

Auswertung von QuickBird und IKONOS-Aufnahmen

KARSTEN JACOBSEN¹

Abstract: The very high resolution space images from QuickBird and IKONOS are now in a competition to aerial images and can be used for the generation of orthoimages starting with a scale 1:5000. SpaceImagine has not published the sensor model of the IKONOS camera, instead of this they are distributing rational polynomial functions expressing the relation between the Geo-image and the ground coordinates. This has only to be improved in maximum by an affinity transformation using ground control. In few cases this was not the optimal solution and it was necessary to adjust also the view direction of the satellite in a program reconstructing the imaging geometry. DigitalGlobe is distributing with the Basic Imagery also images corresponding to level 1A data. They can be handled with standard programs for handling satellite line scanner images.

The generation of digital elevation models with images from the same orbit is not causing any problems, but the combination of images with changed shadows and changed vegetation may be quite difficult. Such images can be used for automatic image matching only after strong filtering and still may have problems in forest areas. The radiometric quality of the high resolution space images is usually better like corresponding aerial images

1 Einführung

Die sehr hoch auflösenden Weltraumaufnahmen von QuickBird und IKONOS stehen in Konkurrenz zu der Anwendung von Luftbildern für die Karten- und Orthofotomaßstäbe ab 1 : 5000. Die hierfür erforderliche Auswertegenauigkeit kann erreicht werden, wenn die geometrischen Grundlagen genauer betrachtet werden. SpaceImaging liefert für IKONOS-Aufnahmen das geometrische Modell in Form von rationalen Funktionen aus, die mit Hilfe von Passpunkten nur noch verschoben und skaliert werden sollen. Die Untersuchung mehrerer IKONOS-Orientierungen hat gezeigt, dass die rationalen Funktionen zu den gleichen Ergebnissen führen wie ein geometrisches Modell, das auf den ebenfalls mitgeteilten Blickrichtungen basiert. In einzelnen Fällen führt Auswertung mit rationalen Funktionen nicht zu zufrieden stellenden Ergebnissen, sondern es sollte die geometrische Rekonstruktion mit einer zusätzlichen Ausgleichung der Blickrichtung verwendet werden. DigitalGlobe liefert die QuickBird-Bilder auch als level 1A-Daten entsprechend der Geometrie von SPOT-Bildern aus. Damit ist die Bildorientierung mit den normalen Programmen zur Auswertung von Satellitenzeilenscanneraufnahmen möglich.

Die Erstellung digitaler Höhenmodelle aus Aufnahmen vom selben Orbit bereitet keine Schwierigkeiten. Anders sieht es mit der Kombination von Szenen deutlich unterschiedlichen Aufnahmezeitpunktes aus. Wenn sich die Vegetation und/oder die Beleuchtungsverhältnisse geändert haben, kann die automatische Bildzuordnung problematisch werden. Erst eine starke Filterung der Aufnahmen mit entsprechendem Informationsverlust führt zu einem einigermaßen akzeptablen Höhenmodell. Dieses ist ausreichend für die Generierung von Orthofotos.

¹ Dr. Karsten Jacobsen, Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover, jacobsen@ipi.uni-hannover.de

