

Die Fusion von Fernerkundungsdaten zur Effizienzsteigerung bei der Bilddatenbeschaffung

Matthias MÖLLER

Zusammenfassung

Aufnahmen aus der Luft werden in Anhängigkeit des jeweiligen Verwendungszweckes bislang zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahr angefertigt. Im Frühjahr wird für das Vermessungs- und Katasterwesen aufgenommen, im Sommer zur Dokumentation der Vegetation. Aufgrund der erheblichen finanziellen Aufwendungen sind zwei Flugkampagnen in einem Jahr finanziell nicht möglich. Dieser Aufsatz beschreibt eine Möglichkeit, den Ansprüchen der Nutzergruppen gerecht zuwerden. Die Kombination von neuen Fernerkundungsdaten, die im Frühjahr extrem hochauflösend im Rahmen einer Flugzugkampagne mit einem digitalen Stereoscanner aufgenommen werden mit Satellitenbilddaten aus dem Sommer wird durch die Anwendung von Bildfusionsalgorithmen möglich. Das Produkt ist ein extrem hoch auflösendes Farbbild, das sowohl das sichtbare, wie auch das nahe infrarote Spektrum abdeckt.

1 Einleitung

Bislang wird das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in regelmäßigen Abständen aus der Luft aufgenommen um Entwicklungsprozesse fortlaufend zu dokumentieren. Verantwortlich dafür zeichnen die jeweiligen Landesvermessungsämter, kommunale Verwaltungen und öffentliche Einrichtungen, die permanent aktualisierte Flächeninformationen benötigen. Für diese Zwecke werden analoge Luftbildkamern verwendet, die mit Colorfilm für Echtfarnebilder und CIR Falschfarbeninfrarotfilm bestückt sind. Je nach Anspruch des Nutzers sind die Befliegungstermine grundsätzlich zu unterschiedlichen Jahreszeiten angesetzt. Für das Kataster- und Vermessungswesen, das einen freien Blick auf den Boden und eine sehr hohe Detailwiedergabe benötigt, findet die Befliegung vor Einsetzen der Vegetation, also im Frühjahr (April) statt. Eine CIR Bildflugkampagne hingegen wird im Hochsommer (Juni/Juli) durchgeführt. Die CIR Flugkampagne erfolgt aufgrund der höheren Kosten etwa alle 7 – 10 Jahre, während Colorbilder im Turnus von ca. 2 Jahren aufgenommen werden.

2 Hochauflösende Fernerkundungssysteme

2.1 Neue Fernerkundungssysteme

Bis Ende der 1990er Jahre waren die panchromatischen Satellitenbilddaten des Indian Remote Sensing Satellite (IRS, pan) mit 5,8 m die digitalen Bilddaten mit der höchsten Bodenauflösung vom Weltraum (Abb. 1). Luftbilder, die eine sehr viel höhere Bodenauflö-

sung gewährleisten, werden i.d.R. analog von Flugzeugplattformen aus erstellt und ggf. im Nachhinein digitalisiert und georeferenziert. Dadurch können sie geometrisch exakter z.B. in einer GIS-Umgebung am Computer ausgewertet werden, die o.g. Beschränkungen bzgl. des Aufnahmezeitpunktes bestehen aber weiterhin.

Seit etwa zwei Jahren sind neue Fernerkundungssysteme im Weltraum wie auch auf flugzeuggestützten Plattformen verfügbar. Diese sind deswegen von großer Bedeutung, weil sie das elektromagnetische Reflexionssignal digital erfassen und in verschiedenen Spektralbereichen mit einer bislang nicht erreichten räumlichen Auflösung aufzeichnen. Sowohl flugzeuggetragene Scanner, wie auch satellitengestützte Systeme werden mittlerweile kommerziell angeboten.

2.2 Satellitengestützte Fernerkundungsdaten

Die Datenprodukte der Satellitenbilddatenanbieter unterscheiden sich in panchromatische und multispektrale Aufnahmen und eine Kombination der Daten beider Aufnahmemodi. Diese Kombination erfolgt über eine Fusion beider Bilddatenprodukte, wobei die hochauflösende panchromatische Komponente mit der Farbinformation verschnitten wird, ein sog. resolution merge (vgl. ZHANG & ALBERTZ 1998). Das Produkt ist ein mit ca. 1 m räumlich sehr hochauflösendes Farbbild. Weiter variieren die Satellitenbilddaten ganz entscheidend nach der Güte der geometrischen Lagegenauigkeit, was sich vor allem im Preis für das Produkt niederschlägt. Bei der Beauftragung können exakt umgrenzte Polygonzüge des Aufnahmegebietes angegeben werden, wobei eine Mindestgröße bzw. Mindestabnahmemenge erforderlich ist. Dies ist eine Abkehr vom klassischen Vertriebssystem, das auf der Bestellung vollständig aufgenommener Szenen oder -teile (SPOT, Landsat, IRS) beruht. Nachteilig kann sich die Tatsache auswirken, daß bis zu 20% Wolken in der Szene toleriert werden müssen. Werden höhere Grade an Wolkenfreiheit gewünscht, steigt der Preis erheblich.

