

True-Ortho-Bilder mit Laser-Scanning und multispektralem Zeilenscanner

MANFRED PFLUG, PETER RINDLE & ROLF KATZENBEISSER, Biberach

Keywords: true ortho image, image map, multispectral image, airborne laser scanning

Zusammenfassung: True-Ortho-Bilder weisen für den Einsatz in GIS-Anwendungen entscheidende Merkmale auf. Sie sind maßstabsgetreu und beinhalten keine Artefakte der Aufnahmeperspektive, wie sie von konventionellen Orthophotos bekannt sind. Durch die Kombination eines multispektralen Zeilenscanners mit einem Laserscanner – realisiert bei den TopoSys Falcon Systemen – können Bild- und Höhendaten zur Erstellung von True-Ortho-Bildern gleichzeitig erfasst werden. In diesem Artikel werden der multispektrale Zeilenscanner und alle relevanten Teile des Gesamtsystems vorgestellt. In einem gesonderten Abschnitt sind die Anforderungen an das Höhenmodell beschrieben, das zur Rektifizierung der Bilddaten verwendet wird. Weitere Punkte sind die Datenerfassung und die Schritte der Datenauswertung bis zum fertigen Produkt des mosaikierten True-Ortho-Bildes.

Summary: *True Ortho Images with Laser Scanning and Multispectral Line Scanner.* True ortho images offer important properties for the use in GIS applications. They are true in scale and do not contain perspective artefacts of the shoot known from conventional ortho images. Having all in one, an imaging sensor and a laser scanner like in the TopoSys Falcon systems, image and elevation data to produce true ortho images can be acquired simultaneously. In this article the multispectral line scanner and all relevant components of the complete system will be described. A separate part will mention requirements for the surface model used to rectify the image data. Further topics are data acquisition and the steps of data processing leading to the final product, the true ortho image mosaic.

1 Einleitung

Die Idee, Luftbilder orthogonal zu rektifizieren, ist wohl so alt wie die Luftbildphotographie an sich. Für Anwendungen im Vermessungswesen sind flächentreue Abbildungen mit gleich bleibendem Maßstab von großem Vorteil (CALÖRTSCHER & KERSTEN 1998). Viele Techniken wurden im Laufe der Zeit entwickelt, um dieses Ziel zu erreichen. Genannt seien hier auch optische Verfahren, mit denen unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe bei der Vervielfältigung einer Aufnahme erzielt werden können (KRAUS 1994). Doch erst mit der Verfügbarkeit ausreichend leistungsfähiger Computer und Digitalisierungsgeräte etablierte sich das Produkt Orthophoto in umfassender Weise.

Üblicherweise sind im Orthophoto Lage und Abbildungsmaßstab über die Geländehöhe korrigiert. Die perspektivische Ansicht – erkennbar an stürzenden Senkrechten – bleibt erhalten. Um diesen Effekt zu korrigieren, wird ein flächendeckendes und hoch aufgelöstes Höhenmodell benötigt, wie es durch Laserscanning effizient erzielbar ist. Im Sinne der Definition kann damit eine wirklich orthogonale Ansicht, ein True-Ortho-Bild, berechnet werden.

2 Ortho-Bilder

Auch auf die Gefahr hin, hier altbekanntes zu wiederholen, sollen zum leichteren Verständnis einiger Aussagen die wesentlichen Eigenschaften von Ortho-Bildern skizziert werden.

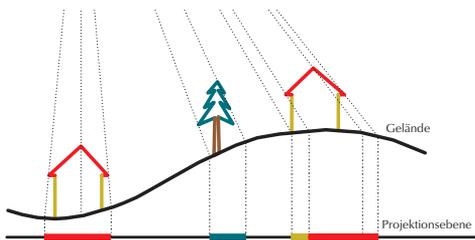


Abb. 1: Lagefehler von Objekten bei Korrektur mit Geländehöhe.

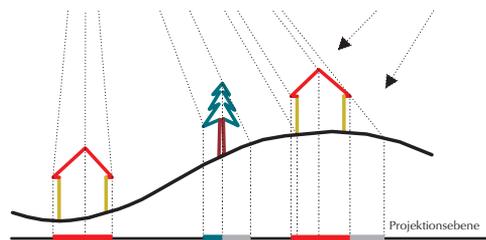


Abb. 2: Fehlerfreie True-Ortho-Projektion bei Korrektur mit Geländehöhe und Objekthöhen.