2 Bilddaten von IKONOS und Quickbird

Die mit den Satelliten QuickBird und IKONOS aufgenommenen Bilder haben die gleichen radiometrischen Eigenschaften da die Kameras beider von Kodak hergestellt wurden. Ursprünglich war auch die gleiche Pixelgröße auf dem Boden vorgesehen, Wegen geänderter Restriktionen der USA darf die Auflösung heute besser sein als ursprünglich festgelegt, weswegen DigitalGlobe die Flughöhe von QuickBird von ursprünglich vorgesehenen 680km auf 450km reduzierte. Damit erzielt QuickBird bei einem Nadirblick im panchromatischen Band eine Bodenpixelgröße von 61cm gegenüber 82cm bei IKONOS. In der QuickBird-Kamera sind 6 CCD's eingebaut, die nach geometrischer Korrektur als eine geometrisch fehlerfreie CCD-Zeile mit 27 552 Pixeln ausgegeben werden, womit im Nadir eine Streifenbreite von 16,8km erzielt wird. DigitalGlobe vertreibt die radiometrisch und geometrisch verbesserten Originaldaten als Basic Imagery, die einem level 1A von SPOT entsprechen. Das geometrische Modell ist offen gelegt und zusammen mit den Bilddaten werden auch die Satellitenephemeriden und die Aufnahmewinkel ausgeliefert. Als nächst höheres Produkt werden die Standard Imagery vertrieben, die basierend auf der direkten Sensororientierung eine Projektion auf das GTOPO30-Höhenmodell darstellen. Die mittels GPS, einem Inertialsystem und Sternkameras bestimmte Sensororientierung liefert wie bei IKONOS ohne Passpunkte eine Objektpunktgenauigkeit von $SX=SY=12m$ und teilweise auch besser, wenn die Objekthöhen bekannt sind. Das GTOPO30-Höhenmodell ist frei im Internet verfügbar (<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30>), die Höhengenaugigkeit ist uneinheitlich, die Höhen sind bis zu einer Breite von 60° mit einem Abstand von $30''$ vorhanden, entsprechend etwas weniger als 1km. Dagegen liefert SpaceImaging nicht die level 1A Bilddaten aus, sondern als am wenigsten aufbereitetes Produkt die CARTERRA Geo-Daten, die einer Projektion auf eine Ebene konstanter Höhe entsprechen. Unabhängig vom Nadirwinkel, der die Pixelgröße auf dem Boden beeinflusst, werden die Geo-Daten mit 11004 Pixeln auf 1m Pixelgröße resampled ausgeliefert. Die IKONOS-Daten haben somit eine deutlich kleinere Streifenbreite als die von QuickBird.

Beide Firmen bieten auch höherwertige Produkte bis hin zum Orthofoto an. Wegen der sehr erheblichen Preisunterschiede werden diese höherwertigen Produkte selten bestellt und die Nutzer übernehmen die geometrische Verarbeitung selbst.

3 Geometrische Auswertung von IKONOS-Geo-Bildern

Die Bildorientierung der IKONOS-Geo-Bilder ist mittels der von SpaceImaging vertriebenen rationalen Funktionen möglich, die den Zusammenhang zwischen den Bildpositionen in den Geo-Bildern und den Objektkoordinaten in Form von geographischen Koordinaten beschreiben.

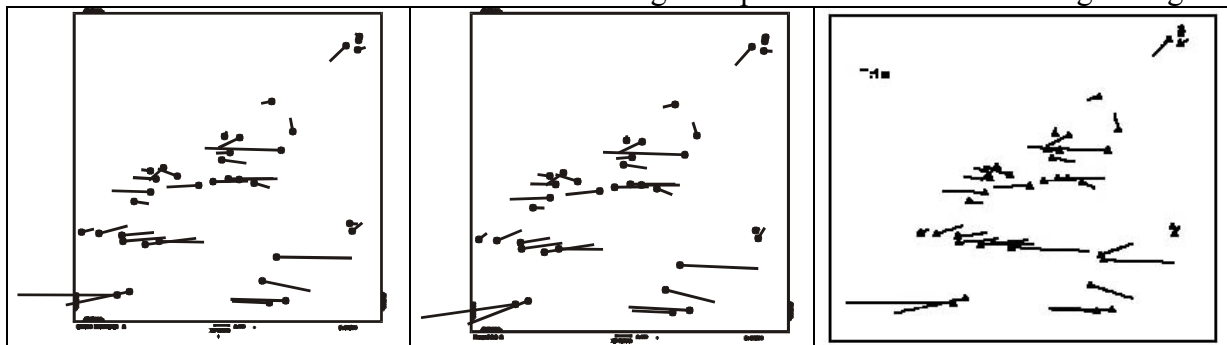
$$x_{ij} = \frac{P_{i1}(X,Y,Z)_j}{P_{i2}(X,Y,Z)_j} \quad y_{ij} = \frac{P_{i3}(X,Y,Z)_j}{P_{i4}(X,Y,Z)_j} \quad \text{Formel 1: rationale Funktionen}$$

Die Polynome $i1$ bis $i4$ sind in der Regel kubisch. Formel 2: kubische Polynome

$$P_{i1}(X,Y,Z)_j = a_1 + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X + a_4 \cdot Z + a_5 \cdot Y \cdot X + a_6 \cdot Y \cdot Z + a_7 \cdot X \cdot Z + a_8 \cdot Y^2 + a_9 \cdot X^2 + a_{10} \cdot Z^2 + a_{11} \cdot X \cdot Y \cdot Z + a_{12} \cdot Y^3 + a_{13} \cdot Y \cdot X^2 + a_{14} \cdot Y \cdot Z^2 + a_{15} \cdot Y^2 \cdot X + a_{16} \cdot X^3 + a_{17} \cdot X \cdot Z^2 + a_{18} \cdot Y^2 \cdot Z + a_{19} \cdot X^2 \cdot Z + a_{20} \cdot Z^3$$