Die Bilddaten von Ikonos sind vor allem durch ihre hohe Aktualität für eine quasi Echtzeit - Dokumentation von entscheidender Bedeutung (www.spaceimaging.com). Wissenschaftliche Untersuchungen lassen ebenfalls ein gewisses Potential vermuten (MEINEL & REDER 2001), wengleich noch intensivere Analysen und die Entwicklung operationeller Auswerterroutinen für diese Bilddaten notwendig sind.

2.3 Flugzeuggestützte Fernerkundungsdaten

Flugzeuggetragene Sensoren bieten Bilddaten mit Bodenauflösungen von 0,15m und höher, jeweils in Abhängigkeit von der Flughöhe und der Geschwindigkeit des Flugzeuges. Durch die stereoskopische Ausrichtung der Sensorzeilen im Flugzeug nach vorne, nach hinten und senkrecht nach unten, kann zusätzlich zu den Bilddaten ein digitales Höhenmodell der Oberfläche (DOM) erzeugt werden. Parallel zu der Bildaufzeichnung werden synchron die Flugzeuglageparameter (κ , φ , ω) und die aktuellen Koordinaten (x , y , z) des Flugzeuges im Raum über ein differentielles Global Positioning System (DGPS) erfaßt. Diese Daten dienen im photogrammetrischen Entzerrungs- und Georeferenzierungsprozeß zur exakten Bestimmung der Lage jedes aufgezeichneten Bildpunktes am Boden.

Anders als bei einer herkömmlichen Befliegung werden die Bilder nicht als Prints abgegeben. Es wird eine ganze Reihe von Produkten ausgeliefert: ein extrem hochauflösendes

panchromatisches Orthobild mit einer Bodenauflösung von 0,15 m; Orthobilder der multispektralen Kanäle in einer um den Faktor 2 gröberen Auflösung und ein DOM mit einer frei wählbaren Auflösung z.B. 0,5 m (bei einer Flughöhe von 3000 m über Grund). Für den GIS-Nutzer ist entscheidend, daß diese Produkte in einem standardisierten Bildformat ausgeliefert und direkt in eine GIS-Umgebung integriert werden können. Die extrem hochauflösenden Scannerdaten haben bislang in vielen Projekten ihren Nutzen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen aufgezeigt (HOFFMANN ET AL. 2001, MÖLLER 2000).

3 Kombination verschiedener Fernerkundungsbilddaten

3.1 Synergetische Nutzung verschiedener Daten

Durch die Integration der Fernerkundungsdaten beider Sensoren/Systeme können die Stärken des jeweiligen Systems genutzt werden. Für die Zwecke des Vermessungs- und Katasterwesens ist eine panchromatische sehr hochauflösende Erfassung im Frühjahr ausreichend. Aufgrund des somit viel geringeren Prozessierungsaufwandes reduzieren sich die Kosten einer flugzeuggetragenen Scannerbefliegung ganz erheblich. Im Sommer desselben Jahres wird eine multispektrale (b, g, r, ir) Satellitenbildszene mit geringerer räumlicher Auflösung geordert. Das systemkorrigierte multispektrale Bild ohne Georeferenzierung kann in einer Bild – zu - Bild - Referenzierung auf die Scannerdaten mit dem unterliegenden DOM entzerrt werden. Somit wird eine sehr exakte geometrische Übereinstimmung beider Bilddaten gewährleistet. Durch die parallele Betrachtung der aufeinander referenzierten Bilddaten im GIS kann eine visuelle Interpretation direkt am Bildschirm vorgenommen werden. Allerdings ist das Springen zwischen den Daten für den Auswertenden ein umständlicher Prozeß. Wünschenswert wäre vielmehr die Kombination beider Bilddatensätze.

3.2 Fusionsalgorithmen

Für eine solche spektrale Kombination bieten sich verschiedene Fusionsalgorithmen (engl. resolution merge) an. Die gebräuchlichste Methode ist eine IHS-Transformation. Multispektrale Bildinformationen erscheinen als farbige Darstellung durch die Wiedergabe in den drei Kanälen Rot, Grün und Blau jeweils in unterschiedlichen Grau- oder Helligkeitswerten. Farbwerte können aber auch auf andere Art beschrieben werden. Dazu werden die Grauwerte in ein spezielles farbmatisches System transformiert, in den IHS-Farbraum. IHS steht für die englischen Bezeichnungen Intensity (Intensität), Hue (Farbton) und Saturation (Sättigung). Im IHS Raum wird die Intensity-Komponente durch den panchromatischen Kanal des geometrisch höher aufgelösten Bildes ersetzt (ALBERTZ 2001). Das Ergebnis nach der inversen Rücktransformation in den r, g, b-Farbraum ist ein mit 0,15 m extrem hochauflösendes Bildprodukt, eine Kombination beider Sensoren, in ansprechender Farbdarstellung.

