

Auswertung von IKONOS-Aufnahmen

KARSTEN JACOBSEN¹

Abstract: The high resolution, IKONOS-images taken from space are used more and more for practical applications. An obstacle is the high price for orthoimages produces by SpaceImaging. But it is not a problem to create orthoimages based on the less expensive rectifications, the CARTERRA-Geo-product. This can be made also without the rational functions which can be bought for additional expenses.

The method of creating orthoimages based on Geo-images will be described in detail. Based on just 3 to 4 control points together with a digital elevation model (DEM) orthoimages can be created with an accuracy of 1 – 3m. The DEM also can be achieved by automatic matching with IKONOS-stereo models. Without control points the direct sensor orientation of IKONOS allows an absolute accuracy in the range of 10 – 20m. The information contents of panchromatic IKONOS-images allows the creation of maps 1 : 10 000.

1 Einführung

Die hochauflösenden IKONOS-Satellitenaufnahmen finden zunehmend Anwendung in der Praxis. Ein Hindernis stellt der hohe Preis von Orthofotos dar, die von SpaceImaging (SI) direkt erstellt werden. Der Preisunterschied zwischen dem Geo- und dem Precision plus-Produkt von ca. 20 000\$ für eine Szene wird selten akzeptiert. Es ist jedoch kein Problem, die preisgünstigen Entzerrungen (CARTERRA-Geo) selbst weiter zu verarbeiten. Hierfür sind auch nicht die von SI für einen zusätzlichen Preis angebotenen rationalen Funktionen erforderlich.

IKONOS-Produkt	Lagegenauigkeit	Kartenmaßstab	Passpunkte / DHM	Preis/km ² SI Eurasia
CARTERRA Geo	25m in der Entzerrungsebene	Lagefehler als F(Punkthöhe)	keine Passp. / kein DHM	35 \$
CARTERRA Reference	25m	1 : 50 000	keine Passp. / DHM	62 \$
CARTERRA Pro	10m	1 : 12 000	Passpunkte / DHM	98 \$
CARTERRA Precision	4m	1 : 4800	Passpunkte / DHM	136 \$
CARTERRA Precision plus	2m	1 : 2400	Passpunkte /DHM	199 \$

Tabelle 1: IKONOS-Bildprodukte, Spezifikationen und Preis für panchromatische Bilder

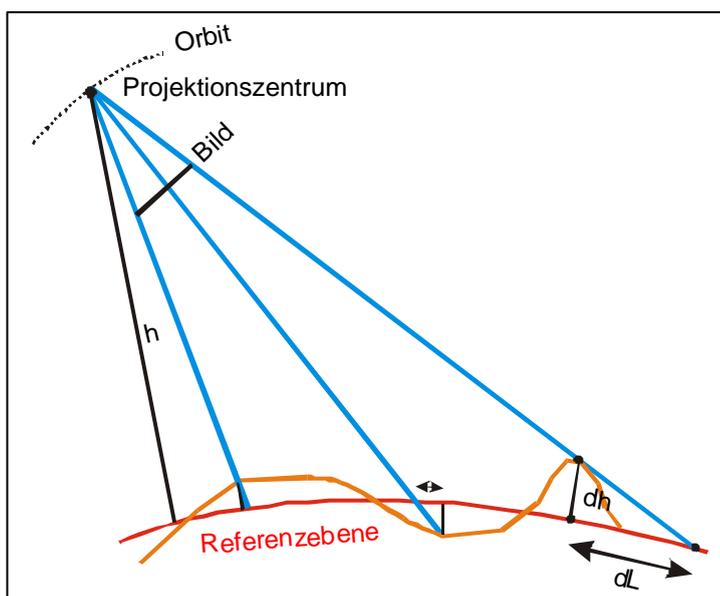
Es wird das Verfahren erläutert, mit dem die CARTERRA-Geo-Bilder nur basierend auf den mitgelieferten Meta-Daten weiterverarbeitet werden können. Mit nur 3 bis 4 Passpunkten lassen sie sich mit einer Genauigkeit im Bereich von 1 – 2m orientieren, wenn nicht schon die absolute Genauigkeit ohne Passpunkte in der Größenordnung von etwa 10 – 20m ausreicht. Basierend auf digitalen Höhenmodellen (DHM), die durch automatische Bildzuordnung von IKONOS-Bildern abgeleitet wurden oder bereits vorhanden waren,

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

lassen sich Orthofotos erstellen, deren Genauigkeit hauptsächlich durch die Punktdefinition in der Größenordnung von 1 – 3m beschränkt ist. Vektorielle Auswertungen entsprechen dem Informationsgehalt von Karten im Maßstab von etwa 1 : 10 000.