Luftbilder weisen aufgrund der Aufnahmetechnik eine Zentralperspektive auf, die in bewegtem Gelände zu Lagefehlern sowie zur Stauchung oder Streckung führt. Ist die Geländehöhe bekannt, kann die Verzerrung korrigiert werden. Da bei dieser Projektion alle Strahlen senkrecht auf der Projektionsebene stehen, wird das entstehende Bild als Orthophoto bezeichnet. Bodenpunkte sind im Orthophoto maßstabsgetreu wiedergegeben, höhere Objekte wie Gebäude oder Bäume sind aber nach wie vor mit Lagefehlern versehen (Abb. 1). Erhalten bleiben ebenso die Schrägansicht von Gebäuden und die damit verbundenen sichttoten Räume.

Ist dagegen die Höhe der Objekte bekannt, so können auch diese entsprechend korrigiert werden (Abb. 2). Alle aus der zentralen Perspektive sichtbaren Objekte werden lagerichtig ins Bild gesetzt. Die ebenfalls vorhandenen Zonen der Abschattung

können durch Nachbarbilder geschlossen werden. Im direkten Vergleich werden die genannten Effekte deutlich erkennbar (Abb. 3 und 4).

Für mit Gelände- und Objekthöhen korrigierte Bilder hat sich der Begriff True-Ortho-Bild etabliert, der nicht überall auf Gegenliebe trifft (KRAUS 2002).

3 Zeilenscanner

Der multispektrale Zeilenscanner der TopoSys Falcon Systeme ähnelt in seinem Aufbau einer digitalen Kamera. Die lichtempfindlichen Sensoren sind jedoch nicht über eine Fläche verteilt, sondern in einer Zeile angeordnet. In schneller Folge werden die Sensoren belichtet, die Grauwerte digitalisiert und abgespeichert. Ein flächiges Bild entsteht durch die Bewegung des Scanners rechtwinklig zur Zeile, sprich durch die



Abb. 3: Konventionelles Orthophoto 
Quelle: Auszug aus Geobasisdaten ©.



Abb. 4: True-Ortho-Bild.

Tab. 1: Spektralkanäle des Zeilenscanners der TopoSys Falcon Systeme.

Lichtfarbe	Wellenlänge
Blau	440–490 nm
Grün	500–580 nm
Rot	580–660 nm
Nahes Infrarot	770–890 nm

Bewegung des Luftfahrzeugs. Durch dieses Prinzip liegt ausschließlich quer zur Flugrichtung eine Zentralperspektive vor, die bei größeren Blickwinkeln zu Abschattungen führt. In Flugrichtung ist die Ansicht quasi orthogonal. Abschattungen treten nicht auf, da die Sensoren senkrecht nach unten blicken.

Die Sensoren, bei bildgebenden Systemen auch Pixel genannt, sind mittels diskreter Filterschichten für vier verschiedene Lichtfarben sensibilisiert. Diese Farben sind Rot, Grün und Blau im Sichtbaren, sowie nahes Infrarot. In oben stehender Tabelle sind die Spektralbereiche aufgeführt (Tab. 1).

Aus den Farbwerten für Rot, Grün und Blau entsteht durch additive Farbmischung

ein Bild in Quasi-Echtfarben (Abb. 5). Mancher wird die Einschränkungen in Bezug auf die Menge der erfassbaren Farben in Relation zur Menge aller möglichen Farben kennen. Der Farbraum ist jedoch bei den eingesetzten modernen Sensoren genügend groß und ausgewogen. Der vierte Spektralkanal im nahen Infrarot ermöglicht das Erstellen von Color-Infrared-Bildern (CIR), auf denen sich grüne Vegetation intensiv rot abbildet (Abb. 6).

Einen maßgeblichen Anteil an der Qualität der Bilddaten, sowohl in punkto Farbtreue als auch in der Geometrie der Abbildung, hat das verwendete Objektiv. Hier kommt eine sehr hochwertige Festbrennweite zum Einsatz. Brennweite und damit Abbildungsmaßstab und Blickwinkel sind so gewählt, dass sich gegenüber dem Laserscanner eine 2-fach größere Rasterauflösung und ein 1,5-fach größerer Blickwinkel ergibt. Der größere Blickwinkel und die damit verbundene große Überlappung zweier Flugstreifen hat nicht nur den Vorteil der höheren Datendichte, er minimiert auch das Auftreten von Schattenbereichen ohne Bildinformation. Dennoch ist der Blickwinkel mit 21° deutlich kleiner als bei herkömmlichen Luftbildkameras, was sich in Bezug auf Abschattungen grundsätzlich positiv auswirkt.



