

# Das Potenzial von Ikonos- und Quickbird-Bildern für die genaue 3D-Punktbestimmung, Orthophoto- und DSM-Generierung

Autor(en): **Eisenbeiss, H. / Baltsavias, E. / Pateraki, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **102 (2004)**

Heft 9

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-236160>

## **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.

# Das Potenzial von Ikonos- und Quickbird-Bildern für die genaue 3D-Punktbestimmung, Orthophoto- und DSM-Generierung

Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich wurden hochauflösende Satellitenbilder (Ikonos, Quickbird) im Hinblick auf die geometrische Genauigkeit für die Bestimmung von 3D-Punkten, Orthobildern, Höhenmodellen (DSM) sowie die Extraktion von Strassen aus den erzeugten Orthobildern in zwei Gebieten der Schweiz (Genf und Thun) analysiert. Der Artikel beschreibt die vorliegenden Ausgangsdaten, die Analyse und die Vorverarbeitung der Satellitenbilder, die verwendeten Methoden für die Passpunktmessung und die Resultate aus den Bildorientierungen. Weiterhin werden die aus den Satellitenbildern gewonnenen Ergebnisse wie Orthophotos, automatisch extrahierte DSM-Daten und die erzeugten Strassen auf ihre Genauigkeit und Vollständigkeit hin untersucht.

*L'Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'EPF Zürich a analysé des images satellites haute résolution (Ikonos, Quickbird) en ce qui concerne leur précision géométrique et en vue de la détermination de points 3D, d'orthophotos, de modèles d'altitude (DSM) ainsi que d'extraction de routes à partir des orthophotos produites dans deux régions de la Suisse (Genève et Thun). L'article décrit les données de départ disponibles, l'analyse et la préparation des images satellites, les méthodes employées pour la mesure des points d'ajustage ainsi que les résultats des orientations des images. De plus, les résultats issus des images satellites tels que orthophotos, données DSM extraites automatiquement et les routes produites sont analysés en ce qui concerne leur précision et leur complet.*

All'Istituto di geodesia e fotogrammetria della SPF di Zurigo sono state analizzate delle immagini satellitari ad alta risoluzione (Ikonos, Quickbird), relative a due regioni della Svizzera (Ginevra e Thun), riguardo alla precisione geometrica per la determinazione di punti 3D, ortofoto, modelli altimetrici, nonché all'estrazione di strade. Quest'articolo descrive i dati di partenza disponibili, l'analisi e la pre-elaborazione delle immagini satellitari, i metodi utilizzati per la misurazione dei punti d'appoggio ed i risultati dell'orientamento delle immagini. Inoltre sono esaminate la precisione e la completezza dei prodotti ottenuti dalle immagini satellitari, come ortofoto, modelli altimetrici estratti automaticamente e strade.

H. Eisenbeiss, E. Baltsavias, M. Pateraki,  
L. Zhang, O. Gut, O. Heller

## 1. Einleitung

### 1.1 Zielsetzungen

Das Thema dieser Arbeit ist die Untersuchung des Potenzials von Ikonos- und Quickbird-(QB)-Bildern für die 3D-Punktbestimmung, Orthophotogenerierung und die Erzeugung von Höhenmodellen.

Für beide Testgebiete, Thun und Genf, standen genaue Referenzdaten zur Verfügung. Beide Projekte wurden in enger Kooperation mit swisstopo und Space Imaging USA durchgeführt.

Für das Gebiet um Genf ergab sich die Hauptaufgabe, die Satellitenbilder auf ihre Eignung für die Aktualisierung der Schweizer Landeskarten in den Gebieten, welche unmittelbar an die Nachbarländer angrenzen, zu untersuchen. Dafür müs-

sen genaue Orthobilder erzeugt und Objekte wie Strassen aus den Orthobildern abgeleitet werden. Hierfür wurden im Vorfeld genaue Passpunkte gemessen und die Orientierung der Satellitenbilder unter Benutzung verschiedener Sensormodelle analysiert.

Im Gebiet Thun lag der Schwerpunkt in der Erzeugung eines Höhenmodells aus einem Block von Satellitenbildern. Das Gebiet beinhaltet grosse Höhendifferenzen und eine vielfältige Landschaftsbedeckung. Unter anderem wurde der Einfluss der Passpunktanzahl und -verteilung auf die Orientierung der Satellitenbilder untersucht.

