

## Prozessierung von großflächigen QuickBird-Satellitenbilddaten für das Gebiet Kakamega Forest (Westkenia)

TILLMANN LÜBKER & GERTRUD SCHAAB, Karlsruhe

**Keywords:** Very high resolution satellite imagery, large area coverage, pre-processing, atmospheric and orographic correction, mosaicing, image fusion

**Summary:** *Processing of large-area QuickBird satellite imagery for the Kakamega Forest area (western Kenya).* In this article experiences are described gained during the processing of QuickBird satellite imagery covering an area of 631 km<sup>2</sup>: the Kakamega Forest in western Kenya and its surrounding agricultural matrix. A correction of effects caused by atmosphere and orography (using ATCOR 3) has led to a considerable improvement of the original data. While atmospheric influences, e. g. a thin haze layer, could not always be minimized satisfactorily, orographic effects were successfully excluded. For mosaicing the two adjacent image swaths an elaborate procedure has been developed for the local geometric adjustment (making use of ERDAS Imagine and Leica LPS amongst others). In the resulting image the otherwise distinctly visible join line has become inconspicuous. Furthermore, ten pan-sharpening methods were evaluated upon their visual results as well as their preservation of the spectral characteristics. In a combined assessment the high-pass filter method was evaluated as being best for the imagery at hand.

**Zusammenfassung:** Der vorliegende Artikel schildert Erfahrungen, die bei der Prozessierung von QuickBird-Satellitenbilddaten gesammelt wurden, die ein 631 km<sup>2</sup> großes Gebiet abdecken – den Kakamega Forest in Westkenia und das ihn umgebende Agrarlandschaftsmosaik. Eine Korrektur der Einflüsse durch Atmosphäre und Orographie (mit Hilfe von ATCOR 3) führte zu einer deutlichen Verbesserung der Ausgangsdaten. Während atmosphärische Einflüsse, wie ein vorhandener dünner Dunstschleier, nicht immer zufriedenstellend minimiert werden konnten, wurden orographische Effekte sehr gut herausgerechnet. Für die Mosaikierung der zwei benachbarten Aufnahmestreifen wurde eigens eine aufwändige Vorgehensweise (u. a. unter Zuhilfenahme von ERDAS Imagine und Leica LPS) zur lokalen geometrischen Anpassung entwickelt. Im Ergebnisbild ist die ansonsten deutlich sichtbare Schnittkante kaum mehr zu sehen. Zudem wurden zehn Pan-Sharpener-Verfahren qualitativ und quantitativ hinsichtlich ihres visuellen Resultats als auch der Erhaltung von Spektraleigenschaften beurteilt. In einer kombinierten Betrachtung wurde für die vorliegenden Daten das Hochpassfilter-Verfahren als am besten geeignet bewertet.

---

### 1 Einleitung

Der vorliegende Artikel basiert auf Erfahrungen, die bei der Prozessierung von sehr hochauflösenden („very high resolution“, VHR) QuickBird-Satellitenbilddaten gesammelt wurden. Während viele Untersuchungen oft nur kleine Szenenausschnitte behandeln (z. B. CLARK et al. 2004, MAGSUD et al. 2004, MEENAKSHISUNDARAM 2005),

werden hier insbesondere solche Probleme aufgezeigt, die bei der Bearbeitung eines großen zusammenhängenden Gebietes (insgesamt 631 km<sup>2</sup>) auftreten, das nur durch mehrere Überflüge abzudecken ist.

Mit einer Auflösung am Boden von 0,61 m (panchromatisch, pan) bzw. 2,44 m (multispektral, ms) bieten QuickBird-Satellitenbilddaten im zivilen Bereich die derzeit höchste verfügbare geometrische Auflösung

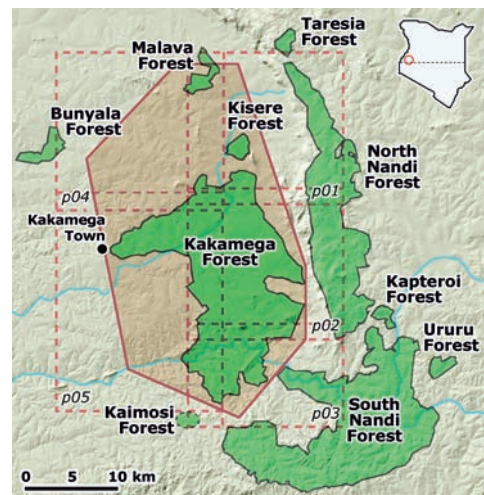
(Digital Globe 2004). Das Auflösungsvermögen ist mit dem von Luftbildern vergleichbar: Die in m/Pixel genäherte umgerechnete Auflösung eines analogen Luftbildes der gleichen Abdeckung liegt zwischen 0,5 und 0,9 m/Pixel (nach KRAUS 2004 bzw. ALBERTZ 1991, LÜBKER 2005). Applikationen von VHR-Satellitenbildern sind in der Fernerkundung zahlreich: sie werden z. B. im Monitoring von Umweltverschmutzungen eingesetzt, helfen, das Ausmaß einer Katastrophe abzuschätzen, oder dienen als Grundlage für Aktualisierungen topographischer Karten (REICHE et al. 2007, MAGSUD et al. 2004, JACOBSEN & PASSINI 2003). Vor einer Auswertung der Daten ist jedoch eine Vorprozessierung unerlässlich (vgl. SCHMIDT 2003). Diese umfasst die Georeferenzierung bzw. Orthorektifizierung, die orographische / atmosphärische Korrektur und – im Falle einer Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch mehrere Szenen – die Mosaikbildung.

Eine Korrektur der atmosphärischen Einflüsse ist besonders gefordert, wenn multitemporale Szenen verglichen, Landnutzungs- oder Landbedeckungsänderungen analysiert oder Bilddaten verschiedener Sensoren miteinander verglichen werden sollen (RICHTER 1996). Bei der Klassifikation einer einzelnen Szene hingegen ist die Geländekorrektur die wichtigere, um von der Sonne unterschiedlich stark ausgeleuchtete Hänge einander anzugleichen. Von den resultierenden optisch ansprechenderen Bildern profitieren auch rein visuelle Interpretationen. Benachbarte Bildstreifen werden mosaikiert, um große Untersuchungsgebiete zusammenhängend darstellen zu können, ohne dass eine Schnittkante sichtbar ist. Als zusätzlicher Prozessierungsschritt werden häufig, vor allem als Grundlage für visuelle Interpretationen, multispektrale mit panchromatischen Bilddaten fusioniert, um die positiven Eigenschaften beider – hohe spektrale bzw. hohe geometrische Auflösung – zu kombinieren.

