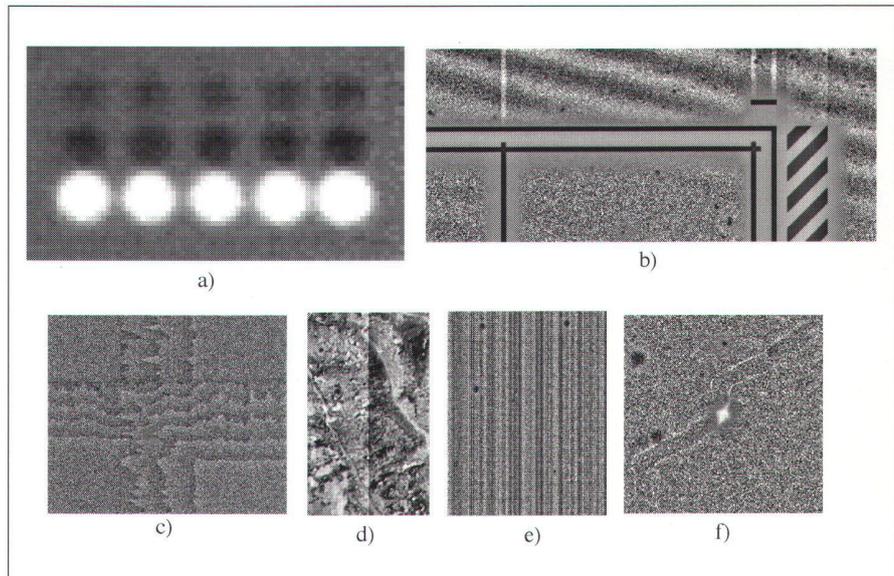


Abb. 1: Artefakte und radiometrische Probleme (alle Bilder wurden zur Darstellung stark kontrastverstärkt): a) inverse Echos (Signalwiederholungen) wegen elektronischem «Cross-Talk» zwischen den drei Zeilen einer trilinearen CCD (SCAI); b) Interferenzmuster und elektronisches Rauschen beim Auslesen des Signales (DSW200); c) Grauwert-Differenzen zwischen benachbarten Kacheln (Flächen-CCD, DSW200); d) Grauwert-Differenzen zwischen benachbarten Streifen (bei Zeilen-CCD, Orthovision 950); e) Vertikale und horizontale Streifen (trilineare CCD, Orthovision 950); f) elektronischer Staub (d.h. echter Staub verursacht falschen (inversen) radiometrischen Ausgleich der Sensorelemente, DSW200).