2 Geometrie der CARTERRA Geo-Bilder

CARTERRA-Geo-Bilder sind georeferenzierte Entzerrungen auf eine Ebene mit konstanter Ellipsoidhöhe. Die Georeferenzierung basiert auf der direkten Sensororientierung von IKONOS, die durch die Kombination von GPS, Inertialsystemen und Sternensensoren ermittelt wird. Ihre Genauigkeit wird für das CARTERRA-Reference-Produkt mit +/-25m angegeben. In dieser Publikation werden Standardabweichungen genannt und nicht, wie bei SpaceImaging vorwiegend, die CE90-Werte (CE90 = circular error mit 90% Wahrscheinlichkeit). CE90 hat den 2,1-fachen Wert der Standardabweichung.

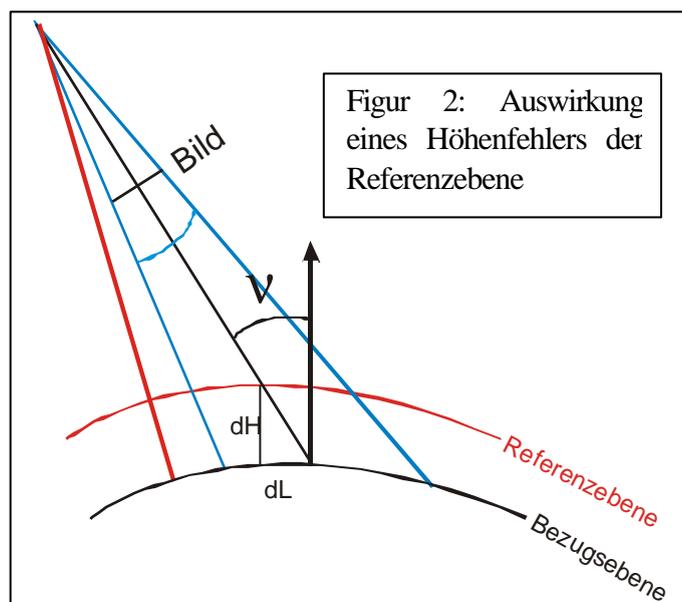


Figur 1: Geometrie der CARTERRA-Geo-Bilder

Die Aufnahme­richtung von jedem Objektpunkt aus lässt sich mittels der auf die Bildmitte bezogenen „nominal collection elevation“ und „nominal collection azimuth“ aus der Metadata-Datei, sowie der allgemeinen Information über die Satellitenbahn und der Lage des Objektpunktes in dem georeferenzierten Bild berechnen.

Damit kann mit einem DHM der Lagefehler gegenüber der Lage der Referenzebene dL (Figur 1) berechnet und angebracht werden. Ein Problem stellt allerdings die unbekannt­e Höhe der Referenzebene dar. Ein Höhenfehler der Referenzhöhe wirkt sich, multipliziert mit dem Tangens der Nadirstanz der Aufnahme­richtung, als Lagefehler aus (siehe Figur 2).

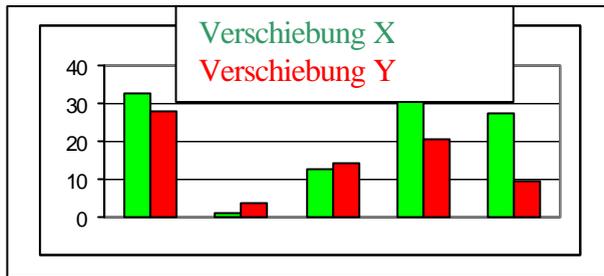
Da von SpaceImaging keine Information über die Höhenlage der Referenzebenen zu erhalten sind, wurden mehrere Geo-Szenen untersucht. Als Bezugshöhen für die Höhenverbesserung entsprechend Figur 1 wurden die Mittelhöhe der verwendeten Passpunkte und die mittlere Höhe der verwendeten DHM's benutzt. Die Mittelhöhe der Passpunkte liegt allgemein unter der mittleren Höhe des DHM, da in bergigem Gelände die Passpunkte



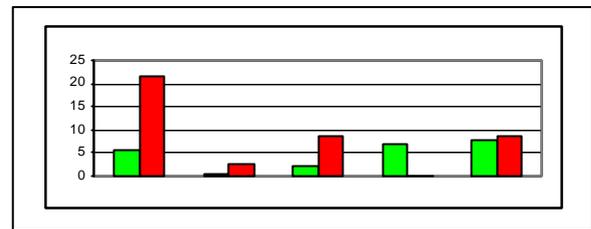
Figur 2: Auswirkung eines Höhenfehlers der Referenzebene

untersucht. Als Bezugshöhen für die Höhenverbesserung entsprechend Figur 1 wurden die Mittelhöhe der verwendeten Passpunkte und die mittlere Höhe der verwendeten DHM's benutzt. Die Mittelhöhe der Passpunkte liegt allgemein unter der mittleren Höhe des DHM, da in bergigem Gelände die Passpunkte

bevorzugt leicht zugänglich in den Tälern liegen. Der Vergleich erfolgte anhand einer ausreichenden Anzahl von unabhängigen Vergleichspunkten, jedoch ohne Passpunkte.