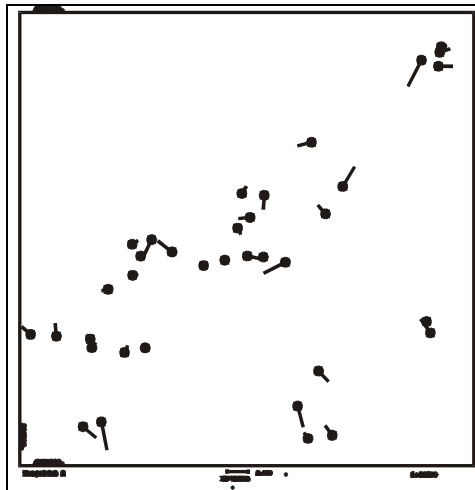
Somit kann mit 80 Parametern der Zusammenhang zwischen Bild- und Objektpositionen beschrieben werden (Grodecki 2001). Die rationalen Funktionen werden von SpaceImaging mittels des nicht publizierten Sensormodells und der Sensororientierung berechnet; nach einer Verbesserung durch eine Affintransformation basierend auf Passpunkten wird der geometrische Zusammenhang ausreichend genau rekonstruiert. Durch die Polynomlösung treten nur vernachlässigbare Fehler der Objektkoordinaten im Millimeterbereich auf. Die rationalen Funktionen haben den Vorteil, dass sie beliebige Sensorgeometrien beschreiben können und somit den Datentransfer zu photogrammetrischen Arbeitsstationen vereinfachen. In einem kommerziellen Softwareprodukt werden die rationalen Funktionen nur mit Hilfe von Passpunkten berechnet („terrain dependent solution“). Diese Lösung sollte nicht verwendet werden da sie zu erheblichen Extrapolationsfehlern außerhalb des durch die Passpunkte beschriebenen Volumens führen kann, viele Passpunkte erfordert und fehlerhafte Passpunkte nur sehr schwer aufgedeckt werden können.

Als weitere Methode bietet sich die Rekonstruktion der Aufnahmegeometrie an. Für die Szenenmitte ist die Blickrichtung zum Satelliten mittels der „nominal collection azimuth and elevation“ gegeben. Zusammen mit den publizierten Satellitenbahndaten kann das zu jedem Pixel gehörende Projektionszentrum und damit die individuelle Aufnahmerichtung rekonstruiert werden. Auch diese Methode benötigt Passpunkte für den exakten Lagebezug.



Figur 1: IKONOS-Geo, Zonguldak, Türkei, Widerspruch an den Passpunkten
 Programm CORIKON Programm RAPORI PCI, sensor modelling

Figur 1 zeigt die Ergebnisse der Orientierung einer IKONOS Geo-Aufnahme im Bereich von Zonguldak mit dem Hannoverschen Programm CORIKON, das die Sensorgeometrie rekonstruiert und dem Hannoverschen Programm RAPORI, das die rationalen Polynomkoeffizienten von SpaceImaging benutzt, sowie das entsprechende PCI „sensor modelling“. Die Ergebnisse sind praktisch identisch aber nicht zufriedenstellend. In der X-Richtung betragen die Quadratmittel der Widersprüche an den Passpunkten etwa 5,3m und in der Y-Richtung etwa 1m. Die Widersprüche in der X-Richtung sind für eine Pixelgröße von 1m nicht zufrieden stellend. Die X-Richtung deckt sich etwa mit der Aufnahmerichtung, womit ein Fehler der Aufnahmerichtung nahe liegt. Eine Ausgleiche mit dem Programm CORIKON, bei dem auch die horizontale und vertikale Aufnahmerichtung mit ausgeglichen wurde, führte zu den erwarteten Ergebnissen (Figur 2). Das Azimut der Aufnahmerichtung wurde durch die Ausgleiche um 10,5° verbessert. Ähnliche Probleme gab es auch mit einem zweiten IKONOS-Geo-Bild in der gleichen Gegend und einem Bild in Saudi Arabien. Wegen der Unsicherheit, ob eine Verbesserung der Aufnahmerichtung erforderlich ist, sollten von vornherein die horizontale und die vertikale Aufnahmerichtung als Unbekannte eingefügt werden. Das Hannoversche Programm überprüft die Signifikanz der einzelnen Unbekannten. Es hat sich gezeigt, das nicht signifikante Unbekannte aus der Berechnung ausgeschlossen werden sollten. Besonders trifft dieses für die Aufnahmerichtung zu, wenn die Passpunkte keine ausreichenden Höhenunterschiede aufweisen.