### 1.2 Bisherige Arbeiten

In den vergangenen Jahren wurde am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ein photogrammetrisches Programm SAT-PP (Satellite Imagery Precision Processing Software: SAT-PP) für das Prozessieren von hochauflösenden Satellitenbildern entwickelt.<sup>5</sup> Das Programm SAT-PP wurde an der diesjährigen Hannover-Messe vorgestellt. Für die Bildverarbeitung wurden Tools benutzt, die die Rauschanalyse und Kantenverstärkung der Bilder optimieren. Das Programmpaket SAT-PP bietet halbautomatische Messmethoden für die Passpunktbestimmung, verschiedene Sensormodelle für die Orientierung der Bilddaten sowie Tools für die Orthophotogenerierung und DSM Extraktion. Des Weiteren verfügt das Programm über Funktionen für die Objekterkennung und Gebäudemodellierung. In unterschiedlichen Testgebieten, wie zum Beispiel Hobart und Melbourne in Australien, konnten 3D-Objektpunkte mit einer Genauigkeit von unter einem Meter bestimmt und 3D-Stadtmodelle mit diesem Programm generiert werden.<sup>1</sup> Um aus Orthobildern automatisch Strassen extrahieren zu können, kam ein System zum Einsatz, welches in der Zusammenarbeit mit swisstopo für die automatische Extraktion von 3D-Strassen aus Bildern und existierenden räumlichen Datenbanken entwickelt wurde.<sup>2</sup> Die beschriebenen Programme wurden für die vorliegenden Untersuchungen verwendet und teilweise optimiert.

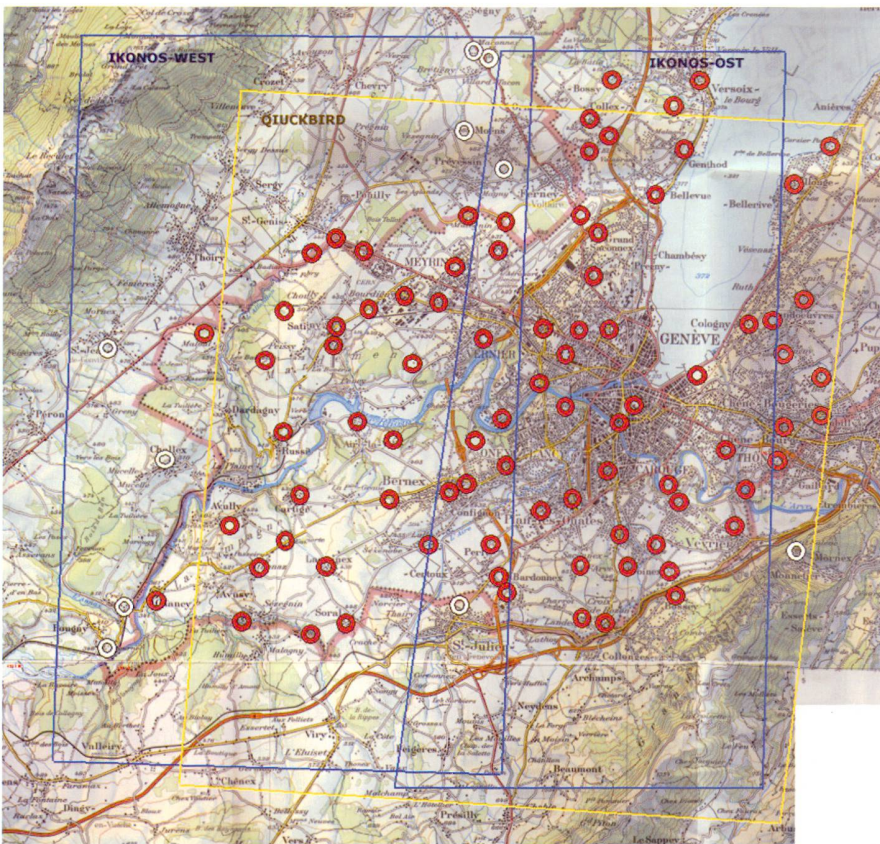


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Genf. Dargestellt sind die Abdeckungen der Ikonos-Bilder (blauer Rahmen) und des QB-Bildes (gelber Rahmen) sowie die gemessenen Passpunkte (weisse Kreise sind Punkte, die in Frankreich und nur in Swisstopo gemessen wurden, rote Kreise sind Punkte aus OP-DIAE). Als Grundlage wurden die Blätter 40, 45 der Landeskarte der Schweiz 1:100 000 benutzt (PK100 © 2004 swisstopo BA046401).

## 2. Projekt Genf

### 2.1 Daten

In Genf wurden zwei Ikonos-Bilder (11 Bit-Geo-Aufnahmen), welche sich mit 10% überlappen, und ein QB-Bild (Basic 1B Aufnahme) benutzt.<sup>3</sup> Das QB-Bild bedeckt das östliche Ikonos-Bild zu 90% und das westliche Ikonos-Bild zu 60% (vgl. Abb. 1). Für die Passpunktmessung wurden die panchromatischen Bilder mit einer Bodenaufösung bei Ikonos/QB von 1/0.63 m verwendet. Für das Erzeugen der Orthobilder wurden die panchromatischen und die multispektralen Bilder mit 4/2.4 m (Ikonos/QB) Bodenaufösung verwendet. Bei allen Satellitenbildern wurden die rationalen Polynomfunktionen (Rational Polynomial Coefficients: RPCs) als Sensormodelle benutzt.