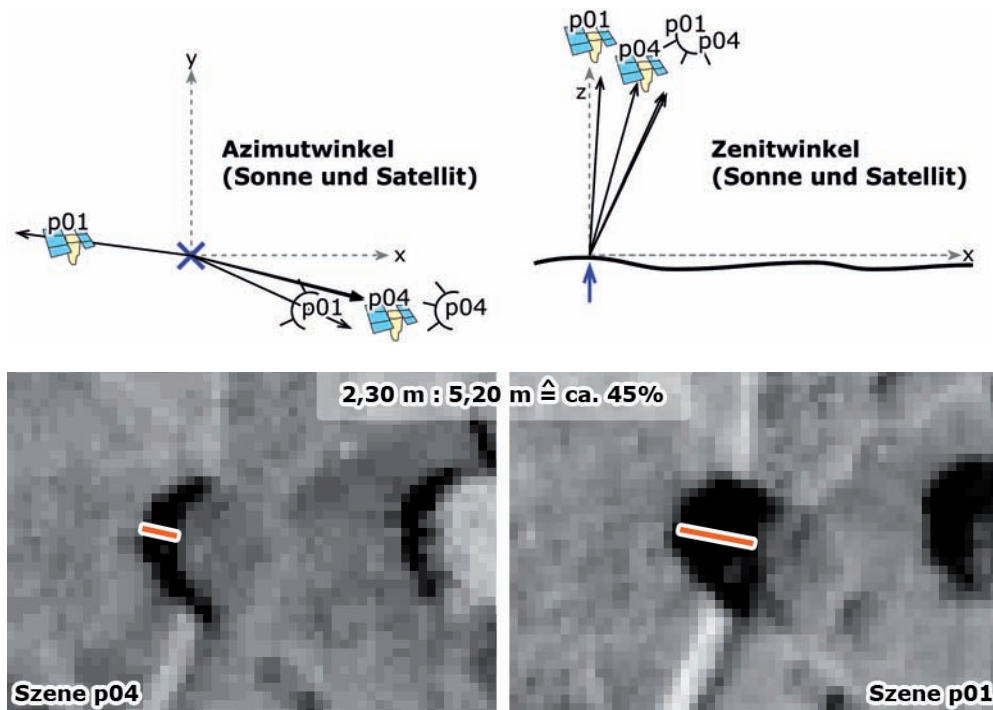
Für das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt „Biodiversity Monitoring Transect Analysis in Eastern Africa“

(BIOTA-Ost, [www.biota-africa.org](http://www.biota-africa.org)) wurden im Frühjahr 2005 für das Hauptuntersuchungsgebiet, den Kakamega Forest in Westkenia, QuickBird-Satellitenbilddaten von insgesamt 631 km<sup>2</sup> Fläche erworben (siehe Abb. 1). Neben dem Wald, der für seine Artenvielfalt bekannt ist (MUTANGAH et al. 1992), ist ein großer Teil des umliegenden Agrarlandschaftsmosaiks mit abgedeckt. Dieses durch Subsistenzwirtschaft geprägte Gebiet gehört mit ca. 600 Einwohnern/km<sup>2</sup> (BLACKETT 1994) zu den am dichtesten besiedelten ländlichen Regionen der Erde. Die Geländehöhe liegt zwischen 1450 m und 1800 m (mittleren Höhe: 1570 m), die mittlere Hangneigung beträgt 4,5°.

Das Projekt untersucht in einem integrativen, interdisziplinären Ansatz den Einfluss von Fragmentierung und menschlicher Nutzung auf die Biodiversität in ostafrikanischen Regenwäldern. Die Biodiversitätsforschung wird durch das an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft koordinierte Teilprojekt E02 durch Aktivitäten unter Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS) und Fernerkundung unterstützt (SCHAAB 2004). Dabei werden unter anderem Zeitreihen zur Landbedeckungsänderung erstellt (LUNG 2004, MITCHELL et al. 2006), um für ausgewählte Fragestellungen



**Abb. 1:** Lage des Kakamega Forest und der mit ihm assoziierten Waldgebiete sowie Abdeckung durch die QuickBird-Szenen.



**Abb. 2:** Auswirkung der Aufnahmegeometrien auf die Schattenlängen in den beiden QuickBird-Bildstreifen.

gen, ausgehend vom BIOTA-Ost-GIS und seinen Geodaten, letztendlich Feldbeobachtungen in Raum und Zeit zu extrapolieren. Dies soll Aussagen bezüglich Maßnahmen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung auf der Landschaftsebene ermöglichen (SCHAAAB 2004). Sollen dabei auch Planungsszenarien berücksichtigt werden, welche die ländliche Lebensweise widerspiegeln, so bedarf es detaillierten Wissens zur derzeitigen Situation, wie es aus den QuickBird-Bilddaten abgeleitet werden kann.

## 2 Die verwendeten Bilddaten

Das Untersuchungsgebiet ist durch 5 Szenen abgedeckt (pan und ms zusammen ca. 7 GB), die aufgrund der gewählten Abdeckung von Hauptwald, Waldfragmenten und Agrarland mit einer Ausdehnung in Ost-West-Richtung von insgesamt 23,6 km während zweier Überflüge am 21. Februar (östlicher Streifen) und 6. März 2005 (west-

licher Streifen) aufgenommen wurden (siehe Abb. 1). Daher unterscheiden sich die beiden Bildstreifen bezüglich des Vegetationszustandes, insbesondere auf den Feldern, zudem bestanden bei den Aufnahmen unterschiedliche atmosphärische Bedingungen, und auch die Aufnahmegeometrie und Sonnenstände waren verschieden.

Im Überlappungsbereich der beiden Streifen zeigt sich, dass in der westlichen Aufnahme die Schatten von Bäumen und Gebäuden etwa um die Hälfte kürzer erscheinen als im östlichen Streifen. Hauptgrund hierfür sind nicht die unterschiedlichen Sonnenstände sondern die verschiedenen off-Nadir Aufnahmewinkel in Verbindung mit den relativen Azimutwinkeln zwischen Sonne und Satellit (siehe Abb. 2). Im östlichen Schwad (Szene p01) beträgt der off-Nadir nur  $3,5^\circ$ , wobei Satellit und Sonne in beinahe entgegengesetzten Richtungen liegen. Schatten werden daher hier im Bild etwas verlängert abgebildet. Im westlichen

Schwad (Szene p04) beträgt der off-Nadir  $14,4^\circ$ , Satellit und Sonne liegen jedoch in fast gleicher Richtung. Hier werden die Schatten daher „verkürzt“ abgebildet. Berechnungen haben ergeben, dass die Schatten im westlichen Bildstreifen ca. 45% kürzer abgebildet werden als im östlichen (LÜBKER 2005).