Eine Hauptkomponententransformation (Principal Components - PC) kann zur Fusion zweier Bilddatensätze mit unterschiedlicher Auflösung angewandt werden. Man geht dabei von der Annahme aus, daß die gesamte Helligkeit eines multispektralen Bilddatensatzes in der ersten PC enthalten ist, während die anderen PC die Helligkeitsunterschiede zwischen

den einzelnen Kanälen enthalten. Die Bandbreite der Grauwerte der ersten PC wird ermittelt und die hochauflösenden Bilddaten werden auf diese Bandbreite normalisiert. So wird das Histogramm der 1. PC nicht verändert. Anschließend wird die 1. PC durch den normalisierten hochauflösenden Bilddatensatz ersetzt und eine Rücktransformation durchgeführt (WELCH & EHLERS 1987).

Bei der Multiplikativen Transformation werden die Grauwerte des hochauflösenden Eingangsbildes mit den Grauwerten des korrespondierenden Pixels im multispektralen Bild multipliziert. Abschließend werden die Grauwerte auf die radiometrische Bandbreite des hochauflösenden Eingangsbildes eingepaßt. Es handelt sich um ein einfaches Verfahren, das aber für viele Anwendungen, besonders in urbanen Gebieten, als ausreichend erachtet werden kann.

Bei der Brovey Transformation werden die Grauwerte des hochauflösenden Bildes mit den normalisierten Grauwerten der korrespondierenden Bildpunkte in den Multispektralkanälen multipliziert. Dabei ist der normalisierte Grauwert der Quotient, der sich aus einer Division des aktuellen Grauwertes durch die Grauwerte aller Spektralkanäle ergibt.

Alle beschriebenen Methoden für eine Fusion im Sinne des resolution merges sind in Softwarepaketen für Bildinterpretation implementiert und jederzeit operationell anwendbar.

3.3 Praktische Bildfusion

Für die Untersuchungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurde auf extrem hochauflösende Bilddaten einer Befliegung eines urbanen Gebietes mit dem Scanner High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A), aufgenommen am 2. April 1999, zurückgegriffen (vgl. MÖLLER 2001). Die Bilddaten haben ursprünglich eine Bodenauflösung von 0,16 m, für die Bildfusion wird eine Auflösung von 0,32 m als ausreichend angesehen. Ein originales multispektrales hochauflösendes Satellitenbild konnte bislang nicht für das Gebiet aufgenommen werden. Dies ist bedingt durch ungünstige Witterungsbedingungen (Wolken) und technische Probleme des Betreibers.

Als Ersatz dafür wurde deshalb ein künstliches Satellitenbild erzeugt, das die geometrischen und spektralen Eigenschaften der neuen Satellitenbilddaten von Quickbird simuliert. Das simulierte Bild besteht aus einem mit 600 dpi gescannten Color-Luftbild im originalen Bildmaßstab von ca. 1:10000, das im Frühjahr 1997 aufgenommen wurde. Dieses wurde nach dem Scanvorgang, der eine theoretische Bodenauflösung von 0,42 m liefert, um den Faktor 6 vergrößert, was einer Auflösung von dann ca. 2,54 m entspricht. Nach der Entzerrung und Georeferenzierung des gescannten Luftbildes auf das entsprechende HRSC-A Bild, wurde die Bodenauflösung auf die Bildpunktgröße von Quickbird, 2,44 m erhöht (Abb. 1 3. v. li.). Die infrarote Information wurde aus den Bilddaten des Kanals 3 (730 – 770 nm) der HRSC-A generiert.

Vor der eigentlichen Fusion wurde zunächst die Bildpunktgröße auf die HRSC-A pan Daten mit 0,32 m angepaßt und über einen 3×3 Low-Pass-Filter die Bildkanten geglättet (ALBERTZ 2001). So können nach der Fusion die Übergänge der vergleichsweise gering auflösenden Satellitenbildpunkte nicht mehr wahrgenommen werden.