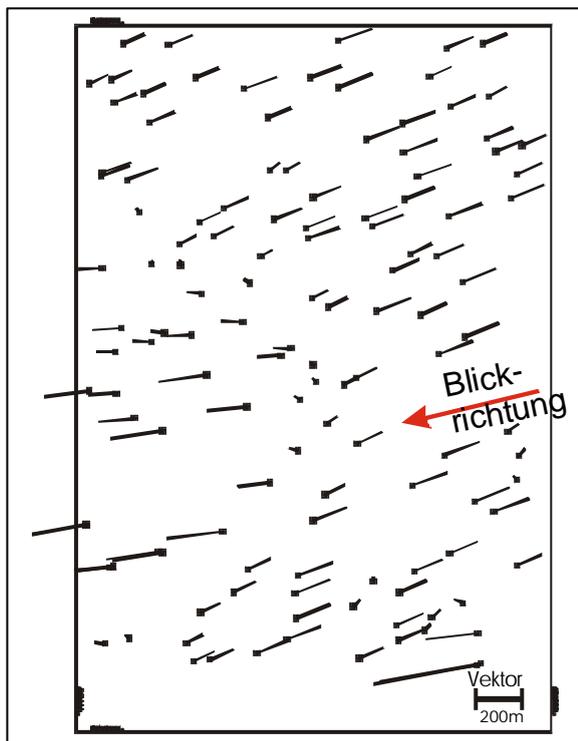


Figur 3: konstante Koordinatenfehler nach Höhenverbesserung auf die Mittelhöhe der Passpunkte

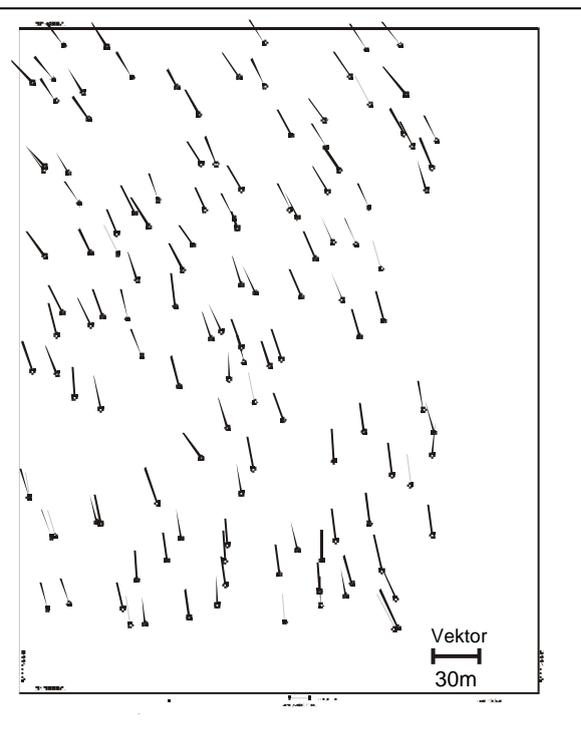


Figur 4: konstante Koordinatenfehler nach Höhenverbesserung auf die Mittelhöhe des DHM

Grundlage für die Untersuchung der absoluten Georeferenzierung und der damit verbundenen Höhenlage der Referenzhöhen waren Testgebiete in der Schweiz, den USA, Malaysia und zwei Szenen in der Türkei. Die Ergebnisse sind eindeutig - in jedem Fall wurde bei Verwendung der Mittelhöhe des DHM als Referenzebene bessere Ergebnisse als mit der Mittelhöhe der Passpunkte erzielt. Das Quadratmittel der konstanten Koordinatenfehler entsprechend Figur 3 beträgt $\pm 20,4\text{m}$ während im Falle der Mittelhöhe des DHM $\pm 9,1\text{m}$ als Mittel von X und Y erzielt wurden. Die erzielte Absolutgenauigkeit von $9,1\text{m}$ liegt deutlich unter der Spezifikation von SpaceImaging für CARTERRA Reference und zeigt die ausgezeichnete Lagegenauigkeit ohne Verwendung von Passpunkten.

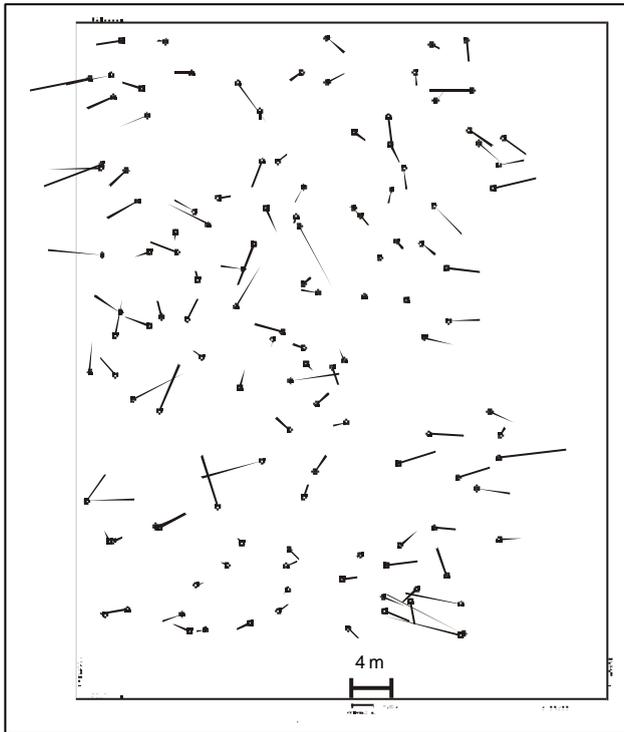


Figur 5: OEEPE-Test Luzern: Widerspruch CARTERRA-Geo gegen Passpunkte (ohne Höhenkorrektur)