Figur 2: IKONOS-Geo, Zonguldak, Türkei
Widerspruch an den Passpunkten
(gleicher Vektormaßstab wie in Figur 1)

Im Bereich Williamstown, NJ, traten dagegen keinerlei Probleme mit der Orientierung der IKONOS-Geo-Aufnahme auf, hier konnte mit einer einfachen Verschiebung fast die gleiche Genauigkeit erreicht werden wie mit einer Ausgleichung mit 8 Unbekannten. Wenn die 8 Unbekannten um die nicht signifikanten 3 Unbekannten reduziert werden (Tabelle 1, Zeile 2) werden fast die gleichen Genauigkeiten wie mit allen Unbekannten erzielt. Aber bereits eine einfache Verschiebung auf die Passpunkte führt fast zum gleichen Ergebnis. Das höhere Niveau der Widersprüche ist auf die beschränkte Genauigkeit der Passpunktkoordinaten zurück zu führen, die aus Orthofotos des USGS digitalisiert wurden.

	SX	SY	sigma 0
8 Unbekannte	1.45 m	0.97 m	1,47 m
5 Unbekannte	1.47 m	0.99 m	1,47 m
Affintransformation	1.51 m	1.00 m	1,47 m
Verschiebung, 2 Unbek.	1.57 m	1.14 m	1,50 m

Tabelle 1: Ergebnisse der Orientierung einer IKONOS-Geo-Aufnahme in Williamstown – Quadratmittel der Widersprüche an den 33 Passpunkten

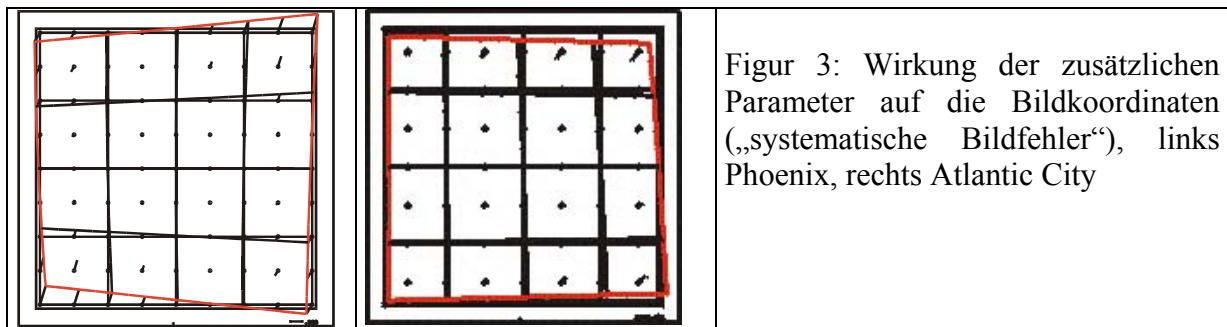
4 Orientierung von QuickBird Basic Imagery

QuickBird Basic Imagery sind nur um die Sensorkalibrierung verbessert, sie entsprechen einer geometrisch fehlerfreien CCD-Zeile mit 27552 Pixeln. Diese level 1A-Daten können wie normale Satellitenzeilenscanneraufnahmen von SPOT, MOMS, IRS oder ASTER ausgewertet werden. Es ist nur zu berücksichtigen, dass wie auch bei SPOT 5 ein sogenanntes „yaw-control“ vorhanden ist, das die Aufnahmerichtung kontinuierlich dreht um die Auswirkung der Erdrotation auszugleichen und Szenen generiert, deren Begrenzungen parallel zum Koordinatensystem sind. Zusammen mit den Bildern werden auch Ephemeriden und die detaillierte Aufnahmerichtungsinformationen mit ausgeliefert. Das Hannoversche Programm BLASPO ist allerdings in der Lage die Orientierung auch ohne diese Zusatzinformation zu bestimmen da die Änderung der Aufnahmerichtung ausreichend genau linear ist.