Bei der Bestellart „standard“ werden bereits einige Veränderungen der Bilddaten durch den Betreiber Digital Globe vorgenommen (Digital Globe 2004). Diese umfassen radiometrische (z. B. bzgl. vereinzelt leicht unterschiedlich empfindlicher oder beschädigter CCD-Einheiten), den Sensor betreffende (z. B. bzgl. optischer Verzeichnung, innerer Geometrie des Sensors) und geometrische Korrekturen (z. B. bzgl. Schrägsicht, Erdkrümmung und -rotation). Wenn ein hoch aufgelöstes Digitales Geländemodell (DGM) des Aufnahmegebietes vorliegt, sollte bei der Bestellung die Option „ortho ready“ gewählt werden, damit eine spätere Orthorektifizierung der Bilddaten möglich ist (KLEINSCHMIT et al. 2007). Wird hingegen die Option „standard“ gewählt, wie im vorliegenden Falle, erfolgt zusätzlich eine Korrektur mit einem „gering aufgelösten“ Geländemodell (Digital Globe 2004). Bei den vorliegenden Bilddaten wurde diese durch Digital Globe mit Daten aus der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) mit einer Bodenauflösung von ca. 30 m durchgeführt (Auskunft Eurimage). Für das Untersuchungsgebiet liegt zwar ein aus topographischen Karten im Maßstab 1:50 000 von 1967 bzw. 1970 abgeleitetes DGM mit einer Bodenauflösung von 10 m vor; aufgrund der relativ ungenauen Lage der verwendeten Höhenlinien erzielt es jedoch keine bessere Höhengenaugigkeit als die SRTM-30 Daten, wie eine Abschätzung ergab (LÜBKER 2005). Somit hätte keine Verbesserung der Bilddaten durch eine Entzerrung mit dem vorliegenden DGM erzielt werden können. Bezüglich der Lage konnten in anderen Untersuchungen mit hochgenauen Daten der Vermessung für Quick-Bird-Szenen Genauigkeiten von bis zu 1 m erreicht werden (JACOBSEN & PASSINI 2003, VOLPE 2003). Im vorliegenden Fall, einem

ländlichen Gebiet in Afrika, bei fehlenden genauen Referenzdaten musste die standardmäßig erzielte Lagegenauigkeit von 23 m (CE 90%, Digital Globe 2004) akzeptiert werden. Dies ist für das Projekt akzeptabel, da die Bilddaten nicht für die Aktualisierung topographischer Basisdaten sondern in erster Linie für die Erstellung einer Vegetationskarte für die Waldgebiete und für Nutzungssimulationen zum Agrarland eingesetzt werden sollen.

### 3 Methoden

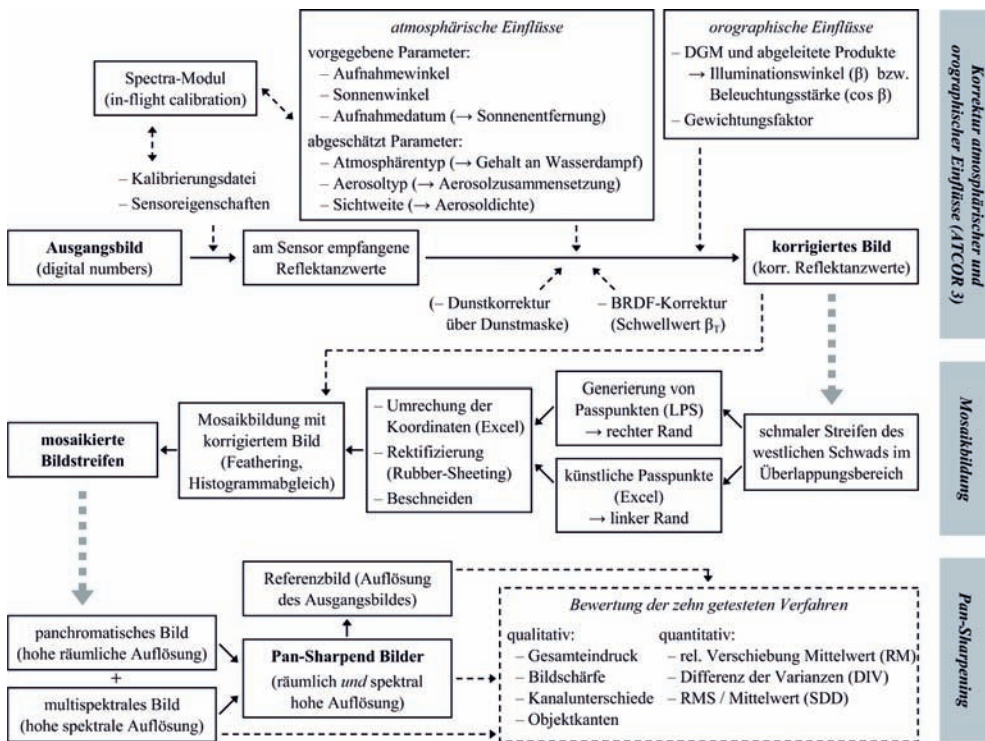
Abb. 3 gibt eine Übersicht zum Workflow der angewendeten Methoden Atmosphärenkorrektur, Mosaikbildung und Pan-Sharpening.

#### 3.1 Atmosphärenkorrektur

Für eine interaktive Atmosphärenkorrektur sehr hochauflösender Bilddaten stellt Atmospheric Correction (ATCOR – RICHTER 1996) das einzige derzeit verfügbare Werkzeug dar (NEUBERT 2006). Die verwendete Variante ATCOR 3 berücksichtigt auch die Orographie. Bei der Korrektur von „digital numbers“ (DN) zu korrigierten Reflektanzwerten wird zunächst mit Hilfe einer Kalibrierungsdatei die am Sensor erfolgte Umrechnung der empfangenen Strahlungswerte in DN wieder zurückgerechnet. Hierbei wurden auf Grundlage neuer Messergebnisse (KRAUSE 2003) aktualisierte Koeffizienten verwendet. Weiterhin wurden mittels einer „in-flight calibration“ die Koeffizienten für den westlichen Bildstreifen anhand von Referenzspektren aus dem östlichen Bildstreifen angepasst.

Zu den für eine Atmosphärenkorrektur benötigten Parametern, die vorgegeben und aus den Bild-Metadaten entnommen werden können, zählen die Sonnen- und die Aufnahmewinkel sowie das Aufnahmedatum, das zur Berechnung der Sonnendistanz verwendet wird. Andere Angaben müssen abgeschätzt werden: Die Einstellungen für Aerosol- und Atmosphärentyp waren mit „ländlich“ und „tropisch“ eindeutig. Für die Abschätzung der Sichtweite wurden im





**Abb. 3:** Übersicht der verschiedenen Arbeitsschritte zur Vorprozessierung der QuickBird-Satellitenbilddaten (in ERDAS Imagine, wenn nicht anders angegeben).

Modul Spectra die Auswirkungen verschiedener Werte auf die sich ergebenden Spektralkurven unterschiedlicher Bildobjekte überprüft und mit Hilfe von Referenzspektren optimiert. Für die beiden Bildstreifen wurden unterschiedliche Sichtweiten von 40 km (östlicher) und 10 km (westlicher Streifen) ermittelt.