Figur 6: OEEPE-Test Luzern: Widerspruch CARTERRA-Geo gegen Passpunkte nach Höhenkorrektur

Die geometrischen Verhältnisse der IKONOS-Geo-Bilder werden anhand des OEEPE-Tests Luzern (Schweiz) näher erläutert. Das Testgebiet zur Untersuchung der IKONOS-Aufnahmen hat mit einer Höhenlage von 415m bis 2197m extreme Verhältnisse für die Erstellung von Orthofotos aus IKONOS-Geo-Bilder. Die georeferenzierten Geo-Bilder haben gegenüber Passpunkten die aus schweizerischen Orthofotos (Pixelgröße 0.3m) digitalisiert wurden und deren Höhe aus dem schweizerischen digitalen Höhenmodell (DHM), das einen Punktabstand von 25m hat, interpoliert wurden, verglichen (siehe Figur 5). Als Quadratmittel der Widersprüche ergeben sich für X: $\pm 124,4\text{m}$ und für Y: $\pm 40,2\text{m}$ mit einem Maximalfehler von 421m. Diese Widersprüche lassen sich durch Höhenunterschiede gegenüber der Referenzebene und einem Nadirwinkel der Aufnahme von $24,7^\circ$ erklären. Nach Korrektur der Punkte in dem Geo-Bild mittels des DHM (siehe Figur 6) reduzierten sich die Widersprüche auf $SX = \pm 7,5\text{m}$ und $SY = \pm 18,5\text{m}$.



Figur 7: Widerspruch gegen Passpunkte nach Höhenkorrektur und Affintransformation auf Passpunkte

Mit Hilfe von Passpunkten kann das Ergebnis der Orthofotoerstellung nur basierend auf der absoluten Sensororientierung (siehe Figur 6) deutlich verbessert werden. Es stellt sich allerdings die Frage, welche Art der Transformation erforderlich ist. Aus Figur 2 ist ersichtlich, dass eine andere Höhenlage der Bezugsebene auch den Maßstab in der Blickrichtung verändert. In der Komponente rechtwinklig dazu, ändert sich der Maßstab aber kaum. Aus diesem Grund ist wegen der unbekannt

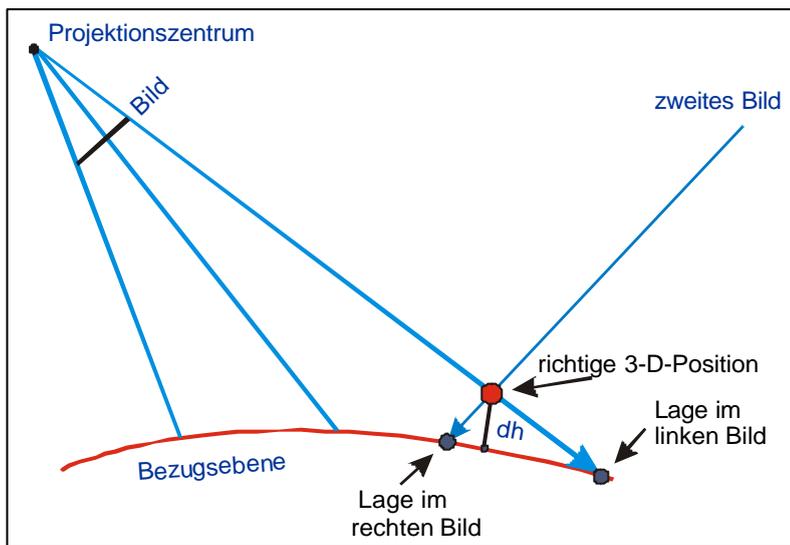
Höhenlage der Bezugsebene eine Affintransformation auf die Passpunkte erforderlich. Nach Höhenkorrektur und Affintransformation auf die Passpunkte reduzieren sich die Widersprüche auf $SX = \pm 2,52\text{m}$ und $SY = \pm 1,72\text{m}$. Im Verhältnis zu der Pixelgröße von 1m sind die Abweichungen zwar akzeptabel, jedoch nicht besonders gut. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass besonders die hochgelegenen Punkte größere zufällige Fehler aufweisen. Das ist mit der eingeschränkten Höhengenaugigkeit der Passpunkte aufgrund des DHM erklärbar. In dem Hochgebirge ist der Punktabstand des DHM von 25m nicht ausreichend. Eine Beschränkung auf Passpunkte mit einer Höhe unter 800m reduziert die Widersprüche auf $SX = \pm 1,59\text{m}$ und $SY = \pm 1,39\text{m}$. Während der Punktmessung wurden die Passpunkte als gut und nicht so gut klassifiziert. Werden nur die „guten“ Passpunkte benutzt, ergeben sich $SX = \pm 1,67\text{m}$ und $SY = 1,60\text{m}$.