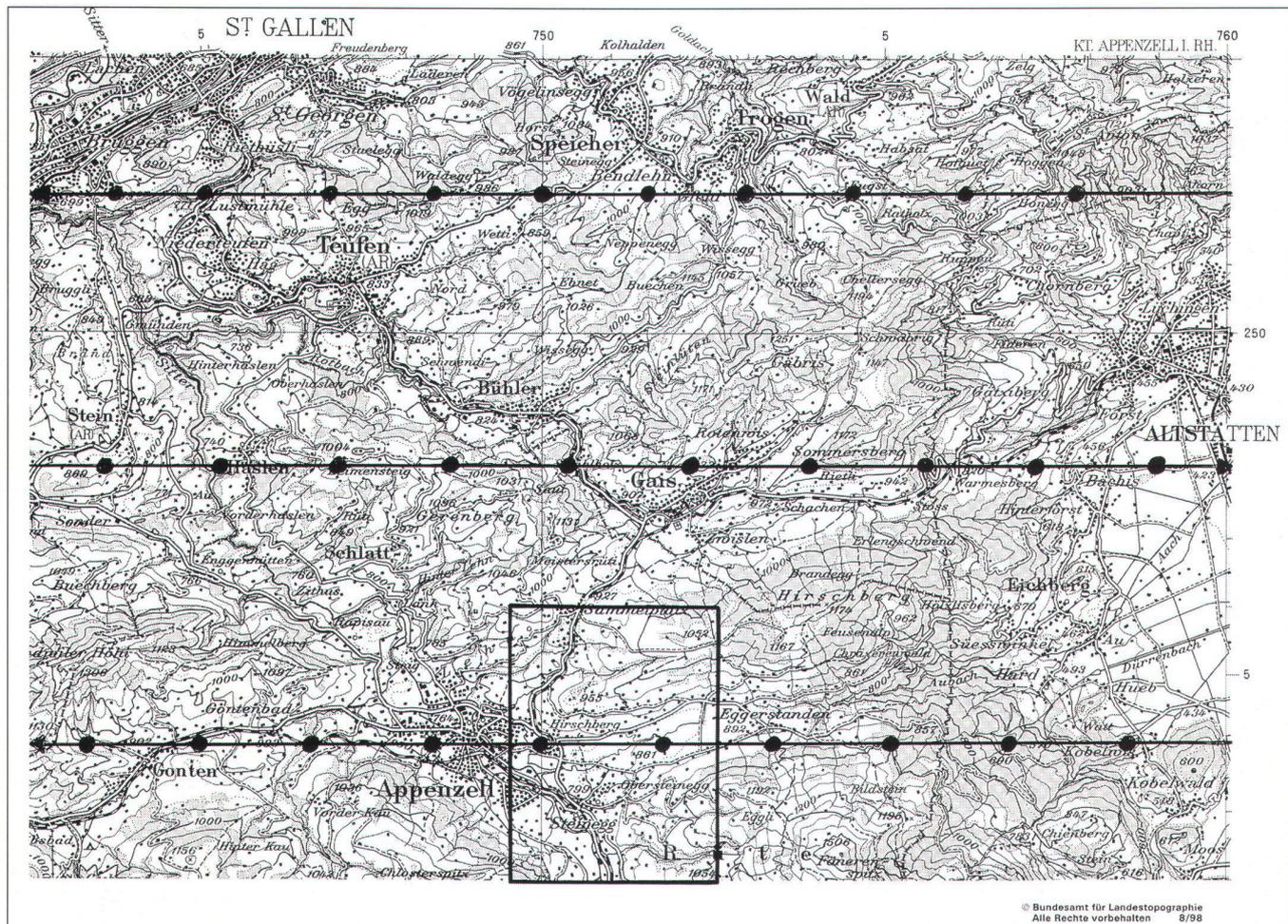


Abb. 2: Testgelände für AT mit Flugplan (Kartenausschnitt 1:100 000 der LK 33 Toggenburg).

System	Punkte*	RMS der Residuen [m]		
		DY	DX	DZ
A	5 Pass	0,03	0,03	0,02
	16 Kontroll	0,33	0,52	1,52
B	5 Pass	1,38	0,50	0,86
	20 Kontroll	0,39	0,41	0,65
C	5 Pass	0,22	0,13	0,52
	19 Kontroll	0,47	0,69	0,63
D	5 Pass	0,05	0,03	0,02
	19 Kontroll	0,22	0,39	0,42

* Obwohl die Verwendung aller 20 Kontrollpunkte verlangt war, erhielten wir diese Informationen nur für System B

Tab. 4: Geometrische Genauigkeiten der AT.

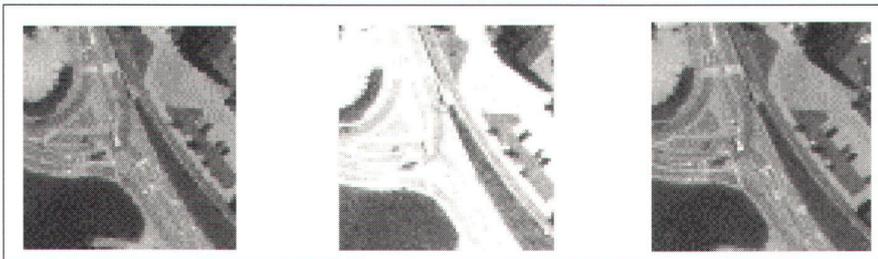


Abb. 3: Orthophotos der Systeme A (beachte die grobe Struktur der Kanten im Zentrum und oben rechts), B (beachte die Sättigung der hellen Stellen) und C.

Der grösste festgestellte Softwaremangel war eine Funktion, die einfach und schnell schwache Bildverknüpfungen und/oder ungenaue Beobachtungen aufzeigte. Die *geometrische Genauigkeit* wurde anhand der Residuen von 20 Kontrollpunkten, die über den ganzen Block verteilt waren, bestimmt und damit der RMS berechnet (Tab. 4).