Die Koordinaten der Kontrollpunkte in

Genf wurden anhand von Orthobildern und Höhenmodellen bestimmt. Zum einen standen die Orthobilder OP-DIAE und ein 1 m Laser-DTM des Kantons Genf zur

Verfügung, zum anderen konnten Passpunkte ausserhalb des Kantons mit Hilfe der Swisstopo-Orthobilder und des DHM25 abgeleitet werden. Die Genauigkeiten der Orthobilder und der Höhenmodelle sind in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet.

### 2.2 Bildanalyse und Bildverarbeitung

Die Qualität der Bilddaten ist von vielen Faktoren abhängig, die selbst durch den Systembetreiber nicht alle kontrolliert werden können. Vielmehr entscheidet die Kombination dieser Einflüsse über die Qualität der Daten. Die Bilddaten werden vor allem durch Faktoren wie dem Sonnen- und Sensorazimut, der Sonnen- und Sensorelevation, den atmosphärischen Bedingungen, den Reflexionseigenschaften der abzubildenden Erdoberfläche, dem Zeitpunkt der Aufnahme, der Anzahl und Verteilung der stark reflektierenden Flächen, der Bildvorbereitung durch den Systembetreiber, der Ground Sampling Distance (GSD) und der Stabilität oder der korrekten Änderung des Pointing-Vektors des Satelliten beeinflusst.

Die Rauscheigenschaften in den Bildern wurden anhand der Standardabweichung der Grauwerte in homogenen Gebieten (Genfer See) sowie in den inhomogenen Gebieten analysiert und quantifiziert.<sup>1,3</sup> Nach der Kantenverstärkung durch die «Adaptive Edge Preserving Weighted Smoothing»-Methode, welche insbesondere das Matchen von Punkten

	OP-DIAE	DTM-AV	Swisstopo	DHM25
Produziert durch	(Kanton GE)		(Swisstopo)	
Bezugsrahmen	LVO3-GE	LVO3-GE	LV03	LV03
Zur Erzeugung benutztes DHM	DTM-AV	/	DHM25	/
GSD [m] / Maschenweite [m]	0.25	1.0	0.50	25.0
Lagegenauigkeit [m]	0.50	0.3–0.4	1.00	2.5–7.5
Höhengenauigkeit [m]	/	0.50	/	Mittelland/Jura: 1.5 Voralpen: 2 Alpen: 5–8

Tab. 1: Spezifikationen der einzelnen Orthophotos und Höhenmodelle.



Abb. 2: Spilling. Links: Ausschnitt aus QuickBird (Satellite Image: © DigitalGlobe / Eurimage / swisstopo, NPOC). Rechts: Ausschnitt aus Ikonos (Satellite Image: © Space Imaging / swisstopo, NPOC).

und das Messen der GCPs in Schattengebieten des Stockhorns ermöglicht, wurden die Bilddaten auf 8 Bit-Daten reduziert, da das Programm SAT-PP 8 Bit-Daten voraussetzt.

In allen Bildern wurden verschiedene Artefakte wie Striping, starke Reflexionen, lange Schatten, Spilling und Ghosting beobachtet. Über 100 Artefakte traten in dem QB-Bild und weniger als 20 in den Ikonos-Bildern auf. Die Artefakte in dem QB-Bild sind auch flächenhaft grösser als die in den Ikonos-Bildern (vgl. Abb. 2).

### 2.3 Messung der Passpunkte und Orientierung der Bilder

Mit den RPCs der Bilder und dem mathematischen Sensormodell wird eine Bündelblockausgleichung durchgeführt.<sup>4</sup> In unseren Berechnungen wurden zuerst mittels der RPCs die Objektkoordinaten der Passpunkte in Bildkoordinaten umgewandelt und anschliessend die zwei Translationsparameter (RPC 1) oder alle sechs Affinparameter (RPC2) bestimmt. Für Ikonos und QB können auch einfachere Sensormodelle genutzt werden. Wir haben zusätzlich zu den beiden Methoden, welche die RPCs benutzen, eine 3D-Affintransformation (3daff) und eine reliefkorrigierte 2D-Affintransformation (2daff) verwendet.<sup>6,7</sup> Bei der 2D-Affintransformation werden die Koordinaten der Passpunkte auf ein Referenzellipsoid mit der Höhe Null projiziert und anschliessend in Abhängigkeit des Sensorazimutes und der Sensorelevation korrigiert.

Für die Messung der Pass- und Kontrollpunkte wurde in den Gebieten Genf eine halbautomatische Messmethode benutzt. In Genf war es zeitlich nicht mög-

lich, GPS-Messungen durchzuführen. Daher wurden hier die Koordinaten der Passpunkte aus den Orthobildern und den Höhenmodellen abgeleitet. Hierfür wird eine Methode benötigt, die es ermöglicht, gleichzeitig im Satelliten- und im Orthobild die Punkte zu messen. Die Messung der Passpunkte mittels «Least squares template matching» war nicht erfolgreich, da die Ortho- und Satellitenbilder grosse Abweichungen in Bildinhalt und Masstab aufzeigten. Als Passpunkte in Genf wurden Mittelpunkte von Kreisverkehren genutzt, welche mittels «Ellipse Fitting» im Bild bestimmt wurden.