Abb. 5: RGB True-Ortho-Bild mit überlagerten Gebäudevektoren.



Abb. 6: CIR True-Ortho-Bild mit überlagerten Gebäudevektoren.

Die Datendichte wird zusätzlich durch Fluggeschwindigkeit und Belichtungszeit beeinflusst. Das lichtstarke Objektiv ermöglicht sehr kurze Belichtungszeiten, typischerweise zwischen einer und fünf Millisekunden. Selbst unter ungünstigen Beleuchtungsbedingungen tritt deshalb keine sichtbare Bewegungsunschärfe auf. Dies trifft auch für den kürzlich eingeführten Swing-Modus bei den TopoSys Falcon Systemen zu. Hierbei werden die Messgeräte zur Verbesserung der Punktverteilung in eine leichte Schwingung um die Längsachse des Flugzeugs versetzt.

Die Wandlung der Helligkeitsinformation der Sensoren in digitale Grauwerte geschieht mit einer Auflösung von 8 Bit. Die Sensoren werden durch eine schnelle Regelung der Belichtungszeit immer optimal angesteuert. Hierbei ändert sich die Belichtungszeit unter üblichen Bedingungen für Motiv und Beleuchtung etwa um einen Faktor vier, was zwei weiteren Bit an Helligkeitsinformation entspricht. Die sich hieraus ergebenden 10 Bit, also etwa 1000 Helligkeitsstufen für jede Farbe, stellen die maximale Farbtiefe der Ergebnisbilder dar. Nur bei sehr großer Motividynamik reicht diese Auflösung nicht vollständig aus, und es geht Zeichnung in Lichtern und Schatten verloren. Extrem hohe Kontraste, z. B. wenn die Windschutzscheibe eines Autos das Sonnenlicht direkt in die Kamera reflektiert, führen zum Überstrahlen von Pixeln.

4 Oberflächenmodell

Um ein True-Ortho-Bild zu berechnen, wird ein Oberflächenmodell mit vergleichbarer Rasterauflösung benötigt. Nur so ist gewährleistet, dass alle Objekte lagerichtig ins True-Ortho-Bild gesetzt werden. Erfolgt die Erfassung der Bilddaten gleichzeitig mit den Höhendaten, werden selbst sich bewegende Objekte orthogonal richtig korrigiert. Ein Auto befindet sich an der gleichen Stelle im Bild wie auch im Höhenmodell. Liegt ein Höhenmodell älteren Datums vor, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich mittlerweile Veränderungen ergeben haben. Im städtischen Bereich wurden zwischenzeitlich Gebäude

errichtet, verändert oder abgerissen. Ähnlich verhält es sich, wenn ein True-Ortho-Bild zur Erstellung eines Baumkatasters verwendet werden soll.

Ein prinzipielles Problem tritt dann auf, wenn die Laserentfernungsmessung in der Tiefe gestaffelte, mehrfache Echos liefert. Bild- und Höheninformation sind dann unter Umständen nicht eindeutig zuzuordnen. Hochspannungsleitungen oder kahle Bäume im Winter tragen kaum zur Bildinformation bei, das Pixel des Zeilenscanners enthält den Farbwert des Bodens. Bei den Höhen-daten wird aber vorzugsweise der höchste Messwert als relevanter Wert für die Oberfläche interpretiert. Durch angepasste Filterung des Höhenmodells können solche Effekte verringert werden, Grenzfälle werden aber immer existieren (LÖFFLER 2003).

5 Orientierung und Kalibrierung

Im Gegensatz zur Luftbildphotogrammetrie, bei der nur der Auslösezeitpunkt relevant ist, muss bei einem Zeilenscanner die exakte Lage und Orientierung des Gerätes zu jeder Zeit bekannt sein. Nur so lässt sich in der anschließenden Prozessierung ein Bild berechnen. Da es nicht möglich ist, nachträglich durch Aerotriangulation die Aufnahmeparameter jeder einzelnen Scanzeile zu bestimmen, müssen diese bereits bei der Datenaufnahme sehr exakt erfasst werden. Hierfür wird ein Positionierungs- und Orientierungssystem verwendet, welches diese Größen mittels DGPS und Kreiselsystem (IMU) sehr präzise misst. Dieses Verfahren wird häufig als direkte Georeferenzierung bezeichnet (CRAMER 2003).