2.4 Orthophoto & Mosaik

Als Testmaterial wurde ein Stereomodell mit Farbbildern benutzt, das hügeliges Gelände mit Wäldern, Bächen, Weiden und Siedlungen abdeckte (Abb. 2: Rechteck östlich von Appenzell). Das Geländemodell (DHM25) und die Bildorientierungen wurden von der L+T vorgegeben. Die Aufgabe bestand darin mit bilinearer Interpolation Orthophotos von 0,5 m Auflösung zu berechnen und dann über den ganzen Bildbereich ein Mosaik zu bilden. Die Bildradiometrie wurde visuell kontrolliert, insbesondere entlang der Schnittli-

nie zwischen den zwei Bildern. Je nach System wurden erstaunliche Resultate abgegeben (Abb. 3). Die Berechnungszeiten zur Herstellung sowohl der Orthophotos selbst wie auch

des Mosaikes wurden festgehalten. Bei der Funktionalität wurde die Definition des Orthophotos und der Schnittlinie sowie der Automationsgrad bewertet. Die geometrische Genauigkeit wurde mittels 4 GPS- und 40 zusätzlichen Kontrollpunkten im Überlappungsbereich bestimmt. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen war in diesem Punkt klein (RMS: 0,6–1,4 Pixel).

2.5 Digitales Geländemodell

Für das DGM wurde ein Schwarzweissmodell derselben Region wie für das Orthophoto benutzt (Abb. 2: Rechteck östlich von Appenzell). In diesem Gebiet (3 x 4 km²) wurde ein Referenzdatensatz (16 400 Punkte) am Analytischen Plotter gemessen, der Punkte auf oder nahe an Bäumen, Gebäuden und anderen Nichtgeländeobjekten aussparte (Abb. 4). In einem speziellen File wurden zusätzlich die Bruchkanten (1100 Punkte) erfasst. So konnte die Qualität der Systeme in Bezug auf diese wichtigen Geländelinien unabhängig voneinander kontrolliert werden. Die Aufgabe bestand in der Berechnung eines DGMs mit einer regelmässigen Gitterweite von 10 m. Neben der Berechnungszeit für das DGM, wurde die DGM-Definition und der Automatisationsgrad bewertet. Die geometrische Genauigkeit wurde für das DGM-Gitter und die Bruchkanten anhand der Differenzen bestimmt

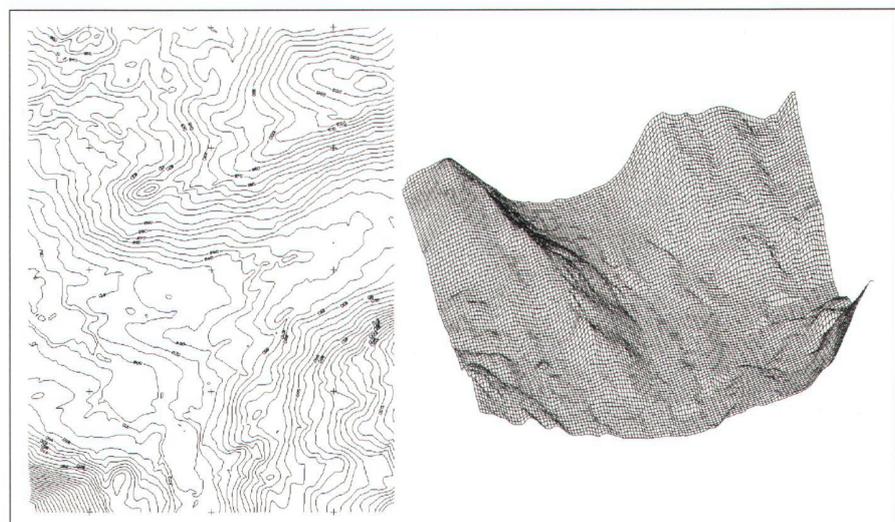


Abb. 4: Referenzdatensatz (Gitterpunkte). Links: Höhenlinien mit 10 m Äquidistanz. Rechts: 3D-Drahtgittermodell.

System	A	B	C	D
Anzahl Punkte	16236 / 1102	15085 / 1037	16357 / 1108	16357 / 1108
Mittelwert	-0,73 / -1,68	0,1 / -0,46	-0,82 / -1,52	0,17 / -0,28
Max. Abs.	18,46 / 8,18	18,11 / 6,24	65,17 / 6,52	8,03 / 3,73
RMS	1,51 / 2,42	0,78 / 1,21	1,60 / 2,16	0,58 / 0,95

Tab. 5: Statistik der Differenzen der Gitterpunkte / Bruchkanten zwischen den Referenzdaten und den automatisch erzeugten DGM (in m).