Tabelle 2 zeigt die Resultate der Orientierung eines Ikonos-Bildes in Genf. Die Berechnungen wurden mit verschiedenen Sensormodellen und verschiedener Anzahl von Passpunkten durchgeführt. Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, dass die Modelle RPC2 und 3D-Affin unter Verwendung von 44 Passpunkten die besten Ergebnisse liefern. Die Residuen werden, wenn die Anzahl der Passpunkte reduziert wird, nur unwesentlich grösser und blei-

ben in der Grössenordnung von 0.5 m in x- und y-Richtung.

Das RPC1-Modell, in welchem nur die Translationsparameter bestimmt wurden, weist in den Residuen der Passpunkte im QB-Bild eine Scherung auf. QB-Bilder sind aufgrund der grösseren Masse und der höheren Dynamik in der Aufnahmemethode des Satellitensensors grösseren hochfrequenten Deformationen unterworfen als die Ikonos-Bilder. Dementsprechend liefern Sensormodelle ohne RPCs (3daff, 2daff) eine schlechtere Genauigkeit für die Bildorientierung. Für das QB-Bild konnten nur Ergebnisse in der gleichen Grössenordnung wie für die Ikonos-Bilder mit dem RPC2-Modell erreicht werden.<sup>3</sup>

### 2.4 Ergebnisse der Orthophotogenerierung und Strassenextraktion im Testgebiet Genf

Die Orthobilder aus den Ikonos- und QB-Bildern wurden mit dem Laser-DTM und unter Verwendung des Sensormodelles RPC2 mit zehn Passpunkten und 34 Kontrollpunkten erzeugt.<sup>8</sup> Die Modelle der 2D- und 3D-Affintransformation erzielten für die Ikonos-Bilder vergleichbare Ergebnisse. Jedoch wurden für das QB-Bild die besten Ergebnisse mit dem RPC2-Modell erreicht. Um die Orthobilder vergleichen zu können, wurde für die Generierung der Orthobilder nur das RPC2-Modell benutzt. Dieses Modell erzielt für die Orthophotogenerierung mit einer typischen Sensorelevation von 65–75 Grad eine Genauigkeit von 0.5–0.8 m, wenn ein ge-

Sensormodell	GCP	CP	x-RMS [m]	y-RMS [m]	max. Δx [m]	max. Δy [m]
rpc1	44	–	0.65	0.56	1.40	1.21
rpc2	44	–	0.54	0.42	1.53	0.98
3daff	44	–	0.55	0.41	1.40	0.81
2daff	44	–	0.55	0.47	1.39	1.18
rpc2	10	34	0.57	0.52	1.52	1.07
rpc2	4	40	0.60	0.50	1.63	1.13

Tab. 2: Vergleich der verschiedenen Sensormodelle und Anzahl von GCPs in Ikonos-Ost (Genf). CP sind die Kontrollpunkte. (Die RMS-Werte in Pixel wurden in Meter umgewandelt.)