Eine zusätzliche Option in ATCOR ermöglicht, Dunst und Wolkenschleier aus den Bilddaten herauszurechnen. Da der westliche Bildstreifen teilweise durch eine dünne Dunstschicht getrübt ist, wurden verschiedene Einstellungen getestet. Die in ATCOR für hochauflösende Satelliten mit kleinen Öffnungswinkeln getestete, vereinfachende Annahme einer isotropisch reflektierenden Erdoberfläche führt in Gebieten mit stark bewegtem Relief an der Sonne abgewandten Hängen (großer Illuminationswinkel  $\beta$ ) zu einer Überkorrektur (RICHTER

2006). Dieser Überhellung wirkt ein empirischer Ansatz entgegen, der das bidirektionale Reflektanzverhalten simuliert. Die hierfür zu treffenden Einstellungen wurden in Testreihen für beide Bildstreifen ermittelt. Beste Ergebnisse wurden mit den Schwellwerten  $\beta_T = 52^\circ$  bzw.  $35^\circ$  (östlicher bzw. westlicher Schwad) erzielt.

Für die Korrektur orographischer Einflüsse wurde mit Hilfe des aus der topographischen Karte abgeleiteten DGM (s. o.) die Hangneigung, die Geländeexposition, der Geländeschatten (Eigen- und Schlagschatten) und der Sky-View-Faktor (anhand von 32 Richtungen bestimmter Anteil der sichtbaren Himmelsphäre) berechnet. Das verwendete DGM sollte idealerweise die vierfach höhere Auflösung des Satellitenbildes haben (GOODENOUGH et al. 1990), was bei der Verwendung von QuickBird-Daten jedoch kaum je verfügbar sein dürfte. Die

Korrektur erfolgt ohne Einstellung weiterer Parameter anhand der aus den DGM-Folgeprodukten abgeleiteten lokalen Beleuchtungsstärke ( $\cos \beta$ ) sowie eines empirisch festgelegten wellenlängenabhängigen Gewichtungsfaktors (RICHTER 2006).

### 3.2 Mosaikbildung

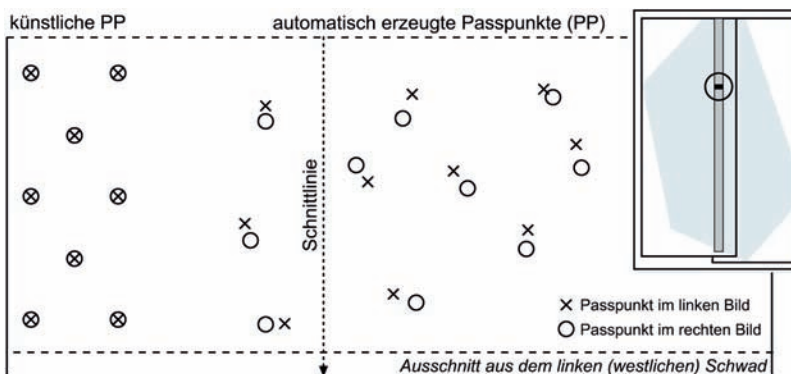
Eine geometrische Anpassung der beiden Aufnahme­streifen zueinander bedarf einiger Bearbeitungsschritte, da die Streifen nicht nur lageversetzt, sondern lokal unregelmäßig verzerrt sind. Eine spektrale Anpassung ist nötig, wenn auch nach einer Atmosphärenkorrektur in den Bildstreifen gleiche Objekte unterschiedliche spektrale Charakteristika aufweisen. Mit dem Problem der uneinheitlichen Verzerrung muss man sich nach Auskunft des Datenanbieters Eurimage bei der Bestellung von (QuickBird-) Satellitenbilddaten für ein großes Gebiet abfinden. Auf die aufgrund fehlender Sekundärdaten nicht zu verbessernde Georeferenzierung der Streifen wurde bereits in Kapitel 2 eingegangen. Um eine weitere Verschlechterung der Lagegenauigkeit und ein Resampling der Daten zu vermeiden, wurden die Szenen weitgehend unverändert beibehalten und eine geometrische Anpassung nur in einem schmalen Übergangsbereich vorgenommen.

Zunächst wurden im Überlappungsgebiet ausgehend von den panchromatischen Bilddaten über 3000 Passpunkte durch ein

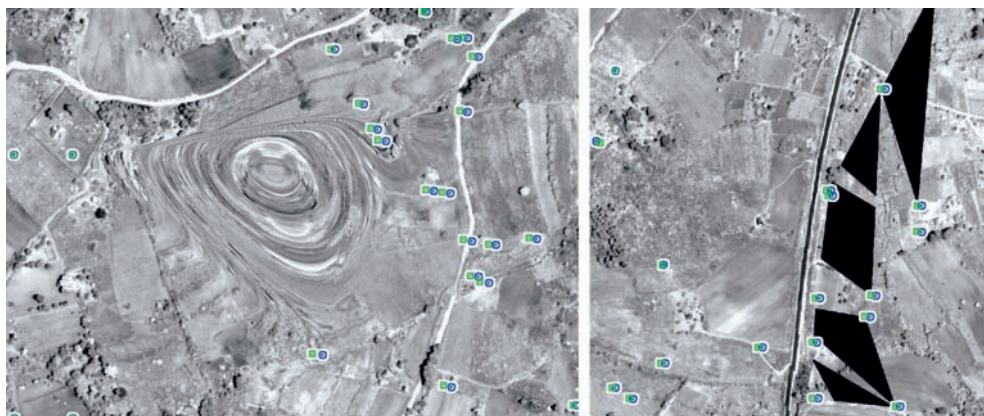
„feature-based mapping“ (Leica Geosystems 2003) generiert. In den Punkttabellen wurden die Bildkoordinaten des zu referenzierenden Ausschnittes (westlicher Streifen) in Weltkoordinaten umgerechnet und für die folgende Rektifizierung in die benötigte Anordnung gebracht.

Der durchschnittliche absolute Lageversatz betrug 4,5 m (8,6 m bei CE 90%). Für die partielle Anpassung wurde im Überlappungsbereich ein schmaler Streifen aus dem westlichen Schwad ausgeschnitten. Für dessen linken Rand wurden entsprechend eines Gitters künstliche Passpunkte generiert, damit in diesem Bereich keine Anpassung stattfindet (siehe Abb. 4).