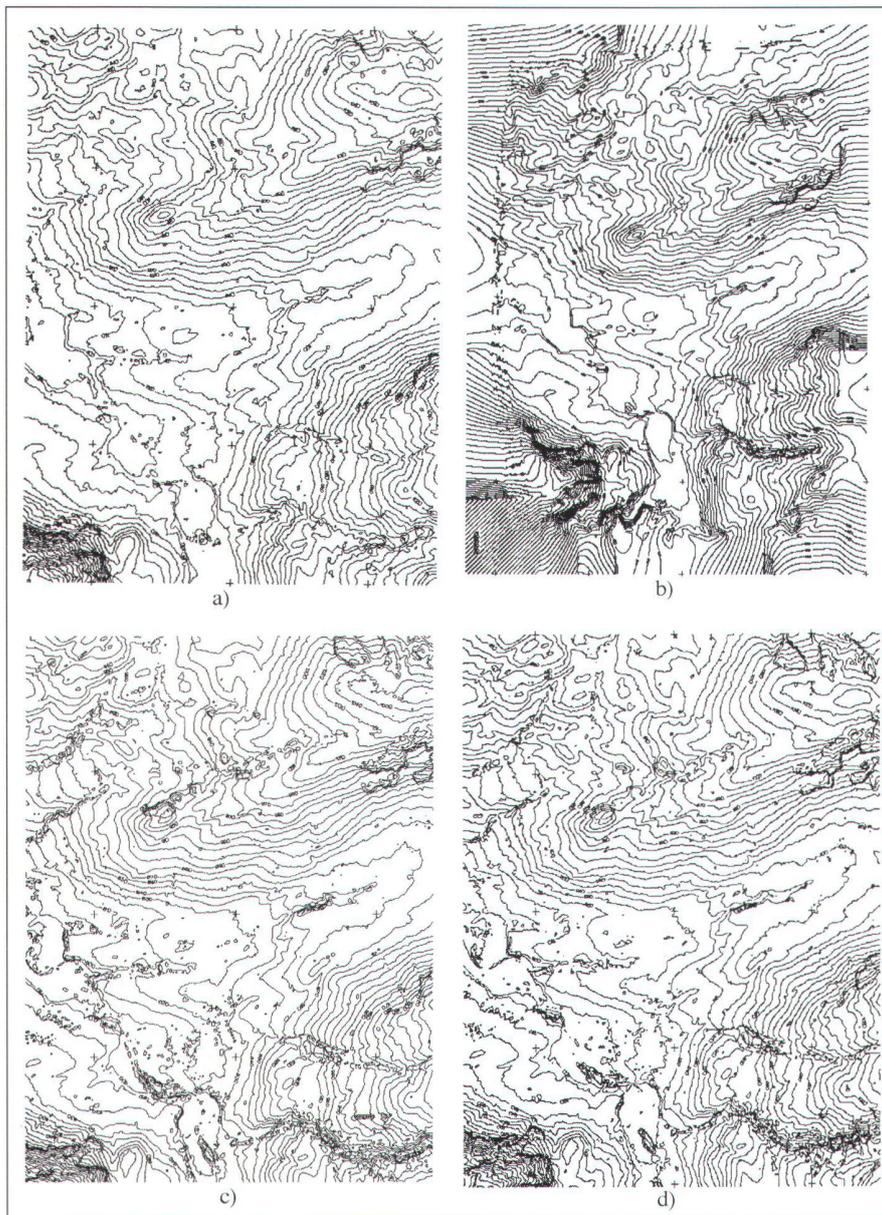


Abb. 5: Höhenlinien mit 10 m Äquidistanz. Systeme A (a), C (b), B (c), D (d). Für System C wurde eine grössere DGM-Fläche berechnet mit groben Fehlern in den Randzonen.

(Tab. 5). Zusätzlich wurde nach groben Fehlern gesucht, indem Höhenlinien (Abb. 5) und ihre Überlagerung auf dem

Orthophoto, 3D-Gittermodelle und Grauwertdarstellungen der DGM berechnet wurden.