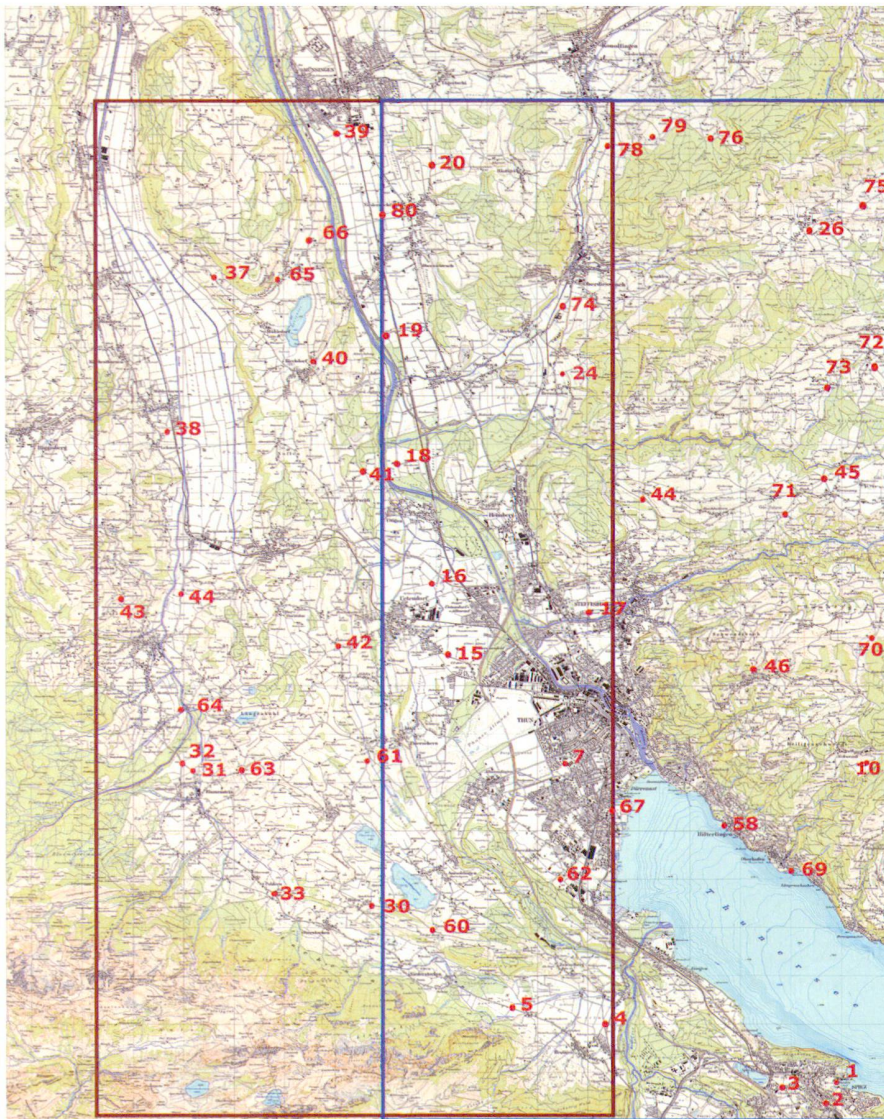


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Thun. Dargestellt sind die Abdeckungen des Stereo-Paars und die des Triplets sowie die gemessenen Passpunkte. Grundlage ist die PK 1:25 000, Blätter 1187, 1207 (PK25 © 2004 swisstopo BA046401).

naues DSM oder DTM benutzt wird. Die erhaltene Genauigkeit der Satelliten-Orthobilder kann mit der Genauigkeit der SwissImage-Bilder konkurrieren (vgl. Tab. 2).

Vergleicht man die Ergebnisse der Extraktion von Strassen aus Satellitenbildern mit denen aus Luftbildern, sind jene im Bezug auf die Vollkommenheit und Korrektheit der bestimmten Strassen deutlich schlechter. Die erzielten Resultate sind auf die geringere Auflösung der Satellitenbilder und dass die Extraktionsmethode für Luftbilder entworfen wurde zurückzuführen. Die RMS-Werte sind bei den Satellitenbildern in x- und y-Richtung unter einem Meter, dagegen liegen die Ergebnisse bei den Luftbildern im halben Meterbereich.<sup>2</sup> Die Strassen der ersten bis zur dritten Ordnung konnten extrahiert werden. Jedoch wurden Strassen mit geringerer Ordnung, welche im Bild weniger als drei Pixel breit sind, nicht erkannt.

### 3. Projekt Thun

#### 3.1 Daten

In Thun standen fünf Ikonos-Bilder zur Verfügung: Ein Stereo-Paar, welches die Stadt Thun abdeckt, und ein Triplet, das sich von Thun bis Wattenwil erstreckt. Das Stereo-Paar und das Triplet haben beide eine Nord-Süd-Ausdehnung von circa 20 km und eine Überlappung von 50% (vgl. Abb. 3).

Die Passpunkte im Gebiet Thun wurden mittels differenziellem GPS bestimmt und konnten mit einer Genauigkeit von 0.2 bis 0.4 m im Objekt und im Bild mittels halbautomatischer Messmethode ermittelt werden. Um im Gebiet Thun das zu erzeugende DSM analysieren zu können, wurde als Referenz ein 2 m-Laser DSM (nur für das südliche Gebiet) mit einer Genauigkeit von 0.5–1 m (1 sigma) für ein offenes Gebiet und einer Genauigkeit von 1.5 m für Gebiete mit Bäumen und Büschen verwendet.

#### 3.2 Bildanalyse und Bildverarbeitung

Im Gebiet Thun wurden die panchromatischen Bilder vorprozessiert, da nur in diesen Bildern die Passpunkte bestimmt wurden und anhand der panchromatischen Bilder das DSM generiert werden kann. Das Triplet mit 70% Schneebedeckung des Geländes wurde Ende Dezember 2003 aufgenommen. Dagegen hatte das Stereo-Paar, welches drei Wochen eher akquiriert wurde, nur 20% Schneebedeckung. Die Bilder weisen ausserdem grössere Schatten im südlichen Teil des Bildes in der Nähe des Stockhorns auf.