Die benutzte Anzahl von 128 Passpunkten ist für die detaillierte Analyse zwar von Bedeutung, jedoch für die Orientierung nicht erforderlich. Eine Reduzierung auf 4 Passpunkte führte bei den verbleibenden 124 unabhängigen Vergleichspunkten mit $SX = \pm 2,00\text{m}$ und $SY = \pm 1,99\text{m}$ praktisch zu den gleichen Ergebnissen. Die Lösung basiert auf der Aufnahmerichtung, die als nominal collection azimuth und elevation in den

Metadaten enthalten ist. Sind jedoch Passpunkte mit unterschiedlicher Höhenlage vorhanden, kann die Aufnahmerichtung auch aus diesen abgeleitet werden. Wurde die Aufnahmerichtung aus den Passpunkten berechnet und nicht als bekannter Wert eingeführt, ergaben sich praktisch identische Ergebnisse.

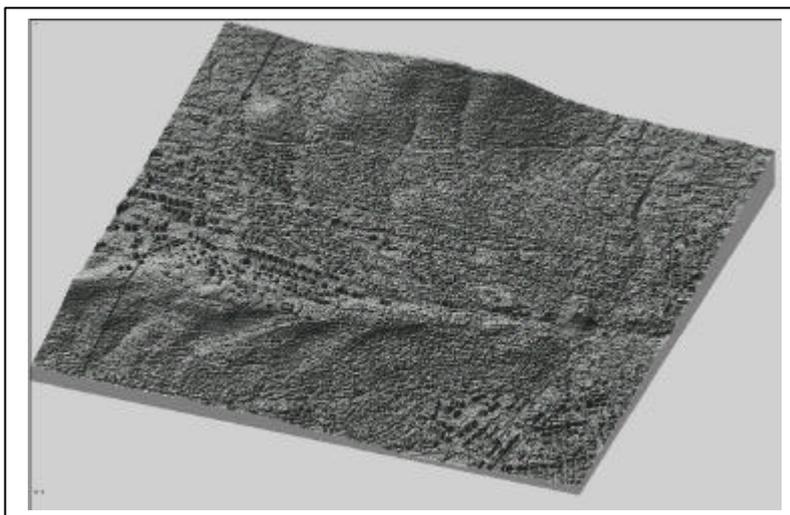
In einem Testgebiet in der Türkei wurden die Passpunkte mit GPS bestimmt. Die Passpunkte haben auch eine erhebliche Höhenvariation von 480m bis 880m. Mit ihnen wurde in einer Szene $SX = \pm 0,52m$ und $SY = \pm 1,40m$ und in einer anderen Szene $SX = \pm 1,73m$ und $SY = \pm 1,52m$ erzielt. Das Hauptproblem ist nicht so sehr die innere Genauigkeit der IKONOS-Szenen die unterhalb eines Pixels liegt, sondern die exakte Definition der Passpunktlage.

3 Erstellung eines DHM aus CARTERRA Geo-Bildern



Figur 8: geometrische Beziehung zwischen Geo-Bildern und der 3D-Lage von Punkten

Aus einem IKONOS-Stereo-Modell, bestehend aus zwei CARTERRA Geo-Bildern, lässt sich die dreidimensionale Lage der abgebildeten Objektpunkte ableiten. Das mathematische Modell hat allerdings die spezielle Geometrie der Geo-Bilder zu berücksichtigen. Nach der beschriebenen Bestimmung der Bildgeometrie kann die dreidimensionale Lage, wie in Figur 8 abgebildet, berechnet werden. Ohne Passpunkte ist die horizontale Lage des DHM innerhalb der in Figur 4 dargestellten Genauigkeit bestimmbar, für den Höhenbezug ist jedoch mindestens ein Passpunkt erforderlich.



Figur 9: Aus Geo-Bildern abgeleitetes DHM (3km x 3km)

Aus einem von einem Orbit aus aufgenommenen CARTERRA Geo-Bildpaar ($\Delta t = 12 \text{ sec}$) wurde ein DHM durch automatische Bildzuordnung mit dem Programm DPCOR ermittelt (siehe Figur 9). DPCOR führt die Bildzuordnung im Bildraum, ausgehend von wenigen Startpunkten, durch. Damit muss die spezielle Bildgeometrie nicht bei der automatischen Zuordnung, sondern erst danach, bei der Berechnung der Objektkoordinaten