System C und D benutzen dieselbe Software, aber das User-Interface und die Definition der Match-Parameter erfolgen auf verschiedene Arten. Trotzdem waren die Benchmark-Resultate sehr unterschiedlich. Einerseits kam das von einem Softwarefehler bei System C, andererseits zeigt das, wie sensibel diese Module auf unterschiedliche Match-Parameter reagieren, sodass selbst Experten wie die Präsentatoren Mühe haben die richtige Wahl zu treffen.

Für System D erhielten wir zusätzlich eine Berechnung mit 30 μm Luftbildern. Dieses DGM war nur 15–20% schlechter als jenes mit 15 μm -Luftbildscans.

Der Vergleich der Höhenlinien (Abb. 4+5) zeigte, dass die Systeme B und D mehr Details und rauhere Linien lieferten dank höherer Messdichte der Korrelationspunkte. Sie haben weniger Fehler und geben eine etwas bessere Darstellung der Geländedetails wieder. Die Höhenlinien von System C sind zu stark geglättet und viele Details gingen verloren. Bei System A sind die Höhenlinien auch zu stark geglättet und die Resultate bei Geländediskontinuitäten (beachte die zwei horizontalen Bäche im rechten unteren Teil) waren wegen dem grossen Korrelationsfenster die schlechtesten von allen Systemen.

Der grösste Schwachpunkt bei allen Systemen waren die unzuverlässigen Genauigkeitsindikatoren (global und pro Gitterpunkt). Obwohl alle Systeme schlechte Korrelationspunkte nach Fehlerklassen markierten, erwiesen sich selbst die guten Punkte als nicht immer richtig gemessen. Aus diesem Grund wird eine manuelle Kontrolle der DGM über den ganzen Bereich stark empfohlen.

2.6 Stereo Display, Objektextraktion, Datenverwaltung und -archivierung, Entwicklungs-umgebung, Benchmark-Eindruck

Beim *Stereo-Display* wurde die 3D-Bildqualität am Bildschirm beurteilt nach Bildschärfe, Phantombildern, Kontinuität der Bildbewegung sowie Helligkeit- und Kontrasteinstellung. Bezüglich Funktionalität wurden Punkte untersucht wie die Bild-

Version Gewicht / P _{max} / System	Uniform						Optimal						Minimal					
	G	P _{max}	A	B	C	D	G	P _{max}	A	B	C	D	G	P _{max}	A	B	C	D
Scanner	25	75	39	36	42	–	40	120	65	62	68	–	50	150	88	65	103	–
Aerotriangulation	40	120	71	55	80	88	40	120	71	51	80	90	50	150	97	68	105	116
Orthophoto & Mosaik	23	69	43	36	40	–	30	90	50	39	57	–	30	90	44	36	51	–
DGM	12	36	27	18	20	22	15	45	29	27	18	32	10	30	21	22	16	24
Stereo Display	13	39	23	19	21	–	10	30	18	12	20	–	10	30	21	14	24	–
Objektextraktion	7	21	4	0	0	–	5	15	7	0	0	–	0	0	0	0	0	–
Datenverwaltung & Archiv	7	21	4	9	11	8	20	60	19	37	46	35	20	60	16	33	41	32
Entwicklungsumgebung	8	24	19	13	13	–	10	30	25	15	17	–	0	0	0	0	0	–
Benchmark-Eindruck	20	60	35	35	41	27	30	90	49	53	67	40	30	90	50	54	69	38
Total	155	465	263	219	267	144	200	600	332	294	372	197	200	600	337	291	409	210

Tab. 6: Sensitivitätsanalyse der Benchmark-Tests (G = Gewicht, P_{max} = Punktemaximum, A–D = Systeme).

vorbereitung (Berechnung von Epipolarbildern), die Superimposition von Vektoren, die Modellübersicht mit online-Positionierung des Cursors, die 3D-Editiermöglichkeiten und als Spezialität eine Funktion, die den Cursor an einer beliebigen Stelle automatisch auf den Boden setzt (cursor on surface).

Die halb- oder vollautomatische *Objektextraktion*, also die automatisierte Vermessung von Objekten wie Gebäuden und Strassen, stellte sich als das grosse Forschungsgebiet der Zukunft heraus. Alle Firmen waren sehr an diesem Thema interessiert, aber nur System A konnte uns ein halbwegs funktionierendes Modul für Gebäude zeigen.