#### 3.3 Messung der Passpunkte und Orientierung der Bilder

Aufgrund der Schneebedeckung des Geländes und der Schattengebiete war es problematisch, in den Satellitenbildern gute Passpunkte zu finden. Die unterschiedliche Schneebedeckung im Stereo-Paar und im Triplet führte dazu, dass die Passpunkte nur mittels einer halbautomatischen Messmethode wie «Line Intersection» oder «Ellipse Fitting» bestimmt werden konnten. Ellipse Fitting konnte in Thun nicht benutzt werden, da in dem eher ländlichen Gebiet nur wenig Kreisverkehre vorhanden sind.

Die Blockausgleichungen des Ikonos-Triplets in Thun mit dem 3D-Affin-Sensormodell lieferte bessere Ergebnisse als die RPCs-Modelle. Die Werte liegen in der Lage unter dem halben Meterbereich und in der Höhe leicht über dem halben Meter (vgl. Tab. 3). Die Resultate der 3D-Affin-Methode konnten deutlich gegenüber früheren Publikationen<sup>3</sup> aufgrund von Modifikationen im Programm verbessert werden. Die Passpunktkoordinaten werden jetzt in einem kartesischen Koordinatensystem (UTM) für die Berechnungen eingeführt. Eine Bündelblockausgleichung aller fünf Bilder (Triplet + Stereo-Paar) lieferte mit dem RPC2-Modell eine Genauigkeit in der Lage und der Höhe von unter einem Meter.

Des Weiteren wurden in Thun die Einflüsse der Passpunktverteilung auf die Genauigkeit mit den RPC-Modellen untersucht (vgl. Tab. 4). Wenn für die Orien-

Sensormodell	GCP	CP	x-RMS [m]	y-RMS [m]	z-RMS [m]	max. Δx [m]	max. Δy [m]	max. Δz [m]
rpc1	22	–	0.44	0.46	1.06	–1.11	–0.89	2.08
rpc2	22	–	0.39	0.42	0.68	–0.95	–0.84	–1.40
3daff	22	–	0.35	0.41	0.67	–0.82	0.91	1.36

Tab. 3: Vergleich der Sensormodelle beim Ikonos Triplet (Thun).

Sensormodell	GCP	CP	x-RMS [m]	y-RMS [m]	y-RMS [m]	max. Δx [m]	max. Δy [m]	max. Δy [m]
Rpc1	5	17	0.45	0.46	1.10	–1.07	–0.99	2.38
Rpc2	5	17	0.67	1.70	3.45	1.18	–3.04	6.24
Rpc1	5	17	0.45	0.46	1.10	–1.06	–1.16	4.11
Rpc2	5	17	0.41	0.70	1.05	–1.18	–1.19	–2.33

Tab. 4: Unterschiedliche Verteilung der Passpunkte beim Ikonos Triplet (Thun). Der obere/untere Teil zeigt die Ergebnisse der Orientierung wo 30% bzw. 60% des Bildes im Südwesten mit Passpunkten bedeckt war.

tierung nur fünf Passpunkte in bergigem Gebiet definiert in einer Ecke des Bildes benutzt werden, dann liegen die Abweichungen der Residuen für das einfache RPC1-Modell in der Lage um den halben Meter und in der Höhe im 1-m-Bereich. Erstaunlicherweise lieferte das RPC2-Modell in der Lage und in der Höhe schlechtere Genauigkeiten. Dieser Effekt könnte damit erklärt werden, dass die Masstabs- und Scherungsparameter bei RPC2 kleine Fehler im Modell mit beschreiben. Bei einer Vergrößerung des von den Passpunkten abgedeckten Gebietes werden die Residuen deutlich kleiner (vgl. Tab. 4). Es ist daher zu empfehlen, die Passpunkte in alpinen Gebieten möglichst gut über das gesamte Gebiet (Lage und Höhe) zu verteilen. Die dargestellten Ergebnisse der Bildorientierung zeigen, dass 3D-Punkte mit einer Genauigkeit deutlich unter einem Meter bestimmt werden können.

### 3.4 Ergebnisse der DSM-Extraktion im Gebiet Thun

Für die DSM-Generation ist eine hybride Bild-Matching-Methode benutzt worden. Diese Methode basiert auf den Eigenschaften von linearen Zeilensensoren und

deren Bildgeometrie. Dieses Verfahren kann bei Dreizeilenkameras, aber auch bei Satellitenbildern wie SPOT 5, Ikonos und QB angewendet werden.<sup>9, 10</sup> Für das gesamte Gebiet in Thun wurde ein 5 m-DSM mit einer Genauigkeit von 1–5 m (Referenz 2 m Laser-DSM) ohne Nachbearbeitung generiert. Im Vorfeld wurden nur Gebiete von Flüssen und Seen für die Berechnung ausgegrenzt.