Die eigentliche Rektifizierung wurde in ERDAS Imagine ausgeführt, aufgrund der starken lokalen Unterschiede in der Verzerrung durch Anwendung von „Rubber-Sheeting“ Transformationen (vgl. Leica Geosystems 2003). Die große verwendete Punktmenge konnte nicht richtig speicheradressiert werden, weshalb die Punkte ausgedünnt und der Bildstreifen für die Transformation in zwei Teile aufgeteilt werden musste. Erste Ergebnisse enthielten Verwirbelungen und Bereiche ohne Daten (siehe Abb. 5), wobei diese auf die Anordnung der künstlichen Passpunkte sowie sehr dicht beieinander liegender Passpunkte zurückgeführt werden konnten. Daher wurden sehr nahe beieinander liegende Passpunkte gelöscht und die künstlichen Passpunkte asymmetrisch angeordnet. Der



**Abb. 4:** Vorgehen zur partiellen Anpassung der beiden Bildstreifen in einem schmalen Streifen des westlichen Schwads durch automatisch erzeugte (rechts) und künstliche (links) Passpunkte.



**Abb. 5:** Verwirbelungen (links, non-linear) und Bereiche ohne Daten (rechts, linear) nach der „Rubber-Sheeting“-Rektifizierung aufgrund ungünstiger Passpunktverteilung.

Ergebnisstreifen wurde beschnitten und bei der Mosaikierung als Übergang zwischen den Bildstreifen verwendet. Bei der Mosaikbildung wurde zusätzlich noch ein „Feathering“ im Bereich von 3 m angewendet, um noch vorhandene Unterschiede auszugleichen.

Da trotz der umfangreichen Korrekturen von Einflüssen durch Atmosphäre und Orographie die Bildstreifen noch leicht unterschiedliche Spektraleigenschaften aufwiesen (siehe Kapitel 4), wurde für den Überlappungsbereich zusätzlich ein Histogrammabgleich (Histogram-Matching) vorgenommen und auf die gesamten Bilddaten angewendet. Erstaunlicherweise fanden sich im Endergebnis innerhalb des Gebietes ohne Bildinformationen Bereiche mit maximalen DN-Werten. Der Grund hierfür konnte nicht ermittelt werden, jedoch wurden diese Gebiete nachträglich ausmaskiert. Die beschriebenen Mosaikierungsschritte wurden für das panchromatische und das multispektrale Bild separat durchgeführt.

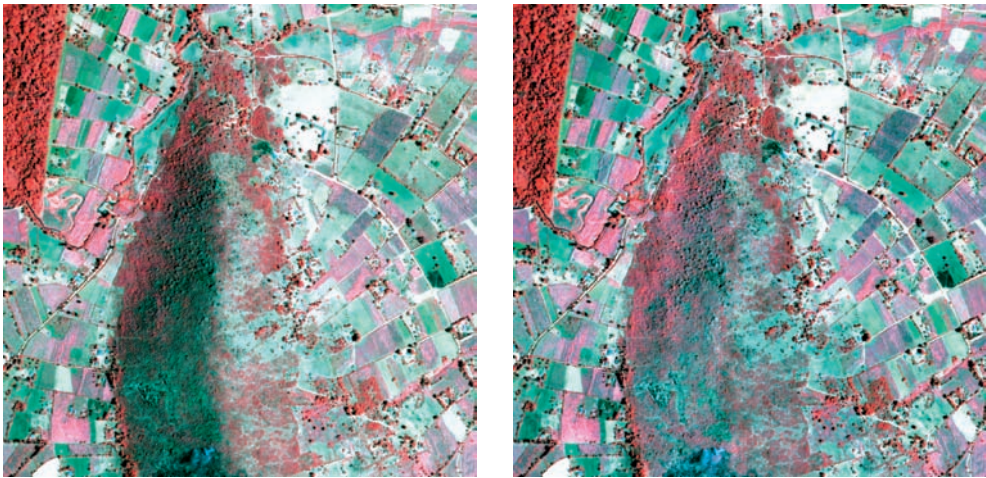
### 3.3 Pan-Sharpening

Um die positiven Eigenschaften des multispektralen und des panchromatischen Bildes – höhere spektrale bzw. höhere räumliche Auflösung – miteinander zu kombinieren, kommen Pan-Sharpening- bzw. Image-Fusion-Verfahren zum Einsatz. Das für die

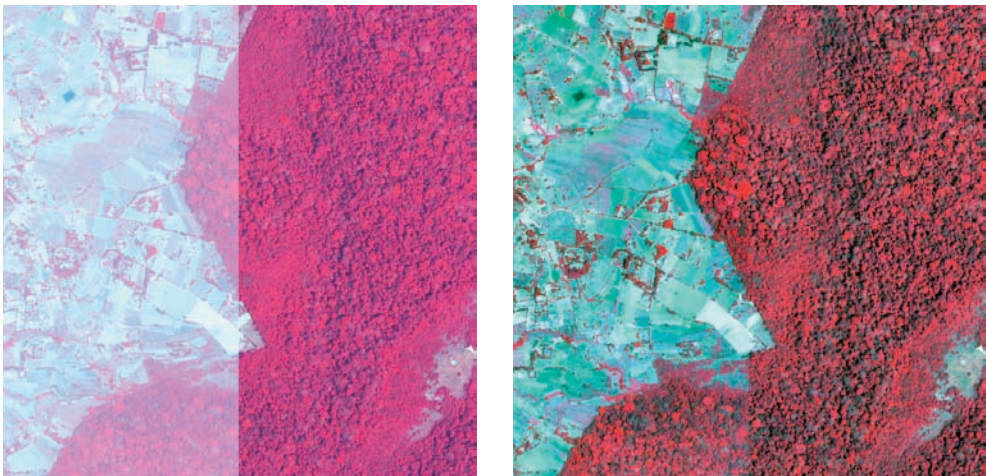
erfolgreich vorprozessierten Bilddaten am besten geeignete Verfahren wurde ermittelt, indem neun in ERDAS Imagine implementierte Standardverfahren miteinander verglichen wurden: multiplikativer Ansatz, Brovey-Algorithmus, Principal Component Analysis (PCA), Discrete Wavelet Transformation (in den Varianten Single Band, PCA und Intensity-Hue-Saturation (IHS)-Transformation), die modifizierte IHS-Transformation, das Hochpassfilter-Verfahren (HPF) sowie die Ehlers-Fusion (getrennt nach den Optimierungs-Optionen „spatial“ und „spectral“). Die Verfahren sind in der Literatur ausführlich beschrieben (SCHWENGERDT 2007, JENSEN 2005, EHLERS & KLONUS 2004). Zusätzlich wurde ein am Institut für Digitale Bildverarbeitung, Joanneum Research entwickeltes texturbasiertes Fusionierungsverfahren (HIRSCHMUGL et al. 2005) getestet.

Ziel der Bildfusionierung ist neben einem ansprechenden visuellen Ergebnis eine möglichst gute Erhaltung der Spektraleigenschaften der multispektralen Ausgangsbilder, um die Ergebnisse anschließender Klassifizierungen nicht zu verfälschen (MEE-NAKSHISUNDARAM 2005). Die visuelle Bewertung erfolgte anhand der qualitativen, subjektiven Kriterien Gesamteindruck, Bildschärfe, Abbildung von Objektkanten; weiterhin wurde überprüft, ob einzelne Kanäle unterschiedlich stark geschärft wurden.