Szene	Passpunkte	SX	SY
12450	48	1.08 m	1.22 m
12450	207	1.24 m	1.34 m
12451	55	1.26 m	1.22 m

Tabelle 2: Ergebnisse der Orientierung von QuickBird „Basic Imagery“-Aufnahmen

Die erzielten Genauigkeiten der Orientierung von QuickBird-Aufnahmen sind in Relation zu der Pixelgröße von 62cm nicht besonders gut, was auf die beschränkte Genauigkeit der Passpunkte, die aus Orthofotos des USGS digitalisiert wurden, zurück zu führen ist. Die etwas schlechteren Ergebnisse der zweiten Auswertung der Szene 12450 mit 207 Passpunkten ist dadurch zu erklären, dass bei der zweiten Auswertung viele Passpunkte an Grauwertkanten verwendet wurden, bei denen die Lage im Bild von dem hellen Bereich in den dunklen Bereich verschoben wird. Bei der ersten Auswertung wurde dagegen Wert auf symmetrische Passpunkte gelegt.



Figur 3: Wirkung der zusätzlichen Parameter auf die Bildkoordinaten („systematische Bildfehler“), links Phoenix, rechts Atlantic City

Die systematischen Bildfehler der beiden in Figur 3 dargestellten Auswertungen zeigen klar die Auswirkung der Drehung der Bildzeile während der Aufnahmerichtung.

5 Erstellung von Höhenmodellen

Mit Stereokombinationen der sehr hochauflösenden Satellitenbildaufnahmen können digitale Höhenmodelle erzeugt werden. Leider ist nur eine begrenzte Anzahl von IKONOS-Stereokombinationen im Archiv vorhanden. DigitalGlobe hat bislang die Aufnahme von Stereobildern nicht in den Katalog der Standardaufnahmen aufgenommen. Prinzipiell sind beide Systeme in der Lage, Stereoaufnahmen vom gleichen Orbit aus aufzunehmen.

Die automatische Bildzuordnung einer IKONOS-Stereokombination, deren Aufnahmen mit einem Zeitabstand von 12 Sekunden erstellt wurden, ergab sehr gute Ergebnisse. Die Korrelationskoeffizienten waren in der Regel größer als 0,95. Das Höhen-Basis-Verhältnis von 7,5 führte damit zu einer Höhengenaugigkeit von 1,7m entsprechend einer Parallaxengenaugigkeit von 0,22 Pixeln.

Anders sieht es bei Kombinationen von Aufnahmen mit einem größeren Zeitabstand aus, bei denen sich die Schattenlänge und auch die Vegetation verändert haben können.

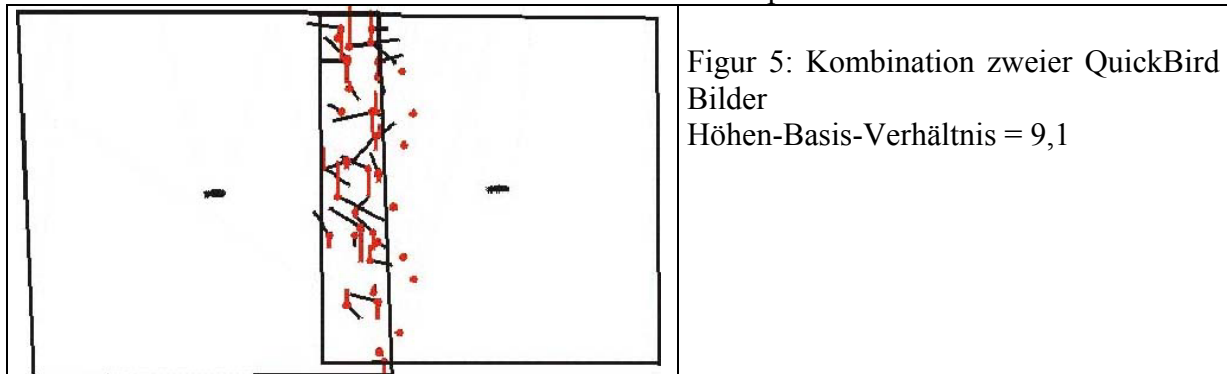


Figur 4: Ausschnitte aus IKONOS-Aufnahmen vom 7.9.02 mit einer Sonnenhöhe von 67° und vom 10.11.02 mit einer Sonnenhöhe von 41°