Im berechneten DSM ist zu erkennen, dass kleine geomorphologische Objekte bestimmt und die Landschaftsänderungen gut erkannt werden konnten (vgl. Abb. 4, 5). Die exakte Genauigkeit hängt im Speziellen vom Gelände, Häuser und der Vegetationsform ab. Eine 5-m-Genauigkeit wurde in Waldgebieten, 3 m in Stadtgebieten erreicht. In offenen Gebieten konnte eine Genauigkeit von einem Meter erzielt werden. Die Genauigkeiten in offenen Gebieten sind ähnlich wie die von Laser-Daten. Die Resultate müssen aber kritisch betrachtet werden, da systematische Fehler zwischen den Referenz-Laserpunkten und den photogrammetrischen bestimmten Geländepunkten auftreten. Aufgezeichnete Unterschiede in den Höhenmodellen (Referenz- und berechnetes Modell) können auch aufgrund

der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte entstanden sein. Ausserdem war ein Grossteil der Bilder mit Schnee bedeckt. Sie wiesen aufgrund der niedrigen Sonnenelevation bei der Aufnahme lange Schatten auf. Bei optimalen Bedingungen kann die Genauigkeit der Ergebnisse sicherlich verbessert werden. Mit der erreichten Genauigkeit zeigen IKONOS-Bilder ein grosses Potenzial für die Herleitung von DSM-Daten.

## 4. Schlussfolgerungen

Wenn die Passpunkte mit GPS oder aus Orthobildern für die Orientierung von Satellitenbildern bestimmt werden, kann für die Berechnung von 3D-Punkten eine Genauigkeit von unter einem Meter erreicht werden. Diese Genauigkeit wird auch erzielt, wenn einige Punkte im bergigen Gelände liegen und durch die Schneebedeckung nicht gut definiert werden können. Die Anzahl der Passpunkte kann auf ein Minimum (vier bis fünf) reduziert werden. Die Passpunkte sollten im bergigen Gelände über das gesamte Bild gut verteilt sein, jedoch im flacheren Gebiet Genf zeigte es sich, dass die Punkte auch nur ein kleines Gebiet abdecken können.<sup>3</sup> Die Untersuchungen stellen dar, dass sich die Höhengenaugigkeit verschlechtert, wenn in bergigen Gebieten Passpunkte nicht gut definiert werden und nur einen kleinen Bereich im Bild abdecken.

Im Gebiet Genf konnten Orthobilder aus Satellitenbildern mit der gleichen Genauigkeit wie die SwissImage-Bilder erzeugt werden. Aufgrund der geringeren Auflösung gegenüber Luftbildern können bis zum jetzigen Zeitpunkt aus zivilen Satellitenbildern Strassen mit der Ordnung grösser drei nicht mit dem gleichen Prozentsatz an Erfolgsquote und Qualität extrahiert werden. Die erzielten Ergebnisse in Genf belegen des Weiteren, dass die Passpunkte für die Orientierung von Satellitenbildern auch aus exakten Orthobildern und Höhenmodellen bestimmt werden können.

In der nahen Zukunft werden in Thun weitere Satellitenbilder mit besserer Bildqualität prozessiert. Ziel sollte es sein, die Ge-

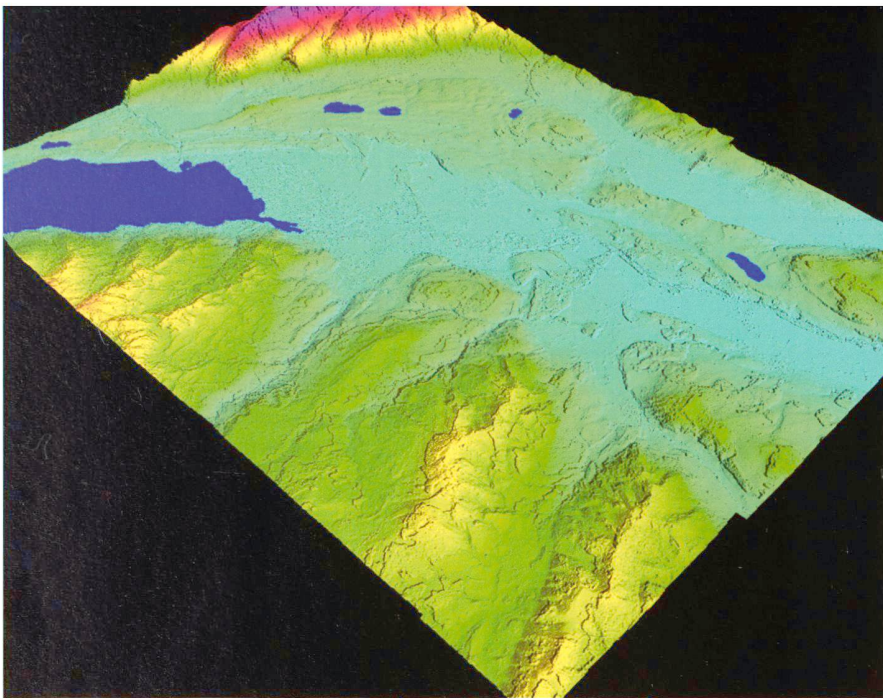


Abb. 4: DSM mit einer Maschenweite von 5 m. Produziert aus fünf Ikonos-Bildern.