Um Orientierungsfehler bedingt durch Temperaturexpansion, Vibrationen o. ä. auszuschließen, ist eine sehr starre mechanische Verbindung und ein geringer räumlicher Abstand zwischen IMU, Laserscanner und Zeilenscanner notwendig (Abb. 7). Durch die Montage aller Geräte auf einer sehr biegesteifen Kohlefaser-Aufbauplatte, sind diese Anforderungen konstruktiv umgesetzt. Eine Kalibrierung der relativen Winkel der Geräte zueinander ist nur einmal nach der Integration notwendig.

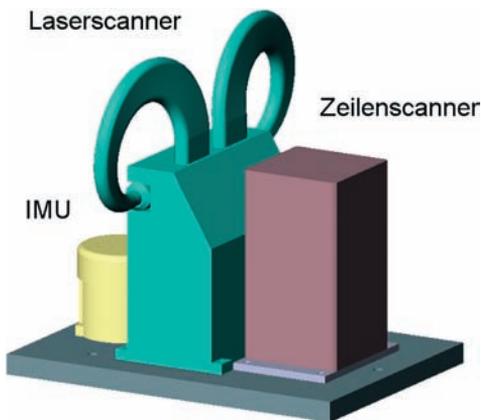


Abb. 7: Kreiselsystem (IMU), Laserscanner und Zeilenscanner auf Kohlefaser-Aufbauplatte.

6 Datenaufnahme und Verarbeitung

Die Datenaufnahme erfolgt innerhalb einer Befliegung synchron mit den Laserentfernungsmessungen. Hierfür wird das Gebiet in der Planungsphase in parallel liegende Flugstreifen aufgeteilt. Der Abstand der Flugstreifen ist von der Flughöhe und diese von der gewünschten Bildauflösung abhängig. Im Flug erhält der Operateur auf der Bedieneinheit klare Informationen über den Zustand der Messsysteme und die Qualität der Daten.

Erster Schritt der Datenauswertung ist die Rekonstruktion des Flugpfads. Danach werden aus den Laserentfernungsdaten die gewünschten Produktvarianten der Höhenmodelle erzeugt. Das hierbei entstehende Oberflächenmodell, eventuell durch spezielle Filterungen angepasst, wird später zur Rektifizierung der Bilddaten verwendet.

In die rohen Bilddaten des Zeilenscanners wird im ersten Verarbeitungsschritt die Helligkeitsinformation aus der Belichtungszeit eingerechnet. In weiteren Schritten folgen ein Weißabgleich und eine Korrektur entsprechend der Empfindlichkeit jedes einzelnen Pixels.

Für jeden Flugstreifen erfolgt jetzt die Berechnung der orthogonalen Ansicht. Hierfür wird die Flugsituation im Computer quasi künstlich nachgestellt, indem der Zei-

lenscanner entsprechend den Positions- und Orientierungsdaten über das Höhenmodell bewegt wird. Im Zeitpunkt der Belichtung einer Zeile wird die Farbinformation gemäß der optischen Geometrie auf das Höhenmodell projiziert.

Um das True-Ortho-Bild eines kompletten Gebiets zu erhalten, müssen die einzelnen Bildstreifen zusammengefügt werden. Die langen und relativ schmalen Einzelstreifen besitzen im Vergleich zu Luftbildern erheblich andere Eigenschaften. So können sich selbst benachbarte Bildstreifen schon aufgrund des Motivwechsels in ihrer Farbverteilung stark voneinander unterscheiden, weshalb eine einfache statistische Anpassung der Histogramme nicht ausreicht. Zusätzlich ändern sich die Beleuchtungsbedingungen im Zeitraum der Befliegung. Da Laserscanner im Vergleich zu Luftbildkameras bei entsprechender Auflösung momentan noch geringere Flächenleistungen aufweisen, kann ein Gebiet von mehreren hundert Quadratkilometern nicht unter einheitlichen äußeren Bedingungen befliegen werden. Deshalb sind Anpassungen der Farbtemperatur und des Bildkontrastes notwendig. Um diesen Effekten Rechnung zu tragen, wurde eine spezielle Mosaiking-Software entwickelt, welche die Einzelstreifen zu einem möglichst ausgewogenen Gesamtbild zusammenfügt. Die Software arbeitet sehr zufriedenstellend, Probleme bereiten hin und wieder die scharfen Schatten kleiner Wolken, die in jedem Bildstreifen an einer anderen Stelle liegen.