Durch die Änderung der Sonnenhöhe ergeben sich in dem gebirgigen Gebiet von Zonguldak, Türkei, erheblich andere Schatten (siehe Figur 4). Damit war die automatische Bildzuordnung in den Waldgebieten nicht möglich. In den anderen Bereichen gab es größere

Ausfälle und es war eine Tiefpassfilterung erforderlich. Dementsprechend wurde auch nur eine Höhengenaugigkeit in der Größenordnung von 4 bis 6m erzielt. Wegen der großen Lücken war das erstellte Höhenmodell kaum brauchbar.

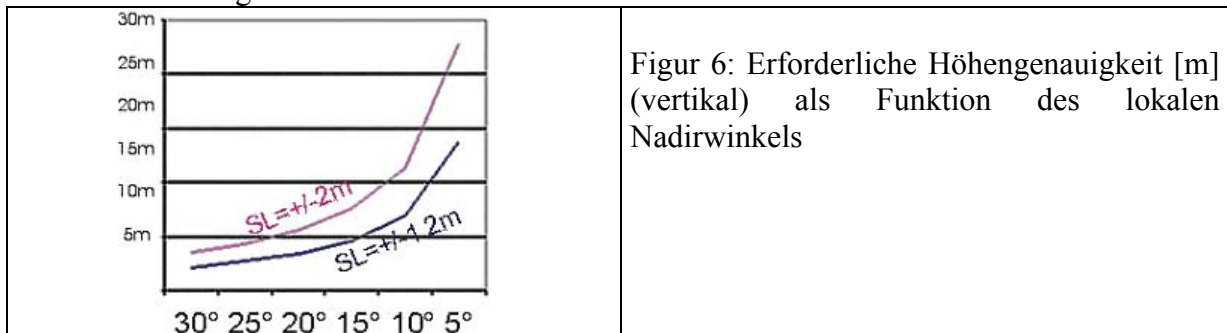
Im Bereich von Phoenix, Arizona standen zwei sich etwa 20% überlappende QuickBird-Szenen zur Verfügung, die mit einem Zeitabstand von 10 Tagen aufgenommen wurden. Während dieser 10 Tage haben sich die Schattenlängen und die Vegetation praktisch nicht verändert, so dass keinerlei Probleme mit der automatischen Bildzuordnung auftraten. Die Korrelationskoeffizienten lagen im Mittel über 0,95 und es traten nur wenige Punktausfälle auf, die auf fehlende Kontraste, wie bei breiten Straßen und Sandflächen, zurück zu führen waren. Diese kleinen Lücken konnten ohne Probleme interpoliert werden.



Die automatische Bildzuordnung führte zu einem Quadratmittel der Höhenunterschiede gegenüber dem auch nicht fehlerfreien digitalen Höhenmodell des USGS von +/-4,8 m entsprechend einer Parallaxengenaugigkeit von 0,8 Pixeln.

6 Erstellung von Orthofotos

Ausgedruckte Orthofotos sollten eine Auflösung von mindestens 8 Pixel/mm haben, dann nimmt das menschliche Auge die einzelnen Pixel nicht mehr war und hat den Eindruck eines kontinuierlichen Fotos. Dementsprechend können mit den IKONOS-Bildern Orthofotos bis zum Maßstab 1 : 8000 und mit QuickBird-Aufnahmen bis zum Maßstab 1 : 4800 erstellt werden. Es wird eine Lagegenauigkeit von mindestens 0,25mm erwartet, entsprechend 2m für den Maßstab 1 : 8000 und 1,2m für den Maßstab 1 : 4800. Die Bildorientierung mit dieser Genauigkeit stellt kein Problem dar im Gegensatz zu der erforderlichen Höhengenaugigkeit des digitalen Höhenmodells. Dieses muss nicht von der gleichen Datenquelle wie die zu verwendenden digitalen Bilder stammen.