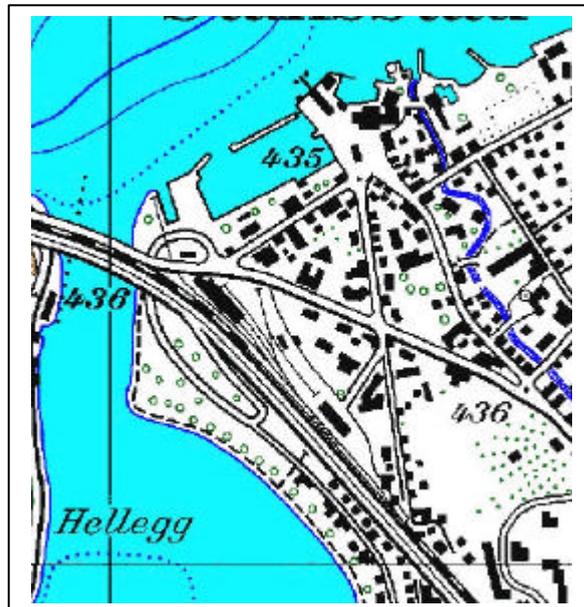
berücksichtigt werden. DPCOR ermittelt die korrespondierenden Bildpunkte nach der Methode der kleinsten Quadrate, die als die genaueste Methode der Zuordnung anzusehen ist. Das ausgewertete Modell weist nur ein Basis-Höhen-Verhältnis von 1:7,5 auf. Die gute Bildqualität führte dazu, dass nur 4,8% der Punkte außerhalb des Toleranzbereichs von DPCOR lagen. Die vor der kleinste-Quadrate-Lösung durchgeführte Bildkorrelation ergab für 81% der Punkte einen Korrelationskoeffizienten von größer als 0,95. Leider lagen keine Vergleichshöhen vor, weswegen die Bestimmung des DHM mittels der Höhe von abgebildeten Gebäuden überprüft wurde. Die klaren Schatten und eine Sonnenhöhe von 50° ermöglichte die Bestimmung der Gebäudehöhen aus den Schattenlängen mit einer Genauigkeit von etwa +/-0,5m. Verglichen mit den aus dem DHM ermittelten Gebäudehöhen ergab sich im Quadratmittel eine Abweichung von $SZ=\pm 1,7m$. Dieses entspricht einer Genauigkeit der x-Parallaxe von nur 0,22 Pixeln. Bestätigt wurde diese ausgezeichnete Genauigkeit durch einen Passpunkt, der unabhängig vom DHM eine Abweichung von 1,1m aufweist.

4 Erstellung von Karten

Bei den meisten optischen Weltraumaufnahmen wird der größtmögliche Kartenmaßstab der Auswertungen durch den Informationsgehalt und nicht durch die Genauigkeit bestimmt. Für Karten gelten grundsätzlich die gleichen Voraussetzungen wie für ein GIS, das sowohl von Seiten der Genauigkeit als auch des Informationsgehalts einem Maßstab zugeordnet wird. Als Lagegenauigkeit wird allgemein 0,2 bis 0,3mm im Kartenmaßstab als erforderlich vorausgesetzt. Für die Höhengenaugkeit gibt es keine klare Zuordnung zum Maßstab da die erforderliche Höhengenaugkeit allgemein mehr von dem Geländetyp abhängig ist.



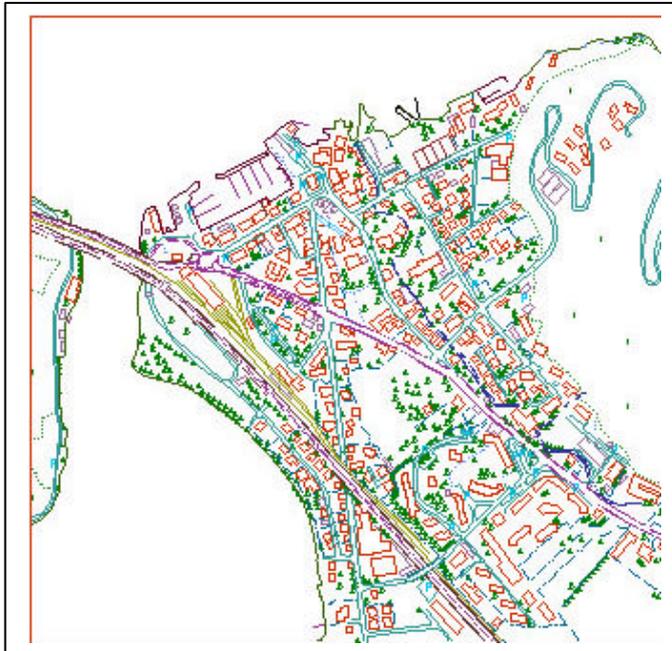
Figur 10: Teilfläche einer IKONOS-Szene



Figur 11: schweizerische Topographische Karte 1 : 25 000

Für den Informationsgehalt existiert die Faustregel, dass etwa 0,05 bis 0,1mm Pixelgröße im Kartenmaßstab erforderlich ist. Für panchromatische IKONOS-Aufnahmen mit einer