7 True-Ortho-Bilder im Ergebnis

Die True-Ortho-Bilder liegen generell als Rasterdaten vor. Die Rasterweite liegt in Abhängigkeit der Flughöhe zwischen 1,0 und 0,25 Meter – die Lagegenauigkeit kann entsprechend mit einem Rasterelement angegeben werden. Im Ausdruck als Bildkarte ergeben sich Maßstäbe bis zu 1: 2.500.

Auf die rektifizierten Einzelstreifen wurden außer dem Weißabgleich keine die gemessenen Farbwerte manipulierenden Berechnungen angewandt. Wer Wert legt auf möglichst unverfälschte Messdaten, z. B. für

Klassifizierungen oder spektrale Auswertungen, ist mit den Einzelstreifen am besten bedient. Dem gegenüber steht aber die sehr große Datenmenge und redundante Information.

Wesentliches Produkt ist das mosaikierte Gesamtbild. Herrschten während der Befliegung nicht stark wechselnde Beleuchtungsbedingungen, ist hier mit sehr guten Ergebnissen zu rechnen. Das Gesamtbild weist ausgewogene Farben und Kontraste auf.

Mit der Erfassung der Höhendaten sind häufig sehr spezifische Bedingungen verbunden wie laubfreie Bäume, niedrige Wasserstände an Flüssen oder Schneefreiheit. Entsprechend können nicht in jedem Fall auch optimale Beleuchtungsbedingungen vorherrschen. Ein bedeckter Himmel hat jedoch auch durchaus Vorteile. Die Bilder wirken zwar vergleichsweise kontrastarm, weisen aber keine harten Schlagschatten auf.

Unabhängig davon sind die Bildinhalte der True-Ortho-Bilder bei visueller Betrachtung eindeutig erkennbar. Somit erschließen sich diesem Produkt viele Anwendungsfelder der modernen Geoinformatik. Mit geeigneter GIS-Software ist es sehr einfach möglich, dem True-Ortho-Bild ein Höhenmodell zu hinterlegen. Die Höhe eines Gebäudes kann dadurch direkt abgegriffen werden. Zusätzlich erleichtert eine bildhafte Ansicht die Interpretation der Höhenmodelle erheblich. Selbstverständlich kann auch jeder andere georeferenzierte Datensatz, wie Vektorzüge, Höhenlinien oder Katasterdaten, dem True-Ortho-Bild überlagert werden.

8 Schlussbemerkung und Ausblick

In einer Befliegung werden mit der oben beschriebenen Methode gleichzeitig Höhenmodelle des Bodens (DGM), der Oberfläche (DOM) und True-Ortho-Bilder als RGB und CIR in Maßstäben von 1:10.000 bis 1:2.500 erfasst. Dabei ist das Verfahren schnell, kostengünstig und daher hervorragend geeignet, alle herkömmlichen Verfah-

ren abzulösen. Abschattungen von Straßen wie in konventionellen Orthophotos treten nicht auf.

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der vorgestellten Technik werden sich so erfasste True-Ortho-Bilder auch in den Fällen durchsetzen, in denen eine Bildauflösung und Lagegenauigkeit von besser als 0,2 Meter gefordert ist, wie die nächste Generation des TopoSys Scannersystems zeigen wird.

Literatur

- CALÖRTSCHER, M. & KERSTEN, TH., 1998: Hochauflösende digitale Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, **1998** (9): 470–477.
- CRAMER, M., 2003: Erfahrungen mit der direkten Georeferenzierung. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2003** (4): 267–278.
- KRAUS, K., 1994: Photogrammetrie Bd.1 – Dümmler Verlag Bonn, **1994**, Kapitel 6.
- KRAUS, K., 2002: Zur Orthophoto-Terminologie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2002**, Heft 6, pp. 451–452.
- LÖFFLER, G., 2003: Aspects of Raster DEM Data Derived from Laser Measurements. – ISPRS Workshop: „3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data“, Dresden, Germany 2003.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing.(FH) MANFRED PFLUG,
m.pflug@toposys.com

Dipl.-Ing.(FH) PETER RINDLE,
p.rindle@toposys.com

Dr.-Ing. ROLF KATZENBEISSER,
r.katzenbeisser@toposys.com

TopoSys GmbH
Obere Stegwiesen 26, D-88400 Biberach
www.toposys.com

Manuskript eingereicht: Dezember 2003
Angenommen: März 2004