**Abb. 6:** Vor (links) und nach der ATCOR-Korrektur (rechts) von Einflüssen insbesondere hervorgerufen durch die Orographie (Ausschnitt: Kambiri Hill).



**Abb. 7:** Vor (links) und nach (rechts) Atmosphärenkorrektur und Mosaikbildung (Ausschnitt: bei Bukhaywa, ca. 12 km nordöstlich von Kakamega Town).

Für eine quantitative, statistische Bewertung wird das geschärfte Ergebnisbild mit einem Referenzbild hinsichtlich seiner Grauwerte verglichen. Für die Erzeugung dieses Referenzbildes bestehen verschiedene Möglichkeiten: Vor der Fusionierung wird die Auflösung der Ausgangsbilder entsprechend verringert, um das Ergebnisbild mit dem Ausgangsbild in ursprünglicher Auflösung vergleichen zu können (MEENAKSHISUNDARAM 2005). Oder aber das Ergebnisbild wird in

seiner hohen Auflösung vom multi-spektralen Ausgangsbild subtrahiert und anschließend geglättet (KLEINSCHMIT et al. 2007).

Für die hier beschriebene Studie wurde das Ergebnisbild in die geometrische Auflösung des multispektralen Ausgangsbildes zurückgerechnet und mit diesem hinsichtlich der Differenz der Varianzen (DIV) und der Standardabweichung relativ zum Mittelwert des Originalbildes (SDD) verglichen. Außerdem wurde das hochaufgelöste Er-



gebnisbild mit dem multispektralen Ausgangsbild hinsichtlich der relativen Verschiebung des Mittelwertes (RM) bewertet.

#### 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Korrektur atmosphärischer und orographischer Einflüsse zeigen eine deutliche Verbesserung gegenüber den Ausgangsdaten (siehe Abb. 6 und 7). Helligkeitsunterschiede in Gebieten mit bewegtem Relief wurden sehr gut ausgeglichen, insgesamt erscheinen die Bilddaten kontrastreicher. Die großen spektralen Unterschiede zwischen den beiden Aufnahmestreifen konnte deutlich gemindert, jedoch nicht ganz vollständig ausgeglichen werden. Auch die automatische Anpassung der Kalibrierungsdatei brachte hier keine Verbesserung. Nicht durch die Atmosphäre oder Orographie verursachte Unterschiede, wie die im Vegetationszustand oder verschieden lang abgebildete Schatten, können natürlich nicht behoben werden. Außerdem konnten im westlichen Streifen vorhandene Dunstschleier trotz mehrerer Versuche nicht eliminiert werden. Da die von ATCOR generierte Dunstmaske die entsprechenden Bereiche zwar maskiert, im Ergebnis jedoch starke Kanten auftreten (vgl. NEUBERT 2006), wurde auf diese Korrektur letztendlich verzichtet. Die aufgeführten Punkte zeigen, dass eine Atmosphärenkorrektur eben immer nur eine Näherung an die bodennahen Reflektionseigenschaften der aufgenommenen Objekte sein kann. Die Prozessierung mit ATCOR war hinsichtlich der Parameteroptimierung sehr zeitintensiv. Für den letzt-

endlichen Durchlauf der gesamten Daten wurden über 9 Tage reine Rechenzeit (Pentium 4, 2,8 GHz) beansprucht (siehe Tab. 1).

Dabei mussten die multispektralen Bilddaten in insgesamt 13 Datensätze aufgeteilt werden, damit die Prozessierung überhaupt möglich war. Der Grund hierfür liegt eher auf der Softwareseite als bei der eingesetzten Hardware.

Das Ergebnis der Mosaikbildung stellt optisch eine klare Verbesserung im Übergangsbereich der beiden Bildstreifen dar (siehe Abb. 7). Im Vergleich zu einer Mosaikbildung ohne lokale geometrische Anpassung ist die Schnittkante kaum noch zu sehen. Die noch zu erkennenden minimalen geometrischen Verzerrungen wie auch Helligkeitsunterschiede beruhen insbesondere auf den sich unterschiedlich lang abbildendem Schatten, den nicht zu eliminierenden Dunstschleier im westlichen Streifen und Änderungen in der Landbedeckung (sprich: Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bearbeitung, Brandrodungen auf den Waldlichtungen). Die spektrale Anpassung der Bildstreifen durch Histogram-Matching führt zu einer weiteren, rein „optischen“ Verbesserung.

Mit hochgenauen Referenzdaten (hochgenaues DGM, Passpunkt-Messungen vor Ort) wäre die Entwicklung und Anwendung des hier beschriebenen Verfahrens nicht nötig gewesen. Solche Daten stehen aber für ländliche Gebiete Afrikas, wenn eigene geodätische Messkampagnen nicht vorgesehen sind, wohl kaum je zur Verfügung. Auch wenn das entwickelte Verfahren zum gewünschten Ergebnis geführt hat, ist der Auf-

**Tab. 1:** Von ATCOR beanspruchte Rechenzeit [in h:min] für die Atmosphärenkorrektur für 13 multispektrale Teil-Datensätze sowie 5 panchromatische Szenen (auf einem Pentium 4 mit 2,8 GHz).

Szene	panchrom.	MS, Teil 1	MS, Teil 2	MS, Teil 3	MS, Teil 4
Ost, Nord	26:08	3:46	4:33	–	–
Ost, Mitte	34:59	3:19	3:12	3:11	–
Ost, Süd	21:59	5:24	–	–	–
West, Nord	39:59	3:25	3:25	3:03	–
West, Süd	56:28	3:27	3:13	3:15	4:41

**Tab. 2:** Qualitative Bewertung der getesteten Pan-Sharpening Verfahren nach Gesamteindruck, Bildschärfe, Einheitlichkeit der Kanäle, Betonung von Kanten und Einfluss der Ausgangsbilder.