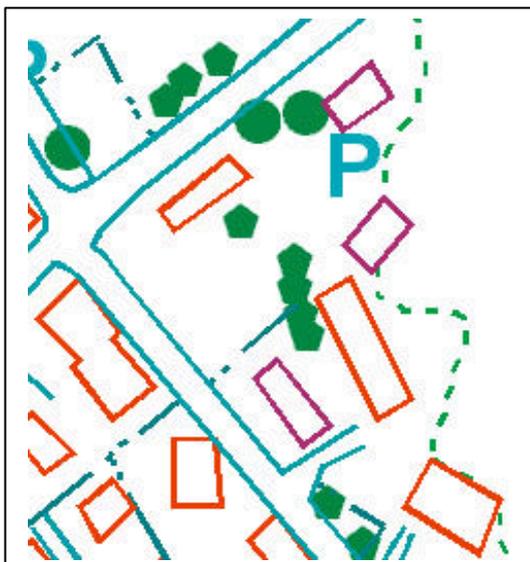
Pixelgröße von 1m würde das einem möglichen Kartenmaßstab von 1 : 10 000 bis 1 : 20 000 entsprechen, während die Multispektralaufnahmen mit 4m Pixelgröße etwa dem Kartenmaßstab von 1 : 50 000 entsprechen würden. Grundsätzlich ist diese Faustregel aber auch noch von den radiometrischen Verhältnissen abhängig. Außerdem haben die verschiedenen Länder unterschiedliche Anforderungen bezüglich des Informationsgehalts der Karten.



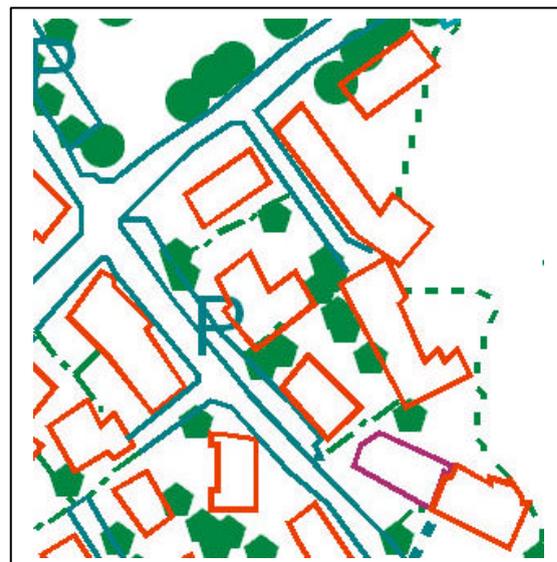
Figur 12: Karte basierend auf panchromatischem IKONOS-Bild

Im Vergleich der Figur 10, die einen Ausschnitt aus einem Orthofoto basierend auf einem IKONOS-Geo-Bild darstellt, mit Figur 11, dem entsprechenden Ausschnitt aus der topographischen Karte 1 : 25 000, ist klar, dass der Informationsgehalt der panchromatischen IKONOS-Aufnahme höher ist als der einer topographischen Karte 1 : 25 000. Um die Details näher untersuchen zu können, wurden Strichkarten aus dem

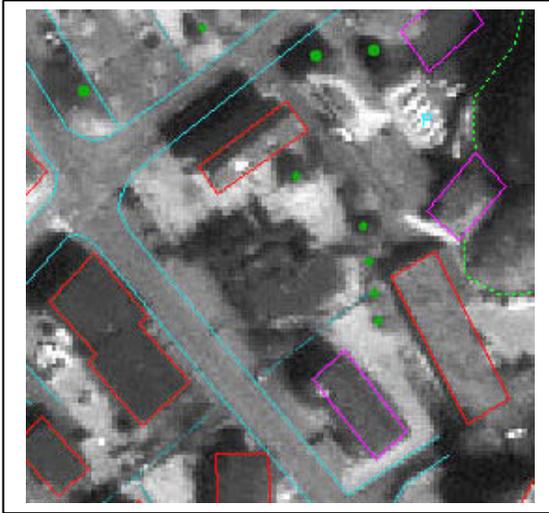
IKONOS-Orthofoto und aus dem schweizerischen Orthofoto (Pixelgröße = 0,3m) erstellt. Auf den ersten Blick sind beide Auswertungen fast gleichwertig. Aus der IKONOS-Aufnahme konnten allerdings nicht so viele Details an den Gebäuden abgeleitet werden. Außerdem wurden einzelne Gebäude und Gebäudeteile übersehen.



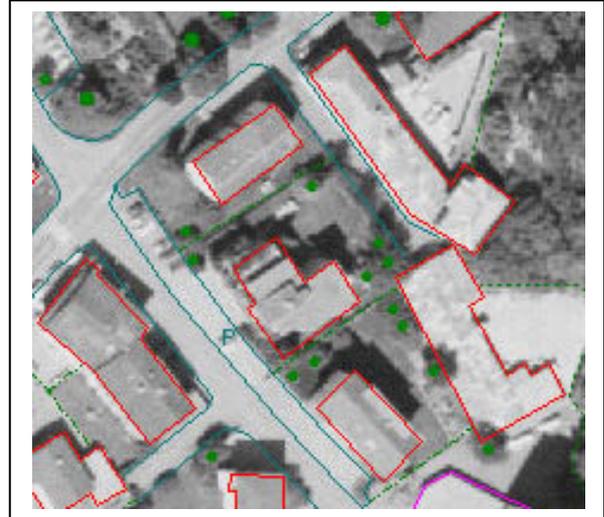
Figur 13: Detail der IKONOS-Auswertung



Figur 14: Detail der Auswertung des schweizerischen Orthofotos (0,3m Pixel)