Bezüglich *Datenverwaltung und -archivierung* wurde uns die Wichtigkeit dieses Bereiches von allen Firmen bestätigt. In der Datenverwaltung wurden die verschiedenen Lösungen für Projekt- und Bilddatenverwaltung vorgeführt, teilweise mit der Möglichkeit aus einem Projekt selektiv Daten zu speichern. Bezüglich der Datenarchivierung konnte uns nichts gezeigt werden. Es scheint so, als ob dieses Thema eher von Computerherstellern angegangen wird als von Firmen der digitalen Photogrammetrie.

Die traditionelle *Entwicklungsumgebung* für z.B. C/C++ oder Fortranprogramme ist sowieso ein Teil des Betriebssystems und wurde im Rahmen einer Demonstration begutachtet. Nur System A+B hatten ein spezielles Entwicklungsmodul für die Pho-

togrammetrie. Bei den übrigen war dieser Punkt meistens eine Frage weitergehender Schulungen.

Zum Schluss der Benchmarks hielten die Bewerber ihren *persönlichen Eindruck* des ganzen Anlasses in Bezug auf die verwendete Systemkonfiguration, die Benchmark-Vorführungen und die Applikationsstandards (GUI, Bildschirmdarstellungen und -übersichtlichkeit, Steuergeräten wie Maus und Handräder, Batchverarbeitung) fest.

3. Bewertung

3.1 Benchmark

Pro Punkt des Fragekataloges wurde am Benchmark jeweils eine Bewertung von 0–3 Punkten vorgenommen. Nach jedem Benchmark glichen die Bewerber ihre Kataloge untereinander ab und erstellten pro Anbieter eine Bewertung. Um unsere Bedürfnisse besser sichtbar zu machen, wurde pro Kriterium ein Gewicht eingeführt. Über das Gewichttotal der einzelnen Komponenten konnten unsere Prioritäten und Bedürfnisse transparent dargestellt werden. Im nächsten Schritt wurde mit einer Sensitivitätsanalyse der Einfluss einer veränderten Gewichtung auf die Rangliste untersucht. Die Sensitivitätsanalyse des Benchmark-Tests mit den verwendeten Gewichten und den resultierenden Punkten pro Komponente sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Streng genommen sind nur die Versionen

Optimal und Minimal miteinander vergleichbar, weil nur bei diesen das Gewichttotal gleich ist.

Bei allen Versionen war System C das beste. Der grosse Unterschied zwischen dem Punktemaximum und den erreichten Punktetotalen pro Anbieter zeigt den immer noch grossen Entwicklungsbedarf der Systeme auf.

3.2 Gesamtsystem

Für die Gesamtbewertung wurden schliesslich zusätzliche Kriterien berücksichtigt und eine Neuaufteilung in die folgenden Komponenten vorgenommen: Technik (mit Schwerpunkt Genauigkeit), Software und Systemvorführung (Benchmark), Firmeneinschätzung (Generell, Unterstützung) sowie Kosten. Der Systemvergleich wurde wieder mit einer Sensitivitätsanalyse gemacht (Tab. 7). Bei allen Versionen war das kombinierte System E das beste, das die AT von System D (und auch das DGM, siehe Kap. 2.5), die übrigen Komponenten von System C benutzte.

4. Erfahrungen und Schlussfolgerungen

Die Kooperation zwischen L+T und ETH Zürich war sehr geeignet für diese Evaluation. Die ETH lieferte das ganze theoretische und algorithmische Know-how sowie die Erfahrung aus früheren Evalua-