Verfahren	Gesamteindruck	Schärfe	Kanäle	Kanten	Einfluss
<b>Multiplikativ</b>	+ / + +, sehr detaillierte Feldstrukturen	+ +	--, nur NIR sehr scharf	+ +	PAN
<b>Brovvey</b>	--, falsche Farben	+ +	o/-	+ +	(-)
<b>PC</b>	--, glasig, falsche Farben	-	-, nur NIR sehr scharf	-	(MS)
<b>Wavelet</b>	<b>single band</b>	-, starke Körnung, extreme Kontraste	-	o/+	MS
	<b>PC</b>	o, Vegetation wenig geschärft	--	-, Körnung v.a. im NIR	MS
	<b>IHS</b>	o, Pixeleffekte	+	-, nur NIR sehr scharf	MS
<b>Modifiziertes IHS</b>	+ / + +, brillant, Felder schwammig	+ +	+	+ +	MS
<b>HPF</b>	+ +, sehr detailgetreu	+ +	+	+ +	(PAN)
<b>Ehlers (spatial)</b>	+ +, sehr scharf	+ +	-, „höhere“ Kanäle	+ +	MS
<b>Ehlers (spectral)</b>	-, unscharf, körnig	-	besser (Blau → NIR)	-	MS
<b>Texturbasiert</b>	+ / + +, Felder schwammig	+	+	+	MS

+ +: sehr gut, +: gut, o: mittel, -: weniger gut, --: schlecht

wand der umfangreichen Prozessierungskette beträchtlich. Hier wäre die Entwicklung eines entsprechenden Standard-Mosaikierungsverfahrens zur Verarbeitung großer Mengen an VHR-Bilddaten, die nicht durch einen Schwad abgedeckt werden können, wünschenswert.

Die Anwendung der Verfahren zur Bildfusionierung ist für die QuickBird-Daten ohne größeren Aufwand möglich. Während Probleme durch unterschiedliche Spektralbereiche der Bänder auszuschließen sind, traten solche durch unzureichende geometrische Kanalkorrelation (PADWICK 2004) nicht auf. Allerdings weisen sämtliche Ergebnisse zu den Ausgangsbildern einen Versatz um 1,5 Pixel in unterschiedliche Richtungen und / oder eine Verkleinerung des Ausschnittes auf. Gründe hierfür liegen

wahrscheinlich in den Algorithmen und deren nicht konsequenten Umgang mit der Definition des Bildkoordinatensystems über die Pixelmitten.

Bei der qualitativen Bewertung überzeugten besonders der HPF, die Ehlers-Fusion in der Option „spatial“ und das modifizierte IHS-Verfahren mit sehr guter Schärfe, sich sehr gut abbildenden Kanten und einem sehr guten Gesamteindruck (siehe Tab. 2). Das texturbasierte Verfahren lieferte ebenfalls ein gutes Ergebnis wie auch der mathematisch einfache multiplikative Ansatz. Beim letzteren zeigt sich jedoch der Einfluss des pan-chromatischen Ausgangsbildes zu deutlich und nur der NIR-Kanal ist optimal geschärft.

Die statistischen Auswertungen zur Erhaltung der Spektraleigenschaften zeigen

**Tab. 3:** : Quantitative Bewertung der getesteten Pan-Sharpening Verfahren: Mittlere Werte für die 4 bzw. 3 (Brovey, Wavelet-IHS) Kanäle. Das Ausgangsbild wird verglichen mit dem geschärften Ergebnisbild in hoher Auflösung bezüglich der relativen Verschiebung des Mittelwertes (RM) sowie mit dem in seiner Auflösung verringerten Ergebnisbild bezüglich der Differenz der Varianzen (DIV) und der Standardabweichung relativ zum Mittelwert (SDD).

Verfahren		RM	DIV	SDD
Multiplikativ		426,2	$6 \times 10^5$	42,5
Brovey		0,46	3,30	0,24
PC		0,46	0,24	0,19
Wavelet	single bd.	0,91	6,73	0,36
	PC	0,91	6,70	0,37
	IHS	1,48	3,49	0,22
Mod. IHS		0,01	0,31	0,12
HPF		0,00	0,18	0,12
Ehlers (spat.)		0,08	0,24	0,12
Ehlers (spec.)		0,06	0,13	0,11
Textur		0,02	0,07	0,08

die besten Ergebnisse für das texturbasierte Verfahren, gefolgt von den Verfahren HPF und Ehlers-Fusion in der Option „spectral“ (siehe Tab. 3). Ebenfalls geringe Abweichungen zeigen das modifizierte IHS-Verfahren sowie die Ehlers-Fusion in der Option „spatial“. Beim multiplikativen Ansatz, in dem die Grauwerte der Ausgangsbilder miteinander multipliziert werden, werden, wie zu erwarten, die Spektraleigenschaften extrem verfälscht. Für einen Vergleich der Spektralprofile sowie für weitere statistische Kennwerte siehe LÜBKER 2005. In einer kombinierten Betrachtung wurde für die vorliegenden Daten der HPF als am besten geeignet befunden, da er eine sehr gute Schärfung bei gleichzeitig guter Wahrung der Spektraleigenschaften liefert.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Prozessierung großer Datenmengen – im Gegensatz zu Tests mit kleinen Ausschnitten – führte zu Schwierigkeiten, die eine Bearbeitung in einem zeitaufwändigen und teils umständlichen Workflow erforderte. Die verwendeten Standardprogramme der Digitalen Bildverarbeitung (ERDAS Imagine, LPS, ATCOR) stoßen dabei an ihre Grenzen, so war z. B. die Aufteilung in mehrere Bildteile und deren spätere Zusammenführung nötig oder mussten – insbesondere bei der Mosaikbildung – „Hilfskonstruktionen“ entwickelt und angewandt werden. Die Korrektur atmosphärischer und orographischer Einflüsse führte zu einer deutlichen Verbesserung der Bilddaten. Die durchgeführte Mosaikbildung führt zu optisch deutlich besseren Ergebnissen, eine geometrische Verbesserung der Daten war jedoch nicht möglich. Je nach Zielsetzung (visuelle Interpretation oder Klassifikation) eignen sich die getesteten Pan-Sharpening-Verfahren unterschiedlich gut. Eine Bewertung der Ergebnisse sollte sowohl das visuelle Erscheinungsbild als auch die Erhaltung der Spektraleigenschaften beinhalten.

Es wurden bereits erste Analysen der vorprozessierten Daten ausgeführt, um zu zeigen, dass die angewandte Vorprozessierung positive Auswirkungen auf eine objekt-orientierte Klassifikation haben (LÜBKER & SCHAAB 2006). Dabei orientieren sich zum einen bei einer Segmentierung die Segmente nicht an der ansonsten vorhandenen Schnittkante, zum anderen stimmen die Eigenschaften von Objekten gleicher Art auf der schatten- und sonnenexponierten Seite eines Hügels in den vorprozessierten Daten deutlich besser miteinander überein und können so der gleichen Klasse zugeordnet werden. Deshalb ist es wichtig, vor einer Klassifizierung die Bilddaten entsprechend zuprozessieren.

Die prozessierten Bilddaten sollen nun mittels objekt-orientierter Bildanalysen intensiv ausgewertet werden: Eine Vegetationskarte zum Kakamega Forest nach Pflanzengesellschaften wird die Grundlage für Vorschläge bezüglich Management und



Schutz des Waldes bilden. In der Agrarlandschaft werden sowohl Strukturen als auch Landnutzung abgeleitet als Basis für räumlich explizite Modellierungen, die Aussagen zu den Auswirkungen verschiedener Planungsszenarien auf das Auskommen der lokalen Bevölkerung ermöglichen.