Figur 15: Ausschnitt aus der IKONOS-Szene



Figur 16: Ausschnitt aus dem schweizerischen Orthofoto

Der gezeigte Extremfall der Auswertung verdeutlicht die Grenzen der Objekterkennbarkeit mit den IKONOS-Aufnahmen. Der Kontrast entspricht nicht dem des Luftbildes. Selbst mit einem auf eine Pixelgröße von 1m reduzierten Luftbild sind die Details besser erkennbar. In der IKONOS-Auswertung (Figur 13) wurde ein Gebäude vollständig und andere Gebäudeteile übersehen. Die entsprechenden Bildausschnitte (Figur 15 und 16) verdeutlichen die Problematik. Das in der IKONOS-Aufnahme übersehene Gebäude hat keinen klaren Kontrastunterschied zur Umgebung und wurde deswegen mit Vegetation verwechselt. Die fehlenden Gebäudeteile sind entweder kleine Anbauten oder niedrigere Teile, die nicht so klar durch die Schatten hervorgehoben werden. Mit Unterstützung des schweizerischen Orthofotos sind allerdings die fehlenden Objekte auch in der IKONOS-Aufnahme erkennbar. Durch einen Feldvergleich könnten somit eine vollständige Objekterkennung erreicht werden. Eine lokale Kontrastoptimierung verbessert die Auswertungsvoraussetzungen.



Figur 17: IKONOS – Ausschnitt Türkei



Figur 18: IKONOS – Ausschnitt USA

Die in Figur 17 und 18 gezeigten Ausschnitte aus panchromatischen IKONOS-Aufnahmen in der Türkei und den USA zeigen eine deutlich bessere Objekterkennbarkeit. In beiden Aufnahmen gibt es keine Probleme, die Gebäudedetails zu erkennen. Ein Vergleich mehrerer IKONOS-Bilder zeigte nicht unerhebliche Qualitätsunterschiede der Aufnahmen.

Eine Auswertung von multispektralen IKONOS-Aufnahmen mit einer Pixelgröße von 4m zeigte Probleme der Erkennbarkeit einzelner Gebäude. Nur etwa 80% der einzelstehenden Wohngebäude konnten richtig erkannt werden. Die multispektrale Information unterstützt zwar die Interpretation, kann aber den Auflösungsunterschied nicht ausgleichen.

5 Zusammenfassung

Die geometrische Auswertung von CARTERRA-Geo-Bildern, die Entzerrungen auf eine Ebene konstanter Ellipsoidhöhe darstellen, ist mittels eines DHM ohne Probleme möglich. Die von SpaceImaging für zusätzliche Kosten zu erhaltenden rationalen Funktionen sind hierfür nicht erforderlich. Klar definierte Punkte lassen sich mit einer Genauigkeit von etwa einem Pixel bestimmen. Das digitale Höhenmodell kann auch durch automatische Bildzuordnung mit hoher Parallaxengenauigkeit von etwa $\frac{1}{4}$ Pixel aus den Geo-Bildern abgeleitet werden. Die für die Auswertung erforderlichen Programme wurden an der Universität Hannover entwickelt (CORIKON – geometrische Analyse, IKONDEM – Berechnung eines DHM, IKORTHO – Berechnung eines Orthofotos aus Geo-Bildern).

Der Informationsgehalt der untersuchten panchromatischen IKONOS-Aufnahmen mit einer Pixelgröße von 1m entspricht etwa dem Kartenmaßstab 1 : 10 000, was der oben genannten Faustformel von 0,1mm Pixelgröße im Kartenmaßstab entspricht. Stark geneigte IKONOS-Aufnahmen weisen in Blickrichtung eine physikalische Pixelgröße von bis zu 2m auf, die auf 1m Pixelgröße verkleinert wird. Ihr Informationsgehalt ist entsprechend geringer. Die Farbinformation multispektraler IKONOS-Aufnahmen (Pixelgröße 4m) erleichtern die Objekterkennung, weswegen der Informationsgehalt der panchromatischen Auswertungen nicht einfach mit dem Faktor 4 multipliziert werden darf. Sie entsprechen etwa dem Kartenmaßstab 1 : 25 000. Für diese Kartenmaßstäbe ist die erzielbare geometrische Auswertegenauigkeit ausreichend.

6 Literaturverzeichnis

Doyle, F.-J., (1984): Surveying and Mapping with Space Data, ITC Journal 1984

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

Lohmann, P. (2001): Land Cover Classification using High Resolution IKONOS-Data, High Resolution Mapping from Space 2001, Hannover 2001

SpaceImaging (2001): Commercial Imagery Product Pricing, 13 December 2001

<http://www.spaceimage.com>