Version	Optimal							Minimal						
	G	P _{max}	A	B	C	D	E*	G	P _{max}	A	B	C	D	E*
Gewicht / P_{max} / System														
Technik Total (Genauigkeit)	20	60	38	21	44,5	17,5	51,5	20	60	35	22	47	18	55
Scanner	4	12	8	4	12	-	12	4	12	8	4	12	-	12
Aerotriangulation	4	12	4	0	8	12	12	4	12	4	0	8	12	12
Orthophoto & Mosaik	3	9	9	3	6	-	6	3	9	9	3	6	-	6
DGM	1,5	4,5	1,5	3	1,5	4,5	4,5	2	6	2	4	2	6	6
Stereo Display	1	3	1	2	3	-	3	2	6	2	4	6	-	6
Objektextraktion	0,5	1,5	1,5	0	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-
Datenverwaltung & Archiv	2	6	4	4	4	-	4	2	6	4	4	4	-	4
Entwicklungsumgebung	1	3	3	2	1	1	1	0	0	-	-	-	-	-
Allgemein	3	9	6	3	9	-	9	3	9	6	3	9	-	9
Software Total	20	60	30,5	19,5	49	21,5	57,5	20	60	31	18	47	30	60
Scanner	4	12	8	4	12	-	12	4	12	8	4	12	-	12
Aerotriangulation	4	12	4	0	8	12	12	4	12	4	0	8	12	12
Orthophoto & Mosaik	3	9	6	3	9	-	9	3	9	6	3	9	-	9
DGM	1,5	4,5	3	1,5	0	4,5	4,5	3	9	6	3	0	9	9
Stereo Display	1	3	2	1	3	-	3	1	3	2	1	3	-	3
Objektextraktion	0,5	1,5	1,5	0	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-
Datenverwaltung & Archiv	2	6	0	4	6	2	6	0	0	-	-	-	-	-
Entwicklungsumgebung	1	3	3	1	2	-	2	0	0	-	-	-	-	-
Allgemein	2	6	2	4	6	-	6	2	6	2	4	6	-	6
Demonstration	1	3	1	1	3	3	3	3	9	3	3	9	9	9
Firmen Total	8	24	8	8	24	24	24	10	30	10	10	30	30	30
Unterstützung	4	12	4	4	12	12	12	5	15	5	5	15	15	15
Generell	4	12	4	4	12	12	12	5	15	5	5	15	15	15
Kosten Total	12	36	23	13	32	10	33	10	30	21	12	26	7	27
System	2	6	4	2	6	-	6	2	6	4	2	6	-	6
Scanner	1	3	1	3	2	-	2	1	3	1	3	2	-	2
Aerotriangulation	1	3	3	0	1	2	2	1	3	3	0	1	2	2
Orthophoto & Mosaik	1	3	2	1	3	-	3	1	3	2	1	3	-	3
DGM	1	3	1	0	3	2	3	1	3	1	0	3	2	3
Stereo Display	1	3	3	1	2	-	2	1	3	3	1	2	-	2
Wartung	1	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3
2. Photogrammetriestation	2	6	4	2	6	-	6	2	6	4	2	6	-	6
Lizenzen	1	3	2	0	3	1	3	0	0	-	-	-	-	-
Schulung / Ausbildung	1	3	0	1	3	2	3	0	0	-	-	-	-	-
Gesamttotal	60	180	99,5	61,5	149,5	73	166	60	180	97	62	150	85	172

Tab. 7: Gesamtbewertung (Abkürzungen wie in Tab. 6).

* System E ist eine Kombination der Systeme C und D.

tionen mit digitalen photogrammetrischen Komponenten. Die L+T stellte ihre praktischen Erfahrungen, eine gute Definition ihrer Bedürfnisse und die Testdatensätze zur Verfügung. Sie hatte die Gesamtleitung, bestimmte die Evaluations-

kriterien, ihre Gewichtung, die Bewertung der Firmen und natürlich die Beschaffung.

Die Aufteilung des Benchmark in die Komponenten Scanner, AT, OP und DGM, jede mit eigenen unabhängigen Startbe-

dingungen, stellt sich als sehr zweckmäßig heraus. Auf der einen Seite erlaubte dies ein Testen und Evaluieren jeder Komponente, unabhängig von vorgängigen Resultaten. Auf der anderen Seite konnte bei wesentlichen Problemen in einem

Test der Benchmark bei einer anderen Komponente ohne Zeitverlust weitergeführt werden.

Die Benchmarkdauer von zwei Tagen war für einen Test von diesem Ausmass sehr kurz bemessen. Aus diesem Grund mussten einige Resultate später nachgeliefert werden, zum Teil aber auch wegen Softwareproblemen, schwacher Rechenleistung, falscher Parametereingabe oder Softwarefehlern. Eine Dauer von drei Tagen wäre angemessener.