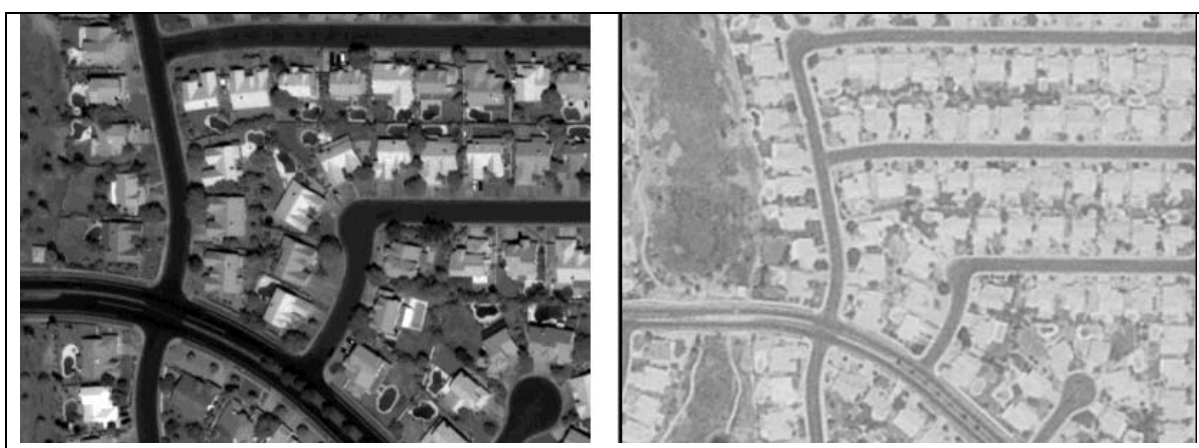


Ein Höhenfehler Δh des DHM wirkt sich folgendermaßen als Lagefehler ΔL des Orthofotos aus: $\Delta L = \Delta h * \tan(\text{lokaler Nadirwinkel})$ - siehe Figur 6.



Figur 7: IKONOS (Pixelgröße 1m)

Orthofoto des USGS (Pixelgröße 1m)



Figur 8: QuickBird (Pixelgröße 0.64m)

Orthofoto des USGS (Pixelgröße 1m)

Für die Orthofotos, aber auch für eine linienhafte Auswertung sind nicht nur die geometrischen, sondern auch die radiometrischen Eigenschaften wichtig. Wie aus den Abbildungen 7 und 8 ersichtlich, sind die Kontraste der hoch auflösenden Satellitenbilder besser als die der Orthofotos, die aus Luftbildern erstellt wurden.

5 Zusammenfassung

Die Orientierung und Auswertung der sehr hoch auflösenden Satellitenzeilenscanneraufnahmen von IKONOS und QuickBird mit manchen kommerziellen Auswerteprogrammen muss kritisch betrachtet werden. In einzelnen Fällen war die Verwendung der von SpaceImaging für IKONOS-Geo-Aufnahmen zur Verfügung gestellten rationalen Polynomfunktionen auch nach Bezug auf Passpunkte nicht ausreichend und es musste die Aufnahmerichtung verbessert werden. Die rationalen Funktionen sollten nicht nur basierend auf Passpunkten berechnet werden. Mit geeigneten mathematischen Modellen sind Genauigkeiten erreichbar, die keine Einschränkung der Auswertemaßstäbe darstellen, diese werden nur durch die Detailerkennbarkeit begrenzt. Wegen des etwas in den nahen Infrarotbereich hinein verlängerten Spektralbereichs sind die Kontraste der panchromatischen Satellitenbilder in der Regel sehr gut.

6 Literaturverzeichnis

Grodecki, J., 2001. Ikonos stereo feature extraction – RPC approach. Proc. ASPRS Annual Conference, St. Louis, 23-27 April. American Society of Photogrammetry & Remote Sensing, 7 pp. (auf CD).

Jacobsen, K. (2001): Automatic Matching and Generation of Orthophotos from Airborne and Spaceborne Line Scanner Images, High Resolution Mapping from Space 2001, Hannover 2001

Jacobsen, K. (2003): Orthoimages and DEMs by QuickBird and IKONOS, EARSeL, Gent 2003

Toutin, Th., Chenier, R., Carbonneau, Y., 2001. 3D geometric modelling of Ikonos Geo images, Proc. Joint ISPRS Workshop “High Resolution Mapping from Space 2001” Universität Hannover (auf CD).

<http://www.spaceimage.com/>

<http://www.digitalglobe.com/>