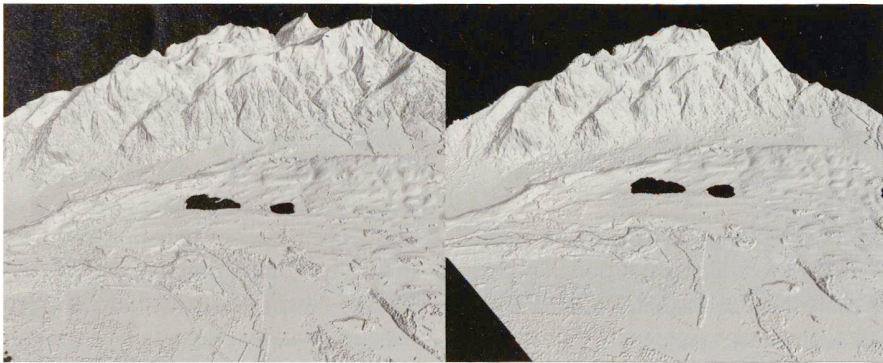


Abb. 5: Gebiet Stockhorn. Südwestlich von Thun. Links: LIDAR DSM (2 m), rechts: Ikonos DSM (5 m).

naugigkeit der erzeugten Orthobilder und Höhenmodelle zu steigern und anhand von zusätzlichen Passpunkten an die Genauigkeitsgrenzen der Sensormodelle zu kommen. Der Forschungsschwerpunkt sollte bei weiteren Untersuchungen für die automatische Generierung von Höhenmodellen aus Satellitenbildern auf die Stadt- und Waldgebiete gelegt werden.

#### Danksagungen

Wir möchten uns bei der swisstopo und dem NPOC bedanken, die uns in Thun das Laser-DTM und in Genf die hochauflösenden Satellitenbilder, die OPDIAE und SwissImage Orthobilder sowie auch das Laser-DSM und das DHM 25 zur Verfügung stellten. Des Weiteren möchten wir uns bei Spacemaging USA für die Ikonos-Bilder in Thun sowie für die RPCs der Ikonos-Bilder in Genf bedanken. Ausserdem

möchten wir uns bei Dr. Chunsun Zhang für die Bereitstellung der Ergebnisse der Strassenextraktion im Gebiet Genf bedanken.

#### Literatur:

- 1 Baltsavias, E., Pateraki, M., Zhang, L., 2001. Radiometric and Geometric Evaluation of Ikonos Geo Images and their use for 3D building modelling. Proc. Joint ISPRS Workshop «High Resolution Mapping from Space 2001», Hannover, Germany, 19–21 September (on CD-ROM).
- 2 Baltsavias, E., O'Sullivan, L., Zhang, C., 2004. Automated road extraction and updating using the ATOMI System – Performance comparison between aerial film, ADS40, Ikonos and Quickbird Orthoimagery, IAPRS, Vol. XXXV, Part. B2, Istanbul, Turkey, pp. 741–746.
- 3 Eisenbeiss, H., Baltsavias, E., Pateraki, M., Zhang, L., 2004. Potential of Ikonos and Quickbird Imagery for Accurate 3D-Point

Positioning, Orthoimage and DSM Generation. IAPRS, Vol. XXXV, Part. B3, Istanbul, Turkey, pp.522–528.

- 4 Grodecki, J., Dial, G., 2003. Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Functions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69 (1) S. 59–70.
- 5 Gruen, A., Zhang, L., 2003. 3D processing of high-resolution satellite images. Asian Conference on Remote Sensing, Busan, Korea (on CD-ROM).
- 6 Fraser, C., Yamakawa, T., 2004. Insights into the affine model for high-resolution satellite sensor orientation, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 58(5-6) (in press).
- 7 Fraser, C., Baltsavias, E., Gruen, A., 2002. Processing of Ikonos images for submetre 3D positioning and building extraction, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56 (3), S.177–194.
- 8 Heller, O., Gut, O., 2004. Auswertung hochauflösender Satellitenbildern Ikonos/Quickbird, Bericht für den Vertiefungsblock, ETH Zürich, März.
- 9 Zhang, L., Gruen, A., 2003. Automatic DSM Generation from Starlmager (SI) Data. Proc. 6<sup>th</sup> Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Gruen, A., Kahmen, H. (Eds.), September 22–25, Zurich, Vol. I, pp. 93–105.
- 10 Zhang, L., Gruen, A., 2004. Automatic DSM Generation from Linear Array Imagery Data. IAPRS, Vol. XXXV, Part B3, Istanbul, Turkey, pp.128–133.

H. Eisenbeiss

E. Baltsavias

M. Pateraki

L. Zhang

O. Gut

O. Heller

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

ETH Hönggerberg

CH-8093 Zürich

(ehenri, manos, maria, zhangli)@

geod.baug.ethz.ch

(oli\_gut, olheller)@student.ethz.ch