Die verwendeten Test- und Referenzdaten waren sehr geeignet. Einzig bei der AT hätte ein grösserer Bildblock und mehr Bodenpunkte in der Blockmitte eine zuverlässigere Aussage über die erreichte Genauigkeit erlaubt. Die Datenanalyse gestaltete sich schwieriger als erwartet, einerseits wegen der spärlichen oder unbrauchbaren Information in den Protokollfiles und Resultatlisten, andererseits weil Ergebnisse von neuen Software-Versionen nachträglich geliefert wurden. Zudem wurden unsere Aufgabenstellungen nicht immer korrekt eingehalten (z.B. grösserer DGM-Ausschnitt), was zu zusätzlichen Telefonaten, Faxen und neuen Datenlieferungen führte.

Um eine objektivere Evaluation zu gewährleisten ist die Anwesenheit von mindestens zwei Personen bei Benchmarks, Demonstrationen und allen wichtigen Besprechungen erforderlich. Dasselbe Ziel wurde mit den durchgeführten Sensitivitätsanalysen verfolgt. Trotzdem bleibt in jeder Evaluation eine gewisse Subjektivität bestehen. In unserem Ansatz kommt dies mit den eingeführten Gewichten pro Kriterium sowie einigen Evaluationspunkten wie der Firmeneinschätzung klar zum Ausdruck.

Alle Firmen waren bei der Evaluation sehr hilfreich und beantworteten alle unsere Fragen so schnell wie möglich. Trotzdem

konnten bei den Benchmarks einige zum Teil ernsthafte Schwachstellen, abgesehen vom klassischen «Demo-Effekt», festgestellt werden. Keine der Firmen war auf einen Systemtest von diesem Ausmass gut vorbereitet gewesen, obwohl alle im voraus gut über den Ablauf und die Testdaten informiert waren. Erstaunlich war auch das teilweise geringe algorithmische Know-how des Vorführpersonals, welches zu falschen Parametereinstellungen und damit zu gewissen Fehlern sowie schlechten Resultaten führte.

Kein einziges System erfüllte die geforderten Kriterien in einem grossen Ausmass. Obwohl seit 1½ Jahre vergangen sind und einige Verbesserungen seither stattgefunden haben, weisen heutzutage digitale photogrammetrische Systeme immer noch viele Schwachpunkte, Instabilitäten, schwache Rechenleistungen, veraltete Algorithmen sowie komplexe oder fehlende Funktionen auf. Wesentliche Verbesserungen könnten noch erreicht werden.

Das Ausmass der durchgeführten Evaluation war hauptsächlich begrenzt durch die Faktoren Zeit und Kosten. Andere Organisationen können solche Evaluationen erweitern oder begrenzen gemäss ihren Vorstellungen. Abgesehen von einigen marginalen Punkten, war der ganze Evaluationsprozess sehr erfolgreich und führte zur richtigen Systemwahl. Dank der guten Systemkenntnisse konnten in den Vertragsverhandlungen geeignete Abnahmebedingungen formuliert werden. Andererseits verhalf die Evaluation zu viel Wissen und Erfahrung in diesem neuen Bereich und vereinfachte die Umstellung auf die digitalen Verarbeitungsmethoden. Die hier dargestellten Verfahren und Tests sind allgemein genug, dass sie von verschiedenen Organisationen gemäss ihren Bedürfnissen eingesetzt werden können.

Dank

Die Autoren danken den Firmen, dass sie die Publikation der Evaluations-Resultate zugelassen haben.

Referenzen:

Baltsavias, E., Käser, Chr., 1998a. Evaluation and testing of the Zeiss SCAI roll film scanner. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 1, Bangalore, India, pp. 67-74.

Baltsavias, E., Käser, Chr., 1998b. DGM and orthoimage generation - a thorough analysis and comparison of four digital photogrammetric systems. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 4, Stuttgart, Germany.

Käser, Chr., Eidenbenz, Chr., Baltsavias, E., 1998. Evaluation and testing of several digital photogrammetric systems for system acquisition by a national mapping agency. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 2, Cambridge, UK.

(Obige Papers in Postscript sind durch anonymous ftp erhältlich: ftp 129.132.26.9, cd pub/manos/papers, binary, get filename. Die entsprechenden Filenamen sind: scai.ps, stut_dtm.ps, cambridge.ps)

Dr. Emmanuel Baltsavias
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich
e-mail: manos@geod.ethz.ch

Christoph Eidenbenz, Christoph Käser
Bundesamt für Landestopographie
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
e-mail:
Christoph.Eidenbenz@lt.admin.ch
Christoph.Kaaser@lt.admin.ch