## Bildhinweis

Für alle in den Abbildungen gezeigten Satellitenbilder gilt: © 2005 Digital Globe™, USA (vertrieben durch Eurimage, Italien).

## Literatur

- ALBERTZ, J., 1991: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: eine Einführung in die Fernerkundung. – 1. Aufl., 204 S., Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- BLACKETT, H., 1994: Forest inventory report no. 3: Kakamega. – Forest Department/KIFCON, Nairobi, Kenia.
- CLARK, D., CASTRO, C., ALVARADO, L., & READ, J., 2004: Quantifying mortality of tropical rain forest trees using high-spatial-resolution satellite data. – *Ecology Letters* 7 (1): 52–59.
- Digital Globe, 2004: QuickBird Imagery Products, Product Guide. – Überarbeitung 4.3.
- EHLERS, M. & KLONUS, S., 2004: Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2004 (6): 495–506.
- GOODENOUGH, D., DEGUISE, J.-C., ROBSON, M., 1990: Multiple expert systems for using digital terrain models. – *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 1990*, 961.
- HIRSCHMUGL, M., GALLAUN, H., PERKO R., & SCHARST, M., 2005: „Pansharpening“-Methoden für digitale, sehr hoch auflösende Fernerkundungsdaten. – *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII, Beiträge zum AGIT-Symposium in Salzburg*, 270–276.
- JACOBSEN, K. & PASSINI, R., 2003: Accuracy of digital orthophotos from high resolution space imagery. – *Proceedings of the Joint ISPRS/EARSeL Workshop High Resolution Mapping from Space 2003* (on CD).
- JENSEN, J., 2005: *Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective*. – 3. Aufl., 526 S., Pearson, Upper Saddle River, NJ, USA.
- KLEINSCHMIT, B., FÖRSTER, M., FRICK, A. & OEHMICHEN, K., 2007: QuickBird Data – Experiences with Ordering, Quality and Pan Sharpening. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2007 (2): 73–84.
- KRAUS, K., 2004: *Photogrammetrie, Bd. 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen*. – 7. Aufl., 516 Seiten, de Gruyter, Berlin & New York.
- KRAUSE, K., 2003: Radiance conversion of QuickBird data: Technical note. – Digital Globe, Longmont, Colorado. URL: [http://www.digitalglobe.com/downloads/Radiance\\_Conversion\\_of\\_QuickBird\\_Data.pdf](http://www.digitalglobe.com/downloads/Radiance_Conversion_of_QuickBird_Data.pdf) (letzter Zugriff: 12.04.05).
- Leica Geosystems, 2003: *ERDAS Field Guide*. – 7. Aufl., Atlanta, Georgia.
- LÜBKER, T., 2005: Auswertung von QuickBird-Satellitenbilddaten im Gebiet Kakamega Forest (Westkenia) mittels Methoden der multispektralen Bildverarbeitung sowie der objektorientierten Segmentierung. – Diplomarbeit, Fakultät für Geoinformationswesen, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- LÜBKER, T. & SCHAAB, G., 2006: Large area QuickBird imagery for object-based image analysis in western Kenya: pre-processing difficulties, workarounds and resulting benefits as well as (first) segmentation strategies. – 1<sup>st</sup> International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006): Bridging Remote Sensing and GIS (on CD), ISPRS XXXVI-4/C42.
- LUNG, T., 2004: Landbedeckungsänderung im Gebiet „Kakamega Forest und assoziierte Waldgebiete“ (Westkenia). – *Multispektrale Klassifikation von Landsat-Satellitenbilddaten und Auswertung mittels Methoden im Raster-GIS*. – *Karlsruher Wissenschaftliche Schriften A 15*.
- MAGSUD, M, OO, K. & RAJAPAKSHA, J., 2004: Tsunami Disaster Damage Detection and Assessment Using High Resolution Satellite Data, GIS and GPS – Case study in Sri Lanka. – *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*.
- MEENAKSHISUNDARAM, V., 2005: Quality Assessment of Ikonos and Quickbird Fused Images for Urban Mapping. – *UCGE Reports Nr. 20224*, Master Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Kanada.
- MITCHELL, N., LUNG, T. & SCHAAB, G., 2006: Tracing significant losses and limited gains in forest cover for the Kakamega-Nandi complex in

- western Kenya across 90 years by use of satellite imagery, aerial photography and maps. – Proceedings of the ISPRS (TC7) Mid-Term Symposium 2006 Remote Sensing: From Pixels to Processes (on CD).
- MUTANGAH, J., MWANGANGI, O. & MWAURA, J., 1992: Kakamega Forest: A vegetation survey report. – KIFCON, Nairobi, Kenia.
- NEUBERT, M., 2006: Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitenbilddaten – vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschaftsökologischer Anwendungen. – Fernerkundung und angewandte Geoinformatik 1, 180 Seiten, Rhombos, Berlin.
- PADWICK, C., 2004: Pan sharpening of high resolution satellite imagery. – ASPRS Annual Conference 2004, Denver, CO, USA.
- REICHE, J., HESE, S. & SCHMULLIUS, C., 2007: Objektorientierte Klassifikation terrestrischer Ölverschmutzungen mittels hoch auflösender Satellitendaten in West-Sibirien. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2007** (4): 275–287.
- RICHTER, R., 2006: Atmospheric / topographic correction for satellite imagery – ATCOR-2/3 user guide. – Vers. 6.2, DLR-Report DLR-IB 565-01/06, Wesslingen.
- RICHTER, R., 1996: A spatially fast atmospheric correction algorithm. – International Journal of Remote Sensing **17** (6): 1201–1214.
- SCHAAB, G., 2004: Biodiversitätsforschung in Ostafrika: nur ein Abenteuer für Kartographen? – 50 Jahre Sektion Karlsruhe der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V., Festschrift, Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften **A 16**, 222–229.
- SCHMIDT, M., 2003: Development of a fuzzy expert system for detailed land cover mapping in the Dra catchment (Morocco) using high resolution satellite images. – Diss. Universität Bonn, URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:5n-02097> (letzter Zugriff 2.4.2007).
- SCHOWENGERDT, R., 2007: Remote Sensing: models and methods for image processing. – 3. Aufl., 515 S., Elsevier Academic Press, Burlington, MA, USA.
- VOLPE, F., 2003: Geometrical processing of QuickBird high resolution satellite data. – Proceedings of the Joint ISPRS/EARSel Workshop High Resolution Mapping from Space 2003 (on CD).

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) TILLMANN LÜBKER und Prof. Dr.-Ing. GERTRUD SCHAAB, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Fakultät für Geomatik, Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe, Tel.: 0721/925-2923, Fax: 0721/925-2927, e-mail: [gertrud.schaab@hs-karlsruhe.de](mailto:gertrud.schaab@hs-karlsruhe.de)

Manuskript eingereicht: Juli 2007  
Angenommen: September 2007