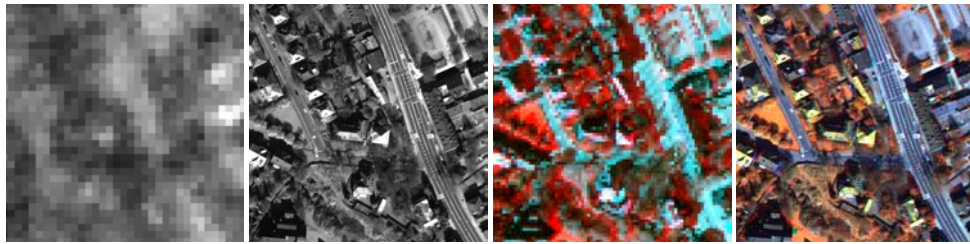


Abb. 1: Geometrische Bodenauflösung unterschiedlicher Sensoren. v.l.n.r.: IRS pan (5,8 m); HRSC-A (0,16 m); Quickbird (simuliert vgl. Text ir, r, g : r, g, b; 2,44 m); HRSC-A (nir, pan, g : r, g, b; 0,32 m). Größe des Ausschnittes: 200 * 200 m.

Die erzielten Ergebnisse schwanken in ihrer geometrischen und spektralen Güte je nach verwendeter Methode ganz erheblich. Die visuell - qualitativ besten Ergebnisse konnten durch die Anwendung einer Bildfusion mit Hilfe der Brovey Transformation erreicht werden (Abb. 2). Diese Bilder weisen nur geringe Artefakte auf, die vor allem durch Schattenwurf hervorgerufen werden, der in den multispektralen Bilddaten vorhanden ist. Sie lassen sich visuell sehr gut auswerten.



Abb. 2: Ergebnisse der Brovey Transformation (HRSC-A pan/Quickbird ms).
li.: ir, r, g : r, g, b; re.: r, b : r, g, b. Größe des Ausschnittes: 200 * 200 m.

4 Koordination der Flugplanung, ökonomische Betrachtung

Die Befliegung mit einem digitalen Stereoscanner erfordert einen erheblichen finanziellen Mehraufwand verglichen mit der Beschaffung analoger Luftbilder. Dieser schwankt etwa um den Faktor 10. Es muß aber berücksichtigt werden, daß andere Produkte geliefert werden, die den Aufwand rechtfertigen. Für die Auftraggeber einer Bildflugkampagne ist eine Koordinationsplattform sinnvoll. Diese soll mit einem zentralen Datenserver sichergestellt werden, der über WWW frei zugänglich ist und auf dem Absichtsbekundungen hinterlassen oder eingesehen werden können. Denkbar wäre etwa die Durchführung einer Bildflugkampagne durch die Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) und die Weitergabe der Bilddaten zu einem deutlich reduzierten Preis an die Kommune.

Diese würde im Sommer desselben Jahres für ihr Gebiet Satellitenbilddaten anschaffen und die beiden Datensätze nach der o.g. Methode fusionieren.

5 Schlußbetrachtung

Durch die Anwendung einer Bildtransformation kann aus einem hochauflösenden Scannerbild in Kombination mit einem multispektralen Satellitenbild ein visuell gut interpretierbares Bildprodukt erzeugt werden. In Zukunft muß anhand von echten Satellitendaten die vorgestellte Methodik verifiziert werden und kann dann insbesondere kommunalen Einrichtungen zu einer spürbaren Effizienzsteigerung bei der Datenversorgung verhelfen.

6 Literatur

- ALBERTZ, J. (2001): *Einführung in die Fernerkundung – Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- HOFFMANN, A., V.D. VEGT, W. AND LEHMANN, F. (2000): *Towards automated map updating – new techniques using digital HRSC-A – camera data*. In: Kartographische Nachrichten (KN), Vol. 50, 5/2000, S. 211 - 217.
- MEINEL, G. & REDER, J. (2001): *Ikonos-Satellitenbilddaten – ein erster Erfahrungsbericht*. In: Kartographische Nachrichten, Kirschbaum Verlag, 1/2001, S. 40-46.
- MÖLLER, M. (2000): *Monitoring of Urban Areas Using Digital Stereo Camera HRSC-A Imagery*. In: Buchroithner, M. (Hrsg.): A decade of trans - european remote sensing-cooperation; Balkema press, Lisse Netherlands, S. 199 - 204.
- MÖLLER, M. (2001): *Untersuchungen zur Modellierung und Analyse von höchstaflösenden Scannerdaten*. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS – Neue Sensoren - innovative Methoden; Wichmann, S. 208 – 221.
- WELCH, R. & EHLERS, M. (1987): *Merging Multiresolution SPOT and Landsat TM Data*. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 53, No. 3, S. 301 - 303.
- ZHANG, Y. & ALBERTZ, J. (1998): *Vergleich verschiedener Verfahren zur Kombination multisensoraler Satelliten-Bilddaten*. In: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 5/1998, S. 261-274.